

Kompresja obrazu ruchomego

Piotr Ody

1

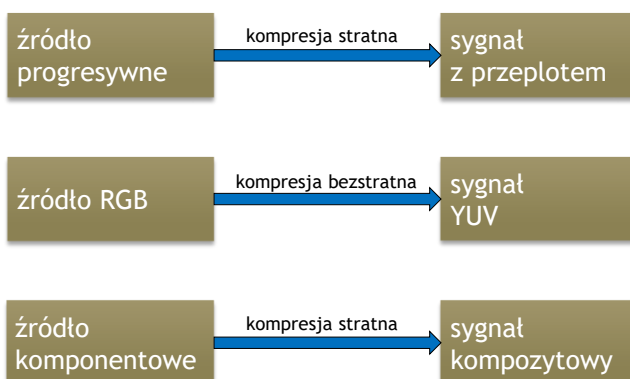
Wprowadzenie

- ▶ bez kompresji danych trudno sobie wyobrazić przesyłanie multimedialnych
 - ▶ mimo faktu, iż łącza są coraz szybsze...
 - ▶ a pojemności nośników coraz większe.
- ▶ obraz w SD (PAL)
 - ▶ 720×576 pikseli \times 25 ramek/s \times 24 bity/piksel =
= 248 832 000 bitów/s = 31 104 000 B/s =
= 31,1MB/s -> 1,87 GB/minutę -> 112 GB/h
- ▶ obraz w HD
 - ▶ 1920×1080 pikseli \times 25 ramek/s \times 24 bity/piksel =
= 1 244 160 000 bitów/s = 155 520 000 B/s =
= 155,52MB/s -> 9,3 GB/minutę -> 560 GB/h
- ▶ obraz w 4k
 - ▶ 3840×2160 pikseli \times 50 ramek/s \times 24 bity/piksel =
= 9 953 280 000 bitów/s = 1 244 160 000 B/s =
= 1 244,16MB/s -> 74,6 GB/minutę -> 4479 GB/h

2

Wprowadzenie

- ▶ kompresja obrazu ruchomego jest używana od początków telewizji



3

Metody kompresji danych

▶ metody bezstratne

- ▶ zakodowany strumień danych po dekompresji jest identyczny z oryginalnymi danymi przed kompresją
- ▶ sygnał może być wielokrotnie poddawany kompresji i dekompresji
- ▶ **niewielki stopień kompresji - w przypadku danych multimedialnych**
 - ▶ dla dźwięku stosowane powszechnie dopiero od momentu pojawienia się nośnika Blu-ray

4

Metody kompresji danych

- ▶ metody stratne
 - ▶ w wyniku kompresji część danych (mniej istotnych) jest bezpowrotnie tracona
 - ▶ najczęściej wykorzystują niedoskonałości zmysłów percepcji człowieka -> kompresja perceptualna
 - ▶ umożliwiają uzyskanie wysokiego stopnia kompresji
 - ▶ rekompresja sygnału prowadzi do znaczących strat jakości

5

Kompresja obrazu ruchomego

- ▶ sygnał wizyjny można traktować jako sygnał o czterech wymiarach:
 - ▶ atrybuty pojedynczego piksela
 - ▶ rozdzielczość w poziomie
 - ▶ rozdzielczość w pionie
 - ▶ czas
- ▶ każdy z tych wymiarów może podlegać kompresji

6

Kompresja wewnątrzramkowa

7

Kompresja wewnątrzramkowa

- ▶ polega na redukcji nadmiaru informacji przestrzennej w obrębie jednej ramki (ang. spatial redundancy reduction)
- ▶ służy głównie do kompresji pojedynczych obrazów nieruchomych
- ▶ może służyć do kodowania pojedynczych ramek w sekwencji sygnału wizyjnego
- ▶ metody kompresji wewnątrzramkowej:
 - ▶ podpróbkowanie (ang. sub-sampling)
 - ▶ kwantyzacja (ang. quantization)
 - ▶ kodowanie transformacyjne (ang. transform coding)
 - ▶ predykcja wewnątrzramkowa (ang. intra prediction)

8

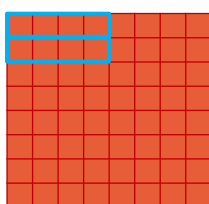
Podpróbkowanie

- ▶ jest stratne i polega na redukcji liczby bitów opisujących obraz
 - ▶ skutkiem ubocznym jest równoczesne obniżenie jakości tego obrazu
- ▶ wykorzystuje zdolności ludzkiej percepcji do wypełnienia luk pomiędzy sąsiednimi pikselami.
- ▶ dekodery może również wstawiać piksele usunięte w wyniku podpróbkowania (interpolacja)
- ▶ rodzaje podpróbkowania:
 - ▶ w kopii obrazu wykorzystana jest tylko część pikseli z obrazu oryginalnego
 - ▶ grupa kilku pikseli zastępowana jest wartością średnią

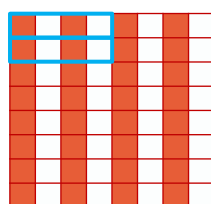
9

Podpróbkowanie obrazu

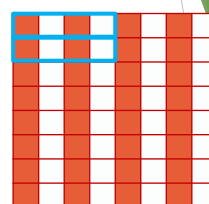
4:2:2



Y



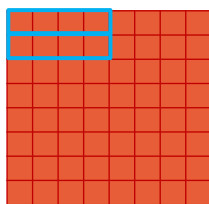
Cb



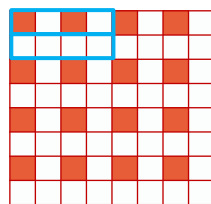
Cr

- rozdzielczość składowych chrominancji: 960x1080

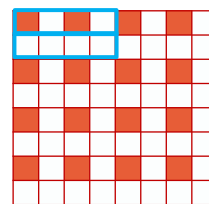
4:2:0



Y



Cb

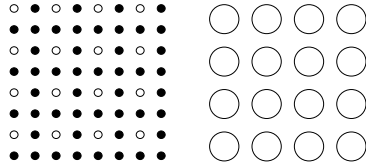


Cr

- rozdzielczość składowych chrominancji: 960x540

11

Podpróbkiwanie - przykłady



13

Kwantyzacja

- ▶ polega na redukcji bitów reprezentujących wartość piksela
- ▶ jeśli liczba bitów opisujących jeden piksel jest mała, to można wówczas mówić o kwantyzacji zgrubej (ang. coarse quantization)



39096 kolorów

16 kolorów

4 kolory

14

Transformacje obrazu

- ▶ przekształcenie przestrzennej reprezentacji obrazu w dziedzinę częstotliwości
- ▶ stosuje się:
 - ▶ transformację Fouriera (DFT, ang. Discrete Fourier Transform)
 - ▶ transformację kosinusową (DCT, ang. Discrete Cosine Transform)
 - ▶ transformację falkową (ang. Wavelet transform)

15

Kompresja międzyramkowa

23

Kompresja międzyramkowa

- ▶ kolejne obrazy w sekwencji niewiele się od siebie różnią
- ▶ metody kompresji międzyramkowej:
 - ▶ kodowanie różnicowe (ang. difference coding),
 - ▶ blokowe kodowanie różnicowe (ang. block based difference coding),
 - ▶ kompensacja ruchu (ang. motion compensation).

24

Kodowanie różnicowe

- ▶ polega na porównaniu każdej ramki z ramką poprzednią oraz kodowaniu tylko tych pikseli, których wartość zmienia się
- ▶ jeśli kompresja ma być bezstratna, to wówczas każda zmiana wartości piksela musi być uwzględniona
- ▶ w przypadku kompresji stratnej, nie każda zmiana wartości piksela jest brana pod uwagę
 - ▶ do kodowania brane są tylko te piksele, dla których zmiany wartości są znaczne.

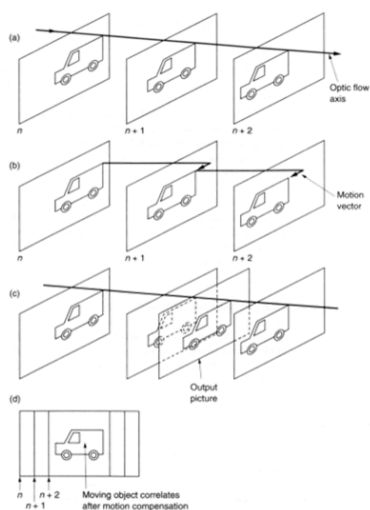
25

Blokowe kodowanie różnicowe

- ▶ cały obraz jest podzielony na nie zachodzące na siebie obszary - bloki
- ▶ każdy blok jest porównywany ze swoim odpowiednikiem w ramce poprzedniej
 - ▶ zmniejsza się czas obliczeń, gdyż aktualizacja zachodzi dla wszystkich pikseli w bloku
- ▶ istnieje problem doboru rozmiaru bloku
 - ▶ dla małych bloków kodowanie staje się nieefektywne i zbliża się do kodowania różnicowego
 - ▶ w przypadku dużych bloków, niektóre z pikseli mogą być niepotrzebnie aktualizowane (aktualizacja zachodzi dla wszystkich pikseli w bloku po stronie dekodera)
 - ▶ mogą pojawić się widoczne nieciągłości na granicach obszarów, gdzie dla jednego z bloków pikseli nastąpiła aktualizacja wartości, a dla drugiego nie

26

Kompensacja ruchu



- ▶ polega na wykryciu zmian w położeniu pikseli oraz kodowaniu tylko tych zmian
- ▶ najczęściej używaną metodą kompensacji ruchu jest metoda dopasowania bloków
 - ▶ obraz dzielony jest na jednakowe, nie zachodzące na siebie obszary pikseli - bloki
 - ▶ metoda ta opiera się na wykryciu zmiany położenia poszczególnych bloków.

27

Kompensacja ruchu



<https://youtu.be/Whqoif7hWTA>

fragment filmu „Mumia” („The Mummy”, 1999)

28

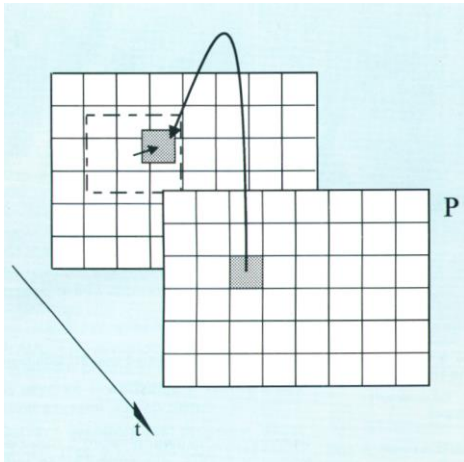
Kompensacja ruchu

- ▶ efektywność zależy od tego, czy
 - ▶ ruch obiektów w obrazie zachodzi jedynie w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny obiektu
 - ▶ obiekty ulegają powiększeniu lub obrotowi
 - ▶ jasność obiektów jest czasowo i przestrzennie jednakowa
 - ▶ obiekty się wzajemnie nie zakrywają

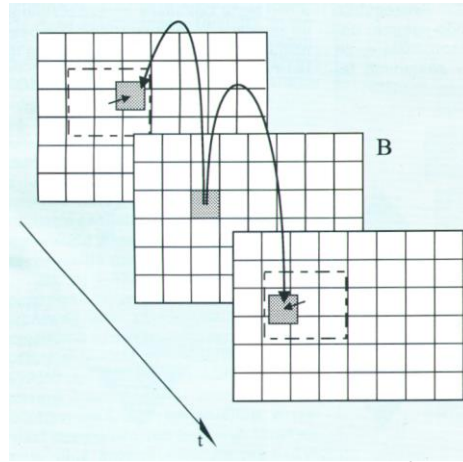


29

Kompensacja ruchu



kompensacja predycyjna



kompensacja dwukierunkowa

31

Standardy kompresji obrazu ruchomego

33

Kompresja MJPEG

- ▶ MJPEG -> ang. *Motion JPEG*
 - ▶ Jest rozszerzeniem metody JPEG
- ▶ Każda ramka obrazu kompresowana niezależnie algorytmem JPEG
- ▶ Brak kompresji międzyramkowej

34

MPEG

- ▶ MPEG (ang. *Moving Picture Experts Group*) - grupa robocza ISO/IEC zajmująca się rozwojem standardów kodowania audio i wideo
- ▶ Powstała w 1988 w Ottawie
- ▶ Także: zatwierdzona przez ISO grupa powszechnie stosowanych formatów zapisu danych zawierających obraz i dźwięk

35

MPEG

- ▶ Kompresja obrazu i dźwięku:
 - ▶ MPEG-1 - norma ISO 11172 - rok 1991
 - ▶ MPEG-2 - norma ISO 13818 - rok 1995
 - ▶ MPEG-3 (nieistniejący, projektowany dla HDTV, wchłonięty przez MPEG-2)
 - ▶ MPEG-4 - norma ISO 14496 - rok 1998/1999
 - ▶ MPEG-5 - norma ISO 23094 - *Essential Video Coding i Low Complexity Enhancement Video Coding* - w opracowaniu
 - ▶ MPEG-H - norma ISO/IEC 23008 - *High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments* - rok 2013
 - ▶ MPEG-I - norma ISO/IEC 23090 - *Coded Representation of Immersive Media, w tym Versatile Video Coding* - w opracowaniu
- ▶ Opis danych multimedialnych:
 - ▶ MPEG-7
 - ▶ MPEG-21

36

MPEG-4 a DivX ;-) czyli początki cyfrowej rewolucji w wideo

- ▶ Microsoft wypuszcza Windows Media Tools zawierające kodeki MPEG-4 (I połowa 1999)
- ▶ Jérôme Rota tworzy DivX ;-) (wrzesień 1999)
- ▶ Jérôme Rota, Jordan Greenhall i Joe Bezdek zakładają DivX Networks, Inc. (początek 2000)
- ▶ Startuje „Project Mayo” (lato 2000)
- ▶ Rusza projekt „OpenDivX” (styczeń 2001)
- ▶ Powstaje DivX 4.0 (sierpień 2001)
- ▶ Pojawiają się pierwsze wersje kodeka Xvid (początek 2002)

37

MPEG-i - cechy wspólne

- ▶ Ramki zgrupowane w grupy (GOP -> *Group of Pictures*)
- ▶ Możliwość wykorzystania trzech typów ramek (I, P, B)
 - ▶ konieczność buforowania ramek
- ▶ Dopuszczalne różne formaty obrazu (*Aspect Ratio*), niezależnie od rozdzielczości obrazu
- ▶ Możliwość kodowania w CBR i VBR
- ▶ Możliwość kodowania z wykorzystaniem większej liczby przebiegów

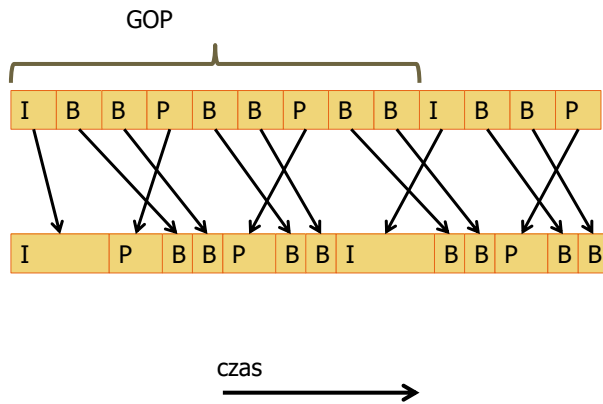
38

MPEG-i - cechy wspólne

- ▶ Nienajlepszy format do montażu:
 - ▶ cięcie w środku GOP wymaga przeliczania ramek (rekompresja)
 - ▶ do montażu wersja oparta tylko na ramkach I (mała kompresja)

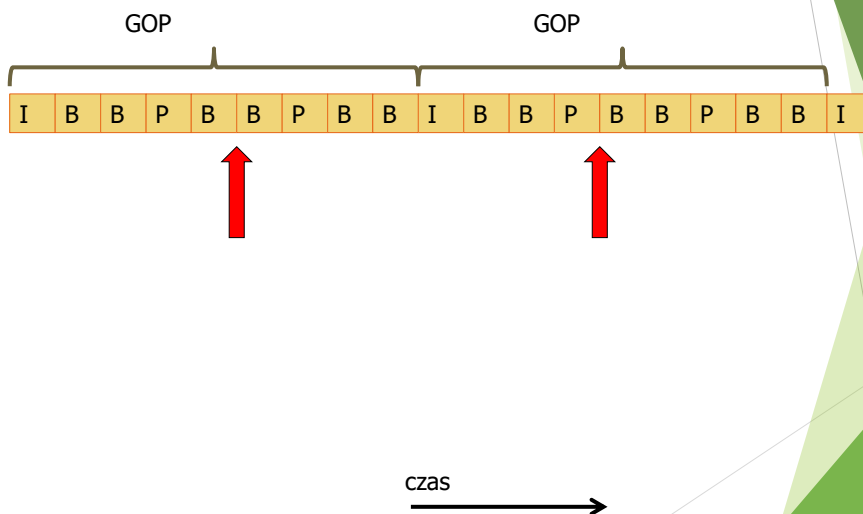
39

Struktura ramek w MPEG



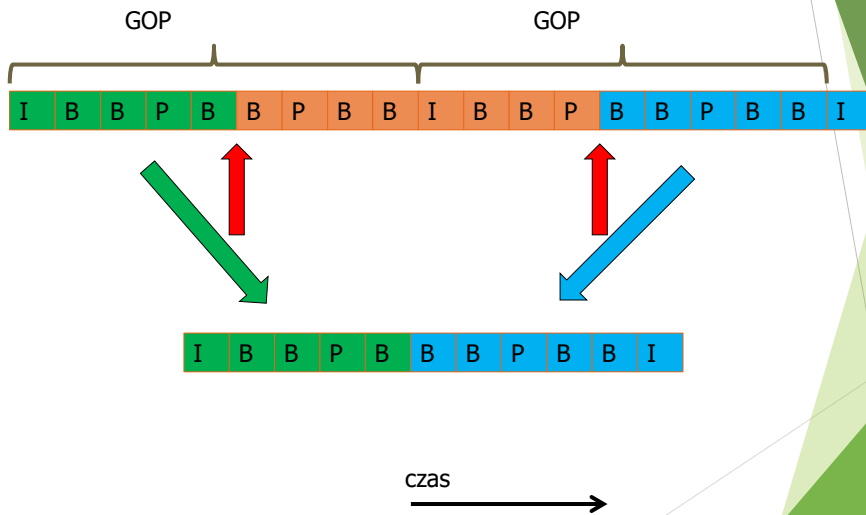
40

Montaż w MPEG



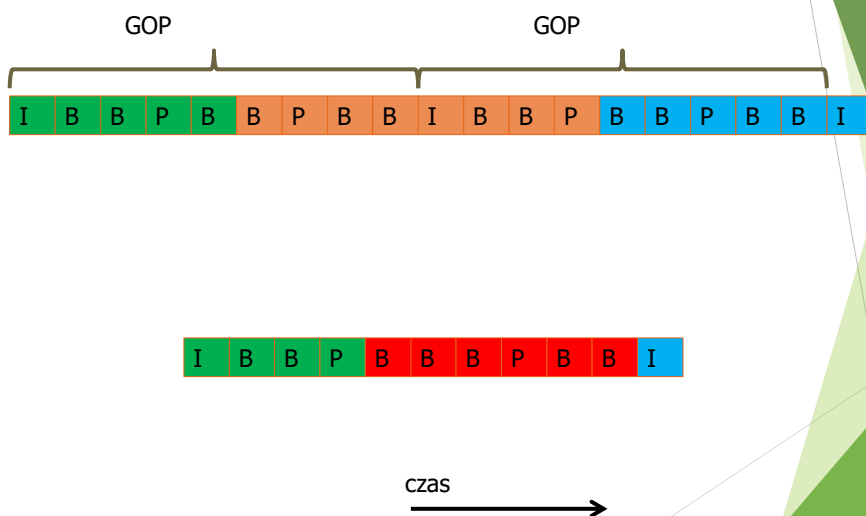
41

Montaż w MPEG



42

Montaż w MPEG



43

Montaż w MPEG

- ▶ I I I I I ... -> łatwa edycja, wymagana duża przepływność
- ▶ I P P P P I P ... -> predykcja wyłącznie w przód, nie wymaga dużej pamięci dekodera
- ▶ I B B P B B P B ... -> predykcja w przód i dwukierunkowa, najlepszy współczynnik kompresji, wymaga dużej pamięci dekodera, trudna w edycji
- ▶ I B I B I B ... -> mniejsza przepływność niż dla samych ramek I, stosunkowo prosta w edycji

44

MPEG a MJPEG

- ▶ Można uznać, że MJPEG jest bardzo uproszczoną wersją standardu MPEG w którym wszystkie ramki są typu I
- ▶ Czas kompresji (złożoność) MJPEG jest mniejsza niż MPEG
- ▶ Techniki edycyjne sygnału wizyjnego (przesuwanie w przód i w tył, zatrzymywanie, itd.) dla standardu MJPEG są mniej złożone obliczeniowo niż dla MPEG
- ▶ Dostęp swobodny do dowolnej ramki jest natychmiastowy
- ▶ Dekompresja ramek w systemie MJPEG następuje w tym samej kolejności, jak podczas kompresji
- ▶ MJPEG wymaga mniej pamięci operacyjnej niż MPEG
- ▶ Współczynnik kompresji w standardzie MJPEG jest taki sam jak dla JPEG i wynosi około 10:1 - 15:1, natomiast dla systemu MPEG współczynnik kompresji wynosi około 30:1; ponadto, MPEG może być także użyteczny przy współczynnikach rzędu 100:1
- ▶ Formaty zbliżone do MJPEG/MPEG-I używane są w sprzęcie profesjonalnym, np. Apple ProRes

45

Ważne 😊

- ▶ używaj jak najniższych współczynników kompresji, tzn. jak największych przepływności
- ▶ unikaj wielokrotnego kodowania/dekodowania
- ▶ systemy kompresji wnoszą opóźnienie w torze transmisyjnym
- ▶ zaszumiony materiał trudniej zakodować
- ▶ łatwiej zakodować materiał wizyjny bez przepłotu

46

Rekompresja - efekty



<https://youtu.be/JR4KHfqw-oE>

47

MPEG-2

51

MPEG-2

- ▶ ważne daty
 - ▶ pierwsze wydanie: 1996 rok
 - ▶ ostatnie wydanie: 2013 rok
- ▶ zoptymalizowany dla przepływności 4Mbit/s (MP@ML)
- ▶ maksymalna przepływność: 300Mbit/s
- ▶ może być stosowany dla sygnałów z przeplotem i bez przeplotu (również w HDTV)
- ▶ formaty obrazu: 4:2:0; 4:2:2, 4:4:4
- ▶ maksymalny rozmiar obrazu: 16384x16384
- ▶ identyczny pod względem technicznym ze standardem ITU-T H.262

52

MPEG-2

- ▶ wykorzystywanie profili i poziomów
 - ▶ w zależności od zapotrzebowań można użyć bardziej skomplikowanych metod kompresji
 - ▶ poziomy odpowiadają rozdzielczości obrazu

Profil Poziom	prosty	główny	skalowalny przestrzennie	skalowalny szumowo	wysoki
niski		X		X	
główny	X	X		X	X
wysoki-1440		X	X	X	X
wysoki		X			X

53

MPEG-4

58

MPEG-4 - informacje ogólne

- ▶ projektowany z myślą o niskich przepływnościach
 - ▶ transmisje sieciowe
- ▶ wykorzystanie globalnej kompensacji ruchu
- ▶ możliwość analizy subpikselowych przesunięć
 - ▶ typowo z dokładnością do $\frac{1}{4}$ piksela
- ▶ dostępne tryby kompresji oparte na falkach
- ▶ elementy predykcyjnego kodowania przestrzennego
 - ▶ zał.: kolory nie zmieniają się gwałtownie

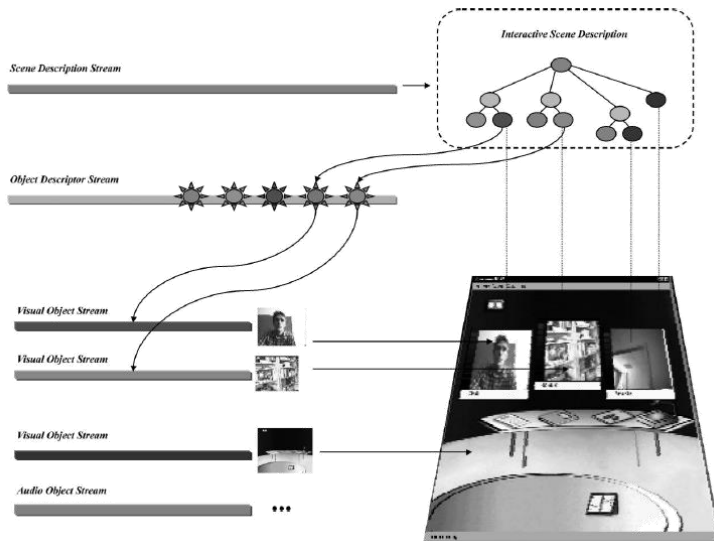
59

MPEG-4 - informacje ogólne

- ▶ wprowadzone pojęcie sceny składającej się z obiektów, które są ze sobą powiązane relacjami w czasie i przestrzeni
 - ▶ możliwość zmiany pojedynczych obiektów
 - ▶ łączenie obiektów rozmaitych typów (tekst, grafika, obiekty trójwymiarowe itp.)
- ▶ specyfikacja podzielona na trzy części
 - ▶ systemowa (definiuje m.in. opis sceny)
 - ▶ wizualna (metody kodowania naturalnych i sztucznych obiektów wizualnych)
 - ▶ dźwiękowa

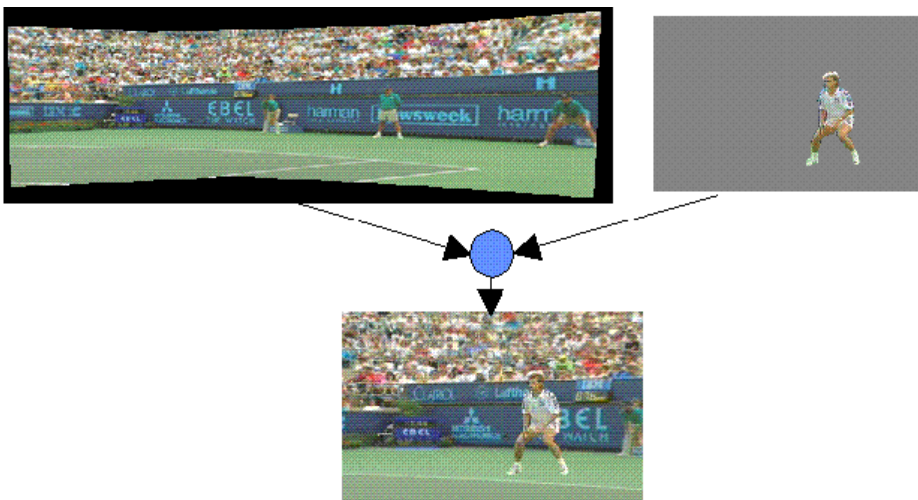
60

MPEG-4 - scena



61

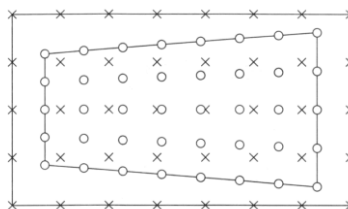
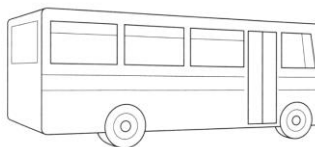
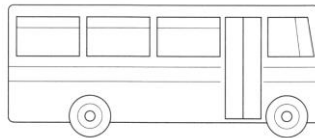
MPEG-4 - kodowanie sceny



62

MPEG-4 - kodowanie sceny

- ▶ zmiana perspektywy wymaga w MPEG-2 przestania dużej ilości danych, w MPEG-4 wystarczy przestać dodatkowe współczynniki
- ▶ komplikuje się proces interpolacji wartości pikseli



63

MPEG-4 - informacje ogólne

- ▶ standard definiuje ok. 50 profili, podzielonych na poziomy
- ▶ rozdzielczości: od 8x8 do 2048x2048
- ▶ formaty obrazu: 4:0:0, 4:2:0, 4:2:2
- ▶ obraz z przeplotem lub bez
- ▶ przepływności: od 5kbit/s do 1Gbit/s

64

Techniki kompensacji ruchu w MPEG-4

- ▶ Standardowa działająca na blokach pikseli o rozmiarach 8x8 lub 16x16, z maksymalną dokładnością do $\frac{1}{4}$ piksela (ang. *Quarter Pixel*)
- ▶ Globalna Kompensacja Ruchu (ang. *GMC - Global Motion Compensation*)
 - ▶ dla obiektów video, kodująca całościowo trajektorię ruchu obiektu za pomocą niewielkiej liczby parametrów
 - ▶ dla dużych, statycznych obrazków opisujących tło: każda kolejna ramka w sekwencji definiuje tylko kilka parametrów opisujących ruch kamery, wykorzystywanych do rekonstrukcji tła przesłanego w pierwszej ramce sekwencji

65

MPEG 4 Part 10

- ▶ Pierwsze wydanie: 2003 rok
- ▶ Najnowsze wydanie: 2019 rok
- ▶ Składa się z ponad 10 profili
 - ▶ w tym dotyczących kodowania obrazu 3D

70

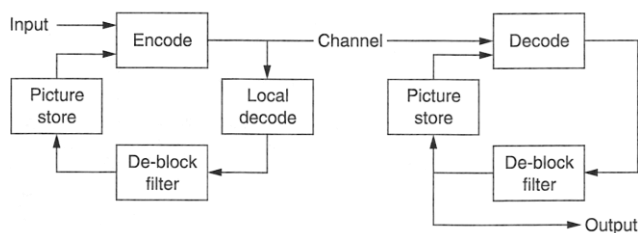
MPEG 4 Part 10

- ▶ Najważniejsze innowacje:
 - ▶ udoskonalona DCT, działająca na blokach 4x4 lub 8x8 pikseli
 - ▶ transformacja całkowitoliczbowa (prostsze obliczenia)
 - ▶ predykcyjne kodowanie wewnątrzramkowe (ramki I)
 - ▶ predykcja międzyobrazowa z adaptacyjnym podziałem obrazu na bloki o rozmiarze 4x4, 4x8, 8x4, 8x8, 8x16, 16x8 lub 16x16 pikseli
 - ▶ *deblocking filter* - filtr wygładzający obraz w celu uniknięcia pojawienia artefaktów
 - ▶ długookresowa pamięć obrazów (do 16 ramek w GOP-ie)
 - ▶ kodowanie entropijne uniwersalnymi kodami o zmiennej długości (UVLC) lub adaptacyjne kodowanie arytmetyczne (CABAC)
- ▶ efekt: nawet dwa razy efektywniejsza kompresja w porównaniu z MPEG-2 (przy tej samej jakości)

71

MPEG 4 Part 10 - deblocking filter

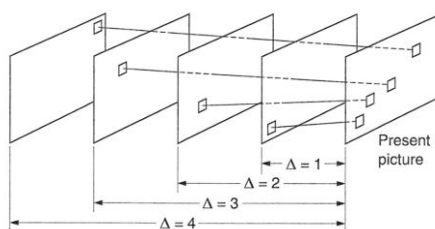
- ▶ podstawowy problem kompresji MPEG to tzw. zblokowane piksele, widoczne na ekranie w postaci kwadratów składających się na obraz
 - ▶ analizowane są zmiany wartości pikseli na krawędzi makrobloków
 - ▶ filtr rozmywa obraz
 - ▶ filtry po stronie nadawczej i odbiorczej muszą być takie same



72

MPEG 4 Part 10 - kompensacja ruchu

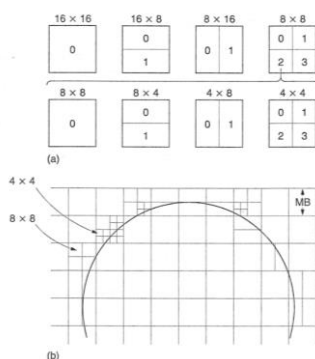
- ▶ może być użyta więcej niż jedna ramka referencyjna
- ▶ zbyt duża liczba ramek referencyjnych powoduje wzrost opóźnienia w przetwarzaniu
- ▶ przykład zastosowania: wystrzał - kodowanie w oparciu o białą ramkę jest mało efektywne, co widać w MPEG-2



73

MPEG 4 Part 10 - kompensacja ruchu

- ▶ obraz dzielony jest na mniejsze bloki, żeby łatwiej dopasować się do krawędzi obiektu
- ▶ im więcej przesłanych wektorów, tym mniej danych do przesłania



74

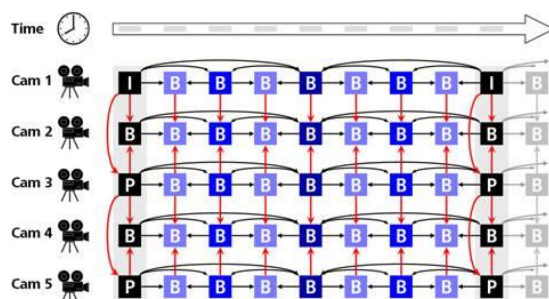
MPEG 4 - implementacje

- ▶ Standard definiuje jedynie format skompresowanych danych oraz budowę dekodera
- ▶ Budowa, struktura i działanie kodera pozostaje w gestii konkretnej implementacji
- ▶ Obecnie stosowane:
 - ▶ MPEG-4 ASP (ISO/IEC 14496-2) -> xvid, divx
 - ▶ MPEG-4 AVC (ISO/IEC 14496-10) -> DVB, Blu-ray, streaming, YouTube, Netflix
 - ▶ Main Profile (MP)
 - ▶ High Profile (HiP)

75

MPEG-4 MVC (Multi View Coding)

- ▶ rozwinięcie standardu MPEG-4 Part 10 o możliwość kodowania większej liczby strumieni wizyjnych
 - ▶ najprostsze zastosowanie: kodowanie obrazu 3D
 - ▶ wykorzystuje podobieństwa między strumieniami



76

MPEG-H

78

MPEG-H

- ▶ zestaw standardów dotyczących kompresji dźwięku i obrazu, a także kontenera i metod testowania
 - ▶ MPEG-H Part 1: MPEG media transport
 - ▶ MPEG-H Part 2: High Efficiency Video Coding (HEVC)
 - ▶ MPEG-H Part 3: 3D Audio
 - ▶ MPEG-H Part 5: HEVC Conformance testing and reference software
 - ▶ MPEG-H Part 8: HEVC Conformance Testing

79

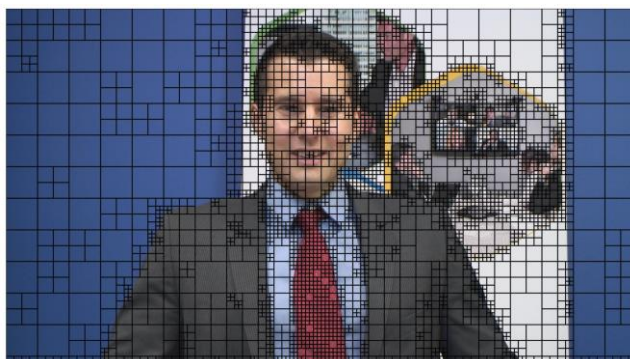
HEVC

- ▶ Umożliwia poprawę efektywności kodowania obrazu kosztem większej złożoności obliczeniowej
 - ▶ możliwość zastosowania wielordzeniowych procesorów do kodowania i dekodowania
- ▶ Wspiera rozdzielczość do 8192×4320 (8K UHD).
- ▶ Podwojony stosunek kompresji danych w stosunku do swojego poprzednika (H.264)
- ▶ 10x większa moc obliczeniowa potrzebna do kodowania i 2/3-krotna do zdekodowania w stosunku do H.264

80

Transformata DCT

- ▶ może być liczona dla bloków o rozmiarach 8x8, 16x16 i 32x32
 - ▶ większa efektywność kompresji przy większych rozdzielczościach

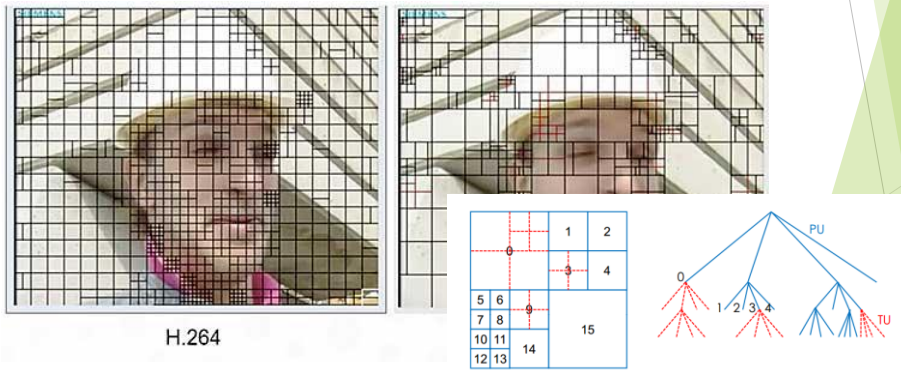


źródło: <https://sonnati.wordpress.com/2014/06/20/h265-part-i-technical-overview/>

81

Predykcja wewnątrzramkowa

- ▶ HEVC używa bloków o większym rozmiarze
 - ▶ do 64x64px
 - ▶ Coding Tree Blocks

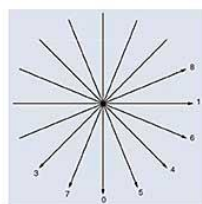


82

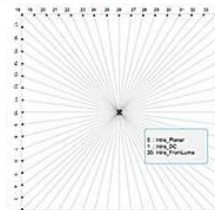
Predykcja wewnątrzramkowa

- ▶ H.264 korzysta z 9 kierunków predykcji
- ▶ HEVC może użyć ponad 35 kierunków predykcji
 - ▶ koszt to dodatkowy czas kodowania potrzebny do przeszukania dodatkowych kierunków

- **Luma: 35 prediction directions (33 + Planar + DC)**



H.264/AVC



HEVC

83

Filtracja SAO

- ▶ SAO - Sample Adaptive Offset
- ▶ ma służyć redukcji efektu "mosquito noise"



źródło: Damian Karwowski, „Zrozumieć Kompresję Obrazu, Podstawy Technik Kodowania Strątnego oraz Bezstrątnego Obrazów”

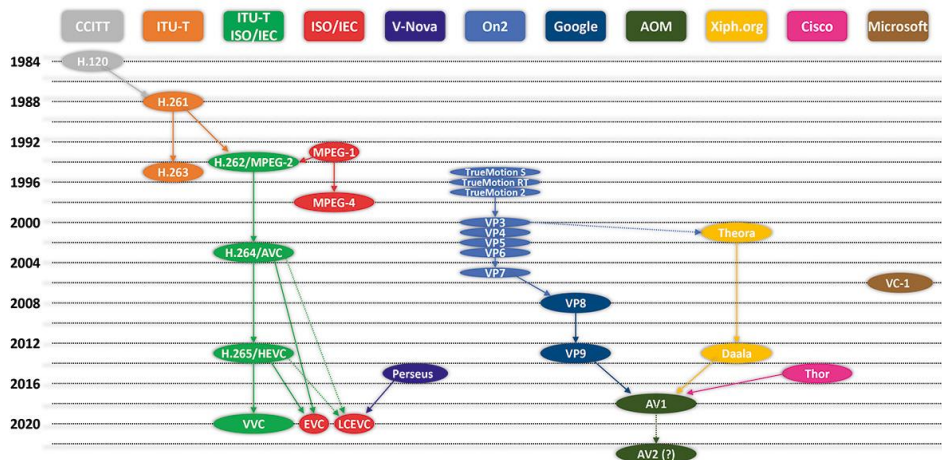
84

HEVC a inne kodeki

Średnia oszczędność przepływności przy równym PSNR				
Kodowanie	Zaoszczędzona przepływność (względna)			
	MPEG-4 AVC HP (H.264)	MPEG-4 ASP	H.263 HLP	MPEG-2 (H.262 MP)
HEVC MP	35,4%	64,7%	65,1%	70,8%
MPEG-4 AVC HP (H.264)	-	44,5%	46,6%	55,4%
MPEG-4 ASP	-	-	3,9%	19,7%
H.263 HLP	-	-	-	16,2%

86

Standaryzacja kodeków wideo



ateme

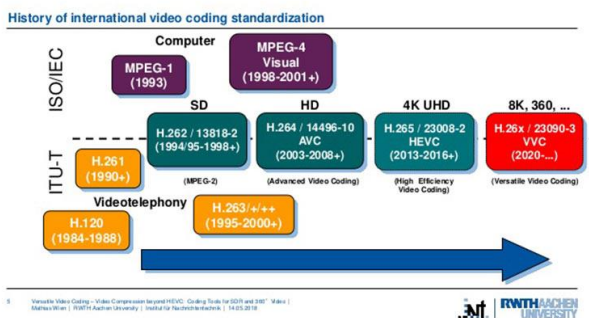
ATEME © 1991-2020.

źródło: satkuriel.pl/news/196261/h266vvc-nadchodzi.html

87

VVC - Versatile Video Coding

- ▶ zatwierdzony w lipcu 2020 roku
- ▶ najnowsza wersja opublikowana w kwietniu 2022 roku
- ▶ zakłada się, że ponownie uda się 2-krotnie zredukować przepływność (w porównaniu z HEVC) bez utraty jakości
 - ▶ umożliwi to dostarczenie treści zakodowanych na żywo UHD-2 (8K) z przepływnością poniżej 50 Mb/s



1 Versatile Video Coding - Video Compression beyond HEVC: Coding Tools for SD and 360° Video | Matthias Wien | RWTH Aachen University | Institut für Nachrichtentechnik | 14.05.2019

RWTH AACHEN UNIVERSITY

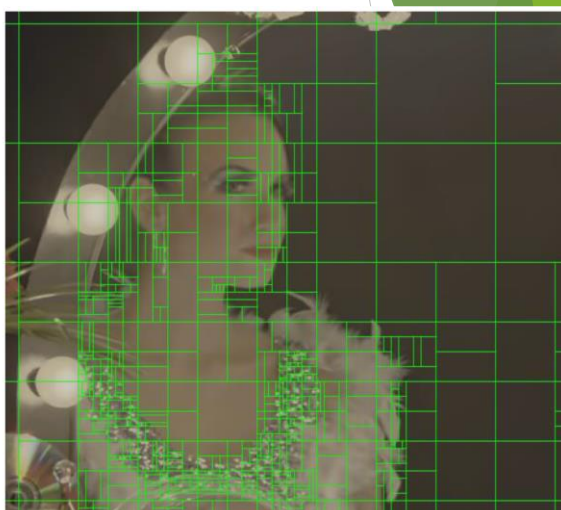
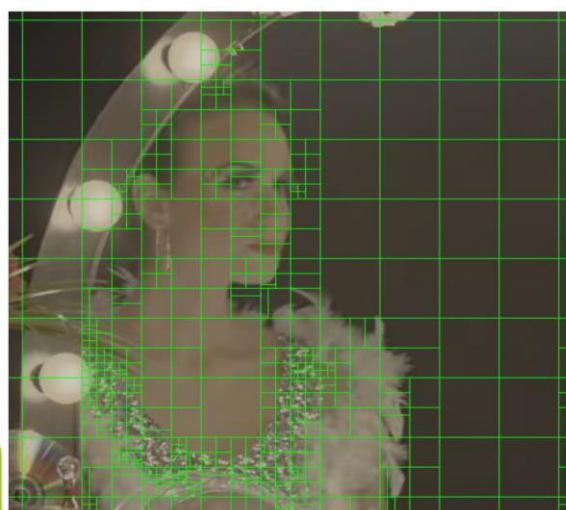
88

VVC - Versatile Video Coding

- ▶ udoskonalenia
 - ▶ szybki dostęp do dowolnego miejsca w strumieniu
 - ▶ ramki *clean random access*
 - ▶ nowe rozmiary bloków (maks. 128x128)
 - ▶ usprawnienie predykcji wewnątrzobrazowej (przeszło 60 predyktorów)
 - ▶ usprawnienia w kompensacji ruchu (przekształcenia obiektów, 1/16 piksela)
 - ▶ nowe algorytmy kodowania transformatowego i entropijnego
 - ▶ wsparcie dla wideo 360 stopni
 - ▶ wykorzystanie podobrazów (*subpictures*) - tylko część obrazu jest przesyłana i dekodowana

89

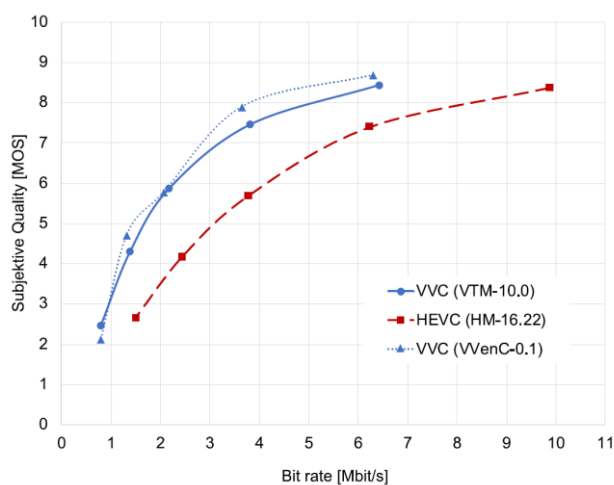
HEVC a VVC



ŹRÓDŁO: VVC PER-TOOL PERFORMANCE EVALUATION COMPARED TO HEVC

91

HEVC a VVC



źródło: B. Bross et al., "Overview of the Versatile Video Coding (VVC) Standard and its Applications," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 31, no. 10, pp. 3736-3764, Oct. 2021, doi: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.

92

Inne opcje?

- ▶ VP9 (i VP10)
 - ▶ rodzina kodeków pierwotnie opracowanych przez firmę On2 - którą kupił Google
 - ▶ wykorzystywane przez Youtube
 - ▶ efektywność zbliżona do HEVC

93

Inne opcje?

▶ AV1

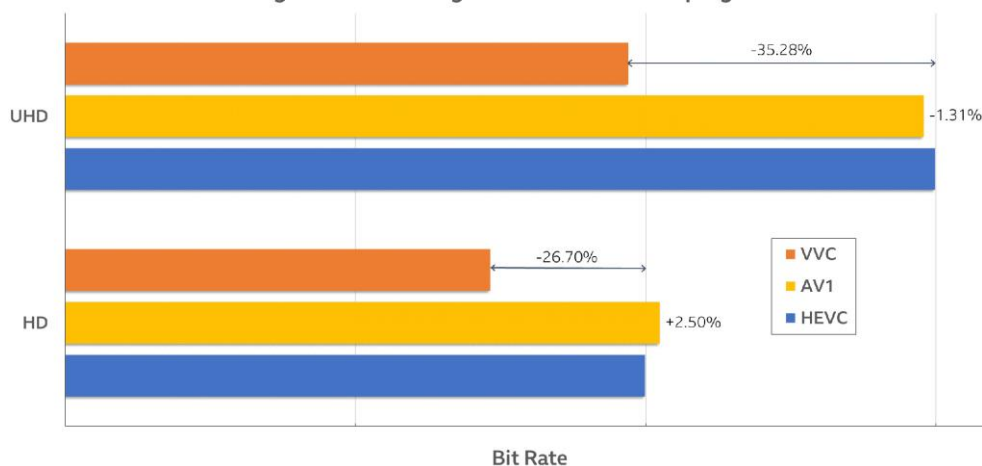
- ▶ wyewoluował z VP10
- ▶ opracowany przez Amazon, Apple, ARM, Cisco, Facebook, Google, IBM, Intel Corporation, Microsoft, Mozilla, Netflix, Nvidia i Samsung Electronics na podstawie kodeka VP10
- ▶ w pełni darmowy
- ▶ teoretycznie zapewnia o 30% wyższą kompresję niż HEVC
- ▶ podobne funkcjonalności jak VVC
- ▶ wspierany przez przeglądarki i część narzędzi do edycji video (ich liczba rośnie)
- ▶ Youtube i Netflix korzystają z AV1



95

Porównanie kodeków

Average bit rate savings of AV1 and developing VVC



źródło: <https://www.bbc.co.uk/rd/blog/2019-05-av1-codec-streaming-processing-hevc-vvc>

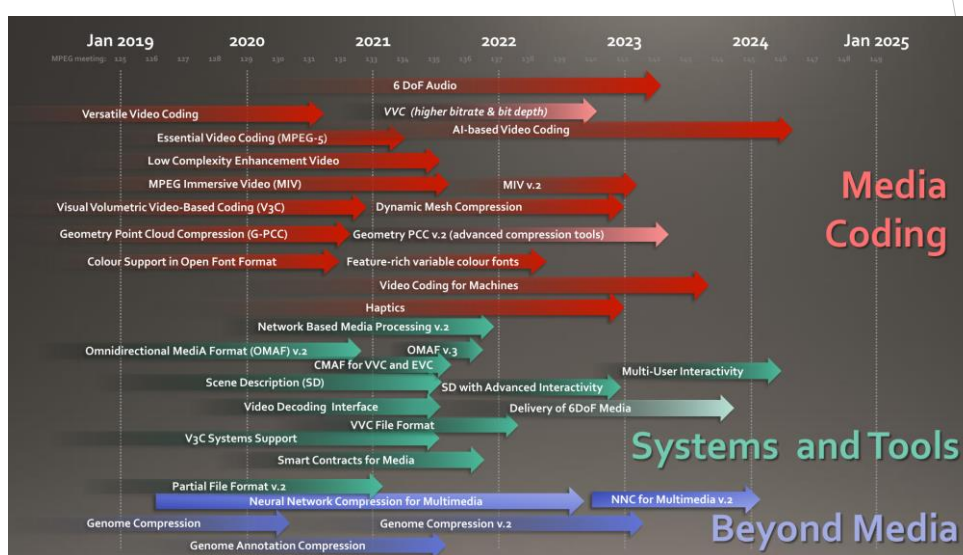
96

Inne opcje?

- ▶ MPEG-5 EVC (Essential Video Coding)
 - ▶ wspierany przez Huawei, Qualcomm, and Samsung
 - ▶ ma zapewnić kompresję o 25% większą niż HEVC
 - ▶ ma omijać skomplikowane licencjonowanie AVC i HEVC
 - ▶ w kwietniu 2020 zdefiniowano dwa profile:
 - ▶ Baseline - darmowy, pozbawiony nowoczesnych algorytmów
 - ▶ Main - rozbudowany

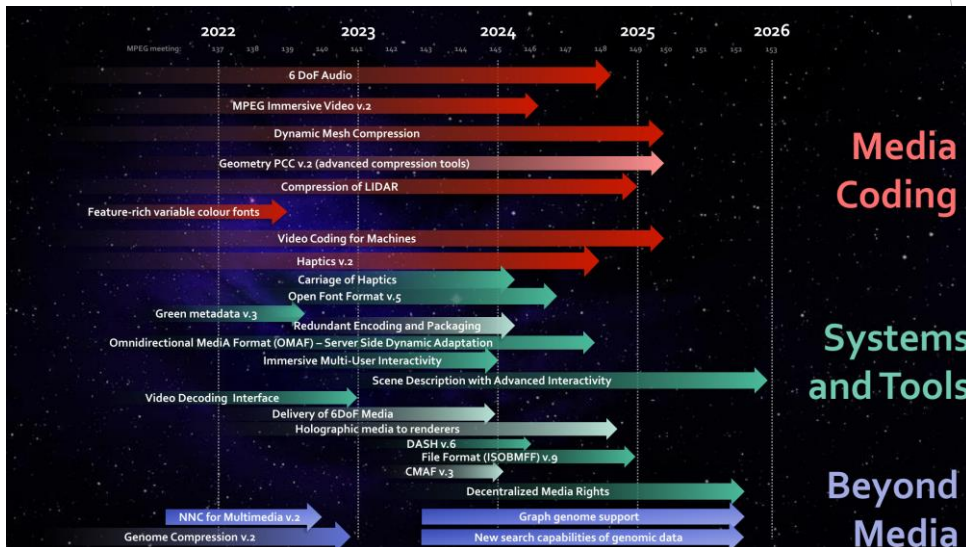
97

MPEG roadmap - czerwiec 2020



98

MPEG roadmap - czerwiec 2023



99

Więcej o kompresji

- ▶ Damian Karwowski, „Zrozumieć Kompresję Obrazu, Podstawy Technik Kodowania Stratnego oraz Bezstratnego Obrazów”

100