

doi:10.15199/48.2024.12.27

## Efektywność kompresji koderów H.264 i H.265 w warunkach częstej zmiany sceny

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, porównujących efektywność kompresji koderów H.264 i H.265 w warunkach częstej zmiany sceny. Badania wykonano z wykorzystaniem pięciu testowych sekwencji wizyjnych. Wyniki badań wykazały, że pomimo lepszej ogólnej skuteczności, w przypadku koder H.265 odnotowano większą utratę efektywności kodowania przy bardzo częstej zmianie sceny. Wyniki prac mogą być wskazówką przy wyborze koder w różnego rodzaju urządzeniach rejestrujących materiał wideo.

**Abstract.** The paper presents the results of experimental studies comparing the compression efficiency of H.264 and H.265 coders in conditions of frequent scene change. The research was performed using five test video sequences. The test results showed that despite better overall performance, the H.265 coder experienced a greater loss of encoding efficiency with very frequent scene changes. The results of the work may be a guide when choosing an coder in various types of video recording devices. (**Compression efficiency of H.264 and H.265 coders under conditions of frequent scene change**).

**Słowa kluczowe:** koder H.264, koder H.265, kodowanie wideo, zmiana sceny

**Keywords:** H.264 codec, H.265 codec, video encoding, scene change

### Wstęp

Rejestrowanie oraz analizowanie obrazów i sekwencji wizyjnych staje się obecnie coraz bardziej powszechne i stosowane jest w wielu dziedzinach. Wykorzystywane do tego celu są zarówno popularne urządzenia, takie jak: smartfony, kamery (zarówno amatorskie jak i profesjonalne), rejestratory wideo, satelity obrazowania optycznego jak i usługi, np.: wideokonferencji, rozmów wideo, telewizji czy serwisów strumieniowych. Uzyskany materiał wizyjny może być zgodnie z potrzebami analizowany i przetwarzany. Przykładem może być wykorzystanie materiału wizyjnego np.: do rozpoznawania twarzy [1], do wykrywania pojazdów uprzywilejowanych [2], do rozpoznawania zwierząt na nagraniach z wideorejestratorów samochodowych [3] czy do budowy systemu nadzoru wizyjnego w opiece zdrowotnej w oparciu o urządzenia IoT [4]. Analiza taka często jest możliwa z wykorzystaniem systemów wbudowanych, opartych np. o urządzenia z rodziny Raspberry Pi [5].

W niemal wszystkich zastosowaniach, gdzie występuje transmisja bądź przechowywanie danych wizyjnych, wykorzystuje się różnego rodzaju techniki kompresji. Są one nieustannie rozwijane w celu zapewnienia lepszej efektywności, czego wynikiem jest pojawianie się co kilka lat nowych sposobów kodowania. Na przestrzeni ostatnich lat powstało wiele standardów kodowania, takich jak: H.264/AVC, H.265/HEVC [6, 7, 8]. Każdy kolejny standard charakteryzuje się znacząco lepszą efektywnością kodowania, czego kosztem jest zwiększenie złożoności kodowania, co przekłada się bezpośrednio na wzrost wymagań sprzętowych urządzeń korzystających z danej techniki kompresji [9]. Obecnie bardzo często wykorzystywane są kodery H.264 (w urządzeniach mniej wydajnych, czyli tańszych) oraz H.265 w urządzeniach posiadających wystarczająco wydajne jednostki przetwarzające.

Podstawą efektywnych technik kompresji sekwencji wizyjnych jest wykorzystanie podobieństw, jakie występują między kolejnymi obrazami w danej sekwencji. Stopień podobieństwa nie jest stały i zmienia się w zależności od treści, ruchu kamery, czy też zmiany ujęcia między kamerami. Taka zmiana ujęcia nazywana jest zmianą sceny (ang. Scene Change) i powoduje, że treść zarejestrowana jedną kamerą różni się od treści zarejestrowanej drugą kamerą (wybrane metody wykrywania zmiany sceny przedstawiono w [10, 11, 12]). Wówczas podobieństwa

sąsiednich obrazów w momencie wystąpienia zmiany sceny są zwykle niewielkie, co przyczynia się do pogorszenia efektywności kompresji. Jednak nie tylko zmiana kamery rejestrującej materiał może powodować spadek podobieństwa sąsiadujących obrazów. Również takie czynniki jak: bardzo szybki ruch kamerą, szybko poruszające się obiekty, latające konfetti, falująca tafla wody, pokazy sztucznych ogni czy wyładowania atmosferyczne istotnie redukują stopień podobieństwa sąsiadujących ze sobą obrazów w sekwencji wizyjnej.

W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dwóch popularnych koderów sekwencji wizyjnych H.264 oraz H.265 w warunkach częstego występowania zmiany sceny. W celu realizacji badań, testowe sekwencje wizyjne zostały poddane modyfikacji, symulującej występowanie zmiany sceny z różną intensywnością. Przedstawione wyniki pokazują w jakim zakresie spada efektywność kodowania dla dwóch badanych koderów w zależności od częstości występowania zmiany sceny w sekwencji wizyjnej.

### Metodologia badań

Celem pracy było przeprowadzenie badań eksperymentalnych dwóch koderów sekwencji wizyjnych w warunkach częstej zmiany sceny. Na potrzeby badań wprowadzono parametr oznaczony jako SC. Jego wartość określa, co ile obrazów będzie następowała w badanej sekwencji zmiana sceny. Przyjęto, że badania zostaną przeprowadzone dla parametru SC równego 2, 4, 8, 12 i 16. Oznacza to, że dla wartości SC=2, co każde dwie klatki obrazu w badanej sekwencji następować będzie zmiana sceny, dla SC=4 co każde cztery klatki obrazu wystąpi zmiana sceny, itp. Natomiast dla parametru SC=0 kodowanie będzie przebiegać w warunkach, gdzie zmiana sceny nie występuje. Do badań wybrano pięć testowych sekwencji wizyjnych: Crowd Run, Ducks Take Off, In To Tree, Old Town Cross, Park Joy w rozdzielczości FullHD (1920x1080), zapisanych w formacie YUV [13]. Schemat próbkowania badanych sekwencji to 4:2:0, liczba klatek na sekundę wynosiła 50, sekwencje składały się z 500 klatek. Wybrane sekwencje charakteryzują się różną zawartością i dynamiką, są powszechnie wykorzystywane w badaniach koderów sekwencji wizyjnych.

Ponieważ w oryginalnych sekwencjach nie występuje zmiana sceny, poddano je modyfikacji symulującej występowanie zmiany sceny. W tym celu odpowiednie klatki

sekwencji zostały podzielone na pół w pionie i poziomie na cztery jednakowe obszary o rozdzielczości 960x540 każdy, które następnie były zamieniane między sobą po przekątnej obrazu (zamiana obszaru lewego górnego z prawym dolnym oraz zamiana obszaru prawego górnego z lewym dolnym, rys.1). Zamiana realizowana była w odstępach co 2, 4, 8, 12 i 16 klatek obrazu i trwała również taką samą liczbę klatek. Taki zabieg pozwolił na stworzenie pięciu wariantów dla każdej testowej sekwencji wizyjnej, charakteryzujących się występowaniem ustalonego schematu zmiany sceny, przy jednoczesnym zachowaniu identycznej treści każdego wariantu badanej sekwencji.



Rys.1. Ilustracja zamiany obszarów obrazu, sekwencja Crowd Run

W badaniach wykorzystano powszechnie dostępne oprogramowanie referencyjne H.264 [14] oraz H.265 [15]. Zastosowano konfigurację kodowania dostępu losowego, zgodnie z definicją w [16, 17]. Jako miarę jakości zastosowano współczynnik PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) zdefiniowany równaniem:

$$(1) \quad PSNR = 10 \log \left( 255^2 N^2 / \sum_i e_i^2 \right),$$

gdzie: 255 – zakres dynamiczny sygnału (luminancja),  $N$  – liczba punktów w obrazie,  $e_i$  – różnica wartości między  $i$ -tym punktem obrazu oryginalnego i zdekodowanego.

Eksperyment polegał na kodowaniu, a następnie dekodowaniu sekwencji wizyjnych dla danego SC i sześciu wariantów parametru kodera QP (Quantization Parameter) – 25, 30, 35, 40, 45 i 50 oraz wyznaczeniu wartości PSNR dla każdego kodowania. Parametr QP służy do wpływania na prędkość transmisji, a tym samym jakości kompresji. Niższa wartość QP powoduje, że obraz po dekompresji będzie miał wyższą jakość, jednak wymaga wyższej prędkości transmisji (bitrate), natomiast wyższa wartość QP wymaga niższej prędkości transmisji, ale jakość również będzie niższa. Uzyskana w wyniku kodowania prędkość transmisji silnie zależy od treści zawartej w przetwarzanym materiale, zaś jej wartość zmienia się (dla tej samej wartości QP) dla różnych badanych sekwencji wizyjnych.

### Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono uzyskane wartości współczynnika PSNR oraz prędkości transmisji badanych sekwencji przy zadanych wartościach parametrów SC i QP dla kodera H.264. Natomiast w tabeli 2 przedstawiono odpowiadające wartości dla kodera H.265. Graficzną prezentację danych zawartych w tabelach, dla wybranych wartości współczynnika PSNR koderów H.264 i H.265 oraz pięciu badanych sekwencji wizyjnych przedstawiono na rysunkach od 2. do 6. Zauważyć można ogólnie wyższe wartości współczynnika PSNR w przypadku kodera H.265. Jest to naturalne, ponieważ nowszy koder H.265 cechuje się większą efektywnością kodowania [18]. Również wartości, zarówno prędkości transmisji, jak i współczynnika PSNR są naturalnie zróżnicowane, co wynika z odmiennych treści badanych sekwencji. Wraz ze wzrostem częstości zmiany sceny, czyli dla malejącej wartości parametru SC, następuje spadek wartości współczynnika PSNR. Zaobserwowano, że spadek wartości PSNR jest większy dla niskich i średnich prędkości transmisji. Natomiast zraz

ze wzrostem prędkości transmisji, wpływ występowania zmiany sceny w badanych sekwencjach powoduje coraz mniejszą utratę jakości, mierzoną wartością współczynnika PSNR.

Tabela 1. Wartości współczynnika PSNR [dB] oraz prędkości transmisji (bitrate) [kb/s] badanych sekwencji przy zadanych wartościach parametrów SC i QP, koder H.264

Crowd Run							
SC / QP	25	30	35	40	45	50	
2	bitrate	76445	37306	17701	7911	3395	1775
	PSNR	37,27	33,81	30,29	26,99	23,95	21,66
4	bitrate	71081	34504	16260	7319	3175	1659
	PSNR	37,30	33,87	30,37	27,10	24,09	21,86
8	bitrate	65767	31667	14795	6645	3175	1463
	PSNR	37,34	33,96	30,50	27,30	24,35	22,15
12	bitrate	64881	31245	14533	6540	2776	1376
	PSNR	37,37	34,00	30,60	27,42	24,47	22,32
16	bitrate	64197	30968	14421	6508	2766	1362
	PSNR	37,37	33,99	30,59	27,40	24,42	22,27
0	bitrate	57890	27069	12319	5480	2313	1113
	PSNR	37,40	34,09	30,71	27,55	24,60	22,43
Ducks Take Off							
2	bitrate	125710	59912	26414	10283	3805	1595
	PSNR	36,43	33,03	29,89	26,74	23,84	21,63
4	bitrate	117592	54044	23659	9341	3549	1554
	PSNR	36,37	32,98	29,94	26,89	24,05	21,88
8	bitrate	110780	49540	20786	9341	2950	1321
	PSNR	36,33	32,95	29,94	26,96	24,23	22,18
12	bitrate	108069	47691	19616	7277	2614	1152
	PSNR	36,32	32,94	29,95	27,03	24,44	22,54
16	bitrate	106822	46871	19130	7050	2546	1139
	PSNR	36,31	32,93	29,93	27,02	24,42	22,48
0	bitrate	102546	43858	17404	6142	2132	937
	PSNR	36,29	32,91	29,95	27,12	24,66	22,83
In To Tree							
2	bitrate	33805	9684	3336	1368	603	333
	PSNR	36,83	33,92	31,26	28,94	26,96	25,40
4	bitrate	32128	9086	3161	1281	571	311
	PSNR	36,87	34,03	31,38	29,07	27,13	25,60
8	bitrate	29509	8280	2946	1206	528	272
	PSNR	36,93	34,13	31,60	29,42	27,61	26,36
12	bitrate	29597	8547	3078	1235	503	256
	PSNR	36,97	34,23	31,79	29,59	27,78	26,61
16	bitrate	29160	8449	3056	1211	489	250
	PSNR	36,98	34,24	31,75	29,54	27,75	26,61
0	bitrate	24481	6071	2137	867	364	184
	PSNR	37,02	34,33	31,83	29,62	27,90	26,82
Old Town Cross							
2	bitrate	19632	4097	1894	996	512	279
	PSNR	36,42	34,65	32,32	29,47	26,64	24,54
4	bitrate	19809	3738	1657	898	481	274
	PSNR	36,42	34,76	32,52	29,74	26,83	24,73
8	bitrate	17962	3502	1590	879	483	276
	PSNR	36,45	34,86	32,84	30,37	27,64	25,50
12	bitrate	19110	4365	2030	1083	543	291
	PSNR	36,46	34,89	32,97	30,51	27,85	25,88
16	bitrate	19502	4713	2200	1140	556	298
	PSNR	36,46	34,85	32,90	30,42	27,80	25,86
0	bitrate	14197	2369	1057	577	302	177
	PSNR	36,46	35,02	33,01	30,47	27,85	26,04
Park Joy							
2	bitrate	103375	52833	23842	9358	3355	1607
	PSNR	37,18	33,15	29,28	25,78	22,82	20,76
4	bitrate	96336	48425	21752	8654	3127	1504
	PSNR	37,21	33,21	29,37	25,89	22,97	20,89
8	bitrate	89738	44341	19474	7728	2880	1387
	PSNR	37,22	33,26	29,47	26,08	23,22	21,21
12	bitrate	88643	43769	18983	7514	2780	1304
	PSNR	37,24	33,28	29,55	26,21	23,38	21,39
16	bitrate	87600	43184	18631	7364	2711	1261
	PSNR	37,24	33,28	29,54	26,19	23,35	21,36
0	bitrate	79630	37749	15569	5865	2101	977
	PSNR	37,25	33,33	29,63	26,35	23,56	21,59

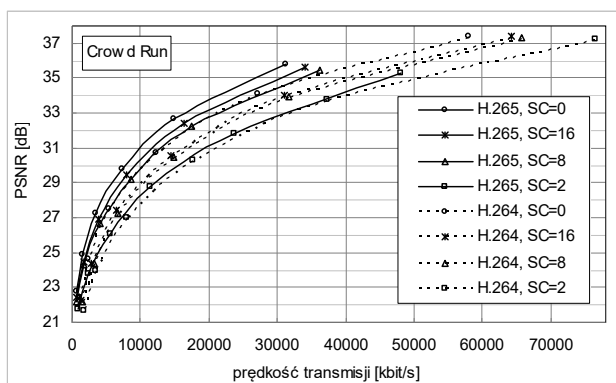
Tabela 2. Wartości współczynnika PSNR [dB] oraz prędkości transmisji (bitrate) [kb/s] badanych sekwencji przy zadanych wartościach parametrów SC i QP, koder H.265

Crowd Run							
SC / QP		25	30	35	40	45	50
2	bitrate	48122	23631	11450	5500	2279	839
	PSNR	35,28	31,85	28,74	26,10	23,76	21,72
4	bitrate	39020	18701	9005	4319	1821	674
	PSNR	35,37	31,95	28,84	26,19	23,84	21,85
8	bitrate	36210	17524	8517	4169	1802	662
	PSNR	35,47	32,22	29,23	26,64	24,29	22,22
12	bitrate	34978	16912	8251	4041	1750	644
	PSNR	35,58	32,43	29,51	26,91	24,54	22,47
16	bitrate	34106	16447	8003	3910	1688	620
	PSNR	35,62	32,43	29,48	26,88	24,50	22,43
0	bitrate	31298	14921	7227	3508	1509	552
	PSNR	35,78	32,70	29,82	27,24	24,85	22,76
Ducks Take Off							
2	bitrate	64650	27082	11860	5409	2168	778
	PSNR	33,98	30,75	28,19	26,05	24,01	21,99
4	bitrate	59134	24456	10569	4606	1807	653
	PSNR	33,99	30,94	28,36	26,09	24,01	22,08
8	bitrate	55360	22459	9549	4168	1674	653
	PSNR	34,01	31,07	28,54	26,31	24,23	22,28
12	bitrate	54455	21788	9136	3912	1556	573
	PSNR	34,00	31,13	28,67	26,51	24,54	22,73
16	bitrate	53590	21353	8914	3806	1512	558
	PSNR	34,01	31,14	28,68	26,50	24,53	22,70
0	bitrate	51765	20184	8259	3438	1353	500
	PSNR	34,02	31,22	28,83	26,73	24,87	23,17
In To Tree							
2	bitrate	22904	8220	1589	1089	396	162
	PSNR	35,88	33,47	31,24	29,39	27,84	26,42
4	bitrate	16664	5572	2023	736	257	99
	PSNR	35,94	33,54	31,30	29,47	27,93	26,55
8	bitrate	15528	5516	2200	849	298	110
	PSNR	36,04	33,90	31,90	30,07	28,51	27,14
12	bitrate	14757	5270	2128	827	292	108
	PSNR	36,18	34,16	32,16	30,25	28,63	27,26
16	bitrate	14011	4907	1959	750	262	97
	PSNR	36,22	34,16	32,13	30,21	28,59	27,24
0	bitrate	12158	4076	1589	589	199	71
	PSNR	36,41	34,50	32,49	30,52	28,83	27,50
Old Town Cross							
2	bitrate	16483	6488	3028	1404	568	207
	PSNR	35,93	34,20	32,07	29,79	27,49	25,39
4	bitrate	10140	3183	1468	714	316	128
	PSNR	36,00	34,35	32,23	29,96	27,65	25,53
8	bitrate	9754	3411	1688	859	391	157
	PSNR	35,97	34,81	33,13	30,97	28,64	26,43
12	bitrate	9620	3454	1745	897	406	164
	PSNR	36,06	34,94	33,29	31,13	28,76	26,56
16	bitrate	8954	3155	1558	796	360	145
	PSNR	36,14	34,97	33,26	31,08	28,72	26,54
0	bitrate	7506	2176	1023	518	236	97
	PSNR	36,29	35,26	33,64	31,52	29,11	26,89
Park Joy							
2	bitrate	67777	32240	14539	6240	2198	700
	PSNR	34,68	30,76	27,51	24,88	22,65	20,87
4	bitrate	55043	25457	11298	4778	1721	535
	PSNR	34,76	30,88	27,62	24,95	22,76	20,98
8	bitrate	51144	23775	10712	4683	1752	564
	PSNR	34,87	31,14	27,99	25,35	23,13	21,40
12	bitrate	49232	22810	10276	4500	1702	549
	PSNR	34,97	31,35	28,28	25,67	23,45	21,62
16	bitrate	47780	22006	9846	4277	1606	512
	PSNR	35,00	31,35	28,26	25,64	23,41	21,59
0	bitrate	43467	19662	8668	3722	1401	441
	PSNR	35,14	31,63	28,63	26,05	23,83	21,92

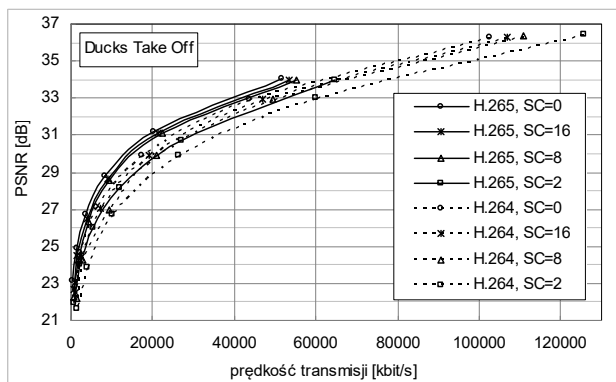
Patrząc z drugiej strony, w celu uzyskania wartości współczynnika PSNR takiej jak w przypadku braku zmiany sceny (dla SC=0), w sytuacji występowania zmiany sceny (w najgorszym z punktu widzenia efektywności scenariuszu

dla SC=2), należy dla koder H.264 średnio 1,7 razy zwiększyć prędkość transmisji, zaś dla koder H.265 zwiększenie prędkości transmisji powinno wynieść średnio 2,2 razy. Warto również zauważyć, że poza jedną sekwencją (Ducks Take Off) wartości PSNR dla SC=2 dla obu koderów są do siebie bardzo zbliżone, zaś w przypadku sekwencji Old Town Cross koder H.264 osiągnął nawet lepsze rezultaty (rys.5).

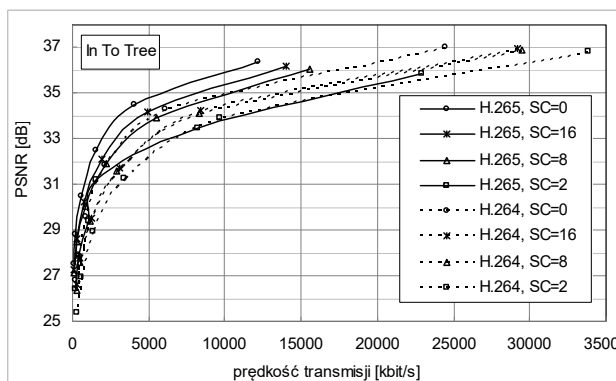
Dla koder H.264 największy spadek wartości współczynnika PSNR przy najgorszym scenariuszu kodowania (SC=2) wyniósł dla sekwencji: Crowd Run – 2,1dB; Ducks Take Off – 2,0dB; In To Tree – 1,9dB; Old Town Cross – 3,5dB; Park Joy – 2,2dB. Natomiast dla koder H.265 największy spadek wartości współczynnika PSNR przy najgorszym scenariuszu kodowania (SC=2) wyniósł dla sekwencji: Crowd Run – 2,8dB; Ducks Take Off – 1,8dB; In To Tree – 2,3dB; Old Town Cross – 4,8dB; Park Joy – 3,0dB.



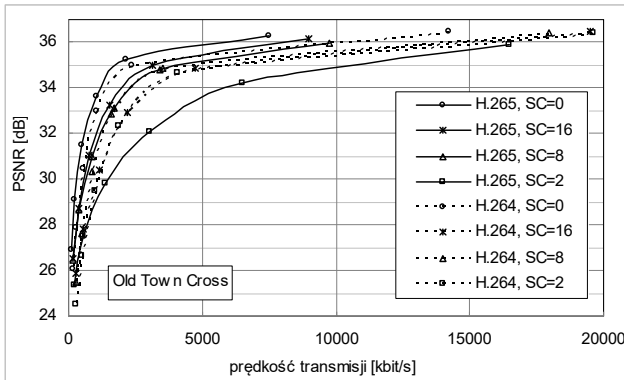
Rys.2. Porównanie wybranych wartości współczynnika PSNR koderów H.264 i H.265 dla sekwencji Crowd Run



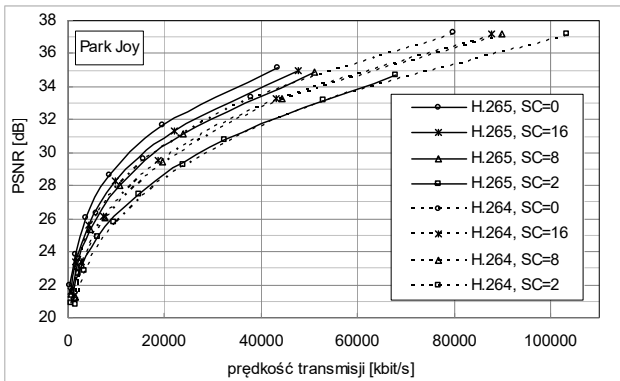
Rys.3. Porównanie wybranych wartości współczynnika PSNR koderów H.264 i H.265 dla sekwencji Ducks Take Off



Rys.4. Porównanie wybranych wartości współczynnika PSNR koderów H.264 i H.265 dla sekwencji In To Tree



Rys.5. Porównanie wybranych wartości współczynnika PSNR koderów H.264 i H.265 dla sekwencji Old Town Cross



Rys.6. Porównanie wybranych wartości współczynnika PSNR koderów H.264 i H.265 dla sekwencji Park Joy

W wariancie kodowania dla SC=8, największy spadek współczynnika PSNR dla koderów H.264 wyniósł dla sekwencji: Crowd Run – 1,3dB; Ducks Take Off 1,4 – dB; In To Tree – 1,2dB; Old Town Cross – 2,9dB; Park Joy – 1,4dB. Odpowiednia dla koderów H.265 wartości te wynoszą dla sekwencji: Crowd Run – 1,3dB; Ducks Take Off – 1,2dB; In To Tree – 1,3dB; Old Town Cross – 2,2dB; Park Joy – 1,4dB. Natomiast przy kodowaniu dla SC=16, największy spadek współczynnika PSNR dla koderów H.264 wyniósł dla sekwencji: Crowd Run – 1,0dB; Ducks Take Off 0,7 – dB; In To Tree – 1,2dB; Old Town Cross – 2,3dB; Park Joy – 1,0dB. Odpowiednia dla koderów H.265 wartości te wynoszą dla sekwencji: Crowd Run – 0,8dB; Ducks Take Off – 0,6dB; In To Tree – 0,8dB; Old Town Cross – 1,9dB; Park Joy – 0,8dB.

### Podsumowanie

W pracy zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych koderów H.264 oraz H.265 w warunkach symulowanej częstej zmiany sceny. Badania pokazały, że koder H.264 wykazuje nieco mniejszą wrażliwość na występowanie zmian w scenie przy bardzo częstej zmianie sceny (SC=2), odnotowano tutaj wyraźnie mniejsze spadki efektywności kodowania. Dla pozostałych wariantów SC spadki efektywności obu koderów są w większości przypadków do siebie zbliżone.

Warto zauważyć, że szczególnie w przypadku systemów monitoringu i nadzoru wizyjnego, największą wartość często mają takie fragmenty nagrania, gdzie występuje duża dynamika ruchu, wynikająca z występowania jakiegoś nagłego zdarzenia w miejscu objętym monitoringiem. Takie zdarzenie będzie skutkowało obniżeniem efektywności kodowania jak w sytuacji występowania zmiany sceny. Może się zatem okazać, że poziom artefaktów wynikających z kompresji obrazów

będzie na tyle duży, że utrudni bądź też uniemożliwi prawidłowe odczytanie zapisu kamery w kluczowym momencie rejestrowanego zdarzenia. Przedstawione wyniki mogą ułatwić dobór odpowiedniej wartości prędkości transmisji do oczekiwanej jakości obrazu w warunkach częstego występowania zmiany sceny. Mogą być również pomocne przy wyborze koderów w różnego rodzaju urządzeniach rejestrujących sekwencje wizyjne.

**Autor:** dr inż. Andrzej Popławski, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki, ul. prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: [A.Poplawski@ime.uz.zgora.pl](mailto:A.Poplawski@ime.uz.zgora.pl)

### LITERATURA

- [1] Marciniak, T., Dąbrowski, A., Porównanie i ocena skuteczności detekcji i rozpoznawania twarzy w sekwencjach wideo. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2016), 9, 137-140
- [2] Balcerak J., Pawłowski P., Blajer G., Filipkiewicz J., Koćwin K., Automatyczne rozpoznawanie pojazdów uprzywilejowanych, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2023), 10, 274-277
- [3] Balcerak J., Pawłowski P., Trzcziński B., System wizyjny do automatycznego rozpoznawania zwierząt na nagraniach z wideorejestratorów samochodowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2023), 10, 278-281
- [4] Rajavel, R., Ravichandran, S. K., Hariamoorthy, K., Nagappan, P., Gobichettipalayam, K. R., IoT-based smart healthcare video surveillance system using edge computing, *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, (2022), 13, 3195-3207
- [5] Suder, J. Możliwości przetwarzania sekwencji wizyjnych w systemach wbudowanych, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2022), 01, 188-191
- [6] ISO/IEC 14496-10, International Standard, Generic Coding of Audio-Visual Objects, Part 10: advanced Video Coding, 6th ed., ITU-T Rec. H.264, (2010), Edition 5.0 (version 11)
- [7] ISO/IEC International Standard 23008-2, ITU-T Recommendation H.265: High efficiency video coding, (2015)
- [8] Sullivan, G.J., Ohm, J.-R., Han, W.-J., Wiegand, T., Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard. *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, (2012), 1649-1668
- [9] Grois, D., Marpe, D., Mulyoff, A., Itzhaky, B., & Hadar, O., Performance comparison of H.265/MPEG-HEVC, VP9, and H.264/MPEG-AVC encoders, *Picture Coding Symposium* (2013), 394-397
- [10] Huang, C. L., Liao, B. Y., A robust scene-change detection method for video segmentation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, (2001), no. 12, 1281-1288
- [11] Eom, Y., Park, S., Yoo, S., Choi, J. S., Cho, S., An analysis of scene change detection in HEVC bitstream, *Proceedings of the 2015 IEEE 9th International Conference on Semantic Computing*, (2015), 470-474
- [12] Reddy B., Jadhav A., Comparison of scene change detection algorithms for videos, *Fifth International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies. IEEE*, (2015), 84-89
- [13] Xiph.org Video Test Media, derf's collection, available online: <https://media.xiph.org/video/derf/> (dostęp: 12.07.2024)
- [14] Reference software for ITU-T H.264 advanced video coding, available online: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264.2/> (dostęp: 12.07.2024)
- [15] Reference software for ITU-T H.265 high efficiency video coding, available online: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265.2/> (dostęp: 12.07.2024)
- [16] Bossen, F., Common test conditions and software reference configurations, Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITUT SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, document JCTVC-J1100, Stockholm, Sweden, (2012)
- [17] Flynn D., Rosewarne C., Common test conditions and software reference configurations for HEVC range extensions, document JCTVC-L1006, Geneva, Switzerland, (2013)
- [18] Ohm, J.R., Sullivan, G.J., Schwarz, H., Tan, T.K., Wiegand, T., Comparison of the coding efficiency of video coding standards – Including High Efficiency Video Coding (HEVC). *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, (2012), no. 22, 1669-1684