

MJERENJA KVALITETE SLIKE U MULTIMEDIJSKIM APLIKACIJAMA

Matković D.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Pojava brojnih i različitih digitalnih formata za prijenos komprimiranog videosadržaja uzrokovala je razvoj i implementaciju novih mjernih postupaka za ocjenu kvalitete slike. Cilj je postići takvo objektivno vrednovanje kvalitete slike kod kojega je procijenjena kvaliteta slike što bliža onoj kod subjektivnog vrednovanja. Drugim riječima postupkom se predviđa kvaliteta slike koju bi dao prosječni promatrač. Za definiranje mjernih postupaka koriste se rezultati iz tri područja istraživanja: osobine ljudskog vida, obilježja visokokvalitetnih slika i izobličenja (pogreška) u slici. U ovom radu dan je pregled postupaka za objektivno vrednovanje kvalitete slike. Navedene su prednosti i nedostaci pojedinog postupka te naznačeni smjerovi budućeg razvoja.

Ključne riječi : Subjektivno vrednovanje kvalitete slike. Objektivno vrednovanje kvalitete slike. Percepcija kvalitete slike.

Abstract: The recent expansion of numerous digital formats for compressed video content transmission led to the development of new image quality measures. The idea is to provide a numerical, thus objective measures of image quality that would correlate well to the subjective human perceptions. With the proposed algorithms, one would obtain the image quality measure of an average observer. Generally, three areas of research need to be implemented in this process: human visual system (HVS), high-quality image characteristics and image distortions. This paper gives a review of existing objective image quality measures. The advantages and limitations of each method are also given, as well as guidelines for the future work.

Key words: Subjective Image Quality Measures. Objective Image Quality Measures. Perceptual image processing.

1. UVOD

U nedavnoj prošlosti gledanje televizijskog programa svodilo se na TV prijamnike kod kuće i na javnim mjestima. Kontrola kvalitete slike svodila se na mjerenje i kontrolu parametara sklopova i uređaja unutar cijelog

videolanca od kamere do TV prijamnika mjernim ispitnim signalima [1]. Ispitni signali koncipirani su tako da se njihovim prolaskom kroz videolanac mogu iz njihovog oblika ocijeniti linearna i nelinearna izobličenja pojedinih sklopova. Na temelju ovih izobličenja zaključivalo se o stupnju izobličenja televizijske slike, odnosno o njenoj kvaliteti. Kako ovakva mjerenja daju iste rezultate neovisno o broju ponovljenih mjerenja, nazivaju se objektivnim mjerenjima. U samom razvoju i definiranju tehničkih karakteristika analognog televizijskog sustava dominirale su s jedne strane tehničke mogućnosti i okruženje, tehničko-tehnološka ograničenja, složenost i isplativost konstrukcije uređaja i političke odluke, a s druge strane korektna i zadovoljavajuća reprodukcija najprije crno-bijele, a zatim i slike u boji. Kod definiranja korektno reprodukcije slike u boji dugi niz godina primjenjuje se ITU-R BT.500 norma [2] (prvo izdanje 1974. poznato kao CCIR Rec.500, verzija 7, s naslovom: „Metodologija za subjektivnu procjenu kvalitete televizijske slike“) kao metoda za subjektivnu procjenu kvalitete televizijske slike u boji. Ovom normom definirani su uvjeti pod kojima se vrednuje kvaliteta televizijske slike. Uvjetima su obuhvaćene i definirane: vrste zaslona (ekrana), razdaljina s koje se gleda zaslon, ambijent u kojem se gleda i osobine ljudskog vida. U svakoj etapi razvoja televizijskog sustava provodila su se i danas se provode opsežna mjerenja subjektivne ocjene kvalitete televizijske slike prema navedenoj normi.

Danas se televizijski program prenosi u digitalnom obliku preko radiodifuzijske mreže, u satelitskom prijenosu, u kabelskom prijenosu, unutar internetske mreže i preko mobilnih telekomunikacija. Televizijska slika se može pratiti na TV prijammiku u standardnoj kvaliteti (SD-Standard Definition) i visokoj kvaliteti (HD-High Definition), na stolnom i prijenosnom računalu, na mobilnim telefonskim uređajima i u digitalnim kinima u dobro definiranim uvjetima gledanja. Integriranjem (konvergencijom) tehnologija komunikacija, informatičke tehnologije (IT) i televizijske tehnologije omogućeno je pristupiti TV programima iz cijelog svijeta na bilo kojoj lokaciji i u bilo koje vrijeme. Razvojem LCD (Liquid Crystal Display- zaslonski s tekućim kristalima) i plazma ekrana (PDP-Plasma

Display Panel- zasloni s plemenitim plinovima pobuđivanim u stanje plazme) pojavile su se i različite veličine istih (od veličina na mobilnim uređajima (LCD) do veličina kino platna (PDP)). Istovremeno razvijeno je mnoštvo digitalnih vrsta formata za zapisivanje i prijenos audio/video sadržaja. Omjerom kompresije i kvalitetom algoritama za komprimiranje slike određena je kvaliteta televizijske slike. Polazište stvaranja televizijske slike su slikovni senzori (CCD(Charge Coupled Device-sklop s prijenosom naboja) -izvor analognog RGB signala (R- red, G-green, B- blue, crvena, zelena, plava komponenta videosignala slike u boji), CMOS (SoC-System on Chip, Complementary Metal-Oxide Semiconductor-komplementarna MOS tehnologija) -izvor digitalnog RGB signala i slikovni senzor u razvojnoj fazi OOLI (Organic Optical Layered Imager) koji nema sustav optičkih prizmi i s cijelom elektronikom za digitalnu obradu signala se nalazi na jednom integriranom krugu [3]). Slikovni senzori su razvrstani prema definiranim rezolucijama slike, broju analiziranih slika u sekundi (u progresivnom (p) ili s proredom (i-interlace) načinu analize), veličini šuma u slici, osjetljivosti, dinamičkom opsegu, veličini zamućivanja (smear) i vrijednosti aliasing-a (pojava oblika i struktura u analiziranoj slici kojih nema u originalnoj slici koja se analizira). Neke od standardnih rezolucija i veličina televizijske slike (Europa) su :HD formati (1920x1080)/(50i ili 50p) i (1280x720)/50p, SD format (720x576)/50i, videokonferencijski format (CIF): (352x288)/30p i format slike za mobilne uređaje (180x144)/30p.

U novonastalim uvjetima različitih formata kod snimanja, različitih algoritama za kompresiju i digitalnih formata za zapis i prijenos audio/video sadržaja do reprodukcije na različitim zaslonima i vrlo različitim uvjetima gledanja, traži se novi pristup u mjerenju i vrednovanju kvalitete televizijske slike.

2. VREDNOVANJE KVALITETE TELEVIZIJSKE SLIKE U ANALOGNIM TELEVIZIJSKIM SUSTAVIMA

Tijekom više od pola stoljeća postoji relativno jednostavan model analiziranja analognog videosustava. Analizom ispitnih signala [1] u pojedinim točkama cijelog prijenosnog sustava zaključuje se o tehnički ispravnoj televizijskoj slici. S istim mjernim instrumentima (osciloskop, vektorskop i monitor) kontrolira se korektnost prijenosa luminantnog (Y) i krominantnih (U, V) signala. Jedan od ključnih parametara dobiven u mjerenjima je omjer signal/šum i čvrsto je povezan sa kvalitetom reproducirane slike. Ujedno je omjer signal/šum televizijskog signala čvrsto povezan sa rezultatima dobivenim subjektivnim vrednovanjem kvalitete slike. Ispitnim signalom reproduciranim na televizijskom zaslonu (kromatske pruge) moguća je potpuna interpretacija kvalitete prijenosa sustava i ocjena veličine izobličenja reproducirane slike. Mjerenja se mogu provoditi u proizvodnim linijama, javnim servisima (za vrijeme

odvijanja programa) ili kod dijagnosticiranja uzroka pojave određenih izobličenja u slici unutar televizijskog sustava. Kako rezultati mjerenja ne ovise o broju mjerenja i uvjetima pod kojima se mjerenja izvode, a jednoznačno vrednuju kvalitetu reproducirane slike, nazivaju se ova mjerenja objektivnim.

Pored objektivnih mjerenja od samih početaka razvoja televizije definirana je metoda subjektivne procjene kvalitete televizijske slike [2]. Subjektivnim mjerenjem ocjenjuje se kvaliteta određenog videosadržaja od strane odabrane grupe ljudi prema određenim pravilima ocjenjivanja. Ovakvim testiranjima ocjenjuje se kvaliteta sustava u optimalnim uvjetima i najnepovoljnijim očekivanim tehničkim uvjetima. Ova testiranja uključuju različite metode mjerenja i uvjeta pod kojima se mjerenja odvijaju. Prednosti ovakvog načina ocjenjivanja kvalitete slike su: dobiveni rezultati jednako su vrijedni i za komprimirane i za nekomprimirane videosadržaje, dobiveni brojevi podaci dobro se slažu kod vrednovanja i mirnih slika i slika sa promjenljivim sadržajem. Nedostaci su: vrlo veliki broj metoda i parametara se koristi prilikom testiranja, brojni su i strogi uvjeti pod kojima se testiranja odvijaju, veliki broj ljudi se mora odabrati i pripremiti za testiranje, cjelokupno testiranje zahtjeva mnogo vremena i vrlo je skupo. Rezultat je da su ovakvi testovi izuzetno dobri u svrhu razvoja određenog sustava i nisu pogodni kod praktičnih svakodnevnih potreba kontrole kvalitete televizijske slike u proizvodnim linijama, javnim servisima (za vrijeme odvijanja programa) ili kod dijagnosticiranja uzroka pojave određenih izobličenja u slici.

3. VREDNOVANJE KVALITETE DIGITALNOG VIDEOSIGNALA U MULTIMEDIJSKIM SUSTAVIMA

Analogno-digitalnom konverzijom video signala (definiranom Rec. ITU-R BT.601 normom [4]) usložnjavaju se mjerenja potrebna za kontrolu ispravnosti prijenosnog sustava. Osim kontrole analognog komponentnog signala (Y-luminantna komponenta, $U=B-Y$ i $V=R-Y$ – krominantne komponente) kontroliraju se: kodirani videosignal, digitalni formati videosignala i digitalni valni oblici videosignala. Ispitni signal je i dalje od ključne važnosti za ocjenu kvalitete reprodukcije slike u boji . Mjerenjem ispitnih signala u multimedijским sustavima s nekomprimiranim videosignalom dobiva se podatak o korektnoj reprodukciji televizijske slike. Razlog leži u linearnosti sustava, odnosno unutar sklopova su moguća superponiranja signala a fazna karakteristika sklopova je linearna.

Nakon kompresije digitalnog videosignala nestaje korelacija između izobličenja mjernog ispitnog signala i kvalitete televizijske slike. Objektivna mjera vršni omjer signal/šum (PSNR-peak signal to noise ratio) definiran je kao:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{L^2}{MSE} \quad (1)$$

obrnuto je proporcionalan srednjoj kvadratnoj greški (Mean Squared Error-MSE).

L je dinamičko područje signala ($L=2^8-1=255$ za primjer crno bijele slike s 8 bita/slikovnom elementu) a

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \quad (2)$$

je srednja kvadratna greška, gdje je x originalna slika a y slika s izobličenjem čija se kvaliteta vrednuje.

MSE je najčešće korištena mjera za procjenu objektivne kvalitete slike. Njen velik nedostatak je mala korelacija sa subjektivnom procjenom kvalitete slike. Razlog leži u činjenici da ne uzima u obzir osobine ljudskog vida, odnosno ne vrednuje pogreške u slici na način kako se taj proces vrednovanja odvija u ljudskoj svijesti. Pretpostavke koje su sadržane primjenom MSE su sljedeće :

1. Percepcija kvalitete slike nezavisna je od prostornih odnosa pojedinih elemenata unutar slike. Kao rezultat svaka promjena u redoslijedu elementa slike neće utjecati na izobličenje slike.
2. Percepcija kvalitete slike nezavisna je od odnosa između elemenata originalne slike i pogrešaka koje se elementima slike superponiraju. Kao rezultat za istu veličinu pogreške superponiranu originalnoj slici, nezavisno od sadržaja originalne slike, veličina izobličenja će biti ista.
3. Percepcija kvalitete slike određena je jedino veličinom pogreške. Kao rezultat promjenom predznaka pogreške po pojedinom elementu slike neće se utjecati na izobličenje slike.
4. Svi slikovni elementi su od jednake važnosti kod percepcije kvalitete slike.

Ni jedna od navedenih pretpostavki nije u skladu sa osobinama ljudskog vida. Dakle, bilo koja druga metoda za procjenu kvalitete komprimiranih slika mora uvažiti nedostatke MSE postupka. Sustavi za procjenu kvalitete komprimiranih slika temelje se općenito na poznavanju: originalne slike, vrste pogrešaka (izobličenja) superponiranih elementima slike i modelu osobina ljudskog vida (slika 3.1.). Tri su danas poznata sustava unutar kojih su razvijene metode vrednovanja kvaliteta komprimiranih slika:

1. Vrednovanje kvalitete slike korištenjem originalne slike kao referentne (Full-Reference, **FR**).
2. Vrednovanje kvalitete slike bez referentne slike (No-Refernce, **NR**).

3. Vrednovanje kvalitete slike korištenjem manjeg broja određenih obilježja iz originalne slike kao referentne (Reduced-Reference, **RR**).



Slika 3.1. Područja istraživanja uključena u sustave za procjenu kvalitete komprimiranih slika.

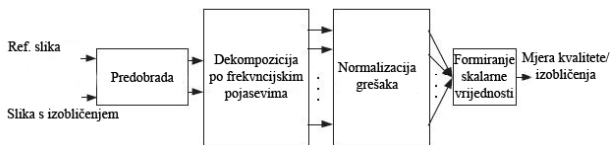
Osim toga neki sustavi objektivnog vrednovanja kvalitete razvijeni su za određene, konkretne primjene. Na primjer onima koje kod kompresije koriste diskretnu kosinusnu transformaciju (DCT) ili onima koje koriste wavelet transformaciju (WT). U takvim slučajevima sustavi su jednostavniji zbog unaprijed poznatih vrsta pogrešaka. S druge strane oni su ograničeni samo za aplikacije za koje su razvijeni.

Da bi se dobila visoka korelacija objektivnog i subjektivnog mjerenja mora u objektivno mjerenje biti uključen model osobine ljudskog vida. Simulaciju modela osobine ljudskog vida se može ostvariti na dva načina. Jedan način je predstaviti svaku pojedinu osobinu ljudskog vida s određenim elementarnim funkcionalnim blokom i zatim sve blokove povezati u sustav. Ovakav pristup sličan je pristupu analiziranja rada organa ljudskog vida rastavljenog na niz funkcionalnih jedinica (blokova) povezanih u cjelinu. Drugi način je simuliranje cjeline sastavljene od svih organa koji sudjeluju u procesu stvaranja slike u svijesti čovjeka. Ovdje je model ljudskog vida predstavljen kao crna kutija kod koje su poznati samo ulazno-izlazni odnosi. Prvi način nazvan je modeliranje od dna prema vrhu (Bottom-Up), dok je drugi nazvan modeliranje od vrha prema dnu (Top-Down) ljudskog vida. Oba načina modeliranja imaju svoje prednosti i nedostatke a oštru granicu između njih nije moguće povući. Strogo gledano ovakva podjela posljedica je korištenja dvaju koncepcija u pristupu izrade modela. Kod realiziranih modela algoritmi sadrže elemente i jedne i druge koncepcije. Elementi koji budu više prevladavali u modelu odredit će o kojoj koncepciji je riječ.

3.1. Vrednovanje kvalitete slike korištenjem originalne slike kao referentne

3.1.1. Modeliranje od dna prema vrhu

Ovom metodom simulira se rad organa ljudskog vida na način da se u algoritme implementiraju pojedine osobine ljudskog vida u cilju postizanja vrednovanja kvalitete slike što sličnije odnosno vjernije ljudskom vizualnom sustavu. Mnogi modeli FR sustava zasnovani na ovoj koncepciji iskorištavaju princip najmanje još vidljive pogreške u slici (slika 3.2.). Svaka razlika između originalne i izobličene slike uzima se kao pogreška i vrednuje se (ponderira) na način ljudskog vizualnog sustava, odnosno prema poznatim osobinama ljudskog vida.



Slika 3.2. Model FR sustava vrednovanja kvalitete slike prema principu najmanje još vidljive pogreške u slici.

Stupanj predobrade obuhvaća: prostorno poravnavanje originalne (referentne) i izobličene (koja se vrednuje) slike, transformaciju prostora boja, lokalnu nelinearnost (koja se primjenjuje kod pretvaranja digitalne vrijednosti iz memorije računala u luminanciju piksela a na temelju osobina ljudskog vida), karakteristike optičkog dijela oka i karakteristike osjetljivosti vizualnog sustava na kontrast. Sljedeći stupanj temeljen na funkcioniranju i građi neurona od oka do primarne vidne kore mozga obuhvaća rastavljanje signala slike na mnogo frekvencijskih pojaseva. Za dekompoziciju slike na frekvencijske pojaseve koriste se različite transformacije: Fourierova, Gaborova, diskretna kosinusna transformacija, wavelet transformacija i polarna wavelet transformacija. Međutim, nema jasnog odgovora koja od spomenutih transformacija daje najbolju aproksimaciju prvog stupnja obrade vizualne informacije u ljudskom vizualnom sustavu. U stupnju za normalizaciju pogrešaka obrađuju se razlike između koeficijenata originalne i izobličene slike ponderiranjem prema karakteristikama ljudskog vizualnog sustava. Zadnji stupanj ovoga sustava osigurava objedinjavanje normaliziranih pogrešaka svih frekvencijskih pojaseva i formiranje skalarnih vrijednosti kojom se objektivno vrednuje kvaliteta izobličene slike.

Razvijen je veliki broj modela prema koncepciji modeliranja od dna prema vrhu a prema principu najmanje još vidljive pogreške. Neki od njih su: Dalyjev model [5,6], Lubinov model [7,8], Safranek-Johnsonov model [9], Watsonov wavelet model [10] i drugi. Važno je naglasiti da svi modeli imaju svoja ograničenja i nedostatke. Ograničenja proizlaze iz nemogućnosti potpunog simuliranja vizualnog sustava, a iz toga proizlazi nemogućnost točnog vrednovanja kvalitete slike. Nemogućnost potpunog simuliranja

posljedica je vrlo složenog vizualnog sustava s mnogim nelinearnostima u sebi. Posljedica ovih ograničenja je i smanjena korelacija između subjektivnog i objektivnog mjerenja kvalitete slike.

3.1.2. Modeliranje od vrha prema dnu

Modeli zasnovani na ovoj koncepciji za vrednovanje kvalitete slike mogu raditi na potpuno različiti način od rada ljudskog vizualnog sustava. Važno je s modelima postići vrednovanje kvalitete slike što bliže vrednovanjima prosječnog promatrača.

Dva su pristupa unutar ove koncepcije razvijena: pristup određivanja sličnosti struktura i informacijsko-teoretski pristup. Oba pristupa koriste najvjernije hipoteze funkcioniranja ljudskog vizualnog sustava. Algoritmi su na ovaj način maksimalno pojednostavljeni i ovise jedino o ispravnosti korištene hipoteze. Hipoteze se formuliraju na temelju tri izvora: poznavanju ljudskog vizualnog sustava, poznavanju statističkih svojstava slike i poznavanju pogrešaka u slici.

3.1.2.1. Pristup određivanja sličnosti struktura

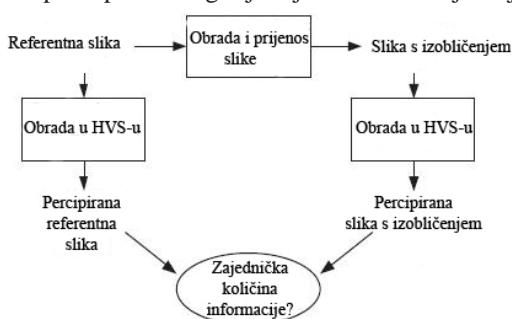
Uzorci signala slike pokazuju veliku međusobnu korelaciju koja je ujedno pokazatelj količine informacije sadržane u strukturi objekata obuhvaćenih određenom scenom. Glavna ideja pristupa određivanja sličnosti struktura osniva se na činjenici da ljudski vizualni sustav vrlo uspješno izdvaja informacije vezane za strukture u slici pa se zbog toga može upotrijebiti kod mjerenja sličnosti struktura kao dobra aproksimacija subjektivnog vrednovanja kvalitete slike. Za implementaciju ovog pristupa u određeni algoritam mora se odgovoriti na dva pitanja: kako definirati strukturalna i nestrukturalna izobličenja i kako ih izdvojiti? Odgovor su dale dvije metode: indeks sličnosti struktura (SSIM-Structural Similarity Index) [11] i indeks sličnosti struktura promatran u kompleksnoj wavelet domeni (CW-SSIM-Complex Wavelet Domain Structural Similarity Index) [12]. Metode su se pokazale vrlo uspješne u vrednovanju kvalitete slike u usporedbi s ostalim metodama u sustavima koji koriste referentnu sliku (FR). Iznimno dobrim su se pokazale kod mirnih slika komprimiranih prema normama JPEG i JPEG2000 [13,14] kod kojih su greške uzrokovane različitim stupnjem kompresije vrlo različite (aditivni Gaussov šum, zamućenja, brzo promjenljive veličine grešaka) [15].

3.1.2.2. Informacijsko-teoretski pristup

Osnovna ideja ovoga pristupa vrednovanja kvalitete slike prikazana je na slici 3.3. U ovom pristupu ljudski vizualni sustav – HVS modelira se kao kanal koji dostavlja mozgu određenu količinu informacije o slici. Postavlja se pitanje kolika je količina informacije na izlazu tog kanala za izobličenu sliku u odnosu na količinu informacije za referentnu sliku. Važan aspekt

ovoga pristupa je pojam „vjernost informacije“ za razliku od pojma „vjernost signala“. Vjernošću signala mjeri se razlika referentne i izobličene slike. Vjernošću informacije stavlja se u odnos kvaliteta slike i količina informacije u vrednovanoj izobličenoj i referentnoj slici. Ova količina informacije precizno je definirana mjera u teoriji informacija poznata kao uzajamna količina informacija. Uzajamna količina informacija je statistička mjera „vjernosti informacije“ s malom korelacijom s količinom informacija percipiranom ljudskim vidom. Usprkos tome njome je određena ukupna spoznajna količina informacije izdvojena iz slike uz uvjet da su modeli izvora slike, kanala izobličene slike i kanala referentne slike dobro odabrani.

Algoritmi zasnovani na informacijsko-teoretskom pristupu [16,17] pokazali su se dobri u usporedbi s prethodno navedenim algoritmima [15]. Na izgled se može uzeti da, kako postoje konačna ograničenja algoritama za vrednovanje kvalitete slike, tako ovakvi različiti pristupi konvergiraju k jedinstvenom rješenju.



Slika 3.3. Informacijsko-teoretski pristup vrednovanja kvalitete slike.

3.2. Vrednovanje kvalitete slike bez referentne slike

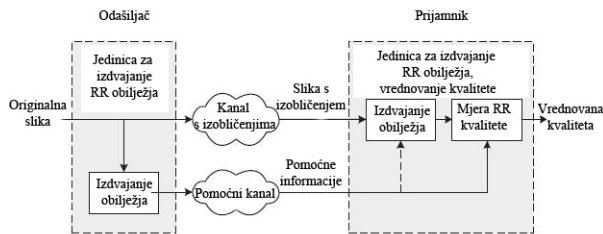
Modeli NR sustava vrednovanja kvalitete slike su najzahtjevniji za realizaciju iako su jednostavne koncepcije. Objektivno mjerenje se provodi u sustavu bez poznavanja originalne slike. Na prvi pogled izgleda nemoguće kvantitativno procijeniti izobličenje slike bez poznavanja referentne slike. Za ljude ovaj zadatak i nije tako težak. Većina će uočiti i kvalificirati pogreške u slici, iako nije vidjela originalnu sliku. Razlog leži u korištenju pamćenja već viđenih scena kod vrednovanja kvalitete slike. Poznavanjem izobličenja koja se u slici mogu pojaviti kod primjene određenog sustava dolazi se do jednostavnijih modela u odnosu na modele namijenjene za sve sustave. Dvije glavne koncepcije primjenjene su u razvoju modela NR sustava za vrednovanje kvalitete slike. Prema prvoj koncepciji mjerenje se zasniva na određivanju vrste i veličine određenih pogrešaka u slici. Prema drugoj mjerenje se oslanja na prethodnom poznavanju statističkih obilježja slika. Statistička obilježja slika neovisna su od izobličenja koja se u njima mogu pojaviti. Ova koncepcija bi se mogla pokazati dobrom kod izrade

modela namijenjenog za bilo koju aplikaciju. Kod točno određenih aplikacija kao što su JPEG, MPEG-1, MPEG-2 i H.26x [13,18-21] mjere se pogreške najčešće generirane DCT (Discrete Cosine Transform-diskretna kosinusna transformacija) postupkom transformacije primjenjenog na blokove prilikom kodiranja slika. Pogreške koje se ovdje javljaju su vidljivost blokova (blocking artifact) u slici (posljedica podjele slike na blokove od 8x8 elemenata slike) i zamućenje (interblock blurring) unutar blokova slike. Kod aplikacija baziranih na wavelet transformaciji, norma JPEG2000, pogreške su drugačijeg karaktera (pojava kontura oko objekata na slici) i modeli za vrednovanje kvalitete slike prilagođeni su njima [22]. Kod aplikacija baziranih na DCT transformaciji razvijene su metode u prostornoj domeni [23] i frekvencijskoj domeni [24]. Metode u prostornoj i frekvencijskoj domeni se zasnivaju na izdvajanju određenih obilježja slike, koje sudjeluju kod subjektivnog vrednovanja kvalitete slike, u prostornu odnosno u frekvencijsku domenu. Pojava pogrešaka u slici se na taj način vrednuje u jednoj ili drugoj domeni. Dosadašnji modeli NR sustava pokazuju ispravnost u pristupu i primjeni određene koncepcije, ali ostavljaju otvoreno područje istraživanja i raznolike praktične primjene.

3.3. Vrednovanje kvalitete slike korištenjem manjeg broja određenih obilježja iz originalne slike kao referentne

Modeli RR sustava vrednovanja kvalitete slike relativno su novi u području istraživanja u odnosu na modele FR i NR sustava. Koncipirani su prvi puta 1990. godine za vrlo konkretne potrebe u razvoju sustava multimedijских komunikacija. Želja za stalnim praćenjem promjenljive veličine vizualnog izobličenja u slici (odnosno gubitka kvalitete videosignala) izazvane u prijenosu kompleksnim komunikacijskim mrežama dovela je do kompromisnog rješenja između modela FR i NR sustava. Modeli FR sustava nisu upotrebljivi jer na mjestu prijama unutar prijenosne mreže ne postoji originalna (referentna slika), dok modeli NR sustava zahtijevaju dobro definirane i stalne uvjete u prijenosu (definirana izobličenja i njihove veličine). Kompromisno rješenje koncipirano je na prijenosu samo dijela informacija referentne slike (Reduced-Reference-RR). Na slici 3.4. prikazana je metoda RR sustava za vrednovanje kvalitete slike. Na odašiljačkoj strani izdvajaju se određena obilježja iz slike i zatim se pomoćnim kanalom šalju prema prijammiku. Pomoćni kanal može biti pod utjecajem smetnji jer je i smanjena količina informacija dovoljna za procjenu izobličenja prenesene slike. Na strani prijammika izdvajaju se obilježja slike koja se prenosi te se uspoređuju s obilježjima dobivenim iz pomoćnog kanala. Na temelju usporedbe dolazi se do podatka o kvaliteti (izobličenju) prenesene slike. Točnost u vrednovanju kvalitete prenesene slike zavisna je od brzine prijenosa podataka u pomoćnom kanalu. U praktičnim slučajevima ove brzine su male jer bi u protivnom oduzimale veći dio od

ukupnog kapaciteta u prijenosu što bi smanjilo kvalitetu prenesene slike. Male brzine u pomoćnom kanalu postavljaju velike zahtjeve na postupke izdvajanja obilježja iz slike na odašiljačkoj strani. Oni su slijedeći: obilježja moraju sadržavati učinkovitu minimalnu količinu informacija izdvojenu iz originalne (referentne) slike, moraju ukazivati na široki raspon izobličenja u slici i moraju biti u tijesnoj vezi s ljudskom percepcijom kvalitete slike.



Slika 3.4. Model RR sustava za vrednovanje kvalitete slike

Do sada je predloženo nekoliko modela RR sustava za vrednovanje slike. Gotovo svi modeli su razvijeni za videokomunikacije kod kojih su glavni izvori pogrešaka u postupcima kompresije i prijenosa [25-29]. Modeli su se pokazali dobrim u vrednovanju kvalitete slike u JPEG i JPEG2000 formatu, kod vrednovanja pogrešaka zamagljenja u slici, bijelog Gaussovog šuma i slučajnih grešaka u JPEG2000 toku podataka (streamu). Modeli koji se oslanjaju na statistička obilježja u slici su među najzahtjevnijima, primjenjivi su na vrednovanje kvalitete slike širokog raspona izobličenja i zbog toga se mogu primijeniti u različitim aplikacijama [30,31].

4. ZAKLJUČAK

Vrednovanje kvalitete komprimiranog digitalnog videosignala predmet je intenzivnog istraživanja proteklih nekoliko godina. Broj novih pristupa i novih algoritama stalno se povećava. Odabir i upotreba pojedinih algoritama traži prethodno dobro poznavanje sustava. Općenito ono obuhvaća tri cjeline: poznavanje osobina ljudskog vida, poznavanje obilježja visoko kvalitetnih slika i poznavanje izobličenja u slici. Konkretno, potrebno je poznavati slijedeće: raspoloživost referentne slike, zahtijevanu točnost u vrednovanju kvalitete slike, primjenu za određenu normu u kojoj je slika kodirana ili općenito za više normi, namjenu (na primjer: za nadzor kvalitete slike televizijskog programa koji se odvija, kod mjerenja u laboratorijima ili kod optimizacije algoritama), zahtijevnost algoritma prema računskim operacijama i memorijskim prostorom, ograničenja postavljena na algoritam kod određenih primjena i način rada algoritma. Pored istraživanja spomenutih cjelina čije poznavanje i implementacija određuje kvalitetu algoritma, a time veličinu korelacije između vrednovanja kvalitete slike algoritmom i subjektivnih mjerenja, provode se istraživanja realizacije mjerne koncepcije za vrednovanje kvalitete slike koja bi radila u sva tri spomenuta sustava (*FR*, *NR* i *RR*). Isto

tako, veliki napori usmjereni su na pronalazak zamjene mjere srednje kvadratne greške (MSE) kod vrednovanja kvalitete slike drugom mjerom, potpuno prihvatljivom sa stajališta ljudske percepcije.

5. LITERATURA

- [1] L.E. Weaver. Television Video Transmission Measurements. Marconi Instruments, 1973.
- [2] ITU-R Rec. BT. 500-11, Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. June 2002.
- [3] Broadcast Engineering magazine, February 2008.
- [4] ITU-R Rec. BT. 601: "Encoding Parameters of Digital Television for Studios", ITU, Geneva, 1993.
- [5] S. Daly. The visible difference predictor: An algorithm for the assessment of image fidelity. In Proc. SPIE, volume 1616, pages 2-15, 1992.
- [6] S. Daly. The visible difference predictor: An algorithm for the assessment of image fidelity. In A.B. Watson (Ed.), Digital images and human vision, pages 179-206. The MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- [7] J. Lubin. The use of psychophysical data and models in the analysis of display system performance. In A.B. Watson (Ed.), Digital Images and Human Vision, pages 163-178. The MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- [8] J. Lubin. A visual discrimination mode for image system design and evaluation. In E. Peli (Ed.), Visual Models for Target Detection and recognition, pages 207-220. World Scientific Publishers, Singapore, 1995.
- [9] R.J. Safranek, J.D. Johnston. A perceptually tuned sub-band image coder with image dependent quantization and post-quantization data compression. In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Processing, pages 1945-1948, May 1989.
- [10] A.B. Watson, G.Y. Yang, J.A. Solomon, J. Villasenor. Visibility of wavelet quantization noise. IEEE Trans. Image Processing, 6(8): pages 1164-1175, Aug. 1997.
- [11] Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. IEEE Trans. Image Processing, 13(4): pages 600-612, Apr. 2004.
- [12] Z. Wang, E.P. Simoncelli. Translation insensitive image similarity in complex wavelet domain. IEEE Iner. Conf. Acoustics, Speech, Signal Proc., volume II, pages 573-576, Philadelphia, PA, Mar. 2005.

- [13] G.K. Wallace. The JPEG Still Picture Compression Standard. *Comm.ACM*, vol.34, No.4, Apr.1991, pages 31-44.
- [14] D. Taubman, M. Marcellin. *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*. Norvell, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [15] H.R. Sheikh, M.F. Sabir, A.C. Bovik. An evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005.
- [16] H.R. Sheikh, A.C. Bovik. Image information and visual quality. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005.
- [17] H.R. Sheikh, A.C. Bovik. Information theoretic approaches to image quality assessment. Chapter 8.4 in *Handbook of Image and Video Processing*, 2nd ed., A.C. Bovik, ed., Academic Press., May 2005.
- [18] A.C. Bovik (Ed). *The Handbook of Image and Video Processing*. New York, Elsevier Academic Press, 2005.
- [19] W. Fischer. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.
- [20] L. Hanzo, P. Cherriman, J. Streit. *Video Compression and Communications*. West Sussex, England, John Wiley&Sons Ltd, 2007.
- [21] I. E.G. Richardson. *H.264 and MPEG-4 Video Compression*. West Sussex, England, John Willey&Sons Ltd, 2003.
- [22] H.R. Sheikh, A.C. Bovik. No-reference quality assessment using natural scene statistics: JPEG2000. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005.
- [23] Z. Wang, H.R. Sheikh, A.C. Bovik. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images. *IEEE Inter. Conf. Image Proc.*, Sept. 2002.
- [24] Z. Wang, A.C. Bovik, B.L. Evans. Blind measurement of blocking artifacts in images. In *Proc. IEEE Int. Conf. Image Proc.*, 3: pages 981-984, Sept. 2000.
- [25] A.A. Webster, C.T. Jones, M.H. Pinson, S.D. Voran, S. Wolf. An objective video quality assessment system based on human perception. *Proc. SPIE*, 1913: pages 15-26, 1993.
- [26] S. Wolf, M.H. Pinson. Spatio-temporal distortion metrics for in-service quality monitoring of any digital video system. *Proc. SPIE*, 3845: pages 266-277, 1999.
- [27] I.P. Gunawan, M. Ghanbari. Reduced reference picture quality estimation by using local harmonic amplitude information. *Proc. London Communication Symposium*, pages 137-140, Sept. 8-9, 2003.
- [28] S. Wolf, M. Pinson. Low bandwidth reduced reference video quality monitoring system. In *International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, Scottsdale, AZ, Jan. 23-25, 2005.
- [29] P. Le Callet, C. Viard-Gaudin, D. Barba. Continuous quality assessment of MPEG2 video with reduced reference. *International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, Scottsdale, Arizona, Jan. 23-25, 2005.
- [30] Z. Wang, E.P. Simoncelli. Reduced-reference image quality assessment using a natural image statistic model. *Human Vision and Electronic Imaging X*, *Proc. SPIE*, volume 5666, San Jose, CA, Jan. 2005.
- [31] Z. Wang, G.Wu, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli, E.H. Yang, A.C. Bovik. Quality-aware images. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006.