Instrukcja wprowadzająca do pracy z dźwiękiem

Słowem wstępu

Zadania w tej instrukcji są obowiązkowe do wykonania, ale nie są oceniane. Jeżeli ktoś ich nie wykona, nie będzie miał ocenianych dalszych zadań. Są to proste zadania, mające na celu, przygotowanie środowiska do pracy z materiałami oraz dania wam umiejętności potrzebnych do pracy na zajęciach. Część kodu będzie wykorzystywana na dalszych zajęciach, więc proszę ich nie usuwać po ukończeniu.

Termin wykonania: następne zajęcia.

Przygotowanie środowiska do pracy na zajęciach

Zajęcia zostały przygotowane z wykorzystaniem środowiska Python 3.9+.* w dystrybucji z Anaconda. Możecie zainstalować pełną dystrybucję Anaconda lub czystą zawierającą tylko podstawowe elementy Miniconda. **Jeżeli znacie Python, to możecie pracować, wykorzystując inne narzędzia.** Do instalacji pakietów wykorzystujemy konsolę systemową. Uwaga dla środowiska Windows. Jeżeli środowisko Python nie zostało dodane do zmiennej systemowej *PATH* lub nie jest ono domyślnym środowiskiem najwygodniej odpalić konsolę domyślną dostępną w folderze Anaconda w Menu Start. Większość z pakietów, które mogą być potrzebne nam na zajęciach, należy zainstalować za pomocą poniższych komend (można wkleić je do konsoli wszystkie na raz):

```
pip install numpy
pip install scipy
pip install matplotlib
pip install Pandas
pip install python-docx

pip install soundfile
pip install sounddevice

pip install Pillow
pip install pylibjpeg-libjpeg
pip install opencv-contrib-python
pip install -U scikit-learn
pip install scikit-image
```

Jeżeli instalujecie na terminalach (RDP) lub innych urządzeniach bez praw administratora to trzeba dopisać flagę *--user*.

```
pip install numpy --user
pip install scipy  --user
pip install matplotlib --user
pip install Pandas --user
pip install python-docx  --user

pip install soundfile --user
pip install sounddevice  --user

pip install Pillow --user
pip install pylibjpeg-libjpeg --user
```

```
pip install opencv-contrib-python --user
pip install -U scikit-learn --user
pip install scikit-image --user
```

Wersja alternatywna z aktualizacją *pip*:

```
    python -m pip install --upgrade pip --user

pip install numpy --user
pip install scipy  --user
pip install matplotlib --user
pip install Pandas --user
pip install python-docx  --user

pip install soundfile --user
pip install sounddevice  --user

pip install Pillow --user
pip install pylibjpeg-libjpeg --user
pip install opencv-contrib-python --user
pip install -U scikit-learn --user
pip install scikit-image --user
```

Do osób, które nie miały żadnej styczności z pracą z językiem Pyton

Zadania mają służyć poznaniu podstawowych operacji, jakie będziemy wykorzystywać na zajęciach. Jeżeli nie mieliście żadnego kontaktu z tym językiem, to polecam jednak zacząć od jakiegoś kursu internetowego przybliżającego ten język np. Python 101.

Podstawowe informacje dotyczące pracy z dźwiękiem

Pliki potrzebne do zadania:

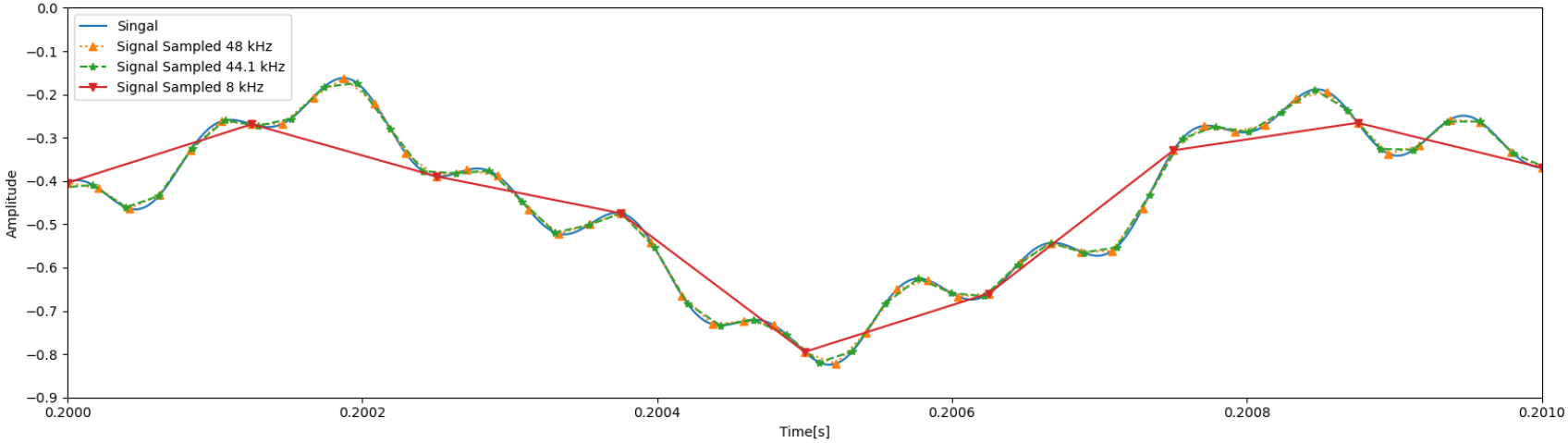
- Zad 1
- Zad 2-3

Część pierwsza — dźwięk podstawowe informacje

Większość informacji na temat dźwięku powinniście znać z wcześniejszych przedmiotów (np. Transmisji Danych), jeżeli jednak nie pamiętacie, to dostaniecie tu krótkie przypomnienie najbardziej podstawowych informacji na ten temat.

Częstotliwość próbkowania

Częstotliwością próbkowania jest wartością określającą ilość próbek sygnału przypadającą na dany okres (domyślnie jest to sekunda). Częstotliwość próbkowania wpływa na możliwość odtworzenia dźwięków, ponieważ częstotliwość Nyquista będzie zawsze wynosiła jego połowę. Będzie to również obserwowane w widmie. Najczęściej stosowaną przy plikach audio (*wave* , *mp3*) częstotliwością próbkowania jest częstotliwość *44.1* kHz, czasami nazywana standardem CD. Jest ona powiązana z możliwością rejestracji dźwięków przez ludzkie ucho, które rejestruje dźwięki w zakresie od *20* Hz do około *20* kHz. Drugą najczęściej spotykaną częstotliwością jest *48* kHz nazywana standardem DVD, ona również pozwala odtworzyć pełen zakres słyszany przez ludzkie ucho. Większość studiów nagraniowych stosuje rejestrację w częstotliwościach będących wielokrotnościami *48* kHz (*96*, *192* kHz), ponieważ pozwalają one w płynny sposób przechodzić pomiędzy nimi bez użycia skomplikowanych technik resamplingu.



Przykład próbkowania sygnału z różnymi częstotliwościami

Rozdzielczość bitowa

Rozdzielczość bitowa określa, z jaką dokładność zapisana jest jedna próbka danych, podając ilość dostępnych dla niej bitów. Najpopularniejsze aktualnie formaty danych dźwiękowych opierają się na *16-* lub *24-* bitowych próbkach. Rzadziej spotykane są formaty *8-* lub *32-* bitowe. Na zajęciach będzie się zdarzać, że będziemy pracować i prowadzić badania na sztucznie tworzonych formatach o mniejszej ilości bitów, która nie będzie obsługiwana domyślnie przez biblioteki, a to będzie wymagało pewnych dodatkowych operacji.

Rozdzielczość bitowa określa zakres wartości, jakie mogą wystąpić we wczytywanym pliku. Owszem można wymusić zawsze jednolity tryb wczytywania danych (np. *dtype=np.float32*), ale nie zmienia to zawartości pliku, czyli tego, z jaką dokładnością oraz typem dane zostały zapisane. Domyślnie dla poszczególnych formatów dane wczytane powinny być w poniższych typach:

- 8-bitowe - typ *uint8* - Uwaga! Wartość neutralna sygnału w tym przypadku oscyluje w okolicach *128* nie *0*
- 16-bitowe - typ *int16*
- 24-bitowe i 32-bitowe - typ *int32* lub *float32*

Jeżeli w jakimś przypadku macie problem z odtworzeniem lub zapisaniem dźwięku, bo przykładowo słychać tylko szumy, to prawdopodobnie jest problem z interpretacją typu i trzeba wymusić inny typ danych na zmiennej *.astype()*.

Część druga — wczytywanie i zapisywanie plików dźwiękowych

Do tej części instrukcji, a zwłaszcza fragmentów wymagających odsłuchiwania polecam zakładać słuchawki, aby nie denerwować swojego otoczenia.

Do tego zadania dołączony jest jeden plik dźwiękowy w formacie *wave*. Zaczynamy od stworzenia nowego skryptu. Nazwijmy go np.: *Lab_sound_1.py*. Zacznijmy od zaimportowania odpowiednich bibliotek, w tym przypadku będą to:

```
01. import numpy as np
02. import matplotlib.pyplot as plt
03. import sounddevice as sd
04. import soundfile as sf
```

Zacznijmy od wczytania pliku dźwiękowego. Służy do tego komenda:

```
01. data, fs = sf.read('sound1.wav', dtype='float32')
```


Dostajemy dwa zestawy danych pierwszy to tablica zawierająca wartości próbek sygnału, każda z jej kolumn zawiera osobny kanał wartości (domyślnie 2 to Lewy i Prawy). Jeżeli

wywołamy komendy jak przypadku obrazu (zapisane poniżej), to zauważymy również że typ naszej tablicy będzie zgodny z typem podanym w parametrze wywołania funkcji wczytującej plik. Drugi parametr to częstotliwość próbkowania, czyli jak często sygnał rzeczywisty był próbkowany, czyli jak wiele próbek znajduje się w jednej sekundzie trwania dźwięku.

```
01. print(data.dtype)
02. print(data.shape)
```

Teraz spróbujmy odtworzyć nasz dźwięk, wykorzystując zestaw komend:

```
01. sd.play(data, fs)
02. status = sd.wait()
```

Pierwsza z nich odpowiada za rozpoczęcie odtwarzania. Druga zapewnia, że program poczeka z wykonaniem kolejnych instrukcji do momentu, aż dźwięk skończy się odtwarzać.

Zadanie Dźwięk 1

Zadanie polega na wczytaniu pliku *sound1.wav* i na jego podstawie wygenerowaniu trzech jedno-kanałowych plików wave (i sprawdzeniu ich poprawności albo za pomocą Pythona (wykorzystując część 3 zadania) albo jakiegoś programu do obróbki dźwięku czy zrobiono to poprawnie). Plik traktujemy jako tablice i w ten sposób wybieramy fragmenty, które nas interesują. Pliki powinny zawierać:

1. *sound_L.wav* - lewy kanał audio oryginalnego pliku,
2. *sound_R.wav* - prawy kanał audio oryginalnego pliku,
3. *sound_mix.wav* - jeden kanał mono będący średnimi wartościami poszczególnych próbek pochodzących z oryginalnego pliku audio (z obu głośników/słuchawek powinien wydobywać się ten sam dźwięk).

Do zapisu danych do pliku wave wykorzystujemy funkcję:

```
01. sf.write('nazwa.wav', new_data, fs)
```

Część trzecia — wyświetlanie sygnału w czasie i widma dźwięku

Teraz spróbujmy wyświetlić nas sygnał na wykresie. Osobno dla każdego z kanałów. Przykładowo dla pierwszego z nich będzie to wyglądać:

```
01. plt.subplot(2,1,1)
02. plt.plot(data[:,0])
```

Co możemy analogicznie zastosować do drugiego kanału. Mamy jednak problem na osi OX mamy w tym momencie tylko numery próbek a chcielibyśmy, żeby była ona w sekundach. Rozwiązać to można podając parametr x w *plt.plot(x,data[:,0])*.

Jak to zrobić wykorzystując do tego tylko:

- Dane wczytane z pliku (*data* i *fs*),
- Funkcję *np.arange* ,
- Informacje podane już w instrukcji.

Widmo

Widmo to rozkład natężenia różnych częstotliwości składowych dźwięku, jakie składają się na sygnał dźwiękowy. Pozwalają ona również zaobserwować, w jaki sposób niektóre modyfikacje sygnału wpływają na niego. Do wyznaczenia widma wykorzystujemy transformatę Fouriera. Informacje na temat tego, jak ona działa powinna być już przedstawiona w toku studiów, jeżeli jednak nie macie takiej wiedzy lub chcecie trochę poszerzyć wiedzę o kilka informacji uzupełniających, to można dowiedzieć się tutaj:

1. Jak działa transformata Fouriera [ENG YT]
2. Fourier Series Animation using Circles

Wiedza ta nie jest niezbędna do zrozumienia tej instrukcji, ale może posłużyć do rozwiania wątpliwości. Powinniście wiedzieć, że analiza Fourierowska jest skuteczna tylko w przypadku, gdy analizowany sygnał jest niezmienny w czasie. Da się również badać sygnały zmienne w czasie przy zastosowaniu odpowiednich procedur dzielenia sygnału na okna, ale **nie** będziemy tego robić **na najbliższych zajęć**, więc będziemy badać widmo tylko specjalnie przygotowanych

Kontakt

Materiały

Przetwarzanie Obrazów

Systemy Multimedialne

Interaktywne Systemy Multimedialne

Przetwarzanie i analiza danych

FAQ - najczęściej zadawane pytania

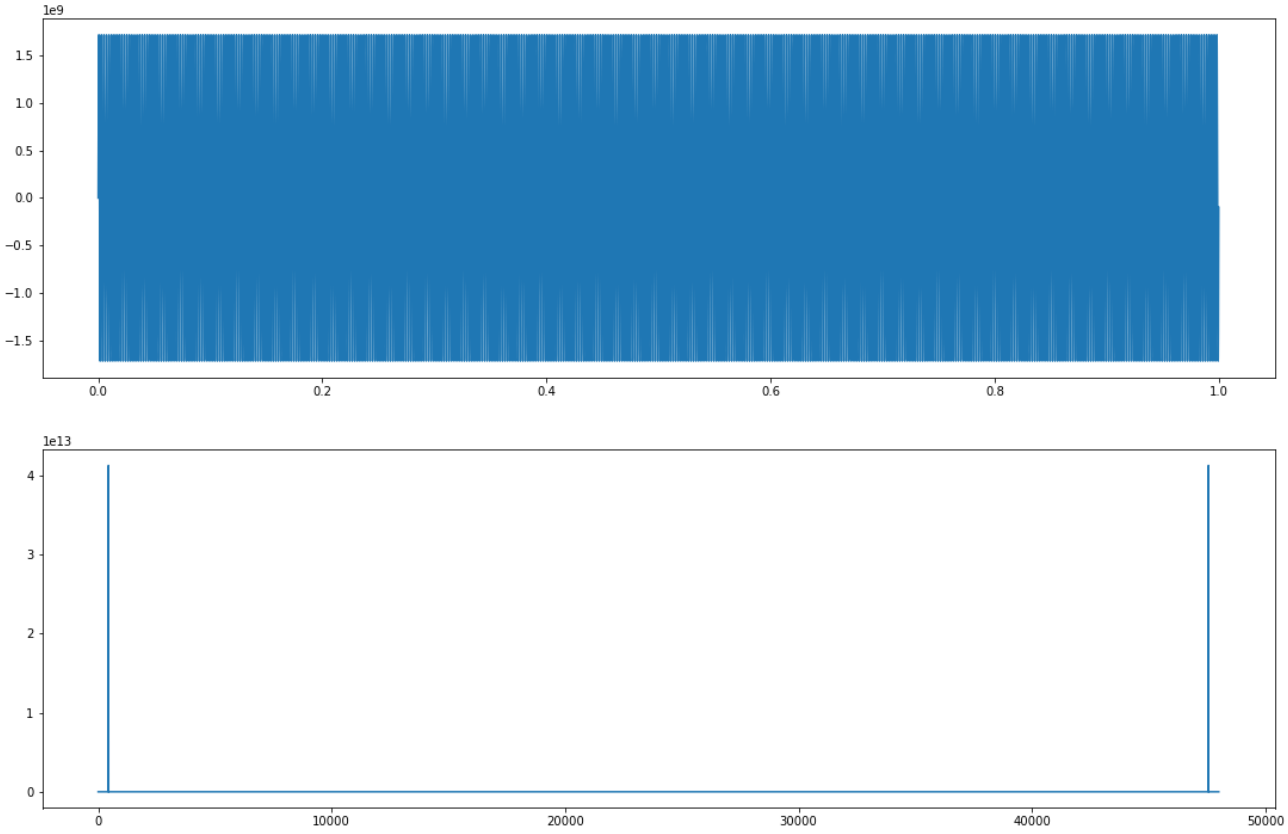
sygnałów.

Kilka przykładów o sposobie wyświetlania widma. Wszystkie z nich wykorzystują te same biblioteki oraz działają na tym samym pliku dźwiękowym zawierającym 1 sekundę sinusa *440 Hz*, plik ten dołączony jest materiałów i sugeruję testować na nim tę część zadania. **Dla osób, które nie miały z tym styczności**, polecam wyświetlić sobie poniższe wykresy i przybliżać okolicę wierzchołka znajdującego się w okolicy wartości *440 Hz* na osi OX, jak również pozmieniać sobie rozmiar widma, o którym mowa w dalszej części wprowadzenia i zobaczyć, jaki ma ono wpływ na widmo i wierzchołek.

```
01. import numpy as np
02. import matplotlib.pyplot as plt
03. import scipy.fftpack
04. import sounddevice as sd
05. import soundfile as sf
06.
07. data, fs = sf.read('sin440Hz.wav', dtype=np.int32)
```

Na początek najprostszy sposób wyświetlania widma, czyli wyświetleni modułu widma bez żadnych parametrów i modyfikacji. Osie w obu wykresach osie OX zostały zasilone odpowiednimi parametrami. W pierwszym wykresie jest to czas, w drugim natomiast są to częstotliwości.

```
01. plt.figure()
02. plt.subplot(2,1,1)
03. plt.plot(np.arange(0,data.shape[0])/fs,data)
04.
05. plt.subplot(2,1,2)
06. yf = scipy.fftpack.fft(data)
07. plt.plot(np.arange(0,fs,1.0*fs/(yf.size)),np.abs(yf))
08. plt.show()
```



Prezentacja modułu widma dla sinusa 440 Hz bez żadnych parametrów i modyfikacji

Kolejny przykład to moduł widma, ale w tym przypadku zmieniliśmy rozmiar transformaty Fouriera (w przykładzie do $2^8 = 256$), domyślny rozmiar jest zależny od długości sygnału. W przypadku Szybkiej Transformaty Fouriera, żeby odtworzyć w pełni sygnał, powinien być on pierwszą potęgą liczby 2, większą od długości naszego sygnału. W przypadku analizy naszego sygnału możemy go zmniejszyć, aby otrzymać mniej dokładane wyniki, ale w mniejszym nakładem czasu obliczeniowego oraz pamięci. Poniżej przykład, w którym zmniejszyliśmy rozmiar transformaty do *256*. Oś OX w wykresie modułu widma została poprawiona, aby uwzględniać zmieniony jego rozmiar.

```
01. fsize=2**8
```

▸ Kroki pośrednie i przykłady modyfikacji widma.

Ostatnią modyfikacją, którą możemy wykonać na naszym widmie, w celu ułatwienia jego wyświetlania jest przeskalowanie wartości widma do skali decybelowej (dB).

Kontakt

Materiały

Przetwarzanie Obrazów

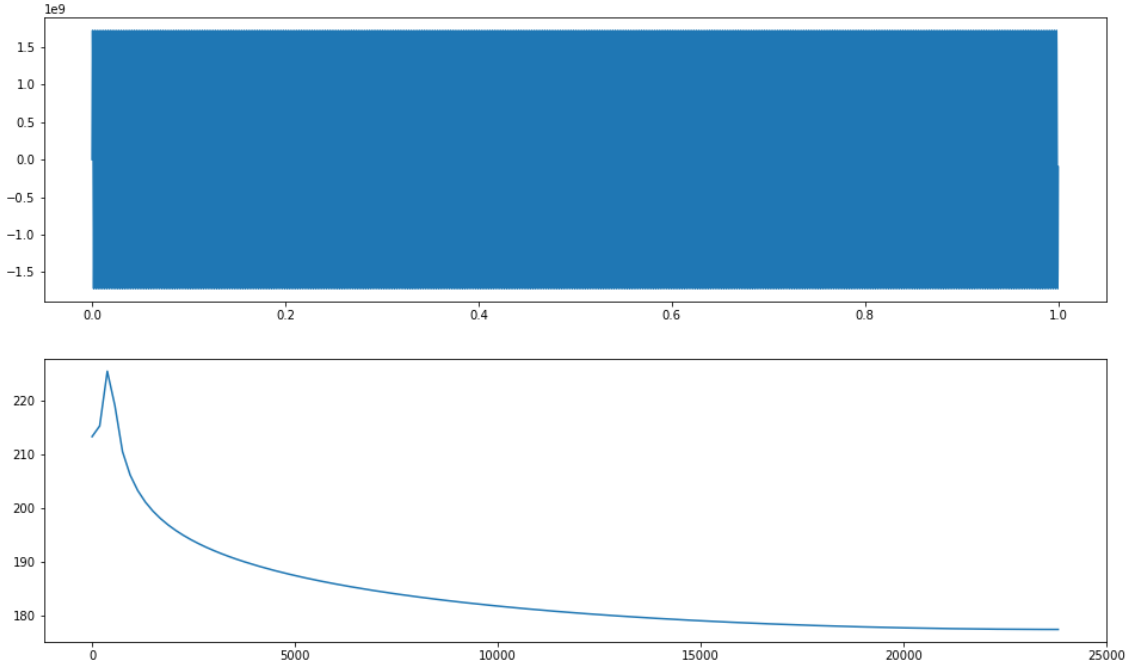
Systemy Multimedialne

Interaktywne Systemy Multimedialne

Przetwarzanie i analiza danych

FAQ - najczęściej zadawane pytania

```
    01. plt.figure()
02. plt.subplot(2,1,1)
03. plt.plot(np.arange(0,data.shape[0])/fs,data)
04. plt.subplot(2,1,2)
05. yf = scipy.fftpack.fft(data,fsize)
06. plt.plot(np.arange(0,fs/2,fs/fsize),20*np.log10( np.abs(yf[:fsize//2])))
07. plt.show()
```



Prezentacja połowy modułu widma dla sinusa 440 Hz ze zmniejszonym do 256 rozmiarem widma wyświetlona w dB

UWAGA! W powyższy sposób należy wyświetlać każde widmo, z jakim spotkacie się na zajęciach. Jedyny wyjątek będą stawiły niektóre szczególne przypadki, które będą dawały błędy dzielenia przez 0. W tych przypadkach warto wyświetlić widmo w skali liniowej i zastanowić się, czemu ten błąd wystąpił.

Zadanie Dźwięk 2

Celem zadania jest napisanie funkcji, którą będziecie wykorzystywać na przyszłych zajęciach do generowania wykresów. Funkcja ma przyjmować sygnał oraz częstotliwość próbkowania. Dodatkowy parametr pozwalający zawęzić fragment osi OX, żeby nie pokazywać całego sygnału, tylko jego fragment w celu zwiększenia czytelności (do tego wykorzystać *`plt.xlim()`*), domyślnie proszę ograniczyć to do jakiegoś zakresu. Funkcja powinna wyświetlić *`subplot`* składający się z dwóch wierszy. W górnym wierszu powinna wyświetlić się fragment sygnału dźwiękowego. W dolnym wierszu powinna zostać wyświetlona połówka widma w decybelach. Wszystkie osie powinny być odpowiednio oznaczone i wyskalowane, czyli górny wykres powinien na osi OX mieć sekundy, a dolny na osi OX powinien mieć częstotliwości, a osi OY decybele (*dB*). **Proszę nie skalować osi OX dla widma**. Wywołanie ***może*** wyglądać tak:

Kontakt

Materiały

Przetwarzanie Obrazów

Systemy Multimedialne

Interaktywne Systemy Multimedialne

Przetwarzanie i analiza danych

FAQ - najczęściej zadawane pytania

```
    01. def plotAudio(Signal,Fs,TimeMargin=[0,0.02]):
02.     #TODO
```

Wykonane zadanie zaprezentować na podstawie dołączonego pliku *sin_440Hz.wav*.

Automatyczne generowanie danych do pliku *.docx* jako podstawa sprawozdań

Poniżej znajdziecie fragment kodu pozwalający na automatyczne zapisywanie wykresów oraz wyników do dokumentu *.docx*. Pamiętajcie jednak, że tak wygenerowany dokument należy uzupełnić zwykle własną treścią, obserwacjami, podsumowaniem oraz wnioskami.

```
    01. from docx import Document
02. from docx.shared import Inches
03. import matplotlib.pyplot as plt
04. import numpy as np
05. from io import BytesIO
06.
07. document = Document()
08. document.add_heading('Zmień ten tytuł',0) # tworzenie nagłówków druga wartość to poziom nagłówka
09.
10.
11. files=['sin60Hz.wav','sin440Hz.wav','sin8000Hz.wav']
12. Margins=[[0,0.02],[0.133,0.155]]
13. for file in files:
14.     document.add_heading('Plik - {}'.format(file),2)
15.     for i,Margin in enumerate(Margins):
16.         document.add_heading('Time margin {}'.format(Margin),3) # nagłówek sekcji, mozę być poziom wyżej
17.         fig ,axs = plt.subplots(2,1,figsize=(10,7)) # tworzenie plota
18.
19.         ############################################################
20.         # Tu wykonujesz jakieś funkcje i rysujesz wykresy
21.         ############################################################
22.
23.         fig.suptitle('Time margin {}'.format(Margin)) # Tytuł wykresu
24.         fig.tight_layout(pad=1.5) # poprawa czytelności
25.         memfile = BytesIO() # tworzenie bufora
26.         fig.savefig(memfile) # z zapis do bufora
27.
28.
29.         document.add_picture(memfile, width=Inches(6)) # dodanie obrazu z bufora do pliku
30.
31.         memfile.close()
32.         ############################################################
33.         # Tu dodajesz dane tekstowe - wartosci, wyjscie funkcji ect.
34.         document.add_paragraph('wartość losowa = {}'.format(np.random.rand(1)))
35.         ############################################################
36.
37. document.save('report.docx') # zapis do pliku
```

Zadanie Dźwięk 3

Wykorzystując kod generujący plik *.docx* oraz funkcję generującą wykresy z zadania 2, napisz skrypt analizujący pliki *sin* dołączone do instrukcji. W ramach programu trzeba będziemy sprawdzać 3 różne rozmiary parametru *fsize=[2**8, 2**12, 2**16]*. Dodatkowo będziemy sprawdzać, gdzie w naszym widmie (dla jakiej częstotliwości widma) dostaniemy jego najwyższą wartość. Dla każdego z tych generowanych wykresów [illegible] powinna znaleźć się automatycznie wygenerowana pod wykresem. Pomocna może być do tego funkcja *np.argmax* Można też zapisywać wartość amplitudy w tym miejscu. Do wykonania tego zadania potrzebne są 2 pętle (zamienić pętlę po marginesie czasu na

Kontakt

Materiały

Przetwarzanie Obrazów

Systemy Multimedialne

Interaktywne Systemy Multimedialne

Przetwarzanie i analiza danych

FAQ - najczęściej zadawane pytania

pętlę z `fsize`) i niewielkie modyfikacje funkcji z zadania 2 (przekazanie zmiennej `axs` i zwrócenie danych). Na końcu sprawdzamy, czy poprawnie wygenerował nam się plik `docx` i zapisujemy go do formatu `PDF`.

Źródła danych dołączonych do instrukcji (nie pobierać)

- https://freesound.org/people/vdublin/sounds/428150/
- https://freesound.org/people/shpira/sounds/323623/