

# Detektiranje artefakta smrzavanja slike u videu

---

**Babić, Danijel**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:355338>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**DETEKTIRANJE ARTEFAKTA SMRZAVANJA SLIKE U  
VIDEU**

**Diplomski rad**

**Danijel Babić**

**Osijek, 2016.**



FAKULTET ELEKTROTEHNIKE,  
RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA OSIJEK

## Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 09.09.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

### Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

|                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ime i prezime studenta:                                                                    | Danijel Babić                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Studij, smjer:                                                                             | Diplomski sveučilišni studij Računarstvo, smjer Procesno računarstvo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Mat. br. studenta, godina upisa:                                                           | D 756 R, 13.10.2014.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| OIB studenta:                                                                              | 65831551882                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Mentor:                                                                                    | Doc.dr.sc. Mario Vranješ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Sumentor:                                                                                  | Dejan Stefanović                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Predsjednik Povjerenstva:                                                                  | Doc.dr.sc. Marijan Herceg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Član Povjerenstva:                                                                         | Doc.dr.sc. Ratko Grbić                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Naslov diplomskog rada:                                                                    | Detektiranje artefakta smrzavanja slike u videu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Znanstvena grana rada:                                                                     | <b>Programsko inženjerstvo (zn. polje računarstvo)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Zadatak diplomskog rada:                                                                   | Prilikom prijenosa digitalnog video signala mrežom, iz raznih razloga može doći do gubitka paketa koji prenose sadržaj videa. Gubitak većeg dijela informacija za pojedine okvire videa može dovesti do artefakta smrzavanja slike, budući da se u tom slučaju određeni okvir ponavlja po nekoliko puta. U radu je potrebno dati pregled postojećih algoritama za detekciju artefakta smrzavanja slike u videu. Nadalje, potrebno je razviti vlastiti algoritam za detekciju artefakta smrzavanja slike u videu (ili unaprijediti neki već postojeći algoritam). Algoritam treba prepoznati je li se u videu dogodio spomenuti artefakt ili nije te pobrojati koliko se puta dogodio u zadanom vremenskom intervalu. Pri dizajniranju |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):                                 | Izvrstan (5)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 3<br>Razina samostalnosti: 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Datum prijedloga ocjene mentora:                                                           | 09.09.2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:  | Potpis:<br>Datum:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



FAKULTET ELEKTROTEHNIKE,  
RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 12.09.2016.

Ime i prezime studenta:

Danijel Babić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Računarstvo, smjer Procesno računarstvo

Mat. br. studenta, godina upisa:

D 756 R, 13.10.2014.

Ephorus podudaranje [%]:

2

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Detektiranje artefakta smrzavanja slike u videu**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Mario Vranješ

i sumentora Dejan Stefanović

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## Sadržaj

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                                                            | 1  |
| 2. PRIJENOS VIDEA DIGITALNIM SUSTAVIMA .....                                             | 3  |
| 2.1. Sustavi za prijenos digitalnog videa s ocjenom kvalitete videa .....                | 3  |
| 2.2. Vrste sustava za objektivnu ocjenu kvalitete videa .....                            | 4  |
| 2.2.1. Sustav s informacijama o kompletnom referentnom videu.....                        | 4  |
| 2.2.2. Sustav s djelomičnim informacija o referentnom videu.....                         | 4  |
| 2.2.3. Sustav bez informacija o referentnom videu.....                                   | 5  |
| 2.3. Norme i standardi .....                                                             | 6  |
| 2.3.1. RGB model boja.....                                                               | 6  |
| 2.3.2. YUV model boja .....                                                              | 6  |
| 2.4. Artefakt smrzavanja videa .....                                                     | 7  |
| 2.4.1. Gubitak paketa.....                                                               | 7  |
| 2.4.2. Kompresija izvornog videa .....                                                   | 8  |
| 2.4.3. Vrste smrzavanja videa .....                                                      | 8  |
| 2.5. Istraživanja u području detektiranja smrzavanja videa.....                          | 9  |
| 3. PREDLOŽENI ALGORITAM ZA DETEKTIRANJE ARTEFAKTA SMRZAVANJA SLIKE U VIDEU .....         | 10 |
| 3.1. Opis rada algoritma .....                                                           | 10 |
| 4. VERIFIKACIJA REZULTATA NOVOG ALGORITMA ZA DETEKTIRANJE SMRZAVANJA SLIKE U VIDEU ..... | 13 |
| 4.1. Testne video sekvence .....                                                         | 13 |
| 4.1.1. Digitalne testne sekvence .....                                                   | 13 |
| 4.1.2. Analogne testne sekvence .....                                                    | 17 |
| 4.2. Rezultati za digitalne sekvence.....                                                | 19 |
| 4.3. Rezultati za analogne sekvence .....                                                | 24 |
| 4.4. Analiza rezultata .....                                                             | 25 |
| 5. ZAKLJUČAK .....                                                                       | 26 |
| LITERATURA.....                                                                          | 27 |
| SAŽETAK.....                                                                             | 29 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| ABSTRACT .....  | 30 |
| ŽIVOTOPIS ..... | 31 |

## 1. UVOD

Komunikacija, omogućena tehnološkim napretkom, postala je sastavnim dijelom naših života, a video sekvenca jednim od njenih osnovnih manifestacija. Istovremeno zamjenjujući analognu, digitalna video sekvenca se neprestano razvija, zbog čega dolazi do brojnih izazova i problema, odnosno potrebe za njihovim rješavanjem. Jedan od tih problema javlja se prilikom prijenosa digitalne video sekvence mrežom, kada iz raznih razloga može doći do gubitka paketa koji prenose sadržaj videa. Gubitak većeg dijela informacija za pojedine okvire videa može dovesti do artefakta smrzavanja slike.

Sustav za prijenos digitalne video sekvence sastoji se od četiri osnovna bloka: akvizicijskog, kompresijskog, prijenosnog i rekonstrukcijskog. Akvizicija se odnosi na izvor, dohvaćanje videa, odnosno njegovo generiranje od strane pošiljatelja. Kompresijom se smanjuje potrebna propusnost za prijenos videa, čime se smanjuju potrebni resursi za njegov prijenos, ali i omogućuje prijenos u stvarnom vremenu. Kompresija uzrokuje promjenu kvalitete slike, ali i vremensku promjenu (ukoliko se mijenja broj okvira u jedinici vremena), te se tako uzrokovane degradacije videa mogu svrstati u kategoriju prostornih i vremenskih degradacija. Tijekom prijenosa može doći do novih problema u prijenosnim sustavima, koji su skloni greškama (gubitak paketa, kašnjenje, trzanje slike). Nakon prijenosa nastupa rekonstrukcija videa, kako bi on mogao biti prikazan na prijemnoj strani, te je tada promatranjem reproduciranog videa moguće utvrditi je li došlo do grešaka u prijenosu, tj. moguće je ocijeniti kvalitetu prenesenog videa.

Čest artefakt koji je posljedica grešaka u prijenosu je artefakt smrzavanja slike u videu. Artefakt smrzavanja slike može nastati zbog greške u kompresijskom bloku, greške u prijenosnom bloku, ali i hardverske greške u nekom od blokova, te se svrstava u kategoriju vremenskih degradacija. Takav artefakt se očituje ponavljanjem posljednjeg ispravno prenesenog okvira sve dok se ne primi sljedeći ispravno preneseni okvir, a detektiranjem i određivanjem artefakta može se ocijeniti kvaliteta prijenosnog sustava.

Kako bi se uspješno automatiziralo ocjenjivanje kvalitete prijenosnog sustava, potrebno je razviti određene mjere koje bi ocjenjivale spomenutu kvalitetu (određivanje izgubljenih paketa, pojavljivanje blokova u videu, detektiranje smrzavanja slike). Zadatak ovog rada je razviti vlastiti algoritam za detektiranje artefakta smrzavanja slike u videu, ili unaprijediti neki već

postojeći algoritam, s naglaskom na to da bi algoritam trebao biti razvijen s funkcionalnošću rada u stvarnom vremenu.

Algoritam predložen ovim radom detektira smrzavanje videa samo na osnovi rekonstruiranog videa, tj. nema potrebu za poznavanjem referentnog videa ili referentnih informacija. Iz tog su razloga u poglavlju koje obrađuje teorijsku podlogu za razumijevanje problema predstavljeni samo slični radovi, koji također nemaju potrebu za referentnim videom ili referentnim informacijama.

U drugom poglavlju dana je teorijska podloga potrebna za razumijevanje problema, kao i pregled postojećih radova. Treće poglavlje opisuje novo-predloženi algoritam, te ga uspoređuje s postojećim algoritmima. Četvrto poglavlje predstavlja rezultate algoritma, kao i raspravu o njima, dok posljednje, peto poglavlje sadrži zaključke o algoritmu i njegovim rezultatima.

## 2. PRIJENOS VIDEO DIGITALNIM SUSTAVIMA

Digitalni prijenos podataka podložan je brojnim utjecajima prijenosnog kanala, što može rezultirati različitim oštećenjima podataka, jer je prijenosni kanal najosjetljiviji dio prijenosnog sustava. Kako je digitalna video sekvenca jedan oblik digitalnog podatka, tako i pri njenom prijenosu dolazi do grešaka koje mogu uzrokovati razne artefakte. Stoga je prenesene video sekvence potrebno testirati i analizirati, kako bi se utvrdilo prisustvo grešaka. Kako bi se razumjela problematika detektiranja takvih grešaka, potrebno je objasniti njihove uzroke i manifestacije, kao i načine testiranja, tj. načine objektivnog ocjenjivanja kvalitete videa. Kvaliteta videa je mjera opažene degradacije videa prenesenog kanalom, dok se ispitivanje i određivanje degradacije naziva ocjenjivanjem kvalitete videa. Praktični dio ovog rada predstavlja razvijanje algoritma za detektiranje smrzavanja slike u videu, gdje je takvo detektiranje samo jedno od mjerila degradacije videa, te je predviđeno da je njezino izvođenje ostvarivo u stvarnom vremenu, za rekonstruirani video bez ikakvih dodatnih informacija (prijenos video sekvenci uživo) [1].

### 2.1. Sustavi za prijenos digitalnog videa s ocjenom kvalitete videa

Prilikom prijenosa digitalnih video sekvenci sustavom, brojni učinci mogu dovesti do mijenjanja dijelova izvornog videa, što može rezultirati njegovom degradacijom. Do takvih promjena najčešće dolazi u prijenosnom kanalu, jer se radi o bloku sustava najviše sklonom greškama. Iz tog razloga potrebno je testirati i promatrati rekonstruirani video kako bi se pokušale uočiti nastale greške. To se ostvaruje dizajniranjem matematičkog modela koji analizira dani video na temelju parametara procjene kvalitete videa, te tako objektivno vrednuje njegovu kvalitetu. Parametri procjene kvalitete videa određeni su na temelju subjektivnih ocjena kvalitete videa. Na taj način se teži stvoriti automatizirani sustav čiji rezultati će biti što sličniji rezultatima subjektivnih testiranja i ocjenjivanja [2].

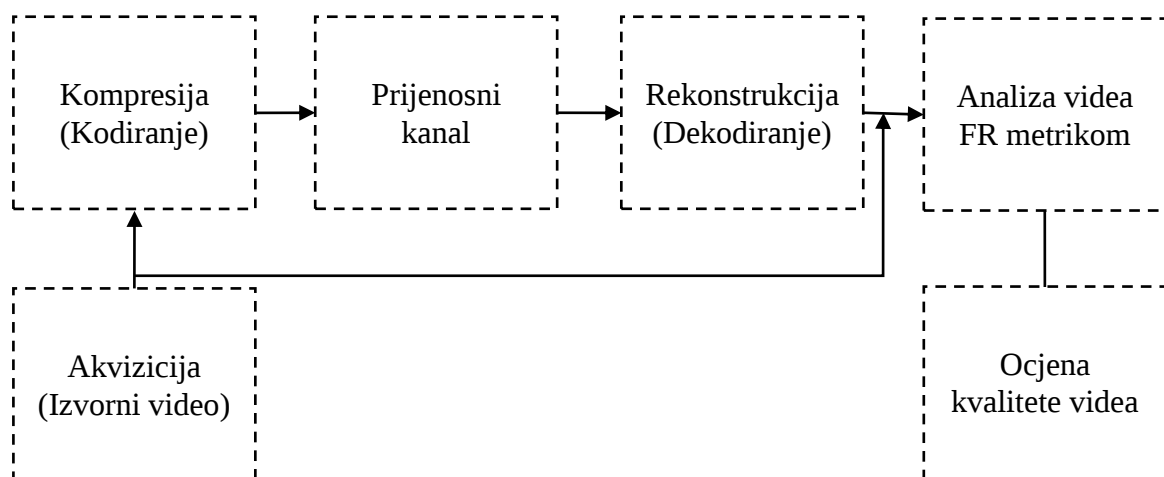
Sustavi za ocjenu kvalitete videa razlikuju se prema količini informacija dostupnih iz referentnog (izvornog) videa, te tako postoje:

- Sustavi s informacijama o kompletnom referentnom videu (**FR**, engl. *Full-Reference*)
- Sustavi s djelomičnim informacijama o referentnom videu (**RR**, engl. *Reduced-Reference*)
- Sustavi bez informacija o referentnom videu (**NR**, engl. *No-Reference*)

## 2.2. Vrste sustava za objektivnu ocjenu kvalitete videa

### 2.2.1. Sustav s informacijama o kompletnom referentnom videu

Sustav s informacijama o kompletnom referentnom videu podrazumijeva dostupnost cijelog izvornog videa, kako bi ga se moglo usporediti s rekonstruiranim videom, te tako ocijeniti kvalitetu rekonstruiranog videa. U ovakvom sustavu dolazi do usporedbe svakog pojedinog elementa slike oba videa za svaki okvir u videima. Ovakvi sustavi pogodni su samo za izvan-mrežne ocjene kvalitete videa, jer nekomprimirani video ne može biti dostupan prilikom mrežnog prijenosa ili reproduciranja uživo. Stoga se ovakvi sustavi najčešće koriste za određivanje kvalitete metode kompresije. Slikom 2.1. dan je dijagram sustava za prijenos digitalne video sekvence s ocjenom kvalitete videa FR metrikom.

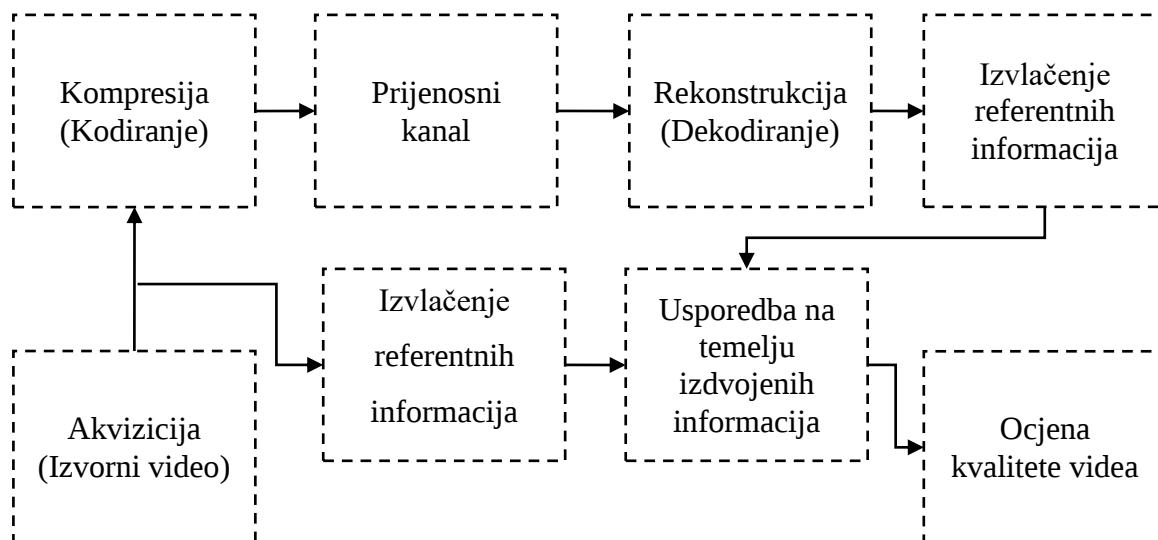


Sl. 2.1. Dijagram sustava za prijenos digitalne video sekvence s ocjenom kvalitete videa FR metrikom [3]

### 2.2.2. Sustav s djelomičnim informacija o referentnom videu

Poput sustava s informacijama o kompletnom referentnom videu, sustav s djelomičnim informacijama o referentnom videu također podrazumijeva slanje referentnih informacija, međutim njihova veličina je zanemariva u odnosu na veličinu izvornog videa, odnosno nije potreban pristup kompletnom izvornom videu. U slučaju sustava s djelomičnim informacijama, referentne informacije čine razni parametri koji opisuju video, statističke informacije o videu ili ključni dijelovi pojedinih okvira. Usporedbom tih informacija i njima odgovarajućih informacija dobivenih iz rekonstruiranog videa može se odrediti stupanj degradacije rekonstruiranog videa. Zbog iznimno manje količine podataka koja mu je potrebna, sustav s djelomičnim informacijama o referentnom videu puno je brži od sustava s informacijama o kompletnom referentnom videu,

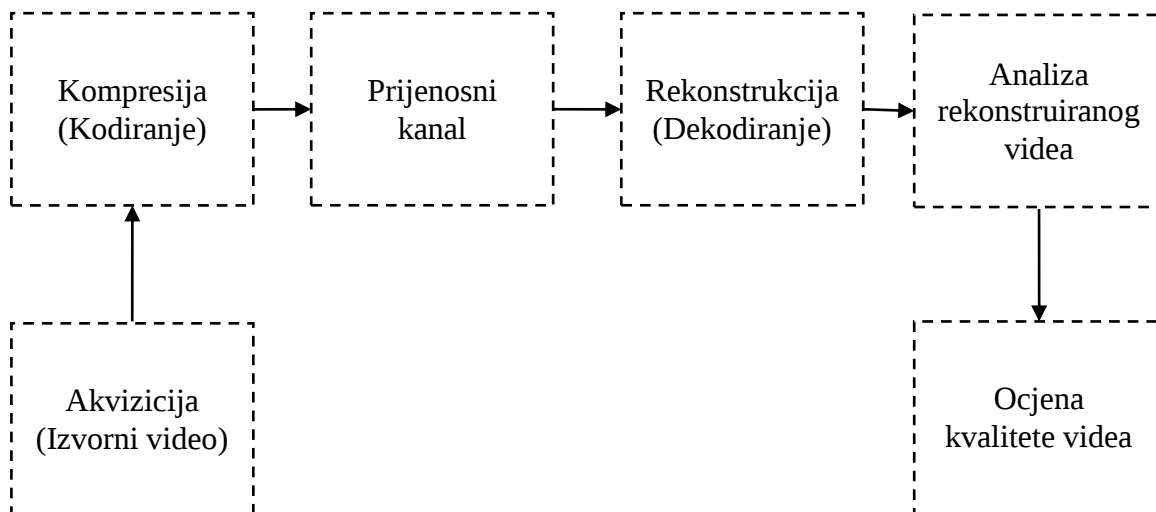
međutim i dalje je najčešće nepogodan za reproduciranje videa uživo (poput digitalne televizije). Slikom 2.2. dan je dijagram sustava za prijenos digitalne video sekvence s ocjenom kvalitete RR metrikom.



**Sl. 2.2.** Dijagram sustava za prijenos digitalne video sekvence s ocjenom kvalitete videa RR metrikom [3]

### 2.2.3. Sustav bez informacija o referentnom videu

Osnovna ideja sustava bez informacija o referentnom videu je mogućnost objektivne ocjene kvalitete rekonstruiranog videa bez poznavanja izvornog videa ili bilo kakvih referentnih informacija o njemu. Tako se sva opažanja i zaključci o rekonstruiranom videu donose isključivo na temelju tog videa, korištenjem određenog matematičkog modela. Ovakav pristup ocjeni kvalitete videa povećava složenost samog sustava, ali omogućuje njegovu primjenu u sustavima za prijenos uživo, kao i sustavima gdje nije moguće dobiti nikakve referentne informacije o izvornom videu (digitalna televizija). Kako bi ovakav sustav mogao davati dobre rezultate, potrebno je pred njega postaviti određene pretpostavke (koje odgovaraju uvjetima u kojima će se sustav nalaziti, poput razine šuma u kanalu, sadržaja video sekvenci, informacije radi li se o digitalno ili analogno generiranom videu) temeljene na testnim video sekvencama. Slikom 2.3. dan je dijagram sustava za prijenos digitalne video sekvence s ocjenom kvalitete NR metrikom.



**Sl. 2.3.** Dijagram sustava za prijenos digitalne video sekvence s ocjenom kvalitete videa NR metrikom [3]

## 2.3. Norme i standardi

Pri detektiranju smrzavanja slike u videu promatra se svaki okvir videa u cjelini, bez ulaska u karakteristike i specifičnosti pojedinih normi. Drugim riječima, sama norma kojom je kodiran video nije bitna za pristup rješavanju problema. Okviri videa se ne promatraju na razini normi specifičnih blokova, niti je potrebno znati koji okvir je kakvog tipa. Najčešće je potrebno prebaciti svaki okvir iz RGB modela u YUV model boja kako bi se izdvojila komponenta svjetline (ukoliko model boja videa već nije YUV).

### 2.3.1. RGB model boja

RGB model boja je aditivni model pri čemu R predstavlja zastupljenost crvene, G zastupljenost zelene, a B zastupljenost plave boje. Glavna primjena RGB modela je prikaz slike u elektroničkim sustavima (televizori, zasloni računala, zasloni pametnih telefona), pri čemu se razlikuju načini tehnologija za prikazivanje slike (CRT, LCD, plazma).

### 2.3.2. YUV model boja

YUV model boja je model boja koji je zasnovan na iskorištavanju svojstava ljudskog vizualnog sustava, gdje je stavljen veći naglasak na svjetlinu nego na boje. Komponente YUV modela su luminantna komponenta Y (nosi informaciju o svjetlini), te krominantne komponente U i V (nose informaciju o boji).

Sljedeći izrazi predstavljaju način dobivanja Y, U i V komponenti iz RGB modela boja:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2-1)$$

$$U = 0.147R - 0.289G + 0.436B \quad (2-2)$$

$$V = 0.615R - 0.515G + 0.100B \quad (2-3)$$

Ljudski vizualni sustav osjetljiviji je na svjetlinu nego na boje. Stoga se pri kodiranju slike i videa krominantne komponente mogu jače komprimirati, ostavljajući prostora za maskiranje pogrešaka pri prijenosu ili maskiranje artefakata nastalih pri kompresiji slike i videa. Kako je za potrebe analize rekonstruiranog videa dovoljno imati svaki njegov okvir u nijansama sive, pri analizi se najčešće koristi samo njegova Y komponenta.

## 2.4. Artefakt smrzavanja videa

Smrzavanje videa (engl. *freezing*) je artefakt video sekvence koji gotovo uvijek nastaje pri prijenosu video sekvence u stvarnom vremenu, dok su rijetke situacije kad nastaje kao posljedica lošeg komprimiranja izvornog videa. U slučaju prijenosa video sekvence uživo, iz raznih razloga može doći do privremenog prestanka primanja novih okvira, te se tada ponavlja posljednji ispravno preneseni okvir, kako bi se ublažila vizualna posljedica gubitka okvira. Najčešći razlog neuspješnog prenošenja određenih okvira je gubitak paketa, ali je moguća pojava smrzavanja i pri komprimiranju izvornog videa.

### 2.4.1. Gubitak paketa

U kontekstu prijenosnog sustava, paket predstavlja malu količinu ukupno poslanih podataka, čija je veličina poznata. Neuspjelo prenošenje paketa dovodi do njihovog neprimanja na prijemnoj strani, što se naziva gubitkom paketa (engl. *packet loss*). Gubitak paketa uzrokovan greškom u prijenosnom kanalu neotpornom na greške uzrokuje razliku između rekonstruiranog videa (prijemnik) i izvornog videa (pošiljalac), što može rezultirati artefaktima stvaranja blokova, odzvanjanja ili smrzavanja videa. Sam ishod gubitka paketa po pitanju pojave pojedinih spomenutih artefakata ovisi o količini izgubljenih paketa, njihovoj međusobnoj povezanosti, frekvenciji gubitaka te mogućnosti dekodera da rekonstruira video bez svih paketa. Do gubitka paketa može doći zbog pogrešne konfiguracije sklopovlja, ograničene propusnosti prijenosnog kanala, ili smetnji (šumu) u prijenosu [4].

### 2.4.2. Kompresija izvornog videa

U rijetkim situacijama, visoki stupanj kompresije također može uzrokovati smrzavanje videa prelijevanjem međuspremnika kodera. Za konstantnu ciljanu brzinu prijenosa koder mijenja stupanj kvantizacije ovisno o složenosti videa. Pri složenijim dijelovima sekvence koder nastoji održati zadanu brzinu prijenosa, zbog čega stupanj kvantizacije postaje sve veći kako bi se izbjeglo prelijevanje međuspremnika kodera. U slučaju naglog rasta složenosti sadržaja videa ni maksimalna širina stupnja kvantizacije ne može spriječiti prelijevanje, zbog čega dolazi do „ispuštanja“ okvira od strane kodera.

### 2.4.3. Vrste smrzavanja videa

Dva su moguća scenarija nastavka reproduciranja videa u stvarnom vremenu u slučaju prestanka smrzavanja videa, odnosno kada se ispravno prenesu novi okvir nakon niza ponovljenih okvira. Prvi scenarij, prikazan slikom 2.4., čest je u slučajevima reprodukcije postojećih videa (reproduciranje videa s internetskih servisa za dijeljenje videa, npr. YouTube, video sadržaji internetskih portala i sl.). Tada je dopušteno pričekati s nastavkom reprodukcije od posljednjeg ispravno prenesenog okvira. Pri takvim reprodukcijama komunikacija između pošiljatelja i primatelja videa je dvosmjerna, pa je pošiljatelja moguće obavijestiti o gubitku određenih okvira s ciljem njihovog ponovnog slanja do uspješnog primanja. U ovakvom se slučaju reprodukcija nakon smrzavanja nastavlja od onog okvira koji slijedi posljednji ispravni okvir, tj. ne dolazi do naglih skokova između posljednjeg ponovljenog i prvog novog ispravnog okvira. Ovakvo smrzavanje naziva se smrzavanjem zbog kašnjenja paketa [5].

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ref: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | X | Y | Z |
| Rek: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | I | I | I | I | J | K | L | M | N | N | N | N | N | N | O | P |

**Sl. 2.4.** Okviri rekonstruiranog videa sa smrzavanjem zbog kašnjenja paketa

Scenarij prikazan slikom 2.5. karakterističan je za sustave za prijenos kod kojih se ne tolerira kašnjenje (video konferencije) ili sustave kod kojih nema povratne veze prema pošiljatelju (digitalna televizija). Okviri izvornog videa koji su pri rekonstruiranju zamijenjeni ponavljajućim okvirima smatraju se izgubljenima, a primanjem prvog sljedećeg ispravnog okvira dolazi do naglog „skoka“ između tog okvira i njemu prethodnog okvira (ponovljeni okvir). Ovakvo smrzavanje naziva se smrzavanjem zbog gubitka paketa [5].

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ref: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | X | Y | Z |   |
| Rek: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | I | I | I | I | N | O | P | Q | R | S | S | S | S | S | S | S | Z |

**Sl. 2.5.** Okviri rekonstruiranog videa sa smrzavanjem zbog gubitka paketa (odvojena smrzavanja)

Slikama 2.5. i 2.6. dana su dva tipa smrzavanja videa: Prvi tip je tip odvojenih smrzavanja, u kojem se u dvije različite grupe odvojeno ponavljaju dva različita okvira. U drugom tipu smrzavanja jedan niz ponovljenih okvira u sebi sadrži okvir koji odstupa od drugih, međutim, kako je i on posljedica određenog gubitka paketa, može ga se promatrati kao dio cijelog niza, čime se može izbjeći prekid detektiranja ostatka niza nakon spomenutog okvira.

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ref: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | X | Y | Z |
| Rek: | A | B | C | D | E | F | G | H | I | I | I | I | I | ? | I | I | I | I | I | T | U | V | X | Y | Z |

**Sl. 2.6.** Okviri rekonstruiranog videa sa smrzavanjem zbog gubitka paketa (povezana smrzavanja)

## 2.5. Istraživanja u području detektiranja smrzavanja videa

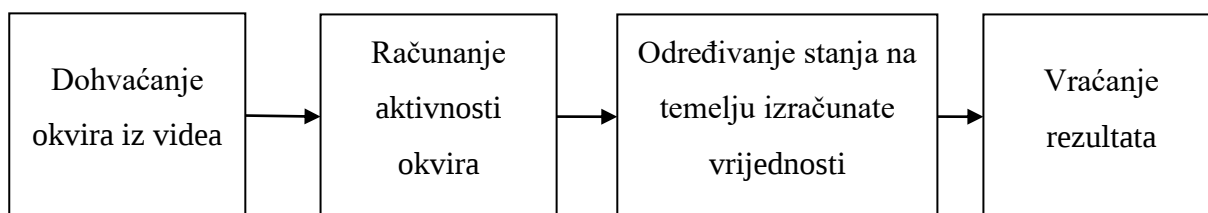
Postoji velik broj objavljenih radova za detekciju i ocjenjivanje smrzavanja videa. Ovdje su obrađeni izdvojeni dostupni radovi. U radu [6], predložena je osnovna metrika detekcije smrzavanja videa, a temelji se na računanju sume srednjih kvadratnih pogrešaka razlika dvaju okvira, te uspoređivanju trenutnog okvira u nizu smrznutih okvira s prvim okvirom u nizu. Spomenuti rad odličan je uvodni rad za prikaz rješavanja ovog problema, jer osim predstavljanja najosnovnije ideje rješenja sadrži i pretpostavku da srednja kvadratna pogreška između dva okvira videa, koji je dohvaćen nekim uređajem za dohvaćanje (engl. *grabber*), neće biti jednaka nuli, zbog unošenja šuma od strane uređaja. Autor rada [7] za detekciju također koristi srednju kvadratnu pogrešku razlike dva okvira, te ju uspoređuje s promjenjivim pragom, čija vrijednost se mijenja ovisno o razini pokreta u videu. Rad [8] se osim detekcije smrzavanja bavi i detekcijom trzanja videa, za što koristi sumu srednjih kvadratnih pogrešaka razlika dvaju okvira. Kao i u radovima [6] i [7], u radu [9] se također koristi srednja kvadratna pogreška između dva okvira, međutim, osim detekcije smrzavanja slike podržana je i detekcija promjene scene. Ovaj rad za spomenute detekcije koristi i promjenjivi prag usporedbe, čija vrijednost se mijenja ovisno o razini pokreta u videu. Rezultati algoritma predloženog u trećem poglavlju ovog diplomskog rada usporedit će se s rezultatima algoritma predloženog u [9]. Stoga će se dalje u radu algoritam predložen u [9] nazivati VFDS (engl. *Video Freezing Detection System*).

### 3. PREDLOŽENI ALGORITAM ZA DETEKTIRANJE ARTEFAKTA SMRZAVANJA SLIKE U VIDEOU

Proučavanjem sličnih radova uočava se kako se njihova logika pri detekciji temelji prvenstveno na iskorištavanju razlika između elemenata slike na istim pozicijama u susjednim okvirima. Ovaj pristup je neizbježan pri rješavanju ovog problema jer sama logika nalaže: što je veća razlika između dva okvira, to je veća vjerojatnost da je između njih došlo do pomaka. Međutim, u slučaju kada je u videu prisutan šum, sam šum povećava razliku među okvirima, čak i u slučajevima kada razlike bez šuma ne bi bilo. Iz tog razloga potrebno je pri odlučivanju o tome je li trenutni okvir smrznuti okvir (u odnosu na prethodni) u obzir uzeti i razinu šuma u videu. U spomenutim radovima to se ostvaruje povećavanjem praga ispod kojeg se detektira smrzavanje. S druge strane, prevelik prag intenziteta aktivnosti između dva okvira ostavlja mogućnost netočne detekcije u slučaju sporih promjena u videu. Ovim radom se nastojalo smanjiti učinak šuma, tj. izbjeći slučaj kada zbog prevelike razine šuma algoritam neće davati dobre rezultate: statističkim pristupom rješavanju problema algoritam se bavi širom slikom, tako što ne uzima u obzir svaku promjenu elementa slike na određenoj poziciji, nego sve elemente slike u određenoj regiji uspoređuje s elementima slike u istoj regiji, ali u susjednom okviru.

#### 3.1. Opis rada algoritma

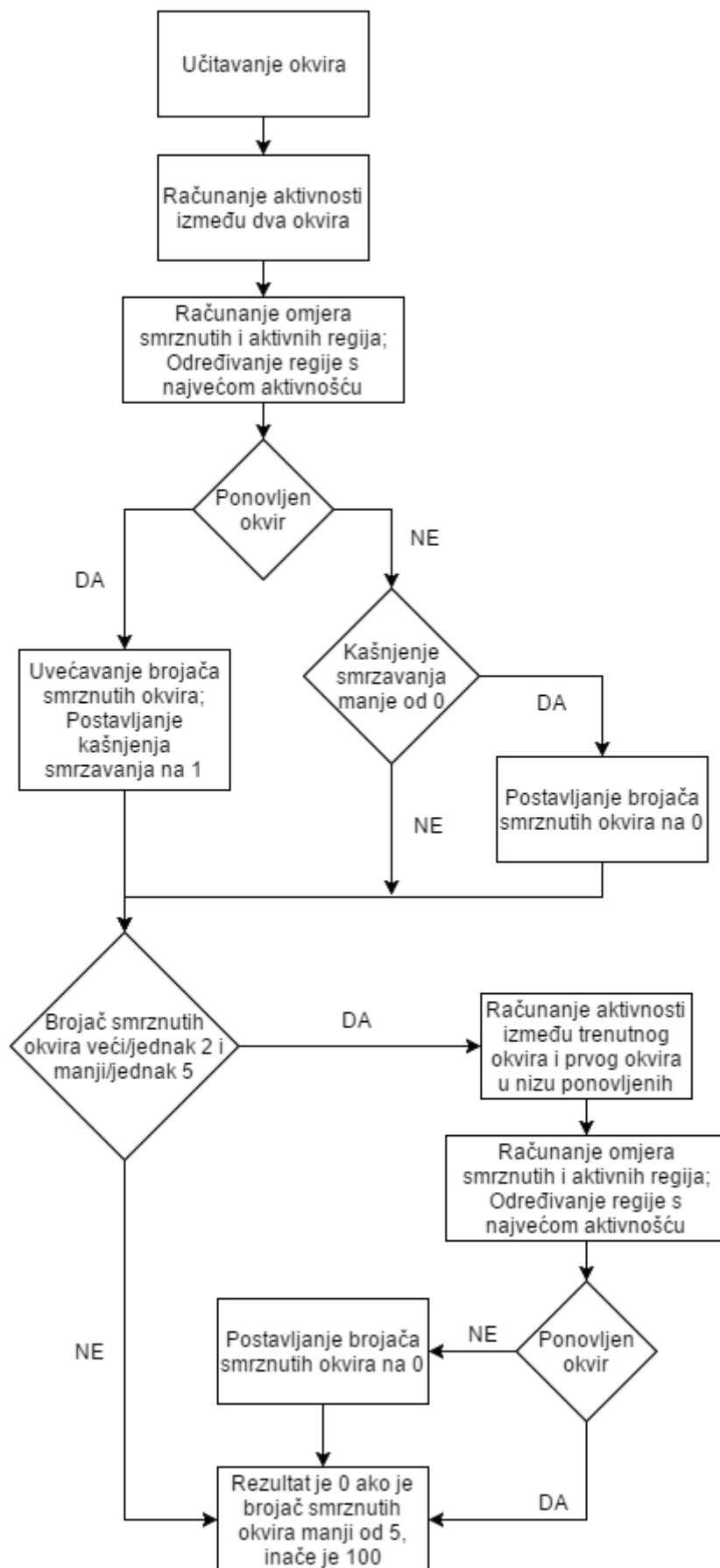
Algoritam se sastoji iz dva veća dijela. Prvi dio se odnosi na funkciju računanja razine aktivnosti između dva okvira, dok se drugi dio odnosi na donošenje odluke je li trenutni okvir smrznut ili ne, ovisno o izračunatoj vrijednosti razine aktivnosti. Slikom 3.1. dan je blokovski prikaz algoritma. Slikom 3.2. dan je dijagram toka cijelog algoritma usporedbe histograma.



Sl. 3.1. Blokovski prikaz algoritma usporedbe histograma

U sljedećem tekstu nalazi se tekstualni opis algoritma, gdje se druga i treća točka opisa odnose na funkciju računanja razine aktivnosti, dok se prva, četvrta, peta, šesta i sedma točka odnose na algoritam donošenja odluke o izlaznom rezultatu smrzavanja:

1. **Učitavanje videa** – video se ne učitava u cijelosti nego se čita okvir po okvir, gdje se iz okvira u matricu izdvaja vrijednost svjetline po elementu slike, te se tako dobivene matrice dalje obrađuju.
2. **Filtriranje okvira** – kako bi se iz matrice uklonio šum niže razine, ona se filtrira Gaussovim filtrom, te se dobiva matrica razlike izvorne i filtrirane matrice.
3. **Računanje razine aktivnosti između dva okvira** – matrice se dijele na regije jednakih veličina i pozicija. Iz vrijednosti svjetline elemenata slike iz prethodne i trenutne matrice slažu se histogrami svake regije, čija korelacija se uspoređuje Hi-kvadrat testom, te se vrijednosti korelacija koriste pri donošenju odluke je li trenutni okvir ponovljen ili ne.
4. **Određivanje vrijednosti promjenjivog praga** – za određivanje vrijednosti promjenjivog praga aktivnosti potrebno je odrediti broj regija kod kojih je korelacija izrazito mala ili jednaka nuli. Omjer broja takvih regija i ukupnog broja regija množi se s fiksnim pragom aktivnosti te se dobiva konačna vrijednost promjenjivog praga za tu iteraciju.
5. **Određivanje ponovljenih okvira** – uz izračunate vrijednosti korelacija po regijama te vrijednost promjenjivog praga može se zaključiti da je okvir ponovljen ukoliko je vrijednost najveće korelacije pojedine regije manja od vrijednosti praga. Uz to je omogućeno povezivanje uzastopnih smrzavanja, koji su prekinuti jednim okvirom odstupanja. Ukoliko je kašnjenje smrzavanja manje od 0, zaključuje se kako nije došlo do smrzavanja, te se sljedeći koraci ne provode.
6. **Uspoređivanje  $n$ -tog okvira u nizu** – ukoliko je zaključeno kako je okvir ponovljen, te se ne radi o prvom ponovljenom okviru u nizu, trenutni okvir se uspoređuje s posljednjim ispravnim okvirom. Na taj način se umanjuje mogućnost pogrešne detekcije zbog spore promjene u videu: pri sporim promjenama su korelacije prvog i ispravnog okvira, kao i korelacije kasnijih susjednih okvira manje nego korelacije  $n$ -tog i ispravnog okvira, zbog čega će ovakvom usporedbom ipak biti detektirano kretanje kod sporih promjena, te se sljedeći korak ne provodi. U slučaju da je u ispitivanom dijelu videa zaista došlo do smrzavanja, korelacije prvog i ispravnog okvira bit će jednake korelacijama  $n$ -tog i ispravnog okvira.
7. **Zaključak o smrzavanju** – za slučaj kada se zaključi da je trenutni okvir ponovljen, ispituje se vrijednost brojača ponovljenih okvira u nizu. Ukoliko je vrijednost tog brojača jednaka ili veća od zadane vrijednosti, donosi se zaključak kako je došlo do smrzavanja dijela videa u trajanju od  $n$  okvira (gdje je  $n$  jednak brojaču ponovljenih okvira). Svakom novom iteracijom u kojoj se zaključi da je došlo do ponavljanja okvira, vrijednost brojača se povećava, sve dok ne dođe do dovoljno velike promjene koja označava završetak smrznutog dijela videa.



Sl. 3.2. Dijagram toka algoritma usporedbe histograma

## 4. VERIFIKACIJA REZULTATA NOVOG ALGORITMA ZA DETEKTIRANJE SMRZAVANJA SLIKE U VIDEU

U ovom poglavlju dana je usporedba rezultata dvaju algoritama. Prvi algoritam je algoritam implementiran prema [9], čija implementacija je bila dostupna pri izradi ovog rada i koji se koristi u komercijalnoj aplikaciji. Kako je radom predviđeno unaprjeđenje postojećeg (u ovom slučaju VFDS) ili razvijanje vlastitog algoritma (algoritam usporedbe histograma), uspoređuju se VFDS i razvijeni algoritam. Rezultati za svaku sekvencu su dani tablično, gdje brojevi označavaju redni broj okvira u sekvenci. Pri testiranju algoritma usporedbe histograma korištena su dva skupa različitih vrijednosti parametara. Prvi skup je korišten za testiranje algoritma na digitalnim, dok je drugi skup korišten za testiranje algoritma na analognim sekvencama.

### 4.1. Testne video sekvence

Algoritam za detekciju artefakta smrzavanja slike u videu razvijan je uz korištenje seta sekvenci koje se razlikuju po trajanju, rezoluciji, sadržaju, dinamici, razini šuma, te izvoru. Predviđen je rad algoritma za digitalno generirane sekvence, ali i analognu dobivene sekvence, korištenjem *grabbera*. Kako se spomenute kategorije razlikuju prvenstveno po razini šuma, bilo je potrebno razviti univerzalni algoritam za obje kategorije, ali s razlikama u parametrima, ovisno o izvoru videa. Za prikaz i usporedbu rezultata u ovom radu korišteno je 6 digitalnih videa značajno različitog sadržaja i 3 analogna videa različitog sadržaja. Uz te video sekvence, algoritam je testiran i na 40 digitalnih video sekvenci iz baze „*LIVE Public-Domain Subjective Mobile Video Quality Database*“ (dalje u tekstu LIVE Mobile baza). Spomenutih 9 sekvenci opisano je u daljnjem tekstu, dok se detalji o sekvencama iz LIVE Mobile baze mogu naći u radovima [10], [11], [12].

#### 4.1.1. Digitalne testne sekvence

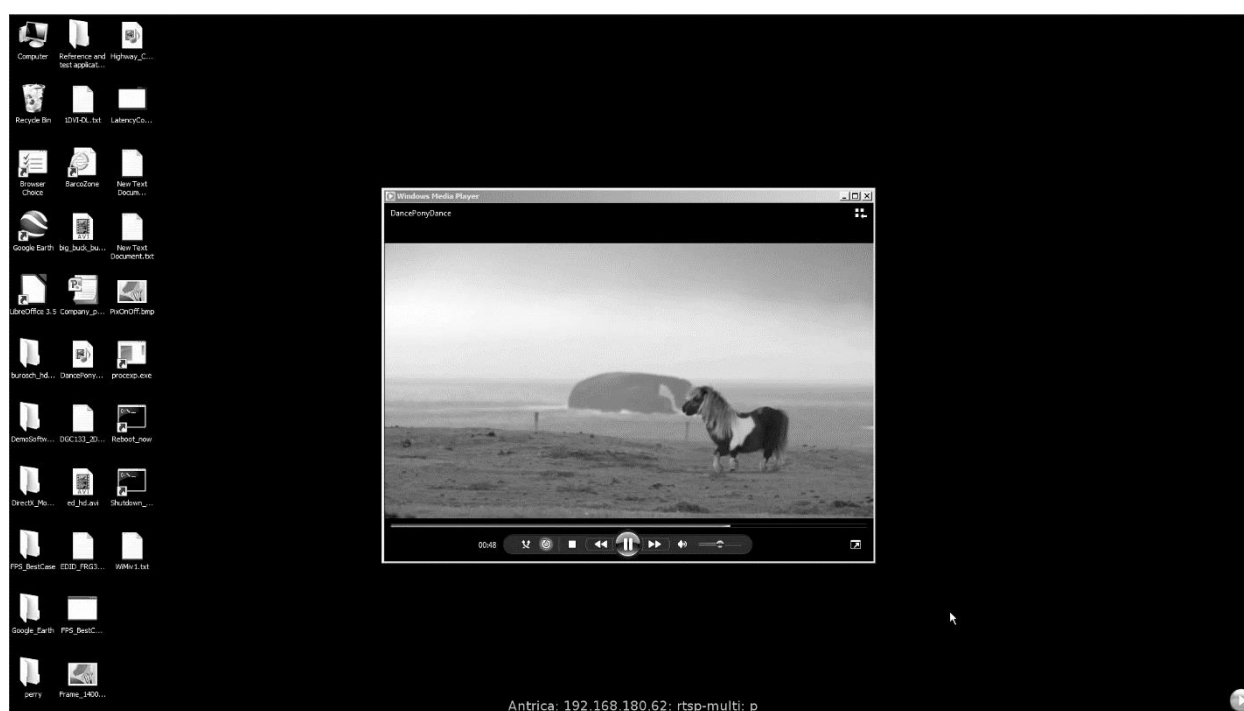
Tablicom 4.1. dan je kratak pregled video sekvenci koje su korištene za testiranje i ugađanje parametara algoritma koji se odnose na detektiranje artefakta smrzavanja slike u digitalnim sekvencama. U tablici su sadržani nazivi sekvenci, njihovo trajanje i rezolucija. Opisi pojedinih sekvenci, zajedno sa slikama okvira iz sekvenci nalaze se u tekstu koji slijedi nakon tablice.

**Tab. 4.1.** Pregled digitalnih testnih sekvenci

| Naziv sekvence                | Trajanje sekvence [s] | Rezolucija sekvence |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------|
| <i>AnalysedVideo</i>          | 69                    | 1920x1080           |
| <i>autumn_freeze_video</i>    | 37                    | 1920x1080           |
| <i>oblaci_freeze_video</i>    | 37                    | 1920x1080           |
| <i>raindrops_freeze_video</i> | 37                    | 1920x1080           |
| <i>raskrizje_freeze_video</i> | 37                    | 1920x1080           |
| <i>starcraft_freeze_video</i> | 37                    | 1920x1080           |

Opis sekvence *AnalysedVideo*:

Sadržaj sekvence je računalno snimljeni sadržaj radne površine s otvorenim programom za reprodukciju videa. Pozadina videa (radna površina) je statična. Video reproduciran u programu za reprodukciju je dinamičan (promjene kadrova, spore promjene). Sekvenca nema šuma niti sadrži dijelove sa smrzavanjima. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.1.



**Sl. 4.1.** Jedan okvir iz sekvence *AnalysedVideo*

Opis sekvence *autumn\_freeze\_video*:

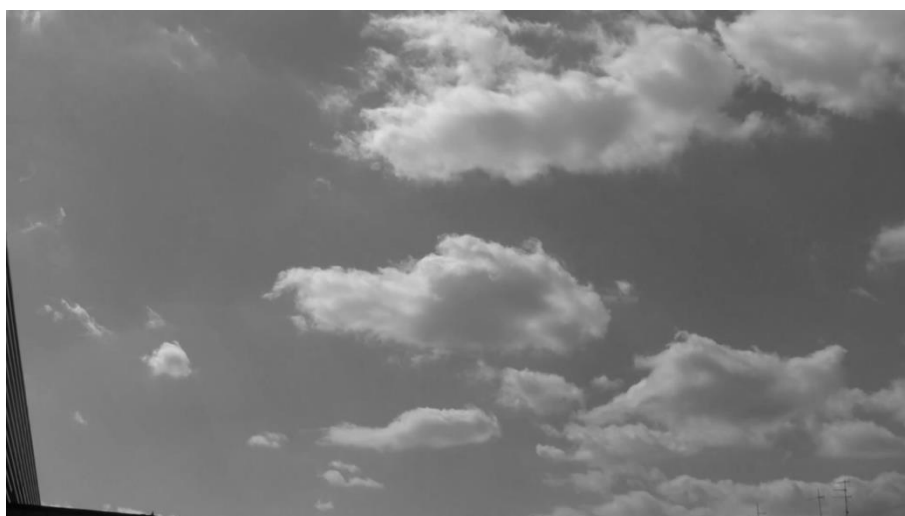
Prikaz šume i rijeke. Njihanje lišća i granja, te kapanje kiše u rijeku čine spore promjene. Nema promjena scena. Sadrži računalno generirana smrzavanja zbog gubitka paketa. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.2.



**Sl. 4.2.** Jedan okvir iz sekvence *autumn\_freeze\_video*

Opis sekvence *oblaci\_freeze\_video*:

Prikaz oblaka na nebu. Izuzetno spore promjene (kretanje oblaka). Nema promjena scena. Sadrži računalno generirana smrzavanja zbog gubitka paketa. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.3.



**Sl. 4.3.** Jedan okvir iz sekvence *oblaci\_freeze\_video*

Opis sekvence *raindrops\_freeze\_video*:

Uvećani prikaz padanja kiše na maloj površini. Pozadina mutna. Fokus na padanju kapljica kiše. Sadržaj bogat detaljima. Brze lokalne promjene. Nema promjena scena. Sadrži računalno generirana smrzavanja zbog gubitka paketa. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.4.



Sl. 4.4. Jedan okvir iz sekvence *raindrops\_freeze\_video*

Opis sekvence *raskrizje\_freeze\_video*:

Prikaz prometno aktivnog raskrižja. Stalne manje promjene (kretanje vozila i pješaka) bez promjene scene. Sadrži računalno generirana smrzavanja zbog gubitka paketa. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.5.



Sl. 4.5. Jedan okvir iz sekvence *raskrizje\_freeze\_video*

Opis sekvence *starcraft\_freeze\_video*:

Dinamičan video računalne igrice s čestim promjenama scena i velikim promjenama između okvira. Sadrži računalno generirana smrzavanja zbog gubitka paketa. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.6.



Sl. 4.6. Jedan okvir iz sekvence *starcraft\_freeze\_video*

#### 4.1.2. Analogne testne sekvence

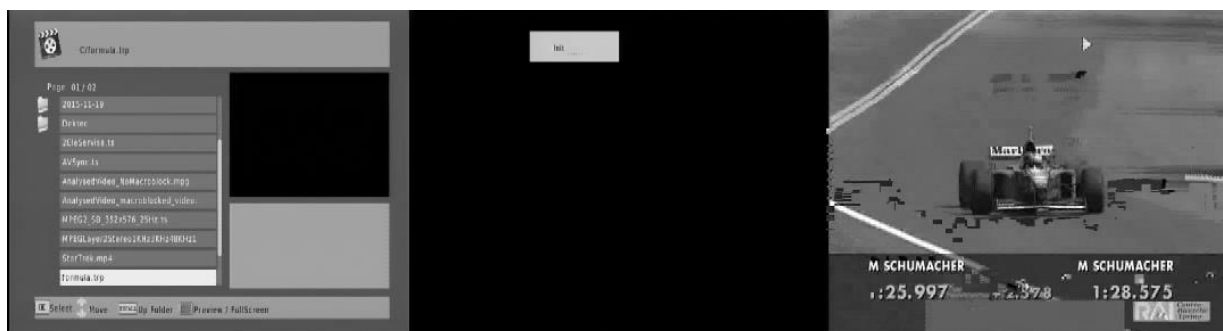
Tablicom 4.2. dan je kratak pregled video sekvenci koje su korištene za testiranje i ugađanje parametara algoritma koji se odnose na detektiranje artefakta smrzavanja slike u analognim sekvencama. U tablici su sadržani nazivi sekvenci, njihova trajanja, te rezolucije. Opisi pojedinih sekvenci, zajedno sa slikama okvira iz sekvenci nalaze se u tekstu koji slijedi tablicu.

Tab. 4.2. Pregled analognih testnih sekvenci

| Naziv sekvence          | Trajanje sekvence [s] | Rezolucija sekvence |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| <i>File_cvbs_fr</i>     | 10                    | 368x288             |
| <i>File_cvbs_fr2</i>    | 10                    | 368x288             |
| <i>File_cvbs_static</i> | 10                    | 368x288             |

Opis sekvence *File\_cvbs\_fr*:

Sekvenca se sastoji od dva statična i jednog dinamičnog dijela. Prvi dio je statični prikaz izbornika za reproduciranje medija s neprekidnim titranjem slike. Drugi dio je također statičan, prikazuje crnu pozadinu s nepomičnom inicijalizacijskom porukom. Nakon inicijalizacije prikazuje se formula u pokretu. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.2., dok su okviri spomenutih dijelova sekvence prikazani slikom 4.7.



Sl. 4.7. Tri okvira iz sekvence *File\_cvbs\_fr*

Opis sekvence *File\_cvbs\_fr2*:

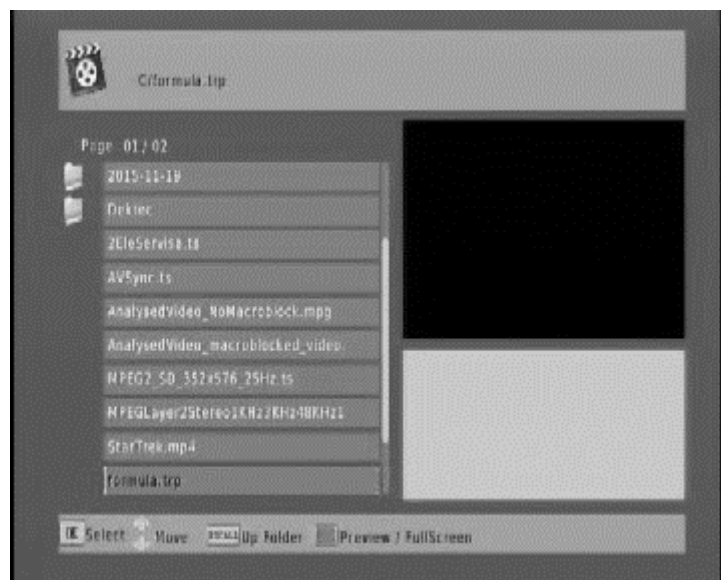
Sekvenca prikazuje automobil u pokretu. Sekvenca je dva puta zaustavljena (uz titranje slike). Obje pauze predstavljaju smrzavanje zbog kašnjenja paketa. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.2., dok su okviri spomenutih dijelova sekvence prikazani slikom 4.8.



Sl. 4.8. Dva okvira iz sekvence *File\_cvbs\_fr2*

Opis sekvence *File\_cvbs\_static*:

Statičan prikaz izbornika za reproduciranje medija, bez ikakvih promjena uz konstantno titranje slike. Karakteristike sekvence nalaze se u tablici 4.1., dok je jedan okvir sekvence prikazan slikom 4.9.



Sl. 4.9. Jedan okvir iz sekvence *File\_cvbs\_static*

## 4.2. Rezultati za digitalne sekvence

U tablici 4.1. nalaze se rezultati VFDS algoritma i novog algoritma (algoritma usporedbe histograma) za digitalne sekvence. Crvenom bojom su označene lažne detekcije, nedetektirana smrzavanja i kasniji početci/završeci detekcije od strane algoritma. U tablici 4.1. PO predstavlja početni okvir smrzavanja, a KO krajnji okvir smrzavanja. U zadnjem stupcu je s  $\bar{T}_o$  označeno prosječno vrijeme obrade jednog okvira video sekvence novo-predloženim algoritmom usporedbe histograma.

**Tab. 4.1.** Rezultati algoritama za digitalne testne sekvence

| Ime video sekvence            | Stvarna smrzavanja: PO – KO                                                                         | Rezultati VFDS [9] algoritma: PO – KO                                                                                                    | Rezultati algoritma usporedbe histograma: PO – KO                                                   | $\overline{T_o}$ [ms] |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>AnalysedVideo</i>          | Kroz cijelu sekvencu nema smrzavanja                                                                | 175 – 189 (lažno)<br>190 – 219 (lažno)<br>638 – 652 (lažno)<br>1092 – 1129 (lažno)                                                       | Nema detekcija smrzavanja                                                                           | 6                     |
| <i>autumn_freeze_video</i>    | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 – 800<br><br>226 – 255 (lažno)<br>360 - 390 (lažno)<br>411 - 535 (lažno)<br>576 - 656 (lažno) | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 6                     |
| <i>oblaci_freeze_video</i>    | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | nije detektirao<br>nije detektirao<br>536 – 575<br>nije detektirao<br>531 – 535 (lažno)<br>411 – 520 (lažno)                             | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 6                     |
| <i>raindrops_freeze_video</i> | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | nije detektirao<br>391 - 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                                                   | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 6                     |
| <i>raskrizje_freeze_video</i> | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | nije detektirao<br>391 - 410<br>536 – 575<br>701 - 800<br>41 – 60 (lažno)                                                                | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 6                     |
| <i>starcraft_freeze_video</i> | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 256 – 265<br>399 – 410<br>543 – 575<br>706 - 800<br>41 - 60<br>266 - 268                                                                 | 256 – 265<br>391 – 410<br>536 – 575<br>701 - 800                                                    | 6                     |
| <i>bf_f1</i>                  | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645                                      | 91 - 120<br>170 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |
| <i>bf_f2</i>                  | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                                                          | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 2                     |

| Ime video sekvence | Stvarna smrzavanja:<br>PO – KO                                                                      | Rezultati VFDS<br>[9] algoritma:<br>PO – KO                                                                                    | Rezultati algoritma<br>usporedbe histograma:<br>PO – KO                                             | $\overline{T_o}$ [ms] |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>bf_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                                          | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 2                     |
| <i>bf_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                                          | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 2                     |
| <i>dv_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645                            | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |
| <i>dv_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                                                | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 2                     |
| <i>dv_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                                          | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 2                     |
| <i>dv_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                                          | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 2                     |
| <i>fc_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>326 - 345<br>nije detektirao<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645<br>449 – 464 (lažno) | 91 - 120<br>170 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |
| <i>fc_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>242 - 300<br>nije detektirao<br>nije detektirao<br>479 – 494 (lažno)                                               | 91 - 155<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 2                     |
| <i>fc_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>nije detektirao<br>539 – 554 (lažno)                                                                               | 91 - 218<br>391 - 510                                                                               | 2                     |
| <i>fc_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450<br>299 – 313 (lažno)                                                                                     | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 2                     |
| <i>hc_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645                            | 91 - 120<br>170 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |

| Ime video sekvence | Stvarna smrzavanja: PO – KO                                                                         | Rezultati VFDS [9] algoritma: PO – KO                                                               | Rezultati algoritma usporedbe histograma: PO – KO                                                          | $\overline{T_o}$ [ms] |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>hc_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                            | 2                     |
| <i>hc_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                      | 2                     |
| <i>hc_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                      | 2                     |
| <i>la_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>170 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645        | 2                     |
| <i>la_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                            | 2                     |
| <i>la_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                      | 2                     |
| <i>la_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                      | 2                     |
| <i>po_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br><b>170</b> - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |
| <i>po_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                            | 2                     |
| <i>po_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                      | 2                     |
| <i>po_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                      | 2                     |
| <i>rb_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br><b>170</b> - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |

| Ime video sekvence | Stvarna smrzavanja: PO – KO                                                                         | Rezultati VFDS [9] algoritma: PO – KO                                                               | Rezultati algoritma usporedbe histograma: PO – KO                                                          | $\overline{T_o}$ [ms] |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>rb_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                            | 2                     |
| <i>rb_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                      | 2                     |
| <i>rb_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 211<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                      | 2                     |
| <i>sd_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br><b>170</b> - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |
| <i>sd_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                            | 2                     |
| <i>sd_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                      | 2                     |
| <i>sd_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                      | 2                     |
| <i>ss_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br><b>170</b> - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |
| <i>ss_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                     | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600                                                            | 2                     |
| <i>ss_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                               | 91 - 210<br>391 - 510                                                                                      | 2                     |
| <i>ss_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                                                                               | 91 - 211<br>391 - 450                                                                               | 91 - 210<br>391 - 450                                                                                      | 2                     |
| <i>tk_f1</i>       | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br>166 - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 91 - 120<br><b>170</b> - 195<br>241 - 270<br>316 - 345<br>391 - 420<br>466 - 495<br>541 - 570<br>616 - 645 | 2                     |

| Ime video sekvence | Stvarna smrzavanja:<br>PO – KO                  | Rezultati VFDS<br>[9] algoritma:<br>PO – KO     | Rezultati<br>algoritma<br>usporedbe<br>histograma:<br>PO – KO | $\overline{T_o}$ [ms] |
|--------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>tk_f2</i>       | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600 | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600 | 91 - 150<br>241 - 300<br>391 - 450<br>541 - 600               | 2                     |
| <i>tk_f4</i>       | 91 - 210<br>391 - 510                           | 91 - 210<br>391 - 510                           | 91 - 210<br>391 - 510                                         | 2                     |
| <i>tk_fr4</i>      | 91 - 210<br>391 - 450                           | 91 - 211<br>391 - 450                           | 91 - 210<br>391 - 450                                         | 2                     |

Za sekvencu *AnalysedVideo* algoritam usporedbe histograma radi bez lažnih detekcija, dok VFDS algoritam daje nekoliko netočnih detekcija. Kod sekvence *autumn\_freeze\_video* algoritam usporedbe histograma je detektirao svako smrzavanje, bez prekida u detekciji. VFDS algoritam je uz ispravne detekcije postojećih smrzavanja dao i četiri duže lažne detekcije. Za sekvencu *oblaci\_freeze\_video* rezultati algoritma usporedbe histograma su bez greške, dok VFDS algoritam nije detektirao tri postojeća smrzavanja, te je imao jednu lažnu detekciju. Kod sekvence *raindrops\_freeze\_video* rezultati algoritma usporedbe histograma su bez greške, dok VFDS algoritam nije detektirao jedno postojeće smrzavanje. Rezultati algoritma usporedbe histograma za sekvencu *raskrizje\_freeze\_video* su bez greške, dok VFDS algoritam nije detektirao jedno postojeće smrzavanje, te je imao jednu lažnu detekciju. Za sekvencu *starcraft\_freeze\_video* su rezultati algoritma usporedbe histograma bez greške, dok je VFDS algoritam imao jednu lažnu detekciju, te veće kašnjenje od uobičajenog pri dvije detekcije. Oba algoritma dala su dobre rezultate za video sekvence iz LIVE Mobile baze. VFDS algoritam nije detektirao neka smrzavanja, te je imao nekoliko lažnih detekcija, dok je algoritam usporedbe histograma detektirao svako smrzavanje uz poneka kašnjenja na početku ili završetku smrzavanja.

### 4.3. Rezultati za analogne sekvence

U tablici 4.2. nalaze se rezultati VFDS algoritma i novog algoritma (algoritma usporedbe histograma). Lažne detekcije od strane algoritma su označene crvenom bojom, dok se nedetektirana smrzavanja mogu uočiti uspoređivanjem sa stvarnim smrzavanjima.

**Tab. 4.2.** Rezultati algoritama za analogne testne sekvence

| Ime video sekvence      | Stvarna smrzavanja:<br>PO – KO              | Rezultati VFDS [9]<br>algoritma:<br>PO – KO | Rezultati algoritma<br>usporedbe<br>histograma:<br>PO – KO     | $\overline{T}_0$ [ms] |
|-------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>File_cvbs_fr</i>     | 1 - 31<br>34 - 69                           | nije detektirao<br>46 - 69                  | 1 - 31<br>34 - 69                                              | 0.6                   |
| <i>File_cvbs_fr2</i>    | 35 - 51<br>87 - 113                         | 35 - 51<br>87 - 113                         | 35 - 51<br>87 - 113                                            | 0.6                   |
| <i>File_cvbs_static</i> | Statično<br>smrzavanje kroz<br>cijeli video | nijedna detekcija                           | Smrzavanje kroz<br>cijeli video<br>detektirano u<br>potpunosti | 0.6                   |

Za sekvencu *File\_cvbs\_fr* rezultati algoritma usporedbe histograma su bez greške. Oba statična dijela videa (izbornik i crni ekran) algoritam je detektirao kao smrzavanje. VFDS algoritam nije detektirao statični izbornik kao smrzavanje, zbog titranja slike. Rezultati dobiveni za sekvencu *File\_cvbs\_fr2* su kod oba algoritma bez grešaka. Kod sekvence *File\_cvbs\_static*, rezultati algoritma usporedbe histograma su bez grešaka. VFDS algoritam nije detektirao nijedno smrzavanje, iako je ono konstantno kroz cijelu sekvencu.

#### 4.4. Analiza rezultata

Algoritam usporedbe histograma je pokazao odlične rezultate, u usporedbi s VFDS algoritmom. Također, pokazao se robusnim, obzirom na sadržaj testnih sekvenci. Izostanak lažnih detekcija, te detekcija svakog smrzavanja u digitalnim i analognim sekvencama ukazuju na to da će algoritam na bilo kojim drugim sekvencama davati željene rezultate. Kako su određeni parametri algoritma ugađani prema potrebama testnih sekvenci (analogne/digitalne), tako je parametre moguće prilagoditi potrebama drugih sekvenci (ovisno o razini šuma u njima, njihovoj rezoluciji, izvoru sekvenci, dinamici videa), što omogućuje sigurnost primjene algoritma, bez obzira na pozadinu i prirodu sekvenci koje bi algoritam obrađivao.

Izrada algoritma bila je usmjerena njegovim testiranjem na sekvencama koje su problematične za VFDS algoritam (šum u analognim sekvencama, spore promjene pojedinih scena), zbog čega su dobiveni rezultati posebno uspješni, jer ne samo da algoritam usporedbe histograma radi dobro za sekvence normalnih sadržaja i računalno generirana smrzavanja, nego i sekvence čiji su sadržaji na granici između smrzavanja sa šumom i sporih promjena.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovim radom dana je teorijska podloga potrebna za razumijevanje problematike detekcije smrzavanja slike u videu, predstavljena su neka od postojećih rješenja tog problema, realizirano je i opisano vlastito rješenje, te su dani rezultati, kao i usporedba s jednim od rješenja.

Kako je glavni zadatak diplomskog rada bio unaprijediti postojeći ili razviti vlastiti algoritam za detekciju smrzavanja, naglasak rada je stavljen upravo na vlastito rješenje. Prema rezultatima, ono je nadmašilo neka postojeća, uz ostvarivanje izrazito boljih rezultata pri detekciji smrzavanja slike u videima s prisutnim šumom.

Testiranjem algoritma nisu uočene slabosti, jer je podešavanjem razina pragova detekcije aktivnosti moguće ispravno detektirati smrzavanja u svakom videu. Na temelju toga se može zaključiti kako je algoritam vrlo robustan, a eventualne loše detekcije mogu biti ispravljene modificiranjem pragova detekcije aktivnosti, kao i promjenom veličine osnovne regije detekcije.

## LITERATURA

- [1] M. A. Usman, M. R. Usman i S. Y. Shin, "The Impact of Temporal Impairment on Quality of Experience (QoE) in Video Streaming: A No Reference (NR) Subjective and Objective Study", *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, svez. 9, br. 8, str. 1789 - 1796, kolovoz 2015.
- [2] M. A. Usman, M. R. Usman i S. Y. Shin, "Performance Analysis of a No-Reference Temporal Quality Assessment Metric for Videos Impaired by Frame Freezing Artefacts", *International Journal of Future Computer and Communication*, svez. 4, br. 1, str. 40 - 44, veljača 2015.
- [3] M. A. Usman, Performance evaluation of video quality assessment methods based on frame freezing, Blekinge: Blekinge Institute of Technology, 2014.
- [4] A. Boev, D. Hollosi, A. Gotchev i K. Egiazarian, "Classification and simulation of stereoscopic artifacts in mobile 3DTV content", u *Stereoscopic Displays and Applications*, San Jose, 2009.
- [5] Y. Xue, B. Erkin i Y. Wang, "A Novel No-Reference Video Quality Metric for Evaluating Temporal Jerkiness due to Frame Freezing", *IEEE Transactions on Multimedia*, svez. 17, br. 1, str. 134 - 139, 2015.
- [6] M. Ghanbari i Q. Huynh-Thu, "No-Reference Temporal Quality Metric For Video Impaired By Frame Freezing Artefacts", u *International Conference on Image Processing (Image Process)*, Las Vegas, 2009.
- [7] S. Wolf, "A No Reference (NR) and Reduced Reference (RR) Metric for Detecting Dropped Video Frames", u *Fourth International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, Scottsdale, 2009.
- [8] S. Borer, "A model of jerkiness for temporal impairments in video transmission", u *Quality of Multimedia Experience*, Trondheim, 2010.
- [9] V. Zlokolica, V. Pekovic, N. Teslic, T. Tekcan i M. Temerinac, "Video Freezing Detection System for End-user Devices", *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, str. 81 - 82, 2011.
- [10] A. K. Moorthy, L. K. Choi, A. C. Bovik i G. deVeciana, "Video Quality Assessment on Mobile Devices: Subjective, Behavioral and Objective Studies", *IEEE Journal of Selected*

*Topics in Signal Processing*, svez. 6, br. 6, str. 652 - 671, listopad, 2012..

- [11] A. K. Moorthy, L. K. Choi, G. deVeciana i A. C. Bovik, "Mobile Video Quality Assessment Database", u *IEEE ICC Workshop on Realizing Advanced Video Optimized Wireless Networks*, Ottawa, 2012.
- [12] A. K. Moorthy, L. K. Choi, G. deVeciana i A. C. Bovik, "Subjective Analysis of Video Quality on Mobile Devices", u *Sixth International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics (VPQM)*, Scottsdale, 2012.

## **SAŽETAK**

U ovom radu opisana je klasifikacija objektivnih metoda ocjene kvalitete video sekvence. Prikazana je manifestacija artefakta smrzavanja slike u videu pri prijenosu videa mrežom. Dan je pregled postojećih algoritama za detekciju artefakata smrzavanja. Predstavljen je vlastiti algoritam za detekciju artefakta smrzavanja pri prijenosu videa mrežom, temeljen na pristupu bez izvorne reference. Rezultati dobiveni vlastitim algoritmom uspoređeni su s postojećim algoritmima za detekciju artefakata smrzavanja slike. Novi algoritam pokazao je visoke performanse i visoku razinu robusnosti.

### **Ključne riječi:**

objektivne metode, artefakt smrzavanja slike, algoritam bez pristupa informacijama o referentnom videu

# **DETECTION OF FREEZING ARTIFACT IN VIDEO**

## **ABSTRACT**

This work describes the classification of objective methods used in video quality assessment. Manifestation of freezing artefacts is presented. An overview of existing algorithms for the detection of freezing artefacts is shown. In this work, a novel algorithm for no-reference video freezing detection is proposed. Results obtained from the proposed algorithm are compared to those of existing algorithms for video freezing detection. New algorithm shows the high performance and high level of robustness.

### **Keywords:**

objective methods, freezing artefacts, no-reference algorithm

## ŽIVOTOPIS

Danijel Babić rođen je 7. 7. 1992. godine u Vinkovcima. Prirodoslovno-matematičku gimnaziju pohađa i završava u Županji 2011. godine. Tijekom cijelog osnovnoškolskog i srednjoškolskog obrazovanja natječe se iz matematike i informatike i ostvaruje sljedeće rezultate: 1. razred Gimnazije – 2.mjesto na Županiji na natjecanju iz matematike, 2. razred Gimnazije – 3.mjesto na Županiji na natjecanju iz matematike, 3. razred Gimnazije – 1. mjesto na Županiji na natjecanju iz matematike, 4. razred Gimnazije – 2.mjesto na Županiji na natjecanju iz matematike s pozivom na Državno natjecanje, 1.mjesto na Županiji na natjecanju iz informatike. Trenutno je student 2. godine sveučilišnog diplomskog studija procesnog računarstva na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku (prosjek ocjena 4.56), te stipendist/praktikant instituta RT-RK Osijek d.o.o. Engleski jezik aktivno govori, čita i piše, njemački jezik pasivno govori, čita i piše. Poznavanje rada na računalu: MS Office, MATLAB, C/C++, HTML, PHP, rad s bazama podataka, OOP. Ima položen vozački ispit B kategorije.