

ĆWICZENIE 4

Kompresja sygnałów mowy w oparciu o kwantyzację wektorową

1. Analiza budowy drzewa decyzyjnego.

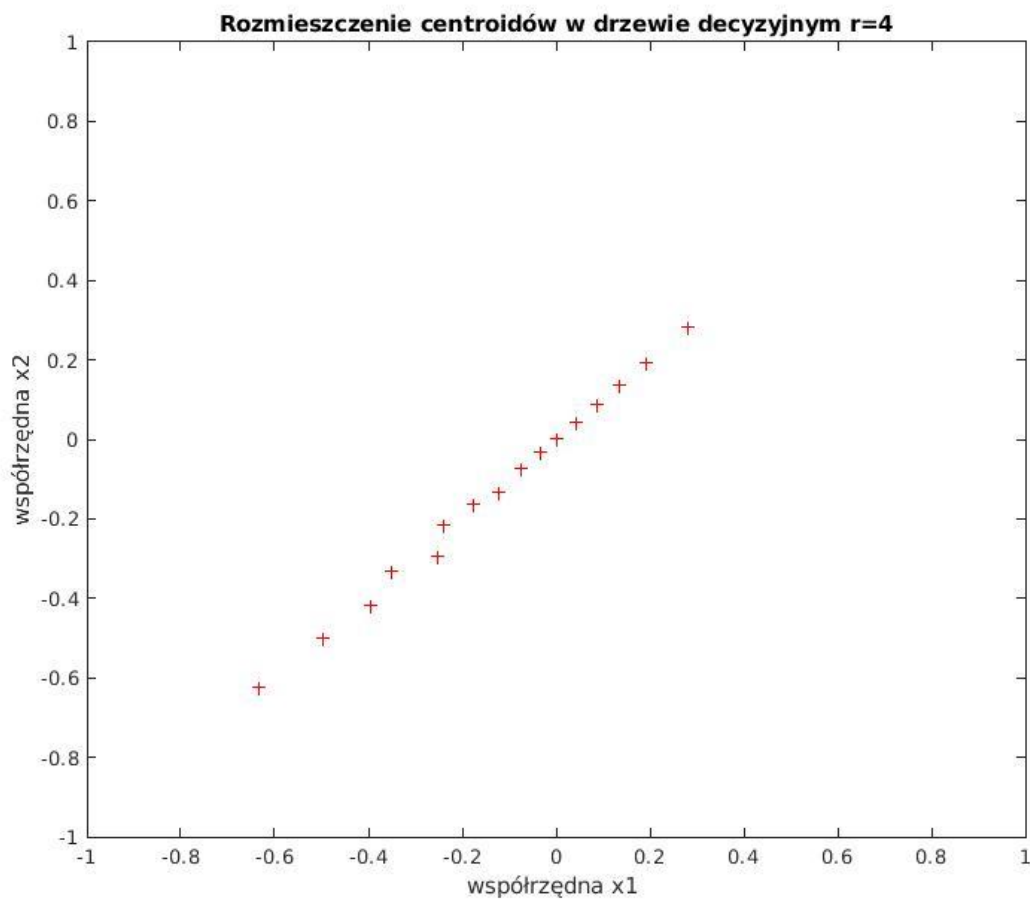
Zmiany w sposobie rozmieszczenia wektorów decyzyjnych na poszczególnych poziomach w drzewie $r=1,2...8$ na podstawie obserwacji graficznej ilustracji przy pomocy skryptu centroidy.m.

Tabela 1. Rozmieszczenie centroidów dla poszczególnych poziomów r .

r - numer poziomu w drzewie decyzyjnym drzewie binarnym	Opis rozmieszczenia centroidów
1	2 centroidy rozmieszczone prawie symetrycznie wokół punktu (0,0) w I i III ćwiartce układu współrzędnych
2	4 centroidy rozmieszczone współliniowo
3	8 centroidów rozmieszczonych współliniowo
4	16 centroidów rozmieszczonych „prawie” współliniowo
5	32 centroidy – utrata współliniowości, niewielkie zagęszczenie wokół punktu (0, 0)
6	64 centroidy – duże zagęszczenie centroidów wokół punktu (0,0), rozrzedzenie reprezentacji w miarę oddalania się od punktu (0,0), kwantyzator wektorowy zaczyna wykazywać cechy nieliniowego kwantyzera 2D dla sygnału mowy
7	128 centroidów – dalsze zagęszczanie się reprezentacji wektorów wokół punktu (0, 0), widoczne rozrzedzenie się tej reprezentacji w miarę oddalania się od punktu (0, 0).
8	256 centroidów – bardzo duże zagęszczenie się reprezentacji wokół punktu (0, 0) i znaczące się rozrzedzanie tej reprezentacji w miarę oddalania się od punktu (0, 0)

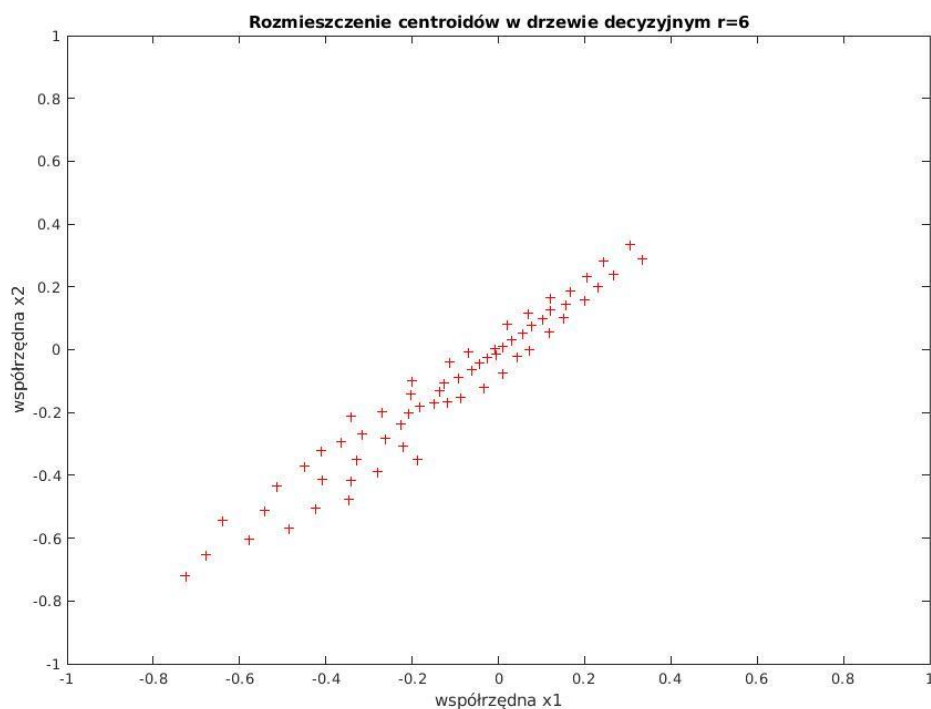
Dla $r \leq 4$ centroidy rozkładają się w sposób liniowy lub współliniowy. Dla wartości $r=5$ rozmieszczenie centroidów traci współliniowość. Dla wartości od $r=6$ do $r=8$ obserwujemy zagęszczenie centroidów przy punkcie (0,0).

Wykres 1. Rozmieszczenie centroidów w drzewie decyzyjnym dla $r=4$.



Na wykresie1 widać 16 centroidów rozmieszczonych w sposób zbliżony do współliniowego.

Wykres 2. Rozmieszczenie centroidów w drzewie decyzyjnym $r=6$.



Na wykresie 2 widać 64 centroidów, wykres charakteryzuje duże zagęszczenie wokół punktu (0,0), ilość centroidów zmniejsza się w miarę oddalania się od punktu 0,0.

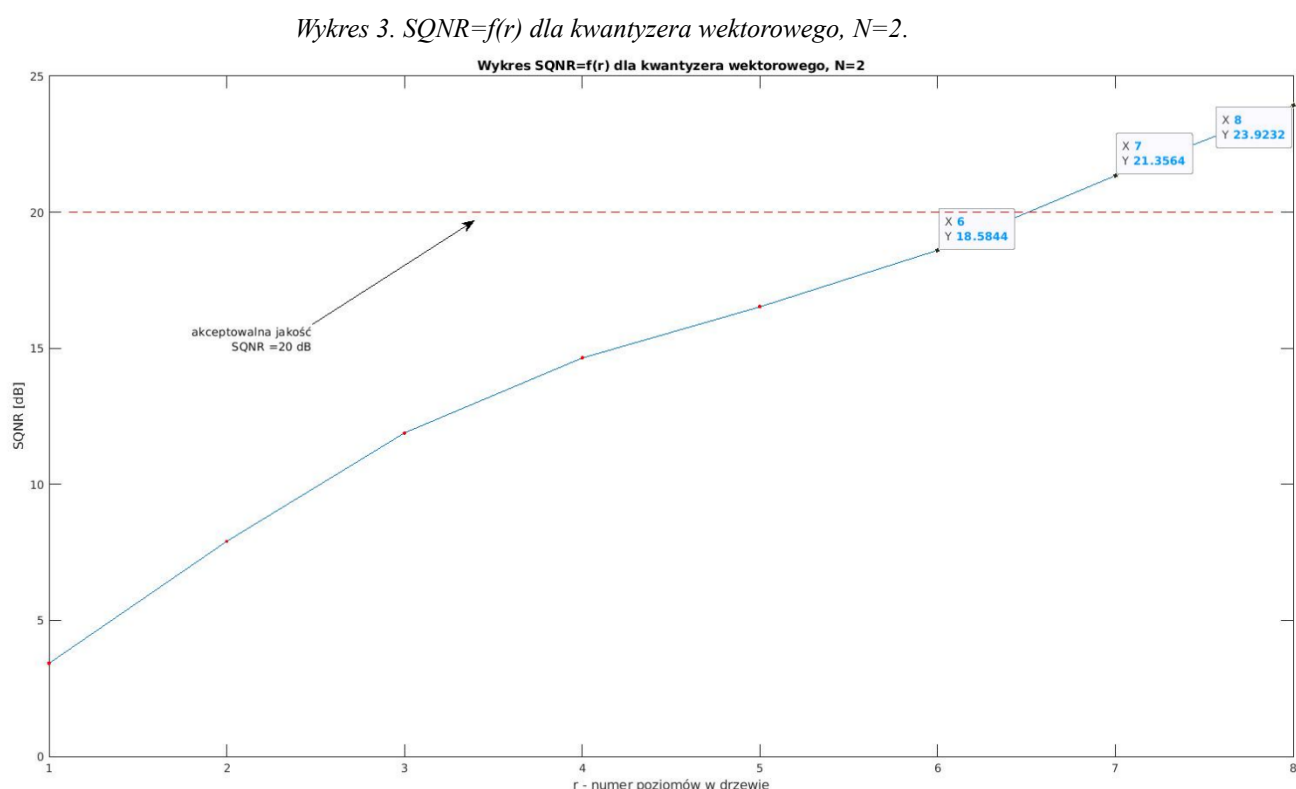
Każdy punkt na wykresach to wektor, algorytm działa bez nadzoru. Drzewo na poziomie 4 ma 16 reprezentantów po 62 500 każdy, natomiast drzewo na poziomie 6 ma 64 reprezentantów każdy po 15 625.

2. Badanie kodeka (koder-dekoder) opartego o kwantyzację wektorową w dziedzinie czasu.

W tym podpunkcie użyty został skrypt kodek.m w celu zbadania zależności $SQNR(r)$ dla $r=1,2,...,8$ długości sygnału $dl = 10000$ (5000 wektorów dwuwymiarowych),

gdzie r jest ilością poziomów w strukturze drzewa z wektorami wzorcowymi,

liczba $2r$ jest całkowitą liczbą dostępnych wektorów wzorcowych w procesie kodowania.



Akceptowalna jakość SQNR dla punktu 7 i 8. Punkt 6 jest poniżej normy. Za normę przyjmujemy SQNR na poziomie 20 dB.

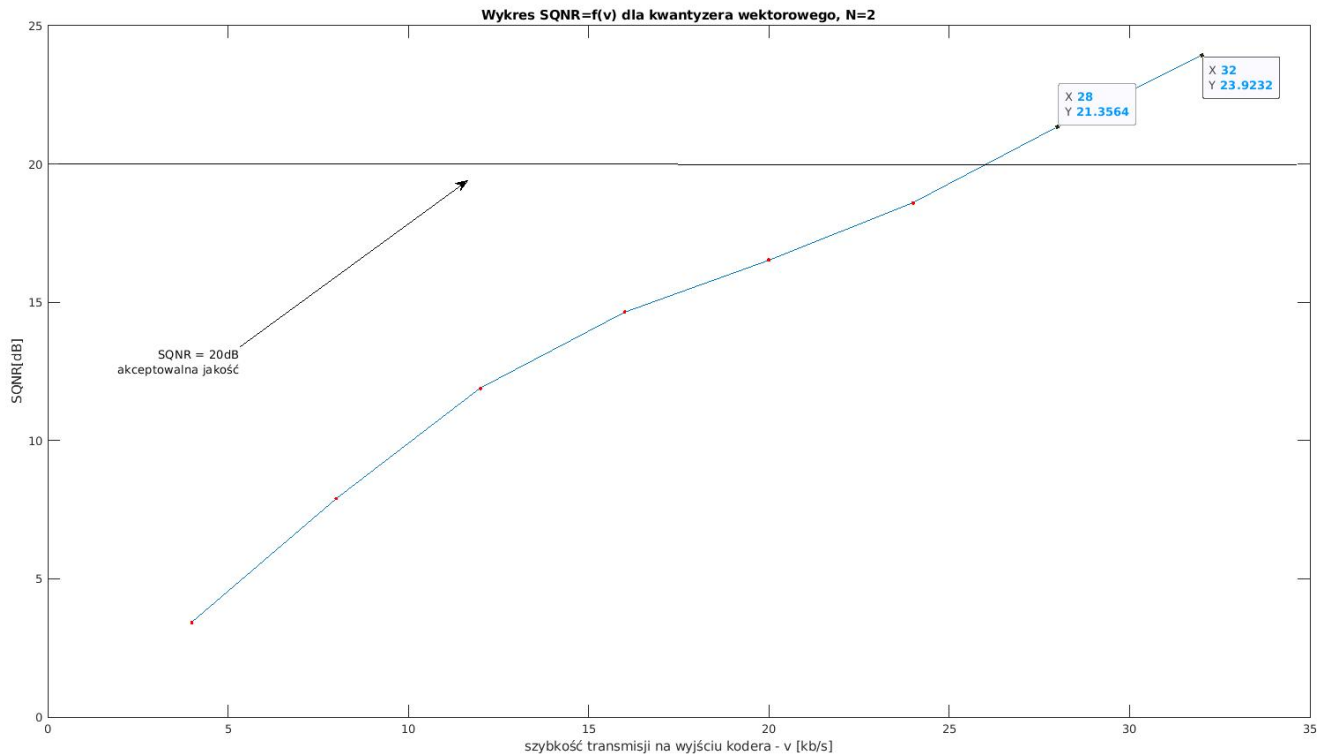
$$v = \frac{f_s}{N} * r = \frac{f_s}{N} \log_2 L,$$

gdzie N określa ilość wektorów na wejściu koderka na 1s (szybkość wektorową),

$\log_2 L$ – ilość bitów potrzebna do zakodowania L centroidów

Otrzymany wykres został przeskalowany na kb/s w celu odczytania szybkości transmisji na wyjściu kodera w zależności do parametru r .

Wykres 4. $SQNR=f(v)$ dla kwantyzera wektorowego, $N=2$.



W naszym przypadku $f_s=8000$ próbek/s, $N=2$, można z tej zależności wyprowadzić wzór na v i obliczyć $v(r)$:

$$v = \frac{8000 \frac{\text{próbek}}{s}}{2} * r$$

$$\frac{f_s}{N} * r = \frac{f_s}{N} * \log_2 L \rightarrow r = \log_2 L$$

$$v(r_7) = \frac{f_s}{N} * r = \frac{8000 \frac{\text{próbek}}{s}}{2} * 7 = 28000 \frac{b}{s} = 28kb/s$$

$$v(r_8) = \frac{f_s}{N} * r = \frac{8000 \frac{\text{próbek}}{s}}{2} * 8 = 32000 \frac{b}{s} = 32kb/s$$

3. Wyznaczenie stopnia kompresji

Określenie stopnia kompresji przy założeniu, że sygnał oryginalny podlegał kwantyzacji z rozdzielczością $R=12$ bitów.

$$\eta = \frac{I_{we}}{I_{wy}} = \frac{KRN}{K \log_2 L} = \frac{RN}{\log_2 L} = \frac{12*2}{\log_2 L},$$

I_{we} oznacza ilość informacji na wejściu,

I_{wy} oznacza ilość informacji na wyjściu,

R oznacza rozdzielczość kwantyzacji,

K oznacza ilość wektorów na wejściu, ilość słów kodowych na wyjściu,

$\log_2 L$ oznacza ilość bitów potrzebnych do zaadresowania L wektorów w książce kodowej

$$r = \log_2 L$$

$$\eta(6) = \frac{12 * 2}{6} = \frac{24}{6} = 4$$

$$\eta(7) = \frac{12 * 2}{7} = \frac{24}{7} = 3,43$$

$$\eta(8) = \frac{12 * 2}{8} = \frac{24}{8} = 3$$

Rosnący parametr $r (\log_2 L)$ powoduje zmniejszenie stopnia kompresji η .

4. Zadanie własne:

- a) **kwantyzерem dynamicznym 4-bitowym** ($v=32$ kb/s, $SQNR=21.12$ dB, 16 000 operacji/s) przy $SQNR \sim \text{const}$ i kodekami.

Wykres 5. $SQNR=f(v)$ dla kwantyzera wektorowego porównanego z kwantyzерem dynamicznym 4 bitowym.

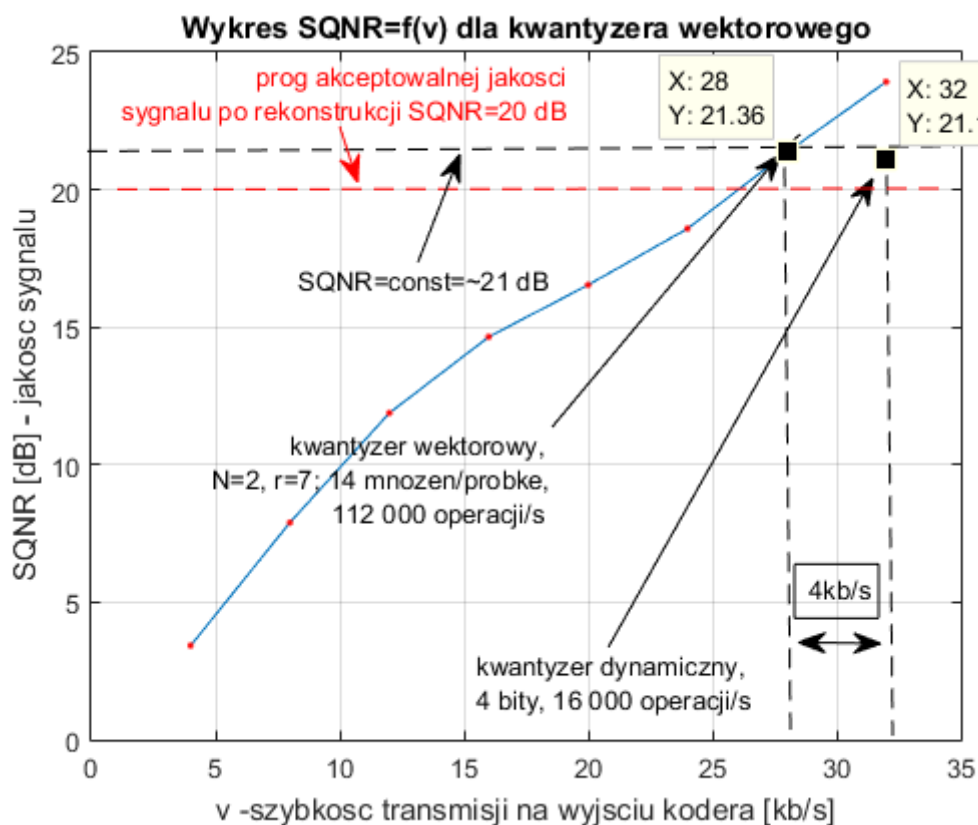


Tabela 2. Porównanie kwantyzera dynamicznego z wektorowym ($r=7$).

Kwantyzер	$SQNR$ [dB]	Szybkość transmisji na wyjściu kodera [kb/s]
Wektorowy	21,36	28
Dynamiczny 4 bitowy	21,12	32

Kwantyzер wektorowy zapewnia szybkość 28 kb/s zachowując porównywalnie taki sam $SQNR$ jak kwantyzер dynamiczny zapewniający szybkość 32 kb/s. Różnica szybkości transmisji wynosi 4 kb/s.

b) **ADPCM 3 bity** ($v=24$ kb/s, $SQNR=22.7$ dB dla długości filtru adaptacyjnego $M=5$, 160 000 operacji/s) przy $SQNR \approx \text{const}$ ($r=7$)

Wykres 5. $SQNR=f(v)$ dla kwantyzera wektorowego porównanego z kwantyzерem ADPCM 3bitowym.

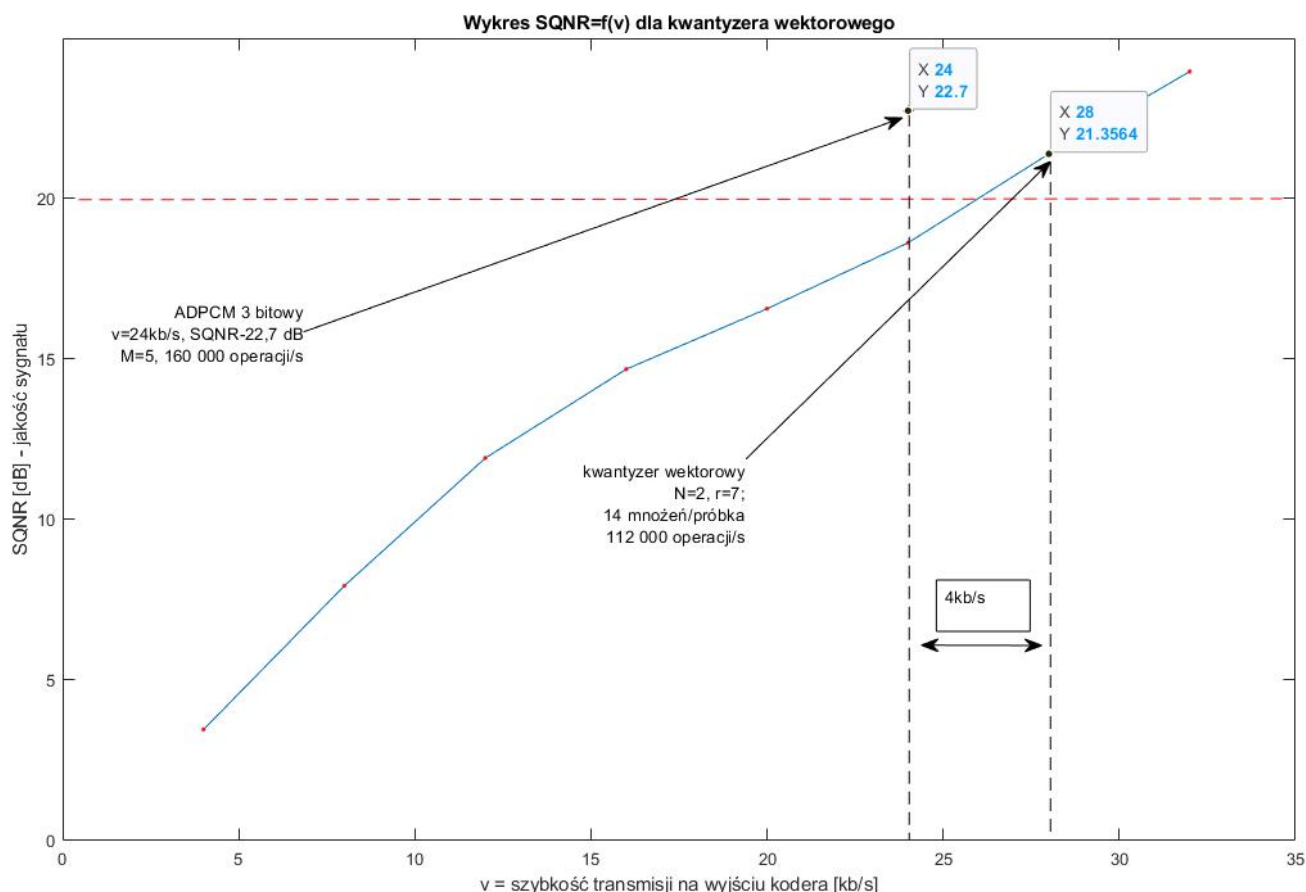


Tabela 3. Porównanie kwantyzera ADPCM 3 bitowego z wektorowym ($r=7$).

Kwantyzер	$SQNR$ [dB]	Szybkość transmisji na wyjściu kodera [kb/s]
Wektorowy	21,36	28
ADPCM 3 bitowy	24,00	24

Kwantyzер ADPCM 3 bitowy zapewnia szybkość transmisji na poziomie 24 kb/s przy $SQNR = 24$ dB, natomiast kwantyzер wektorowy ($r=7$) prędkość transmisji na poziomie 28 kb/s przy $SQNR = 21,36$ dB. Różnica prędkości pomiędzy kwantyzерami wynosi 4 kb/s. Problemem kodeka ADPCM jest duża obliczeniowość, wykonuje on 160 000 operacji/s, czyli 48 000 więcej niż kwantyzер wektorowy ($r=7$).

c) **ADPCM 4 bity** ($v=32$ kb/s, **SQNR=27.5 dB** dla **M=5**, 160 000 operacji/s)
przy $v=32$ kb/s=const.

Wykres 6. $SQNR=f(v)$ dla kwantyzera wektorowego porównanego z kwantyzерem ADPCM 4bitowym.

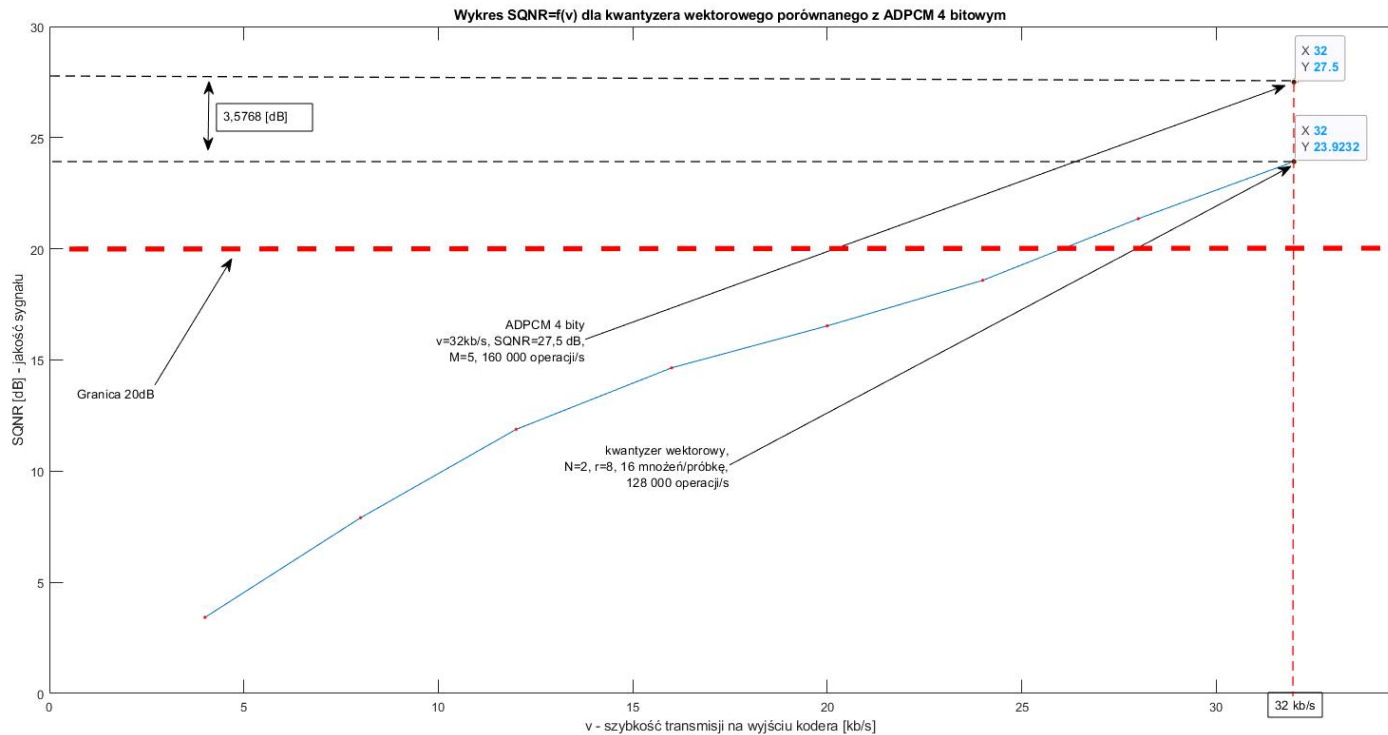


Tabela 4. Porównanie kwantyzera ADPCM 4 bitowego z wektorowym ($r=8$).

Kwantyzator	SQNR [dB]	Szybkość transmisji na wyjściu kodera [kb/s]
Wektorowy	23,92	32
ADPCM 4 bitowy	27,5	32

Kwantyzator ADPCM 4 bitowy zapewnia prędkość transmisji na poziomie 32 kb/s przy $SQNR = 27,5$ dB, natomiast kwantyzator wektorowy ($r=8$) osiąga tę samą szybkość przy $SQNR = 23,92$ dB. Różnica pomiędzy SQNR wynosi $\sim 3,5$ dB. Kodek ADPCM wykonuje 160 000 operacji/s, czyli 32 000 więcej niż kwantyzator wektorowy ($r=8$).

5. Wnioski końcowe

Rozmieszczenie centroidów w zależności od numeru poziomu w drzewie decyzyjnym („r”):

- $r \leq 4$ centroidy rozkładają się w sposób liniowy lub współliniowy
- $r=5$ rozmieszczenie centroidów traci współliniowość
- od $r=6$ do $r=8$ obserwujemy zagęszczenie centroidów przy punkcie (0,0)

Kwantyzer wektorowy rozpatrywany w tym ćwiczeniu ($N=2$, $f_s=8\text{kHz}$) przyjmuje ponad akceptowalną jakość ($\text{SQNR} > 20\text{ dB}$) dla 7 i większego poziomu decyzyjnego drzewa binarnego („r”). Szybkość transmisji na wyjściu kodera dla przypadku $r=7$ wynosi 28 kb/s, natomiast dla $r=8$ prędkość wynosi 32 kb/s.

Stopień kompresji zmniejsza się wraz ze zwiększającym się poziomem decyzyjnego drzewa binarnego („r”). Dla $r=6$ stopień kompresji wynosi $\eta=4$, dla $r=7$ stopień kompresji wynosi $\eta=3,43$, natomiast dla $r=8$ stopień kompresji wynosi $\eta=3$.

Porównanie kwantyzatorów względem kwantyzera wektorowego dla $r=7$:

Tabela 4. Porównanie kwantyzatorów: wektorowego dla $r=7$, dynamicznego 4 bitowego i ADPCM 3 bitowego.

Kwantyzer	SQNR [dB]	Szybkość transmisji na wyjściu kodera [kb/s]	Ilość operacji/s
Wektorowy	21,36	28	112 000
Dynamiczny 4 bitowy	21,12	32	16 000
Dynamiczny 4bitowy względem kwantyzera wektorowego	0,24	-4	96 000
ADPCM 3 bitowy	24,00	24	160 000
ADPCM 3 bitowy względem kwantyzera wektorowego	-2,64	4	-48 000

Porównując trzy kwantyzery (wektorowy ($r=7$), dynamiczny i ADPCM 3 bitowy) najlepiej wypada kwantyzator dynamiczny wykonuje on najmniej operacji/sekundę nie tracąc przy tym SQNR i zapewniając szybkość o 4 kb/s większą niż kwantyzator wektorowy. W zestawieniu najgorzej wypada kodek ADPCM 3 bitowy który zyskuje 2,64 dB jakości sygnału kosztem 4 kb/s szybkości, wykonuje on także 48 000 operacji na sekundę więcej niż kwantyzator wektorowy.

Porównanie kwantyzera ADPCM 4 bitowego względem kwantyzera wektorowego dla $r=8$:

Tabela 4. Porównanie kwantyzatorów: wektorowego dla $r=8$, i ADPCM 4 bitowego.

Kwantyz器	SQNR [dB]	Szybkość transmisji na wyjściu kodera [kb/s]	Ilość operacji/s
Wektorowy	24,00	32	128 000
ADPCM 4 bitowy	27,5	32	160 000
ADPCM 4 bitowy względem kwantyzera wektorowego	-3,5	0	-32 000

Kwantyz器 wektorowy ($r=8$) posiada taką samą szybkość transmisji na wyjściu kodeka jak ADPCM 4 bitowy. Kwantyz器 wektorowy ($r=8$) względem ADPCM 4 bitowego traci 3,5 dB SQNR, wykonuje jednak 32 000 mniej operacji/s.