

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВІБРАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРОГРАМ

Коваль Д. О., Коваль О. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

При часовій та частотній обробці даних вимірювань важливо правильно вибрати частоту дискретизації. Висока частота дискретизації призводить до менших втрат інформації, але більших обчислювальних витрат. Низькі частоти дискретизації призводять до більших втрат інформації, але в цьому випадку доступні швидкі та прості методи обчислень.

Процес обробки сигналів вібрацій включає (рис.1):

- вилучення вібраційних характеристик, що стосуються поставленої задачі;
- формування схеми прийняття рішень, які включають виявлення, класифікацію та поєднання знань.

Використання мови програмування Python та відповідних бібліотек, а також хмарного сервісу Colab допомагають полегшити це завдання.

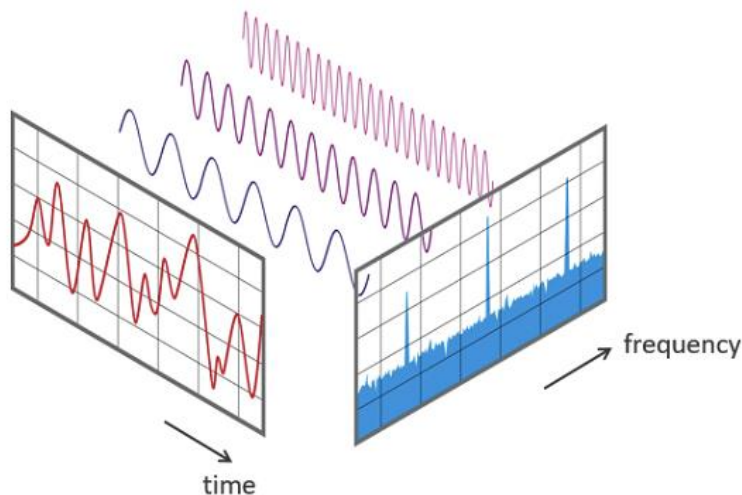


Рисунок 1 — Процес обробки сигналів вібрацій

При обробці сигналів вібрацій важливим є представлення результатів досліджень в зручній для подальшого аналізу формі. Однією з таких форм представлення вібраційних сигналів в час-частотному просторі за допомогою спектрограм.

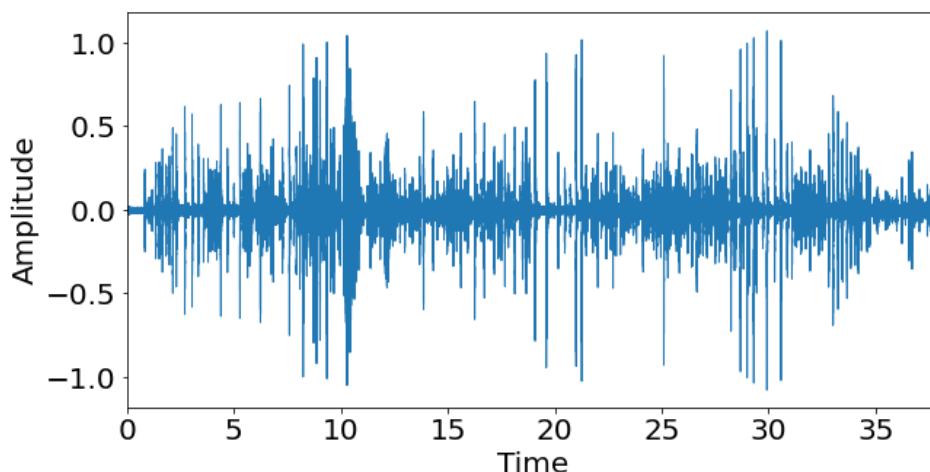


Рисунок 2 — Сигнал вібрацій

Спектрограма — це візуальний спосіб представлення сили сигналу або «гучності» сигналу з часом на різних частотах, присутніх у сигналі. Спектрограма дозволяє не тільки порівнювати рівні енергії сигналів на різних частотах, а і як вони змінюються в часі. Спектрограма зазвичай зображується як теплова карта, тобто як зображення з інтенсивністю, що відображається шляхом зміни кольору або яскравості. На рис.3 приведена спектрограма вібрацій отримана з використанням бібліотеки **librosa** Python, зокрема функції **librosa.display.specshow**.

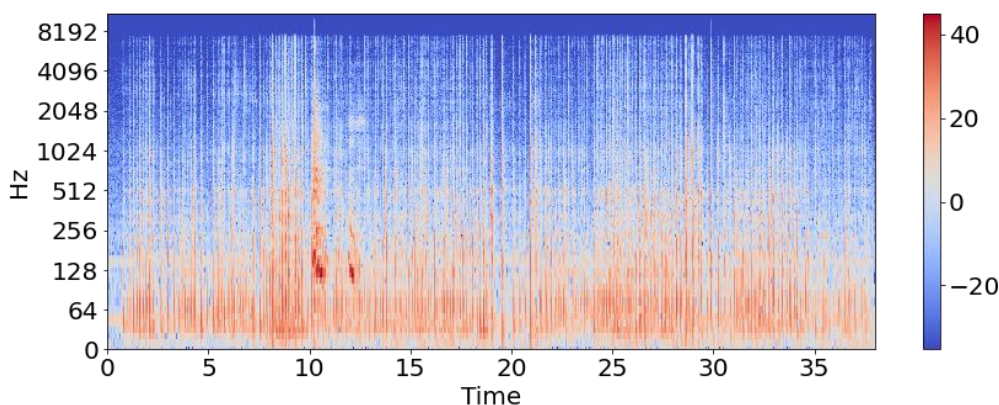


Рисунок 3 — Спектрограма вібрацій

Дана спектрограма отримана з використанням функції STFT. Спочатку енергія сигналу переноситься з часової в частотну область за допомогою швидкого перетворення Фур'є. STFT перетворює сигнали так, що ми можемо знати амплітуду заданої частоти в даний момент часу. Використовуючи STFT, ми можемо визначити амплітуду різних частот, що відтворюються в даний момент вібраційного сигналу. Для

відображення спектрограми використовувалась функція `.specshow` бібліотеки `librosa`. На рис. 3 вертикальна вісь показує частоти (від 0 до 10 кГц), а горизонтальна вісь показує час кліпу. Оскільки ми бачимо, що всі дії відбуваються в нижній частині спектра, то доцільно використовувати логарифмічний масштаб осі частоти.

Вібраційний сигнал складається з багатьох складових. Однак ми повинні виділити характеристики, які мають відношення до завдання, яке ми намагаємося вирішити. Процес вилучення ознак для використання їх для аналізу називається вилученням ознак. Давайте детально вивчимо деякі особливості. Спектральні характеристики (частотні ознаки), які отримують шляхом перетворення Фур'є: основна частота, частотні компоненти, центроїд спектру, спектральний потік, спектральна щільність, згортання спектру тощо. Спектральний центроїд (центр спектру) вказує, на якій частоті зосереджена енергія спектру, або іншими словами, він вказує, де розташований «центр мас» сигналу вібрацій. Це як середнє зважене:

$$f_c = \frac{\sum_k S(k) f(k)}{\sum_k S(k)}, \quad (1)$$

де $S(k)$ — спектральна щільність на частоті k ;

$f(k)$ — частота k .

Для визначення центроїду спектру вібрацій для кожного кадру в сигналі доцільно використовувати функцію `librosa.feature.spectral_centroid`:

```
import sklearn
spectral_centroids = librosa.feature.spectral_centroid(x, sr=sr)[0]
spectral_centroids.shape
(775,)
plt.figure(figsize=(12, 4))
frames = range(len(spectral_centroids))
t = librosa.frames_to_time(frames)
def normalize(x, axis=0):
    return sklearn.preprocessing.minmax_scale(x, axis=axis)
plt.ylabel('Spectral Centroid')
librosa.display.waveplot(x, sr=sr, alpha=0.4)
plt.plot(t, normalize(spectral_centroids), color='b')
```

Результат обчислень приведений на рис.4.

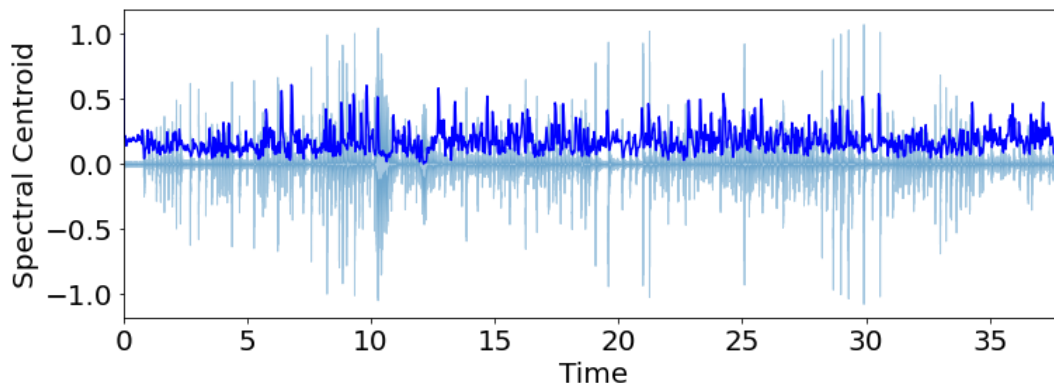


Рисунок 4 — Центроїд спектру вібрацій

На наступному етапі досліджень сигналу вібрації дослідимо такий показник як міра форми сигналу. Вона представляє частоту, на якій високі частоти знижуються до 0. Щоб отримати її, ми повинні розрахувати частку бінів у спектрі потужності вібрацій, де 85% його потужності припадає на нижчі частоти (рис.5).

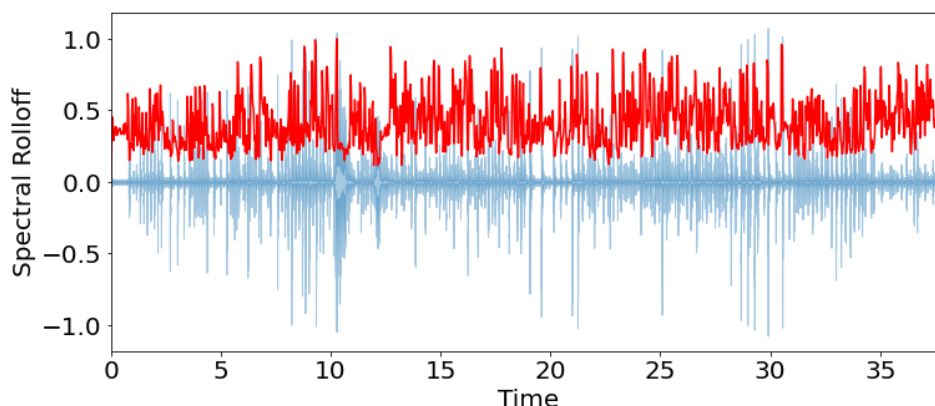


Рисунок 5 — Міра форми сигналу вібрацій

Спектральна смуга пропускання визначається як ширина смуги на половині максимуму піка спектру вібрації. На рис. 6 приведені результати визначення спектральної пропускнуї здатності порядку p .

Кепстральні коефіцієнти частоти. Кепстральні коефіцієнти частоти (MFCC) сигналу вібрації — це невеликий набір ознак (зазвичай близько 10–20), які коротко описують загальну форму спектральної оболонки (рис.7).

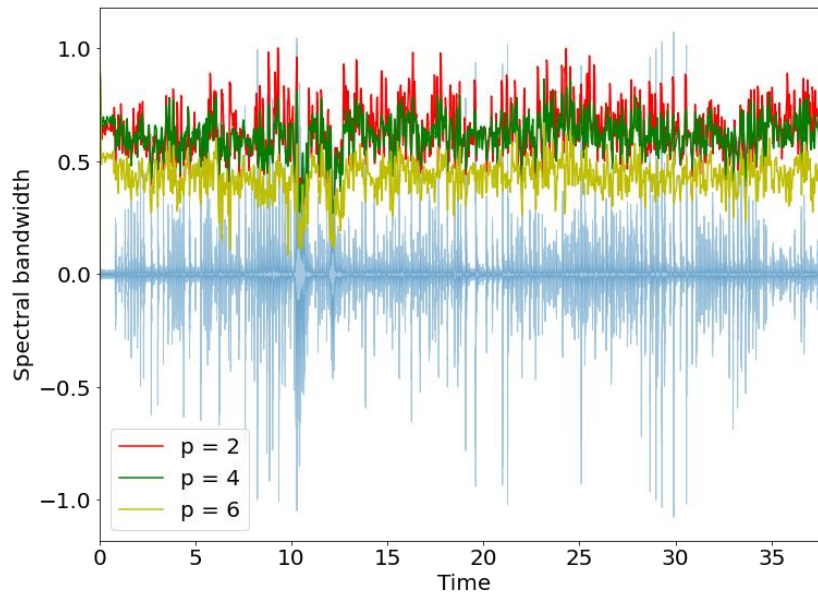


Рисунок 6 — Спектральна пропускна здатність порядку p

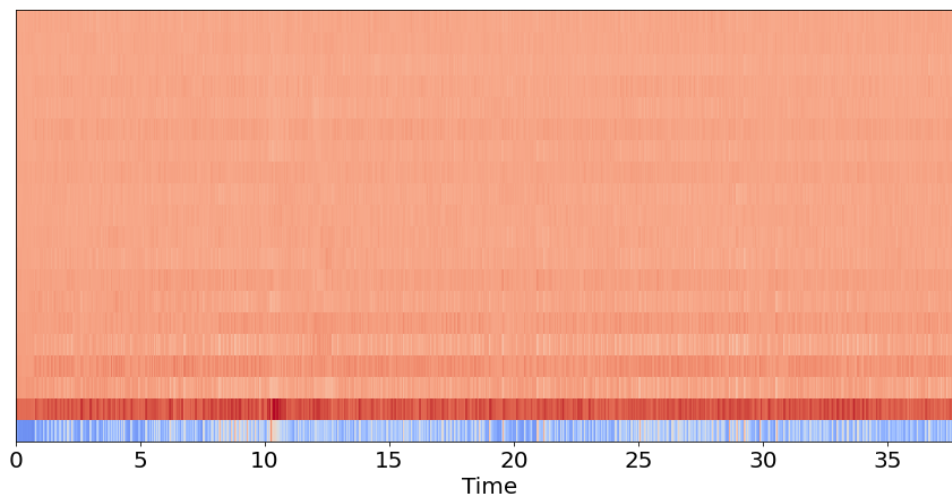


Рисунок 7 — Кепстральні коефіцієнти частоти

Наступний параметр який нам необхідно дослідити це характеристика кольоровості. Характеристика або вектор кольоровості, як правило, являє собою 12-елементний вектор ознак, що вказує, скільки енергії кожного класу потужності вібрацій, $\{C, C\#, D, D\#, E, \dots, B\}$, присутня в сигналі. Коротше кажучи, він забезпечує надійний спосіб опису міри подібності між фрагментами вібрацій. Графічне зображення розрахованого вектора кольоровості вібраційного сигналу приведено на рис. 8.

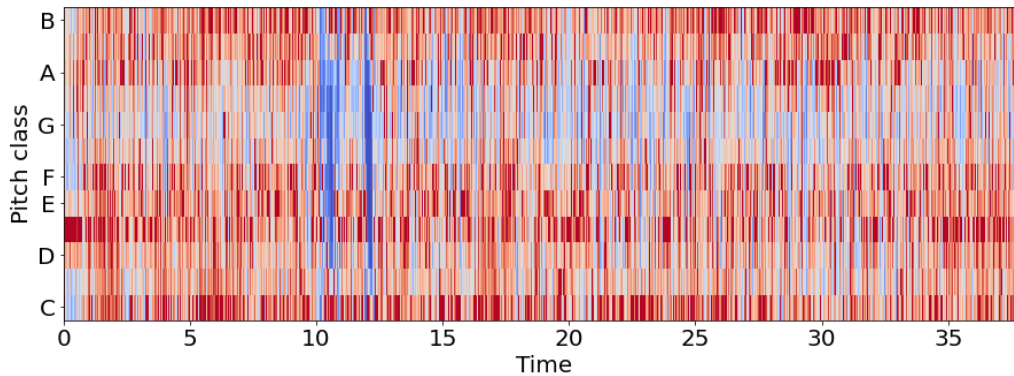


Рисунок 8 — Вектор кольоровості вібраційного сигналу

Проведені дослідження сигналу вібрацій за даною методикою дозволили виявити його особливості. А саме:

- сигнал вібрацій носить є періодичним зашумленим сигналом;
- спектр сигналу в основному розташований в полосі частот а від 0 Гц до 128 Гц, але мають місце окремі періодичні піки на частотах до 8 кГц;
- спектр сигналу майже рівномірно розподілений на протязі всієї часової вибірки;
- максимальна потужність спектру вібрацій була на 10 та 13 секунді часової вибірки вимірювань.

Запропонована методика досліджень вібрацій з використанням спектрограм була реалізована в Python р використанням хмарного сервісу Colab. Вона може бути корисною при проведенні наукових досліджень та в навчальному процесі ХНАДУ.

Література:

1. https://colab.research.google.com/drive/1sNV1vhH9TWysZC8wIhm68MUS5c_yAphw?usp=sharing
2. <https://librosa.org/doc/latest/index.html>
3. <https://ipython.org/ipython-doc/stable/api/generated/IPython.display.html#IPython.display>
4. <https://librosa.org/doc/main/advanced.html>