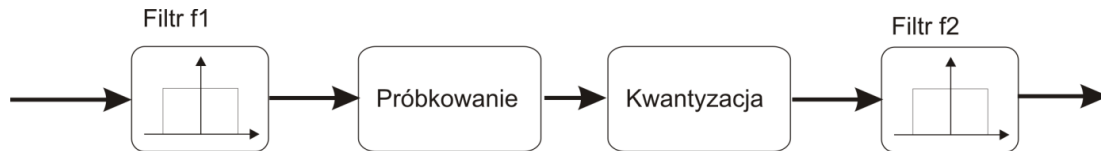


# Laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów

Tytuł: Próbkowanie i kwantyzacja sygnałów ciągłych

## 1 Opis działania aplikacji

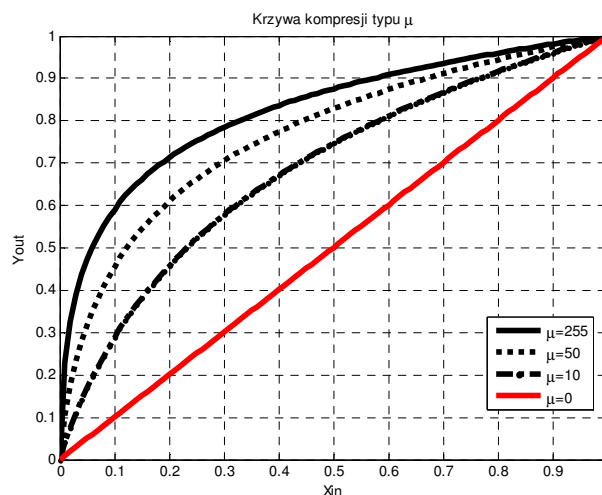
Skrypt należy uruchomić wpisując w linii komend `lcps1`. Okno programu, które otworzy się z domyślnymi parametrami zostało przedstawione wraz z opisem na rysunku 3. Po wybraniu żądanego sygnału do przetwarzania dokonywane są następujące operacje (patrz rys. 1): filtracja dolnopasmowa (określona przez częstotliwość odcięcia – `filtr1`), próbkowanie (określone przez częstotliwość próbkowania), kwantyzacja (kwantyzator równomierny lub nierównomierny o określonej liczbie poziomów kwantyzacji), filtracja dolnoprzepustowa nr 2.



Rysunek 1. Schemat przedstawiający operacje wykonywane przez skrypt

Kwantyzator nierównomierny określony jest przez krzywą kompresji typu  $\mu$  (patrz rys. 2) daną wzorem:

$$y(x) = X_{max} \frac{\log\left[1 + \mu \frac{|x|}{X_{max}}\right]}{\log[1 + \mu]} \cdot \text{sign}(x).$$



Rysunek 2. Krzywa kompresji typu  $\mu$

Wybiera rodzaj wyświetlanego wykresu, po zmianie typu należy kliknąć Odśwież

Określa zakres osi X na wykresach; dziesiętnikowanie zmniejsza liczbę wyświetlanych próbek - co przyspiesza działanie

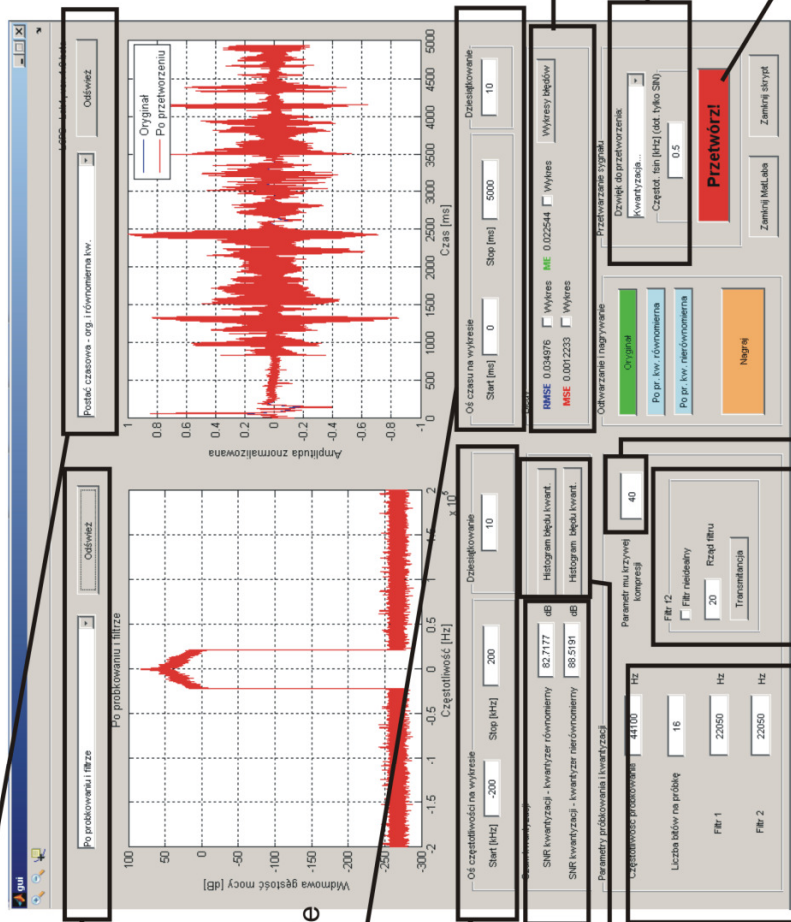
Wyświetla wyliczony SNR

Wyświetla wykres histogramu błędów kwantyzacji

Parametry próbkowania i kwantyzacji

Filtr 2 wyliczany jako FIR zadanego rzędu

Parametr  $\mu$  krzywej kompresji



Wyświetla błędy przetwarzania oraz ich wykresy w dziedzinie czasu. RMSE (Root Mean Squared Error); MSE (Mean S. E.); ME (Mean Error).

Określa sygnał poddawany przetwarzaniu. Dla sygnału sinus, można zmieniać częstotliwość

Uruchamia przetwarzanie sygnału

Rysunek 3. Okno aplikacji wraz z opisem poszczególnych elementów

## 2 Polecenia do wykonania

### 2.1 Próbkowanie

#### 2.1.1 Sygnał SIN o częstotliwości 600 Hz

- a) Należy ustawić następujące parametry symulacji:
- sygnał przetwarzany: SIN, częstotliwość 600 Hz,
  - zakres osi czasu na wykresie od 0 ms do 20 ms,
  - zakres osi częstotliwości na wykresie od -4 kHz do 4 kHz,
  - filtr  $f_1$  i  $f_2$  na 650 Hz,
  - częstotliwość próbkowania na 1,4 kHz,
  - liczba bitów na próbkę 64.
- b) Należy wykonać następujące operacje:
- ❖ obejrzeć widmo przed filtracją i po procesie próbkowania
  - ❖ odsłuchać oryginał i sygnał przetworzony
- c) Zmienić częstotliwość próbkowania na 700 Hz; obejrzeć widma i odsłuchać;  
**Co się zmieniło i dlaczego?**
- d) Filtr 2 ustawić na 40 kHz; odsłuchać sygnał i obejrzeć wykresy;  
**Co się zmieniło i dlaczego?**
- e) Powtórzyć doświadczenie dla  $f_s=10$  kHz; (aby lepiej zaobserwować zmiany ustawić oś wykresu częstotliwości na zakres od -39 do 39 kHz)
- f) Ustawić  $f_s=45$  kHz; filtry ustawić na 100 kHz, zakres widma na -100 kHz do 100 kHz, zakres wykresu czasowego od 5 do 7 ms, **dzięciokowanie wykresu czasowego na 1.**  
**Jaki jest błąd RMSE? Czy odsłuchiwany dźwięk uległ poprawie? Jak wytłumaczyć obserwowane zjawisko?**

#### 2.1.2 Sygnał mowy

- a) Należy ustawić następujące parametry symulacji:
- sygnał nagrać, najlepiej wypowiadając zadanie (nie liczyć 1,2,3..),
  - filtr  $f_1$  na 7 kHz,
  - częstotliwość próbkowania na 14 kHz,
  - **liczba bitów na próbkę 16.**
- b) Ustawić filtr  $f_2$  (7 kHz) na **nieidealny** i zmieniać rząd filtru od 100 w dół do 5; odsłuchiwać sygnał po przetworzeniu i obserwować widmo po próbkowaniu i kwantyzacji;  
**Sporządzić wykres RMSE, MSE od rzędu filtru. Dla jakiego rzędu filtru jakość odsłuchiwanego sygnału staje się akceptowalna?**
- c) Powtórzyć to samo dla innego sygnału mowy, np. inna osoba wypowiada inne zdanie; czy otrzymane rezultaty są identyczne?
- d) Powtórzyć dla tego samego sygnału co w p. 3), ale przyjmując filtr  $f_2$  (nieidealny) 22050 Hz (filtr 1 również nastawić na wartość 22050 Hz) i  $f_s=44.1$  kHz; Sporządzić wykres RMSE (od rzędu filtru) oraz odsłuchać, co uległo zmianie?
- e) Ustawić  $f_s=44.1$  kHz, filtry na 22050 Hz (idealne). Zmniejszać  $f_s$ , kiedy aliasing zaczyna być słyszalny (dla jakiej  $f_s$ , jaki jest wtedy błąd)?

### 2.1.3 Podsumowanie zagadnienia próbkowanie

Czy RMSE jest **zawsze** dobrą miarą degradacji sygnału dźwiękowego?

## 2.2 Kwantyzacja

### 2.2.1 Nagrany sygnał mowy

- Dla nagranego sygnału mowy, dla standardowych parametrów (**najlepiej zamknąć skrypt i otworzyć go jeszcze raz**) obejrzeć histogramy błędu kwantyzacji dla kwanty zera nierównomiernego i równomiernego; wyniki skomentować, **dlaczego wyglądają właśnie tak?**
- Zmniejszać liczbę bitów kwantyzacji (od 16 w dół); sporządzić wykres SNR oraz RMSE od liczby bitów kwantyzacji (dla kwanty zera równomiernego i nierównomiernego); **przyjrzeć się zmianom widma (po próbkowaniu i kwantyzacji) i postaci czasowej, co można zaobserwować? Jaka jest różnica w postaci czasowej sygnału po przetworzeniu dla kwantyzera równomiernego i nierównomiernego? Odsłuchać sygnały (dla obu kwantyzatorów) przy różnej liczbie bitów na próbkę; skomentować odsłuch.**

### 2.2.2 Sygnał SIN

Wyznaczyć charakterystykę SNR od liczby bitów na próbkę dla kwantyzera równomiernego i nierównomiernego. Porównać wynik ze wzorem teoretycznym:  $SNR_q \approx 1,761 + 6,02 \cdot q_{[dB]}$ , gdzie  $q$  jest liczbą bitów przypisanych na kwantyzację poziomów.

**Skomentować różnicę pomiędzy SNR dla kwantyzera równomiernego i nierównomiernego. Czy kwantyzator nierównomierny opisany krzywą (rys. 2) jest optymalny dla sygnału sinus? Jaki jest rozkład prawdopodobieństwa rozkładu amplitud dla sygnału sinus?**

### 2.2.3 Wpływ parametrów krzywej kompresji na SNR

Dla sygnału mowy zmieniać parametr krzywej kwantyzacji  $\mu$  ( $mu$ ) od 0.01 do 255; sporządzić wykres SNR od parametru  $\mu$ . **Jaki jest optymalny parametr? Od czego to zależy?**

## 2.3 Kwantyzacja i próbkowanie – odczucia odsłuchującego

### 2.3.1 Minimalizacja zasobów

Dobrać jak najmniejszą szerokość filtra, częstotliwość próbkowania, l. bitów na próbkę i rodzaj kwantyzera, aby dało się zrozumieć wypowiedane zdanie (pomimo zakłóceń). Do jakich wartości można zejść? Jaki jest wtedy SNR, RMSE ?

### 2.3.2 Minimalizacja zasobów bez utraty jakości

Wybrać sygnał muzyka. To samo co w poprzednim punkcie, tym razem jednak do momentu gdy nie słyszymy spadku jakości odtwarzanego sygnału. Wnioski jak w poprzednim punkcie.