1. Запустити код, пояснити суть і зображення (2)  
   Цей код аналізує аудіофайл і виводить дві спектрограми сигналу: одну, згенеровану за допомогою вбудованої функції з бібліотеки SciPy, а іншу — через ручну реалізацію. Спектрограма показує, як частотний вміст сигналу змінюється з часом.

* Спектрограма — це зручний спосіб аналізу частотного складу сигналу в часі.
* Скориставшись SciPy: можна швидко побудувати спектрограму.
* Ручний підхід: допомагає краще зрозуміти, як працюють вікна, перетворення Фур'є та інші обчислювальні аспекти.
* Синій колір означає слабкі частоти. Зазвичай це шум.
* Жовтий або білий колір — сильні частоти. Або ще їх можна назвати корисними частотами, тобто це ті частоти які нам можуть знадобитися і містять в собі корисну інформацію.

1. Пояснити всі блоки, що і для чого робиться (2)

Fs, sig = wav.read('./XC403881.wav')

* Fs — частота дискретизації (кількість зразків на секунду) , необхідну для коректної обробки та аналізу сигналу.
* sig — сам сигнал що містить числові значення амплітуд сигналу на кожному відрізку часу. Він є основою для подальшої обробки.

# Довжина сигналу

sig\_len = len(sig)

# Визначаємо довжину в секундах

sec = sig\_len / Fs

* sig\_len дає кількість зразків у сигналу, що необхідно для обчислення тривалості сигналу в секундах.
* Тривалість (sec) потрібна для правильної побудови осі часу на спектрограмі. Це допомагає інтерпретувати результати спектрограми та точніше розуміти, як сигнал змінюється з часом.

# Створюємо перший графік (спектрограма через scipy)

plt.figure(figsize=(10, 5))

plt.subplot(1, 2, 1)  # Створюємо область для першого графіка

f, t, Sxx = spectrogram(sig, Fs, window='hann', nperseg=1000, noverlap=500, scaling='spectrum')

plt.pcolormesh(t, f, 10 \* np.log10(Sxx), shading='gouraud')

plt.title('Scipy Spectrogram')

plt.ylabel('Frequency [Hz]')

plt.xlabel('Time [sec]')

plt.colorbar(label='dB')

Будуємо спектрограму за допомогою функцій з бібліотек.

* spectrogram() обчислює спектрограму, що показує, як інтенсивність сигналу розподіляється по частотах і часу.
* Визуалізація цієї інформації дозволяє зрозуміти, як енергія сигналу змінюється з часом і на яких частотах вона присутня.
* Це корисно для аналізу аудіофайлів у таких випадках, як виявлення змін у спектрі, шуми, музичні елементи тощо.

# Довжина вікна

wndw\_sz = 1000

# Величина перекриття

overlap\_sz = round(wndw\_sz / 2)

# Точки в сигналі де буде вікно Ганна

wndw\_pts = np.arange(0, sig\_len - wndw\_sz, wndw\_sz - overlap\_sz)

# Масив в якому будуть зберігатись перетворення Фур'є вікон

spgram = np.zeros((wndw\_sz, len(wndw\_pts)), dtype=np.complex64)

# Функція Ганна по величині вікна

hann\_func = hann(wndw\_sz)

* Цей блок визначає розміри вікон для обчислення спектрограми вручну.
* wndw\_sz задає розмір кожного вікна для короткочасного перетворення Фур'є (STFT)
* overlap\_sz визначає, на скільки зразків вікна будуть перекриватися.
* Віконна функція Ханна (яка згладжує краю сигналу) допомагає уникнути спотворень в результатах спектрального аналізу.

# Проходимо по сигналу і робимо перетворення Фур'є в кожному вікні і зберігаємо в матрицю

for i, pt in enumerate(wndw\_pts):

    windowed\_signal = sig[pt:pt + wndw\_sz] \* hann\_func

    spgram[:, i] = np.fft.fft(windowed\_signal)

Обчислення перетворення Фур'є для кожного вікна

* Для кожного вікна сигналу обчислюється перетворення Фур'є (FFT), яке дає спектр амплітуд для кожної частоти.
* Цей процес дозволяє отримати розподіл частот і амплітуд для кожного інтервалу часу, що необхідно для побудови спектрограми.

# Знаходимо частоту Найквіста для коректного виводу

max\_freq = wndw\_sz // 2

# Нормалізуємо коефіцієнти Фур'є

spgram[:, 1:] = spgram[:, 1:] \* 2

Нормалізація спектрограми

* Частота Найквіста (половина частоти дискретизації) визначає максимальну частоту, яку можна побачити в спектрограмі.
* Нормалізація амплітуд дозволяє коректно відобразити величини для обчислених перетворень Фур'є, що забезпечує точніші результати.

# Знаходимо амплітуди для виводу їх на екран як зображення

img = np.abs(spgram[:max\_freq, :])

nyquist\_f = Fs / 2

# Створюємо другий графік (спектрограма через кастомний підхід)

plt.subplot(1, 2, 2)  # Створюємо область для другого графіка

plt.imshow(img \* 15, aspect='auto', extent=[0, sec, 0, nyquist\_f], origin='lower')

plt.title('Custom Spectrogram')

plt.xlabel('Time (sec)')

plt.ylabel('Frequency (Hz)')

plt.colorbar(label='Magnitude')

* img — амплітуди перетворення Фур'є для кожного вікна, зберігаються лише значення для частот нижче Найквіста.
* plt.imshow() виводить зображення спектрограми з амплітудами. Масштабування коефіцієнтів на 15 для кращої візуалізації.

3. Вивести різні змінні і пояснити результат (2)

* # Вивести частоту дискретизації та довжину сигналу
* print(f"Частота дискретизації: {Fs} Hz")
* print(f"Довжина сигналу: {sig\_len} зразків")
* # Вивести тривалість сигналу в секундах
* print(f"Тривалість сигналу: {sec:.2f} секунд")
* # Вивести кілька значень частот і часу для спектрограми
* print(f"Перша частота у спектрограмі: {f[0]} Hz")
* print(f"Остання частота у спектрограмі: {f[-1]} Hz")
* print(f"Перший момент часу у спектрограмі: {t[0]} с")
* print(f"Останній момент часу у спектрограмі: {t[-1]} с")
* # Вивести розмір матриці спектрограми
* print(f"Розмір спектрограми: {Sxx.shape}")
* # Вивести кілька значень перетворення Фур'є для першого вікна
* print(f"Перше значення перетворення Фур'є для першого вікна: {spgram[0, 0]}")
* print(f"Останнє значення перетворення Фур'є для першого вікна: {spgram[-1, 0]}")
* # Вивести мінімальну і максимальну амплітуду для кастомної спектрограми
* print(f"Мінімальна амплітуда: {np.min(img)}")
* print(f"Максимальна амплітуда: {np.max(img)}")
* # Вивести частоту Найквіста
* print(f"Частота Найквіста: {nyquist\_f} Hz")
* Частота дискретизації: 44100 Hz
* Довжина сигналу: 450879 зразків
* Тривалість сигналу: 10.22 секунд
* Перша частота у спектрограмі: 0.0 Hz
* Остання частота у спектрограмі: 22050.0 Hz
* Перший момент часу у спектрограмі: 0.011337868480725623 с
* Останній момент часу у спектрограмі: 10.204081632653061 с
* Розмір спектрограми: (501, 900)
* Перше значення перетворення Фур'є для першого вікна: (-2.363935708999634+0j)
* Останнє значення перетворення Фур'є для першого вікна: (0.2611883580684662+0.8286702036857605j)
* Мінімальна амплітуда: 0.06199377030134201
* Максимальна амплітуда: 3150143.75
* Частота Найквіста: 22050.0 Hz

Частота дискретизації (Fs) — це кількість зразків аудіосигналу, які зчитуються за одну секунду. Значення 44100 Гц є стандартом для більшості аудіофайлів (особливо для CD-аудіо). Це означає, що сигнал містить 44100 значень амплітуди кожну секунду.

Довжина сигналу (sig\_len) — кількість зразків в аудіофайлі. В нашому випадку сигнал складається з 450879 зразків. Це дає загальну кількість вимірювань амплітуди за весь час звучання.

Тривалість сигналу (sec) — це час у секундах, протягом якого триває аудіофайл. Вона обчислюється як sig\_len / Fs. З 450879 зразків при частоті дискретизації 44100 Гц, тривалість файлу становить 10.22 секунди.

Частоти для спектрограми (f) — це частоти, які враховуються при обчисленні спектрограми. Перша частота (0 Гц) представляє постійну складову сигналу (якщо така є), а остання (22050 Гц) — це частота Найквіста, яка дорівнює половині частоти дискретизації. Частоти між ними відповідають різним частотним компонентам сигналу.

Часові моменти для спектрограми (t) — це моменти часу, у які проводиться вимірювання сигналу для побудови спектрограми. Перший і останній моменти вказують на початок та кінець спектрограми. Враховуючи, що спектрограма побудована з перекриттям вікон, ці моменти вказують на діапазон часу, в якому проводяться вимірювання.

Розмір спектрограми (Sxx) — це кількість частотних та часових точок у спектрограмі. У даному випадку спектрограма має 501 рядок (частот) та 900 стовпців (часових моментів). Кожен стовпець містить спектральні дані для певного моменту часу, а кожен рядок — для певної частоти.

Перетворення Фур'є (spgram) — це результат застосування дискретного перетворення Фур'є до сигналу в кожному вікні. Значення в spgram є комплексними (містять дійсну та уявну частини), де дійсна частина відповідає амплітуді, а уявна — фазі для кожної частоти в кожному вікні сигналу. Перше значення вказує на комплексну амплітуду першої частоти для першого вікна, а останнє — для останньої частоти.

Амплітуди (img) — це величини амплітуд для кожної частоти та часу в спектрограмі. Мінімальна амплітуда є дуже малою (це може вказувати на шум чи низьку активність на певних частотах), а максимальна амплітуда вказує на найбільшу енергію сигналу для певної частоти та часу. Така різниця між мінімальними та максимальними значеннями може бути характерною для звукових сигналів з великими динамічними коливаннями.

Частота Найквіста (nyquist\_f) — це максимальна частота, яку можна коректно відновити з цифрового сигналу. Вона дорівнює половині частоти дискретизації. Для частоти дискретизації 44100 Гц максимальна частота — 22050 Гц.

1. Посніть: спектрограм, величина перекриття, вікно Ганна, перетворення Фур'є, частота Найквіста, вивід корисної інформації з перетворення Фур'є (2)

Спектрограма — це візуалізація частотного вмісту сигналу в часі. Вона показує, як енергія сигналу розподіляється за частотами на різних етапах часу. Вона будується на основі короткочасного перетворення Фур'є (STFT), яке розділяє сигнал на невеликі вікна і для кожного з них виконує перетворення Фур'є. Спектрограма дозволяє побачити, як змінюється спектр частот в часі, що дуже корисно для аналізу аудіосигналів, наприклад, в музиці або мові.

* Призначення: Для візуалізації змін у спектрі сигналу на різних часових інтервалах.
* Як застосовується: Візуалізація даних перетворення Фур'є для різних моментів часу, де кольорові пікселі вказують на амплітуду кожної частоти у певний момент часу. Спектрограма допомагає побачити такі явища, як зміна тембру, інтенсивність певних частот та інші особливості аудіосигналу.

Перекриття — це кількість зразків, на які вікна перекриваються одне з одним під час обчислення короткочасного перетворення Фур'є. Це важлива характеристика, оскільки вона визначає, наскільки гладко переходять результати перетворення з одного вікна до іншого.

* Призначення: Для покращення точності спектрограми та забезпечення більшої кількості інформації про сигнали, що швидко змінюються. Вибір перекриття залежить від того, наскільки докладно потрібно аналізувати сигнал.
* Як застосовується: Наприклад, у коді встановлено величину перекриття як половину розміру вікна: overlap\_sz = round(wndw\_sz / 2). Це забезпечує певну гладкість спектрограми, зменшуючи втрати інформації при переході від одного вікна до іншого.

Вікно Ганна є одним з типів вікон, які використовуються при обчисленні короткочасного перетворення Фур'є для згладжування сигналу, щоб уникнути сильних перешкод у спектрі, які можуть виникати через різкі переходи на межах вікна.

* Призначення: Згладжує сигнал в межах кожного вікна, зменшуючи ефекти, що виникають через різке обрізання сигналу в кінці вікна (так звані "виглядові ефекти"). Вікно Ганна є одним з найбільш популярних завдяки хорошій рівновазі між точністю та розмиттям.
* Як застосовується: В коді створено функцію Ганна з розміром вікна wndw\_sz = 1000 через hann\_func = hann(wndw\_sz), і кожен фрагмент сигналу множиться на це вікно перед обчисленням перетворення Фур'є.

Перетворення Фур'є дозволяє перетворити сигнал з часової області в частотну. Воно розкладає сигнал на складові частоти, що дозволяє аналізувати частотний вміст сигналу. Дискретне перетворення Фур'є (DFT) здійснюється для кожного вікна сигналу.

* Призначення: Для визначення того, які частоти складають сигнал. Це дозволяє розглядати сигнал з точки зору частот, що важливо для аналізу звуку, фільтрації та стиснення.
* Як застосовується: В коді для кожного вікна сигналу проводиться перетворення Фур'є за допомогою spgram[:, i] = np.fft.fft(windowed\_signal), де windowed\_signal — це сигнал, згладжений через вікно Ганна. Результат зберігається в матриці spgram.

Частота Найквіста — це максимальна частота, яку можна коректно відновити з дискретизованого сигналу. Вона дорівнює половині частоти дискретизації (Fs/2). Тому для частоти дискретизації 44100 Гц максимальна відновлювана частота становить 22050 Гц.

* Призначення: Визначає межу, за якою частоти не можуть бути правильно відтворені через ефект aliasing (коли висока частота зміщується в низьку через недостатню частоту дискретизації).
* Як застосовується: В коді частота Найквіста розраховується як nyquist\_f = Fs / 2, що дозволяє правильно відображати максимальну частоту на спектрограмі та використовувати її для аналізу частотних компонентів сигналу.

Після виконання перетворення Фур'є важливо проаналізувати отримані дані, щоб зрозуміти, які частоти присутні в сигналі, як вони змінюються в часі та яка їхня амплітуда. Це дозволяє виділити корисні характеристики сигналу, такі як наявність певних частотних компонентів, пік активності на певних частотах, змінність амплітуд тощо.

* Призначення: Для інтерпретації спектрограми та виявлення ключових характеристик сигналу, таких як сильні частотні компоненти, змінність звуку, можливі шуми.
* Як застосовується: У коді важливими є виведення мінімальної та максимальної амплітуди: min(img), max(img), що дають уявлення про рівень звукових компонентів сигналу. Також аналізуємо перші та останні значення комплексних чисел з перетворення Фур'є, що можуть вказувати на домінуючі частоти в сигналу.