

Лабораторна робота № 1

Основи роботи з пакетом ThinkDSP для обробки сигналів

доц. Чкалов О. В.
tchkalov@gmail.com

18 березня 2024 р.

Мета роботи. Ознайомитися з методами обробки сигналів в Python із використанням пакета ThinkDSP.

1 Короткі теоретичні відомості

Сигнал представляє величину, яка змінюється в часі і ці зміни використовуються для передачі інформації. Це визначення є занадто узвгльненим, тож почнемо з конкретного прикладу: звуку. Звук — це варіація повітряного тиску. Звуковий сигнал відображає зміни тиску повітря з часом.

Мікрофон — це пристрій, який вимірює ці коливання та генерує електричний сигнал, який представляє звук вже в формі електричних коливань. Динамік — це пристрій, який приймає електричний сигнал і генерує звук. Мікрофон та динамік — це перетворювачі, тому що вони перетворюють сигнали з однієї форми в іншу.

Наш курс про обробку сигналів, яка включає процеси синтезу, перетворення та аналіз сигналів. Ми зупинимось на звукових сигналах, але ті самі методи застосовуються до електронних сигналів, механічної вібрації та сигналів у багатьох інших формах.

Ті самі методи також застосовуються до сигналів, які змінюються в просторі, а не в часі, як-от висота вздовж пішохідної стежки. І вони застосовуються до сигналів у кількох вимірах, як зображення, яке можна сприймати як сигнал, що змінюється у двовимірному просторі координат. Або фільм, який є сигналом, що змінюється у двовимірному просторі, а також за часом.

Але ми починаємо з простого одновимірного звуку.

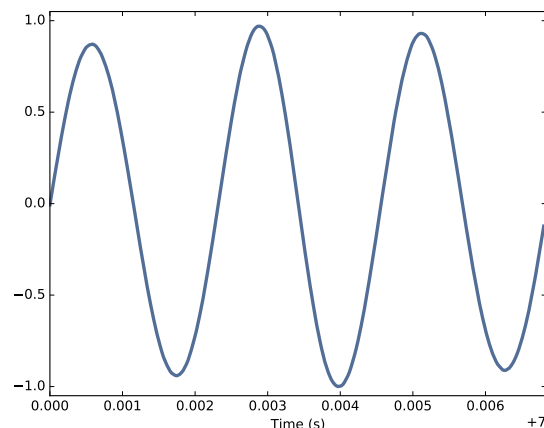


Рис. 1: Фрагмент запису звуку камертона

1.1 Періодичні сигнали

Ми почнемо з періодичних сигналів, тобто сигналів, які повторюються через деякий період часу. Наприклад, якщо вдарити по камертону, він завібрує і генерує звук. Якщо ви запишете цей звук і побудуєте графік тиску за часом, він буде виглядати як на малюнку 1.

Цей сигнал нагадує синусоїду, що означає, що він має таку саму форму, що й сигнал тригонометрична функція синус.

Ви бачите, що цей сигнал є періодичним. Я вибрав тривалість, щоб показати три повні повторення, або цикли. Тривалість кожного циклу називається **періодом** і в даному випадку становить близько 2,3 мс.

Частота сигналу - це кількість циклів за секунду, яка є оберненою величиною до періоду періоду. Одиницями частоти є цикли в секунду, або "герц скорочено «Гц»". (Строго кажучи, кількість циклів є безрозмірною число, тому герц насправді є «за секунду»).

Частота цього сигналу становить близько 439 Гц, трохи нижче 440 Гц, ніж стандартна висота тону для оркестрової музики. Музична назва цього тону – це А, точніше, А4. Якщо ви не знайомі з науковою музичною нотацією, числовий суфікс вказує, в якій октаві знаходиться нота. А4 – це А вище середнього С. А5 на одну октаву вище.

Камертон створює синусоїду, оскільки вібрація зубців є формою простого гармонічного руху. Більшість музичних інструментів генерують періодичні сигнали, але форма цих сигналів не є синусоїдальною. Наприклад, на малюнку 2 показано фрагмент із запису скрипки, яка грає струнний квінтет Боккеріні №5 в мі-мажор, 3 частина.

Знову ми бачимо, що сигнал є періодичним, але форма сигналу є більш складною. Більшість музичних інструментів створюють сигнали, складніші за синусоїду. Форма хвилі визначає музичний **тембр**, який є нашим сприйняттям даного звуку. Люди зазвичай сприймають складні хвилі як багаті, теплі та цікавіші за синусоїди.

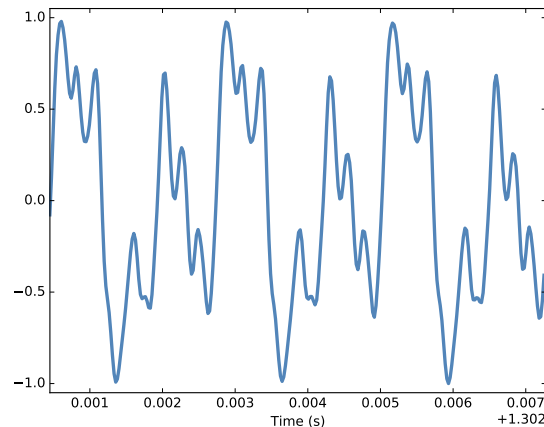


Рис. 2: Фрагмент запису звуку скрипки

1.2 Спектральна декомпозиція

Найважливішим методом в нашому курсі є спектральне розкладання, яке базується на математичному факті, що будь-який періодичний сигнал можна виразити як суму синусоїд з різними частотами.

Найважливішою математичною операцією в цій книзі є дискретне Фур'є перетворення, або DFT, яке приймає сигнал і створює його спектр. Спектр - це набір синусоїд, які в сумі створюють сигнал.

І найважливішим алгоритмом у цій книзі є швидке перетворення Фур'є, або FFT, який є ефективним способом обчислення DFT.

Наприклад, на рисунку 3 показано спектр запису скрипки з малюнку 2. Вісь абсцис — це діапазон частот, які складають сигнал. Вісь ординат показує силу або амплітуду кожної частотної складової.

Найменша частотна складова називається основною частотою. Основна частота цього сигналу становить близько 440 Гц. У цьому сигналі основна частота має найбільшу амплітуду, отже вона є також домінуючою частотою. Зазвичай сприймається висота звуку, що визначається основною частотою, навіть якщо вона не є домінуючою. Інші сплески в спектрі знаходяться на частотах 880, 1320, 1760 і 2200, які є цілими числами, кратними основній частоті. Ці компоненти називаються **гармоніками**, тому що вони музично гармонійні з основою:

- 880 — частота А5, на одну октаву вище основної. Октава - це подвоєння частоти.
- 1320 – це приблизно Е6, що є ідеальною квінтою вище А5.
- 1760 — А6, на дві октави вище основного.

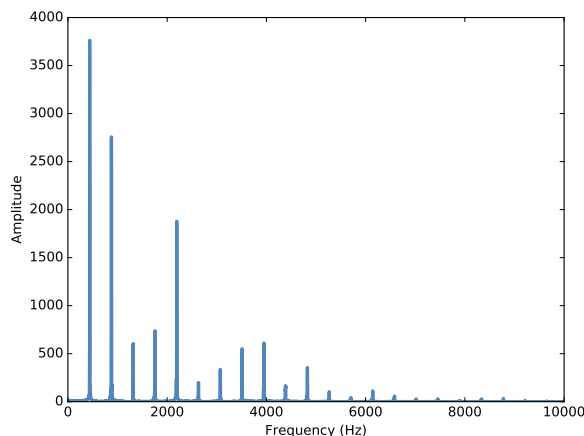


Рис. 3: Спектр фрагменту запису скрипки

- 2200 дорівнює приблизно C#7, що на велику третину вище A6.

Ці гармоніки складають ноти ля-мажорного акорду, хоча не всі вони в одній октаві. Деякі з них є лише приблизними, оскільки в західній музики використовується рівномірно темперована гама. Враховуючи гармоніки та їх амплітуди, ви можете реконструювати сигнал за додавання синусоїд. Далі ми побачимо, як.

2 Інструментальні засоби для виконання робіт

Для виконання цієї та наступної роботи нам знадобляться:

1. Інтерпретатор Python 3. При підготовці даного практикуму використовувався дистрибутив Anaconda. В принципі годиться будь який інтерпретатор із встановленими пакетами NumPy, SciPy та Matplotlib. Робочі демонстрації до робіт реалізовано як блокноти Jupyter. Якщо використовується Anaconda, то Jupyter, скоріш за все, встановлений за замовчуванням. Якщо ні, його легко встановити командою

```
conda install jupyter
```

При відкритті певного блокноту автоматично запуститься сервер Jupyter, що буде керувати процесом виконання.

2. Робочий пакет Python-скриптів та допоміжних файлів для виконання даного практикуму (адреса для завантаження надається викладачем).

3. Будь-який редактор звукових файлів. Формально він не є необхідним, але якщо ви ним володієте (чи оволодієте протягом навчання), це допоможе у виконанні деяких операцій та надасть можливість «перекинути місток» від теоретичного вивчення методів до практичної роботи із звуковими файлами.

3 Завдання

Основні

1. В робочому пакеті відкрийте блокнот `chap01.ipynb`. Ознайомтеся з поясненнями та прикладами, що до нього входять.
2. Візьміть будь-який `wav`-файл на Ваш вибір, що містить музику, голос чи інші звуки із чітко вираженою амплітудою. З файлу виділіть фрагмент довжиною близько 0.5 с, на якому рівень сигналу більш-менш сталий.
3. Обчисліть та побудуйте спектр даного фрагмента. Спробуйте встановити, як пов'язані звучання даного фрагмента із структурою його спектра.
4. Використайте `high-pass`, `low-pass` та `band-stop` для фільтрації гармонік. Перетворіть фільтрований сигнал назад у вейв і оцініть на слух результат фільтрації.

Додаткові

5. Створіть складний сигнал із довільної комбінації простих сигналів `SinSignal` та `CosSignal`. Утворіть вейв та прослухайте його. Розрахуйте спектр сигналу. Порівняйте спектр із початковими складовими.
6. Напишіть функцію `stretch`, що бере `wave` та коефіцієнт зміни. Вона повинна прискорювати чи уповільнювати програвання шляхом зміни `ts` та `framerate`. Підказка: рішення просте, 2-3 рядки коду.

4 Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняття «сигнал». Дайте приклади сигналів різної фізичної природи.
2. Що таке спектр сигналу? Що таке основний тон? домінуючий тон? гармоніки?
3. Чим відрізняються об'єкти типів `signal` та `wave` в пакеті `thinkdsp`?
4. Який ефект від застосування фільтра нижніх частот? верхніх частот?