

# Kodiranje videa i H.264 format

---

Juran, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:024374>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-03**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Odjel za informacijsko-komunikacijske tehnologije

**David Juran**

**Kodiranje videa i H.264 format**

Završni rad

Pula, 2017. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Odjel za informacijsko-komunikacijske tehnologije

**David Juran**

**Kodiranje videa i H.264 format**

Završni rad

**JMBAG :0303046372, redoviti student**

**Studijski smjer: Informatika**

**Predmet: Teorija informacija**

**Mentor: doc. dr.sc. Darko Etinger**

Pula, rujan, 2017. godine



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani \_\_\_\_\_, kandidat za prvostupnika \_\_\_\_\_ ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

---

U Puli, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ godine



## IZJAVA

### o korištenju autorskog djela

Ja, \_\_\_\_\_ dajem odobrenje Sveučilištu  
Jurja Dobrile

u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, \_\_\_\_\_ (datum)

Potpis

\_\_\_\_\_

# SADRŽAJ

1.UVOD .....	1
2.VIDEO I VIDEO KOMPRESIJA .....	3
3.VIDEO KVALITETA .....	4
3.1.Uzorkovanje .....	4
3.2.Prostor boja .....	6
3.3.Video rezolucija .....	8
3.4.Video bitrate .....	9
4. KONCEPTI VIDEO KODIRANJA.....	10
4.1.Video koder .....	11
4.2.Proces video kodiranja .....	12
5.H.264.....	16
5.1.H.264 profili .....	17
5.2.Bit depth .....	18
6.H.265.....	20
6.1.Coding tree unit .....	21
7.VP8 I VP9.....	22
8.KODIRANJE VIDEA .....	23
8.1.Originalni video uzorak.....	24
8.2.Sučelje HandBrake programa .....	25
8.3.H.264 testiranje kvalitete, brzine kompresije, frameratea i rezolucije .....	26
8.4.H.265 testiranje kvalitete i brzine kompresije .....	33
8.5.VP8 i VP9 testiranje brzine kompresije .....	37
9.BUDUĆNOST H.265 VIDEO KODEKA .....	39
10. ZAKLJUČAK.....	40
Literatura .....	41
Popis slika .....	44
Popis grafova.....	45
Sažetak.....	45
Ključne riječi .....	45
Summary .....	45
Key words.....	45

# 1.UVOD

Kroz povijest ljudskog roda javlja se potreba za dokumentiranjem događaja, kao i potreba za razbibrigom. Od usmene predaje, preko klinastog pisma pa sve do današnjeg video sadržaja, događaji se dokumentiraju te se razne priče prenose u raznim oblicima. Među tim načinima prijenosa nalazi se i video, koji je u današnje doba postao neizbježan. Digitalni video može se pronaći na svakom koraku – na televiziji, mobitelima i računalima. U industriji koja se bavi digitalnim video sadržajem ostvaruju se veliki profiti što vodi razvoju novih tehnologija. Među njima se javlja i kompresija video sadržaja koja omogućuje veću efikasnost pri pohrani i prijenosu što vodi do većih profita.

Upravo je efikasnost zaslužna za razvoj boljih metoda kompresije video sadržaja. Krajem devedesetih godina prošlog stoljeća tehnologija postaje sve dostupnija krajnjem korisniku. Analogna televizija, video kazete, mobilni telefoni i internet dostupni su većini korisnika u razvijenim zemljama. Nakon početka raširene uporabe ovakvih tehnologija započinje se sa povećanjem njene efikasnosti. Televizijski prijemnici prelaze sa analognog na digitalni signal, video sadržaj postaje dostupan putem drugih medija kao što su DVD optički diskovi i internet, mobilni telefoni dobivaju dodatne funkcije kao što su snimanje videa i pregled web sadržaja, a internet veze postaju sve brže.

U ovakvim okolnostima video sadržaj postaje sve rasprostranjeniji, a najveću zaslugu u tome ima video kompresija.

U ovom radu pokazati ću da je H.264/AVC format koji je standardiziran 2003. godine još uvijek u mogućnosti pružiti zadovoljavajuće performanse i da je H.265/HEVC format još u početnim stadijima razvoja te ga kao takvog očekuje neizvjesna budućnost.

Nakon uvodnog poglavlja objasniti će se to što je video, video kompresija te zašto je video kompresija potrebna.

Treće poglavlje bavi se pojmom kvalitete video sadržaja. Objasniti će se na koji se način video stvara te koji su parametri potrebni za njegov kvalitetni prikaz.

U četvrtom poglavlju objasniti će se principi video kodiranja, na koji se način kodiranje provodi, pojavljuje se pojam kodeka i makrobloka te se objašnjavaju vrste frameova koji se koriste u video kompresiji.

Peto poglavlje bavi se samim H.264/AVC formatom te govori o njegovoj povijesti, mogućnostima, profilima te se uključuje rasprava o 10-bitnoj boji.

Šesto poglavlje govori o nasljedniku H.264 formata – H.265/HEVC formatu te se prikazuje najveća razlika između ta dva formata.

Sedmo poglavlje pruža kratak osvrt na VP8 i VP9 formate video kompresije. Ovi formati nisu vezani uz H.26x obitelj formata, ali su im direktna konkurencija.

Osmo poglavlje posvećeno je testu kodiranja videa. U njemu se opisuju alati koji su korišteni, načini na koji su se testovi provodili te se uspoređuju razni rezultati kompresije i kvalitete slike.

Deveto poglavlje pokazuje probleme na koje nailazi H.265 format te zašto je njegovo stanje kao standarda upitno.

Deseto poglavlje je zaključno poglavlje te se u njemu donosi mišljenje o stanju H.264 i H.265 formata s obzirom na prikupljene informacije.



## 2.VIDEO I VIDEO KOMPRESIJA

Video je elektronički medij koji služi za snimanje, kopiranje, reprodukciju, emitiranje i prikaz pokretnih vizualnih i audio medija („Video“, 2015.).

Video kompresija ili video kodiranje je proces smanjenja potrebne količine podataka koja predstavlja digitalni video signal prije prijenosa ili pohrane. Komplementarna operacija je dekompresija ili dekodiranje i ona digitalni video signal pretvara iz kompresiranih podataka u video sadržaj spreman za prikazivanje (Richardson, 2010.).

U današnje doba video kodiranje je potrebno u slučajevima kada su prisutna ograničenja u prostoru za pohranu podataka i kada su kanali za prijenos podataka neadekvatni. Kanali kojima se prenose video sadržaji opremljeni su sa koderom i dekoderom koji video sadržaj kodiraju i dekodiraju.

Zbog stalnog rasta korištenja video sadržaja pojavljuje se potreba za novim metodama kodiranja video podataka. Premda postoji veliki broj načina kompresije podataka u komercijalne svrhe koristi se manji broj standardiziranih načina kompresije koji zadovoljavaju potrebe proizvođača i korisnika. Standardi omogućuju kompatibilnost između raznih proizvoda različitih proizvođača te također omogućuju razvoj platformi koje komponiraju i međusobno koriste ostale tehnologije potrebne za prijenos i prikaz video sadržaja.

U ovome radu obraditi će se format za kompresiju video sadržaja H.264 Advanced Video Coding, kao i njegov nasljednik H.265 High Efficiency Video Coding te formati VP8 i VP9.

### 3.VIDEO KVALITETA

Kako bi mogli pravilno kompresirati i kodirati video potrebno je znati na koji način digitalni video sadržaj nastaje te koji su parametri potrebni za održavanje njegove kvalitete prilikom kompresije.

#### 3.1.Uzorkovanje

Digitalni video signal predstavlja neku vizualnu scenu koja je uzorkovana prostorno (spatial sampling) i vremenski (temporal sampling) (Richardson, 2010.) , tj. kroz neki vremenski period ta vizualna scena je prostorno uzorkovana u određenim intervalima kako bi se dobio frame i naposljetku pomična slika. Kako bi dobili sliku u boji potrebno je imati tri komponente ili seta koji tu boju predstavljaju.

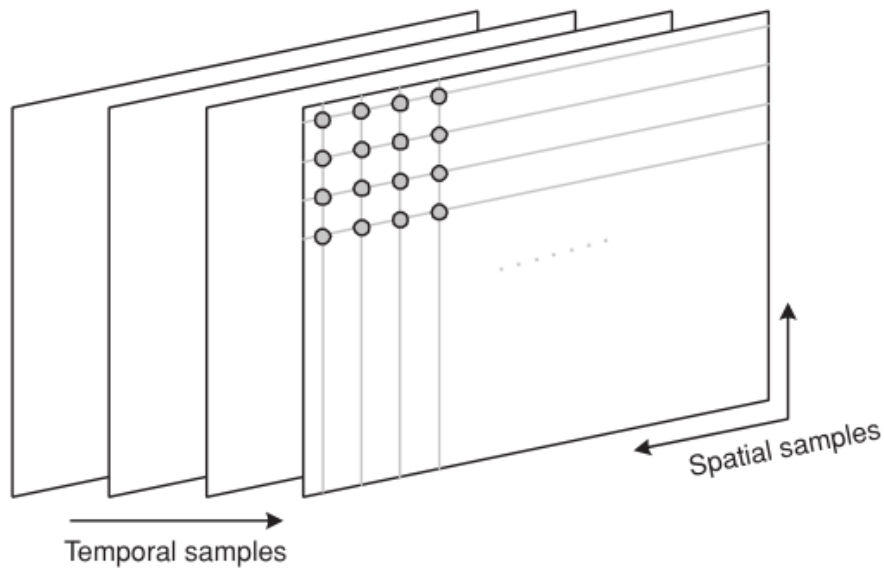
Prostorno uzorkovanje je proces prikupljanja zapažanja u dvodimenzionalnom okviru (Delmelle, 2013.).

Frame ili okvir je naziv za sliku koja nastaje prilikom snimanja video sadržaja. Prilikom snimanja u svakoj sekundi snimi se određen broj slika. Broj tih slika može biti različit, ali najčešće se snima 24, 25 ili 30 slika u sekundi. Taj broj može biti i veći pa se tako snima i 48 te 60 slika u sekundi. („What is video? What is a video frame?“, 2008.)

Vizualne scene u kojima su prikazani svakodnevni objekti ili priroda – stvarni svijet – obično sadrže velik broj objekata različitih oblika, boja, tekstura i osvjetljena. Tijekom snimanja takvih scena treba znati da postoje prostorne karakteristike, kao što su već navedeni oblici, boje, teksture i osvjetljene, te vremenske karakteristike kao što su promjene položaja tih objekata, promjena kuta snimanja i promjena osvjetljena.

Kako bi se takva scena mogla snimiti potrebno je uzeti uzorke u određenim vremenskim razmacima. To se radi tako da svakoj točki u toj sceni dodjeli jedan ili

više brojeva koji označavaju svjetlinu i boju uzorka i tako za svaki prostorni uzorak koji je dobiven vremenskim uzorkovanjem (Richardson, 2010.). Na sljedećoj slici je prikazano prostorno uzorkovanje (spatial samples) i vremensko uzorkovanje (temporal samples). Točke na mreži sadrže podatke vezane uz osvjetljenje i boju tokom prostornog uzorkovanja.



Slika 1. Prostorno i vremensko uzorkovanje

Izvor: Richardson, I. (2010)

Video signal može biti uzorkovan kao niz cijelih slika ili kao niz isprepletenih polja. Prvi način uzorkovanja naziva se progresivnim uzorkovanjem (progressive sampling, oznaka p) dok se drugi naziva isprepletenim uzorkovanjem (interlaced sampling, oznaka i). Isprepletено uzorkovanje razlikuje se od progresivnog po tome što jedan vremenski uzorak sadrži pola podataka potrebnih za stvaranje slike, a drugi vremenski uzorak sadrži drugu polovicu podataka. Ovaj način uzorkovanja koristi se za smanjenje treperenja slike na ranim mehaničkim i CRT video zaslonima bez povećanja broja cijelih slika u sekundi („Video“, 2015.). Video koji je snimljen u jednom formatu ne može se prikazati u drugome bez prethodne pretvorbe.

### 3.2.Prostor boja

Svaka digitalna video aplikacija treba neki način da snimi i prikaže boje. U slučaju monokromatskih slika potrebna je informacija o svjetlinu određene točke, dok slike u boji uz informaciju o svjetlini trebaju i informaciju o boji. Za tu svrhu koristi se prostor boja. Metoda koja je odabrana da predstavlja svjetlinu (luminance, luma) i boju naziva se prostor boja (Richardson, 2010.).

Prostor boja, poznat i kao model boja, je apstraktni matematički model koji opisuje raspon boja kao brojeve („Introduction to Color Space“). U fotografiji koristi se više različitih prostora boja kao što su razne varijante RGB (Red, Green, Blue) – sRGB i Adobe RGB su samo neki primjeri.

RGB prostor boja sastoji se od tri boje – crvene, zelene i plave – koje su predstavljene brojevima. Brojevi koji ih predstavljaju sežu od 0 do 255 i određuju koliko neke boje ima u nekoj točki. Spajanjem ove tri boje može se dobiti bilo koja boja. Ovaj prostor boja je veoma dobar za prikaz slika u boji, ali pošto su sve boje jednake važnosti svaka boja je spremljena u istoj rezoluciji što nije efikasno u video kompresiji.

Ljudski vizualni sustav je manje osjetljiv na boju nego na osvjetljenje (Richardson, 2010.) pa je stoga moguće smanjiti broj podataka potreban za prikaz nekog video sadržaja bez velikog utjecaja na kvalitetu. Tako se odvajanjem informacija o svjetlini od informacija o boji i prikazom svjetline u većoj rezoluciji od rezolucije boje može povećati efikasnost.

Iz tog razloga koristi se YCrCb prostor boja koji se izračunava iz RGB prostora boja. Y predstavlja komponentu svjetline i može se izračunati pomoću sljedeće formule:

$$Y = k_r R + k_g G + k_b B$$

gdje su k koeficijenti određene boje.

Osim svjetline iz RGB prostora broja izračunavaju se i informacije o boji. Informacije o boji prikazane su kao razlika boja (chrominance, chroma) te se izračunavaju kao razlika između određene boje i svjetline:

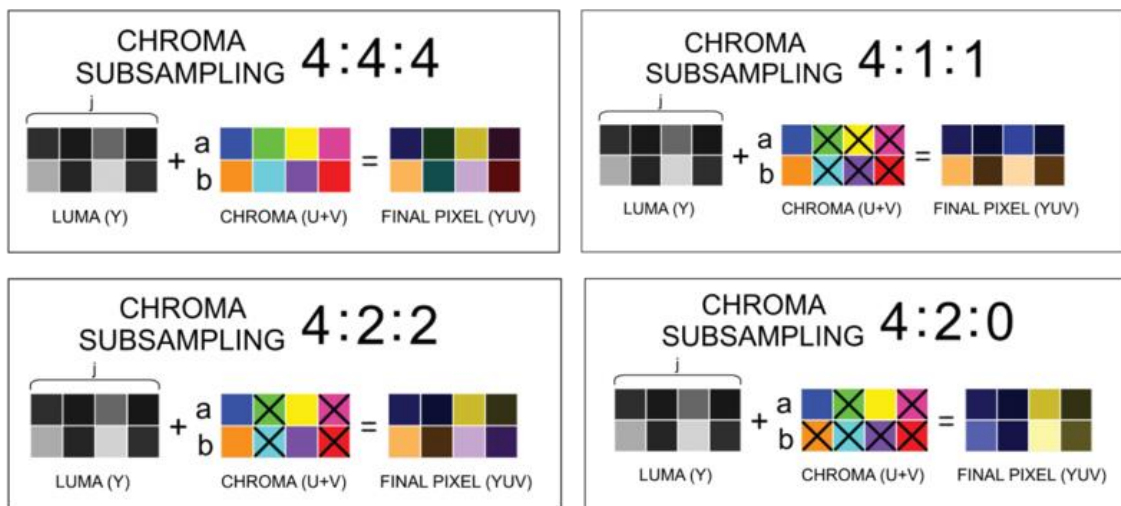
$$Cr = R - Y$$

$$Cb = B - Y$$

$$Cg = G - Y$$

U YCrCb prostoru boja imamo četiri komponente za razliku od RGB prostora boja koji ima samo tri. No za prijenos podataka potrebne su samo tri komponente – svjetlina i dvije komponente razlike boja, razlog tomu je taj što se treća razlika boja može izračunati iz druge dvije. Prema tome prilikom prijenosa prenose se samo informacije o lumi Y, te crvena i plava chroma komponenta. Nadalje zbog već navedene manjkavosti ljudskog vizualnog sustava crvena i plava chroma komponenta prenose se u manjoj rezoluciji od lume što dodatno dovodi do smanjenja potrebnih podataka za prikaz.

Način na koji se postiže smanjenje rezolucije chroma komponenta zove se chroma subsampling (poduzorkovanje). Chroma poduzorkovanje je tip kompresije koji smanjuje informaciju boja u signalu u korist podataka o svjetlosti (Azzabi, 2017.).



Slika 2. Chroma subsampling

Izvor: Gates, A. (2013.)

Chroma poduzorkovanje predstavljeno je u obliku omjera  $X:a:b$ .  $X$  predstavlja broj piksela u horizontalnom području nad kojima će se provoditi uzorkovanje.  $a$  predstavlja broj piksela koji će dati informaciju o boji za prvi red piksela, dok  $b$  predstavlja broj piksela koji će dati informaciju o boji za drugi red piksela (Gates, 2013).

Najčešći omjeri za chroma poduzorkovanje su 4:1:1, 4:2:0, 4:2:2 i 4:4:4. 4:1:1 uzima informacije o boji iz jednog piksela za prvi i jednog piksela za drugi red. To dovodi do smanjenja informacija o boji do 25 posto. 4:2:0 informacije o boji dobiva iz dva piksela iz prvog reda te ih dijeli sa drugim redom. Također smanjuje informacije o boji do 25 posto originalnih te je standardan omjer za Blu-ray diskove (Kindig, 2015.).

4:2:2 omjer smanjuje informaciju o bojama upola te je najčešće zastupljen u profesionalnom radu s videom i fotografijom. 4:4:4 ima najbolju kvalitetu jer se poduzorkovanje praktički ne provodi.

Za standardnog potrošača razlika između 4:2:0 omjera i 4:4:4 omjera je nebitna te se u većini slučajeva za tržište video sadržaji izdaju upravo sa 4:2:0 omjerom, dok su manje poduzorkovani omjeri namijenjeni profesionalcima.

### **3.3.Video rezolucija**

Video rezolucija je još jedan od parametara koji određuju kvalitetu nekog videa. U današnje vrijeme standardi za video rezoluciju su većinom high-definition (HD), tzv. video visoke definicije. Pod tu oznaku spadaju rezolucije 1280 x 720 (720p), 1920 x 1080 (1080p), 2560 x 1440 (1440p), 3840 x 2160 (2160p, 4k) i 7680 x 4320 (4320p, 8k). 4k i 8k rezolucije nazivaju se tako iz razloga što daju četiri i 16 puta veću rezoluciju u odnosu na 1080p Full HD rezoluciju (Neagu, 2016.). 4k rezolucija je maksimalna rezolucija dostupna potrošačima u obliku Blu-ray diskova. Na Blu-ray diskovima ova rezolucija ograničena je na 60 slika u sekundi i to samo ako je video sadržaj kodiran pomoću H.265 formata („Blu-ray Disc White Paper“, 2015.).

### 3.4.Video bitrate

Prilikom kodiranja video sadržaja treba imati na umu da bitrate određuje kvalitetu i veličinu završnog proizvoda. Veći bitrate dovodi do bolje kvalitete slike. Bitrate može biti konstantan (CBR) i varijabilan (VBR).

Video bitrate je broj bitova koji su procesirani u nekoj jedinici vremena, tj. bitrate je količina podataka dana sekundi videa („Understanding bitrates in video files“, 2017.).

Konstantni bitrate (CBR) kroz cijeli video sadržaj ima isti bitrate što ograničava kvalitetu slike u većini slučajeva kada su u pitanju kompleksne scene. Varijabilni bitrate (VBR) to zaobilazi tako da kompleksnim scenama daje veći broj podataka, a jednostavnijima manji.

Kvaliteta nekog video sadržaja ne može se odrediti samo pomoću rezolucije niti samo pomoću bitratea. Kako bi se postigla kvaliteta potrebna za određenu svrhu potrebno je uravnotežiti sve komponente videa.

## 4. KONCEPTI VIDEO KODIRANJA

Kompresija je proces zbivanja podataka u manji broj bitova. Video kompresija (video koding) je proces pretvorbe digitalnog videa u format pogodan za prijenos ili pohranu pritom smanjujući broj bitova. (Richardson, 2010.) Za kompresiju je potreban komplementarni par sustava – koder i dekodek, koji se zajedno nazivaju kodek.



Slika 3. Koder i dekodek

Izvor:Richardson, I. (2010.)

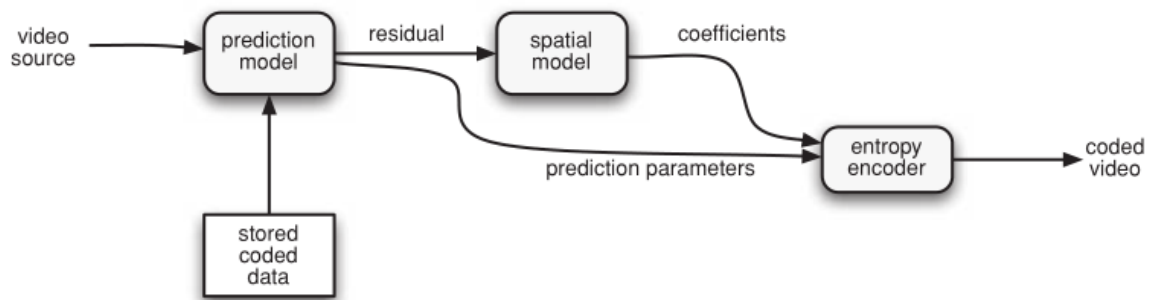
Osnovno načelo kompresije je smanjenje redundancije. Kompresija može biti bez gubitaka (lossless) i s gubicima (lossy). Prilikom kompresije bez gubitaka komprimirani podatak jednak je nekompresiranom originalnom podatku. Premda veoma kvalitetna ovakva vrsta kompresije nedovoljno smanjuje količinu podatka te stoga nije dovoljno efikasna. Kompresija s gubicima podataka uklanja puno više podataka koji nisu potrebni za zadovoljavajući prikaz video sadržaja te je stoga efikasnija i raširenija u uporabi.

Metode video kompresije iskorištavaju prostornu i vremensku redundanciju podataka. Prostorna redundancija (spatial redundancy) očituje se u obliku elementa koji su duplicirani unutar strukture, kao što su pikseli u slici koji su blizu jedni drugih. („Spatial redundancy definition“) Vremenska redundancija (temporal redundancy)



pojavljuje se u obliku piksela na dva video framea koji imaju iste vrijednosti na istoj lokaciji. („Temporal redundancy definition“)

#### 4.1.Video koder



Slika 4. Dijagram video koder

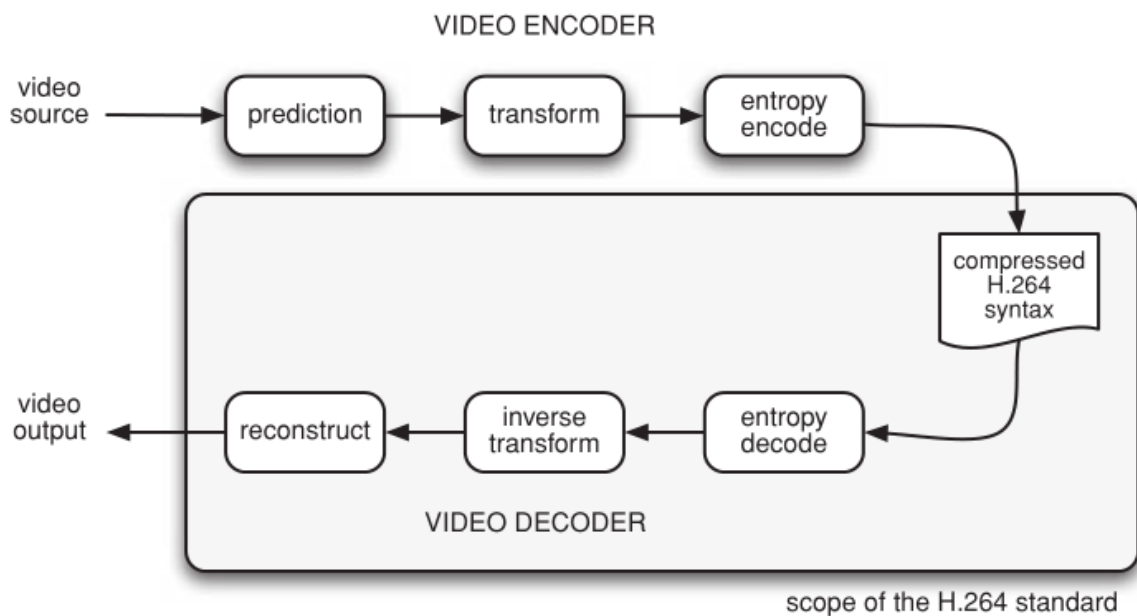
Izvor:Richardson, I. (2010.)

Na slici je prikazan video koder koji se sastoji od predikcijskog modela, prostornog modela i entropijskog koder. U koder dolazi nekompresirani video nad kojim tada započinje proces kodiranja. Predikcijski model pokušava ukloniti redundanciju tražeći sličnosti između susjednih video frameova i/ili susjednih uzoraka slika te stvarajući predviđenu sliku trenutačnog video framea ili bloka video podataka. U H.264/AVC predviđanje se stvara od podataka iz trenutačnog framea ili iz jednog ili više prethodnih i/ili sljedećih frameova.(Richardson, 2010.)

Predikcijski model daje dva izlazna rezultata – ostatak koji se dobije oduzimanjem predviđanja od pravog framea te parametre predviđanja koji određuju na koji način se neki određeni blok unutar framea predvidio ili na koji način se njegovo kretanje kompenziralo. Frame ostatka odlazi u prostorni model koji koristi informacije unutar tog ostatka kako bi smanjio prostornu redundanciju.

Entropijski enkoder prima informacije iz predikcijskog modela i prostornog model te nadalje uklanja statističke redundacije, kao što su ponavljajući vektori kretnje i koeficijenti. Nakon uklanjanja dobiva se kompresirani video sadržaj.

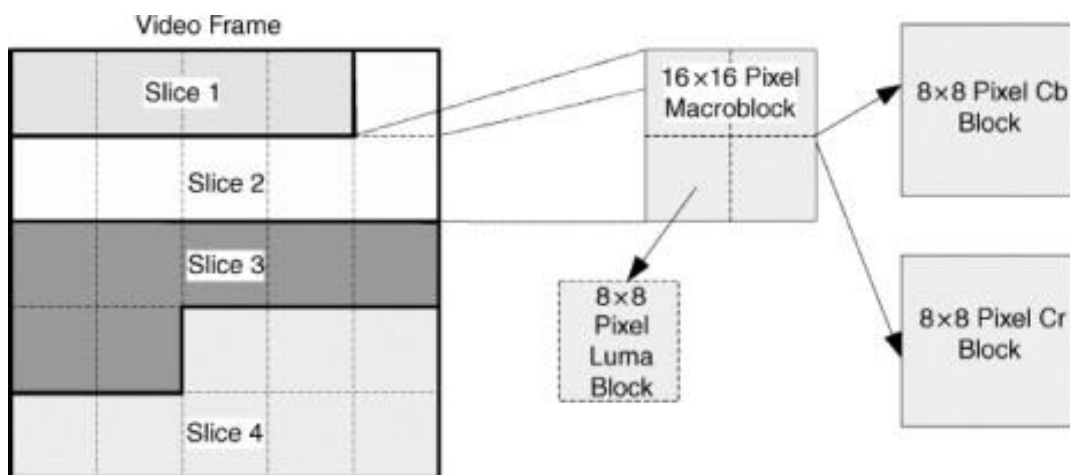
#### 4.2. Proces video kodiranja



Slika 5. H.264 video kodiranje i dekodiranje

Izvor: Richardson, I. (2010.)

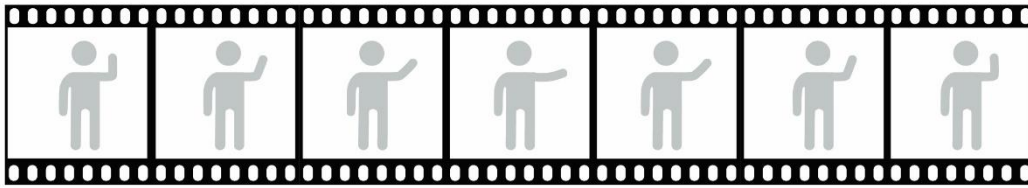
Proces kompresiranja počinje kada se frame podijeli na više dijelova. Taj dio framea naziva se slice. Slice se nadalje sastoji od više makroblokova (MB), kako se nazivaju u H.264 standardu ili coding tree unita (CTU), kako se nazivaju u H.265 standardu. Video kodek obično procesira jedan makroblok ili CTU odjedanput. Makroblokovi veličine su 16 x 16 piksela. Makroblokovi se sastoje od luma bloka i dva chroma bloka.



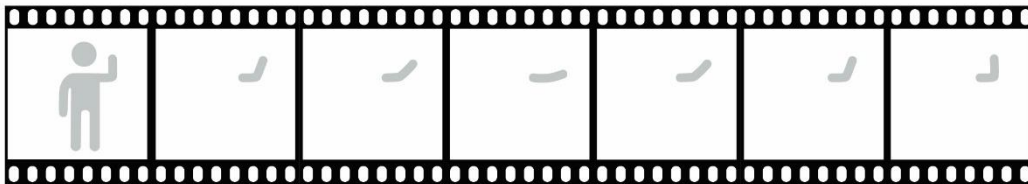
Slika 5. Slice i makroblok

Izvor:Kondoz, A. (2010.)

Nakon toga dolazi do predikcije na način da koder predviđa na kojoj bi poziciji određeni makroblok mogao biti prema već obrađenim podacima. Ovdje postoje dva slučaja predikcije. Intra predikcija je slučaj u kojemu koder kompresira frame tražeći redundantne informacije unutar istog framea kao što su primjerice bliski pikseli koji imaju približno istu boju. Od tih par piksela možemo dobiti neku srednju vrijednost boje te tu boju iskoristiti za ispunjavanje ostatka makrobloka bez prevelikog gubitka kvalitete slike. Inter predikcijom koder kompresira tako da uspoređuje dva framea koji su redosljedom prethodni i budući u odnosu na trenutni frame. U takvom slučaju enkodira se samo dio koji se pomakao između ta dva framea, dok se predikcijom ispunjava ostatak framea.



**INTRAFRAME COMPRESSION**  
Every frame is encoded Individually



**INTERFRAME COMPRESSION**  
Only the differences between frames are encoded for each group of frames

Slika 6. Intraframe i interframe kompresija

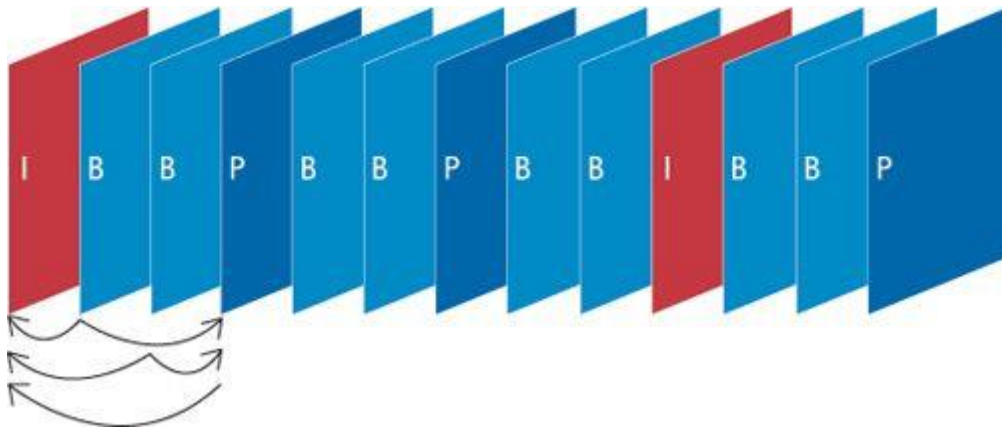
Izvor: "Video Basics", 2017.

Sljedeći korak kompresije jest transformacija i kvantizacija. Transformacijom podatke o svjetlini nekih uzoraka prebacujemo u drugi oblik prikaza podataka koji se zove frekvencijska domena (Bala, 2016.). Prebacivanjem tih podataka u frekvencijsku domenu oni se ne gube nego im se samo mijenja oblik, a informacija ostaje ista. Nakon transformacije dolazi do kvantizacije tijekom koje se uklanjaju male ili nepotrebne vrijednosti. Pravilnom izvedbom transformacije i kvantizacije moguće je uvelike smanjiti potrebnu količinu podataka za prikaz, a da pri tome prilikom dekodiranja i prikazivanja videa ne primijetimo razliku kvalitete.

Zadnji korak kompresije naziva se entropijskim kodiranjem i to je finalna kompresija općenitih podataka koji nisu bili uklonjeni u prijašnjim koracima.

Dekodiranje se izvodi obrnutim procesom, prvo se entropijski dekodira, zatim se transformiraju podaci iz frekvencijske domene natrag u prvobitno stanje te se rekonstruiraju kompletni frameovi.

H.264 definira tri glavna tipa frameova: I-, P- i B-frameovi (B. Juurlink et al., 2012.). Kako bi se maksimizirala kvaliteta slike, u većini slučajeva koriste se sve tri vrste frameova.



Slika 7. H.264 frame sekvenca

Izvor: "Video compression" (2017.)

I-frame koristi intra predikciju i neovisan je od drugih frameova. P-frame (Predicted frame, predviđeni frame) koristi procjenu kretnje i intra predikciju te ovisi o jednom ili više prethodnih frameova, neovisno kojeg tipa. B-frame (Bidirectionally predicted frame) koristi dvosmjernu procjenu gibanja i može biti ovisan o prethodnim i sljedećim frameovima u sekvenci (B. Juurlink et al., 2012.).

## 5.H.264

H.264 je industrijski standard za video kompresiju („H.264 Advanced Video Coding“). H.264 Advanced Video Coding (H.264/AVC) standard prvi je put predstavljen 2003. godine te je od tada izdan velik broj revizija i ažuriranja. Izdan je od strane dvije organizacije za standarde – ITU-T (International Telecommunication Union) i ISO/IEC (International Organisation for Standardisation/International Electrotechnical Commission). (Richardson, 2010.)

H.264 nasljednik je H.26x obitelji video koding formata. Prvi standard iz ove obitelji zvao se H.261 i standardiziran je 1988. godine, a bio je razvijen za video konferencije preko ISDN kanala. Imao je podršku za CIF i QIF rezolucije. Koristio je hibridno kodiranje bazirano na blokovima sa kompenzacijom kretanja pomoću integer piksela. H.262 standardiziran je 1995. godine kao video dio MPEG-2 standarda. Podržavao je video na DVD-u, televizijske prijenose standardne i visoke definicije, podržani prostor boja uključio je uz 4:2:0 i 4:2:2 format te je podržavao isprepletenu i progresivno skeniranje slika. H.263 standardiziran je 1996. godine, a njegova inačica H.263+ standardizirana je 1998. godine. U odnosu na H.261 povećana je kvaliteta video konferencija, dok je H.263+ poboljšao kompresiju („Historical timeline of video coding standards and formats“).

H.264 standardiziran je 2003. godine te dovodi novosti poput podrške za video na internetu, računalima, mobitelima i televizijama visoke definicije. Kvaliteta slike uvelike je poboljšana u odnosu na H.263 standard, ali uz porast potrebnih resursa za kodiranje. Kompenzacija pokreta također je poboljšana uvodom blokova varijabilne veličine, većim brojem referentnih frameova i poboljšanim predviđanjem („Historical timeline of video coding standards and formats“).

H.264 video koder prolazi kroz predviđanje, transformaciju i proces kodiranja kako bi dobili kompresirani H.264 bitstream koji potom prije prikazivanja video dekodek mora dekodirati, obrnuti transformaciju i rekonstruirati.

H.264 kodeci implementirani su od strane mnogih kompanija i open source organizacija. x264, besplatna i open source implementacija od strane VideoLAN

organizacije, jedan je od najpopularnijih kodeka na tržištu te pruža odlične performanse („Eighth MPEG-4 AVC/H.264 Video Codecs Comparison – Standard Version“, 2012.) Softver koji koristi x264 uključuje Avidemux, ffdshow, ffmpeg, HandBrake i VLC media player („x264, the best H.264/AVC encoder“)

### 5.1.H.264 profili

Standard H.264 namijenjen je uporabi u raznim okolnostima. Video sadržaj enkodiran u H.264 formatu mora biti moguće pokrenuti na mobilnim telefonima, televizijama i među ostalim putem interneta. Nažalost za svaku platformu nije moguće koristiti sve mogućnosti standarda te se stoga u praksi koriste profili i leveli koji određuju koje se opcije kodiranja mogu koristiti za koju platformu. Ako i koder i dekoder zadovoljavaju potrebe nekog određenog profila oni će međusobno garantirano raditi. Profili određuju koje opcije kodiranja i algoritme koder može koristiti, dok leveli određuju granice bitstream parametara.

Glavni parametri koji se koriste su:

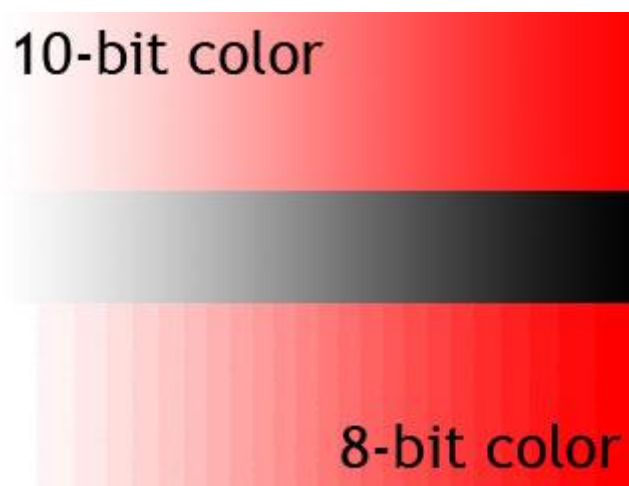
- Baseline (osnovni) profil – najjednostavniji profil koji služi kodiranju i dekodiranju sadržaja namijenjenog mobilnim telefonima i korištenju prilikom video konferencija
- Main (glavni) profil – profil koji je početno zamišljen kao standard za prikaz video sadržaja korisnicima i za pohranjivanje, ali je zamijenjen sa high profilom
- Extended (prošireni) profil - namijenjen za streaming video sadržaja i kao takav koristi posebne tehnike kako bi poboljšao robusnost
- High (visoki) profil – ovaj profil namijenjen je za prikaz video sadržaja visoke definicije i pohranu istog takvog sadržaja na diskove, koristi se na Blu-ray diskovima (Juurlink et al., 2012.)

Osim ovih navedenih profila postoje još 3 varijante High profila: High10, High422 i High444 profil koji poboljšavaju kvalitetu slike i bolji su za rad nad video datotekama.

High10 profil omogućuje korištenje većeg broja bitova po uzorku, tj. povećava maksimalni broj bitova na 10 bitova po uzorku. High422 profil dodaje podršku za 4:2:2 video, što znači da chroma rezolucija može biti veća. High444 profil dodaj podršku za 4:4:4 video sadržaj što omogućuje istu rezoluciju luma i chroma komponenti te proširuje broj bitova po uzorku na 14.

## 5.2.Bit depth

Bit depth je broj bitova s kojima možemo nešto opisati (Rouse, 2005.). Povećanjem broj bitova po uzorku možemo piksele opisati sa više boja. U 8-bitnom videu broj kojim se opisuju količine za crvenu, zelenu i plavu seže od 0 do 255. Kada koristimo 10-bitni video brojevi kojima se boje mogu opisati sežu od 0 do 1023 (Jordan, 2011). U 8-bitnom videu maksimalan broj boja je približno 16 milijuna, dok je broj boja u 10-bitnom videu broj boja približan iznosu od jedan bilijun. Premda je 8-bitna skala dovoljna da prikaže sve boje sive koje naše oči mogu raspoznati, ta skala dovodi i do bandinga, tj. jasno vidljivog razdvajanja boja.



Slika 8. Razlika 10-bitne boje i 8-bitne boje

Izvor:Jordan, L. (2011.)



Kako bi se izbjeglo razdvajanje boja potrebno je koristiti 10-bitnu boju. H.264 format podržava korištenje ove boje ako se koristi High10 profil. Korištenje većeg broja bitova po uzorku pa time i većeg broja boja povećava se krajnja veličina kompresiranog video sadržaja, ali samo ako je i izvorni video sadržaj snimljen u 10-bitnoj boji. U slučajevima kada koristimo High10 profil sa izvorima koji imaju manji broj boja moguće je smanjiti krajnju količinu podataka videa.

Korištenje 10-bitne kompresije jedna je od prednosti H.264 formata. 10-bitna kompresija 10-bitnog izvora slike daje bolju kvalitetu od 8-bitnih algoritama. Razlog tomu je što se prije same kompresije 10-bitni izvor mora pretvoriti u 8-bitni te se nakon dekompresije taj 8-bitni sadržaj ponovno mora vratiti u 10-bitno stanje („Why does 10-bit save bandwidth (even when content is 8-bit)?“, 2010.). To pretvaranje nije efikasno pa je stoga bolje 10-bitni sadržaj kompresirati bez ikakvih pretvorbi. Kompresiju 10-bitnog izvora najefikasnije je napraviti u 10-bitnom obliku.

Kodiranje slika korištenjem 10-bitnog procesa uvijek smanjuje veličinu završnog podatka u odnosu na 8-bitni proces. Kada se video kodira u 10-bitnom načinu povećava se preciznost u odnosu na 8-bitni proces jer se smanjuje mogućnost pogreške, pogotovo tijekom kompenzacije pokreta, što dovodi do veće efikasnosti kompresije. Veća efikasnost kompresije dovodi do manje potrebe za kvantizacijom. Dolazi se do bolje kvalitete sa jednakim bitrateom ili manjim bitrateom potrebnim za istu kvalitetu.

## 6.H.265

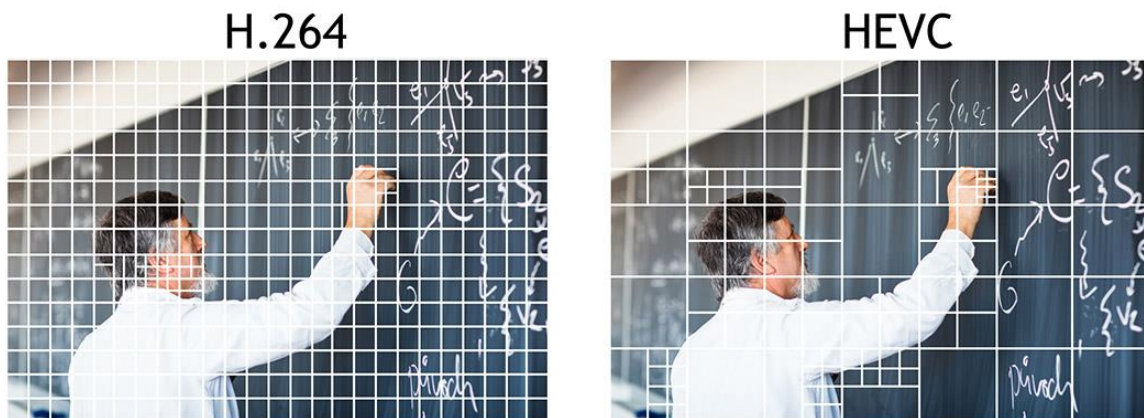
H.265/HEVC (High Efficiency Video Coding) najnoviji je standard video kompresije, a razvijen je od strane JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) koja je spoj dvije već spomenute grupe ITU-T i ISO/IEC. Nasljednik je H.264 standarda. Standardiziran je početkom 2013. godine. („HEVC/H.265 Explained“)

Osnovna struktura H.265 standarda slična je H.264 standardu, ali uz par novih poboljšanja. Uvedena je podrška za ultra HD video sadržaje sve do 8k rezolucija sa maksimumom od 120 slika u sekundi („Historical timeline of video coding standards and formats“). Predikcija je poboljšana uvođenjem novih jedinica koje su zamijenile makroblokove, a to su coding tree uniti, koji su veći od makroblokova. Njihova veličina može sezati do veličine 64 x 64 piksela što povećava kompresiju prilikom rada s videom visoke rezolucije.

Za krajnje korisnike H.265 donosi istu kvalitetu video sadržaja za upola manju veličinu kompresiranog videa u odnosu na H.264 ili pak bolju kvalitetu videa za istu veličinu kompresiranog video sadržaja („HEVC/H.265 Explained“). Ovakvo povećanje efikasnosti omogućeno je poboljšanjem svih oblika predikcije.

Najkorišteniji H.265 koder je x265, koji se bazira na x264 koderu. Kao i x264 koder, x265 također je open source. Softver koji koristi x265 uključuje VLC media player i HandBrake.

## 6.1. Coding tree unit



Slika 9. Podjela framea na makroblokove i CTU jedinice

Izvor: Schiesser, T. (2016.)

Na slici je prikazan način dijeljenja framea na makroblokove (MB) i coding tree unite (CTU). Makroblokovi osnovna su jedinica podjele frame u H.264 formatu. U H.265 formatu uvedene su nove jedinice te su makroblokovi zamijenjeni coding tree unitima. Coding tree uniti efikasnija su zamjena za makroblokove jer pokrivaju veće područje framea što znači bolju kompresiju za istu kvalitetu slike. CTU je moguće po potrebi podijeliti na više manjih sastavnih jedinica kako bi se postigla bolja preciznost prilikom kompresije. CTU je sastavljen od luma uzorka i dva chroma uzorka („HEVC – What are CTU, CU, CTB, CB, PB and TB?“, 2012.).

## 7.VP8 I VP9

VP8 (Video Compression Format ili Video Compression Specification) je specifikacija za kodiranje i dekodiranje videa visoke definicije („What is VP8?“). VP8 kodek je slobodan za uporabu, a posjeduje ga Google koji je i sve patente vezane uz ovaj kodek dao na uporabu svima. VP8 nasljednik je VP7 standarda.

VP8 namijenjen je uporabi u situacijama kada je bandwidth ograničen, primjerice u web videu. Podržava web video format – prostor boja 4:2:0, 8-bitnu dubinu boje, progresivno skeniranje i rezolucije sve do 4k. Koristi samo dvije vrste frameova – intra (I) frameove i inter (P) frameove (Bankoski et al., 2011.). Kao i H.264 standard baziran je na blokovima te koristi slične načine predviđanja. VP8 trebao bi biti konkurentan sa H.264 standardom.

VP9 je nasljednik VP8 standarda te je također slobodan za uporabu. Slično kao što je H.265 poboljšanje H.264 standarda, tako i VP9 koristi osnove VP8 standarda te novim metodama povećava razinu kompresije videa.

VP9 tako ima podršku za rezolucije do 8k i podršku za maksimum 120 slika u sekundi. Još jedna paralela sa H.265 standardom je korištenje novih jedinica za dijeljenje frameova. VP9 umjesto makrobloka koristi suprebloke koji mogu biti veličine 64 x 64 piksela. Oni povećavaju kompresiju kod videa visoke rezolucije („Historical timeline of video coding standards and formats“).

## 8.KODIRANJE VIDEA

U ovom poglavlju prikazati ću razlike između kodiranja videa u H.264, H.265, VP8 i VP9 formatu. Za kodiranje videa koristiti ću HandBrake. HandBrake je alat za pretvaranje videa iz skoro svakog formata u moderne kodeke. HandBrake je besplatan i open source softver.

Video sadržaj koji ću koristiti dug je 10 sekundi, sadrži 500 frameova te stoga ima 50 frameova po sekundi. Njegova veličina iznosi 1,44 GB te je u y4m formatu. y4m je video datoteka stvorena u YUV4Mpeg formatu te sadrži nekomprimirane YCrCb slike koje stvaraju video frame po frame („Y4M File Extension“).

Kompresiranje se izvodilo na AMD R5 1600 procesoru brzine 3.7 Ghz na Windows 10 64-bitnom operativnom sustavu. Verzija HandBrake programa je 1.0.7, a program koji se koristio za pregled video sadržaja je Media Player Classic – Home Cinema verzije 1.7.13.

Izvedba ovog testa kreće sa pretvorbom originalnog izvora u neki određeni standard s određenim parametrima. Nakon završetka kompresije otvara se komprimirani video te se uzima screenshot prvog framea videa u png formatu iz razloga što je on lossless format, tj. ne gube se informacije prilikom njegova korištenja. Također se pregledava veličina kompresiranog sadržaja po pojedinačnoj kompresiji.

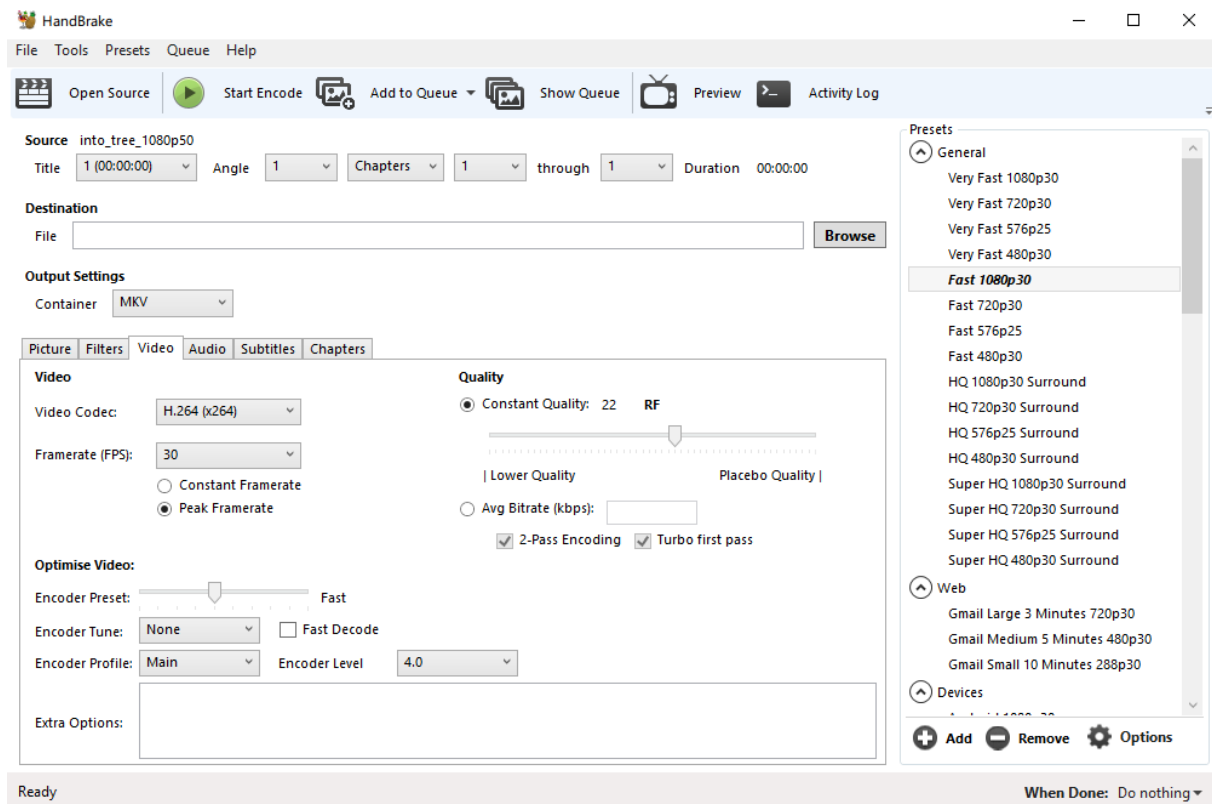
## 8.1.Originalni video uzorak

Originalni video uzorak je in\_to\_tree\_1080p50.y4m (može ga se pronaći na sljedećoj web adresi: <https://media.xiph.org/video/derf/>). Kao što je već spomenuto traje 10 sekundi, sadrži 500 frameova, rezolucija je 1920 x 1080 te je velik 1.44 GB. U ovom videu nema nikakvih audio traka.



Slika 10. Prvi frame nekompresiranog videa

## 8.2. Sučelje HandBrake programa



Slika 11. Sučelje HandBrake programa

Na slici je prikazano sučelje HandBrake programa. Na desnoj strani prozora prikazani su već ponuđeni načini kodiranja videa, ali oni u ovom testu nisu korišteni. Najveće izmjene odrađene su pod kategorijom Output Settings. Kontejner za sav video sadržaj u ovom testu bio je MKV.

MKV spada pod Matroska Multimedia Container (Matroska Multimedija Kontejner) kao njegova video komponenta. Matroska je format datoteke koji može sadržavati neograničen broj video, audio, fotografskih i podnaslovnih traka unutar jedne datoteke („Matroska“). MKV format može sadržavati video, audio i podnaslovne trake unutar sebe te podržava H.264, H.265, VP8 i VP9 standarde.

Kroz par testova promijenjeno je par varijabli. Mijenjani su video kodeci, kvaliteta videa, broj slika u sekundi, brzina kodera, kao i profili i leveli kodera.

Testirani video kodeci su:

- H.264
- H.265
- VP8
- VP9

Faktor kvalitete videa kroz cijelo testiranje ostao je na Constant Quality – 20 i Constant Quality – 24 prilikom kompresije sa VP8 i VP9 koderima sa par izmjena prilikom kompresije na nižem faktoru kvalitete. Slično tome broj slika u sekundi ostao je isti izvoru, tj. na 50 slika u sekundi osim u dva slučaja kada je kompresirano sa manjim brojem slika u sekundi. U dva slučaja također je i mijenjana rezolucija videa.

Češće izmjene bile su pod kategorijom Optimise Video. Encoder Preset funkcija omogućuje nam da izmijenimo način na koji koder radi tako da smanjimo efikasnost kompresije kako bi ubrzali proces kodiranja i obrnuto. Testovi su za sve kodeke bili odrađeni na very fast, medium i very slow postavci, osim za VP9 kodek koji na very slow postavci nije mogao dovršiti proces kodiranja. Za H.264 i H.265 kodek kompresija je odrađena i na ultra fast postavkama.

Profil upotrebljen za H.264 kodek bio je High profil, a level 5.2 i to su najkvalitetnije postavke moguće u HandBrake programu. Za H.265 kodek korišten je Main profil za koji nije moguće promijeniti level. To je najkvalitetniji profil ponuđen u HandBrake programu. Prilikom kompresije nisu korištene nikakve dodatne opcije.

### **8.3.H.264 testiranje kvalitete, brzine kompresije, frameratea i rezolucije**

H.264 testiranje započeti ću sa testiranjem promjene faktora kvalitete. HandBrake za video visoke definicije predlaže vrijednosti od 20 do 23. Video je zato kompresiran sa faktorom kvalitete postavljenim na 20, 30 i 40. Kako bi bolje prikazao razlike na slici biti će prikazani samo isječci jednog framea.





Slika 12. Faktor kvalitete 20



Slika 13. Faktor kvalitete 30



Slika 14. Faktor kvalitete 40

Na slikama je prikazana razlika u postavkama faktora kvalitete. Pri najboljim postavkama kvalitete praktički je nemoguće golim okom primijetiti razliku između kompresiranog videa i izvornog nekompresiranog videa. Smanjenjem faktora kvalitete dolazimo do većeg smanjenja kvalitete te se počinju primjećivati kompresijski artefakti. Krov zgrade gubi linije, fasada postaje zamućena isto kao i šljunak na cesti te se zamućuje malo drveće u vrtu. Daljnjim smanjivanjem faktora kvalitete gubi se još i više informacija pa se tako ravne linije izobličuju, a bicikl naslonjen na zgradu jedva je razlučiv.

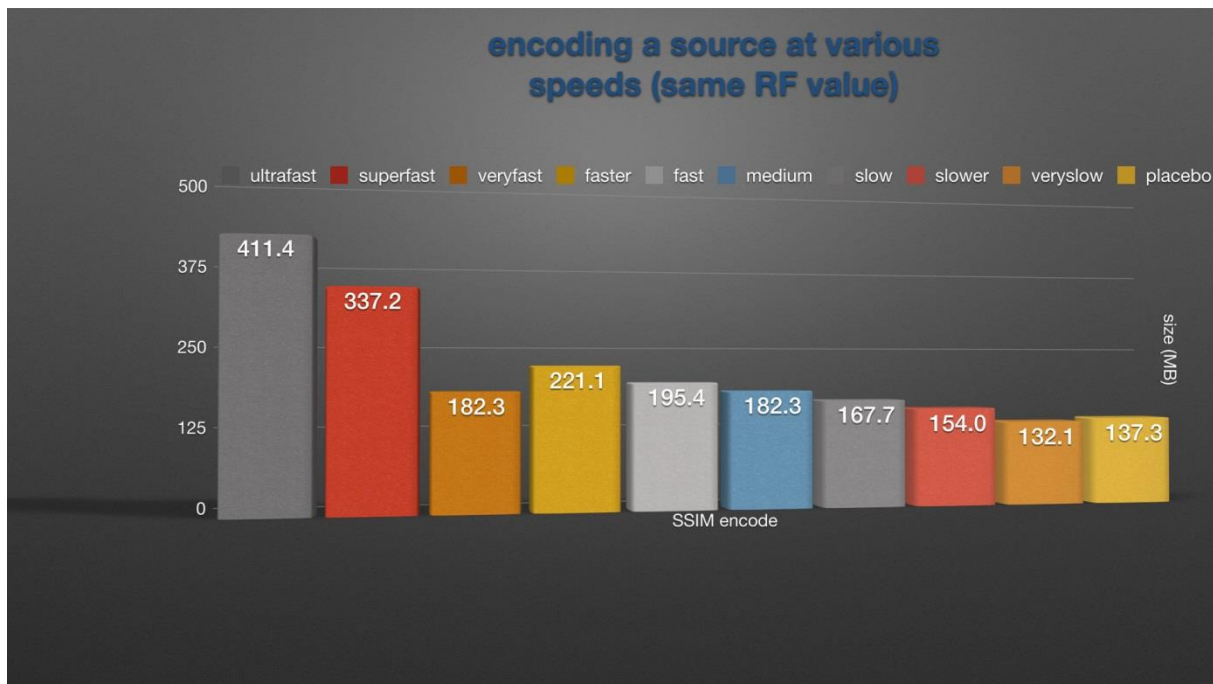
Ova kompresija odrađena je na very slow Encoder Presetu. To omogućuje maksimalnu kompresiju videa. Tako video sa najboljom kvalitetom zauzima 32,9 MB, video sa faktorom kvalitete postavljenim na 30 zauzima 3,53 MB, a video sa najlošijim postavkama kvalitete ne uspijeva zauzeti niti megabajt prostora već zauzima samo 0,99 MB.

Svi daljnji testovi odrađeni su sa faktorom kvalitete postavljenim na 20.

Sljedeći test trebao je odrediti kako brzina kompresije određuje veličinu završnog videa. Razlika u završnoj kvaliteti videa ne postoji ili uopće nije vidljiva. Rezultati testiranja su sljedeći:

- Superfast – veličina završnog videa iznosi 43,6 MB; trajanje kodiranja je 5 sekundi
- Very fast – veličina završnog videa iznosi 26,5 MB; trajanje kodiranja je 7 sekundi
- Medium – veličina završnog videa iznosi 32,4 MB; trajanje kodiranja je 15 sekundi
- Very slow – veličina završnog videa iznosi 32,9 MB; trajanje kodiranja je 1 minuta i 21 sekunda

U ovome testu dolazimo do čudnih rezultata, koje je teško objasniti. Kvaliteta svih videa je ista ili približno ista, ali very fast brzina kodiranja uspijeva dovesti video na manju veličinu od very slow brzine za puno manje vremena. Medium brzina također uspijeva kompresirati video više od very slow brzine. Very fast brzina se ponaša nepredvidljivo i u testovima provedenima od strane drugih ljudi (Gadiant, 2014.), pa je neću posebno ispitivati.



Slika 15. Brzine kodiranja i pripadne veličine kompresiranih datoteka

Izvor:Gadient, M. (2014.)

Svi daljnji testovi odrađeni su koristeći very slow brzinu kako bi održali konstantu makar i ako bi neka druga brzina u kojem slučaju mogla biti marginalno efikasnija.

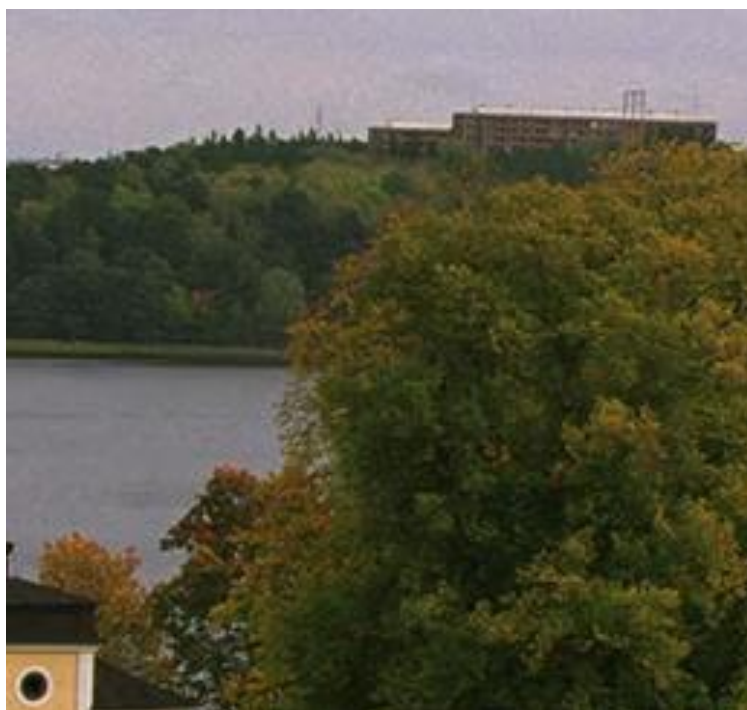
Sljedeći test koji je proveden bio je test frameratea, tj. broja slika u sekundi. Izvorni video ima 50 slika u sekundi, a kada je kompresiran zauzima 32,9 MB. Smanjenjem broja slika u sekundi na 30 kompresirani video zauzima 35,1 MB, a daljnjim smanjenjem na 24 slike u sekundi dobivamo video od 34,3 MB. Ove razlike u veličini su minimalne, ali pošto su postavke za sva tri kompresirana videa iste treba objasniti zašto ta razlika postoji. Prilikom kodiranja sadržaja sa većim brojem slika u sekundi smanjuje se potreba za traženjem pomaka među slikama, a samim time stvara se manje frameova ostatka. Frameovi ostatka veći su pri manjem broju slika u sekundi što dovodi do toga da na kraju kompresije ostajemo sa većim brojem frameova ostatka koje ne možemo efikasno ukloniti bez da utječemo na kvalitetu slike. Ti frameovi ostatka mogući su uzrok većih količina podataka u ovom slučaju.



Sljedeći test uključuje mijenjanje rezolucije izvornog videa u dvije manje rezolucije – 1280 x 720 te 720 x 480, s ciljem smanjenja veličine završnog videa. Sva tri video uzorka komprimirani su s istim parametrima kompresije.



Slika 16. Originalna 1080p rezolucija



Slika 17. 720p rezolucija



Slika 18. 480p rezolucija

Na slikama su prikazani rezultati smanjivanja rezolucije. Pri 1080p rezoluciji slika je dovoljno oštra da se razabiru grane na stablu. Smanjenjem rezolucije ta oštrina se gubi, ali na dovoljno velikoj udaljenosti od ekrana ili nekog drugog sredstva za prikaz to nije toliko očito. Smanjivanje rezolucije sa 1080p na 720p izgubili smo malo više od milijun piksela, a veličina završnog kompresiranog videa pala je sa 32,9 MB na 10,8 MB. 480p rezolucija osim što gubi gotovo dva milijuna piksela gubi i razlučivost koju ima 720p rezolucija. Veličina završnog videa je 3,56 MB.

Prilikom kodiranja stvarnih video uradaka ponekad je efikasnije smanjiti rezoluciju ako znamo da će video biti prikazivan u okolnostima u kojima ta rezolucija može odraditi dovoljno dobar posao. Tada možemo uštediti ne samo 20 megabajta kao u ovom slučaju već nekoliko gigabajta.

#### 8.4.H.265 testiranje kvalitete i brzine kompresije

H.265 kodiranje izvedeno je na isti način kao i H.264 kodiranje kako bi mogao međusobno usporediti rezultate. Za H.265 standard odrađena su samo dva testiranja – testiranje kvalitete i testiranje brzine kompresije.

Prvo testiranje je testiranje kvalitete te su parametri ovdje slični kao i kod H.264 kodeka. Koder je namješten na najbolju moguću kvalitetu i na very slow brzinu kompresije, a između tri provedene kompresije promijenjen je samo faktor kvalitete na isti način kao i kod H.264 kodiranja.



Slika 19. Faktor kvalitete 20



Slika 20. Faktor kvalitete 30



Slika 21. Faktor kvalitete 40



Na prikazanim slikama pokazane su razlike u postavkama faktora kvalitete za H.265 kodek. Pri visokim postavkama faktora kvalitete razliku između izvornog i kompresiranog videa teško je uočiti, isto kao i kod H.264 standarda. Razlika se pak može vidjeti u veličini završnog videa. Kod H.265 kodiranja za istu kvalitetu kao i kod H.264 kodiranja bilo nam je potrebno 20,8 MB, dok je kod H.264 kodiranja potrebno 32,9 MB.

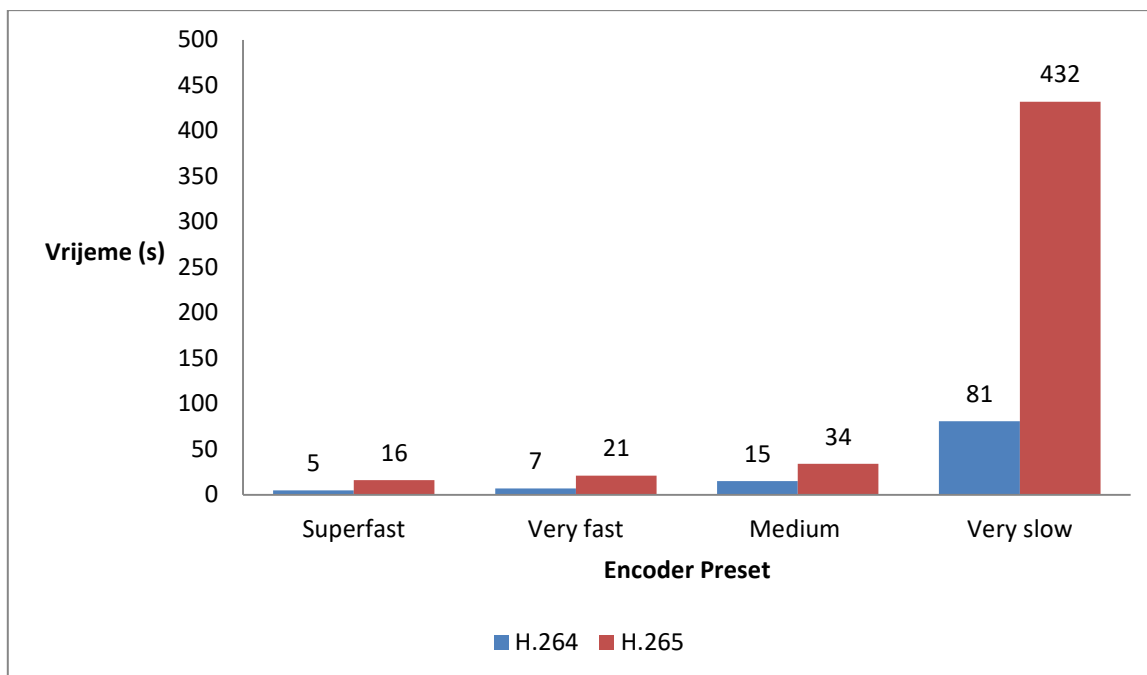
Kod lošijih postavka faktora kvalitete počinju se pojavljivati kompresijski artefakti, ali u puno manjem broju u odnosu na H.264 kompresiju. Kvaliteta slike gubi se na drugačiji način. Zbog načina rada coding tree unita dolazi do zaglađenja velikih površina pa tako fasada zgrade poprima puno jednoličniju teksturu. Ovdje je kompresirani video velik 2,46 MB, a kod H.264 kompresije video je velik 3,53 MB.

Daljnijim smanjenjem kvalitete video dobiva puno više jednobožnih površina. Drveće unutar malog vrta polako nestaje i stapa se sa cestom, travnjak ulazi na šljunak te s njime graniči oštrom zelenom linijom. Jezero u pozadini predstavljeno je sa nekoliko tonova sive boje, a bicikl naslonjen na zgradu u potpunosti nestaje prekriven smeđom bojom fasade. Premda ovakva kompresija video čini ne gledljivim prostor koji ovaj video uzorak zauzima iznosi samo četvrtinu megabajta, točnije 248 KB. Ovaj video u H.264 kodeku zauzima 0,99 MB.

Drugi test ispituje povezanost brzine kompresije i krajnje veličine video uzorka. Kao i prije ovi testovi odrađeni su na faktoru kvalitete 20. Rezultati su sljedeći:

- Superfast – veličina završnog videa iznosi 19,4 MB; trajanje kodiranja iznosi 16 sekundi
- Very fast – završni video velik je 18 MB; trajanje kodiranja iznosi 21 sekundu
- Medium – završni video velik je 20,9 MB; trajanje kodiranja iznosi 34 sekunde
- Very slow – završni video velik je 20,8 MB; trajanje kodiranja iznosi 7 minuta i 12 sekundi

Kvaliteta između ovih video uzoraka je kao i prije neprimjetna. Razlike u veličini među ovim brzinama zanemarive su, premda je neobično to što kompresija kod medium i very slow brzina nije veća.



Graf 1. Vrijeme kodiranja videa

Na grafu vidimo vrijeme potrebno da bi se video kompresirao uz određenu brzinu kodiranja za H.264 i H.265 kodek. Možemo primjetiti da je H.265 kodek sporiji od H.264 kodeka u najgorem slučaju čak i pet puta. Very slow brzina kodiranja standardna je za kompresiju videa u najboljoj mogućoj kvaliteti. Korištenjem ove brzine kodiranja pokušavamo smanjiti veličinu kompresiranog videa. H.265 kodek doista je uspio smanjiti veličinu izvornog videa sa 1,44 GB na samo 20,8 MB što je smanjenje količine informacija za čak 70 puta. H.264 kodek taj isti izvorni video smanjio je na 32,9 MB što je smanjenje od otprilike 44 puta. Bitna razlika je u tome što je za kompresiju H.265 kodekom bilo potrebno sedam minuta, dok je H.264 taj postupak odradio za minutu i po. Treba imati na umu da je izvorni video dug tek deset sekundi te da bi pri ovakvim rezultatima u stvarnom kompresiranju video sadržaja, kao što su primjerice filmovi, razlika između jednog i drugog kodeka mogla biti i više sati. Isplativost korištenja H.265 naspram H.264 formata ovisi o primjeni i potrebi.

## 8.5.VP8 i VP9 testiranje brzine kompresije

Za VP8 i VP9 kodeke odrađeni su samo testovi brzine kompresije, kvaliteta je također na svima njima jednaka te je golim okom teško pronaći razliku između nekompresiranog i kompresiranog videa.

VP8 kodek odrađen je na tri dostupne brzine kodiranja – very fast, medium i very slow. VP9 kodek odrađen je na dvije brzine kodiranja – very fast i medium, jer very slow brzina nije mogla završiti postupak kompresije.

Rezultati za VP8 kodek su:

- Very fast – veličina kompresiranog videa je 48,5 MB; trajanje kompresije je 11 sekundi
- Medium – veličina kompresiranog videa je 57,7 MB; trajanje kompresije je 44 sekunde
- Very slow – veličina kompresiranog videa je 52,5 MB; trajanje kompresije je 2 minute

U odnosu na H.264 standard, s kojim bi se VP8 trebao takmičiti veličine kompresiranog videa puno su veće, a i uz to trajanje kompresije je dulje. VP8 dijeli slične specifikacije i odgovara na slične potrebe kao i H.264 stoga je ovakav rezultat neobičan. Pošto je VP8 više namijenjen web videu, trebao bi biti efikasniji. Moguće objašnjenje za ovakav rezultat je nemogućnost korištenja naprednijih tehnika predikcije kao i nedostatak B-frameova.

Rezultati za VP9 kodek su sljedeći:

- Very fast – veličina kompresiranog videa je 29,4 MB; trajanje kompresije iznosi 2 minute i 6 sekundi
- Medium – veličina kompresiranog videa je 28,8 MB; trajanje kompresije je 3 minute i 33 sekunde

Kompresija VP9 kodeka dovoljno je bliska H.265 kompresiji da joj bude konkurentna, ali kraće trajanje kompresije čini H.265 puno primamljivijim u ovom testu.

VP8 i VP9 kodeci veoma su široko rasprostranjeni kodeci te su najčešće korišteni za web video. Najveći korisnik ovih kodeka je Google i njegov servis YouTube. Pošto su se ovi kodeci dokazali kao dovoljno dobrima za najveću mrežu za dijeljenje video sadržaja ove rezultate neću uzimati za pravilo.

## 9. BUDUĆNOST H.265 VIDEO KODEKA

Od standardizacije H.264/AVC prošlo je 14 godina, a od standardizacije H.265/HEVC prošlo je četiri godine. Cilj H.265 standarda bio je povećanje kompresije video sadržaja u odnosu na H.264. Novi standard to je i postigao, ali uz povećanje potrebnih računalnih resursa i dulja vremena kompresije. Problem H.265 standarda je njegova nezrelost. Premda je dovoljno efektivan za potrebe koje je namijenjen nije dovoljno efikasan.

U doba kada je video streaming jedan od najpopularnijih načina zabave i širenja podataka H.265 nije podržan od strane velikih streaming stranica. Najkorišteniji video kodeci za video putem interneta su VP9 i H.264, dok se VP8 pomalo izbacuje iz uporabe. H.265 zbog svoje mladosti kao standard nije uspio u probou na internet upravo zbog već navedenih razloga brzine kompresije i potrebe za više resursa prilikom rada.

Veliki broj korisnika također nema pristup hardverskom dekodiranju H.265 sadržaja, što znači da korisnik koji želi gledati neki video sadržaj u H.265 kodeku, dekodiranje mora izvoditi putem softvera što nije idealno. Prema procjeni većina desktop hardvera od 2015. godine i većina mobilnog hardvera od kasne 2014. godine ima ugrađenu podršku za hardversko dekodiranje H.265 kodeka (Schiesser, 2016.).

Osim ovih problema H.265 ima nadolazeću konkurenciju u obliku Googleova nasljednika VP9 standarda. AOMedia Video 1 ili kraće AV1 je novi format video kodinga, koji je otvoren i besplatan. Razvija ga Alliance for Open Media (AOM) čiji su osnivači Amazon, ARM, Cisco, Intel, Microsoft, Netflix i Nvidia (Merritt, 2016.). U razvoju sudjeluje i Google koji je svoj razvoj VP10 formata odlučio uključiti u projekt.

H.265 format pred sobom ima teško razdoblje u kojemu mora pronaći način za probou na tržište i povećati efikasnost svojih procesa.

## 10. ZAKLJUČAK

Video kodiranje je bitan dio današnjeg dijeljenja video sadržaja. Razvoj video tehnologija doveo je do toga da svatko ima pristup video sadržaju, neovisno o uređaju kojeg koristi za pregled tog sadržaja. Veliku ulogu u rasprostranjenosti i lakom pristupu video sadržaju ima H.264/AVC format video kompresije. Ovaj format poboljšao je performanse i ponudio bolje metode kompresije od svih drugih formata. Kada je standardiziran bio je najkompleksniji format na tržištu, ali također i najefikasniji.

H.264 veoma je razvijen i zreo format te ga je moguće koristiti na velikom broju uređaja. Za razliku od njega H.265/HEVC format veoma je mlad format koji, premda je prihvaćen kao novi standard, nema toliko raširenu uporabu kao njegov prethodnik. Dijelom su to razlozi kao što su sporija kompresija, slabo korištenje formata u web videu i hardverske potrebe za njegov optimalni rad. Drugi razlozi njegove ne raširene uporabe uključuju pojavu drugih konkurentnih standarda, kao što je VP9, ali i konkurenciju u obliku njegova prethodnika. H.264 zadovoljava veliki broj korisnika pa tako H.265 u njihovim očima ne pruža neka poboljšanja koja oni traže.

H.265/HEVC je nasljednik H.264/AVC formata te je kao takav format dobar. Nova tehnološka rješenja pružaju bolju efikasnost u nekim slučajevima, ali teško je odrediti hoće li ta rješenja biti dovoljna da ga održe na tržištu nakon što dođe do izdavanja novih kodeka, kao što je primjerice budući AV1 format, koji je uz sva poboljšanja i besplatan za korištenje za razliku od H.265 formata.

Uz sva ova događanja može se zaključiti da H.264 format još uvijek zadovoljava standarde industrije te je najčešći oblik raspačavanja video sadržaja. Takav će vjerojatno i ostati kroz nekoliko godina, a nakon popularizacije nekog drugog formata još uvijek će ostati u uporabi radi podrške starijih tehnologija. Korištenje H.264/AVC formata video kompresije daleko je od svojeg kraja jer dokle god je u pitanju stabilan i pouzdan format rješenje se uvijek može pronaći u H.264 Advanced Video Codingu.

## Literatura

Richardson, I. (2010). The H.264 Advanced Video Compression Standard. Wiley.

Pandžić et al. (2007). Uvod u teoriju informacija i kodiranje. Zagreb: Element.

Video, (2015). Dostupno na: <http://hidefnj.com/video.html> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Delmelle, E. (2013). Spatial Sampling. Dostupno na: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-23430-9\\_73](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-23430-9_73) [pristupljeno 12. rujna 2017.]

What is video? What is a video frame? (2008). Dostupno na: <http://umwnewmedia.org/what-is-video-what-is-a-video-frame/> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Introduction to Color Space. Dostupno na: <http://www.arcsoft.com/topics/photostudio-darkroom/what-is-color-space.html> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Gates, C. (2013). The Anatomy of Chroma Subsampling. Dostupno na: <https://www.videomaker.com/article/f6/15788-the-anatomy-of-chroma-subsampling> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Kindig, S. (2015). What is chroma subsampling? Dostupno na: <https://www.crutchfield.com/S-kokCUDlj4qn/learn/what-is-color-subsampling.html> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Azzabi, M. (2017). Chroma Subsampling: 4:4:4 vs 4:2:2 vs 4:2:0 Dostupno na: <http://www.rtings.com/tv/learn/chroma-subsampling> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Neagu, C. (2016). Screen resolution? Aspect ratio? What do 720p, 1080p, QHD, 4K and 8K mean? Dostupno na: <http://www.digitalcitizen.life/what-screen-resolution-or-aspect-ratio-what-do-720p-1080i-1080p-mean> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

White Paper Blu-ray Disc. (2015). Dostupno na: [http://www.blu-raydisc.com/assets/Downloadablefile/BD-ROM\\_Part3\\_V3.0\\_WhitePaper\\_150724.pdf](http://www.blu-raydisc.com/assets/Downloadablefile/BD-ROM_Part3_V3.0_WhitePaper_150724.pdf) [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Understanding bitrates in video files. (2017). Dostupno na:  
<https://help.encoding.com/knowledge-base/article/understanding-bitrates-in-video-files/> [pristupljeno 12. rujna 2017.]

Temporal redundancy. Dostupno na:  
<https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/56134/temporal-redundancy> [pristupljeno 13. rujna 2017.]

Spatial redundancy. Dostupno na:  
<https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/56086/spatial-redundancy> [pristupljeno 13. rujna 2017.]

Kondozi, A. (2010). Fundamentals of Video Compression. Dostupno na:  
<https://www.safaribooksonline.com/library/view/visual-media-coding/9780470740576/chap02-sec003.html> [pristupljeno 13. rujna 2017.]

Video Basics. (2017). Dostupno na:  
[https://support.biamp.com/General/Video/Video\\_Basics](https://support.biamp.com/General/Video/Video_Basics) [pristupljeno 13. rujna 2017.]

Bala, S. (2016). H.264 is Magic. Dostupno na: <https://sidbala.com/h-264-is-magic/>  
[pristupljeno 13. rujna 2017.]

Video compression. (2017). Dostupno na: <https://www.axis.com/in/en/learning/web-articles/technical-guide-to-network-video/comparing-standards> [pristupljeno 13. rujna 2017.]

H.264 Advanced Video Coding. Dostupno na: <https://www.vcodex.com/h264-resources/> [pristupljeno 14. rujna 2017.]

Historical timeline of video coding standards and formats. Dostupno na:  
<https://www.vcodex.com/historical-timeline-of-video-coding-standards-and-formats/>  
[pristupljeno 14. rujna 2017.]

x264, the best H.264/AVC encoder. Dostupno na:  
<https://www.videolan.org/developers/x264.html> [pristupljeno 14. rujna 2017.]



Eighth MPEG-4 AVC/H.264 Video Codecs Comparison – Standard Version. (2012).  
Dostupno na: [http://www.compression.ru/video/codec\\_comparison/h264\\_2012/](http://www.compression.ru/video/codec_comparison/h264_2012/)  
[pristupljeno 14. rujna 2017.]

Juurlink et al. (2012). Scalable Parallel Programming Applied to H.264/AVC  
Decoding.

Jordan, L. (2011). Why Video Bit Depth Matters. Dostupno na:  
<https://larryjordan.com/articles/why-video-bit-depth-matters/> [pristupljeno 14. rujna  
2017.]

Rouse, M. (2005). What is bit depth? Dostupno na:  
<http://whatis.techtarget.com/definition/bit-depth> [pristupljeno 14. rujna 2017.]

Why does 10-bit save bandwidth (even when content is 8-bit)?. (2010). Dostupno na:  
[http://www.x264.nl/x264/10bit\\_02-ateme-why\\_does\\_10bit\\_save\\_bandwidth.pdf](http://www.x264.nl/x264/10bit_02-ateme-why_does_10bit_save_bandwidth.pdf)  
[pristupljeno 14. rujna 2017.]

HEVC/H.265 Explained. Dostupno na: <http://x265.org/hevc-h265/> [pristupljeno 14.  
rujna 2017.]

Schiesser, T. (2016). Guide to HEVC/H.265 Encoding and Playback. Dostupno na:  
<https://www.techspot.com/article/1131-hevc-h256-enconding-playback/> [pristupljeno  
14. rujna 2017.]

HEVC – What are CTU, CU, CTB, CB, PB, and TB? (2012). Dostupno na:  
<https://codesequoia.wordpress.com/2012/10/28/hevc-ctu-cu-ctb-cb-pb-and-tb/>  
[pristupljeno 14. rujna 2017.]

What is a VP8? Dostupno na: <https://www.3cx.com/pbx/vp8/> [pristupljeno 14. rujna  
2017.]

Bankoski et al. (2011). VP8 Data Format and Decoding Guide. Dostupno na:  
<https://tools.ietf.org/html/rfc6386> [pristupljeno 14. rujna 2017.]

Y4M File Extension. Dostupno na: <https://fileinfo.com/extension/y4m> [pristupljeno 14.  
rujna 2017.]

Matroska. Dostupno na: <http://fileformats.wikia.com/wiki/Matroska> [pristupljeno 14. rujna 2017.]

Gadiant, M. (2014). Handbrake RF + slower speeds = craziness. Dostupno na: <https://mattgadiant.com/2014/01/06/handbrake-rf-slower-speeds-craziness/> [pristupljeno 14. rujna 2017.]

Merritt, R. (2016). Video Compression Feels a Pinch. Dostupno na: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1330023](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1330023) [pristupljeno 14. rujna 2017.]

## Popis slika

Slika 1. Prostorno i vremensko uzorkovanje .....	5
Slika 2. Chroma subsampling .....	7
Slika 3. Koder i dekoder .....	10
Slika 4. Dijagram video kodera .....	11
Slika 5. H.264 video kodiranje i dekodiranje .....	12
Slika 5. Slice i makroblok.....	13
Slika 6. Intraframe i interframe kompresija .....	14
Slika 7. H.264 frame sekvenca .....	15
Slika 8. Razlika 10-bitne boje i 8-bitne boje .....	18
Slika 9. Podjela framea na makroblokove i CTU jedinice .....	21
Slika 10. Prvi frame nekompresiranog videa .....	24
Slika 11. Sučelje HandBrake programa .....	25
Slika 12. Faktor kvalitete 20.....	27
Slika 13. Faktor kvalitete 30.....	27
Slika 14. Faktor kvalitete 40.....	28
Slika 15. Brzine kodiranja i pripadne veličine kompresiranih datoteka .....	30
Slika 16. Originalna 1080p rezolucija .....	31
Slika 17. 720p rezolucija.....	31
Slika 18. 480p rezolucija.....	32
Slika 19. Faktor kvalitete 20.....	33
Slika 20. Faktor kvalitete 30.....	34
Slika 21. Faktor kvalitete 40.....	34

## Popis grafova

Graf 1. Vrijeme kodiranja videa ..... 36

## Sažetak

Tema ovog završnog rada je kompresija videa pomoću H.264 Advanced Video Coding formata. Video kompresija H.264 formata uspoređuje se sa video kompresijom njegova nasljednika H.265 High Efficiency Video Coding formata te sa formatima VP8 i VP9. Osim usporedbe uspostavljaju se pojmovi kvalitete videa i kompresije videa. Također se objašnjava postupak kompresije videa i načini efikasnije kompresije videa. U zaključku rada daje se mišljenje o budućnosti današnjih video kodeka.

## Ključne riječi

H.264, Advanced Video Coding, H.265, High Efficiency Video Coding, video kompresija, video kodiranje, video

## Summary

Theme of this paper is video compression by using H.264 Advanced Video Coding format. Video compression of H.264 format is compared to video compression of his successor H.265 High Efficiency Video Coding format and with VP8 and VP9 formats. Besides the comparison there is also establishing of terms of video quality and video compression. There is also an explanation of video compression process and different methods of more efficient video compression. In the conclusion an opinion is given about the future of present video codecs.

## Key words

H.264, Advanced Video Coding, H.265, High Efficiency Video Coding, video compression, video coding, video