

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za računalništvo
in informatiko*



PRODUKCIJA MULTIMEDIJSKIH GRADIV (PMG)

VIDEO

Borut Batagelj

V2.0
2026



Produkcija digitalnega videa

- Produkcijski cikel (faze)
 - Skript
 - Priprava na snemanje
 - Snemanje
 - Montaža
 - Post-produkcija
- **Tehnični vidik**
 - **Video standardi**
 - Kompresija videa
 - Montaža in postprodukcija
 - Distribucija



Analogni in digitalni video

- Prehod iz analognega na digitalni video
- pred 1990
 - Analogne kamere
 - Posebne kartice za zajem (AD pretvorniki)
 - Analogna montaža
 - Draga oprema
- Danes
 - Digitalni video
 - Digitalne kamere
 - Digitalna obdelava
 - Dostopna programska oprema
- Velika rast uporabe (in produkcije) videa!



Vzroki za razvoj digitalnega videa

- Zmogljivost procesorjev in pomnilnikov
- Kapaciteta diskov in pasovna širina
- Razvoj video standardov in video vmesnikov
- Enostavnost, robustnost in fleksibilnost urejanja



Digitalni video

Video na internetu

- **Izmenjava:** YouTube, TikTok, Instagram Reels, Vimeo
- **Video novice:** Google News, X (Twitter) video, Facebook Watch
- **Video tečaji:** LinkedIn Learning, Udemy, Coursera
- **Promocijski videi:** TikTok Ads, YouTube Shorts, Instagram Ads
- **Komunikacija:** Zoom, Microsoft Teams, Google Meet



Digitalni video

Nosilci videa - **fizični**:

- **USB ključi in zunanje trde diske (HDD/SSD)**: Shranjevanje visokokakovostnih filmov, serij in večpredstavnostnih vsebin
 - **CD/DVD/Blu-Ray** (zmanjšana uporaba, večinoma za zbiratelje in arhiviranje)
-
- **Pretočne (streaming) storitve**: Netflix, Disney+, Amazon Prime Video, Apple TV+, HBO Max
 - **Digitalni nakup in izposoja (VOD – Video on Demand)**: Google Play Movies, Apple iTunes Movies, Amazon Prime Video (nakup filmov), Vudu
 - **Digitalni prenosni formati (download)**: MP4, MKV, AVI (lokalna shramba na računalnikih in mobilnih napravah)
 - **Cloud shranjevanje**: Google Drive, Dropbox, OneDrive
 - **NAS sistemi (Network-Attached Storage)**: Synology, QNAP (omogočajo dostop do videov prek omrežja)
 - **IPTV in digitalna TV**: T-2, Telemach EON TV, A1 Xplore TV, Telekom NEO



Formati in oprema

- Profesionalna oprema in formati za snemanje filmov in televizijskih oddaj
 - Draga, zahtevna, zelo kvalitetna

1. Kamere za profesionalno produkcijo

Filmska produkcija (ARRI, RED, Sony, Blackmagic Design, Panavision)

Televizijska produkcija

Studijske kamere (Novice, talk showi, športni prenosi): Sony HDC-5500, Panasonic AK-UC4000

ENG kamere (Reportaže, dokumentarci): Sony PXW-Z750, JVC GY-HC900

Kinematografske kamere (Netflix, HBO serije): ARRI Alexa Mini LF, Sony FX9

2. Formati zapisa videa

RAW (ARRIRAW, REDCODE, BRAW, ProRes RAW)

- brezkompresijski format za maksimalno kakovost in barvno korekcijo

Apple ProRes (422 HQ, 4444 XQ, ProRes RAW)

- pogosto uporabljen za filmske in TV produkcije

DNxHR/DNxHD (Avid DNxHR, DNxHD 444, HQX) – standard v televizijski industriji

H.265/HEVC – kompresiran format, uporaben za televizijske prenose in streaming

XAVC (Sony), AVC-Intra (Panasonic) – profesionalni kodeki za TV in oddaje

Objektivi in optika, Osvetljevalna oprema, Snemalna oprema (stabilizacija)

Zvočna oprema, Postprodukcija in montaža, Profesionalni monitorji

Distribucija in predvajanje



Oprema in formati v multimediji

DN

Digitalna video kamera + format DV + vmesnik FireWire (IEEE 1394, iLink)

- Standardna televizijska velikost in frekvenca
 - **NTSC (720 × 480, 29,97 fps) in PAL (720 × 576, 25 fps)**
- FireWire :
 - enostaven (hiter) video prenos
 - omogoča nadzor naprave (kasete)
- **Mini DV – domača uporaba**
- **DVCAM (Sony) in DVCPRO (Panasonic)**



nasledniki: iz SD (standardne) -> HD (visoko ločljivost)

- HDV - **prvi HD format (tehnologija DV)**
 - snemanje v HD ločljivosti (1280×720 (720p) ali 1440×1080 (1080i))
 - kompresija: **MPEG-2** (kot DVD)
 - bitna hitrost: **25 Mbps** (enako kot DV)
 - vzorčenje: 4:2:0 (boljša kakovost kot DV)
 - shranjevanje: **miniDV**
- AVCHD - **prvi široko sprejet digitalni format za HD snemanje**
 - HD ločljivosti (720p (1280×720), 1080i (1440×1080 ali **1920×1080**))
 - kompresija: H.264 (**MPEG-4 AVC**)
 - bitna hitrost: 17 Mbps – 28 Mbps (višja od HDV)
 - shranjevanje: SD kartice, HDD, Blu-ray
 - Povezava: USB, SD kartice, HDMI

AVCHD je postal standard za potrošniške HD kamere, vendar je bil hitro nadomeščen s profesionalnimi digitalnimi formati, kot so XAVC (Sony), ProRes, DNxHD, MP4 (H.265).



DV kompresija

kopresirana



nekopresirana



Video standardi

- Video standardi izvirajo iz časov analogne televizije
- Kompatibilnosti za nazaj skoraj ni več
 - razširjenost [HDTV](#) (720p, 1080i in 1080p)
 - prehod na 4k, 8k UHD
- prenos:
 - DVB-T2 (Digitalna prizemna TV), DVB-S2 (Satelitska HDTV), DVB-C (Kabelska HDTV)
 - digitalne platforme (Netflix, YouTube, IPTV)

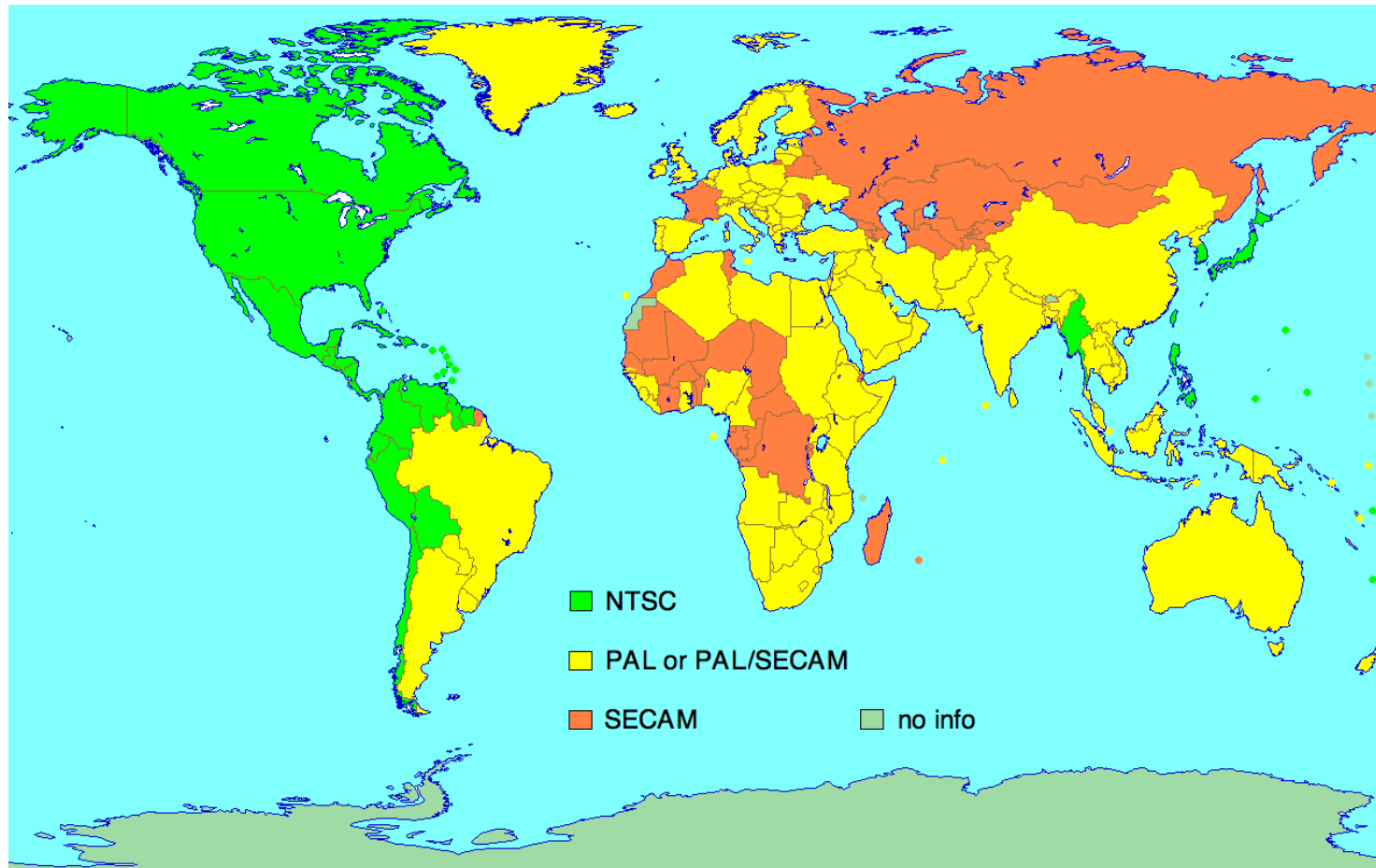
Vsebina

- Standardi za analogno oddajanje
- Standardi za digitalni video
- DV format in MPEG formati
- Formati za visoko ločljivost (HD)



Standardi za analognno oddajanje

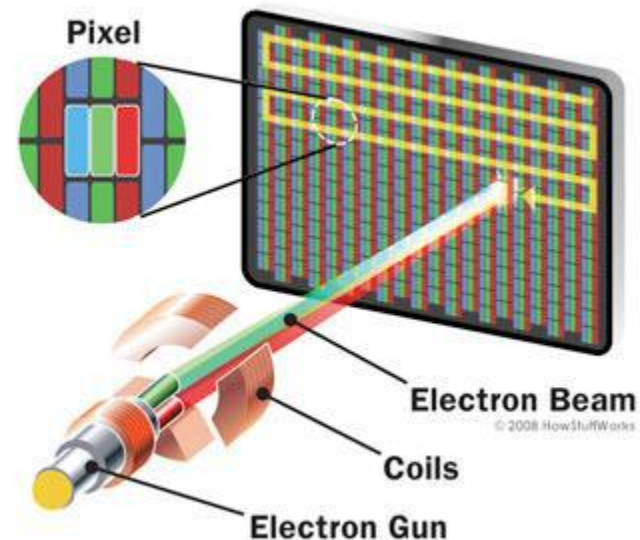
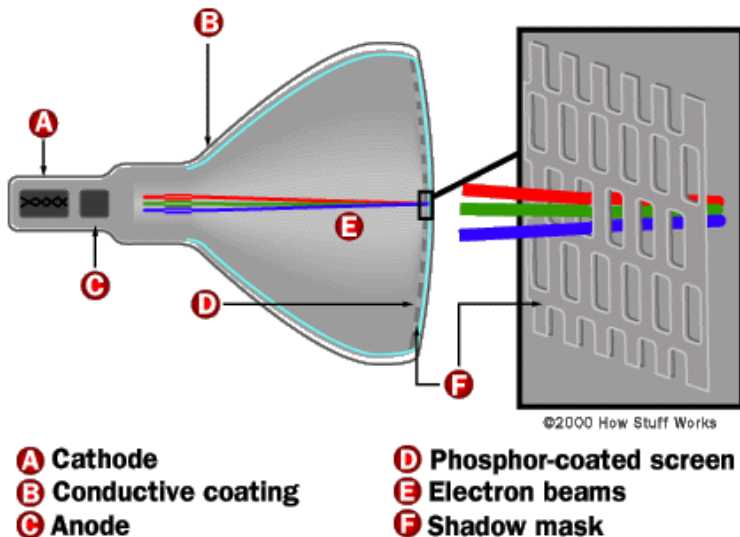
- Trije standardi za analognno oddajanje barvnega tv signala: NTSC, PAL, SECAM





Analogna televizija

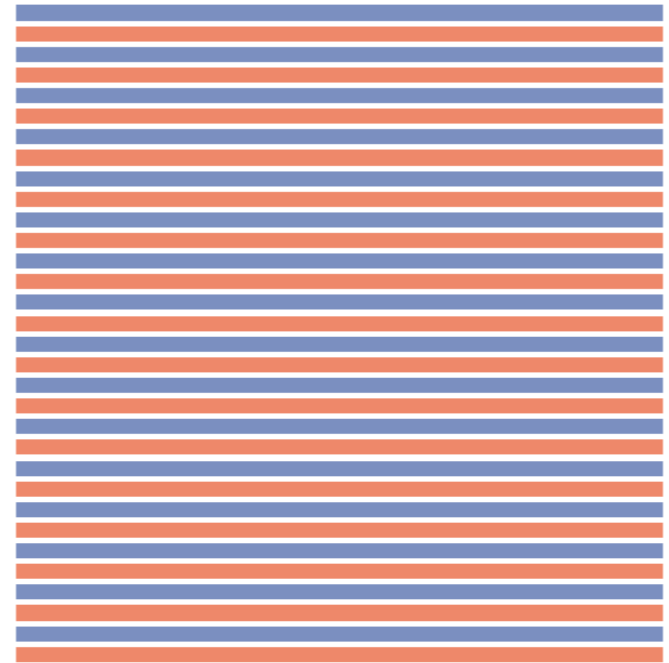
- Standardizirajo tehnične detajle glede kodiranja slike v analogni signal
- Hitrost prikazovanja slik, število vrstic v sliki
- Analogni CRT ekrani





Prepletanje

- Vsak okvir (slika) je razdeljen na dve polji
 - Prepletanje (interlacing)
- Človeška percepcija zahteva 40 slik/s
 - PAL:** 50 polj/s
 - = 25 okvirjev/s
 - 625 črt (576 za sliko)
 - 625/50



— odd field
— even field

NTSC: 59,94 polj/s =
= 29,97 okvirjev/s

- 525 črt (480 za sliko)
- 525/59,94





Prepletanje



- Potreba po popravljanju prepletanja (de-interlacing)



Standardi za digitalni video

- Digitalizacija analognega signala
- Standard *Rec. **ITU-R** BT.601* (prej: *CCIR 601*)
 - Število vrstic določa PAL (576) oz. NTSC (480) standard
 - Število slik. elementov v vrstici: 720 (720lum+2*360 color)
 - PAL (720 × 576)
 - NTSC (720 × 480)
 - Uporablja YCbCr barvni prostor z vzorčenjem: 4:2:2
 - $576/480=30/25 \Rightarrow$ enak pretok
 - Nekvadratni slikovni elementi
 - Video se vedno shranjuje in oddaja v tem formatu

**osnova za vse nadaljnje digitalne
video formate (SD, HD, 4K)**

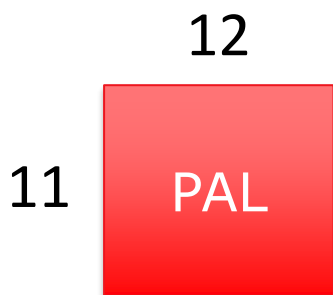


Razmerje slikovnega elementa

(PAR - [Pixel Aspect Ratio](#))

$$\text{PAR} = \text{DAR} / \text{SAR}$$

- CCIR 601 format
 - Nekvadraten slikovi element
 - PAL (720 × 576) in NTSC (720 × 480)
- 704 vidnih slikovnih elementov (+8 na obeh straneh)

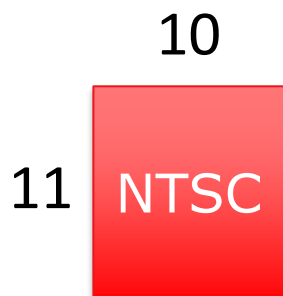


Kvadratni slikovni element (pravo razmerje)

PAL

768x576 (razmerje 4:3), $768/704 = \mathbf{12/11} = 1.09$

1024x576 (razmerje 16:9), $1024/704 = 16/11 = 1.45$



NTSC

640x480 (razmerje 4:3), $\mathbf{10/11} = 0,90$

853x480 (razmerje 16:9), $853/704 = 1.21$



Primer izračuna za PAL 4:3 (DAR = 4:3)

1. Če vzamemo 720 pikslov širine:

$$PAR = \frac{4}{3} \times \frac{576}{720} = 1.333... \times 0.8 = \mathbf{1.0667}$$

2. Če vzamemo 704 pikslov:

$$PAR = \frac{4}{3} \times \frac{576}{704} = 1.333... \times 0.818 = \mathbf{1.0909}$$

3. Če vzamemo 702 pikslov:

$$PAR = \frac{4}{3} \times \frac{576}{702} \approx 1.333... \times 0.8205 = \mathbf{1.094}$$

Primer izračuna za PAL 16:9 (DAR = 1.777...)

1. Če vzamemo 720:

$$PAR = 1.777... \times \frac{576}{720} = 1.777... \times 0.8 = \mathbf{1.422}$$

2. Če vzamemo 704:

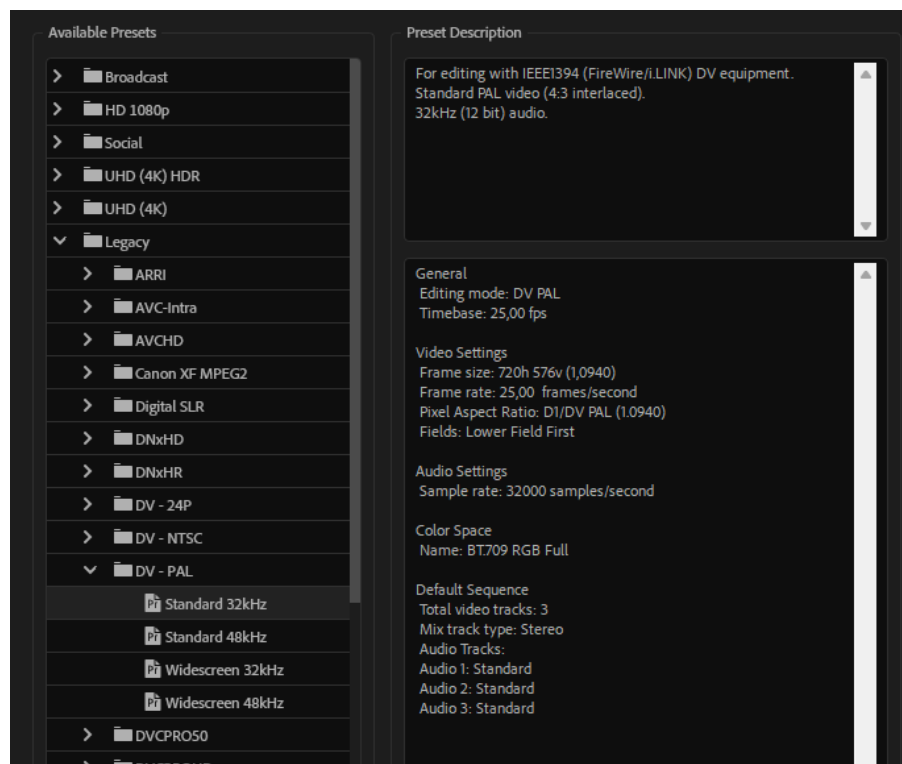
$$PAR = 1.777... \times \frac{576}{704} = 1.777... \times 0.818 = \mathbf{1.453}$$

3. Če vzamemo 702:

$$PAR = 1.777... \times \frac{576}{702} = 1.777... \times 0.8205 = \mathbf{1.459}$$



V Premier-u



Vrednost	Kdaj jo uporabljati	Prednosti
704	✓ Praktično vedno, če ni posebne zahteve	Standardna, kompatibilna, deljiva z 16
702	🔍 Le, če rabiš maksimalno natančnost (npr. za znanstveno analizo ali restavracijo)	Teoretično natančnejša



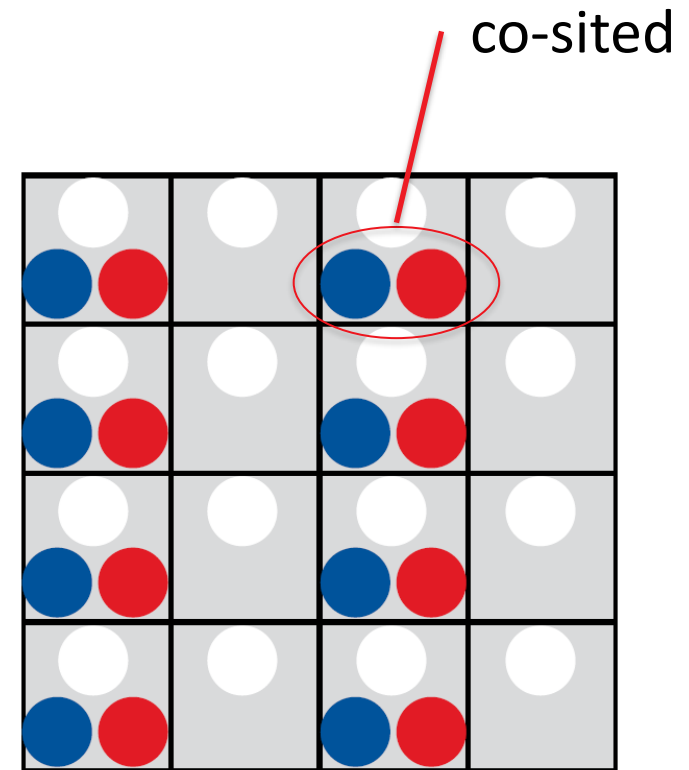
Vzorčenje barvnosti

- **CCIR 601**

- Barvni prostor: $Y'C_B C_R$
- Y =svetilnost
- $C_B=B-Y$ (razlika za modro)
- $C_R=R-Y$ (razlika za rdečo)

- Pod-vzorčenje barvnosti

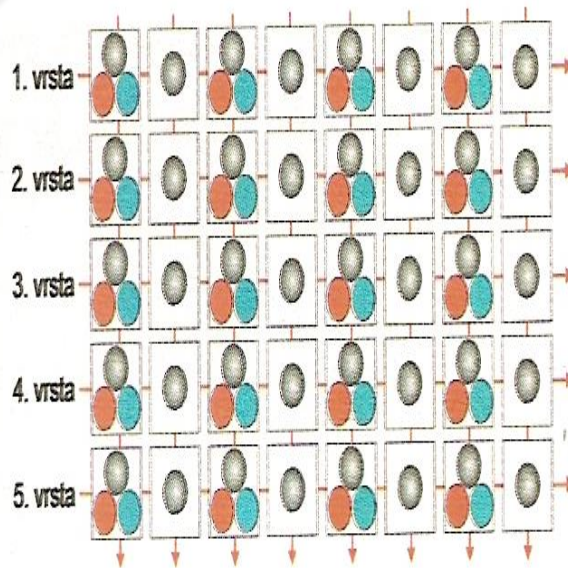
- Človeško oko je manj občutljivo na spremembe barvitosti kot na spremembe v svetlosti
- **Vzorčenje 4:2:2**
 - $720Y+360CB+360CR$ na vrstico
 - 8bit na kanal = 166Mbit/s



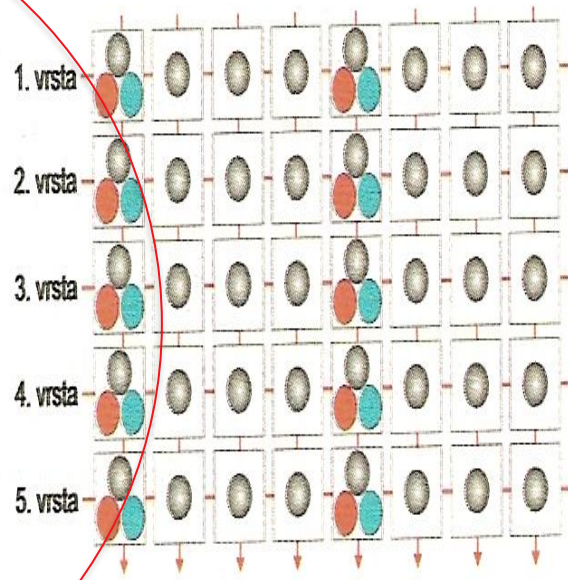


Različni sistemi vzorčenja

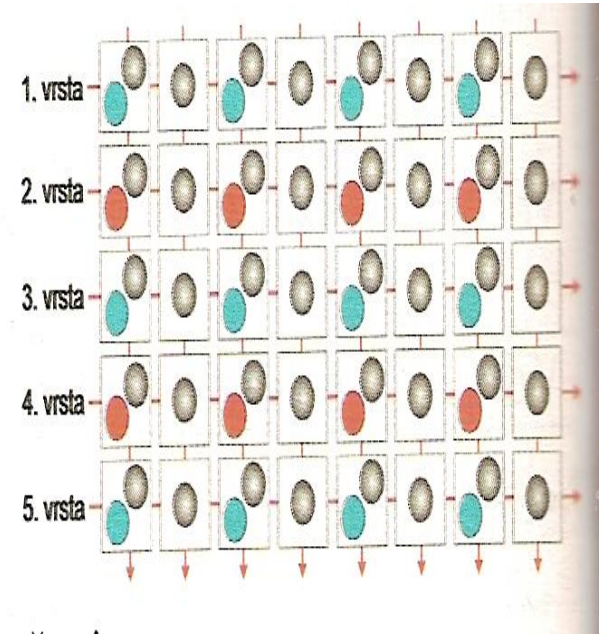
- Sistem **4:2:2** zajame v vzorec dve točki: vrednost Y zajame za vsako točko, vrednost Cb in Cr pa za vsako drugo točko.



4:2:2



4:1:1

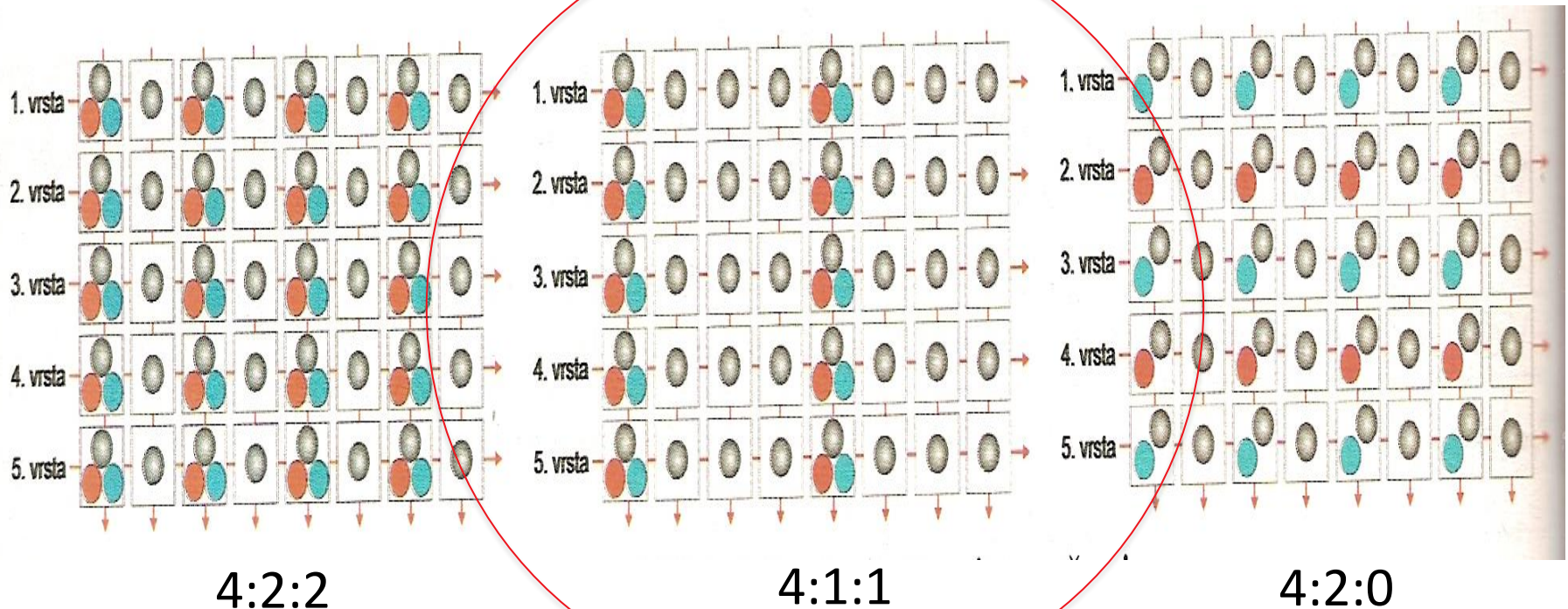


4:2:0



Različni sistemi vzorčenja

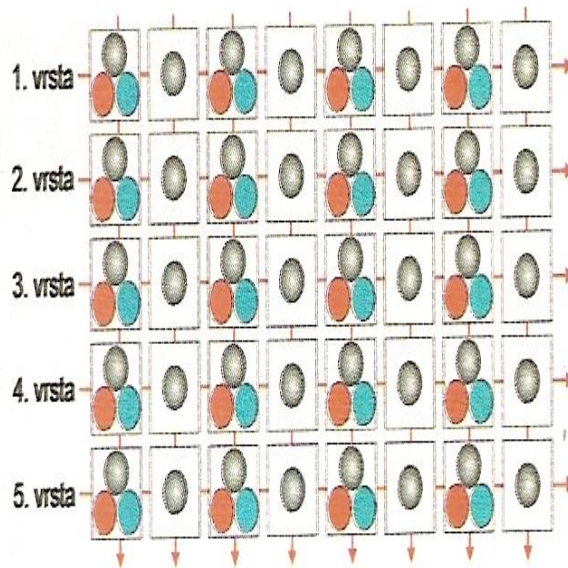
- Sistem **4:1:1** zajame v vzorec štiri točke: vrednost Y zajame za vsako točko, vrednost Cb in Cr pa za vsako četrto točko. (uporaba pretežno v Ameriki - NTSC)



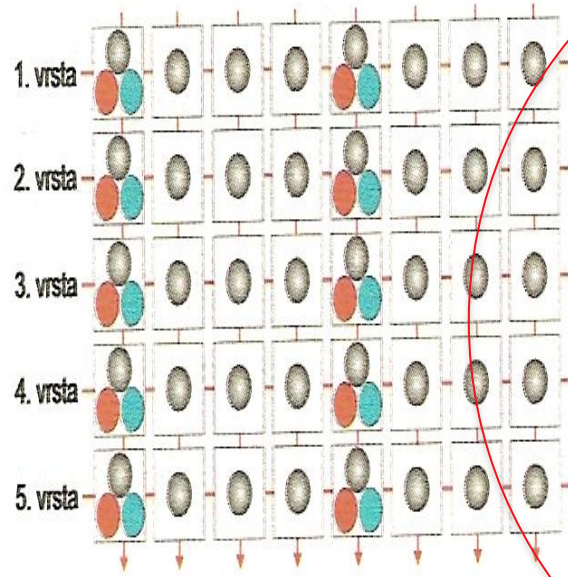


Različni sistemi vzorčenja

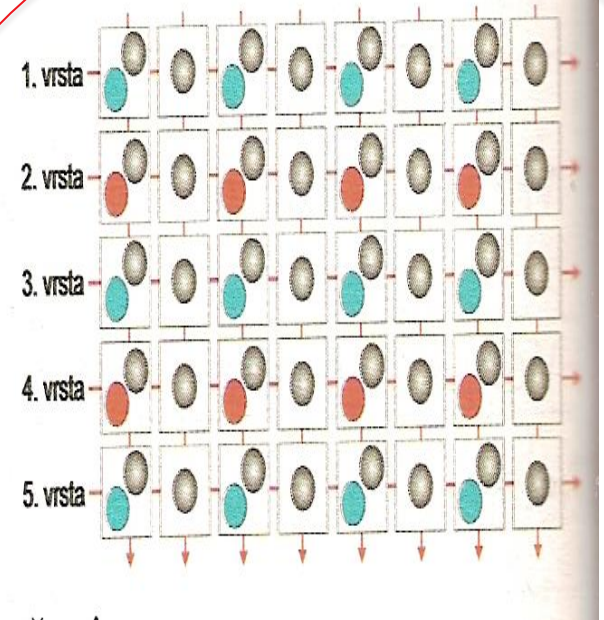
- Sistem **4:2:0** zajame v vzorec dve točki in dve vrstici: vrednost Y zajame za vsako točko, vrednost Cb za vsako drugo točko v lihih vrsticah, vrednost Cr pa za vsako drugo točko v sodih vrsticah (PAL).



4:2:2



4:1:1



4:2:0



DV in MPEG

- Vzorčenje digitalizira video signal
- Dodatni standardi za kompresijo podatkov
 - za prenos ali hrambo v datoteko
- Standard DV
 - Vzorčenje 4:1:1 (NTSC) in 4:2:0 (PAL)
 - Pretok 25Mbit/s
 - Kompresija 5:1 (samo prostorska)
 - Profesionalne različice: DVCPRO, Digital-S (4:2:2),
 - HDV (4:2:0): nizko-proračunski filmi

DV

DVCPRO

DVCAM

DVCPRO P

DVCPRO 50

HDV

HDV 1080i

HDV 720p

DV je postavil temelje za kasnejše digitalne video formate, kot so DVCAM, DVCPRO in HDV.



profesionalni DV formati

Format	Barvno vzorčenje	Podatkovni tok	Glavna uporaba
DV (osnovni)	4:1:1 (NTSC) / 4:2:0 (PAL)	25 Mbps	Potrošniške in polprofesionalne kamere
DVCAM (Sony)	4:1:1 / 4:2:0	25 Mbps	Profesionalne kamere, robustnejši zapis
DVCPRO25 (Panasonic)	4:1:1 / 4:2:0	25 Mbps	Novinarske kamere, terensko snemanje
DVCPRO50 (Panasonic)	4:2:2	50 Mbps	Visokokakovostna televizijska produkcija
DVCPRO HD (Panasonic)	4:2:2	100 Mbps	HD produkcija, filmska industrija
Digital-S (JVC D-9)	4:2:2	50 Mbps	Profesionalna televizijska produkcija



DV format -> HD

Format	Shranjena ločljivost	Prikazana ločljivost	Barvno vzorčenje	Podatkovni tok	Kompresija
DVCPRO HD	960×720 / 1280×1080	1280×720 / 1920×1080	4:2:2	100 Mbps	Intra-frame DCT (kot DV)
HDV	1280×720 / 1440×1080	1280×720 / 1920×1080	4:2:0	19–25 Mbps	MPEG-2 (Inter-frame)
XDCAM HD	1440×1080 / 1920×1080	1920×1080	4:2:0 / 4:2:2 (HD422)	18–50 Mbps	MPEG-2 (Inter/Intra-frame)
AVCHD	1280×720 / 1920×1080	1280×720 / 1920×1080	4:2:0	5–28 Mbps	MPEG-4 AVC/H.264



DV in **MPEG**

- Standard MPEG (ISO/IEC Moving Picture Experts Group)
 - **MPEG-1**: Video CD
 - **MPEG-2**: prva generacija video opreme, digitalni prenos TV signala (DTB), DVD
 - **MPEG-4**: od mobilnih telefonov (10kbit/s) do HDTV
 - MPEG4 – 2 del: video del MPEG4
 - MPEG4 – 10 del: H.264/AVC: Web video, Blu-Ray DVD, IPTV, YouTube, Netflix
 - MPEG-H
 - HEVC – 2 del: video: H.265: 4K, 8K, HDR, streaming (Netflix, Apple TV)
 - MPEG-I (Part 3) – **H.266/VVC**: 8K, VR, AR, AI video
 - MPEG-5 (Part 1) – EVC: Alternativa HEVC z nižjimi licenčninami
 - EVC (Essential Video Coding)
 - MPEG-5 (Part 2): Nizka pasovna širina, izboljšanje starejših kodekov
 - LCEVC



DV in MPEG

– Imamo množico profilov in nivojev

- **MPEG2: MP@ML**

Profil	Nivo	Največja ločljivost	Največja bitna hitrost	Uporaba
Main Profile @ Main Level (MP@ML)	ML	720×576 (PAL), 720×480 (NTSC)	15 Mbps	DVD, SD digitalna TV
Main Profile @ High Level (MP@HL)	HL	1920×1080	80 Mbps	HDTV (ATSC, DVB-T HD)

- MPEG-4 Part10 ali **H.264/AVC**:

Profil	Nivo	Največja ločljivost	Največja bitna hitrost	Uporaba
Baseline Profile (BP)	3.0	720×480	10 Mbps	Mobilni video, videoklici
Main Profile (MP)	4.0	1280×720	20 Mbps	Digitalna TV, streaming (Netflix, YouTube 720p)
High Profile (HP)	5.1	4096×2048	300 Mbps	Blu-ray, 4K streaming, TV produkcija

- **H.265/HEVC** – Standard za 4K in 8K video

Profil	Nivo	Največja ločljivost	Največja bitna hitrost	Uporaba
Main Profile	5.0	1920×1080	25 Mbps	Full HD streaming, Blu-ray UHD
Main 10 Profile	5.1	3840×2160 (4K)	40 Mbps	4K HDR (Netflix, YouTube)
Main 12 Profile	6.2	8192×4320 (8K)	160 Mbps	8K video produkcija



HandBrake

Profili in nivoji omogočajo, da se isti kodek prilagodi različnim napravam – od mobilnih telefonov do 8K televizij!



The story of two groups - MPEG and VCEG						
Year	MPEG	Part	Layer/Profile/Type	Usage	VCEG	Variants
1984	Not formed	Practically not useful			H.120	
1988	Not formed	Videoconferencing			H.261	
1993	MPEG-1	VHS and Television Recording				
		Part 1	Systems			
		Part 2	Video	VCD	H.261	
		Part 3	Audio			
			Layer 1			
			Layer II			
			Layer III	MP3		
1999	MPEG-2	Broadcast, Distribution, DVD				
		Part 1	Systems			
			Program Stream			
			Transport Stream			
		Part 2	Video		H.262	HDV, XDCAM
		Part 3	Audio			
			Layer 1			
			Layer II			
			Layer III	MP3		
2004	MPEG-4	Broadcast, Internet, Blu-ray				
		Part 1	Systems			
		Part 2	Video		H.263	HDCAM SR
		Part 3	Audio			
		Part 10	Advanced Video Coding	MPEG-4 AVC	H.264	AVCHD, XAVC
		Part 14	MP4 Container	MP4		
2013	MPEG-H	Part 2	Video	HEVC	H.265	

Copyright © Sareesh Sudhakaran 2013



danes

Standard	Leto	Glavna prednost	Tipična uporaba
H.264	~2003	univerzalnost	HD video, streaming
H.265	~2013	4K učinkovitost	UHD TV, mobilni video
H.266	~2020	maksimalna kompresija	8K, VR, prihodnost



HEVC / H.265

- Ločljivost do [8K UHDTV](#) (max. 8192×4320)
- 12-bit barvna globina
- 4:4:4 in 4:2:2 barvno podvzorčenje
- Podpora za visoke frekvence (≥ 120 fps+)
- Podpora za visoke bitne hitrosti (do ~ 800 Mb/s, odvisno od levela)
- Učinkovita kompresija za 4K/8K video
~50 % nižji bitrate kot H.264 pri enaki kakovosti



VVC / H.266

- Ločljivost do 8K+ UHD (8192×4320 in več)
 - Do 12-bit in več barvna globina
 - 4:4:4, 4:2:2 in 4:2:0 barvno podvzorčenje
 - Podpora za visoke frekvence (≥ 120 fps+)
 - Podpora za visoke bitne hitrosti
-
- Učinkovita kompresija za 4K/8K video
~ **30 - 50 % nižji bitrate kot H.265** pri enaki kakovosti

Podpora za **HDR, 360° video, VR** in screen content



Formati visoke ločljivosti

- SD (Standard Definition), PAL, NTSC
- HD (High Definition) = visoka ločljivost
 - Večji okvir kot pri SD
 - Razmerje 16:9
 - Število vrstic: 720 ali 1080
 - Število slik na sekundo: 25 ali 30
 - Okvir: i (prepleteno), p (progresivno)
- Trije parametri:
 - 720 25p: 1280x720, 25fps= frames per sec, **celoten okvir**
 - 1080 60i: 1920x1080, 60fps prepletenih fields per sec.
- HD video zahteva posebno opremo za zajem, prenos, sprejem, snemanje in prikazovanje
- Za digitalno procesiranje se uporablja enaka oprema kot pri SD
 - MPEG-2, MPEG-4 part2, part10:H.264/AVC, MPEG-H



Izračun: vzorčenje barvitosti

kompresija

PAL	w	h	fps	bits na kanal	Y	Cr	Cb	bits	Mbits	
nekompresirano	720,00	576,00	25,00	8,00	1,00	1,00	1,00	248832000	248,832	
4:2:2	720,00	576,00	25,00	8,00	1,00	0,50	0,50	165888000	165,888	
4:2:0	720,00	576,00	25,00	8,00	1,00	0,25	0,25	124416000	124,416	
										kompresija=1:5
								DV standard	24,8832	



Izračun: bitna hitrost za H.264 video

- Formula: [THE KUSH GAUGE](#)

širina * višina * FPS * premik (1,2 ali 4) * konstanta (H.264=0.07)/1000 = končna bitna hitrost v kilobitih na sekundo (kbps)

VBR (variable bitrate):

min= 75% * končna bitna hitrost

max=150% * končna bitna hitrost

Konstante za druge kodeke:

HEVC: 0.045

VC-1: 0.075

MPEG-2: 0.136 ali 0.116 (industrijski standard)



Priporočene bitne hitrosti za standardne velikosti formata H.264

Velikost okvirja	Bitna hitrost	Velikost datoteke
320x240 pixels	400 kbps	3MB / minute
480x270 pixels	700 kbps	5MB / minute
1024 x 576 pixels	1500 kbps	11MB / minute
1280x720 pixels	2500 kbps	19MB / minute
1920x1080 pixels	4000 kbps	30MB / minute