

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za računalništvo  
in informatiko



# PRODUKCIJA MULTIMEDIJSKIH GRADIV (PMG)

## VIDEO – 2. del

Borut Batagelj

V1.2  
2024



# Produkcija digitalnega videa

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



# Video kompresija

- Video moramo stisniti (skompresirati)
- Vhod=zaporedje rastrskih slik
- Dva nivoja:
  - **Prostorska kompresija** (znotraj (angl. intra-frame))
    - Kompresija rastrskih slik
    - Obdelujemo nekompresiran video (dekompresiramo)
    - Na koncu: kompresiramo
  - **Časovna kompresija** (med (angl. inter-frame))
    - Ključni okvirji (key frames) so samo prostorsko kompresirani
    - Vmesni okvirji so razlike med trenutnimi in ključnimi okvirji
- Kodeki so lahko
  - Simetrični: čas za kompresijo in dekompresijo je enak
  - Asimetrični: kompresija zahteva (veliko) več časa kot dekompresija

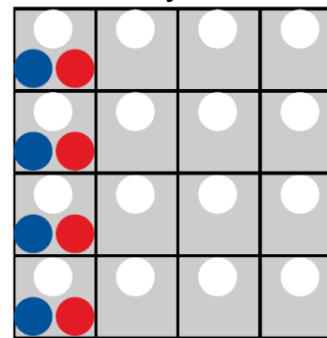
# Prostorska kompresija

- Prostorska kompresija temelji na DCT (npr. JPEG)
- Samo prostorska kompresija z JPEG = MJPEG (Motion JPEG)

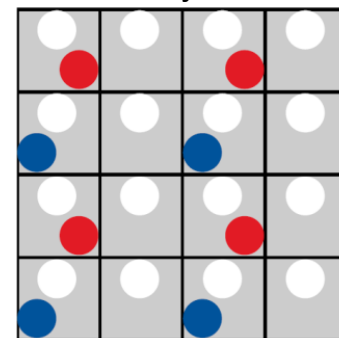
## DV – boljše kot MJPEG

- Tudi uporablja samo prostorsko kompresijo
- Uniformna bitna hitrost: 25 Mbit/s
- Podvzorčenje barvitosti
  - 4:1:1 pri NTSC, 4:2:0 pri PAL
- Postopek:
  - DCT na blokih 8x8, kvantizacija (izgubno), metoda čet (Run-length-RLE) in Huffmanovo kodiranje
  - 2 izboljšavi
    - Na statičnih okvirjih se DCT opravi na 8x8 bloku, na dinamičnih pa na dveh 8x4 blokih = boljše kompresija okvirjev v gibanju
    - Video segmenti: razporejanje 8x8 blokov iz petih različnih regij – natančnost koeficientov se enakomerno razporedi po sliki

vzorčenje: 4:1:1



vzorčenje: 4:2:0





# Časovna kompresija

- Osnava je standard MPEG-1
- Razlika med okvirji
  - Veliko homogenih regij, kjer je razlika 0

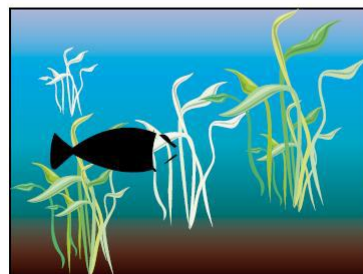
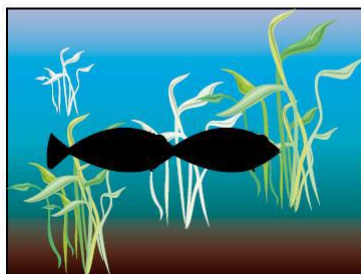
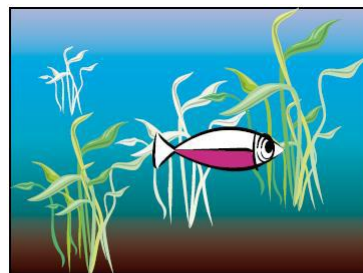
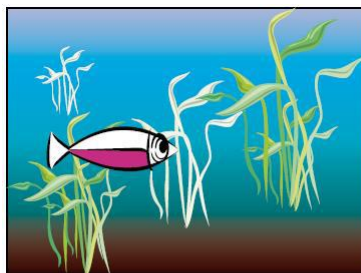


- Dve vrsti okvirjev
  - **I-slike** (I-pictures, I za intra): samo prostorsko kompresirane
  - **P-slike** (P-pictures, P za predictive): napovedane slike, na osnovi predhodnih I-slik ali P-slik



# Kompenzacija gibanja

- Velikokrat se premikajo samo posamezni objekti na slikah



razlika med okvirjema

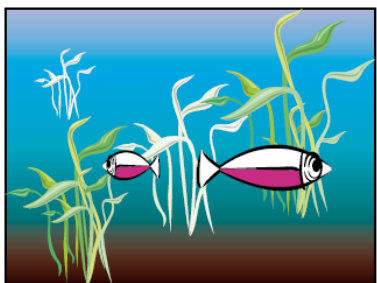
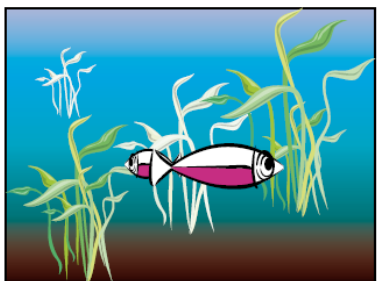
razlika + kompenzacija gibanja

- Shranimo lahko samo objekt in vektor premika
- Na realnih slikah je zelo težko detektirati te objekte
- Kompenzacija gibanja se zato uporablja na makroblokih velikosti 16x16 slik. elementov

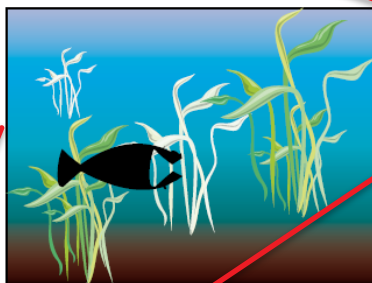


# Napovedovanje slik

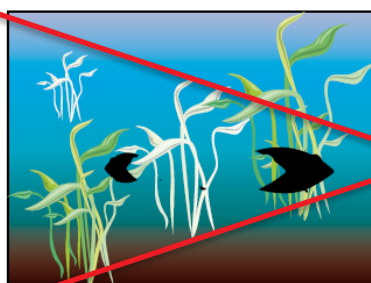
- Napovedujemo lahko slike iz prejšnjih slik
- ali iz naslednjih slik



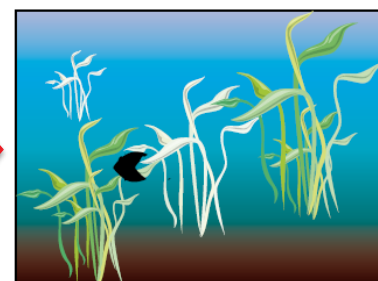
rekonstrukcija 2. okvirja iz 1. okvirja



rekonstrukcija 2. okvirja iz 3. okvirja



rekonstrukcija 2. okvirja iz 1. in 3. okvirja



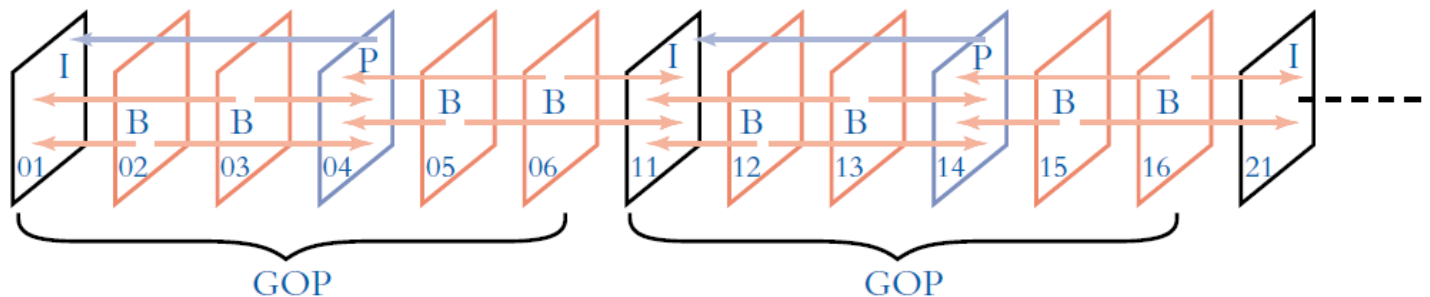
Najboljša je kombinacija obojega

Poleg I in P slik še **B slike** (B-pictures, B za bi-directionally predictive)



# Zaporedje slik

- Video je zakodirano zaporedje I-, P-, in B- slik
- Ponavljajoč vzorec = GOP (Group of Pictures)
- Vzorec se ponavlja
  - IBBPBBPBB
  - IBBPBBPBBPBB
  - Bolj napredni kodirniki prilagajajo vzorec (pogostost I-slik glede na vsebino zaporedja)
- Primer: IBBPBB

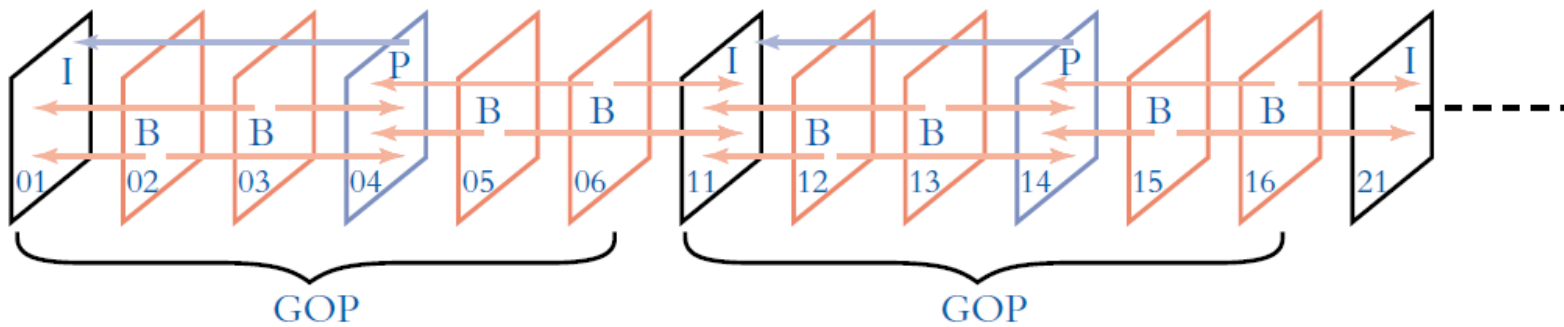




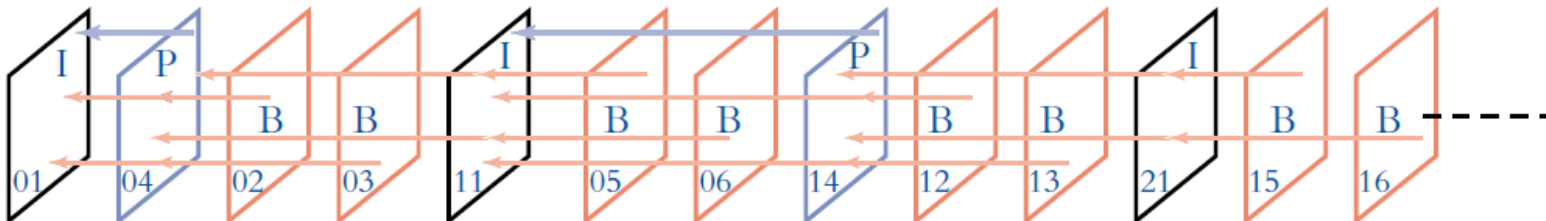


# Vrstni red vzorca

- B-slika potrebuje tudi slike iz prihodnosti
  - Dva tipa vrstnega reda
- Vrstni red za prikaz (*display order*)



- Vrstni red za prenos (*bitstream order*)





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



# MPEG-1

- Pred kompresijo (NTSC):
  - Podvzorčenje barvitosti 4:2:0
  - velikost okvirja: 352x240 (polovica 704x480)
  - število slik na sekundo: 30 fps
- max. prenos hitrost: 1.86 Mbit/s
- Format SIF (Source Input Format)
  - Video format ki omogoča shranjevanje in prenos digitalnega videa
    - 625/50 SIF format ([PAL/SECAM](#)) resolucija (360 ali) 352 x 288 aktivnih slik. elementov in osveževanje 25 okvirjev na sekundo
    - 525/59.94 SIF format ([NTSC](#)) ima resolucijo (360 ali) 352 x 240 aktivnih slik. elementov in osveževanje 29.97 okvirjev na sekundo
    - QVGA PAL (kvadratni slik. elementi): 384x288, , NTSC: 320x240
- link: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Vector\\_Video\\_Standards2.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Vector_Video_Standards2.svg)



# MPEG-4

- MPEG-4 je bolj ambiciozen standard
  - Posamezni objekti se obravnavajo ločeno
    - Video, slike, animacija, teksture, 3D modeli, ...
    - Vsak objekt se kompresira v optimalni obliki
    - Omogočena je lažja interakcija
- MPEG-4 **Part 2**
  - Višji profili: ločijo sceno na video poljubne oblike (ločijo osebo od ozadja)
    - Vsak del se kompresira s svojim algoritmom; bolj učinkovito
  - Nižji profili: omejitev na pravokotne objekte
    - QuickTime, DivX
    - Izboljšani algoritmi za kompresijo
  - Globalna kompenzacija gibanja
    - Premikanje kamere in približevanje kadra
    - Se modelira kot transformacija originala (nekaj parametrov)
  - Natančna (sub-pixel) kompenzacija gibanja



# H264/AVC

- **MPEG-4 Part 10** oz. H.264/AVC
  - Izboljšana verzija MPEG-4 Part 2
    - Najboljša MPEG2 kvaliteta s pol manjšo bitno hitrostjo
  - Različne velikosti blokov za kompenzacijo gibanja
  - Uporaba kateregakoli okvirja iz slovarja okvirjev (P ali B)
    - Lahko uporabi več okvirjev ne samo enega pred in enega za
    - B okvir lahko uporablja drugi B okvir
  - Izboljšava pri prostorski kompresiji okvirjev
    - Boljša transformacija od DCT (8x8, 4x4)
    - Logaritmična kvantizacija
    - Breizgubno stiskanje koeficientov z različnimi alg.
  - Filter de-blocking
  - Za najboljše rezultate je potrebno več prehodov skozi video
    - multi-pass, single-pass



# HEVC/H265




## MPEG-H Part 2 oz. HEVC/H.265

- Izboljšana verzija AVC (MPEG-4 Part 10 )
  - Pri enaki kvaliteti pol manjša datoteka ali pri enaki boljša kvaliteta
- **kompensacijo gibanja**
  - Referenca na bloke znotraj okvirja (intra-prediction)
  - Referenca na bloke drugega okvirja (inter-prediction)
  - Bloki različnih velikosti, do velikosti 64 x 64 elementov
  - Napovedani bloki se lahko zakodirajo z različnimi velikostmi
  - **Vektorji premikanja** so kodirani z večjo natančnostjo (35 v primerjavi s prej 9 smeri)
  - Nova metoda: Adaptive Motion Vector Prediction
  - Izboljšan filter de-block
  - Dodaten filter: Sample Adaptive Offset (napravnosti na robu blokov)



# Drugi video kodeki: **WMV9**

-  Windows Media 9 (WMV9, VC-1)
  - Veliko idej iz H.264/AVC
  - Uporaba različnih kvantizacij
  - DCT na 8x8, 2\*8x4, 2\*4x8, 4\*4x4
  - detekcija in modeliranje prehodov z zatemnitvijo (fade)
  - Standard VC-1 (SMPTE)
  - Obvezen za Blu-Ray predvajalnike (poleg MPEG2 in H.264/AVC)



# Drugi video kodeki: **On2 VPx**

- On2 VP6
  - Uporabljen za FlashVideo
  - Ni standardiziran, je avtorsko zaščiten
  - DCT prostorska kompenzacija, kompenzacija gibanja
  - Ne podpira B-slik
  - Enostaven za dekodiranje (dekompresijo)
- On2 VP3
  - Osnova za Open Source: *Ogg Theora* kodek
  - Prost za uporabo
  - DCT prostorska kompresija, podpira samo I- in P-slike
- On2 VP7,8,9
  - Februarja 2010 prevzel Google
  - Primerljiv z MPEG-4 AVC (H.264) in VC-1
  - Maj 2010 Open Source (WebM, HTML5 <video>)
  - YouTube, Android (>4.4 KitKat)



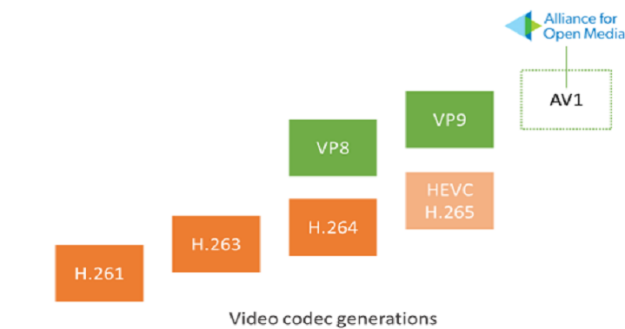


# Drugi video kodeki: **AV1**




- **AOMedia Video 1 (AV1)**

- 2015: Združenje za odprtost multimedijskih standardov
- sodelujejo skoraj vsa največja tehnološka imena na svetu in nosilci video platform: Netflix, Amazon, Hulu, YouTube in Facebook
- VP10, [Daala](#) ([Xiph/Mozilla](#)) and [Thor](#) ([Cisco](#))
- Nasledil VP9 (25-35 %)
- Primerljiv formatu H.265 (20% boljši) in 50% boljši od H.264
- Odprtokodna
- Format za slike (resna konkurenca formatu JPEG)
- Apple (slikovni format **HEIC**)





# Kvaliteta

 AV1 vs. H.265 vs. H.264

- Kateri kodek je najboljši?
- Različni kriteriji
  - Kvaliteta slike
  - Bitna hitrost oz. velikost datoteke
  - Hitrost kompresije
  - Kompleksnost dekompresije
  - Prenosljivost/razširljivost predvajalnikov
  - Fleksibilnost parametrov
  - Prijaznost za uporabo
  - Odvisnost od vrste vhodnega videa (dinamičnost...)
- **Vsi moderni kodeki proizvedejo zelo dober skompresiran video (primerljiv z DV kvaliteto) pri bitni hitrosti 2Mbps**
- 2Mbps je primerna bitna hitrost za video v multimediji
- **[What bitrate should I use when encoding my video?](#)**



# Kompresiran visoko kvalitetni video



Original



H.264/AVC



WMV 9



On2 VP6



# Prevelika kompresija

- Kompresija na 256 kbps

– H.264/AVC



– On2VP6





# Povzetek 1/3

- Sodobni video kodeki uporabljajo prostorsko (znotraj) in časovno kompresijo (med).
- Pred samo kompresijo se uporablja pod-vzorčenje barvnosti.
- Prostorska kompresija običajno temelji na diskretni kosinusni transformaciji (DCT), podobno kot JPEG.
- Standard DV uporablja zgolj prostorsko kompresijo. Uporablja različico DCT, z različno velikimi in pomešanimi bloki, da se izenači spremembe v okvirju.
- Časovna kompresija temelji na razliki med okvirji namesto, da se shranjuje vsak okvir v celoti.
- Pri standardu MPEG se uporablja terminologija I-slike, ki je samo prostorsko stisnjena in P-slike, ki se izračuna iz predhodne I ali P slike.



## Povzetek 2/3

- Kompenzacija gibanja je tehnika, kjer se vzame v obzir premik objektov na izračunanih razlikah med okvirji kot vektor premika.
- Obstoječi kodeki izvajajo kompenzacijo gibanja na makroblokih (16x16) zaradi tega ker posameznih objektov ne moremo enostavno prepoznati.
- B-slike upoštevajo pri izračunu razlike in kompenzaciji gibanja, poleg predhodnih, tudi naslednje okvirje.
- Video sekvenca se zakodira kot skupina slika (GOP). Če se uporablja tudi B-slika, je potrebno pri dekodiranju preurediti vrstni red za prikaz.
- MPEG-4 2. del uporablja za izboljšanje kvalitete napram MPEG-1 in MPEG-2 še globalno kompenzacijo gibanja in kompenzacijo gibanja na podpikslih.



# Povzetek 3/3

- H.264/AVC za izboljšavo dodaja še nekaj dodatnih tehnik, kot so različne velikosti blokov za transformacijo in kompenzacijo gibanja, filter za zgladitev blokov (de-blocking).
- Windows Media 9 (imenovan tudi kot standard VC-1) uporablja podobne izboljšave.
- On2 VP 9 primerljiv z H.264/AVC in VC-1 in prosto dostopen.
- Vsi moderni kodeki zakodirajo video odlične kvalitete pri bitni hitrosti 2Mbps ali višji.
- Priporoča se od 2Mbps – 2.5Mbps



# Montaža in postprodukcija

- Montaža videa
  - Proces izdelave celotnega filma iz zbirke kratkih video izsekov:
    - Izbor izsekov
    - Krajšanje
    - Organizacija izsekov
    - Sinhronizacija slike in zvoka
    - Prehodi med posnetki
    - **Na samih posnetkih se ne naredi nobena sprememba**
- Postprodukcija
  - Spreminjanje originalnega materiala in dodajanje novega
  - Popravljanje slik (barve, kontrast, zameglitev, ostrenje, ipd.)
  - Sestavljanje več posnetkov v enega
  - Vstavljanje slik/animacij
  - Specialni učinki (efekti)

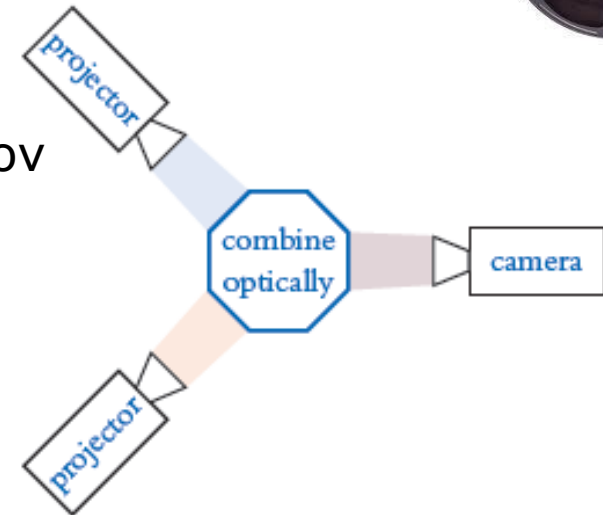




# Tradicionalna montaža



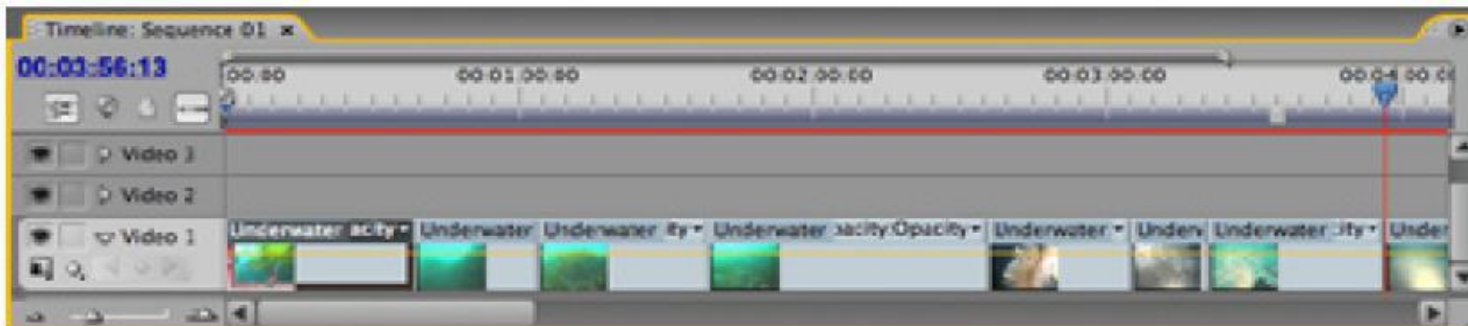
- Tradicionalna filmska montaža
  - Rezanje in kombiniranje filmskih trakov
  - Prehodi med kadri: optični printer
    - Optični filtri
    - Posebni laboratorij
- Montaža analognega videa
  - Uporaba več (treh) magnetofonov hkrati
  - Prevertavanje naprej in nazaj
  - Kombiniranje elektronskih signalov – elektronski filtri
    - Rezultat viden takoj
  - Potrebno natančno označevanje pozicij na traku
    - SMPTE timecode: hh:mm:ss:ff (01:36:12:05)





# Montaža digitalnega videa

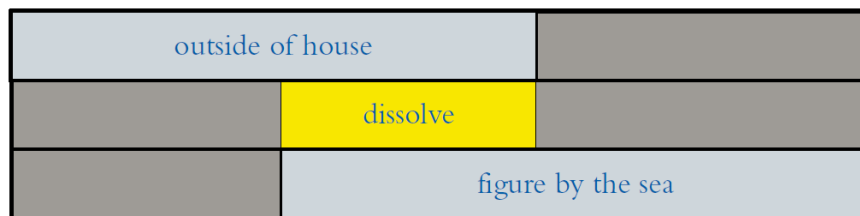
- Poljubno spreminjanje zaporedja sekvenc
- Ne poslabšamo originalnega materiala!
- Rezultate montaže vidimo takoj
- Video formati ločijo video posnetek od parametrov sledi
- Koraki pri montaži videa
  - Uvoz video izsekov v projekt
  - Krajšanje izsekov (začetne (in) in končne (out) točke)
  - Postavljanje izsekov na časovni trak
    - Lahko dodamo tudi slike
    - Kombiniranje videa in zvoka
  - Urejanje prehodov med kadri
  - Kompozicije in popravki





# Prehodi med kadri

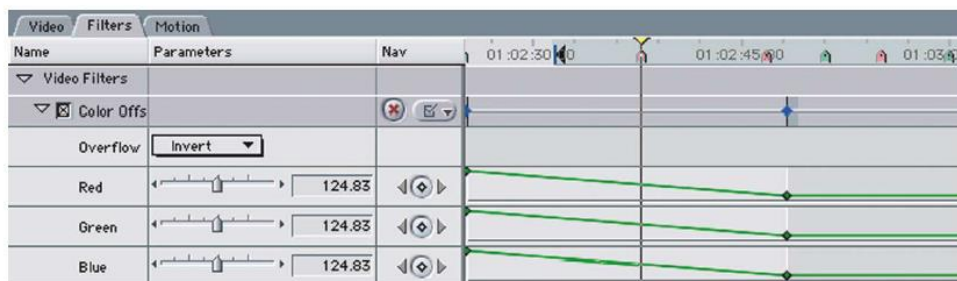
- Oster prehod med kadri
  - Drugi kader se začne takoj, ko se konča prvi
- Prehodi med kadri
  - Mehki, animirani prehodi
  - Kadri se deloma prekrivajo med seboj (dovolj okvirjev!)
  - Prehod v črnino in iz črnine – poudarijo trajanje
  - Okvirji v prehodu se „rendirajo“





# Postprodukcija

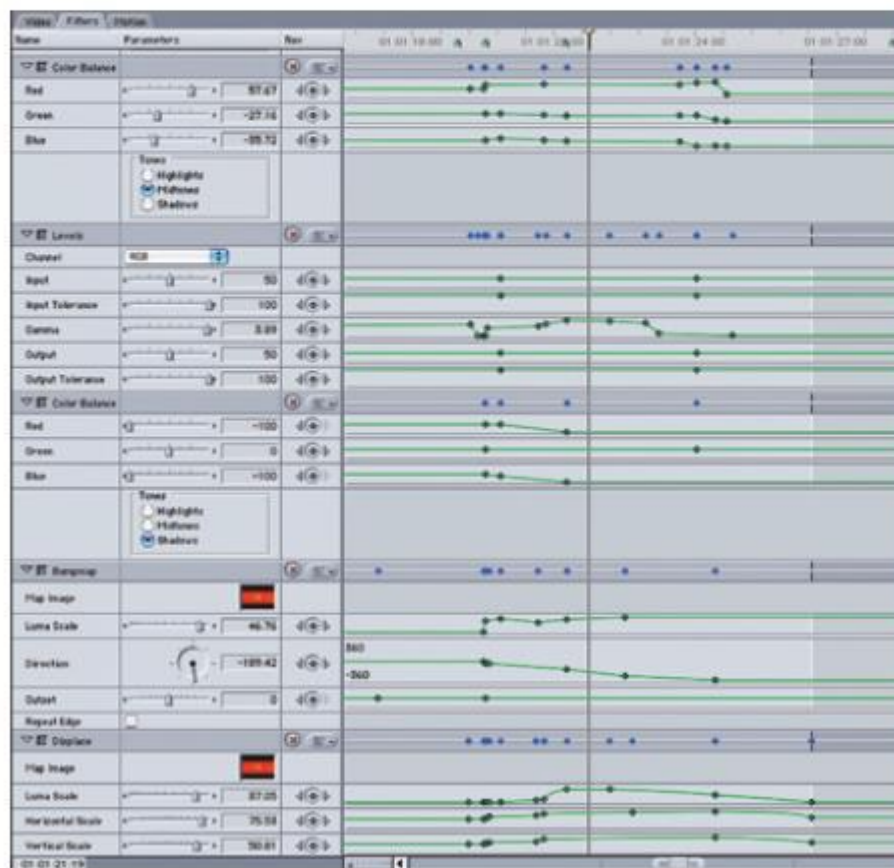
- Popravljanje napak nastalih med snemanjem in pri digitalizaciji (nepravilna osvetlitev, čas ekspozicije, nastavitve goriščne razdalje, barv).
  - Podobno kot pri orodjih za urejanje slik
  - Nadzor s parametri, ki se lahko spreminjajo skozi čas
    - Parametre določimo na ključnih okvirjih, vmes se interpolirajo





# Nadzor parametrov

- Nadzor parametrov skozi čas je lahko zelo kompleksen







# Kombiniranje posnetkov

- Chroma keying
  - Modri (ali zeleni) zaslon
  - Vstavljanje enega posnetka v drugega
- Luma keying
  - Transparentno ozadje določa svetlost slikovnih elementov
- Matte
  - Maska v katero se ustavlja drugi posnetek





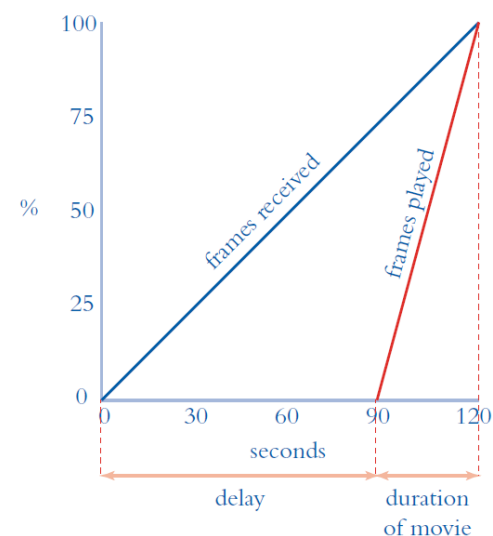
# Distribucija videa

- Tradicionalni načini distribucije videa
  - Televizija
  - ~~DVD~~
- Video hranimo v datoteki
  - Pretakanje preko mreže (interneta)
- Pretočni video
  - Se prikaže in se **ne** shrani na računalnik
  - Video v živo
  - Video konferenca
  - Potrebuje zadostno pasovno širino



# Progresivni proti pretočni video

- Vgrajeni video (embedded video)
  - Se ne predvaja dokler se ne prenese v celoti
- Progresivni prenos (progressive download oz. HTTP streaming)
  - Se začne predvajati med nalaganjem
  - Datoteka se shrani na disk
  - Ni primeren za video v živo
- Pravi pretočni video (true streaming video)
  - Se ne shrani na disk
  - Video v živo
  - Video na zahtevo
  - Prosti dostop do kateregakoli dela videa
  - Zahteva poseben strežnik za pravi pretočni video







# Arhitekture za multimedijo

- Arhitektura določa
  - API za zajemanje, kompresijo in predvajanje multimedije
  - Enega ali več kodekov
  - [Kontejner](#) za shranjevanje podatkov
    - Lahko vsebuje več kodekov, ne samo lastne
  - Pretočni strežnik
  - Programska oprema za predvajanje (in zajemanje ter enostavno urejanje)
- Temeljijo na komponentah
  - Enostavno dodajanje novih komponent (kodekov)



# Video kontejnerji

- Kontejner format vsebuje meta podatke, ki določajo kako so različni podatkovni elementi in metapodatki urejeni v datoteki
  - Video
  - Zvok
  - Podnapisi
  - Slike
- Primerjava različnih

	MPEG-1	MPEG-2	MPEG-4 (A)SP	H.264/ MPEG-4 AVC	H.265/ HEVC	VC-1/ WMV	Real Video	Theora	Microsoft MPEG4 V2	VP8	VP9	MVC
AVI	Yes	Yes	Yes	Yes <sup>[41]</sup>	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	?
Matroska	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes <sup>[42]</sup>
MP4	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes <sup>[43]</sup>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
MXF	Yes	Yes	Yes	Yes	?	Yes	No	?	?	?	?	?
Ogg	Yes	Yes	Yes	Yes	?	Yes	No	Yes	?	?	?	?
QuickTime	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	?	?	?	?

Vir: [http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_container\\_formats](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_container_formats)



# Arhitekture (frameworks)

- **QuickTime**, AVFoundation
  - Kontejner: MOV datoteke (.mov)
  - Predvajalnik: QuickTime Player
  - Platforme: Machintosh in Windows OS
- VfW, **DirectShow**, Media Foundation (Vista, Win7,8,10)
  - Kontejner: ASF, video WMF = WMV
  - Predvajalnik: Windows Media Player
  - Platforma: Windows
- OGG datoteke
  - Kodek: Theora, odprtokodna platforma
- FFmpeg
  - Platforma: tudi Linux, odprtokodna arhitektura
- GStreamer



# Formati za posredovanje

- Formati za posamezne platforme:
  - Mobilni telefoni: 3GP
  - iPod predvajalniki: QuickTime, H.264/AVC
  - Računalniki: veliko možnosti
    - Apple: MOV
    - Windows: WMV
- Za heterogene sisteme sta najbolj primerna:
  - MP4 (z H.264/AVC)
  - DirectShow
  - QuickTime
  - Odprtokodni predvajalniki

**Za pretakanje preko mreže je smiselno kreirati več verzij z različnimi bitnimi hitrostmi**





# Izračun: vzorčenje barvitosti

kompresija

PAL	w	h	fr	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