

KODOVANJE U H.264 (AVC) I H.265 (HEVC) STANDARDIMA**CODING IN H.264 (AVC) I H.265 (HEVC) STANDARDS**Zalan Fodor, Željens Trpovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu opisani su procesi enkodiranja u H.264 (AVC) i H.265 (HEVC) standardima i pokazano je kako binarno kodovanje završava proces pretvaranja izvornog video signala u komprimovani bitstream.

Ključne reči: H.264, AVC, H.265, HEVC, kodovanje, video kompresija

Abstract – This thesis is trying to describe the encoding process in AVC and HEVC standards and show how binary coding completes the converting a source video signal into a compressed bitstream.

Keywords: H.264, AVC, H.265, HEVC, coding, video compression

1. UVOD

Algoritmi za video kompresiju razvijani su dugi niz godina i njihova namena, složenost i suština zavisila je od više faktora, pre svega od raspoložive tehnologije [1]. Standardizacija kompresija izvršena je od strane dve glavne međunarodne organizacije za standardizaciju, ITU i ISO. Standardi obuhvataju algoritme i tehnike kodovanja, arhitekture koda i formate zapisa kodovanog sadržaja [2].

1984. godine objavljen je prvi standard za digitalnu video kompresiju pod nazivom H.120. On se koristio za prenos videokonferencijskih signala. Prva verzija H.261 standarda objavljena je 1988. godine. Najznačajnije poboljšanje kompresije u poređenju sa H.120 dobijeno je uvođenjem predikcije kompenzacije pokreta. 1993. godine objavljen je MPEG-1 standard koji je kasnije dobio svetsku pažnju kao MP3 audio format. MPEG-1 je dalje razvijan u MPEG-2, koji je objavljen 1995. godine. MPEG-2 je u celom svetu prihvaćen kao televizijski standard i korišćen je za komprimovanje videa namenjenog televizijski standardne (SDTV) i televizijski visoke rezolucije (HDTV). Godinu dana kasnije objavljen je H.263 koji je bio dizajniran za videokonferencijske aplikacije na vrlo niskim brzinama. Paralelno sa daljim razvojem ITU H.263, ISO je razvio MPEG-4 1999. godine. Ovaj standard ciljao je specifikacije uopštenog integrisanog multimedijalnog standarda. Osnovni alati za video kompresiju preuzeti su iz H.263. MPEG-4 je najduže razvijan i doživio je veliki broj verzija. H.265 je

naslednik H.264 i pruža do 50% bolju kompresiju podataka za isti kvalitet video sadržaja.

U ovom radu dat je pregled procesa kodovanja u H.264 i H.265 standardima, i kako binarno kodovanje završava proces pretvaranja izvornog video signala u H.264 ili H.265 komprimovani bitstream.

2. KODOVANJE U H.264 (AVC) STANDARDU

H.264 kodovani strim ili H.264 fajl sastoji se od niza kodovanih simbola. Ovi simboli čine sintaksu i sadrže: parametre, identifikatore, vrste predikcije, kodovane vektore pomeraja i transformacione koeficijente. H.264 standard određuje nekoliko metoda za kodovanje simbola, tj. za pretvaranje svakog simbola u binarni zapis:

- Kodovi sa fiksnom dužinom kodne reči,
- Kodovi sa promenljivom dužinom kodne reči,
- Context-Adaptive Variable Length Coding,
- Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding.

2.1. Exp-Golomb kodovanje

Kodovi sa promenljivom dužinom kodne reči kao što je Exp-Golomb, mogu se koristiti kao efikasan način predstavljanja simbola sa različitim verovatnoćama. Podaci mogu da se prikažu u komprimovanom obliku tako što se kraći kodne reči dodeljuju simbolima koji se češće pojavljuju, a duži onima koji se ređe pojavljuju. Kodna reč sastoji se od: prefiksa M nula, gde je M 0 ili pozitivan ceo broj; od jedinice [1]; i od M -bitnog informacionog polja [INFO].

2.2. Kontekstno adaptivno kodovanje sa promenljivom dužinom kodne reči - CAVLC

Ovaj tip kodovanja koristi se za enkodovanje blokova sa transformacionim koeficijentima. Ako se koristi CAVLC zajedno sa 8×8 celobrojnom transformacijom, tada se svaki 8×8 blok sa kvatizovanim transformacionim koeficijentima obrađuje kao četiri 4×4 bloka. Koraci CAVLC enkodovanje 4×4 bloka sa transformacionim koeficijentima su sledeći:

1. kodovanje broja koeficijenata i pratećih jedinica
2. kodovanje predznaka +/-1
3. kodovanje nivoa preostalih nenultih koef.
4. kodovanje ukupnog br. nula pre poslednjeg koef.
5. kodovanje niza uzastopnih 0

2.3. Kontekstno adaptivno binarno aritmetičko kodovanje - CABAC

CABAC je tehnika entropijskog kodovanja bez gubitaka koja postiže dobre performanse komprimovanja. Sintaksni element se binarizuje, tj. pretvara se u niz bita, od kojih

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željens Trpovski, vanr. prof.

svaki odgovara jednoj binarnoj odluci (*bin-u*). Kodovanje data simbola obuhvata sledeće faze:

1. Binarizacija.
2. Izbor modela konteksta.
3. Aritmetičko kodovanje.
4. Ažuriranje verovatnoće.

Proces dekodovanja je tako definisan da smanji kompleksnost implementacije aritmetičkog kodovanja i dekodovanja. U celini, CABAC može da obezbedi efikasnije kodovanje u poređenju sa CAVLC zahvaljujući većoj računskoj složenosti na nekim platformama.

3. ENTROPIJSKO KODOVANJE U H.265 (HEVC) STANDARDU

Bitstream je konstruisan od enkodovanih sintakasnih elemenata. U slučaju kodova sa fiksnom ili promenljivom dužinom kodne reči, sintakсни elementi predstavljani su sa jedinstvenim kodnim rečima. Za parsiranje u HEVC standardu koriste se tri šeme kodovanja: kodovi sa fiksnom dužinom kodne reči, sistematski kodovi sa promenljivom dužinom kodne reči, i kontekstno adaptivno binarno aritmetičko kodovanje (CABAC). Ove šeme koriste se na različitim nivoima hijerarhije bitstrima. Sintakсни elementi na nivou kodovanog bloka predstavljaju najveći deo kodovane informacije. Entropijsko kodovanje je izraz koji se odnosi na kodovanje bez gubitaka i često se koristi za proces transformacije strima sintakasnih elemenata u bitstream.

3.1. Kontekstno adaptivno binarno aritmetičko kodovanje (CABAC) u HEVC standardu

Za informacije na nivou bloka u H.264 (AVC) standardu specificirane su dve šeme entropijskog kodovanja: CAVLC i CABAC. Kontekstno adaptivno kodovanje sa promenljivom dužinom kodne reči (CAVLC) dostupno je u svim profilima, a CABAC je alternativna opcija i najviše se koristi u glavnim i visokim profilima. U HEVC standardu odabrano je samo CABAC kodovanje. Mehanizam za aritmetičko kodovanje nije promenjen u odnosu na CABAC kao što je navedeno u H.264 standardu.

3.1.1. Pregled procesa

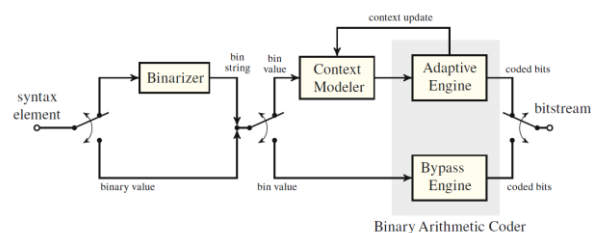
CABAC-ov mehanizam za binarno aritmetičko kodovanje zahteva transformaciju nebinarnih vrednosti u binarnu reprezentaciju. Ovaj proces transformacije je binarizacija, a ulazi rezultujućeg *bin-stringa* nazivaju se *bin-ovima*. Binarizacija je dizajnirana tako da bude bez prefiksa, a to znači da nijedan bin-string nije prefiks dužeg bin-stringa za dati sintakсни element. Na taj način vrednosti sintakasnog elementa jedinstveno se dekoduju iz rekonstruisanog bin-stringa.

Za svaki kodovani bin primenjuje se model konteksta. Model konteksta može biti adaptivni ili statični. Adaptivni model konteksta pokreće mehanizam adaptivnog aritmetičkog kodovanja. Statički model pokreće mehanizam za ne-adaptivno kodovanje sa fiksnom postavkom da binarni vrednosti 0 i 1 imaju jednaku verovatnoću. Ovaj mehanizam naziva se *bypass* mehanizam i koristi se za kodovanje predznaka transformacionih koeficijenata. Korišćenjem *bypass* mehanizma takvi binarni vrednosti mogu se efikasno uključiti u aritmetičko kodovani bitstream. U mehanizmu

adaptivnog kodovanja, model konteksta ažurira se posle svakog koraka kodovanja ili dekodovanja. Time se model konteksta prilagođava posmatranoj raspodeli verovatnoća u aktuelnom procesu kodovanja.

Na slici 3.1. prikazan je šematski dijagram procesa CABAC enkodovanja. Celokupni proces CABAC kodovanja počinje sa fazom binarizacije za nebinarne simbole. Za svaki kodovani bin, izabrano je adaptivno kodovanje sa pridruženim modelom konteksta ili *bypass* kodovanje sa statičkim modelom verovatnoće. Na kontekstno adaptivnoj grani, primenjeni model konteksta ažurira se posle kodovanja svakog bina. Na kraju, kodovani izlazni binovi CABAC mehanizma ubacuju se u bitstream. Nakon što je postignut poslednji sintakсни element kodovanog slajs segmenta koduje se *ending flag* za indicaciju prekida procesa kodovanja.

Na strani dekodera radi se dekodovanje kako bi se otkrili kodovani sintakсни elementi iz bitstrima. Modeli konteksta inicijalizovani su na isti način kao i modeli konteksta na strani enkodera. Za svaki sintakсни element, binovi su sukcesivno dekodovani iz bitstrima upotrebom i ažuriranjem odgovarajućih modela konteksta. Pošto je binarizacija kodovanih sintakasnih elemenata tako dizajnirana da nema prefiksa, vrednost dekodovanog sintakasnog elementa identifikuje se čim se dekodovani bin-string odgovara važećoj binarizaciji. Zatim dekodier prelazi na prvi bin sledećeg sintakasnog elementa i na njegov pridruženi model konteksta.



Slika 3.1 Blok dijagram CABAC enkodera [4]

3.1.2. Binarizacija

Proces binarizacije pretvara vrednosti nebinarnih sintakasnih elemenata u nizove binarnih vrednosti. Ovi bin-stringovi unose se u proces aritmetičkog kodovanja. Svaki nebinarni sintakсни element ima određenu šemu binarizacije. Po konceptu, binarizacija mora biti bez prefiksa da bi bilo moguće dekodovanje odgovarajućeg sintakasnog elementa.

Za postupke aritmetičkog enkodovanja i dekodovanja, odgovarajući binovi redaju se sa leva na desno po indeksu bina. Kodovanje svakog bina vrši se prema dodeljenom kontekstnom modelu. Postoji veliki broj kontekstnih modela za fazu entropijskog kodovanja. Kriterijumi za dizajniranje efikasne faze entropijskog kodovanja su sledeći:

- broj binova za kodovanje treba da je što manji,
- broj primenjenih kontekstnih modela takođe treba da je što manji,
- broj binova koji su kodovani u *bypass* režimu treba da je što veći,
- binovi koji su kodovani sa identičnim kontekstnim modelom treba da budu grupisani.

U razvoju HEVC-a, razmatranje ovih kriterijuma dovelo je do sadašnjeg dizajna.

3.1.3. Inicijalizacija konteksta

Stanje svakog konteksta predstavljeno je sa vrednošću verovatnoće za najmanje verovatan simbol $0 < p_{LPS} \leq 0.5$ i sa vrednošću najverovatnijeg simbola $v_{MPS} \in \{0, 1\}$. Za celobrajni prikaz, verovatnoća se skalira na ceo broj sa 7-bitnim dinamičkim opsegom. Pošto konačno treba predstaviti LPS vrednost, potrebna je samo polovina opsega.

Konteksti se inicijaliziraju na stanje verovatnoće p_{LPS} i na vrednost najverovatnijeg simbola v_{MPS} . Moramo napomenuti da je procenjena verovatnoća predstavljena sa celim brojem p_{LPS} između $0 < p_{LPS} < 64$. Inicijalizacija ove dve promenljive vrši se u zavisnosti od luma parametra kvantizacije trenutnog slajsa QP_{slice} . Pri tome, uzimaju se u obzir varijacije statistike simbola.

8-bitna vrednost inicijalizacije v_{init} određuje adaptaciju, tj. određuje prilagođavanje. v_{init} sastoji se od 8 bita: gornja 4 bita predstavljaju vrednost nagiba (*slope value*) s_{ctx} koji zavisi od parametra kvantizacije, a donja 4 bita predstavljaju *offset* vrednost o_{ctx} .

3.1.4. Izbor konteksta

Za svaki bin binarizacije koji nije kodovan u *bypass* režimu izabere se odgovarajući model konteksta. Izabrani model može biti fiksni, a može biti i prilagođen kontekstnim uslovima. U specifikaciji, kontekst koji se primenjuje označen ja sa indeksom konteksta i priraštajem indeksa konteksta. Indeks konteksta ukazuje na prvu vrednost inicijalizacije sintaksnog elementa u tabeli konteksta. Priraštaj indeksa konteksta ukazuje na određeni model konteksta iz raspoloživog skupa koji se primenjuje.

U zavisnosti od tipa inicijalizacije koji zavisi od tipa trenutnog slajsa (I, P ili B), određena su tri skupa kontekstnih modela. Jedan tip inicijalizacije koristi se za I slajsove. Za P i B slajsove, tip inicijalizacije može se dodatno menjati u zaglavlju slajsa.

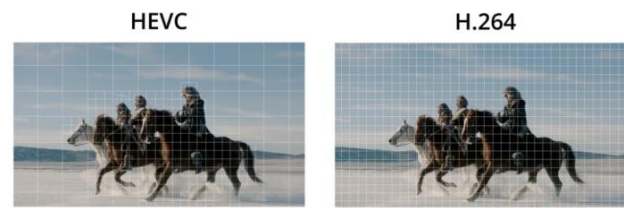
Model konteksta može da zavisi od postojanja i vrednosti prethodno kodovanih sintaksnih elemenata u lokalnom susedstvu.

4. KOMPARATIVNA ANALIZA

Oba standarda upoređuju različite delove video frejmova kako bi pronašli one koji su previšni unutar narednih frejmova. Ova područja zamenjuju se kratkim informacijama koje opisuju originalne piksele. Ono što razlikuje HEVC od AVC jeste mogućnost proširivanja veličine ovih područja u veće ili manje blokove [9].

Kod H.264 standarda osnovna jedinica video sadržaja je makroblok (MB) koji se sastoji od: jednog bloka luma komponente (Y) i obično dva bloka hroma komponenti (CbCr). Za HEVC je odabrana struktura stabla (*Coding Tree Unit*) za osnovnu jedinicu enkodovanja. CTU sastoji se od luma i hroma blokova koji se zovu *Coding Tree Blocks* (CTBs) analogno makroblokovima. Takođe je propisana sintaksa koja opisuje strukturu stabla, tj. poziciju i veličinu blokova za enkodovanje. Veličina luma bloka može biti $L=16, 32$ ili 64 uzoraka. Veći blokovi garantuju bolju kompresiju. Jedan luma blok i dva hroma bloka zajedno sa pridruženom sintaksom čine kodnu jedinicu (*Coding Unit*). Svaka slika se deli na CTU-ove.

Blok veličine 32×32 može biti predstavljen mešavinom $16 \times 16, 8 \times 8$ i 4×4 blokova u zavisnosti od regiona (Slika 4.1) [8].



Slika 4.1 Podela slike na CTU-ove [7]

Glavna razlika je u tome što HEVC omogućava dalje smanjenje veličine datoteke, a samim tim i smanjenu potrebnu propusnost (npr. za live video strimove). Dok makroblokovi mogu da obuhvataju blokove veličine 4×4 do 16×16 , CTU-ovi mogu da obrađuju čak i 64×64 blokove, pružajući mogućnost efikasnijeg sažimanja informacija. Pored većih dimenzija CTU-ova, HEVC ima i bolju kompenzaciju pokreta i prostorno predviđanje od AVC-a. Ovo omogućava striming 4K videa preko uobičajenih mrežnih brzina. Znači, HEVC-u je potreban napredniji hardver za komprimovanje video podataka, što je "loša" strana ovog standarda. U tabeli 4.1 upoređuje se preporučena širina propusnog opsega za H.264 i H.265 enkodovanje [6].

Tabela 4.1 Preporučena širina propusnog opsega za H.264 i H.265 enkodovanje [6]

Resolution	Minimum Upload Speed	
	H.264	H.265
480p	15 mbps	0.75 mbps
720p	3 mbps	15 mbps
1080p	6 mbps	3 mbps
4K	32 mbps	15 mbps

HEVC nudi brojna poboljšanja u odnosu na AVC. Kompresija HEVC-a je oko 50% efikasnija od AVC-a, što znači isti kvalitet video zapisa na polovini bitrejtta ili dvostruko kvalitetniji video zapis na istoj brzini prenosa. Na primer, ako snimamo 1080p AVC livestream na YouTube pri 6 Mbps, pomoću HEVC enkodera bi trebalo 3 Mbps za isti kvalitet (imamo isti kvalitet sa manje podataka) [7].

5. ZAKLJUČAK

Za informacije višeg nivoa obe specifikacije (AVC i HEVC) primenjuju kodovanje sa fiksnom dužinom i kodovanje sa promenljivom dužinom kodne reči. Na nivou slajsa, H.264 (AVC) obuhvata dve faze entropijskog kodovanja: kontekstno adaptivno kodovanje sa promenljivom dužinom kodne reči (CAVLC) i kontekstno adaptivno binarno aritmetičko kodovanje (CABAC). U trenutku specifikacije H.264 (AVC), šema aritmetičkog kodovanja bila je jako složena. Dakle, osnovni profil je specifikiran bez aritmetičkog kodovanja, (glavni profil uključuje CABAC kodovanje). Tokom razvoja HEVC-a pokazalo se da složenost efikasnog CAVLC predstavljanja sinaksnih elemenata na nivou slajsa nije značajno niža od složenosti šeme zasnovane na CABAC-u. Na osnovu toga, odbačena je mogućnost dve šeme entropijskog kodovanja i izabran je CABAC kao jedina šema entropijskog kodovanja u HEVC-u.

Novi H.265 (HEVC) standard kompresije video podataka kreiran je da omogući enkodovanje video sekvenci većih rezolucija. Zahvaljujući svojim performansama koje se prvenstveno odnose na povećanje efikasnosti kodovanja, laku integraciju u različite sisteme prenosa, otpornost na gubitak podataka i olakšanu implementaciju na različitim paralelnim arhitekturama, H.265 (HEVC) standard nalazi sve veću primenu, pored ostalih, i u vojnim komunikacionim sistemima i aplikacijama. Ovu tvrdnju dodatno dokazuje činjenica da su pojedine vojne organizacije i savezi usvojili navedeni standard kao njihov prioritetni standard kompresije video podataka koji se koristi i planira da se koristi u širokom spektru vojnih aplikacija i sistema [5].

Iako je mehanizam za aritmetičko kodovanje u HEVC-u kopiran iz H.264 (AVC), optimizovani su dizajn za kontekstno prilagođavanje i *bypass* kodovanje. Cilj dizajniranja HEVC-a bilo je omogućavanje obrade visoke propusnosti (uz mali skup potrebnih kontekstnih tabela, uz smanjenu kompleksnost parsiranja i uz smanjenu zavisnost od konteksta).

6. LITERATURA

- [1] Irini Reljin, Video kompresija - u susret H.265, PosTel 2005
- [2] Milan Bjelica, Beleške sa predavanja, Programaska podrška u televiziji i obradi slike 1
- [3] Iain E. Richardson, The H.264 Advanced Video Compression Standard, 2010
- [4] Mathias Wien, High Efficiency Video Coding - Coding Tools and Specification, 2015
- [5] Boriša Ž. Jovanović, Efikasan mehanizam kriptografske sinhronizacije u algoritmima šifrovanja multimedijalnih sistema nove generacije - Doktorska disertacija, 2018
- [6] <https://www.boxcast.com/blog/hevc-h.265-vs.-h.264-avc-whats-the-difference> (pristupljeno u maju 2020.)
- [7] <https://teradek.com/blogs/articles/3-reasons-why-hevc-x265-matters-and-how-you-can-start-using-it-now> (pristupljeno u maju 2020.)
- [8] Vanja Elčić, Dragoljub Pilipović, Analiza dostignute efikasnosti HEVC standarda u odnosu na H.264/MPEG-4 AVC standard, 2013
- [9] <https://medium.com/advanced-computer-vision/h-264-vs-h-265-a-technical-comparison-when-will-h-265-dominate-the-market-26659303171a> (pristupljeno u maju 2020.)

Kratka biografija:



Zalan Fodor rođen je u Novom Sadu 1993. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Telekomunikacije odbranio je 2017.god.



Željen Trpovski rođen je u Rijeci 1957. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1998. godine. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.