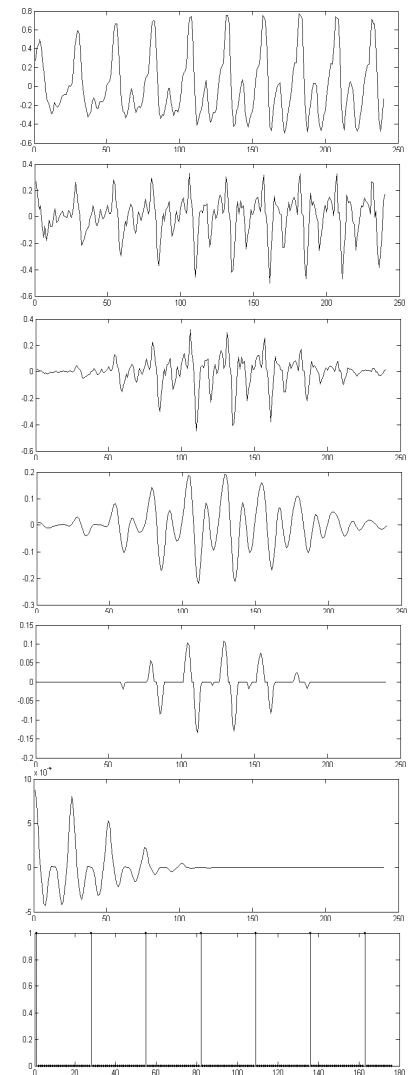
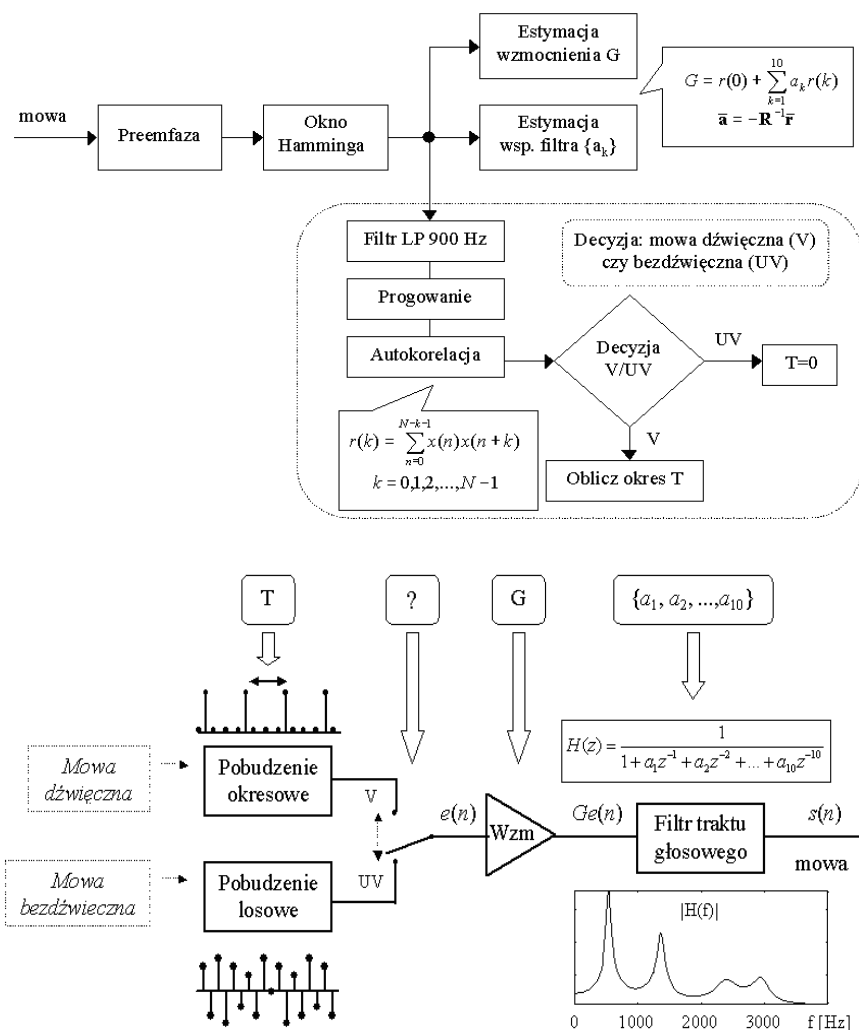


1. Prosty koder/dekoder (2+1 pkt)

Poniżej przedstawiono koder oraz dekodery (lewa strona rysunku) uproszczonego modelu kompresji mowy LPC-10 oraz przykładowe sygnały, dźwięcznego fragmentu mowy (prawa strona rysunku), w kolejności od góry do dołu: sygnał, preemfaza, okno Hamminga, filtr LP, progowanie, autokorelacja, pobudzenie dźwięczne. Kod realizujący ten schemat znajduje się w pliku `lpc10.m` (rozdział 19, tabela 19-4 [TZ2005]).



- Wybierz trzy fragmenty mowy reprezentujące: głoskę dźwięczną, głoskę bezdźwięczną oraz stan przejściowy, następnie wyświetl:
 - sygnał czasowy oraz widmo gęstości widmowej mocy sygnału przed oraz po preemfazie,
 - charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową filtra $H(z)$,
 - sygnał czasowy przed i po progowaniu,
 - funkcję autokorelacji sygnału z zaznaczonymi progami,
 - decyzję o „dźwięczności” głoski, jeżeli jest dźwięczna dodatkowo częstotliwość tonu podstawowego,
 - ramkę zszyntezowaną (porównaj ramkę oryginalną i zszyntezowaną w dziedzinie czasu oraz częstotliwości).
- Sprawdź jakość mowy i porównaj różne warianty w przypadku zmiany liczby biegunów filtra $H(z)$ na 10, 8, 6, 4, 2.
- Wykonaj kompresję sygnałów: `mowa1.wav` (czysty dźwięk, pojedynczy mówca), `mowa2.wav` (dwóch mówców + tło), `mowa3.wav` (próbka muzyczna).

4. **opcjonalnie** (+1 pkt) Wykonaj kwantyzację współczynników „a” transmitancji $H(z)$. Kolejne pary sprzężone zespolonych miejsc zerowych wielomianu o współczynnikach „a” skwantuj na następującej liczbie bitów: 8, 6, 6, 4, 4. Sprawdź dla jakich kombinacji uzyskasz największą kompresję danych (oblicz przepływność bitową kodeka przyjmując 8 bitów dla G oraz 6 bitów dla T) przy zadowalającej jakości mowy.

2. Sygnał pobudzenia (2+1 pkt)

Wykonaj następujące eksperymenty z sygnałem pobudzenia. Dekoder zmodyfikuj tak aby:

- ignorował decyzję V/UV (dźwięczna/bezdźwięczna), ustaw pobudzenie zawsze na bezdźwięczne ($T=0$),
- zachował decyzję V/UV ale w przypadku głoski dźwięcznej obniżył dwukrotnie częstotliwość tonu podstawowego,
- zachował decyzję V/UV ale w przypadku głoski dźwięcznej ignorował informację o częstotliwości tonu podstawowego, ustaw go na stałą wartość (np. $T=80$),
- ignorował decyzję V/UV, ustaw pobudzenie na bezdźwięczne lecz zamiast szumu użyj próbek z pliku `coldvox.wav`.

W koderze z ćwiczenia 1 zastosowano impulsowe pobudzenie dla głosek dźwięcznych. Jest to mało realistyczna sytuacja. Zastosuj pobudzenie tzw. sygnałem „resztkowym”. W tym celu:

1. Wybierz dźwięczny fragment mowy o stałej amplitudzie i częstotliwości tonu podstawowego.
2. Oblicz $H(z)$ dla tego fragmentu, następnie przefiltruj go filtrem „odwrotnym” o transmitancji $1/H(z)$, otrzymasz w ten sposób tzw. sygnał resztkowy. Filtrowy odwrotny to taki, w którym zamieniono miejscami licznik z mianownikiem, czyli współczynniki „a” i „b” zamieniły się miejscami w transmitancji.
3. W dekodery, jako pobudzenie dla wszystkich głosek dźwięcznych wykorzystaj jeden okres sygnału resztkowego. **Opcjonalnie** (+1 pkt) oblicz średni sygnał resztkowy uśredniając kilka okresów tego sygnału, a następnie użyj go jako pobudzenia okresowego.

3. Sygnał resztkowy (1+2 pkt)

Zmodyfikuj koder i dekodery tak, aby zamiast pobudzenia okresowego wykorzystać sygnał resztkowy (ang. *residual*), którego sposób wyznaczania podano w ćwiczeniu 2. Wykonaj kodowanie z pełnym sygnałem resztkowym, tj. dla każdej ramki dźwięcznej oblicz sygnał resztkowy, wykorzystując odwrotność filtru $H(z)$, obliczonego w tej ramce. Nie upraszczaj sygnału do jednego okresu. Porównaj jakość tak wykonanej kompresji dla wszystkich trzech próbek dźwiękowych.

Opcjonalnie (+2pkt) wykonaj uproszczenie sygnału resztkowego według następującej procedury:

- oblicz widmo sygnału resztkowego: $w = \text{abs}(\text{fft}(x))$, gdzie x to ramka sygnału wejściowego o długości 256 próbek przefiltrowana filtrem o transmitancji $1/H(z)$,
- uprość (wygładź) widmo w poprzez zastosowanie filtru dolnoprzepustowego na pierwszych 128 współczynnikach widma,
- aproksymuj widmo za pomocą wielomianu rzędu od 5 do 10 (sprawdź jaki rząd będzie odpowiedni),
- prześlij współczynniki aproksymacji widma z koder do dekodera i w dekodery odtwórz sygnał pobudzenia z obwiedni widma metodą odwrotnej dyskretniej transformacji Fouriera (pamiętaj o (a)symetrii widma sygnału rzeczywistego).

W ten sposób, 256 współczynników widma sygnału rezydualnego zostało zapisanych za pomocą kilku liczb, tracąc przy okazji informację o fazie poszczególnych harmonicznych. Jest to jak najbardziej uzasadnione, ponieważ ilość informacji (w sensie entropii) w sygnale rezydualnym jest znacznie mniejsza niż 256 współczynników, a człowiek nie jest wrażliwy na fazę w sygnale monofonicznym. Podobna operacja jest wykonywana w koderze mowy HVXC standardu MPEG-4.

4. Inne algorytmy (0+3 pkt)

(+1 pkt) Kluczowym algorytmem w koderze LPC-10 jest detekcja głosek dźwięcznych. Błędna detekcja powoduje zawsze znaczne pogorszenie jakości dźwięku. Spróbuj zaprojektować i wykonać lepszy algorytm U/V. W tym celu możesz wykorzystać następujące obserwacje:

- głoska dźwięczna ma zazwyczaj wyższą energię niż bezdźwięczna (trudno krzyknąć szeptem ;-)),
- częstotliwość tonu podstawowego w sąsiednich ramkach jest podobna (zmienia się w sposób ciągły i powoli),
- częstotliwość tonu podstawowego nie zmienia się skokowo z ramki na ramkę (można go śledzić adaptacyjnie),
- ton podstawowy jest silnie okresowy więc można spróbować zastosować analizę częstotliwościową (także kepsralną) do jego wyznaczania; dodatkowo zauważ, że głoski dźwięczne posiadają ton podstawowy i jego wyższe harmoniczne.

(+1 pkt) Zastąp funkcję Matlaba odwracającą macierz: `inv(R)` algorytmem Levinsona, opisanym w [TZ2005, rozdz. 20]. Ta funkcja jest wykorzystywana w telefonach komórkowych ze względu na mniejszą złożoność obliczeniową.

Spróbuj przestrajać filtr syntezy częściej niż co 160 próbek. W tym celu należy dokonać interpolacji stanów filtra (zastosowanie współczynników LSP, str. 567 w [TZ2005]).

(+1 pkt) Przedstaw filtr syntezy w postaci kratowej, przelicz współczynniki liniowej predykcji „a” na gamma i skwantuj je. Filtr syntezy w postaci kratowej został opisany w rozdz. 20 [TZ2005]. Struktura kratowa jest mniej poddana na kwantyzację, więc nie powinno zachodzić wzbudzenie filtra w dekodерze.