

ANALIZA HARMONICZNA FAL AKUSTYCZNYCH

Aparatura

Komputer wyposażony w kartę muzyczną, mikrofon, głośniki, programy do analizy dźwięku: ANALIZA (Część 1) oraz PRAAT (Część 2).

Kamertony o nieznanym częstotliwościach drgań.

CZEŚĆ I

Wstęp teoretyczny

Fonetyka jest dziedziną, która zajmuje się badaniem dźwięków mowy. Nauka ta oparta jest w dużej mierze na badaniach akustycznych bazujących na prawach fizyki, ponieważ informacja wytwarzana przez organy mowy osoby mówiącej ma postać fali dźwiękowej. Dźwięki możemy bez trudu rejestrować z dużą precyzją, natomiast do opisu ich właściwości wykorzystujemy parametry fizyczne, takie jak na przykład natężenie, czy częstotliwość. Najważniejszym jednak narzędziem analizy dźwięku jest tzw. **analiza harmoniczna**. Jak wiadomo, dźwięk to fala periodyczna zmieniającego się ciśnienia powietrza w czasie. Analiza harmoniczna polega na dekompozycji fali dźwiękowej na jej składowe, funkcje sinus i cosinus, które po zsumowaniu odtworzą wyjściową falę dźwiękową. Matematycznie analizę harmoniczną dokonujemy z wykorzystaniem **twierdzenia Fouriera**, które mówi, że każda funkcja ciągła może być utworzona jako nieskończona suma fal sinusoidalnych i cosinusowych. Innymi słowy, transformacja Fouriera, przyjmuje dane w funkcji czasu (dźwięk to zmiana ciśnienia w czasie) i przetwarza je na dane w funkcji częstotliwości (zależność intensywności składowych fal od ich częstotliwości). Tym samym, po transformacji Fouriera dany dźwięk zostaje opisany za pomocą częstotliwości składowych fal i ich amplitud, które razem współtworzą ten dźwięk.

Aparat mowy człowieka generuje dźwięki w wyniku wibracji określonych struktur anatomicznych. Podobnie instrumenty muzyczne generują określone tony w wyniku drgania np. struny czy membrany. Najniższa częstotliwość rezonansowa wibrującego obiektu nazywana jest jego **częstotliwością podstawową**. Natomiast częstotliwości harmoniczne dźwięku definiuje się jako całkowite wielokrotności częstotliwości podstawowej. Dla przykładu wibrująca struna h gitary generuje dźwięk charakteryzujący się częstotliwością podstawową 247 Hz i jej kolejnymi częstotliwościami harmonicznymi o wartościach 494 Hz, 741 Hz, itd..

Głównym celem dydaktycznym niniejszego ćwiczenia jest przybliżenie istoty analizy harmonicznej dźwięku. Badania posługujące się analizą dźwięku są istotnym elementem współczesnej medycyny, ponieważ wykorzystuje się je na przykład w projektowaniu aparatów słuchowych czy syntezy mowy.

Część praktyczna

Cel: analiza widma dźwięku uzyskanego dzięki kamertonom dostarczonym przez Asystenta.

1. Uruchom komputer. Kliknij dwukrotnie na umieszczoną na pulpicie systemu Windows ikonę o nazwie **CZEŚĆ I** – czynność ta spowoduje uruchomienie programu ANALIZA. Instrukcja posługiwania się programem jest wyświetlana po wybraniu opcji *Instrukcje* → *Przebieg ćwiczenia*.
2. Używając dostępnego mikrofonu zarejestruj dźwięk pierwszego kamertonu.
Wsunąć mikrofon do pudła rezonansowego pierwszego kamertonu, następnie w pierwszej kolejności uderzyć w kamerton, a następnie po upływie ok. 1 sekundy kliknąć opcję *Rejestruj* – spowoduje to uzyskanie właściwego – czystego dźwięku, pozbawionego trzasków związanych z uderzeniem w kamerton. Po kliknięciu opcji *Stop*, a następnie *Koniec* uzyskujemy wykres zmian ciśnienia akustycznego w czasie dla badanego dźwięku.

3. Dokonaj analizy zarejestrowanego dźwięku, klikając opcję *Analiza* -> *Transformacja Fouriera*. Podczas analizowania należy wybierać fragmenty zapisu charakteryzujące się stałym natężeniem dźwięku oraz wyraźną okresowością zapisu (co widać w oknie wykresu *Cały zapis*). Wyniki analizy (częstotliwość tonu podstawowego oraz stosunki amplitud) należy wpisać do tabeli 1.
4. Zarejestruj dźwięk drugiego kamertonu i dokonaj jego analizy, zgodnie z punktami 2 i 3. Wyniki wpisz do tabeli 1.
5. Na podstawie uzyskanych analiz dokonaj syntezy dźwięków pochodzących z kamertonów. W tym celu należy kliknąć opcje *Synteza* -> *Dane dźwięku*, a następnie wpisać odpowiednie wartości do wyświetlonej tabeli (częstotliwość tonu podstawowego oraz stosunki amplitud). Odtwórz zsyntezowane dźwięki i porównaj z rzeczywistymi.

CZEŚĆ II

Cel: analiza barwy dźwięku przy użyciu programu Praat.

1. Kliknij dwukrotnie na umieszczoną na pulpicie systemu Windows ikonę o nazwie **CZEŚĆ II** – czynność ta spowoduje uruchomienie programu **Praat**. Po uruchomieniu programu pojawiają się dwa okna, z których jedno „PRAAT objects” zawiera wszystkie opcje analizy, natomiast drugi – „PRAAT picture” umożliwia tworzenie obiektów graficznych w celu udokumentowania wyników analiz.
2. Dokonaj analizy czystego dźwięku (tonu) C5 oraz tego samego dźwięku wydawanego przez następujące instrumenty muzyczne: pianino, trąbkę, skrzypce i flet. Do tej części ćwiczenia należy wykorzystać pliki z naganiami umieszczone na pulpicie, w folderze „Nagrania do ćw. 33”
 - a) Kliknij opcję *Open* -> *Read from file*, a następnie wybierz nagranie
 - b) z listy *Objects* wybrać wczytane nagranie, a następnie kliknąć *View & Edit*. Czynność ta pozwoli na ukazanie okna z przebiegiem czasowym. Po ukazaniu się okna z przebiegiem czasowym należy zaznaczyć właściwy fragment widma i wybrać opcję *in* z paska narzędzi znajdującego się w dole okna. Aby uzyskać spektrogram, czyli widmo amplitudowe badanego dźwięku dla każdej chwili t , dla której ten dźwięk jest określony, należy wybrać opcję *Spectrum* -> *Show spectrogram*
 - c) wygeneruj obwiednię widma gęstości dźwięku poprzez kliknięcie *Spectrum* -> *View spectra slice*
 - d) odczytaj amplitudy składowych harmonicznym badanego dźwięku, określonych częstotliwościami podanymi w tabeli 2 (523 Hz, 1046 Hz, 1569 Hz, itd.). Aby odczytać amplitudę należy kliknąć kursorem na odpowiedni punkt składowej – wówczas wartość amplitudy wyświetli się automatycznie. Dane należy wpisać do tabeli 2 i po przeanalizowaniu odpowiedzieć na pytanie zawarte w formularzu.

CZEŚĆ III

Wstęp teoretyczny

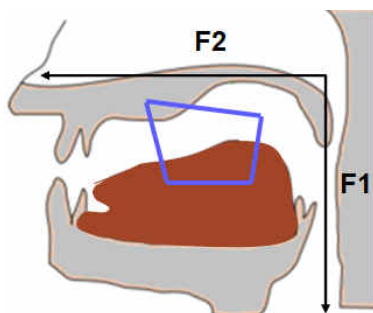
Najważniejszym aspektem opisu akustycznego samogłosek jest analiza widmowa - ogólny sposób artykulacji jest we wszystkich samogłoskach podobny, natomiast różnice pomiędzy nimi związane są z barwą dźwięku. Samogłoski charakteryzują podobne cechy ogólne, np. są one zazwyczaj dźwięczne – czyli występuje w nich drganie fałd głosowych znajdujących się w krtani. W mowie standardowej odbywa się ono z częstotliwością równą od ok. 80 Hz do ok. 400 Hz. Jak wiadomo, powstająca w trakcie wymawiania samogłoski fala dźwiękowa zawiera tzw. „częstotliwość podstawową” oraz częstotliwości harmoniczne, będące jej wielokrotnościami. Sygnał ten jest następnie „filtrowany” przez górną część kanału głosowego (gardło, jamę ustną i jamę nosową). Następuje tu wy tłumienie niektórych częstotliwości, natomiast częstotliwości, które nie zostają wytłumione, określane są jako „formanty” – są to składowe częstotliwości dźwięków mo-

wy, które uległy największemu wzmocnieniu w jamach nasady (gardłowej, ustnej i/lub nosowej) w wyniku zjawiska rezonansu akustycznego. Dźwięk powstający w krtani w wyniku drgań fałdów głosowych (ton krtaniowy) ulega jeszcze dalszym przekształceniom w strukturach ponadkrtaniowych, ponieważ kanał głosowy zachowuje się jak układ filtrów (rezonatorów) o określonych częstotliwościach rezonansowych. Zależą one od kształtu i długości toru głosowego. Zmodyfikowana przez kanał głosowy fala akustyczna ma już brzmienie właściwej głoski. W przypadku samogłosek, dwa pierwsze formanty są wystarczające w percepcyjnej identyfikacji dźwięków mowy, natomiast trzeci i czwarty formant związane są z indywidualnymi cechami głosu. Modyfikacja, polegająca na „filtrowaniu” częstotliwości dźwięku związana jest w głównej mierze z położeniem języka w jamie ustnej oraz wielkością szczeliny wargowej.

Przebieg ćwiczenia

Cel: ukazanie korelacji pomiędzy częstością formantów F1 i F2 poszczególnych samogłosek, a ułożeniem języka w jamie ustnej w czasie ich artykulacji poprzez wyznaczenie diagramu samogłoskowego. Z uwagi na fizjologiczne różnice w budowie aparatu mowy u ludzi, zaleca się, aby każdy student sporządził diagram w oparciu o formanty uzyskane z własnych nagrań.

1. Używając dostępnego mikrofonu zarejestruj trzykrotnie samogłoski /i/, /e/, /a/, /o/ i /u/. W tym celu w oknie *Praat Objects* klikamy *New-> Record mono Sound*. Następnie, klikamy opcję *Record* i rejestrujemy daną samogłoskę przez około 3 sekundy. Aby zakończyć nagrywanie należy wybrać pole *Stop*, a następnie zachować nagrany materiał poprzez kliknięcie *Save to the list*.
2. Wyznacz średnie częstotliwości formantów F1-F4 dla poszczególnych samogłosek. Aby dokonać analizy danej samogłoski należy:
 - e) z listy *Objects* wybrać zarejestrowane nagranie, a następnie kliknąć *View & Edit*. Po ukazaniu się okna z przebiegiem czasowym należy zaznaczyć właściwy fragment widma i wybrać opcję *sel* z paska narzędzi znajdującego się w dole okna
 - f) wygenerować spektrogram poprzez wybranie opcji *Spectrum -> Show spectrogram*. Poszczególne formanty na spektrogramie można zaznaczyć używając opcji *Formant -> Show formants*
 - g) częstotliwości formantów można wyznaczyć na dwa sposoby: poprzez analizę obwiedni widma gęstości (wykres uzyskuje się poprzez wybranie opcji *Spectrum ->View spectra slice*) lub poprzez kliknięcie *Formant -> Get first formant /Get second formant /Get third formant /Get fourth formant*. Wartości częstotliwości poszczególnych formantów wpisujemy do tabel w części III sprawozdania. Z trzech powtórzeń F1-F4 dla każdej samogłoski wyznaczamy wartość średnią.
3. Na papierze milimetrowym sporządź wykres na układzie współrzędnych F1 (współrzędna Y) i F2 (współrzędna X), zaznaczając średnie wartości F1 i F2 dla czterech samodzielnie wybranych samogłosek (patrz: rysunek). Po naniesieniu punktów narysuj czworobok samogłoskowy.



Wymagane wiadomości teoretyczne

1. Budowa ucha i organu mowy.
2. Fale akustyczne, cechy obiektywne i subiektywne dźwięku.
3. Prawo Webera-Fechnera.
4. Twierdzenie i analiza Fouriera.
5. Teoria Helmholtza i Bekesyego.
6. Spektrogram i widmo sygnału

Literatura

1. S. Mięksiz, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki”, Volumed, Wrocław 1998.
2. K. Michalak, A. Hendrich, „Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki”, Wydawnictwo AM Wrocław, 2002
3. Sz. Szczeniowski, „Fizyka doświadczalna” - t. I (str. 648 - 652 i str. 645), PWN, Warszawa 1980.
4. R. Glaser, „Wstęp do biofizyki”, PZWL, 1974 (dobry opis zagadnień z punktu 4).
5. F. Jaroszyk, „Biofizyka”, PZWL, Warszawa 2008, wyd. 2.

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu Katedra i Zakład Biofizyki i Neurobiologii	Ćwiczenie 33 Analiza harmoniczna fal akustycznych	
 Imiona i nazwiska studentów	Wydział: nr grupy: Data:
Ocena:	Podpis prowadzącego ćwiczenia	

CZEŚĆ I - Tabela 1

kamer- ton	Częstotliwość [Hz]	Stosunki amplitud								
		2:1	3:1	4:1	5:1	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1
1										
2										

CZEŚĆ II – Tabela 2

Częstotliwość składowej harmonicznej [Hz]	Amplitudy poszczególnych składowych dźwięku [dB]				
	ton „czysty”	pianino	trąbka	skrzypce	flet
523					
1046					
1569					
2092					
2615					
3138					
3661					
4184					
4707					
5230					

Który z fizycznych parametrów opisujących dźwięk instrumentu w największym stopniu wpływa na barwę dźwięku?

.....

CZEŚĆ III – Tabela 3

Student 1

Dla samogłoski „i”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „e”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „a”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „o”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „u”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Student 2

Dla samogłoski „i”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „e”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „a”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „o”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				

Dla samogłoski „u”

L.p.	Formant F1 [Hz]	Formant F2 [Hz]	Formant F3 [Hz]	Formant F4 [Hz]
1				
2				
3				
Wartość średnia				