

Perceptivni efekti degradacije slike*

VASILIJE GVOZDENOVIĆ

*Laboratorija za eksperimentalnu psihologiju,
Filozofski fakultet, Univerzitet u Beogradu*

Ispitivana je perceptivna osetljivost na promene u kvalitetu vizuelne stimulacije. Kao sredstvo variranja kompleksnosti stimulacije korišćen je JPEG filter primenjen na kompjuterskim slikama koje su bile stimuli u dva eksperimenta. U prvom eksperimentu ispitanici su na skali kvaliteta procenjivali efekte degradacije na tri fotografije različite perceptivne kompleksnosti. Ustanovljena je negativna korelacija između stepena degradacije slike i procene kvaliteta, a faktor kompleksnosti slike se pokazao kao značajan. U drugom eksperimentu korišćen je zadatak vizuelne diskriminacije. Ispitanici su diskriminirali parove fotografija sačinjene od jedne nedegradirane fotografije i jedne degradirane u različitom stepenu. Stepenn degradacije je išao od jedne do deset JPEG jedinica. Analize pokazuju da je faktor kompleksnosti značajan i da uspeh u vizuelnoj diskriminaciji varira u funkciji razlike kvaliteta fotografija u paru.

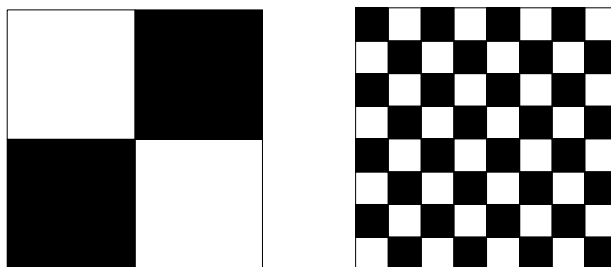
Ključne reči: informaciona kompleksnost, spacijalna frekvencija, degradacija slike, procena kvaliteta, perceptivna diskriminacija

Ovaj rad je posvećen problemu osetljivosti na promene u kvalitetu vizuelne stimulacije. Kada posmatramo objekte oko nas, njihova površina deluje homogeno, dok sa njihovim približavanjem, postepeno uočavamo jednu složenu strukturu sa gusto raspoređenim elementima. Značajna karakteristika vizuelne stimulacije koja je odgovorna za opažanje složenosti objekta jeste spacijalna frekvencija. Pod spacijalnom frekvencom se podrazumeva učestanost prelaza između različitih nivoa intenziteta (svetline) i spektra (boje) svetlosti koja se reflektuje na objekte i pada na površinu mrežnjače. Što je broj tih prelaza veći to je objekat koji posmatramo složeniji, bogatiji detaljima, informaciono kompleksniji. Sa porastom spacijalne frekvence raste i informaciona kompleksnost stimulacije, povećava se količina informacije koju vizuelni sistem treba da obradi. Mnogi istraživači su nastojali da vizuelnu stimulaciju definišu terminima teorije informacije (Attneave, 1954, 1955; Bricker, 1955; Fitts et al. 1956; Garner, 1962; Leeuwenberg, 1971, 1982; Yodogawa, 1982). Količina informacije se računala preko broja elemenata od

* Tekst je prerađena verzija diplomskog rada koji je rađen pod mentorstvom dr. Slobodana Markovića.

kojih je stimulacija sačinjena: sa rastom broja elemenata raste i količina informacije koju stimulacija nosi. U ovom pristupu izvor količine informacije predstavljao je broj prelaza u svetlini unutar jednog sadržaja: što je veći broj tih prelaza, veća je i količina informacije koju stimulus nosi (Gvozdenović i Marković, 1999).

Na slici 1, prikazane su dve površine sa različitim brojem crno-belih elemenata. Levu površinu jasno identifikujemo kao niže spacijalno frekventnu u odnosu na desnu.



Slika 1: Dve površine sa različitom spacijalnom frekvencom.

Neki neurofiziološki nalazi govore da se informacije o spacijalnoj frekvenci prenose preko dva nezavisna nervna puta do vizuelnog korteksa. Magnocelularni sistem čije su ćelije osetljive na niske rezolucije stimulacije, deluje brzo i prenosi informacije o niskoj spacijalnoj frekvenci i opažanju pokreta, dok je parvocelularni sistem zadužen za prenošenje finih detalja stimulacije, tj. informacije visoke spacijalne frekvence. Informacije o niskoj spacijalnoj frekvenci preko magno sistema se projektuju u 4C alfa sloj zone V1, dok informacije o visokoj spacijalnoj frekvenci stižu do 4C beta sloja iste zone i u daljoj obradi projekcije se dele na više nivoa. (Bullier & Novak, 1995; De Yoe & Van Essen, 1988; Livingstone & Hubel, 1988; Maunsell, 1987, 1992; Merigan & Maunsell, 1993; Van Essen & De Yoe, 1995).

Glavna ideja u okviru ovog pristupa opažanju objekata jeste diferencijalna neuralna osetljivost na različite aspekte vizuelne stimulacije. Neuroni specijalizovani za prenos nisko frekventnih delova slike će se aktivirati kada se na slici dva posmatra trava ili put, dok će drugi tip neurona biti aktiviran na signale više spacijalne frekvence kao što su nebo ili detalji na automobilu.



Slika 2: Primer slike sa širokim spektrom spacijalne frekvence.

Po teoriji spacijalne frekvence pred vizuelnim aparatom se nalaze dva glavna zadatka:

1. Detekcija spacijalne frekvence stimulacije
2. Transformacija otkrivenih frekvenci u opažaj

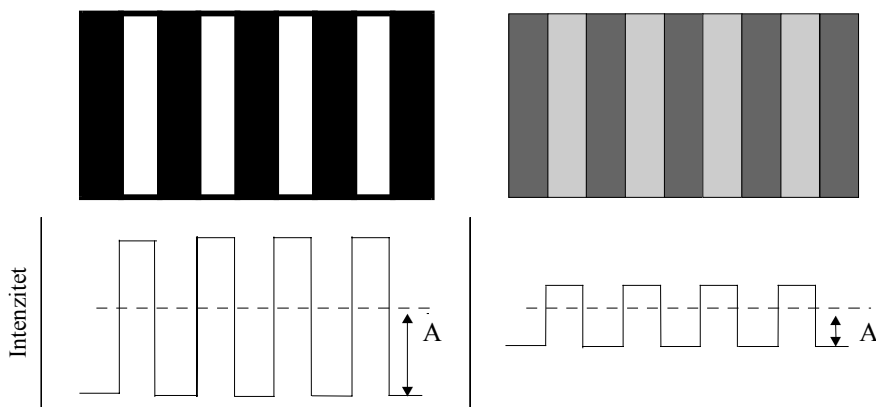
Osnovni elementi na osnovu koji vizuelni sistem detektuje i opisuje stimulus su: *distribucija prelaza*, *kontrast*, *orijentacija* i, kao najvažniji *spacijalna frekvenca*.



Slika 3: Kvadratna i sinusoidalna distribucija prelaza.

Distribucija prelaza se opisuje preko tipa prelaza između nijansi tj. talasne forme (waveform). Tipovi talasne forme se određuju preko matematičkih funkcija promene prelaza. Na slici 3 primećujemo nagle prelaze između crne i bele boje na površini objekta (levo), koji se matematički mogu opisati kvadratnom funkcijom, dok kod manje oštih prelaza dobijamo sinusoidalnu distribuciju intenziteta (desno).

Kontrast se specifikuje kao količnik amplitude i prosečnog intenziteta svetlosti. Grafički, ovaj princip detekcije je predstavljen na slici 4. Obe slike imaju isti prosečni intenzitet svetlosti (isprekidana linija), s tim što desna slika ima manju amplitudu i samim tim manji kontrast.

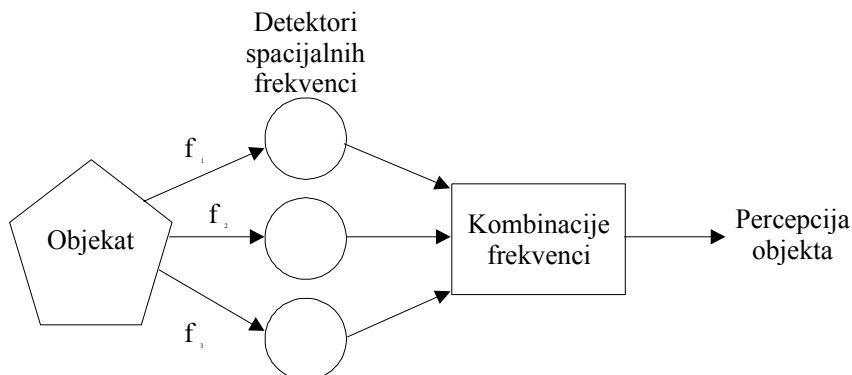


Slika 4: Grafički prikaz pojma kontrasta (detalje pogledati u tekstu).

I tip orijentacije se takođe detektuje. Orijehtacija se grubo razlikuje kao vertikalna i horizontalna. Od svih opisanih svojstava najbitnija je spacijalna frekvencija koja najviše okupira vizuelni sistem tokom detekcije. Neka neurofiziološka istraživanja sugeriraju da postoje specijalni kanali koji detektuju ovo svojstvo, a njihov neurološki korelat predstavljaju ćelije u vizuelnom korteksu, osjetljive na različite nivoe spacijalne frekvence. Istraživanja pokazuju da svaka od ovih ćelija vizuelnog korteksa reaguje na različite spacijalne frekvence koje prolaze kroz receptivno polje (c.f. Maffei & Fiorentini, 1973; Robson, Tollhurst, Freeman & Ohzawa, 1985). Autori pretpostavljaju da su ove ćelije kanali za detektovanje spacijalne frekvence.

U okviru teorije spacijalne frekvence nalazimo bazična svojstva stimulacije (primitivi, geoni, tekstoni) koja su opisana u teoriji Trajsmanove, Bidermana i Julesa (Treisman, 1986; Biderman, 1987; Jules, 1978), s tom razlikom što je detekcija stimulacije prebačena na neurofiziološki plan (c.f. Goldstein, 1996).

Pošto su detektovana osnovna svojstva stimulacije, ovoj teoriji ostaje još da objasni kako se ta svojstva transformišu u celovit vizuelni opažaj. Stimulus (slika) dovodi do angažovanja specijalizovanih neurona, da bi se tokom dalje obrade te informacije integrisale u opažaj posmatranog stimulusa. Pretpostavlja se da u tom procesu vizuelni sistem koristi postupak sličan Furijeovoj analizi i sintezi. Furijeova analiza je matematički postupak kojim se jedna složenija struktura može raščlaniti na elementarnije čestice i transformisati iz jednog oblika u drugi. Recimo, jedna sinusoidna funkcija kojom se može opisati distribucija frekvence, može se transformisati u kvadratne prelaze.



Slika 5: Dekompozicija i rekonstrukcija opažaja preko Furijeove analize, odnosno sinteze.

U prvoj fazi informacija se prikuplja angažovanjem specijalizovanim neuronima koji su osjetljivi na spacijalnu frekvencu, dok se u drugoj fazi pojedinačne informacije o svojstvima stimulacije transformišu u percept. Vizuelni sistem tada koristi obrnuti proces poznat pod terminom Furijeova sinteza. Finalna informacija o složenosti objekta se dobija u trećem koraku, kombinovanjem frekvenci, nakon čega dolazi do percepcije objekta.

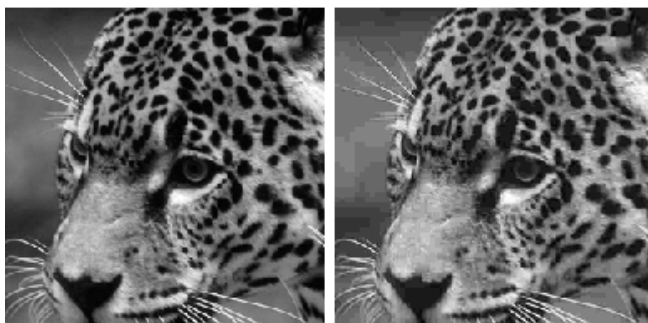
Teorija spacijalne frekvence je postala vrlo uticajna, tako da su mnogi istraživači prihvatili Furijeove transformacije kao jedan od mogućih načina opisivanja rada vizuelnog sistema. Međutim, ostaje nejasno koliku ulogu u opažanju ima analiza spacijalne frekvence, i na koji način je vizuelni sistem koristi.

U nastavku rada biće izložen kratak pregled tehnika kompresije digitalnih slika, kao i naš predlog variranja spacijalne frekvence stimulacije.

Kompjuterska grafika i kompresija slike

Bitna mapa je osnovna jedinica kompjuterske grafike. Postoje dva osnovna tipa kompjuterske grafike: a) vektorska i b) bitmapirana grafika. *Vektorska* grafika se pri generisanju slike snažno oslanja na procesor koji čitajući algoritam matematičkih parametara dovodi do reprezentacije slike na ekranu. Ovaj tip zapisa je fleksibilan i dinamičan, što znači da dozvoljava zahvate i intervencije korisnika (promena boje, dimenzija, svetline itd), bez gubljenja na kvalitetu slike. Definisanjem novih parametara u algoritmu zapisa nove karakteristike slike se lako generišu. *Bitmapirana* grafika se generiše tako što, oslanjajući se na zapis (datoteku), procesor interpretira sliku u celini. Bitna

mapa je matrica tačaka (piksela) čije kombinacije čine sliku. U poređenju sa vektorskim zapisom, bitmapirani zapis je rigidan i osetljiv je na sve intervencije korisnika. Postoje dve velike grupe algoritama koji se koriste u zapisivanju bitmapirane grafike, a) *nekompresovani* formati (PC Paintbrush-*PCX*, Tagged Image File Format-*TIF*, Windows Bitmap-*BMP*) i b) *kompresovani* formati (Graphics Interchange Format-*GIF* i Joint Photographic Experts Group-*JPEG*). Kompresija slike sastoji se u tome da se određenim filterom, u zavisnosti od tipa kompresije, održava ili smanjuje količina informacije u zapisu, dok kod nekompresovanih formata slika ostaje u neizmenjenom obliku, a veličina zapisa zavisi od definisanih parametara kao što su površina slike, spektar boja i rezolucija. Kod nekih zapisa sa degradirajućim algoritmom kompresije podataka moguće je varirati stepen kompresije, a samim tim odrediti i kvalitet slike. Jedan od takvih formata ili algoritama zapisa je i JPEG (Joint Photographic Experts Group), koji je korišćen u generisanju naših stimulusa. Primer fotografije na kojoj je primenjen JPEG filter je prikazan na slici 6.



Slika 6: Primer efekta JPEG algoritma: levo je originalna a desno kompresovana fotografija.

JPEG filter je napravljen sa namerom da se smanji zapis fotografije kako bi ona zauzela što manje prostora u memorijskoj jedinici računara. Ušteda u količini informacije postiže se smanjivanjem kvaliteta zapisa (slike). Algoritam JPEG-a radi tako što spaja delove iste svetline ili boje u krupnije blokove, tj. ugrubljuje sliku i smanjuje njenu ukupnu spacijalnu frekvencu. Međutim, svi delovi slike nisu podjednako oštećeni, uprkos tome što je filter primenjen na celoj površini. Ako pažljivo pogledamo fotografiju leoparda (slika 6), možemo uočiti da je najviše oštećena nisko frekventna pozadina slike, zatim naziremo oštećenja na njušci koja je na ovoj slici srednje frekventna površina, dok krzno na glavi životinje izgleda neoštećeno, kao da je izuzeto od degradirajućeg delovanja filtera. Efekti degradacije su još uočljiviji na slici 7, gde je

primenjena kompjuterska simulacija procesa detekcije kontura, koju srećemo u Marovoj teoriji viđenja kao fazu prikupljanja informacija o stimulusu (Marr & Hildreth, 1980; Marr, 1982). Na slici su vidljivi efekti degradacije i na visoko frekventnim delovima slike koji se ne opažaju bez primene detektora kontura (*edge detect* filtera).



Slika 7: Detekcija kontura originalne (levo) i JPEG fotografije (desno).

Slika 7 u celini bi mogla da se okarakteriše kao visoko frekventna, tj. informaciono kompleksna, jer je više od dve trećine slike sastavljeno od spacijalno visoko frekventnih površina.

S obzirom na neselektivnost delovanja JPEG filtera u obradi slike njegov perceptivni efekat više zavisi od sadržaja na kome je primenjen nego od samog algoritma. Slike visoke informacione kompleksnosti, tj. više spacijalne frekvence, će biti manje degradirane ovim filterom nego slike niže kompleksnosti.

U ovom istraživanju je ispitan problem osetljivosti vizuelnog sistema na variranje informacione kompleksnosti ili spacijalne frekvence preko JPEG kompresije. Kompleksnost fotografije bila je određena na dva načina: a) *fenomenološki*, tj. slobodnom procenom broja detalja i odnosa homogenih i haotičnih delova slike, i b) *operacionalno*, tj. preko količine informacije koja je potrebna da bi datoteka (fotografija) bila smeštena u memoriju računara, izraženom u bajtima. Tako su izabrane tri fotografije različitog stepena kompleksnosti: a) visoka kompleksnost (slika A, 8536 bajta), b) srednja kompleksnost (slika B, 3883 bajta) i c) niska kompleksnost (slika C, 2025 bajta). Primeri nedegradiranih fotografija sve tri grupe se mogu pogledati u Prilogu 1.

Kompleksnost slike, može biti diskutovana i unutar jednog sadržaja (fotografije). Već je spomenuto da je inženjerski smisao JPEG algoritma smanjenje količine informacije koju neka digitalna slika nosi. Moguće je

definisati stepen oštećenja primenom filtera, koje stoji u obrnuto proporcionalnom odnosu sa dužinom kompjuterskog zapisa datoteke. Što je JPEG indeks veći, zapis je manji.

Da bismo ispitali osetljivost vizuelnog sistema na variranje specijalne frekvence stimulacije, izvedena su dva eksperimenta:

U prvom eksperimentu ispitivana je subjektivna procena kvaliteta fotografija degradiranih JPEG tehnikom. Formirane su tri grupe fotografija, različite kompleksnosti. Original je bio degradiran u deset verzija sa stopom od po deset JPEG jedinica. Subjekti su na sedmostepenoj skali kvaliteta procenjivali svaku fotografiju pojedinačno.

Unutar svake grupe fotografija sačinjeni su parovi original-JPEG(x), gde je x JPEG indeks, stepen oštećenja. Indikator osetljivosti bio je uspeh u diskriminaciji parova fotografija (isto/različito). Cilj ogleda je provera pretpostavke da će uspeh u diskriminaciji zavisiti od obe dimenzije kompleksnosti sadržaja: *interstimulusne*, nejednake informacione kompleksnosti na nivou grupe, kao i od *intrastimulusne* kompleksnosti, fizičke razlike u kvalitetu originalne i oštećene varijante slike.

Eksperiment 1

Metod

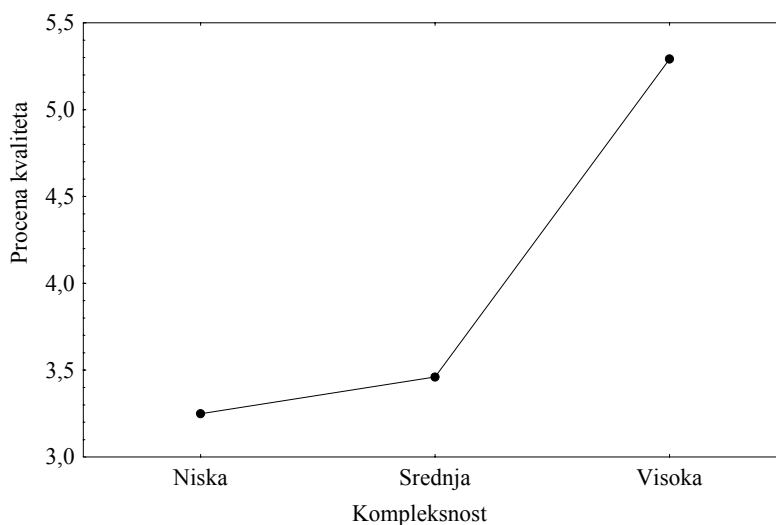
Subjekti: U eksperimentu je učestvovalo 15 studenata prve godine psihologije Filozofskog fakulteta u Beogradu.

Stimulusi: Formirane su tri grupe slika koje su se razlikovale po kompleksnosti. U okviru svake grupe nalazilo se deset degradiranih verzija fotografije kao i nedegradirani original. Fotografije su bile dimenzija 256 x 256 tačaka sa 256 nivoa svetline, degradirane JPEG tehnikom u stopi od po deset koeficijenata JPEG filtera (max=100).

Nacrt i procedura: U eksperimentu su varirani, kompleksnost slike (tri nivoa) i stepen oštećenja slike (11 nivoa). Oba faktora su bila ponovljena po subjektima. Na ekranu kompjutera izlagane su fotografije slučajnim redosledom u neograničenoj ekspoziciji. Subjekti su imali zadatak da na skali sa podeocima od jedan do sedam, procene kvalitet svake od njih. Ispitanicima je skrenuta pažnja da ne donose estetske sudove već da isključivo procenjuju kvalitet svake slike pojedinačno. Naglašeno je da je potrebno donositi sud o kvalitetu slike u celini a ne delova slike. Izlaganje stimulusa izvedeno je na monitoru veličine 14 inča u rezoluciji 800 x 600 tačaka, sa frekvencom osvežavanja ekrana od 60 Hz. Pre početka samog eksperimenta svakom ispitaniku su bile prikazane fotografije koje će biti procenjivane, uz objašnjenje i demonstraciju efekata JPEG filtera od strane eksperimentatora. Ovo je izvedeno kroz sukcesivno izlaganje svih stimulusa sa interstimulusnim intervalom od 500 ms.

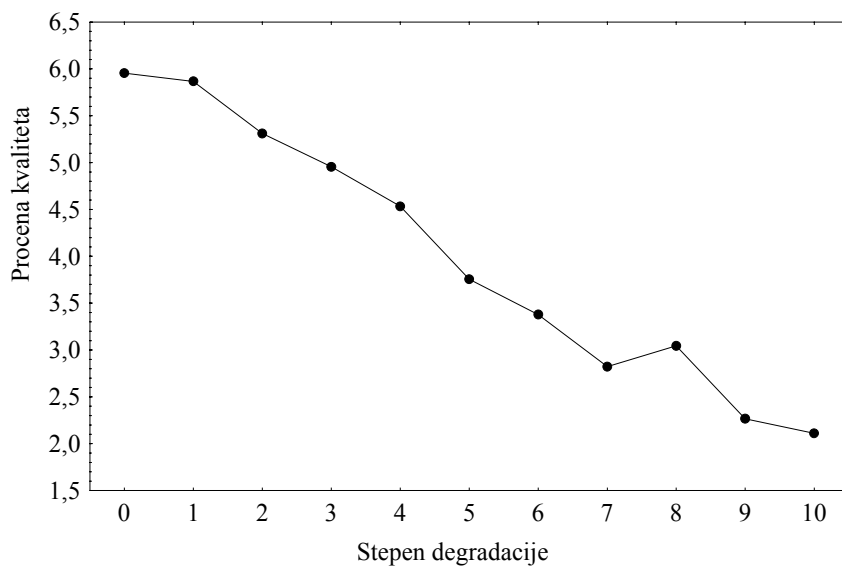
Rezultati i diskusija

Analiza varijanse po stimulusima pokazala je da je efekat faktora kompleksnosti slike značajan: $F(2,28)=56.66$, $p<.01$, što ukazuje na to da različito kompleksne slike pokazuju nejednak perceptivni otpor na stepen oštećenja. Prosečne procene kvaliteta date su na slici 8. Stepen degradacije je dostigao statističku značajnost: $F(10,140)=107.44$, $p<.01$ (slika 9). Interakcija kompleksnosti slike i stepena degradacije je takođe statistički značajna: $F(20,280)=7.94$, $p<.01$ (slika 10). U proceni kvaliteta subjekti više ocene daju kompleksnijim sadržajima, tj. sadržajima sa više detalja i prelaza između crno-belih nijansi.

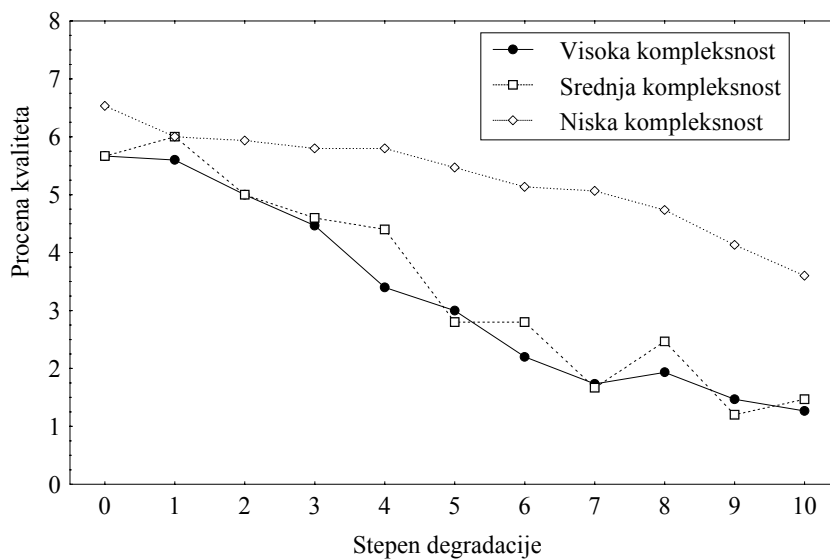


Slika 8: Prosečna procena kvaliteta slika niske, srednje i visoke kompleksnosti.

Na slikama 9 i 10 prikazan je osnovni efekat stepena degradacije i interakcija stepena degradacije i kompleksnosti slike.



Slika 9: Prosečna procena kvaliteta u zavisnosti od stepena degradacije slike.



Slika 10: Prosečne procene visoko, srednje i nisko kompleksnih slika u zavisnosti od stepena degradacije.

PERCEPTIVNI EFEKTI DEGRADACIJE SLIKE

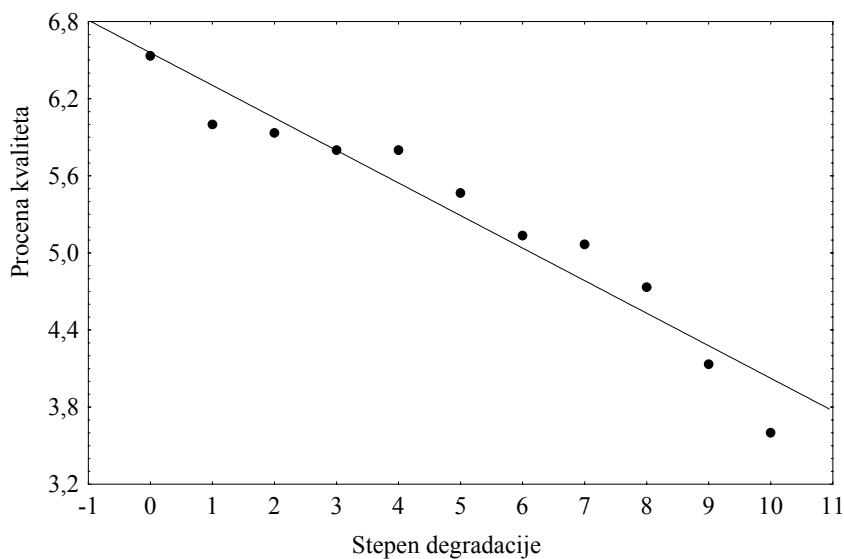
Naknadna analiza varijanse govori da između niske i srednje kompleksnosti ne postoje značajne razlike u procenama kvaliteta. Isto tako, ni interakcija ova dva nivoa kompleksnosti ne dostiže značajnost.

Da bismo odgovorili na pitanje u kojoj meri je procena kvaliteta svake slike determinisana stepenom njenog oštećenja koristili smo linearnu regresiju, a kao prediktorsku varijablu koeficijent oštećenja JPEG filtera. Rezultati regresione analize prikazani su u Tabeli 1.

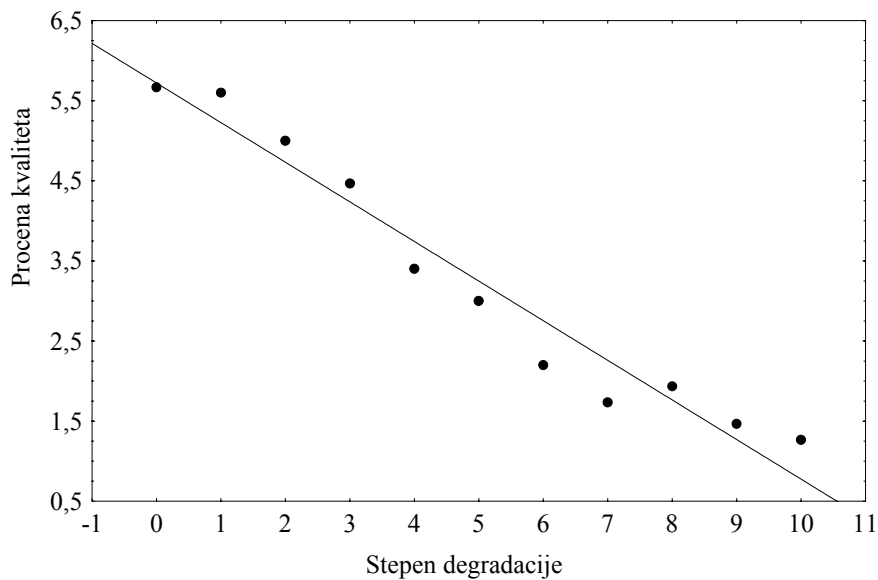
Tabela 1: Korelacija između subjektivne procene kvaliteta i stepena oštećenja slike

Kompleksnost	r^2	df	F	p
A (visoka)	.92	(1,9)	118.99	.01
B (srednja)	.95	(1,9)	181.03	.01
C (niska)	.92	(1,9)	110.41	.01

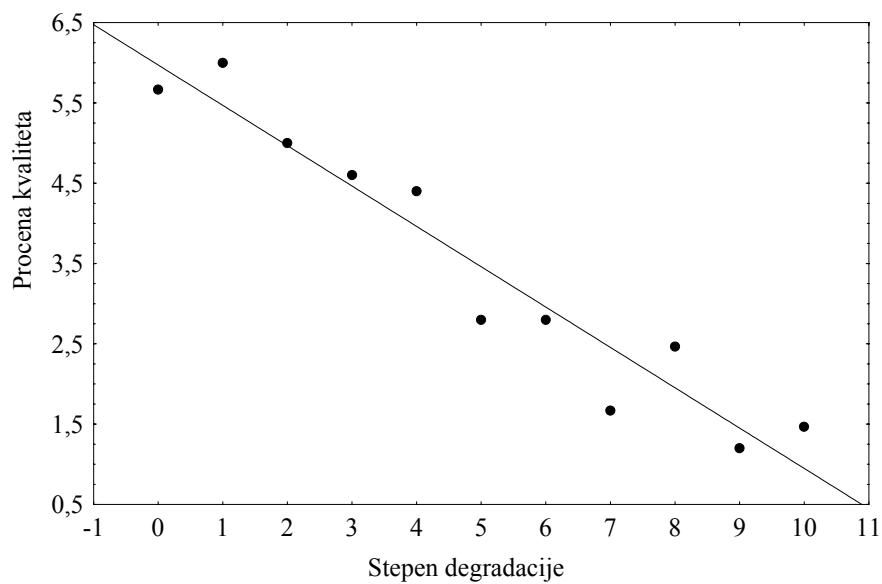
Dobijeni odnosi između stepena oštećenja i procene kvaliteta slike se nalaze na slikama 11, 12 i 13.



Slika 11: Odnos procene kvaliteta i stepena degradacije visoko kompleksnih slika.



Slika 12: Odnos procene kvaliteta i stepena degradacije srednje kompleksnih slika



Slika 13: Odnos procene kvaliteta i stepena degradacije nisko kompleksnih slika

Kod sve tri funkcije nailazimo na isti, opadajući trend; što je viši stepen oštećenja, kvalitet je procenjen kao slabiji. Međutim, ustanovljeno je da tri funkcije nemaju isti nagib: kod slika iz grupe A (visoka kompleksnost) nagib linearne funkcije iznosi -0.25 , dok je kod slika iz grupa B i C (srednja i niska kompleksnost) nagib dvostruko veći i iznosi -0.50 . Razlika u nagibima linearnih funkcija između visoko kompleksnog sadržaja sa jedne i srednje i nisko kompleksnog sadržaja sa druge strane potiče iz razlike u količini informacije koju slike nose. Sadržaj A, kod koje je ustanovljen veći nagib, nosi daleko veću količinu informacije (bajta) od slike B, nego slika B u odnosu na sliku C.

Dobijeni rezultati pokazuju da stepen oštećenja visoko korelira sa procenama kvaliteta, što govori da opažanje oštećenja slike stoji u obrnuto proporcionalnom odnosu sa stepenom degradacije slike. Sa rastom stepena degradacije procena kvaliteta linearno opada.

Rezultati ovog eksperimenta pokazuju da je procena kvaliteta degradiranog sadržaja visoko determinisana stepenom fizičkog oštećenja, kao i to da su različito kompleksni sadržaji nejednako perceptivno otporni na oštećenja JPEG tehnikom. Visoko kompleksni sadržaji su se pokazali perceptivno otpornijim na degradacije JPEG filterom od manje kompleksnih sadržaja.

Ekspiriment 2

U eksperimentu je ispitivana zavisnost uspeha u vizuelnoj diskriminaciji od stepena oštećenja slike. Cilj eksperimenta bio je da odgovori na pitanje u kakvom odnosu stoji tačnost diskriminacije slika i stepen njihove degradacije kao i da ustanovi da li postoji različit efekat sadržaja slike na uspeh u vizuelnoj diskriminaciji.

Metod

Subjekti: U eksperimentu je učestvovalo 25 studenata prve godine psihologije, Filozofskog fakulteta u Beogradu.

Stimulusi: Ispitanicima su prikazivani parovi fotografija, (niske, srednje i visoke kompleksnosti), od kojih je jedna bila oštećena a druga neoštećena. Oštećeni sadržaji su bili degradirani u stepenu od po deset JPEG jedinica ($\text{max}=100$). Pojedinačni stimulusi su imali 256 nivoa svetline i bili su dimenzija 256 x256 tačaka po inču.

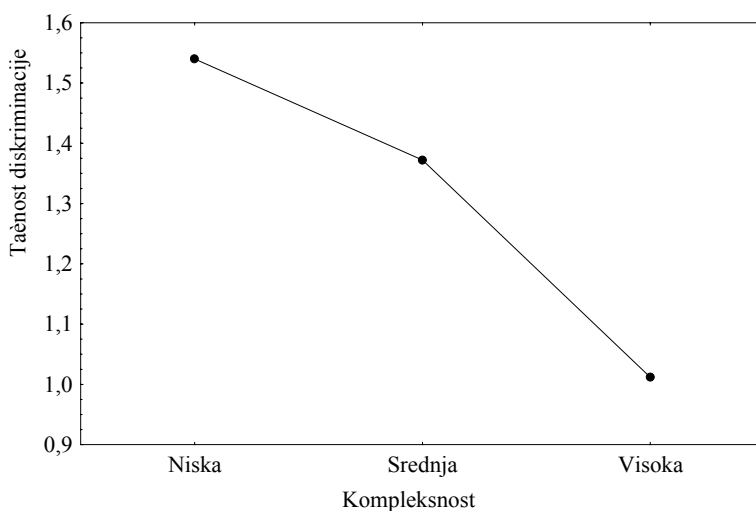
Nacrt i procedura: U ogledu su varirana dva faktora. Kompleksnost slike (tri nivoa) i koeficijent degradacije (10 nivoa). Oba faktora su bila ponovljena po subjektima. Ispitanicima su na ekranu kompjutera od 14 inča bili izlagani stimulusi u ekranskoj rezoluciji 800 x 600 tačaka, sa frekvencom osvežavanja ekrana od 60 Hz. Parovi su uvek stajali pravilno raspoređeni, levo i desno na ekranu. Par stimulusa je bio odvojen demarkacionom linijom, širine osam tačaka. Pozicija oštećene fotografije je bila balansirana, tako da se podjednak broj puta pojavljivala na levoj i desnoj strani ekrana. Ispitanicima je dato sledeće uputstvo: "Ako primetiš razliku u

kvalitetu između ove dve fotografije, ako je jedna oštećena a druga nije, to je odgovor "da", a ako ne postoji razlika u kvalitetu tj. ako su obe fotografije podjednako kvalitetne ili jednako oštećene to je odgovor "ne" tj. "ne razlikuju se". Pre početka eksperimenta ispitanici su prošli kroz vežbu i demonstraciju JPEG filtera. Vreme diskriminacije je bilo ograničeno na pet sekundi.

Rezultati i diskusija

Tačnost diskriminacije izvedena je kao zbir tačnih odgovora u dve situacije izlaganja stimulusa (oštećena slika levo i desno). Osnovni efekat kompleksnosti slike se i u ovom zadatku pokazao kao značajan, $F(2,48)=28.70$, $p<.01$. Subjekti su u proseku uspešnije diskriminirali najmanje kompleksan sadržaj. Distribucija tačnih diskriminacija prikazana je na slici 14.

Stepen degradacije slike je dostigao statističku značajnost: $F(9,216)=54.39$, $p<.01$ (Slika 15). Interakcija stepena degradacije i kompleksnosti slike je takođe značajna: $F(18,432)=3.54$, $p<.01$ (Slika 16).



Slika 14: Uspešnost vizuelne diskriminacije u zavisnosti od kompleksnosti slike.

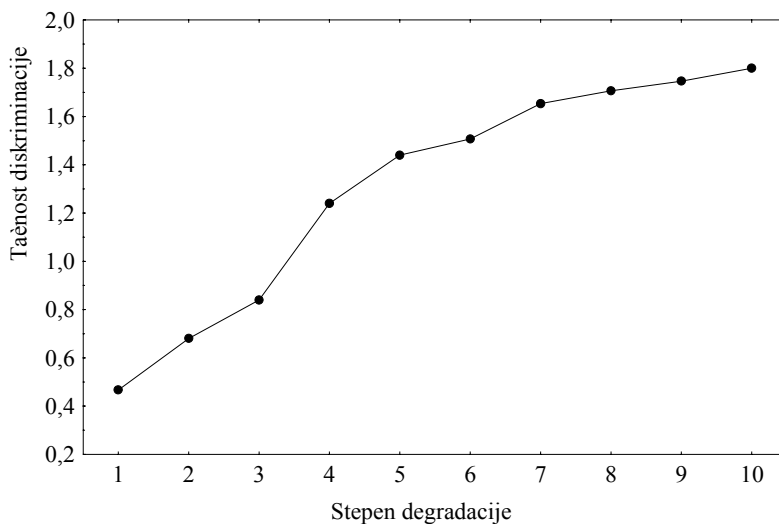
Da bismo ustanovili koliko je uspeh u vizuelnoj diskriminaciji određen fizičkom razlikom između dve slike koristili smo regresionu analizu. Iz pregleda Tabele 2 (strana 15) vidi se da kod slika srednje i niske kompleksnosti rast uspešnosti diskriminacije nije pravilan. Takav trend nam sugerise nelinearnost rasta uspešne diskriminacije u funkciji stepena oštećenja. Kao prediktor varijabla korišćen je stepen fizičke razlike između neoštećene i oštećene slike. U Tabeli 3 su prikazani koeficijenti

PERCEPTIVNI EFEKTI DEGRADACIJE SLIKE

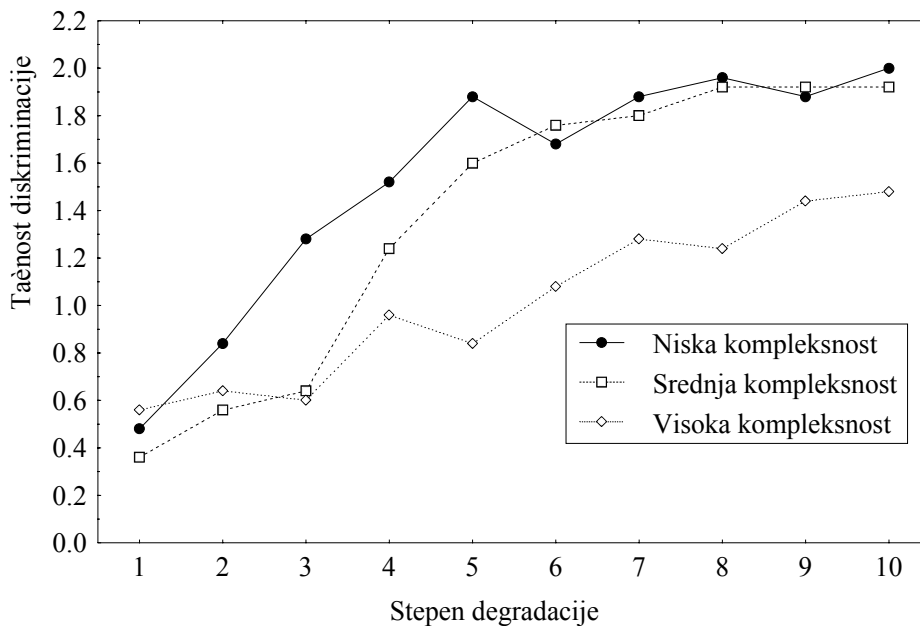
determinacije za svaki sadržaj sa dva tipa regresije: linearnom i logaritamskom.

Tabela 2: Prosečne diskriminacije slika visoke, srednje i niske kompleksnosti.

M	Stepen degradacije									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Visoka	.56	.64	.60	.96	.84	1.08	1.28	1.24	1.44	1.48
Srednja	.36	.56	.64	1.24	1.60	1.76	1.80	1.92	1.92	1.92
Niska	.48	.84	1.28	1.52	1.88	1.68	1.88	1.96	1.88	2.00
SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Visoka	.65	.75	.76	.78	.74	.75	.73	.66	.71	.71
Srednja	.48	.71	.70	.77	.70	.43	.50	.27	.27	.27
Niska	.65	.85	.79	.79	.58	.33	.55	.33	.20	.00



Slika 15: Prosečan broj tačnih diskriminacija u zavisnosti od stepena degradacije.

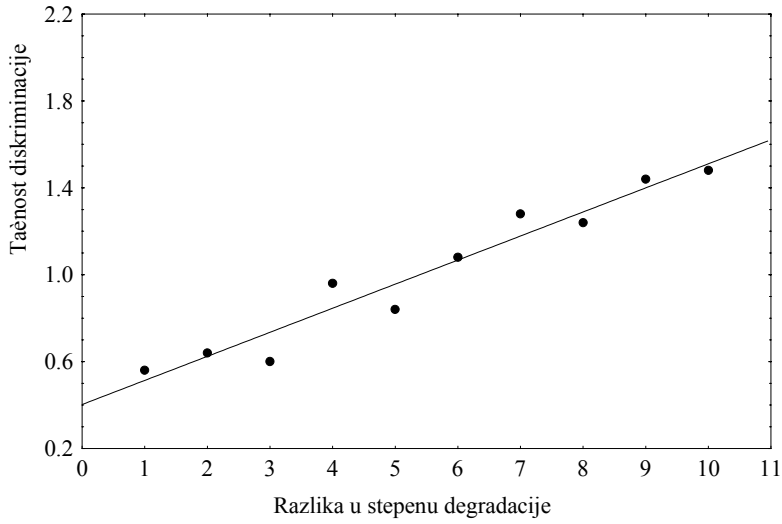


Slika 16: Prosečne diskriminacije visoko, srednje i nisko kompleksnih slika u zavisnosti od stepena degradacije.

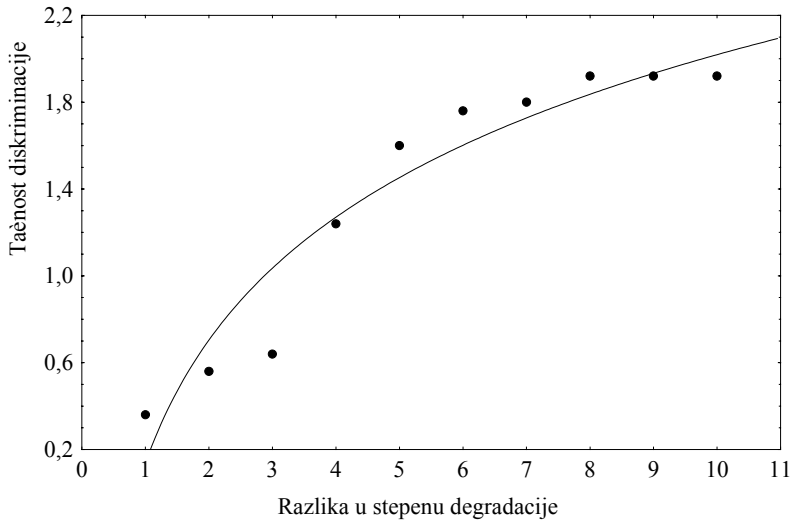
Tabela 3: Korelacija između tačnosti diskriminacije i fizičke razlike između oštećene i neoštećene slike.

Kompleksnost	r^2 lin	r^2 log	df	F	p
A (visoka)	.93	.82	(1,8)	129.08	.01
B (srednja)	.86	.91	(1,8)	53.40	.01
C (niska)	.79	.94	(1,8)	30.55	.01

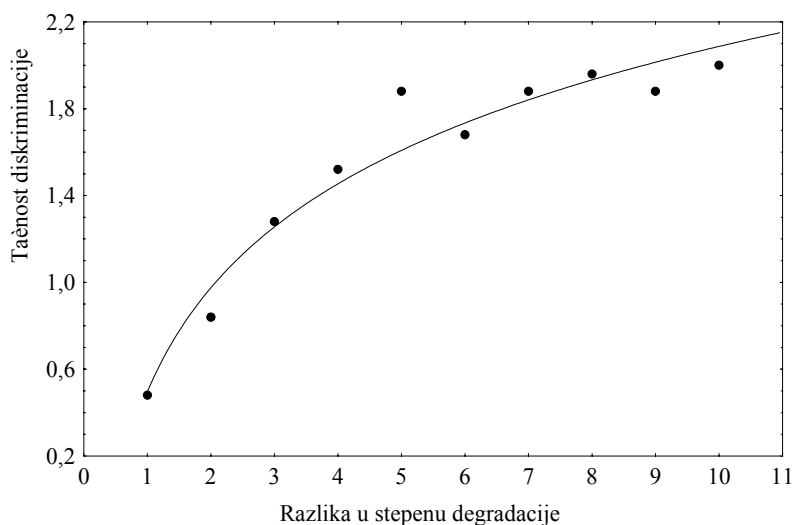
Na slikama 17, 18 i 19 predstavljeni su odnosi između razlika u stepenu degradacije slike i uspešnosti u vizuelnoj diskriminaciji.



Slika 17: Odnos tačnosti diskriminacije i razlike u stepenu degradacije između visoko kompleksnih slika.



Slika 18: Odnos tačnosti diskriminacije i razlike u stepenu degradacije između srednje kompleksnih slika.



Slika 19: Odnos tačnosti diskriminacije i razlike u stepenu degradacije između nisko kompleksnih slika.

Globalno, regresiona analiza pokazuje visoke koeficijente determinacije, što nam ukazuje na to da je uspeh u zadatku diskriminacije determinisan fizičkom razlikom u kvalitetu između dve slike. Najveći stepen determinacije je utvrđen kod visoko i nisko kompleksnih slika, dok je neznatno slabiji kod srednje kompleksnih slika. Takođe, kao što se vidi na slikama 18 i 19, kod srednje i nisko kompleksnih slika odnos između uspešnosti vizuelne diskriminacije i stepena oštećenja je *logaritamski*, dok je kod visoko kompleksnih slika *linearan*.

Završna diskusija

U izloženim eksperimentima, kroz zadatke procene kvaliteta i vizuelne diskriminacije (isto/različito), ispitivana je osetljivost vizuelnog sistema na degradaciju slike. Stimulusi su bile fotografije, degradirane JPEG tehnikom. Uopšteno, rezultati eksperimenata ukazuju da je psihofizički odnos između kvaliteta slike i perceptivne osetljivosti na kvalitet, *linearan*.

Kao i u ranijim istraživanjima, kompleksnost slike je značajno uticala na perceptivnu procenu kvaliteta (Gvozdrenović i Marković, 1997). Kod visoko spacijalno frekventnih sadržaja procena kvaliteta su u proseku više od procena kvaliteta sadržaja srednje i niske kompleksnosti. Analiza varijanse pokazuje da

se sa povećanjem kompleksnosti sadržaja povećava i procena kvaliteta. Takođe, fizički stepen degradacije se pokazuje kao dobar prediktor opažanja kvaliteta slike. Stepen oštećenja i procena stoje u negativnoj korelaciji: sa povećanjem stepena oštećenosti slike linearno opada subjektivna procena njenog kvaliteta. Ako prediktor varijablu, stepen JPEG kompresije, izrazimo preko količine informacije (u bajtima), a količinu informacije interpretiramo kao indikator složenosti slike, tj. spacijalne frekvence koju sadržaj nosi, možemo konstatovati da postoji fina osetljivost vizuelnog sistema na prezentovanu količinu informacije, odnosno spacijalnu frekvencu stimulacije.

Eksperiment 2, u kome su takođe varirani kompleksnost i stepen oštećenja, pokazuje sličan trend. U zadatku vizuelne diskriminacije spacijalna frekvencija se pokazala kao inhibitorni faktor. Uspeh u diskriminaciji nije podjenak za sve sadržaje već, opada sa porastom informacione kompleksnosti prezentovanog sadržaja, dakle varira u funkciji spacijalne frekvence. Sa druge strane, između stepena fizičkog oštećenja parova sadržaja koje je trebalo diskriminisati u Eksperimentu 2, samo kod slika visoke kompleksnosti, ustanovljen je linearan odnos, dok su ostale funkcije logaritamske. Sa porastom fizičke razlike između dve slike, raste i uspeh u njihovoj vizuelnoj diskriminaciji. Iako se moglo očekivati da će sa porastom stepena razlike između dve slike, rasti i uspeh razlikovanja, interesantno je da je takav odnos linearan kod visoko kompleksnih slika, što se nije ponovilo kod slika srednje i niske kompleksnosti. Pretpostavljamo da razlog odstupanja za visoko kompleksne slike leži u količini informacije koju nosi ova grupa stimulusa. Naime, ova grupa fotografija nosi znatno veću količinu informacije u poređenju sa drugim grupama i moguće je da JPEG tehnika ima drugačije efekte na slike visoke informacione kompleksnosti. Odgovor na ovo pitanje dao bi ogled koji bi pokazao dosledno linearne promene uspeha u vizuelnoj diskriminaciji u funkciji stepena oštećenja visoko kompleksnih slika.

Sa druge strane, u Eksperimentu 2, utvrđen je logaritamski odnos između stepena degradacije parova slika i uspeha u njihovoj diskriminaciji. Ovakvi nalazi su u skladu sa Veber-Fehnerovim psihofizičkim zakonom koji, kao što je poznato, govori da je odnos između priraštaja u stimulaciji i opažanja logaritamski. Eksperiment 2 pokazuje da sa porastom razlike u kvalitetu između parova slika, logaritamski raste uspeh u njihovom razlikovanju.

Dakle, rezultati oba eksperimenta govore u prilog tome da je spacijalna frekvencija bitan faktor u opažanju kvaliteta i diskriminacije statičnih slika. Utvrđena osetljivost vizuelnog sistema na fine promene u spacijalnoj frekvenci stimulacije kvalifikuje ga upravo onako kako je i predstavljen u okviru teorije spacijalne frekvence: jednim delom kao detektor osnovnih svojstava stimulacije, među kojima je najbitnija spacijalna frekvencija, a drugim delom kao vrlo precizan interpretator prikupljenih informacija. U našim eksperimentima, sem spacijalne frekvence, nijedan od osnovnih elemenata stimulacije (distribucija prelaza, kontrast i orijentacija) nisu bili varirani, što potvrđuje tezu

o specijalnoj frekvenci kao jednom od ključnih nosilaca informacije o posmatranom sadržaju odnosno objektu.

U budućim istraživanjima bi pored JPEG algoritma trebalo obuhvatiti i dejstva drugih perceptivnih efekata, kao što su: nanošenje šuma (noise), zamućivanje (blur), mozaik (puzzle) i druge. Takođe, pored specijalne frekvence trebalo bi pratiti i svojstva stimulacije kao što su kontrast, orijentacija i druga.

Reference

- Attneave, F. (1954). Some informational aspect of visual perception. *Psychological Review*, 61, 183-193.
- Biederman, I. (1987). Recognition by components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147.
- Bricker, P. D. (1955). The identification of redundant stimulus patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 49 (2), 73-81.
- Bruce V., & Green P., (1989). Visual Perception - Physiology, Psychology and Ecology. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bullier, J. & Nowak, L. G. (1995). Parallel versus serial procesing: new vistas on the distribution organization of the visual system. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 497-503.
- DeYoe, E. A. & Van Essen, D. C. (1988). Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in NeuroSciences*, 11 (5), 219-226.
- Fitts, P. M., Weinstein, M., Rappaport, M., Anderson, N. & Leonard, A. (1956). Stimulus correlates of visual pattern recognition: A probability approach. *Journal of Experimental Psychology*, 51 (1), 1-11.
- Garner, W. R. (1962). *Uncertainty and structure as psychological concepts*. New York: Wiley.
- Gibson J. J., (1979) The ecological approach to visual perception. Boston: Houghton Mifflin.
- Goldstein, E.B. (1996). *Sensation and Perception*. Paul and Brooks Company.
- Gregory R.L. (1970). *The intelligent eye*. London: Weidenfeld & Nicholson.
- Gvozdenović V., & Marković S. (1997). Procena kvaliteta degradiranih slika. Beograd Filozofski fakultet *Empirijska istraživanja u psihologiji III*, .
- Gvozdenović V. & S. Marković (1999). Informaciona kompleksnost i perceptivna tolerancija na oštećenje slike. *Psihološka istraživanja 10*, 9-37.
- Julesz, B. (1978). Perceptual limits of texture discrimination and their implications to figure-ground separation. In E. Leeuwenberg & H. Buffart (Eds.), *Formal theories of perception* (205-216). New York: Willey
- Leeuwenberg, E. (1971). A perceptual coding language for visual and auditory patterns. *American Journal of Psychology*, 84, 307-349.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, movement, and depth: Anatomy, Physiology, and Perception. *Science*, 240, 740-749.
- Maffei, L., & Fiorentini, A. (1973). The visual cortex as a spatial frequency analyzer. *Vision Research*, 13, 1255-1267
- Marr, D. & Hildreth, E. (1980) Theory of edge detection. Cambridge, Massachusetts, U.S.A *M.I.T. Psychology department and artificial intelligence Laboratory*,
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: W. H. Freeman

- Maunsell, J. H. R. (1987). Visual processing in monkey extrastriate cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 10, 363-401.
- Merigan, W. H. & Maunsell, J. H. R. (1993). How parallel are the primate visual pathways? *Annual Review of Neuroscience*, 16, 369-402.
- Pennebaker, W.B., & Mitchell, J., (1992). JPEG: Still image data compression standard. Reinhold Van Nostrand
- Robson, J.G., Tollhurst, D.J., Freeman R. D., & Ohzawa, I. (1988). Simple cells in the visual cortex of the cat can be narrowly tuned for spatial frequency. *Vision Neuroscience*, 1, 415-419.
- Rock I., The logic of perception (1983). , Cambridge, Massachusetts, London. *The MIT press*
- Stevens, S.S., & Stevens J.C., (1960). Warmth & cold: dynamics of sensory intensity. *Journal of experimental psychology*, 1960, 60, 183-192.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 225, 114B-125.
- Van Essen, D. C. & E. A. DeYoe (1995). Concurrent processing in the primate visual cortex. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neuroscience* (pp. 383-400). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Yodogawa, E. (1982). Symmetry, an entropy-like measure of visual symmetry. *Perception and Psychophysics*, 32 (3), 230-240.

Prilog 1



Nisko kompleksna slika
2025 bajta



Srednje kompleksna slika
3883 bajta



Visoko kompleksna slika
8536 bajta

Perceptive effects of image distortion

Vasilije Gvozdenović

*Laboratory of Experimental Psychology,
University of Belgrade, Serbia, Yugoslavia*

In the present study perceptive tolerance on image distortion was investigated. JPEG filer was used as a tool for degrading computer images, which were presented in two experiments. In the first experiment, subjects were estimating the effects of distortion on three images with different perceptive complexity. Regression analysis suggests that the distortion (JPEG quality) factor is a good predictor of estimated quality. The greater JPEG quality factor, the lower estimated quality of distorted image. In the second experiment, visual discrimination task was used. Subjects were discriminating pair of images (same / different) made by original, not distorted and distorted image with a different JPEG quality factor. Ranges of JPEG quality factor varied from one to ten JPEG units. Analyses shows that the factor of image complexity was statistically significant, indicating that visual discrimination is dependent on quality difference between images.

Key words: informational complexity, spatial frequency, image degradation, quality estimation, perceptual discrimination