

Аналіз вимірювань акселерометра та гіроскопа для різних видів фізичних властивостей

Постановка задачі:

- 1) Зібрати на власний смартфон датасет із 5 різних типів активностей (бажано, щоб активності трохи відрізнялися між собою) – акселерометр та гіроскоп;
- 2) Промаркувати сигнали у Label Studio для різних типів активностей;
- 3) Прогнати через власний пайплайн із попереднього заняття:
 - Стабільність частоти забору даних;
 - Адекватність сигналу (чи очікувана поведінка сигналу);
 - Частотний аналіз спектру сигналу;
 - Виділити осі та параметри сигналу, які потенційно можуть говорити про відмінність однієї фізичної активності від іншої.

Етап 1: Збір даних

Дані було зібрано з допомогою програми Physics Toolbox Suite.

В програмі можна обирати частоту збирання даних між максимальною та мінімальною лише при проведенні записів одного із датчиків (акселерометра або гіроскопа).

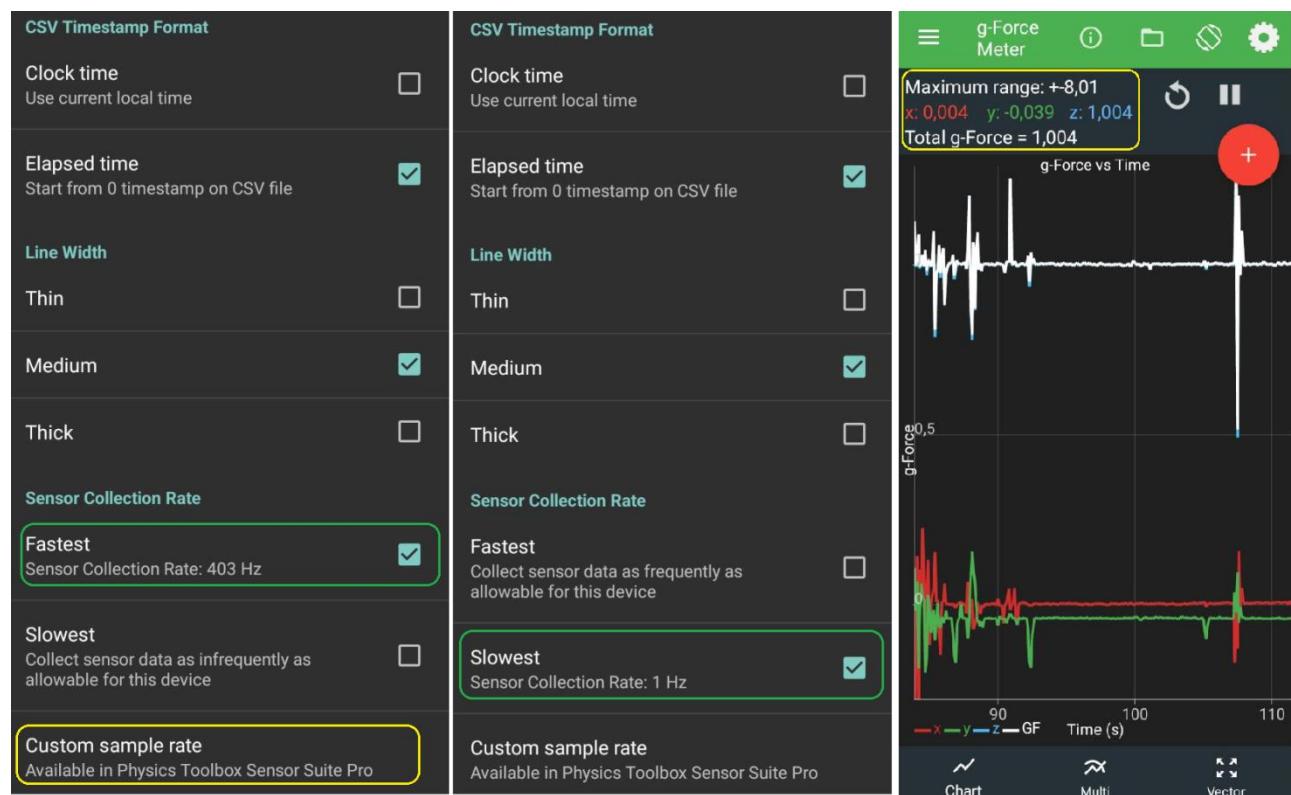


Рис. 1. Параметри запису даних акселерометра

Було здійснено перевірку вказаних частот.

	time	gFx	gFy	gFz	TgF
0	0.008635	-0.0069	0.0029	1.0297	1.030
1	0.010362	-0.0057	0.0009	1.0260	1.026
2	0.011922	-0.0040	0.0026	1.0143	1.014
3	0.013306	-0.0052	0.0031	1.0097	1.010
4	0.014910	-0.0071	0.0048	0.9994	0.999

Рис. 2. Результати вимірювань акселерометра

```
time_diffs = stand_df['time'].diff()
freq = 1.0 / time_diffs.mean()
print(f"Measurement time = {stand_df.iloc[-1]['time'] - stand_df.iloc[0]['time']} s")
print(f"Number of measurements (number of rows in the data set) = {len(stand_df)}")
print(f"Frequency of measurement = {freq} Hz")

Measurement time = 64.194475696 s
Number of measurements (number of rows in the data set) = 25877
Frequency of measurement = 403.08764452783515 Hz
```

Рис. 3. Перевірка частоти вимірювання акселерометра (частота ≈ 403 Гц)

```
time_diffs = stand_df['time'].diff()
freq = 1.0 / time_diffs.mean()
print(f"Measurement time = {stand_df.iloc[-1]['time'] - stand_df.iloc[0]['time']} s")
print(f"Number of measurements (number of rows in the data set) = {len(stand_df)}")
print(f"Frequency of measurement = {freq} Hz")

Measurement time = 66.042668619 s
Number of measurements (number of rows in the data set) = 67
Frequency of measurement = 0.9993539234574825 Hz
```

Рис. 4. Перевірка частоти вимірювання акселерометра (частота ≈ 1 Гц)

Аналогічну перевірку здійснено для гіроскопа:

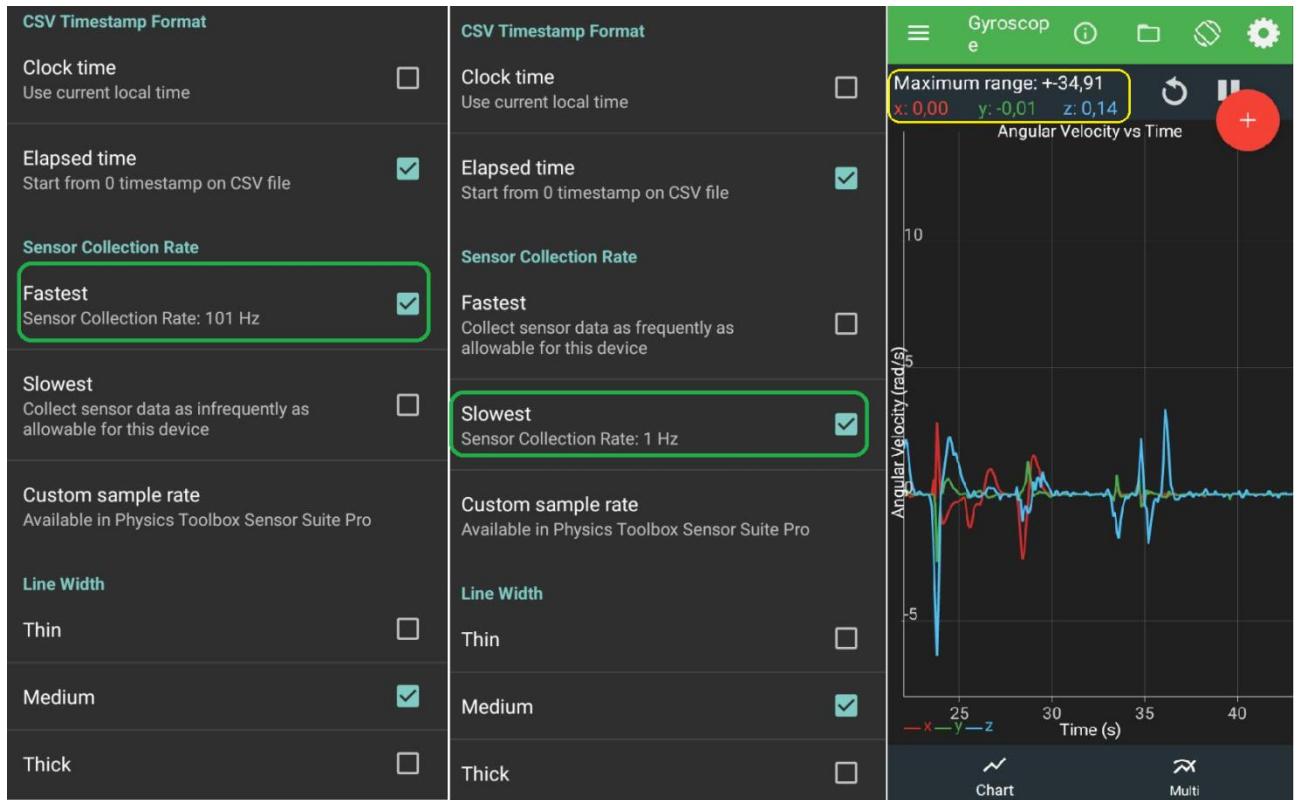


Рис. 5. Параметри запису даних гіроскопа

	time	wx (rad/s)	wy (rad/s)	wz (rad/s)
0	0.003926	-0.01	-0.02	-0.03
1	0.004916	-0.01	-0.02	-0.03
2	0.014574	-0.00	-0.01	-0.03
3	0.032044	-0.00	-0.01	-0.03
4	0.033402	0.01	0.01	-0.02

Рис. 6. Результати вимірювання гіроскопа

```
time_diffs = stand_df['time'].diff()
freq = 1.0 / time_diffs.mean()
print(f"Measurement time = {stand_df.iloc[-1]['time'] - stand_df.iloc[0]['time']} s")
print(f"Number of measurements (number of rows in the data set) = {len(stand_df)}")
print(f"Frequency of measurement = {freq} Hz")

Measurement time = 63.10063 s
Number of measurements (number of rows in the data set) = 6358
Frequency of measurement = 100.74384360346323 Hz
```

Рис. 7. Перевірка частоти вимірювання гіроскопа (частота ≈ 101 Гц)

```

time_diffs = stand_df['time'].diff()
freq = 1.0 / time_diffs.mean()
print(f"Measurement time = {stand_df.iloc[-1]['time'] - stand_df.iloc[0]['time']} s")
print(f"Number of measurements (number of rows in the data set) = {len(stand_df)}")
print(f"Frequency of measurement = {freq} Hz")

```

Measurement time = 63.03832099999996 s
 Number of measurements (number of rows in the data set) = 64
 Frequency of measurement = 0.9993920999260117 Hz

Рис. 8. Перевірка частоти вимірювання акселерометра (частота ≈ 1 Гц)

Однак у випадку двох сенсорів, як виявилося в ході декількох вимірювань, частоту збору даних змінити не можна.

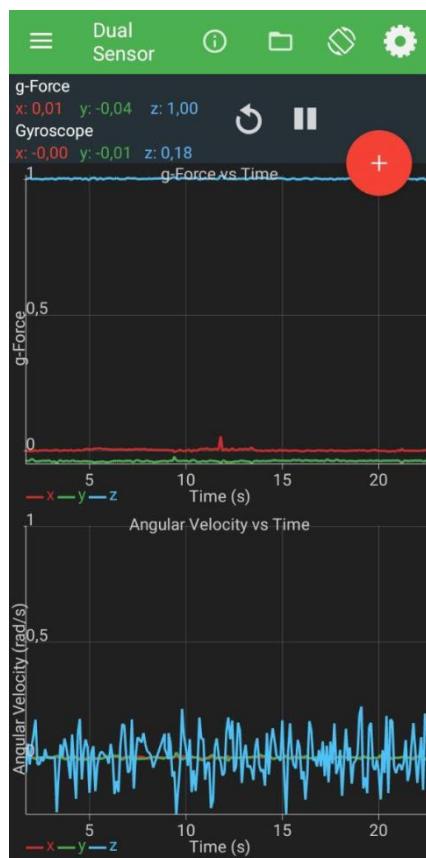


Рис. 9. Запис даних акселерометра та гіроскопа

Під час всіх вимірювань смартфон знаходився у правій руці.

Розглянемо датасет, який містить записи 5 різних типів активностей:

- 1) Присідання;
- 2) Випади на кожну ногу;
- 3) Стояння на місці;
- 4) Ходьба по кімнаті із різкими поворотами на 180° ;
- 5) Стрибки із сторони в сторону.

	time	gFx	gFy	gFz	wx	wy	wz
0	0.004	0.0	0.02	1.01	0.02	-0.0	0.02
1	0.005	0.0	0.02	1.01	0.02	-0.0	0.02
2	0.006	0.0	0.02	1.01	0.02	-0.0	0.02
3	0.006	0.0	0.02	1.01	0.02	-0.0	0.02
4	0.006	0.0	0.02	1.01	0.02	-0.0	0.02

Рис. 10. Результати вимірювання акселерометра та гіроскопа

```
time_diffs = df['time'].diff()
freq = 1.0 / time_diffs.mean()
print(f"Measurement time = {df.iloc[-1]['time'] - df.iloc[0]['time']} s")
print(f"Number of measurements (number of rows in the data set) = {len(df)}")
print(f"Frequency of measurement = {freq} Hz")

Measurement time = 114.56299999999999 s
Number of measurements (number of rows in the data set) = 92376
Frequency of measurement = 806.3249042011819 Hz
```

Рис. 11. Частота вимірювання акселерометра та гіроскопа

```
df.info()

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 92376 entries, 0 to 92375
Data columns (total 7 columns):
 #   Column   Non-Null Count  Dtype  
--- 
 0   time     92376 non-null   float64
 1   gFx      92376 non-null   float64
 2   gFy      92376 non-null   float64
 3   gFz      92376 non-null   float64
 4   wx       92376 non-null   float64
 5   wy       92376 non-null   float64
 6   wz       92376 non-null   float64
dtypes: float64(7)
memory usage: 4.9 MB
```

Рис. 12. Інформація про датасет

Етап 2: Перевірка зібраних даних перед маркуванням у Label Studio

2.1) Перевірка стабільності частоти забору даних

Для полегшення виконання завдання та кращої структуризації коду було написано декілька функцій:

```
def get_measurement_time_df(df):
    """ A function for building a dataframe that contains information about the time of measurement of each reading of the device
    Args:
        1) df - a dataframe that contains a 'time' column
    Returns:
        time_measurement_df - dataframe that contains information about the time of measurement of each reading of the device
    """
    period_dict = {'start_time': [], 'end_time': [], 'measurement_time': []}
    prev_time = None
    curr_time = None
    for index, row in df.iterrows():
        if(index == len(df)):
            break

        prev_time = curr_time
        curr_time = row['time']

        if prev_time != None:
            period_dict['start_time'].append(prev_time)
            period_dict['end_time'].append(curr_time)
            period_dict['measurement_time'].append(curr_time - prev_time)

    time_measurement_df = pd.DataFrame.from_dict(period_dict)
    return time_measurement_df

def display_data_collection_stability(df):
    """A function that displays the stability of data collection relative to the time when the measurements were taken and
       relative to the measurement number
    Args:
        1) df - time_measurement_df
    """
    fig, axes = plt.subplots(2, 1, figsize=(15, 14))
    axes[0].plot(range(len(df[df['lost_data'] == 0])), df[df['lost_data'] == 0]['measurement_time'])
    axes[0].set_title(f'Stability of Data Collection (Filtered)\nAverage frequency: {freq:.3f} Hz')
    axes[0].set_xlabel('number of measurement')
    axes[0].set_ylabel('measurement time')

    axes[1].plot(df[df['lost_data'] == 0]['start_time'], df[df['lost_data'] == 0]['measurement_time'])
    axes[1].set_title(f'Stability of Data Collection (Filtered)\nAverage frequency: {freq:.3f} Hz')
    axes[1].set_xlabel('time of measurement')
    axes[1].set_ylabel('measurement time')

    plt.show()

def display_data_collection_stability_measurement_number(df):
    """A function that displays the stability of data collection relative to the measurement number
    Args:
        1) df - time_measurement_df
    """
    plt.figure(figsize=(12, 3))
    plt.plot(range(len(df[df['lost_data'] == 0])), df[df['lost_data'] == 0]['measurement_time'])
    plt.title(f'Stability of Data Collection (Filtered)\nAverage frequency: {freq:.3f} Hz')
    plt.xlabel('number of measurement')
    plt.ylabel('measurement time')

    plt.show()

def display_data_collection_stability_measurement_time(df):
    """A function that displays the stability of data collection relative to the time when the measurements were taken
    Args:
        1) df - time_measurement_df
    """
    plt.figure(figsize=(12, 3))
    plt.plot(time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 0]['start_time'],
             time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 0]['measurement_time'])
    plt.title(f'Stability of Data Collection (Filtered)\nAverage frequency: {freq:.3f} Hz')
    plt.xlabel('time of measurement')
    plt.ylabel('measurement time')

    plt.show()
```

Рис. 13. Функції для аналізу стабільності періоду і частоти забору даних

```
display_time_distribution(df=df['measurement_time'])
```

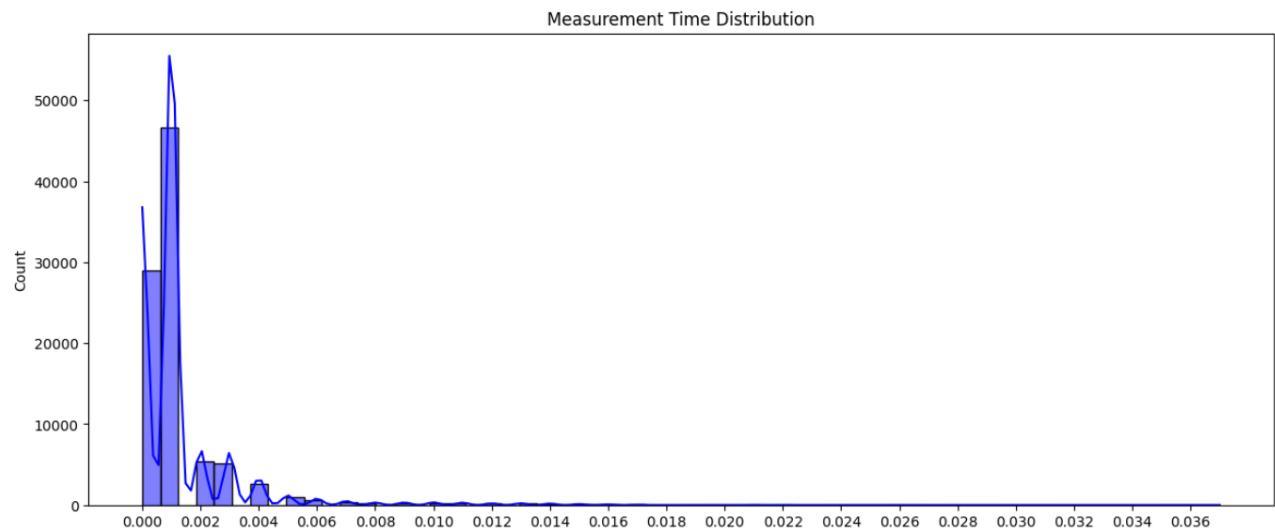


Рис. 14. Дослідження розподілу періоду забору даних

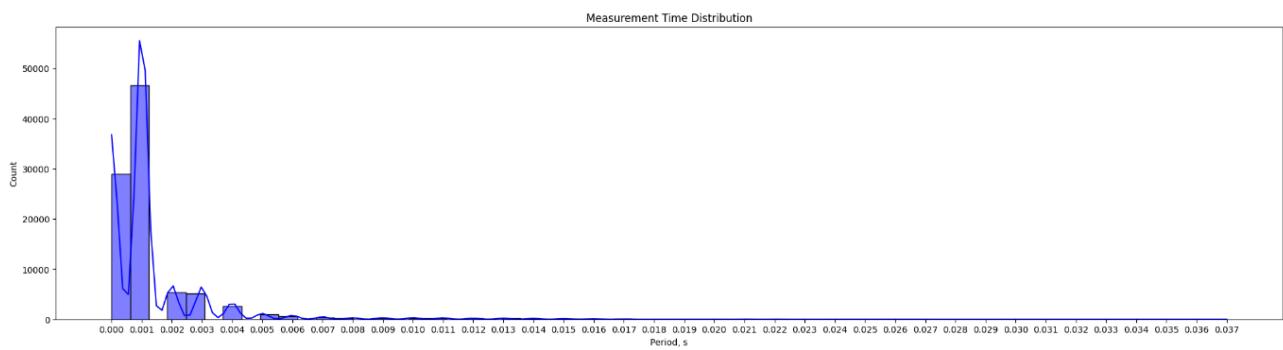


Рис. 15. Дослідження розподілу періоду забору даних (детальніший графік)

Розглянувши рис. 14 і рис. 15, можна зробити висновок, що більша частина даних записувалася приблизно 1 мс. Також порівняно невелика частина даних записувалася в діапазоні [2 мс; 12 мс].

Наступний графік підтверджує сказане вище.

```
plt.figure(figsize=(12, 3))
plt.title('Stability of Data Collection (Raw)\nAverage frequency: {freq:.3f} Hz')
plt.ylabel('measurement time, s')
sns.lineplot(x=range(len(time_measurement_df['measurement_time'])), y=time_measurement_df['measurement_time'])
plt.show()
```

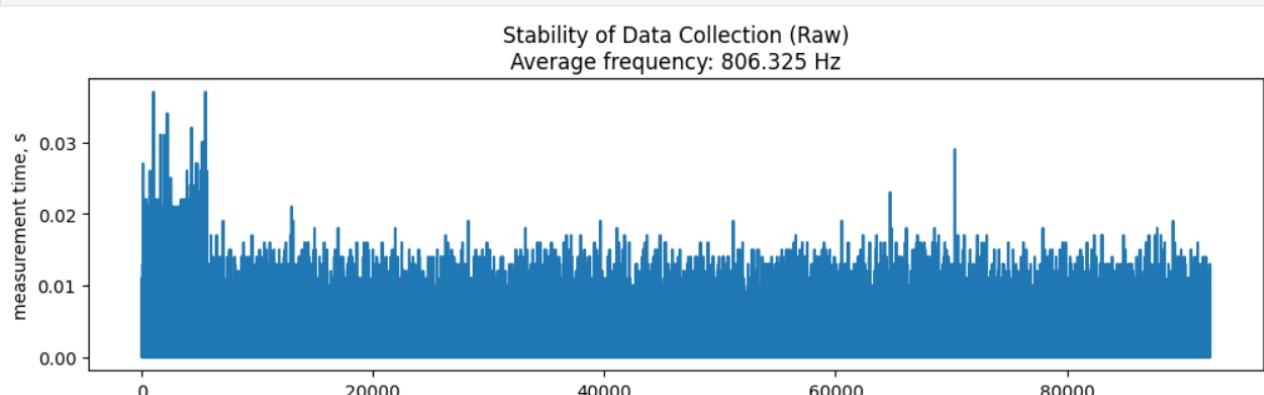


Рис. 16. Дослідження розподілу періоду забору даних

Було здійснено спробу визначити занадто довгі часові інтервали між вимірами (великі значення 'measurement_time'). Для цього до датафрейму time_measurement_df було додано новий стовпець - 'lost_data' і здійснено перевірку кількості вимірів із великим періодом ($T > 0.012$ с).

```
time_measurement_df['lost_data'] = time_measurement_df['measurement_time'].apply(lambda time: 1 if time > 0.012 else 0)
print(f"len(received_data) = {len(time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 0])}")
print(f"len(lost_data) = {len(time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 1])}")
print(f"Percentage of data lost to data received: "
      f"{np.round((len(time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 1]) / len(time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 0]) * 100, 2)}%")
print(f"Percentage of data lost to all data: "
      f"{np.round((len(time_measurement_df[time_measurement_df['lost_data'] == 1]) / len(time_measurement_df['lost_data']) * 100, 2)}%")

len(received_data) = 91654
len(lost_data) = 721
Percentage of data lost to data received: 0.79%
Percentage of data lost to all data: 0.78%
```

Рис. 17. Перевірка кількості замірів із великим періодом ($T > 0.012$ с)

Як бачимо із рис. 17, кількість вимірів із $T > 0.012$ с становить менше 1% від загальної кількості даних. Розглянемо розподіл таких вимірів відносно часу, коли вони були зроблені.

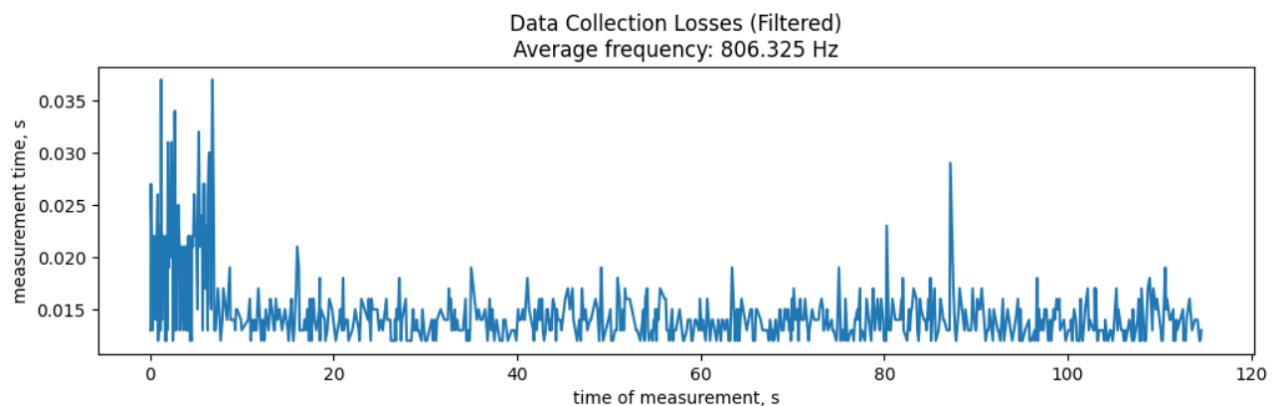


Рис. 18. Розподіл вимірів із великим періодом ($T > 0.012$ с)

Проаналізувавши рис. 14 і рис. 18, можна зробити такі висновки:

- 1) Середня частота дискретизації 806.325 Гц свідчить про те, що акселерометр і гіроскоп смартфона призначені для вибірки даних приблизно кожні 1,24 мс (1/806.325). Однак через обмеження апаратного забезпечення та точність позначок часу фактичні інтервали вибірки можуть дещо відрізнятися від запланованого значення. Невеликі варіації частоти дискретизації можуть привести до запису точок даних з періодами трохи довшими за 1 мс, що власне і спостерігається на рис. 14 і рис. 15, де певна частина вимірів зроблена з періодом [2 мс; 6 мс].
- 2) Наявність даних із періодом вимірювання понад 12 мс може бути пов'язана з перериванням процесу запису даних для виконання періодичних збережень або інших операцій. Зокрема, буферизація та

очищення: для оптимізації збереження даних можна використовувати механізми буферизації для збору даних пакетами перед записом у сховище. Періодично ці буфери очищаються, що призводить до пауз у процесі запису даних.

- 3) На рис. 18 добре видно, що протягом перших 10 с вимірювань період коливається [13 мс; 35 мс]. Пояснити це можна ініціалізацією та калібруванням датчиків: на початку збору даних датчики смартфона можуть проходити процеси ініціалізації та калібрування. Ці процеси можуть привести до тимчасових відхилень у вихідних даних і вплинути на точність відміток часу на початковому етапі вимірювання. Час калібрування та розігріву датчика може привести до більш тривалих періодів на початку вимірювання, перш ніж датчики стабілізуються.

Відобразимо розподіл періоду забору даних для $T \leq 12$ мс.

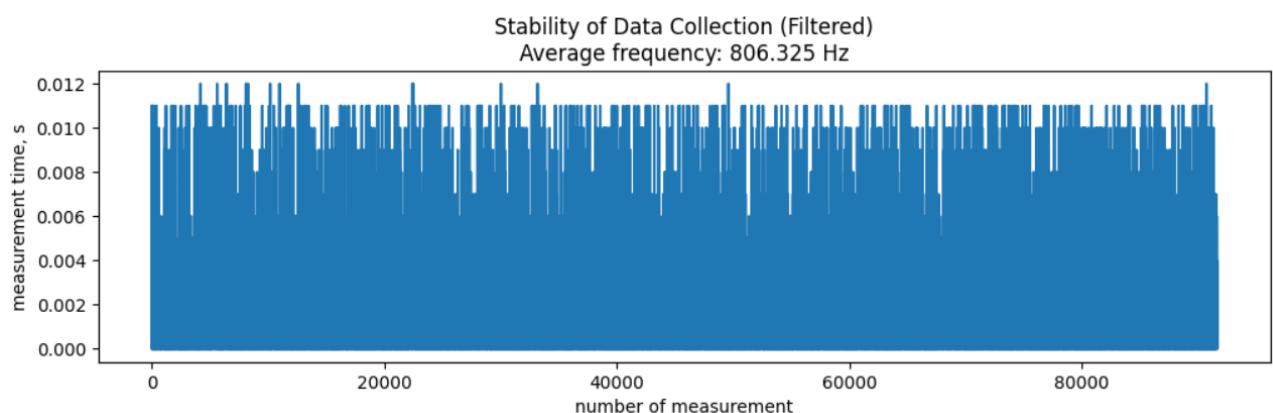


Рис. 19. Розподіл періоду забору даних

2.2) Перевірка адекватності сигналу

Для перевірки адекватності отриманих результатів було побудовано графіки сигналу для акселерометра та гіроскопа. Аналогічно, як і попереднього разу, для кращої структуризації коду та уникнення його дублювання були створені відповідні функції:

```
def display_three_axes(df, x, y, title=None, x_label=None, y_label=None):
    """ Function for visualization of three axes (X, Y, Z) of the measurement results of the device
    Args:
        1) df - a dataframe containing the results of the device measurement;
        2) x - the name of the column of the dataframe that contains the data for the OX axis (for the three lines, this is the same data);
        3) y - the list containing the dataframe column names corresponding to the OX, OY, and OZ axis measurements, respectively;
        4) title - title of the graph;
        5) x_label - the name of the OX axis of the graph;
        6) y_label - the name of the OY axis of the graph.
    Returns:
        Nothing, but plots graph
    """
    plt.figure(figsize=(12, 6))
    plt.plot(df[x], df[y[0]], label='X')
    plt.plot(df[x], df[y[1]], label='Y')
    plt.plot(df[x], df[y[2]], label='Z')
    plt.title(title)
    plt.xlabel(x_label)
    plt.ylabel(y_label)
    plt.legend()
    plt.show()
```

Рис. 20. Функція для відображення результатів вимірювань датчика

```
display_three_axes(df=df, x='time', y=['gFx', 'gFy', 'gFz'], title='Time Dependence of Linear Acceleration (Raw Data)',  
x_label='Time, s', y_label='Linear acceleration / g')
```

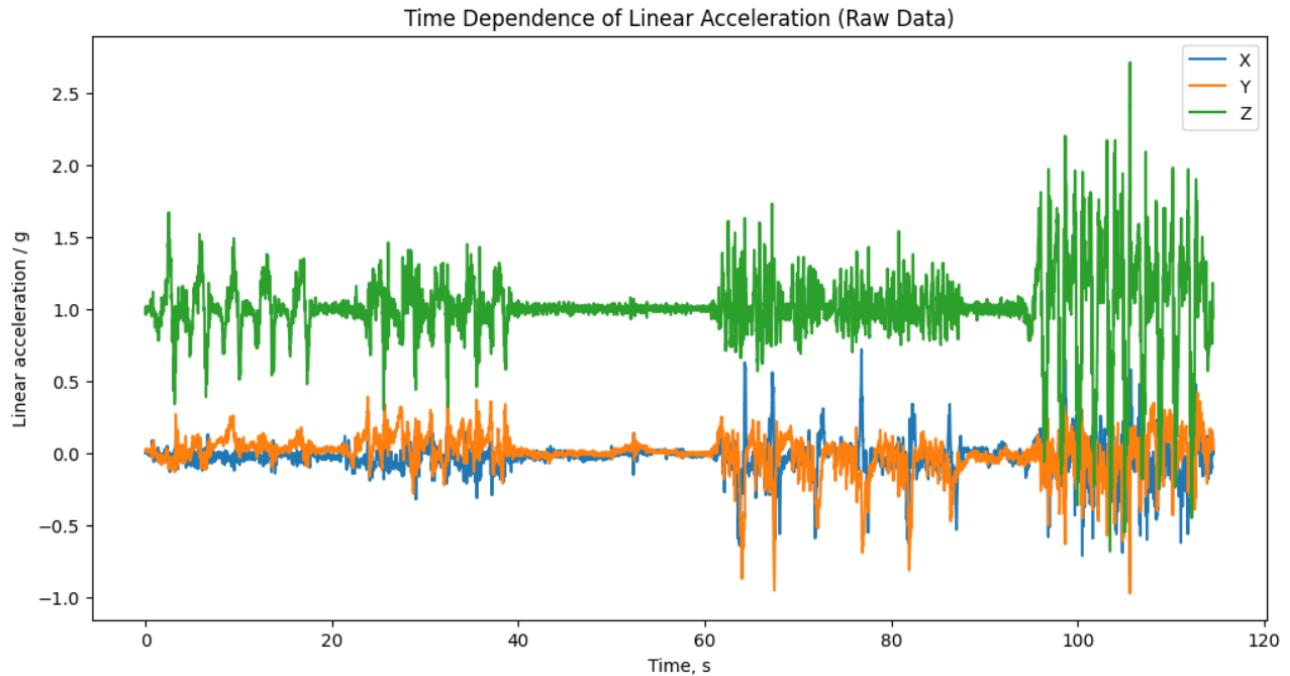


Рис. 21. Результати вимірювань акселерометра

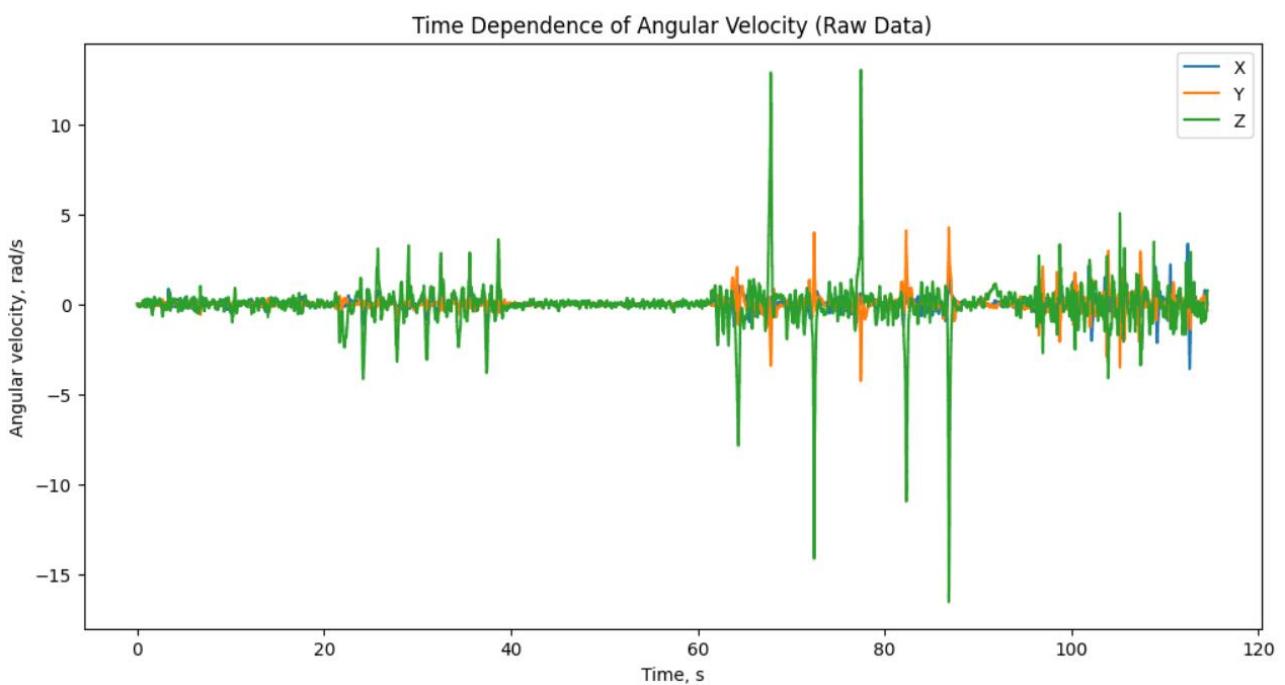
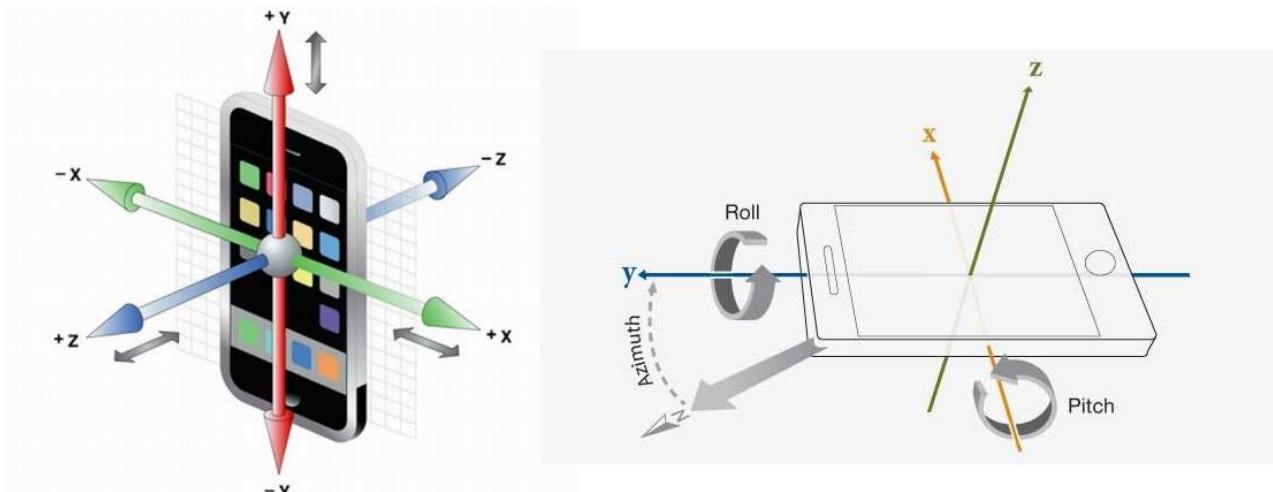


Рис. 22. Результати вимірювань гіроскопа

На рис. 23 наведено осі та принцип роботи акселерометра і гіроскопа на смартфонах. Саме цей рисунок використаємо для аналізу графіків акселерометра та гіроскопа, наведених на рис. 21 і рис. 22.



Акселерометр

Гіроскоп

Рис. 23. Оси акселерометра та гіроскопа у смартфонах

Під час виконання вправ я тримав смартфон у руці, тому вісь OZ була перпендикулярною до горизонталі.

- 1) *Присідання:* розглянемо часовий проміжок [0; 20] на графіках акселерометра та гіроскопа (рис. 21 і рис. 22 відповідно).

На графіку акселерометра чітко видно значні коливання по осі OZ, які відображають зміну прискорення в моменти присідання (прискорення зменшується до $\approx 0.75 - 0.8 \text{ g}$, в нижній точці, коли я присів, прискорення різко зростає до $\approx 1.5 \text{ g}$, оскільки швидкість різко змінюється до 0. В момент підйому швидкість знову зростає від 0 до певного значення, тому прискорення різко змінюється. На осіах OX та OY майже відсутні коливання. Спостерігається лише одне незначне коливання по осі OY, що швидше за все було викликане неправильною технікою виконання присідання (під час присідання я зігнув спину вперед, а не тримав її рівною). Проаналізувавши графік, можна підрахувати кількість присідань: було здійснено 5 присідань.

На графіку гіроскопа фактично відсутні коливання по всіх осіях, що є цілком очікуваним результатом, оскільки присідання не передбачають поворотів.

- 2) *Випади на кожну ногу:* часовий проміжок [20; 40].

На графіку акселерометра можна побачити значні коливання по осі OZ та OY, на осі OX коливань майже немає. На осі OZ коливання схожі на коливання під час присідань, адже механіка вправ по осі OZ доволі схожа (рис. 24). Однак за рахунок руху вперед та нахиляння спини, спостерігаються і коливання по осі OY.

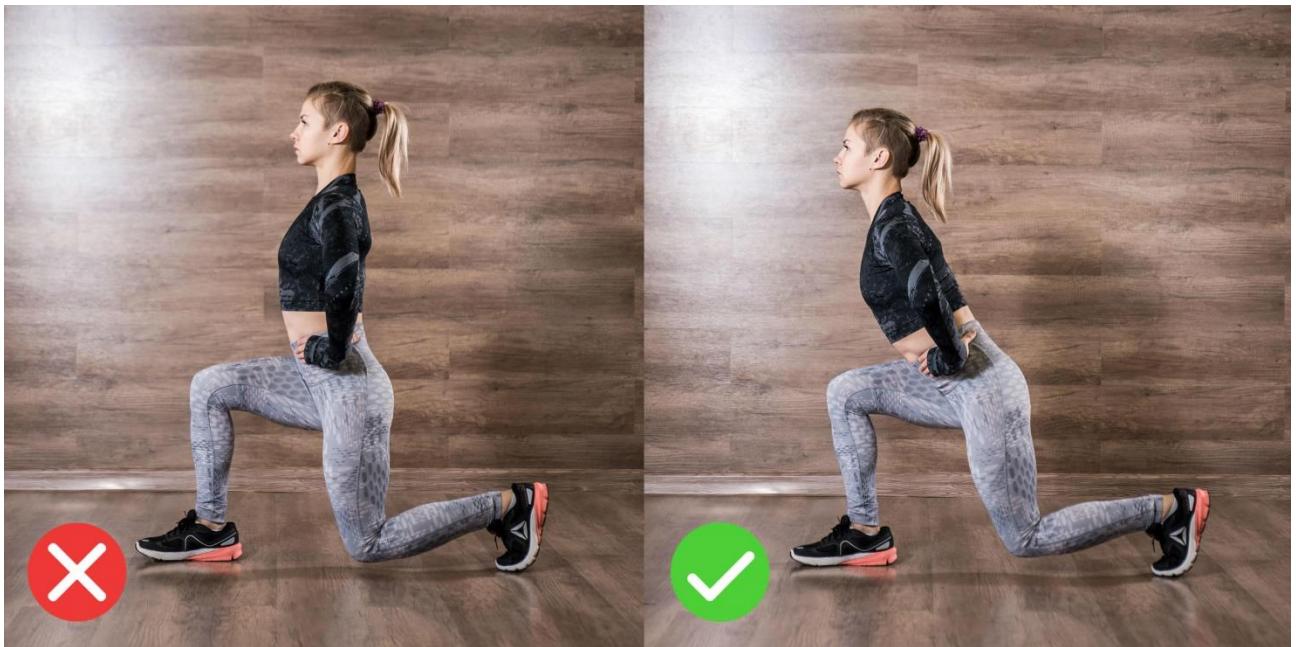


Рис. 24. Випади на кожну ногу

3) *Стояння на місці*: часовий проміжок [40; 60].

Відсутні коливання як на графіку акселерометра, так і гіроскопа.

4) *Ходьба по кімнаті з різкими поворотами на 180°*: часовий проміжок [60; 90].

На графіку акселерометра можна побачити значні коливання по всіх трьох осіах. Коливання по осі ОY можна пояснити набиранням швидкості після повороту та її скиданням під час зупинки (досягнення іншої сторони кімнати). Коливання на осі ОХ спричинені різким поворотом на 180° (швидкість по осі ОХ спочатку різко зростає від 0 до певного значення, а потім різко падає до 0). Наявність коливань на осі ОZ можна пояснити рухом руки вгору-вниз або нахилення смартфона під час ходьби, а тим більше під час різких поворотів.

На графіку гіроскопа на осі ОZ чітко вирізняються різкі повороти, внаслідок яких змінюється кутова швидкість смартфона, а також він набуває прискорення по осі ОХ. Наявність коливань на осі ОY гіроскопа підтверджує гіпотезу про те, що телефон зазнавав нахилів під час поворотів, тим самим впливаючи на величину прискорення по осі ОZ.

5) *Стрибки зі сторони в сторону*: часовий проміжок [95; 120].

На графіку акселерометра коливання на осі ОZ є набагато сильнішими, ніж усі попередні коливання на цій осі. Це пояснюється ще більшою/різкішою зміною швидкості під час стрибків, ніж, наприклад, під час присідань. Варто також врахувати і той факт, що смартфон знаходився в руці. Це посприяло наявності прискорення не лише на осі

OZ, але й на осі OY (під час стрибка руки висуваються вперед). Коливання по осі OX пояснюються тим, що стрибки відбувалися вліво та вправо.

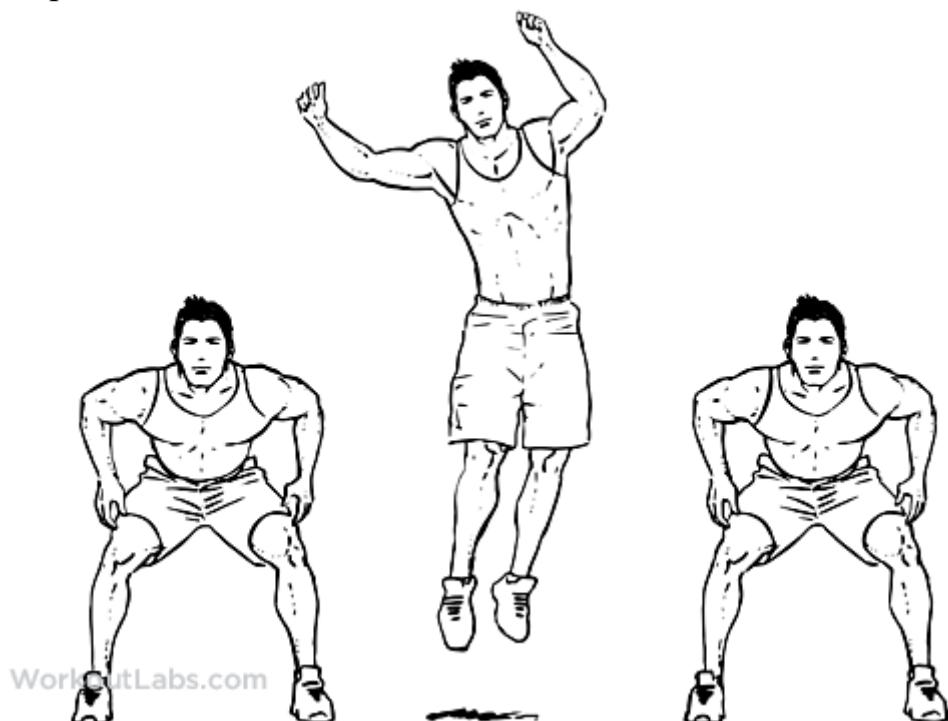


Рис. 26. Стрибки із сторони в сторону

Етап 3: Маркування сигналів у Label Studio

Переконавшись у тому, що отримані результати є більш-менш адекватними і їх можна пояснити, я здійснив маркування сигналів у Label Studio відповідно до описаних раніше часових проміжків.

Варто зазначити, що було виділено не 5, а 6 видів активності (я вирішив позначити поворот як окремий вид фізичної активності).

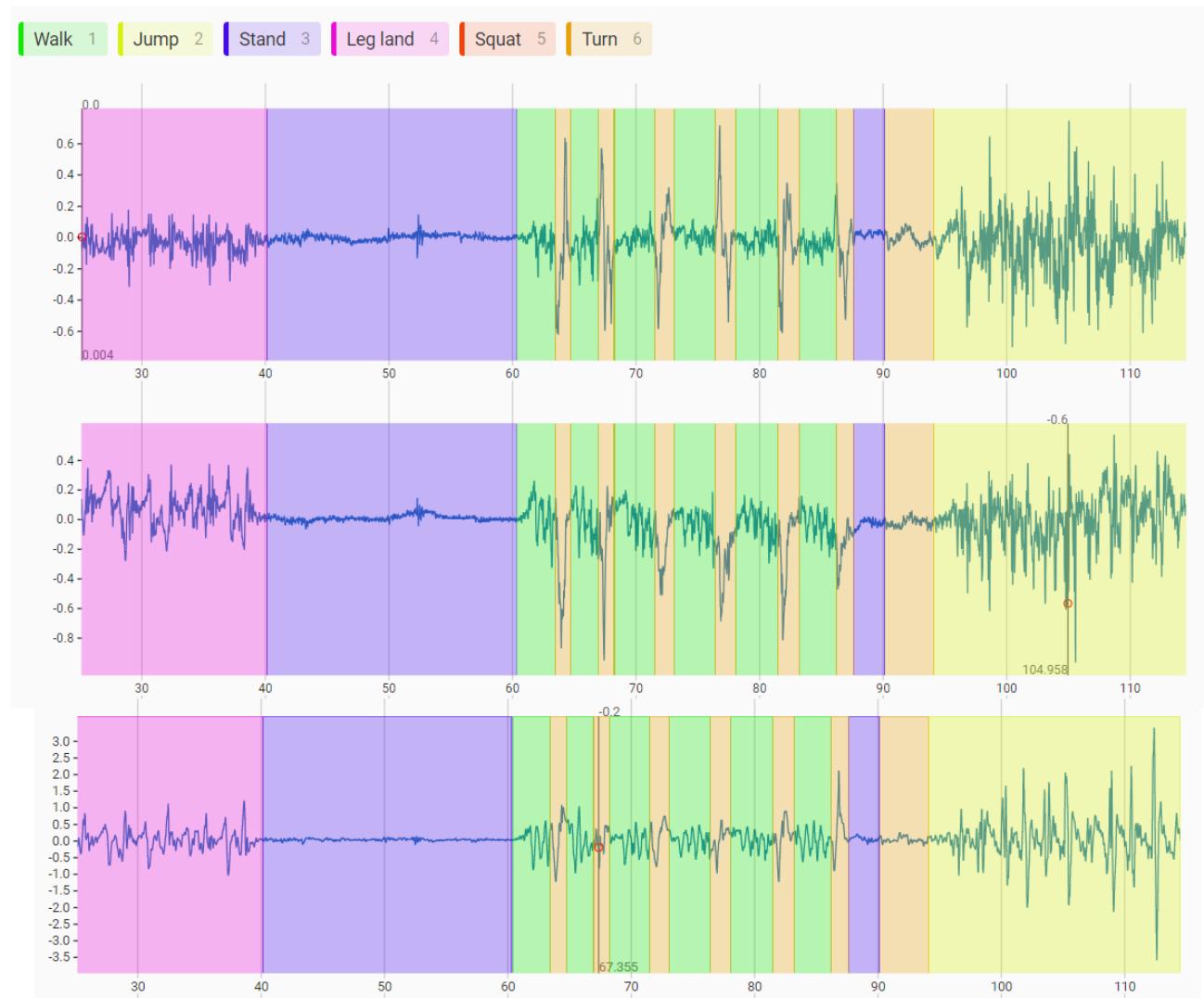


Рис. 27. Промарковані сигнали для акселерометра

Етап 4: Частотний аналіз спектру сигналу

Для частотного аналізу спектру сигналу використано швидке перетворення Фур'є (Fast Fourier Transform - FFT). Бібліотека **scipy** містить функції `fft` та `fftfreq`.

Було створено функцію `show_freq_distribution`, яка відображає спектр частот сигналу для вказаного стовпця вхідного датафрейму.

```
def show_freq_distribution(df_arg, signal_column, sampling_rate, is_divided_by_g=False):
    """ A function for displaying a frequency distribution (spectral analysis) for the specified axis
    Args:
        1) df_arg - a dataframe that contains the required data
        2) signal_column - a column that contains data for the specified axis
        3) sampling_rate - actual sampling rate of your dataset (samples per second)
        4) is_divided_by_g - the content of the column was divided by the free fall acceleration g (g=9.81)
    """
    signal = df_arg[signal_column]
    signal = np.array(signal)

    if is_divided_by_g:
        signal = signal * 9.81

    fft_result = fft(signal)

    # Calculate the corresponding frequencies for the FFT result
    freqs = fftfreq(len(signal), 1 / sampling_rate)

    # Plot the magnitude of the frequency spectrum
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.plot(freqs, np.abs(fft_result))
    plt.xlabel('Frequency (Hz)')
    plt.ylabel('Magnitude')
    plt.title(f'Frequency Spectrum Analysis {signal_column}')
    plt.grid()

    plt.show()
```

Рис. 28. Функція для відображення спектру сигналу

Розглянемо, наприклад, результат виконання цієї функції для осі ОХ акселерометра (рис. 29).

```
show_freq_distribution(df_arg=df, signal_column='gFx', sampling_rate=806.325, is_divided_by_g=True)
```

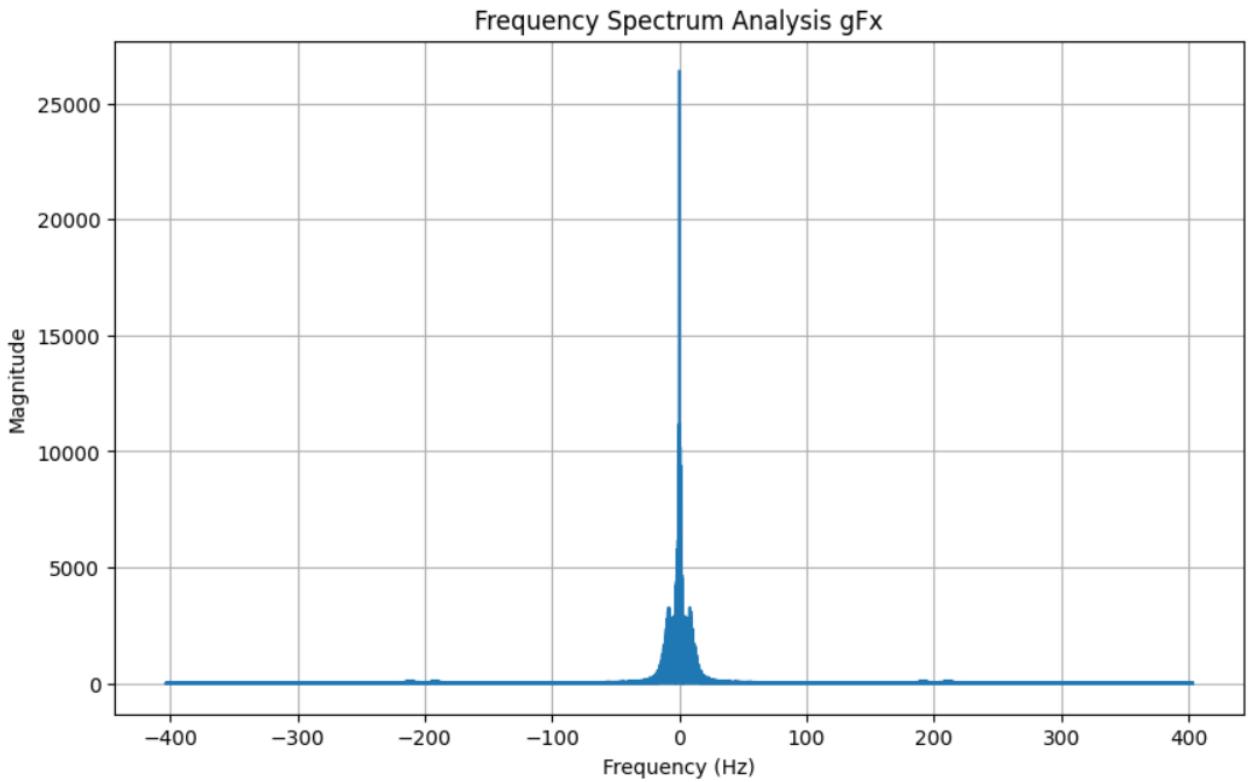


Рис. 29. Частотний аналіз спектру сигналу для осі ОХ акселерометра

Частотний аналіз сигналу акселерометра вздовж осі ОХ виявив цікаві закономірності, які можна детально проаналізувати. Наявність різних значень величини в певних частотних діапазонах вказує на різні характеристики виконуваних фізичних навантажень:

- Пік при 0 Гц (абсолютне значення ≈ 26000) вказує на наявність сильного постійного або майже постійного компонента в сигналі акселерометра. У цьому випадку це свідчить про існування статичного або квазистатичного компонента під час фізичних навантажень. У даних акселерометра зазвичай спостерігається значна складова постійного струму, коли пристрій перебуває в стані спокою або під час малорухомої діяльності (наприклад, стояння на місці, ходьба, присідання).
- Значення при $[-15; 0]$ і $[0, 15]$: магнітуда становить приблизно 3000.

Інтерпретація: наявність відносно високих значень величини в діапазоні частот близько 0 Гц ($[-15; 0]$ і $[0, 15]$) свідчить про наявність низькочастотних компонентів у сигналі акселерометра. Ці низькочастотні компоненти можуть бути пов'язані з повільними або періодичними рухами з більшою тривалістю. Наприклад, випади, ходьба з різкими поворотами або стрибки з боку в бік можуть сприяти появи цих низькочастотних компонентів.

- Низькі значення абсолютної величини на вищих частотах ($[-400; -15]$ і $[15, 400]$) вказують на відсутність швидких або раптових змін руху на осі OX в аналізованих видах діяльності.

```
show_freq_distribution(df_arg=df, signal_column='gFy', sampling_rate=806.325, is_divided_by_g=True)
```

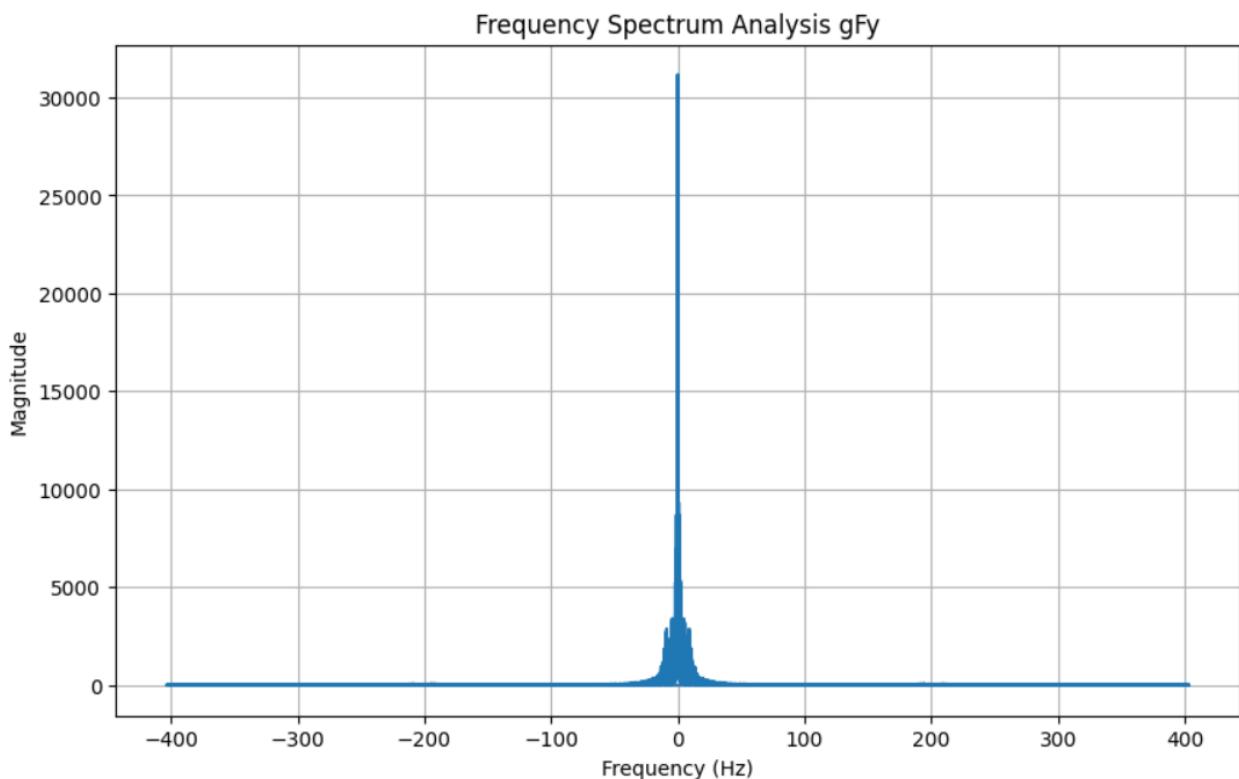


Рис. 30. Частотний аналіз спектру сигналу для осі OY акселерометра

Як бачимо із рис. 29 та рис. 30, графік розподілу частот для осі OY акселерометра майже такий самий, як і для осі OX. Звідси можна зробити такі висновки:

- 1) Наявність піку при 0 Гц як на графіках осі OX, так і на OY вказує на наявність значної постійної або майже постійної складової в синалах акселерометра, яка є типовою під час нерухомих дій, таких як стояння на місці або присідання.
- 2) Різниця в пікових значеннях величини між осями OX і OY (26000 для OX і 31000 для OY) може бути пов'язана з відмінностями у величині прискорень, які наявні вздовж кожної осі під час фізичних навантажень. Вісь OY може мати дещо вищі прискорення порівняно з віссю OX під час тих самих дій, що призводить до різниці в пікових значеннях величини.

```
show_freq_distribution(df_arg=df, signal_column='gFz', sampling_rate=806.325, is_divided_by_g=True)
```

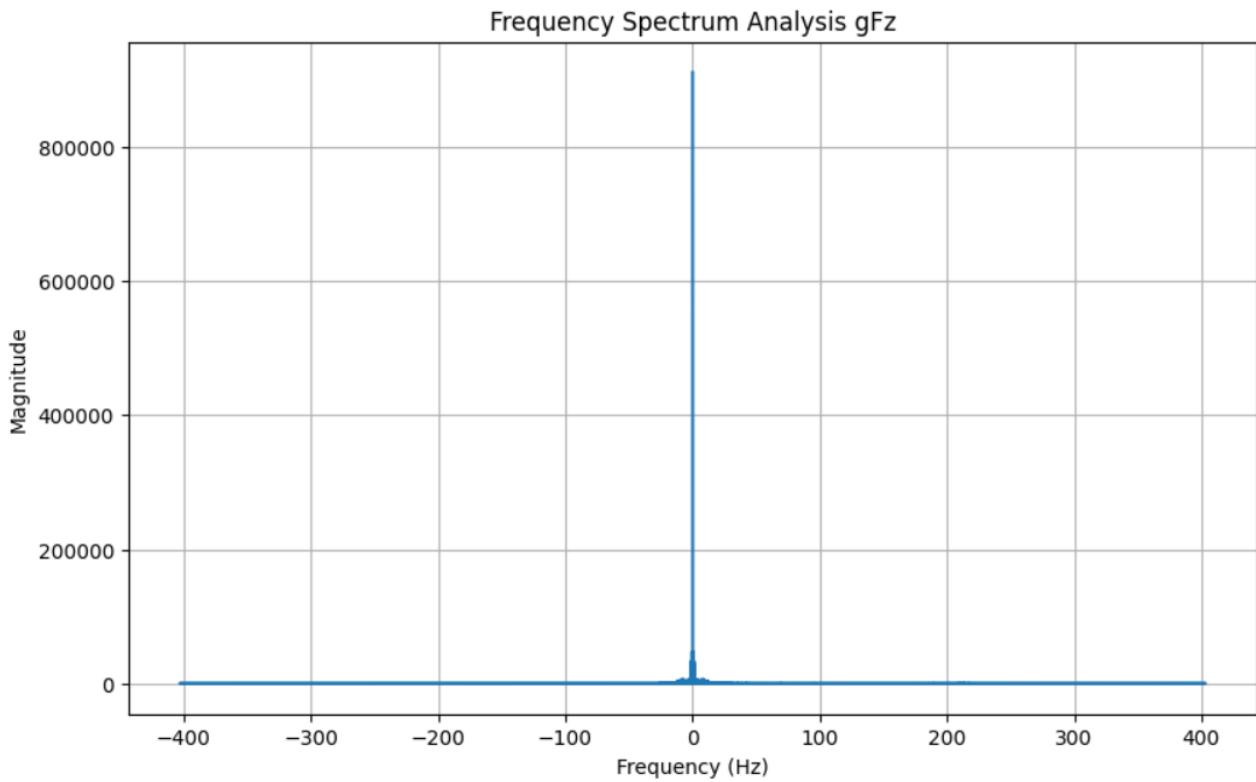


Рис. 31. Частотний аналіз спектру сигналу для осі OZ акселерометра

Проаналізувавши графік частотного розподілу (рис. 31) для осі OZ акселерометра, можна зазначити:

- 1) Пік при 0 Гц (компонент постійного струму):

Подібно до осей OX і OY, наявність піку при 0 Гц на графіку частотного аналізу осі OZ вказує на наявність значної постійної або майже постійної складової в синалах акселерометра. Цей пік представляє статичну або квазістатичну складову прискорення, яка є загальною під час нерухомих або малорухомих дій, таких як стояння на місці або присідання.

- 2) Пікова магнітуда при 90000:

Пікове значення 90000 свідчить про наявність значного постійного або низькочастотного компонента вздовж осі OZ під час записаних дій. Ця висока пікова величина вказує на домінуючу низькочастотну поведінку в сигналі прискорення вздовж осі OZ.

- 3) Значення величини 1000 у діапазонах [-10, 0] і [0, 10] вказують на наявність коливань або руху з частотами, близькими до 0 Гц, але відмінними від компонента постійного струму.

Ці значення величини можуть відповідати невеликим коливанням або рухам навколо середнього положення, ймовірно, спричиненим змінами пози та положення тіла.

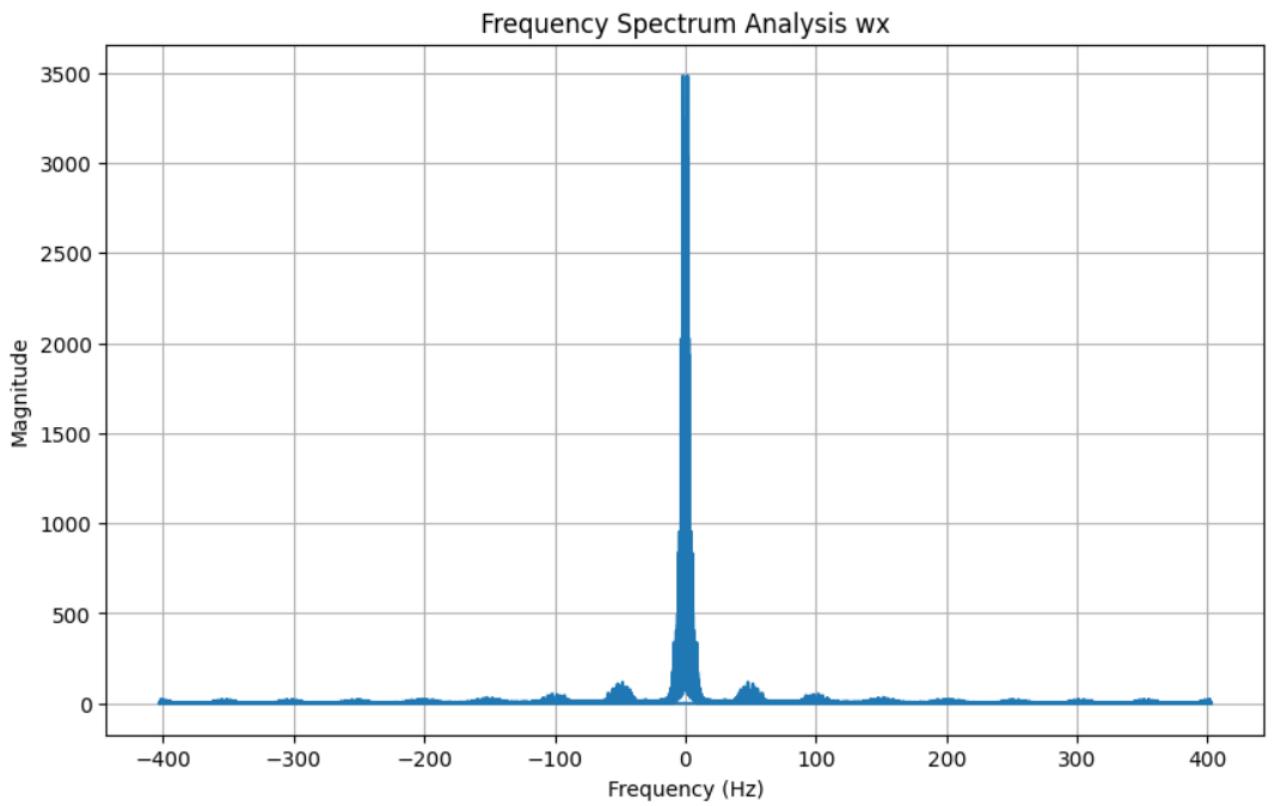


Рис. 32. Частотний аналіз спектру сигналу для осі OX гіроскопа

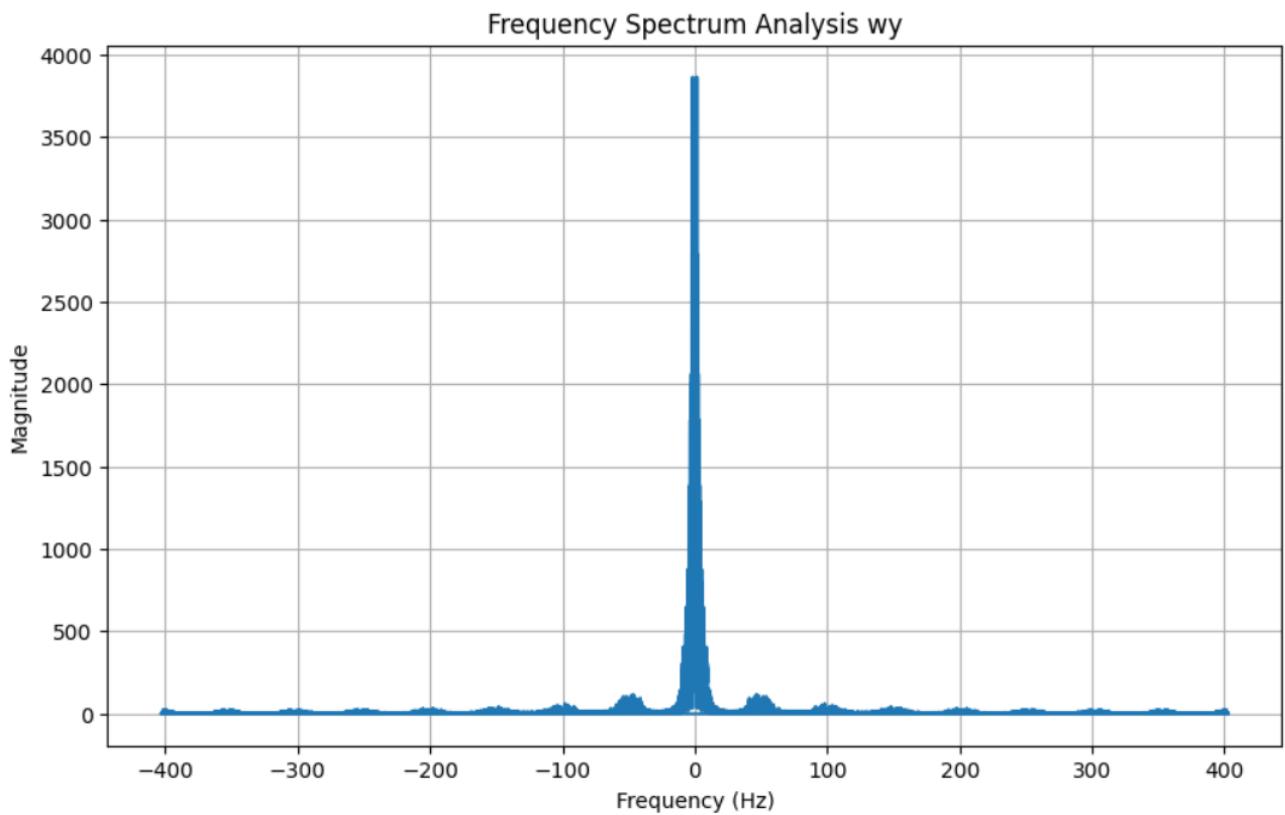


Рис. 33. Частотний аналіз спектру сигналу для осі OY гіроскопа

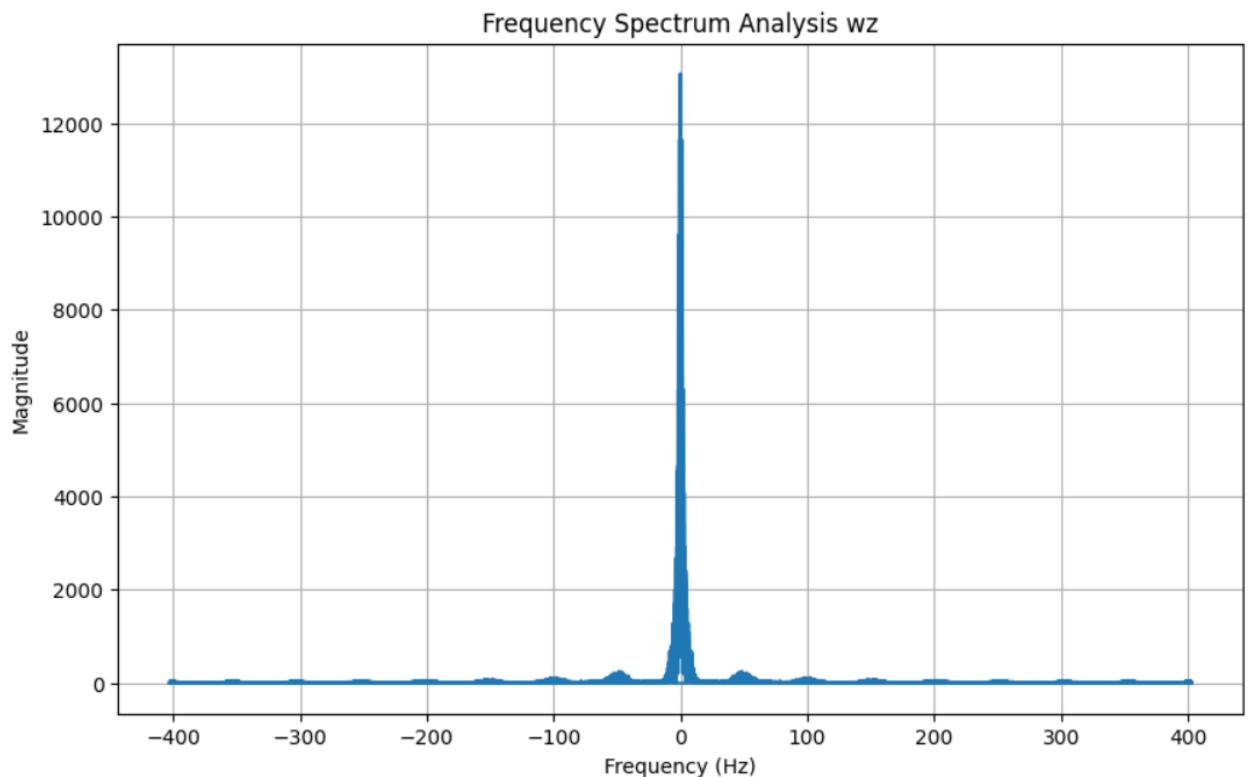


Рис. 34. Частотний аналіз спектру сигналу для осі OZ гіроскопа

Також проведено частотний аналіз для кожного типу фізичної активності з використанням швидке перетворення Фур'є.

Було створено функції *display_activity_freq_spectrum_one_axes*, яка відображає спектр частот сигналу для вказаного типу фізичної активності лише для однієї осі (OX, OY або OZ) та *display_activity_freq_spectrum*, яка відображає спектр частот сигналу для вказаного типу фізичної активності для трьох осей (OX, OY та OZ).

```

def display_activity_freq_spectrum_one_axes(df, activity_name, axes_name, sampling_rate, is_divided_by_g=False, x_lim=10, color='blue'):
    """ Function to display the frequency spectrum of the specified type of activity on the OX, OY and OZ axes for the specified device
    (accelerometer or gyroscope)
    Args:
        1) df - a dataframe that contains the results of accelerometer and gyroscope measurements
        2) activity_name - selected activity type (among the values of the 'activity' column of df)
        3) axes_name - the column name of the dataframe df that contain the measurement results for the OX, OY, or OZ axes
        4) sampling_rate - actual sampling rate of your dataset (samples per second)
        5) is_divided_by_g - True if the content of the column was divided by the free fall acceleration g (g=9.81 m/s^2)
        6) x_lim - the limits of the graph along the OX axis are [-x_lim; x_lim]
        7) color - the color of the graph
    """
    activity_data = df[df['activity'] == activity_name]

    signal = np.array(activity_data[axes_name])

    if is_divided_by_g:
        signal *= 9.81

    fft_result = fft(signal)

    fft_freqs = fftfreq(len(activity_data), 1/sampling_rate)

    fig = plt.figure(figsize=(12, 5))
    axes = fig.add_axes([0.1, 0.1, 1, 1])
    axes.plot(fft_freqs, np.abs(fft_result), color=color)
    axes.set_title(f'{activity_name} {axes_name}')

    axes.set_xlabel('Frequency (Hz)')
    axes.set_xlim(-x_lim, x_lim)
    axes.set_ylabel('Amplitude')
    axes.grid(alpha=0.5)

    plt.show()

```

Рис. 35. Функція для відображення спектру сигналу певного типу активності (одна вісь)

```

def display_activity_freq_spectrum(df, activity_name, axes_names, sampling_rate, is_divided_by_g=False, x_lim=10):
    """ Function to display the frequency spectrum of the specified type of activity on the OX, OY and OZ axes for the specified device
    (accelerometer or gyroscope)
    Args:
        1) df - a dataframe that contains the results of accelerometer and gyroscope measurements
        2) activity_name - selected activity type (among the values of the 'activity' column of df)
        3) axes_names - an array containing the column names of the dataframe df that contain the measurement results for the OX, OY, and OZ axes,
        respectively
        4) sampling_rate - actual sampling rate of your dataset (samples per second)
        5) is_divided_by_g - True if the content of the column was divided by the free fall acceleration g (g=9.81 m/s^2)
        6) x_lim - the limits of the graph along the OX axis are [-x_lim; x_lim]
    """
    activity_data = df[df['activity'] == activity_name]

    signal_x = np.array(activity_data[axes_names[0]])
    signal_y = np.array(activity_data[axes_names[1]])
    signal_z = np.array(activity_data[axes_names[2]])

    if is_divided_by_g:
        signal_x *= 9.81
        signal_y *= 9.81
        signal_z *= 9.81

    fft_x = fft(signal_x)
    fft_y = fft(signal_y)
    fft_z = fft(signal_z)

    fft_freqs = fftfreq(len(activity_data), 1/sampling_rate)

    fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(12, 4))
    axes[0].plot(fft_freqs, np.abs(fft_x), label='X', color='blue')
    axes[0].set_title(f'{activity_name} {axes_names[0]}')

    axes[1].plot(fft_freqs, np.abs(fft_y), label='Y', color='yellow')
    axes[1].set_title(f'{activity_name} {axes_names[1]}')

    axes[2].plot(fft_freqs, np.abs(fft_z), label='Z', color='green')
    axes[2].set_title(f'{activity_name} {axes_names[2]}')

    for ax in axes:
        ax.set_xlabel('Frequency (Hz)')
        ax.set_xlim(-x_lim, x_lim)
        ax.set_ylabel('Amplitude')
        ax.grid(alpha=0.5)
        ax.legend()

    plt.tight_layout()
    plt.show()

```

Рис. 36. Функція для відображення спектру сигналу певного типу активності (три осі)

```

activities = df['activity'].unique()
for activity in activities:
    display_activity_freq_spectra(df=df, activity_name=activity, axes_names=['gFx', 'gFy', 'gFz'],
                                   sampling_rate=1.0 / df['time'].diff().mean(),
                                   is_divided_by_g=True)

```

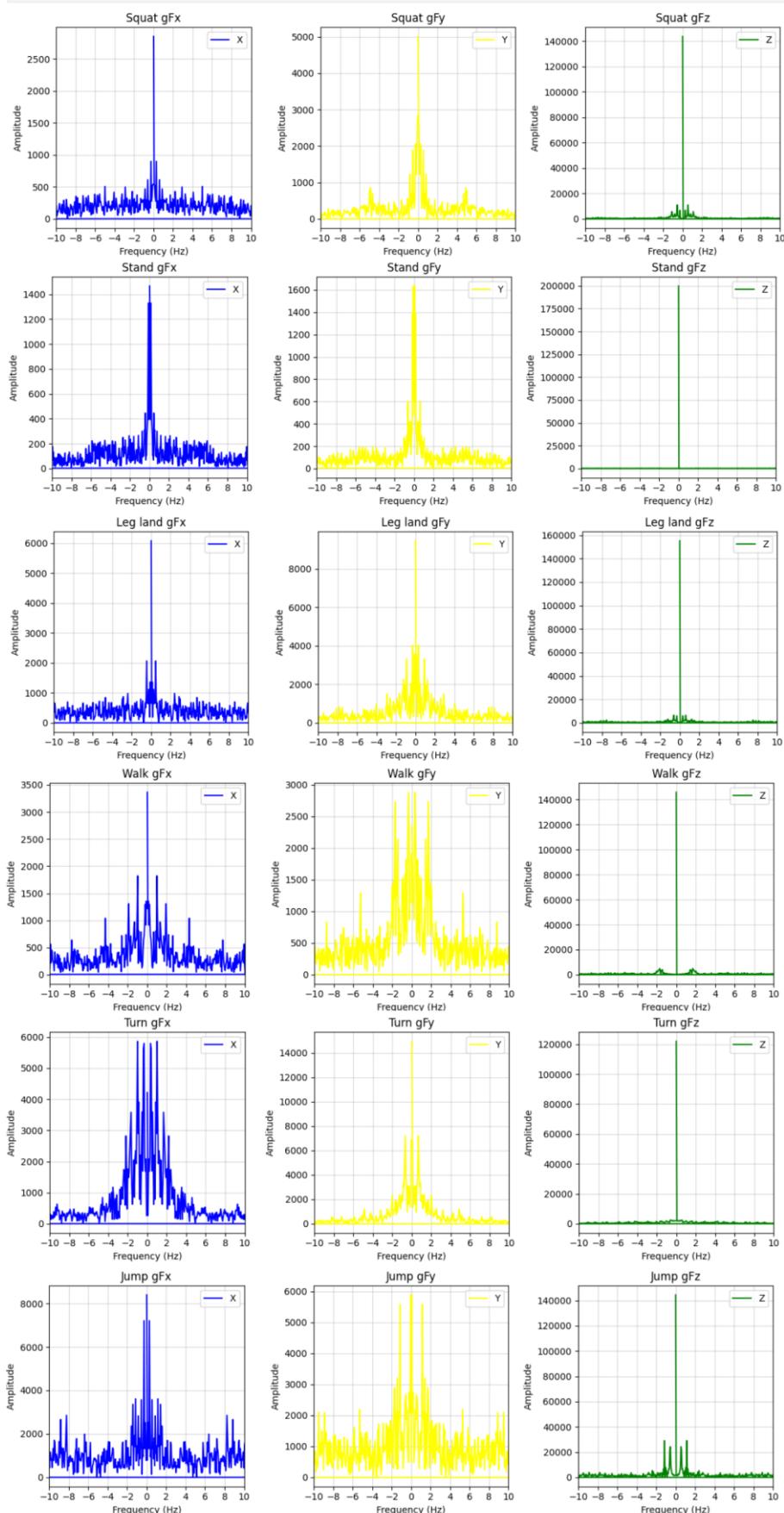


Рис. 37. Частотний спектр для кожного типу активності (акселерометр)

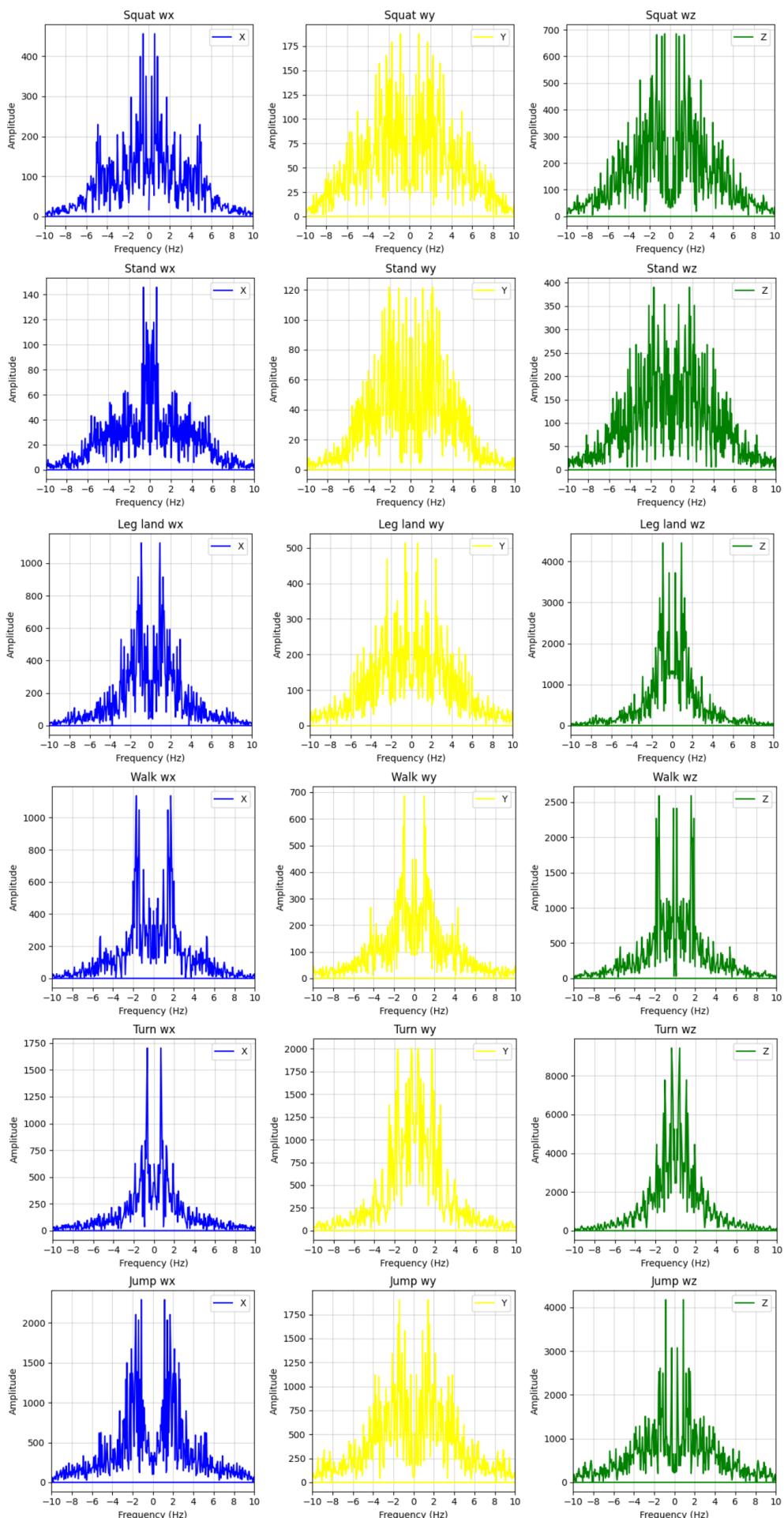


Рис. 38. Частотний спектр для кожного типу активності (гіроскоп)

Розглянувши рис. 37 і рис. 38, можна зробити такі висновки щодо різних типів фізичних активностей:

- 1) **Присідання:** незначні коливання по осі OX та OY акселерометра свідчать про відсутність прискорення в цих напрямках і можуть бути викликані шумами або тримтінням руки під час виконання цієї вправи. По осі OY спостерігається також наявність частоти ± 5 Гц, що могло бути зумовленим неправильною технікою виконання присідання (під час присідання я зігнув спину вперед, а не тримав її рівною), що підтверджується висновком для рис. 21. На осі OZ акселерометра також спостерігається частота ± 1 Гц із амплітудою ≈ 10000 , яка характеризує наявність вертикальних рухів. Для гіроскопа наявні коливання в діапазоні [-10; 10] Гц, які проте мають невелику амплітуду (трохи більшу, ніж під час стояння). Це вказує на відсутність кутової швидкості, а отримані значення можна пояснити незначними рухами (поворотами) руки під час присідання.
- 2) **Стояння:** пікові значення амплітуди становлять 0 Гц для всіх трьох осей. Для осей OX та OY акселерометра пікові значення амплітуди є незначними (1400 і 1600 відповідно) і можуть бути викликані тримтінням руки. Вісь OZ має значно більше пікове значення амплітуди – 200000, спричинене наявністю прискорення вільного падіння. Однак, для осі OZ акселерометра можна виділити лише один стовпець (0 Гц), інші частоти відсутні. Частоти гіроскопа мають незначні амплітуди, що свідчить про невеликі коливання.
- 3) **Випади на кожну ногу:** на осі OX акселерометра окрім пікової амплітуди на частоті 0 Гц спостерігаються також значні амплітуди (понад 2000) для частот ± 0.5 Гц. Пояснити такі результати можна рухами руки вправо-вліво під час виконання випадів на різні ноги. На осіах OY та OZ також наявні великі амплітуди (понад 3000 та 5000 відповідно) для частот ± 0.5 Гц. Такі показники зумовлені технікою виконання вправи, яку наведено на рис. 24. Для даних гіроскопа можна виділити значні коливання на осі OZ із амплітудою понад 4000, що знову ж таки можна пояснити поворотами телефону у руці під час виконання вправи.
- 4) **Ходьба:** для осі OY акселерометра пікові значення лежать в діапазоні [-2; 2] Гц, що вказує на наявність прискорення в цьому напрямку. Наявність невеликих коливань для частот ± 2 Гц, очевидно, можуть бути спричинені рухами руки вгору-вниз, коли робиться крок. Результати гіроскопа можна пояснити невеликими поворотами телефона у руці під час ходьби.

- 5) Різкі повороти на 180° :** вісь OX акселерометра характеризується наявністю пікових значень амплітуд на діапазоні [-1; 1] Гц, що вказує на наявність прискорення по цій осі під час поворотів. Результати на осі OY акселерометра можна пояснити тим, що безпосередньо після повороту я починаю іти вперед, що сприяло різкій зміні швидкості від 0 до певного значення. Для даних гіроскопа спостерігається домінування осі OZ, пікові значення якої лежать в діапазоні [-1; 1] (кутова швидкість набирається за рахунок різкого повороту на 180°).
- 6) Стрибки зі сторони в сторону:** значні значення амплітуди в діапазоні [-2; 2] Гц для осей OX, OY та OZ акселерометра свідчать про наявність швидких рухів: для осі OX – оскільки стрибки відбувалися зліва направо і навпаки (стрибки в боки), для осі OY – під час стрибків руки виводилися вперед, для осі OZ – стрибки спричиняли вертикальний рух. Покази гіроскопа пояснюються активними рухами рук під час виконання стрибків.

Висновки

На власний смартфон було зібрано датасет із даними акселерометра (g-Force) та гіроскопа для таких видів активностей:

- 1) Присідання;
- 2) Випади на кожну ногу;
- 3) Стояння на місці;
- 4) Ходьба по кімнаті із різкими поворотами на 180° ;
- 5) Стрибики із сторони в сторону.

Зібраний датасет містить 92376 рядків із даними акселерометра та гіроскопа. Середня частота вимірювання становила 806.325 Гц, вимірювання проводилися протягом 115 с (майже 2 хв).

В ході аналізу частоти забору даних було виявлено, що більша частина даних записувалася приблизно 1 мс. Також порівняно невелика частина даних записувалася в діапазоні [2 мс; 12 мс]. Кількість вимірів із $T > 0.012$ с становить менше 1% (0.78%) від загальної кількості даних, що свідчить про відносну стабільність забору даних.

Перед безпосереднім маркуванням сигналів у Label Studio спочатку було здійснено перевірку адекватності сигналу в Jupyter Notebook шляхом візуалізації та аналізу отриманих результатів.

Під час маркування даних у Label Studio окрім вищезгаданих 5 фізичних активностей також було виокремлено 'поворот' як окремий вид діяльності.

Також було проведено частотний аналіз спектру сигналу з допомогою швидкого перетворення Фур'є, в результаті якого зроблено висновок про переважання низькочастотних сигналів та домінуючу низькочастотну поведінку в сигналі прискорення акселерометра вздовж осі OZ. Аналогічний висновок було зроблено і для гіроскопа. Окрім того, проаналізовано частотні спектри для різних типів фізичних активностей, здійснено аналіз та пояснення отриманих результатів.