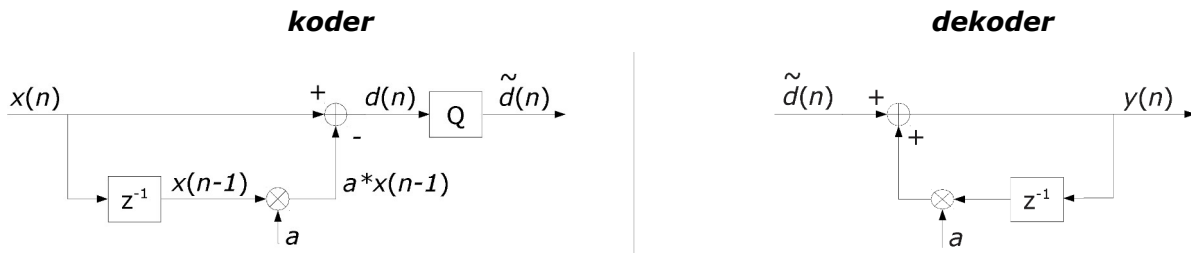


1. Koder dźwięku DPCM (2+0.5 pkt)

Schemat układu koder i dekodera, realizującego kompresję **DPCM** (ang. *Differential Pulse Code Modulation*) ze współczynnikiem predykcji a zamieszczono poniżej. Równania:

Koder: $d(n) = x(n) - a \cdot x(n-1);$ $dq = \text{Quantization}(d);$
 Dekoder: $y(n) = dq(n) + a \cdot y(n-1);$ ← tu jest rekurencja !!!



Uzupełnij poniższy kod źródłowy o dekodera. Porównaj sygnał oryginalny $x(n)$ z sygnałem zrekonstruowanym $y(n)$. Następnie ogranicz rozdzielczość sygnału $d(n)$ do 16 stanów (4 bity), na których reprezentowany jest sygnał dq . W tym celu napisz funkcję `lab11_kwant(...)`. Do poprawnego wykonania kwantyzacji najpierw trzeba wyznaczyć minimalną i maksymalną wartość danych w wektorze d . Porównaj błędy rekonstrukcji dla obu przypadków.

```
x = wavread( 'DontWorryBeHappy.wav', 'native' ); % wczytanie próbki dźwiękowej
x = double( x );
a = 0.9545; % parametr a koder
d = x - a*[ 0; x(1:end-1) ]; % KODER
dq = lab11_kwant( d ); % kwantyzator

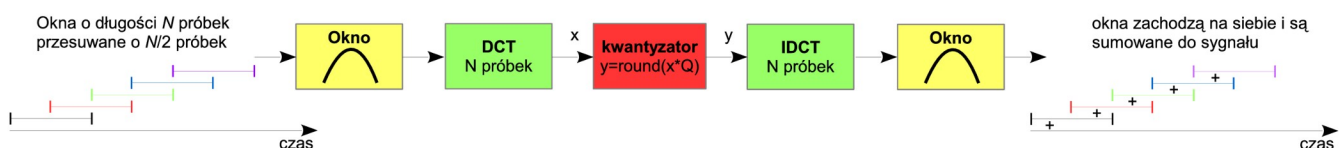
% tutaj wstaw dekodera

figure( 1 );
n=1:length(x);
plot( n, x, 'b', n, dq, 'r' );
```

Opcjonalnie (+0.5 pkt): wykonaj (de)koder ADPCM (ang. *Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) według standardu G.726. Wykorzystaj opis z [1]¹. Wykonaj kodowanie dla 16 i 32 kbit/s.

2. Transformacyjne kodowanie dźwięku (2+0.5 pkt)

Jedną z możliwości kodowania dźwięku jest kodowanie transformacyjne (np. stosowane w koderze AAC – Advanced Audio Coding, np. w radiofonii DAB+). Jego schemat blokowy, wykorzystujący zmodyfikowaną transformatę DCT (MDCT czyli: Modified DCT) przedstawiono na poniższym rysunku.



[1] Tomasz P. Zieliński, Przemysław Korohoda, Roman Rumian,... Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, <http://teledsp.kt.agh.edu.pl/>

Okno analizy i syntezy ma postać:

$$h(n) = \sin\left(\pi \frac{n+0.5}{N}\right), \text{ gdzie } n=0,1,2,\dots,N-1.$$

Odpowiednio wyskalowana macierz analizy A dla N -punktowej transformaty MDCT (o wymiarach $N/2 \times N$) jest dana wzorem (patrz (21.41) na str. 621 w [TZ2005] dla $K=N/2$):

$$[A]_{km} = \sqrt{\frac{4}{N}} \cos\left(\frac{2\pi}{N}(k+0.5)\left(k+0.5+\frac{N}{4}\right)\right),$$

gdzie $k=0,1,2,\dots,N/2-1$, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$. Macierz syntezy S transformacji MDCT jest uzyskiwana przez transpozycję macierzy analizy A .

Zauważ, że podczas rekonstrukcji sygnału wynikowego, sąsiednie okna nakładają się na siebie. Pojedyncza próbka sygnału wyjściowego jest więc sumą odpowiednich próbek z dwóch sąsiednich okien.

1) Wykonaj koder dla $N=32$ i $N=128$.

2) Sprawdź czy kodowanie może być bezstratne dla odpowiednio dużego Q . Wybierz taką wartość Q , aby dla monofonicznego sygnału próbkowanego z częstotliwością $f_s=44100$ Hz uzyskać strumień bitów o przepływności 64 kbps. Do testów użyj próbki [DontWorryBeHappy.wav](#).

Opcjonalnie, alternatywa dla zadania 6 (+0.25 pkt): zmodyfikuj koder i dekodery tak, aby dynamicznie przyporządkowywał on liczbę bitów na każdy współczynnik transformaty w każdej ramce. Załóż, że im większa wartość współczynnika, tym jest on ważniejszy i powinien zostać zakodowany na większej liczbie bitów. Informację o liczbie bitów wyznaczaj na podstawie współczynników transformaty za okres 100 ms.

Możesz wykonać dwuprzebiegowy koder – w pierwszym etapie wyznacz mapę współczynników kwantyzacji. W drugim wykonaj kwantyzację.

Opcjonalnie, alternatywa dla zadania 6 (+0.25pkt): Podczas kompresji sygnału audio głoski dźwięczne są przetwarzane z dłuższym oknem (w standardzie AAC $N=2048$), a głoski szumowe z krótszym (AAC: $N=512$). W przypadku braku kwantowania współczynników transformacji DCT opisane powyżej przekształcenie sygnału (analiza-synteza) może zapewnić jego dokładne odtworzenie także w przypadku dynamicznej zmiany długości okna (np. $2048 \rightarrow 256$ i $256 \rightarrow 2048$). Zaprojektuj okna „przejściowe” dla przypadku rozpatrywanego w ćwiczeniu: $128 \rightarrow 32$ i $32 \rightarrow 128$ (patrz str. 622 w [TZ2005]). Kilka razy wykonaj zmianę długości okna w trakcie analizy-syntezy. Porównaj sygnały przed i po transformacji. Czy otrzymałeś to samo? Powinieneś.

3. Podpasmowe kodowanie dźwięku (1 pkt)

Wykorzystując uproszczony schemat podpasmowego kodowania dźwięku z przykładu 15.1 [1], zamieszczonego na stronie <http://teledsp.kt.agh.edu.pl/15/> ([kodowanie_podpasmowe.m](#)), wykonaj kompresję i dekompresję fragmentu nagrania [DontWorryBeHappy.wav](#). Wybierz fragment, zawierający dźwięki tonalne oraz szumowe (nie przetwarzaj całej próbki – trwa to za długo).

(0.25 pkt) Wykonaj kodowanie w wariantach:

- 8 podpasm, 6 bitów na każde podpasmo,
- 32 podpasma, 6 bitów na każde podpasmo,
- 32 podpasma, zmienna liczba bitów, kolejno: 8, 8, 7, 6, (4).

Dla każdego z powyższych wariantów wyznacz spektrogram PRZED oraz PO cyklu kompresja-dekompresja. Porównaj spektrogramy, wskaż który jest bardziej zniekształcony. Na spektrogramie i na wykresie próbek dźwięku (PCM) wskaż elementy tonalne i szumowe.

Oblicz kompresję (w sensie redukcji liczby bitów) sygnału dla powyższych wariantów.

(0.75 pkt) Zmodyfikuj koder i dekodery tak, aby dynamicznie przyporządkowywał on liczbę bitów na każde podpasmo w każdej ramce. Załóż, że im większa energia sygnału w danym podpaśmie, tym sygnał w tym podpaśmie jest ważniejszy i dlatego powinien zostać zakodowany na większej liczbie bitów. Informacja o liczbie bitów w każdym podpaśmie musi zostać przesłana z kodaera do dekodera.

4. Szacowanie ilości informacji – Entropia (+0.1 pkt)

Entropię, definiowaną jako miarę informacji, można zastosować do obliczenia minimalnej liczby bitów, potrzebnej do zakodowania jednego symbolu, należącego do zadanego ciągu symboli (np. próbek sygnału mowy, dźwięku, etc...). W ten sposób można oszacować graniczne możliwości algorytmów kompresji danych. Shannon zdefiniował ww. minimalną liczbę bitów na pojedynczy symbol w następujący sposób:

$$H(x) = - \sum_{n=1}^N p_n \log_2 p_n$$

gdzie p_n to prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia (symbolu) n , natomiast N to liczba wszystkich zdarzeń (symboli) w ciągu (komunikacie) x .

Oblicz minimalną liczbę bitów informacji przypadającą na pojedynczy symbol dla następujących sygnałów:

$x_1 = [0, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 0];$
 $x_2 = [0, 7, 0, 2, 0, 2, 0, 7, 4, 2];$
 $x_3 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 15];$

W tym celu:

- dla każdego ciągu x znajdź unikalne symbole p_n ,
- oblicz prawdopodobieństwo każdego z symboli p_n ,
- oblicz $H(x)$.

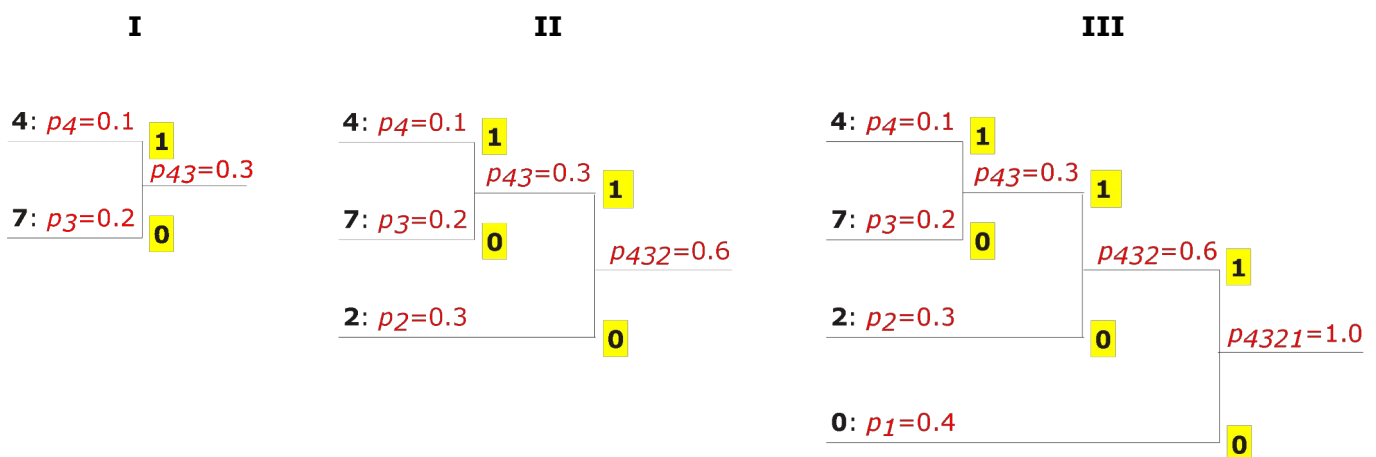
Dla przykładu, w sekwencji $[0, 7, 0, 2, 0, 2, 0, 7, 4, 2]$:

- unikalne symbole to: „0”, „2”, „7” i „4”,
- prawdopodobieństwa wystąpienia tych symboli: $p_1=0.4$, $p_2=0.3$, $p_3=0.2$, $p_4=0.1$.

5. Koder Huffmana (+0.9 pkt)

Kodowanie Huffmana jest jedną z bezstratnych metod kompresji (ich przykłady to ZIP, RAR, ARJ,...). Jest ono często stosowane po kwantyzacji w końcowym etapie kompresji dźwięku, np. w standardzie MP3. Drzewo Huffmana dla tego ciągu danych o prawdopodobieństwie występowania symboli:

$p_1=0.4$, $p_2=0.3$, $p_3=0.2$, $p_4=0.1$. będzie konstruowane w 3 krokach. W każdym kroku łączymy symbole o dwóch najmniejszych prawdopodobieństwach wystąpienia:



Opcjonalnie (+0.2 pkt) Przyporządkuj słowa kodowe (sekwencje bitowe) wszystkim symbolom (są to kolejne bity leżące na ścieżce od pnia drzewa do danego symbolu). Przykładowo, dla symbolu „2” mamy sekwencję bitową „10”. Zakoduj sygnał x_2 strumieniem bitów, korzystając z wyznaczonych słów kodowych. Nie musisz pisać kodu w tym celu.

Wygeneruj sygnał x_4 zdefiniowany następująco:

```
rng( 0 );  
x4 = randi( [1 5], 1, 10 );
```

Oblicz liczbę bitów potrzebną do zakodowania sekwencji `x4` za pomocą kodera Huffmana (tzn. zbuduj drzewo kodowe i wynikającą stąd tablicę kodową). Oblicz najmniejszą liczbę bitów potrzebną do zakodowania tej sekwencji, używając entropii. Porównaj obie wartości.

Wykonaj kodowanie i dekodowanie sekwencji `x4`. Napisz własny kod, wykorzystujący ręcznie zbudowane tablice (książki kodowe) dla kodera i dekodera.

Opcjonalnie (+0.7 pkt): zbuduj ww. tablice automatycznie, tak aby twój program mógł być wykorzystany do zakodowania i rozkodowania dowolnej sekwencji symboli metodą Huffmana. Użyj funkcji `sortuj(...)`, `drzewo(...)`, `tablicaKodera(...)` lub własnych implementacji. Do sprawdzenia poprawności działania programu wykorzystaj sekwencję `x5`, znajdującą się w pliku `lab11.txt`. W kodzie bitowym zmień losowo pojedynczy bit i sprawdź jakie będą przekłamania w zdekodowanych symbolach.

6. (+0.5 pkt) Analiza-modyfikacja-synteza dźwięku z użyciem MDCT – separacja dźwięków

Opcjonalnie, alternatywa dla opcji z zadania 2 (+0.5 pkt)

Dysponując macierzą współczynników MDCT, obliczonych dla kolejnych fragmentów sygnału i zmieniających się w czasie, możemy wyświetlić tę macierz (wartości bezwzględne) podobnie jak jest to robione w przypadku spektrogramu sygnału (zobacz rysunek wygenerowany przez funkcję Matlab `spectrogram()` dla naszego sygnału audio).

Widząc czasowo-częstotliwościowy (TF) opis sygnału, możemy w nim zauważyć charakterystyczne wzorce TF (*TF patterns*), np. skoki częstotliwościowe (hip-hop) podczas śpiewu kanarka na tle zgiełku ruchliwej ulicy lub pracującego silnika samochodu. 1) pozostawiając tylko współczynniki MDCT związane z konkretnym źródłem dźwięku, 2) zerując pozostałe i 3) wykonując syntezę sygnału audio, możemy dokonać filtracji sygnału w dziedzinie TF. Dla sygnałów "skaczących po częstotliwościach", jak kanarek, filtracja taka może być skuteczniejsza niż standardowa filtracja FIR/IIR, w której filtry nie zmieniają swoich charakterystyk częstotliwościowych w czasie.

Opisana metoda filtracji jest wykonywana w standardowej strukturze [analiza-modyfikacja-synteza \(sygnał-widmo-modyfikacja-sygnał\)](#), ale na szachownicy TF współczynników transformacji MDCT, a nie na pojedynczym widmie całego sygnału (np. $\text{FFT}(\text{DCT})$ - modyfikacja widma - $\text{IFFT}(\text{IDCT})$). Dzięki temu możliwe jest lepsze dopasowanie zero-jedynkowej maski widmowej do skoków częstotliwości (hip-hop) sygnałów składowych w osi czasu.

Nagraj dźwięk o zmieniających się częstotliwościach lub pobierz z internetu i zmiksuj razem kilka sygnałów o "skaczących" częstotliwościach. Następnie zastosuj program 13.2 (*CPS Laboratorium AGH Lato2025 Watermark_Pass*) kodera-dekodera AAC do separacji poszczególnych dźwięków drogą maskowania 0/1 współczynników MDCT i syntezy z nich sygnału audio.