

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Davor Krajnović



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ ŠUMA POJAČALA I BIJELOG BALANSA NA REPRODUKCIJU BOJE DIGITALNE FOTOGRAFIJE

Mentor:

Dr.sc. Miroslav Mikota, prof.

Student:

Davor Krajnović

Zagreb, 2015

Rješenje o odobrenju teme završnog rada

SAŽETAK

U završnom se radu teoretski razrađuje opća tehnologija digitalne fotografije u fazi, procesu snimanja. Analiziraju se različite vrste, tipovi fotosenzora, rezolucija fotografija, bilježenje boja i formati zapisa tj. formati datoteka za pohranu slike pa tako i mediji za pohranu slike te posebno problematika šuma, nastanka i redukcije, i bijelog balansa. U eksperimentalnom se dijelu završnog rada ispituje utjecaj osjetljivosti, tj. šuma fotosenzora i na slici, i načina određivanja bijelog balansa na reprodukciju boja. Ispitivanje se provodi na realnom fotografskom motivu i standardnoj tablici boja.

KLJUČNE RIJEČI: FOTOSENZOR, OSJETLJIVOST, BIJELI BALANS, ŠUM, REPRODUKCIJA BOJA, DIGITALNA FOTOGRAFIJA

SUMMARY

In the final paper, theoretically elaborates the general technology of digital photography in the stage , the shooting process . It analyzes the different types, types of image sensors, image resolution, color capture and record formats ie. file formats for storing images including image storage media and especially the issue of noise, creation and reduction, and white balance. In the experimental part of the dissertation examines the impact of sensitivity, ie, noise of photosensors in the picture, and the method for setting the white balance to color reproduction. The test is performed on real photographic motif and a standard color table.

KEYWORDS: PHOTORENSOR, ISO SPEED, WHITE BALANCE, NOISE, COLOR REPRODUCTION, DIGITAL PHOTOGRAPHY

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORETSKI DIO.....	2
2.1. Razvoj fotosenzora	2
2.2. Fotosenzori.....	4
2.3. Od svjetlosti do slike	5
2.4. Isprepletno i progresivno očitavanje podataka sa fotosenzora	6
2.5. Aditivna kolorna sinteza	7
2.6. Suptraktivna kolorna sinteza	8
2.7. Crno – bijelo.....	9
2.7.1. Od crno-bijelog do kolora	10
2.8. Tipovi fotosenzora.....	12
2.8.1. CCD fotosenzor.....	12
2.8.2. CMOS fotosenzor	13
2.8.3. S-CCD (Super CCD) fotosenzor	15
2.9. Efektivni broj piksela	17
2.10. Interpolirani broj fotosenzorskih piksela	18
2.11. Veličina fotosenzora.....	19
Tipovi senzora.....	19
Uobičajene veličine senzora.....	20
Implementirani primjeri	21
2.12. Šum	22
Senzorski šum.....	22
Šum na slici.....	23
Šum duge ekspozicije	24
Reduciranje šuma	24
JPEG kompresija i redukcija šuma	24

Redukcija šuma nastalog produženom ekspozicijom.....	25
2.13. Bijeli balans.....	26
Temperatura slike	26
Bijeli balans.....	27
2.14. Svjetlosna osjetljivost (ISO)	29
2.15. Interpolacija	31
2.16. Formati datoteka za pohranu podataka.....	34
2.17. Mediji za pohranu slike.....	36
3. EKSPERIMENTALNI DIO	38
4. REZULTATI.....	39
5. RASPRAVA I ZAKLJUČCI	44
6. LITERATURA.....	46

1. UVOD

Za razliku od tradicionalnih foto aparata koji koriste film kao medij za pohranu slike, digitalni fotoaparati koriste čvrsti medij koji se naziva fotosenzor. Ovaj silikonski čip, veličine nokta sadrži milijune fotoosjetljivih dioda koje se nazivaju fotoćelijama.

U kratkom trenutku u kojem je fotosenzor izložen svjetlosti, svaka fotoćelija registrira intenzitet i svjetlinu svjetla koje padne na nju na način da se stvara akumulacija naboja.

Količina naboja koju pohrani svaka ćelija interpretira se prevođenjem u digitalni signal, nula i jedan. Koji se može pohraniti te nakon toga i interpretirati kao piksel na ekranu ili točka na otisku.

Kroz detaljniji pregled procesa snimanja digitalne fotografije analizirati će se različite vrste fotosenzora, rezolucija fotografija, bilježenje boja i formati zapisa slike pa tako i mediji za pohranu slike te posebno problematika nastanka i redukcije šuma i bijelog balansa.

2. TEORETSKI DIO

2.1. Razvoj fotosenzora



Slika 1. George Smith i Willard Boyle

George Smith i Willard Boyle [Slika 1.] kreirali su CCD (Charge-Cupled-Device) u BELLovom laboratoriju. Do osnovne konstrukcije je došlo gotovo slučajno, naime njihov pokušaj je bio kreirati novu vrstu poluvodičke memorije kojom bi se koristili u konstrukciji računala, koja su u to doba bila u zamahu. Druga smjernica koja ih je dovela do ovog izvrednog uređaja je bila potreba za proizvodnjom kamera sa čvrstim fotosenzorom za uređaje koji bi se mogli koristiti u video telefoniji.

U roku od sat vremena 17. listopada 1969. skicirali su bazičnu strukturu CCDa, definirali njegove principe funkcioniranja i ocrnali aplikacijsku podršku uključujući fotografiju kao i memoriju potrebnu za pohranu informacija.

Do 1970. istraživači iz BELLova laboratorija ugradili su CCD u prvu digitalnu video kameru. 1975. demonstrirali su prvu CCD kameru sa slikovnim prikazom dovoljno oštrim za TV emitiranje.

Danas CCD tehnologija nije rezervirana samo za Tv emitiranje već se koristi i u video aplikacijama u granicama od video nadzora do visoko razlučivih TVA kao i od endoskopske do desktop video tehnologije.

Faks uređaji, kopirne mašine, skeneri, digitalni fotoaparati, mobiteli, bar kod čitači također imaju ugrađen CCD koji pretvara svjetlosne uzorke u korisne digitalne informacije.

Počevši od 1983. kada je prvi teleskop opremljen sa kamerom koja je koristila CCD svjetlo osjetljive elemente, astronomi su dobili mogućnost proučavanja objekata tisuće puta udaljenijih od onih koje su mogle snimiti najosjetljivije kamere sa klasičnim foto-kemijski procesuiranim medijem. Još jedna je prednost ostvarena, na slike se više nije trebalo dugo čekati, bili su u mogućnosti dobiti trenutnu sliku sa teleskopa, bez potrebe za višesatnim mukotrpnim ekspozicijama kao kod klasičnog procesa.

Danas se sve opservatorijske stanice, uključujući i HUBBLE Space Telescope, oslanjaju na digitalni informacijski sistem izrađen na mozaiku ultra osjetljivih CCD senzora.

Korisnost CCD uređaja koristi se svakodnevno kao u granama visoke tehnologije, tako i u svakodnevnom životu, u toj mjeri da smo takve uređaje počeli ne primjećivati.

2.2. Fotosenzori

Što nam je potrebno za digitalnu fotografiju?

Kao i kod klasične fotografije potrebna su nam barem tri elementa da bi fotografiranje bilo uspješno: predložak koji fotografiramo, svjetlost i uređaj koji može zabilježiti te informacije odnosno u ovom slučaju digitalni fotoaparatus.

Svjetlo koje nosi informacije o predlošku koji fotografiramo ulazi kroz otvor objektiva, prolazeći kroz leće te pada na fotosenzor koji te informacije bilježi.

Kad će se se bilježenje informacija sa fotosenzora dogoditi određuje sistem zatvarača koji kontrolira trenutak kad smo na fotoaparatu stisnuli gumb za snimanje i ekspoziciju (vrijeme izloženosti senzora svjetlu) te u tom trenutku spema nam važne informacije sa fotosenzora.

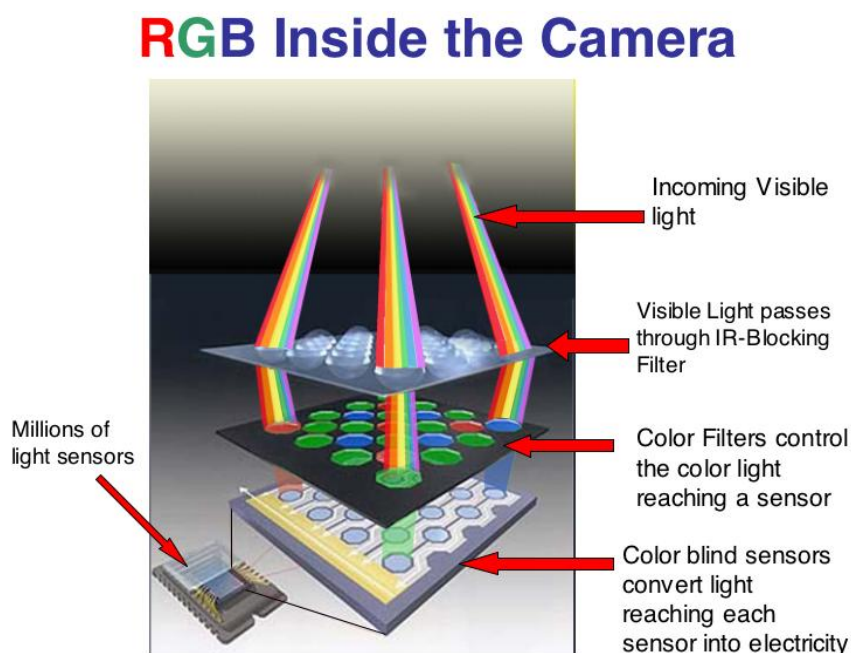
Kod digitalnih fotoaparata razlikujemo 3 vrste zatvarača

1. Elektronički zatvarani senzori koriste samo sensor da bi se odredilo vrijeme ekspozicije. Fotosenzor je cijelo vrijeme izložen svjetlosti a pritiskom gumba i elektroničkim postavkama kontroliramo u kojem će se trenutku stanje na senzoru pohraniti i koliko će od trenutka startanja ekspozicija trajati.
2. Elektro-mehanički zatvarači koriste se mehaničkim zaklonima koji skrivaju fotosenzor te ga izlažu svjetlosti prilikom fotografiranja. Ovakav zatvarač koristi elektronski impuls za pokretanje procesa snimanja.
3. Elektro-optički zatvarači su elektronski upravljani uređaji koji se nalaze između fotosenzora i objektiva i koriste se za promjenu puta optičkog prijenosa. Ovakav tip zatvarača nalazimo u SLR fotoaparatusima.

2.3. Od svjetlosti do slike

Pri otvaranju zatvarača digitalni fotoaparata preko objektivna skuplja svjetlost i dovodi ju do fotosenzora. Na senzoru, koji se sastoji od mreže fotoćelija, nalaze se tri osnovne skupine fotoosjetljivih elemenata. Prvu skupinu čine fotoćelije koje snimaju informacije visokih inteziteta svjetla (svijetla mjesta na slici), dok druga skupina fotoćelija snima područja niskog inteziteta osvjetljenja, područje sjena. Treća najbrojnija skupina pokriva cijeli raspon između predhodna dva ekstrema.

Svaka fotoćelija pretvara svjetlo koje padne na nju u električni naboj[Slika 2]. Što je intezitet svijeta jači, generira se više naboja. Kad se zatvarač zatvori, ekspozicija odnosno fotografiranje, je završeno a senzor „pamti“ snimljeni uzorak. Razlike u naboju pojedinih elemenata daju nam mjerljive vrijednosti, koje se pomoću razvijene programske podrške pretvaraju u digitalni zapis slike koji je moguće ponovno rekonstruirati u slikovni prikaz.



Slika 2. Zapis slike na senzoru

2.4. Isprepletno i progresivno očitavanje podataka sa fotosenzora

Jednom nakon što je fotosenzor bio osvjetljen, potrebno je očitati podatke odnosno prevesti ih u digitalni oblik. Želimo li stvar do kraja pojednostaviti možemo to usporediti sa prolaženjem voltmetrom preko fotosenzora ćeliju po ćeliju, mjerenje naboja te bilježenje informacija. Međutim mjerenje količine naboja, očitavanje vrijednosti sa senzora ne radi se odjednom za cijeli fotosenzor već se izvršava red po red. Danas se koriste dva načina očitavanja podataka sa fotosenzora, a to su tehnika isprepletanja i tehnika progresivnog očitavanja.

- Senzori koji koriste ispreplitanje kod očitavanja informacija sa senzora koriste se metodom koja se očituje u tome da se najprije čitaju neparni redovi a tek zatim parni redovi. Ovakve senzore najčešće nalazimo u video i TV kamerama, a povezano je sa načinom emitiranja TV signala koji se temelji na tehnologiji ispreplitanja.
- Senzori sa progresivnim očitavanjem redove informacija obrađuje jedan za drugim sljednim uzorkom.

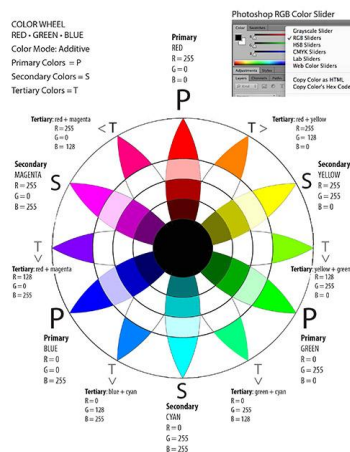
Kad je klasični fotokemijski proces omogućio stvaranje prvih fotografija, postojao je svijet samo crno-bijelih fotografija. Potraga za bojom bio je dug i mukotrpan proces, pa se u početku taj nedostatak rješavao ručnim bojanjem crno-bijele fotografije. Jedan od pionira fotografije zato je ustvrdio: „Bez obzira na sve ipak treba znati slikati“. Glavna prekretnica u razvoju fotografije bilo je otkriće James Clerk Maxwell-a 1860. godine, koji je otkrio da se kolorna fotografija može reproducirati koristimo li prilikom snimanja tri filtera i to crveni, plavi i zeleni filter. On je naime u suradnji sa fotografom Tomas Sutton-om, fotografirao karirani tartanski uzorak tri puta, koristeći svaki put filter različite boje postavljen pred objektiv fotoaparata. Razvijene slike su nakon razvijanja projecirali na platno sa tri projektora od kojih je svaki koristio po jedan filter, upravo onaj kojim je dobiven snimljeni predložak. Kad su se sve tri slike poklopile na projekcijskom platnu stvorena je prva kolorna reprodukcija.

Danas, gotovo 150 godina nakon ovog otkrića fotosenzori rade na gotovo identičnom principu.

2.5. Aditivna kolorna sinteza

Boje kod fotografije najčešće se baziraju na tri primarne boje vidljivog spektra svjetlosti, a to su crvena, zelena i plava (eng. Red, Green, Blue - RGB)[Slika 3.], to su osnovne boje koje definiraju aditivnu kolornu sintezu. Kombinacijom ovih triju boja u jednakom intezitetu dobivamo bijelu boju. Ovaj princip koristi se kod svih uređaja koji emitiraju svjetlost da bi se prikazao kolorni predložak (TV, projektor....) i kod uređaja za detekciju emotoranog svjetla i prevođenje u kolorni predložak (skener, fotosenzor, oko...)

Prvo komercionalno korištenje ovog sistema za dobivanje kolornih fotografija upotrijebili su braća Lumerie 1093. godine te je postao poznat kao Autokrom proces. Oni su se koristili bojanjem zrnaca škroba crveno, zeleno i plavo te su ih koristili za kreiranje kolorne fotografije na staklenim pločama.



Slika 3. RGB

Kod monitora svaki piksel prikazan na ekranu formiran je od tri točke crvene, zelene i plave.

2.6. Suptraktivna kolorna sinteza

Premda većina fotoaparata koristi aditivni RGB kolorni sistem, nekoliko *high-end* fotoaparata i svi printeri te tiskovni uređaji koriste CMYK sistem boja. Ovaj sistem, čije su osnovne boje *Cyan, Magenta i Yellow*, čini bazu suptraktivne kolorne sinteze. Crna boja dodana je samo zbog povećavanja kontrasta. Pri kombinaciji triju osnovnih boja u jednakim vrijednostima rezultat je crna boja.

Ako želimo prikazati CMYK kolorni sustav na, odnosno reprodukcije koje ga koriste, na ekranu potrebno je takav predložak prevesti u RGB kolorni sustav. Pri ovoj konverziji dolazi do neznatnih gubitaka u interpretaciji boja. Za razliku od konverzije iz RGB u CMYK kod kojeg dolazi do značajnog pomaka u interpretaciji boje.

Zašto se to događa? Odgovor leži u rasponu obojenja koji pojedini kolorni sustav može interpretirati. RGB kolorni sustav sadrži puno širi opseg boja, širi spektar od CMYK kolornog sustava, tako da konverzija RGB – CMYK ima veće gubitke od konverzije CMYK – RGB.

2.7. Crno – bijelo

Fotosenzori snimaju samo sivu skalu tonova, preciznije rečeno snima se 256 tonova između dvaju ekstrema, bijele i crne. U osnovi fotosenzori snimaju samo svjetlinu.

Pitanje koje logično slijedi je kako onda dobivamo kolornu sliku, kad senzor snima samo tonove sive? Trik je u sljedećem postupku, prilikom snimanja koriste se tri filtera, crveni, zeleni i plavi da bi se svjetlost separirala na ove primarne tri komponente te tako omogućila kolorni prikaz.

Poznajemo nekoliko načina kako se ovo izvodi:

- Korištenje triju zasebnih senzora od kojih svaki koristi po jedan od potrebnih kolornih filtera. Na ovaj način svaki senzor daje sliku u jednom tonu. Preklapanjem tih triju slika dobivamo kolornu reprodukciju. Ovaj način dobivanja kolorne reprodukcije iznimno je skup, međutim daje najbolje rezultate interpretacije boja.
- Korištenjem jednog fotosenzora ali uz tri ekspozicije svaki put sa promjenom kolornog filtera. Na ovaj način na istom se senzoru fotografiraju ili snimaju sva tri predloška, ali je potrebno izvršiti tri ekspozicije (tri fotografiranja). Ovakav način snimanja pogodan je samo za mirujuće kadrove i fotografiranje uz uređaj postavljen na čvrstoj podlozi.
- Fotofilteri mogu biti aplicirani direktno na pojedinu fotoćeliju, tako da dobivamo specijalizirane ćelije koje reagiraju na točno određene boje spektra. Za dobivanje ovakve fotografije, moramo toga biti svjesni, nismo u mogućnosti koristiti sve ćelije cijelog fotosenzora za svaku od kolornih separata, već u svakom od separata sudjeluje tek trećina ukupno raspoloživih ćelija.

2.7.1. Od crno-bijelog do kolora

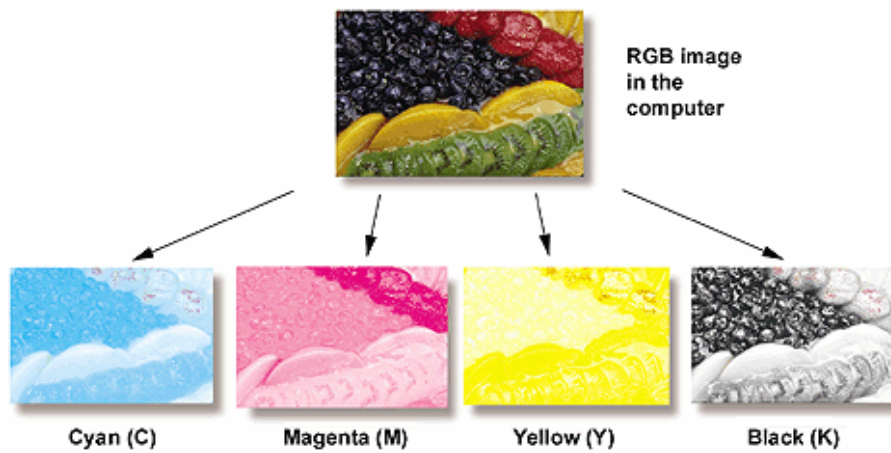
Nakon što smo dobili tri separacije boja, snimajući kroz tri filtera, spajanjem tih triju reprodukcija kreirali smo kolornu reprodukciju snimanog predloška. U ovom trenutku nailazimo na jednu dilemu ako koristim tri fotosenzora za dobivanje kolorne fotografije ili pak samo jedan senzor, koja je onda stvarna optička rezolucija slike? Snimanjem sa tri senzora množimo li pojedinačnu rezoluciju senzora puta tri, ili snimanjem sa jednim fotosenzorom dijelimo li ukupnu rezoluciju sa tri da bi dobili stvarnu optičku rezoluciju fotografije? Stvar je ustvari iznimno jednostavna.

Ako za primjer uzmemo senzor sa 1.2 milijuna fotćelija na njemu se nalazi prosječno oko 300 000 crveno, 300 000 plavo i 600 000 zeleno osjetljivih fotoćelija. Kolika je onda rezolucija 300 000, 600 000 ili 1200 000? Rezolucija je i dalje 1.2 milijuna, a razlog tome je iznimno složena programsko matematička podrška koju digitalni fotoaparati imaju u grafičkom procesoru i memoriji koji obrađuju podatke pročitane sa svake fotoćelije našeg fotosenzora.

Rupe u podacima se popunjavaju interpolacijom (matematičkim izračunom) informacija.

Interpolacija se radi na sljedeći način: pošto svaka ćelija snima intezitet u točno određenom području spektra, prilikom spajanja fotografije u kolornu reprodukciju, promatraju se vrijednosti dobiveni na okolnim fotoćelijama u svim kolornim separacijama. Za izračunavanje vrijednosti obojenja jednog piksela uzimaju se informacije obojenja osam okolnih piksela te se na osnovi dobivenih informacija izračunava, interpolira, vrijednost koja nedostaje.

Taj izračun se radi za svaki piksel fotografije, pošto na senzoru jedna ćelija nosi samo jednu boju, potrebno je izračunati boju tog piksela i za ostale dvije komponente, kako bi se dobila stvarna vrijednost obojenja na toj poziciji.



Slika 4. Separacija boja

Svaku od dobivenih boja sa fotosenzora u mogućnosti smo kontrolirati zasebno, pa tako govorimo o kolornim kanalima[Slika 4]. Korištenjem klasičnog b-bitnog kanala za svaku od separacija osiguravamo 2 na 8 mogućih nijansi te boje odnosno 256 nijansi. Pošto snimamo tri kolorna kanala po 8 bita svaki ukupni kolorni raspon, gamut, ovako nastale digitalne fotografije iznosi 24 bit-a odnosno 2 na 24 boja što iznosi 16 777 216 boja.

2.8. Tipovi fotosenzora

Donedavno CCD-i su bili jedini tip fotosenzora korišten za reprodukciju slike u digitalnim fotoaparatom. Njihov razvoj je tekao iznimno brzo i kvalitetno kroz različita područja primjene od teleskopa, skenera, digitalnih fotoaparata do videokamera.

Međutim na obzorju se pojavio novi izazivač na ovom području, CMOS fotosenzor koji svojim karakteristikama ostavlja dojam da će postati prvi izbor za fotosenzor u širokom segmentu tržišta.

2.8.1. CCD fotosenzor

Charge Coupled Device (CCD) je uređaj za prikupljanje naboja. Uređaj hvata svjetlo na sićušne fotočelije koje su raspoređene na površini senzora, a samo ime je proizašlo iz engleskog jezika a sastoji se od opisa načina očitavanja informacija nakon osvjetljavanja fotosenzora.

Očitavanje se vrši na sljedeći način:

Prvi red naboja se prebacuje u registrator za očitavanje (Read Out Registrator) iz registra informacija se upućuje na pojačalo koje je zaduženo za pojačavanje izlaznog signala registra te se usmjerava na analogno-digitalni pretvarač. Nakon što su sve vrijednosti naboja pohranjene u registru očitane, registar se briše.

Nakon brisanja registra slijedi očitavanje idućeg reda sa nabojnim informacijama, svaki red koji se prebaci u niži red ili u registar za sobom ostavlja prazninu koja se popunjava redom iznad. Takvo premeštanje informacija tj. naboja, iz jednog u drugi red događa se po cijelom fotosenzoru kaskadno nakon svakog brisanja registra.

Ovakav način očitavanja informacija sa CCD čipa formiran je po principu čitanja „Red po red“.

Tehnologija proizvodnje CCDa ima mogućnost stvaranja integracijskih sklopova koji bi osim fotosenzorskih elemenata na istom čipu sadržavali i druge elemente poput vremenskih uređaja, vremensko-logičkih uređaja te procesore signala. Ovakva integracija dovela bi do još većeg smanjivanja samih foto uređaja, smanjivanje zahtjeva uređaja za pogonskom energijom, međutim sama se integracija ipak ne vrši. Pošto bi takav postupak integracije bio iznimno skup, i zahtjeva bi posebni razvoj tehnologije ekonomska računica nije dala zeleno svjetlo za masovnu proizvodnju ovakvih uređaja.

Tako danas imamo zasebnu proizvodnju popratnih uređaja koji dolaze kao obavezni dijelovi svakog sustava koji se bazira na CCD fotosenzorima. Moderni CCD uređaji danas dolaze popraćeni sa nekoliko zasebnih procesorskih jedinica (čipova), kod najnaprednijih uređaja ponekad se radi i o osam zasebnih čipova ali nikad manje od tri.

2.8.2. CMOS fotosenzor

CMOS fotosenzori proizvode se tehnologijom štampanih pločica sličnom postupku proizvodnje jezgara mikroprocesora kod kojeg se sični poluvodički krugovi i popratni uređaji ugrađuju na silikonski čip. Najveći problem kod CCDa je neekonomičnost povećanja integriteta potrebnih uređaja, a kreiranje se vrši na temelju skupog procesa koji je moguće koristiti samo i isključivo za proizvodnju ovog tipa fotosenzora. Za to vrijeme postoji proces koji se temelji na proizvodnji komplementarnih metal-oksidnih poluvodiča, CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) kojim se koristimo za proizvodnju milijuna različitih čipova kako za same jezgre mikroprocesora tako i za različite druge logičke sklopove ili pak memorije. Ovo je naime najčešći i najrašireniji način proizvodnje logičkih sklopova u svijetu. Posljednji CMOS procesori koji su plasirani na svjetsko tržište, kao na primjer Intel Pentium, sadrže desetke milijuna aktivnih elemenata.

Koristeći istu ovu tehnologiju i opremu u mogućnosti smo proizvesti CMOS fotosenzore uz znatno manje troškove, jer se fiksni troškovi „hladnog pogona“ raspoređuju na mnogo širu paletu mogućih proizvoda.

CMOS dakle aludira na način proizvodnje fotosenzora , a ne na specifičnu senzorsku tehnologiju.

Svojom kvalitetom CMOS fotosenzori ravnopravno pariraju CCD sensorima u srednjoj i nižoj kategoriji fotosenzora, dok se u segmentu visoke tehnologije tek odnedavno počinju pojavljivati uređaji temeljeni na CMOS tehnologiji koji su tek nagovještaj konkurencije do sad nedostižnim HighEnd CCD sensorima.

Za razliku do CCD fotosenzora, CMOS senzori na svojoj površini bez problema mogu integrirati razno sklopovlje. Zbog mogućnosti integracije više sklopova na jedan čip smanjuje se potrebna količina popratnih sklopova koji su nužni kod CCD-a te se uz neznatno povećanje trokova maksimalizira učinak. Za to vrijeme cijena CMOS senzora, za razliku od CCDa, i dalje je mnogostruko niža.

Pored standardnih sklopova, na CMOS fotosenzor moguće je integrirati sklopove za stabilizaciju slike ili sklopove zadužene za izvođenje kompresije slike.

Direktni benifiti koje realiziramo ovakvom integracijom realiziraju kamere koje su manje, lakše i jeftinije, a sam uređaj troši puno manje energije u radu tako da se životni vijek baterija znatno produžuje.

CMOS fotosenzori imaju mogućnost trenutne promjene režima rada iz opcije fotografiranja u opcije snimanja videa. Međutim pošto video snimanje generira iznimno velike dokumente potrebno je dodatno sklopovlje, u obliku dodatnih čipova ili direktni spoj na računalo. Premda je snimanje videa za CMOS senzore pri 200 slika u sekundi iznimno problematično, moglo bi se čak reći i nemoguće, CMOS senzori se jako dobro snalaze pri nižim vrijednostima koji su sasvim dovoljni za prijenos videokonferencija i sl..

Nedostatak CMOS senzora najviše se očituje pri snimanju u lošim svjetlosnim uvjetima. Do smanjenja svjetlosne osjetljivosti kod CMOS fotosenzora dolazi zbog toga jer je površina koju prekrivaju svjetlo osjetljivi elementi djelomično iskorištena za integraciju pomoćnih sklopova, koji se bave redukcijom šuma ili nekim drugim zadacima.

Postotak površine fotoćelije koji je rezerviran samo za registraciju informacija o svjetlu naziva se Fill faktor. CCD fotosenzori imaju Fill faktor 100% dok je kod CMOS fotosenzora taj iznos mnogo niži. Smanjenjem Fill faktora smanjuje se osjetljivost fotosenzora te je za realizaciju kvalitetne fotografije potrebna produžena ekspozicija.

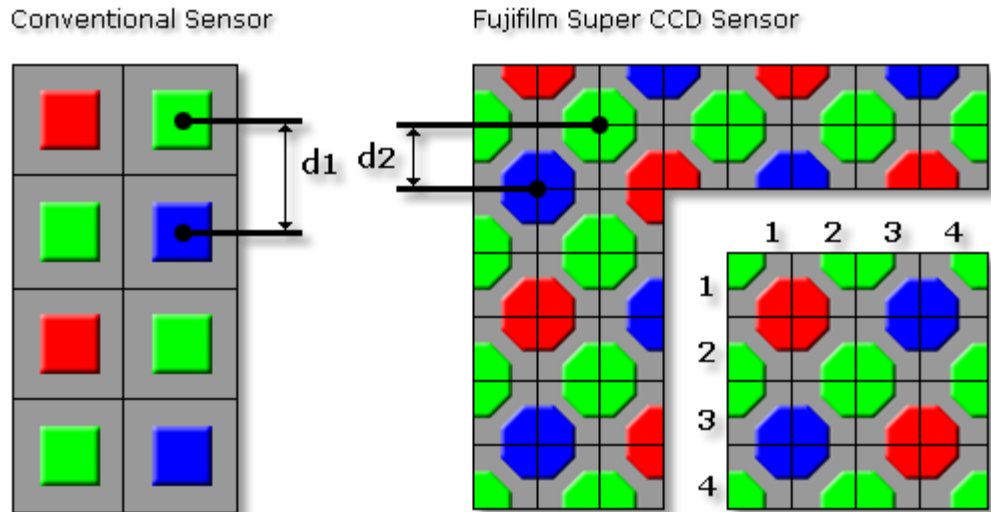
Niski Fill faktor gotovo onemogućava fotografiranje interijera bez dodatnog izvora svjetla u vidu reflektora ili bljeskalica.

Ovom problemu proizvođači pokušavaju doskočiti raznim inovativnim rješenjima, poput mikro leća koje fokusiraju svjetlo za svaku fotoćeliju ponaosob ili pak smanjivanjem integriranih sklopova.

Kod CMOS fotosenzora nailazimo na višu razinu šuma nego kod CCD fotosenzora, što kao posljedicu donosi produženje vremena potrebnog za procesuiranje podataka sa senzora. Fotosenzori bazirani na CMOS tehnologiji koriste DSP (Digital Signal Processing) tehnologiju obrade digitalnog signala te se na taj način pokušava smanjiti ili pak u potpunosti ukloniti šum na slici.

2.8.3. S-CCD (Super CCD) fotosenzor

S-CCD fotosenzor razvijen je u laboratorijima Fujifilm-a i ugrađuje se u većinu Fuji digitalnih fotoaparata. Za razliku od uobičajenih fotosenzora kod kojih je oblik fotoćelije kvadratni, kod S-CCDa fotoćelija ima oktogonalni oblik, sa strurom prikazanom na slici.



© 2003 Vincent Bockaert 123di.com

Slika 5 SCCD senzor

Zbog svog oblika fotoćelije su smještene puno gušće. Kako je prikazano na slici [slika 5] udaljenost $d1$ između središta dvju kvadratičnih fotoćelija je veća od udaljenosti $d2$ između središta dviju oktogonálnih fotoćelija, a kao rezultat ovakva ustrojstva dobivamo veće „bolje“ piksele. Usprkos novoj i revolucionarnoj strukturi informacije dobivene sa S-CCD fotosenzora se moraju prevesti u digitalnu sliku koja koristi kvadratne piksele. Iz priložene slike možemo razabrati da na području od 4X4 odnosno 16 kvadratnih fotosenzora imamo raspoređeno tek 8 oktogonálnih fotosenzora i to 2 crvena, 2 plava i 4 zelena od kojih su 1 cijela, 4 polovine i 4 četvrtine oktogonálnih fotosenzora.

Što takva informacija ustvari donosi? Ako za primjer uzmemo fotosenzor od 6 megapiksela, kod S-CCD fotosenzora, konačna slika je bazirana na 3 milijuna efektivnih piksela (fotoćelija), dok se veličina do 6 megapiksela dobiva interpolacijom koja je moguća zbog veličine fotoćelija.

Zanemarimo li podatke koje nam plasiraju proizvođači i njihovi neumorni marketinški odjeli, možemo ustvrditi da nam takva interpolacija omogućava dobivanje slike po kvaliteti jednake onoj od 4 megapiksela. Sva ta „nepotrebna“ interpolacija se događa na štetu nastanka velikog dokumenta, od 6 megapiksela, koji zahtjeva veliki medij za pohranu te sporosti obrade podataka.

Sporost obrade podataka dolazi iz iznimno kompleksnih metoda izračuna interpolacije koja je u ovom slučaju jako velika, a da bi konačni rezultat bio tek neuvjerljivih 33% poboljšanja u odnosu na stvarni broj aktivnih elemenata na S-CCD fotosenzoru.

2.9. Efektivni broj piksela

Osnovni pojam koji moramo ovdje razjasniti je razlika između broja piksela na digitalnoj fotografiji i broja senzorskih piksela koji se koriste pri snimanju digitalne fotografije. Ako za primjer uzmemo uobičajen 5 megapikselsni fotosenzor koji u realnom snimanju bez ikakve interpolacije daje sliku dimenzija 2560X1920 piksela jednostavnim računom dolazimo do broja od 4.9 megapiksela, pa se postavlja pitanje što se dogodilo sa onih 0,1 megapiksela odnosno da bi stvar bila još impozantnija radi se o oko 100000 fotoćelija koje nisu rezultirale slikovnim elementima, pikselima.

Premda ti pikseli nisu dali rezultat u obliku piksela na slici, ne znači da nisu obavili svoju zadaću. To su najčešće pikseli koji se nalaze na obrubu fotosenzora a koriste se za samokalibraciju fotosenzora, bez njihovih informacija fotosenzor nebi mogao odrediti sto je stvarno crno. Međutim raskorak između stvarnog i efektivnog broja piksela može biti još dramatičniji. Jedan od najdramatičnijih primjera možemo vidjeti na modelu Sony digitalnog fotoaparata oznake DSC-F505V koji je bio u prodaji do prije nekoliko godina. Kod ovog digitalnog fotoaparata slike najviše kvalitete imale su dimenziju od 1856x1392 piksela odnosno izračunom dolazimo do 2.6 megapiksela što samo po sebi ne govori puno toga dok u proizvođačkim specifikacijama ne uočimo da je u kameru ugrađen fotosenzor sa 3.36 miliona fotosenzora. Do ovog ogromnog raskoraka je došlo zbog ugradnje većeg fotosenzora u staro kućište koje nije bilo predviđeno za takav fotosenzor te optika nije mogla dati dovoljno osvjetljenja za cijeli fotosenzor.

Ovu činjenicu bitno je naglasiti jer proizvođači često posežu za velikim brojevima da bi povećali marketinški učinak dok su stvarne vrijednosti ponekad i bitno drugačije.

2.10. Interpolirani broj fotosenzorskih piksela

Prilikom uobičajenog snimanja jedna fotoćelija na digitalnom fotosenzoru daje informaciju za reprodukciju jednog piksela na digitalnoj fotografiji, tako da fotosenzor sa 5 milijuna fotoćelija daje fotografiju sačinjenu od približno 5 milijuna piksela. Ponekad smo u mogućnosti koja ima znatno više piksela nego što ih je sam fotosenzor preko svojih aktivnih elemenata mogao izgenerirati. Tu transformaciju slike praktično najčešće, kao smo već pojasnili u poglavlju o S-CCD fotosenzorima, koriste S-CCD fotosenzori koji zbog karakterističnog oblika fotoćelije iz 3 milijuna aktivnih fotoćelija generiraju 6 megapikselne fotografije. Ti dodatni pikseli produkt su kompleksnih matematičkih izračuna i funkcija koje jednostavno nazivamo interpolacijom.

Dok snimamo interpoliranu fotografiju na digitalnom fotoaparatu, a naročito ako koristimo JPEG kompresiju pri pohrani na memorijski modul moramo biti svjesni ogromne prednosti takvog skladištenja fotografije nad klasičnom upotrebom iste kompresije na samom računalu. Pošto se kompresija vrši direktnom metodom u samom digitalnom fotoaparatu, artefakti koji nastaju prilikom korištenja JPEG kompresije su manje uočljivi od onih koji se pojavljuju uporabom iste metode pohrane na računalu.

Postoji jedna stvar koju interpolacijom ne možemo dobiti na konačnoj digitalnoj fotografiji, a to su detalji. Detalje slici daju efektivni fotosenzorski elementi koji ih i snimaju, dok interpolacija može samo pretpostaviti ali i ne reproducirati nešto što nije snimljeno.

Možda interpolacija kao takva zvuči iznimno komplicirano, ali većina ljudi koji su barem jednom u životu koristili digitalni fotoaparat, najvjerojatnije je koristilo tu funkciju. Interpolacija se naime koristi u procesu digitalnog zoom-a.

2.11. Veličina fotosenzora

Sensor size comparison chart

Type	1/3"	1/2"	2/3"	4/3"	APS-C	Canon Nikon Pentax DX	Super 35	APS-H	35mm Full Frame
sensor w x h	4.8 x 3.6mm	6.4 x 4.8mm	8.8 x 6.6mm	17.8 x 10mm	22.2 x 14.8mm	23.6 x 15.5mm*	24.89 x 18.66mm	28.7 x 19.1mm	36 x 24mm
sensor diagonal	6mm	8mm	11mm	20.41mm	26.7mm	28.4mm	31.1mm	34.5mm	43.3mm
sensor area	17.3mm ²	30.7mm ²	58.1mm ²	178mm ²	329mm ²	366mm ² *	464.44mm ²	548mm ²	864mm ²
crop factor	7.21	5.41	3.93	2	1.62	1.52	1.39	1.26	1
applicable cameras				Panasonic AG-AF101	Canon EOS 7D Canon EOS 60D Canon EOS 50D Sony NEX-VG10E	*Approx	Arri Alexa Sony PMW-F3 Sony SRW-9000PL Sony F35		Canon EOS 5D MkII Nikon D3s

© Copyright CVP 2010

Slika 6. Veličina senzora

Kao što je prikazano na slici 6. [Slika 6] usporedimo li veličinu digitalnih fotosenzora i standardnog 35 mm filma da dimenzija fotosenzora kojim se koriste digitalni fotoaparati varira od 40% do 100% površine kojom se koristi standardni 35mm film. Digitalni kompaktni fotoaparati mogu dati slične rezolucijske rezultate kao i profesionalni D-SLR fotoaparati, ali uz znatno manji fotosenzor. To je moguće jer se kod manjih fotosenzora koriste sitiniji svjetlo osjetljivi senzori, fotočelije, te tako dobivamo manji piksel. Premda ovakvo smanjivanje fotosenzora može izgledati zanimljivo, naročito za uporabu u uređajima čija osnovna namjena nije digitalna fotografija, npr. Mobiteli, moram biti svjesni činjenice da smanjivanjem fotočelije raste količina generiranog šuma i smanjuje se dinamički opseg slike.

Tipovi senzora

Digitalni fotosenzori se često tipiziraju korištenjem naziva sačinjenog od razlomka, kao na primjer 1/1.8" ili 2/3". Ti brojevi nemaju nekog praktičnog razloga da bi se koristili kao nazivlje fotosenzora, ako malo razmotrimo ta vrijednos ne predstavlja ni veličinu diagonale fotosenzora. Zašto se onda koristi i odakle vuče korijene?

Ovakav način imenovanja potječe iz razdoblja 50-tih godina prošlog stoljeća odnosno označavali su standarde za objektivne koji su se koristili na TV kamerama. Dakle sam broj ne odnosi se na sam fotosenzor, već predstavlja parametar koji opisuje objektiv.

Eksperimentima sa fotosenzorima i različitim objektivima u laboratorijima inženjeri su došli zanimljivog zaključka, zbog različitih uzroka korisno područje koje se može iskoristiti za osvjetljavanje digitalnog fotosenzora iznosi tek 2/3 ukupne osvjetljene površine objektiva. Tu je došlo do malog zastoja u rasvoju uređaja baziranih na digitalnim fotosenzorima, jer se čini da nema nikakve specifične matematičke korelacije između promjera slikovnog kruga i senzorske veličine premda je omjer iskoristivosti uvijek negdje oko 2/3.

Uobičajene veličine senzora

U tablici [Tablica 1.] koja slijedi „Tip“ označava uobičajen naziv za određeni digitalni fotosenzor, „očekivani omjer“ predstavlja omjer širine i visine fotosenzora, „DIA“ je dimenzija optičkog otvora objektiva tj. vrijednost TIP preračunata u milimetre, te dijagonala, širina i visina koji predstavljaju stvarnu dimenziju fotosenzora.

Tablica 1. Uobičajene veličine senzora

Tip	Očekivani omjer	DIA (mm)	Dijagonala (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)
1/3.6"	4:3	7.065	5.000	4.000	3.000
1/3.2"	4:3	7.938	5.680	4.536	3.416
1/3"	4:3	8.467	6.000	4.800	3.600
1/2.7"	4:3	9.407	6.721	5.371	4.035
1/2.5"	4:3	10.160	7.182	5.760	4.290
1/2"	4:3	12.700	8.000	6.400	4.800
1/1.8"	4:3	14.111	8.933	7.176	5.319
2/3"	4:3	16.933	11.000	8.800	6.600
1"	4:3	25.400	16.000	12.800	9.600
4/3"	4:3	33.867	22.500	18.000	13.500
35mm FILM	3:2	n/a	43.300	36.000	24.000

Implementirani primjeri

Tablica 2 prikazuje popis nekoliko digitalnih fotoaparata i fotosenzora koje koriste

Tablica 2. Fotosenzori prema fotoaparatom

Digitalni fotoaparat	Tip senzora	Broj piksela	Dimenzije senzora (dužina X visina)
KONIKA MINOLTA DiMAGE Xg	1/2.7" CCD	3.3 mil.	5.3 x 4.0 mm
PowerShoot 5500	1/1.8" CCD	5.0 mil.	7.2 x 5.3 mm
NIKON Coolpix 8700	2/3" CCD	8.0 mil.	8.8 x 6.6 mm
OLYMPUS c-8080 WideZoom	2/3" CCD	8.0 mil.	8.8 x 6.6 mm
SONY DSC-828	2/3" CCD	8.0 mil.	8.8 x 6.6 mm
KONIKA MINOLTA DiMAGE A2	2/3" CCD	8.0 mil.	8.8 x 6.6 mm
NIKON D70	CCD	6.1 mil.	23.7 x 15.6 mm
CANON EOS-1Ds	CMOS	11.4 mil.	36 x 24 mm
KODAK DSC-14n	CMOS	13.8 mil.	36 x 24 mm

2.12. Šum

Senzorski šum

Svaki aktivni piksel na površini digitalnog fotosenzora sadrži jedan ili više fotosenzora koji transformiraju svjetlosnu informaciju u električni naboj koji se preko pomoćnog sklopovlja prevodi u digitalni signal koji se obradom prevodi u informaciju o boji na konačnoj reprodukciji fotografije.

Ako istu čeliju osvjetlimo uzastopce nekoliko puta istom količinom svjetlosti, konačni rezultati dobiveni uzastopnim mjerenjem vrijednosti naboja otkrivaju male statističke varijacije u informaciji, odnosno u boji. Tu varijaciju nazivamo šum očitavanja.

Čak kada senzor nije izložen svjetlosti, sam će generirati određeni signal. Usporedimo li to sa ostalim elektroničkim komponentama, najslikovitiji primjer možemo naći kod audio opreme koja reproducira određenu količinu zvučnog šuma i u vrijeme kad se ne pušta muzika. Ovaj dodatni signal koji se pojavljuje nazivamo šumom jer varira od fotočelije do fotočelije u određenom vremenskom intervalu i raste porastom temperature. U raznim stručnim literaturama možemo naići i na termin „Šum tamne struje“ koji također opisuje ovu pojavu a njegova vrijednost biti će dodana ukupnoj vrijednosti šuma na slici.

Šum na slici

Šum na slici je najvidljiviji na jednoličnim plohama na slici, kao što su nebo ili sjene a manifestira se kao monokromatska zrnatost na digitalnoj fotografiji koja podsjeća na zrnatost na klasičnom filmu. Nazivi koji se još koriste za opisivanje ove pojave su zrnatost svijetla, kolorni valovi ili kolorni šum.

Kao što smo ranije napomenuli na porast količine šuma utječe prirast temperatura okoline u kojoj se izvodi fotografiranje ali i povećanje osjetljivosti fotosenzora, dok je kolorni šum izrazito uočljiv kod kompaktnih digitalnih fotoaparata. Šum se također povećava smanjenjem dimenzija fotočelija na digitalnim fotosenzorima tako da su kompaktni digitalni fotoaparati puno izloženiji tom utjecaju od D-SLR fotoaparata koji koriste znatno veće fotosenzore. Profesionalna klasa digitalnih fotoaparata, osim velikig fotosenzora koristi visokokvalitetne komponente te snažne procesore koji omogućavaju korištenje iznimno kompleksnih algoritama za uklanjanje ili reduciranje šuma. Takvi sklopovi omogućavaju snimanje gotovo bez ikakvog šuma naročito pri nižim svjetlosnim osjetljivostima digitalnih fotosenzora. Ako sliku razmotrimo u kolornim RGB separacijama, možemo uočiti da je šum puno vidljiviji u crvenom i plavom kanalu boje nego u zelenom.

Šum duge ekspozicije

Pred već predstavljenih distorzija slike odnosno šumova postoji i jedan koji nastaje prilikom produžene ekspozicije, a naziva se još i šumom vrućih piksela.

Na slici se manifestira kao uzorak svjetlih točaka, malo većih od okolnih piksela. Ovaj tip šuma znatno je manje uočljiv kod novih modela digitalnih fotoaparata a posebice kod onih koji koriste fotosenzore velikih formata.

Reduciranje šuma

Još od pojave prvih digitalnih fotoaparata nastoji se što kvalitetnije uloniti generirani šuma na digitalnoj fotografiji. Ključan parametar za rješavanje ovog problema nije samo način kako ukloniti šum, već kako pri uklanjanju šuma očuvati kvalitetu slike. Danas postoje mnoga rješenja ovog zahtjevnog problema u vidu programskih aplikacija besplatnih ali i komercijalnih izvedbi. Većina ponuđenih rješenja negativno utječe na sliku smanjujući joj oštrinu ili pak ujednačavaju površinu pa slika može poprimiti izgled akvarela.

JPEG kompresija i redukcija šuma

Artifakti koji se pojavljuju na slici prilikom korištenja JPEG kompresije u pravilu su teško vidljivi, posebno kod slika visoke kvalitete i niskog stupnja kompresije. Postojanje šuma može pozitivno interferirati sa artifaktima JPEG kompresije te oni postaju znatno uočljiviji na slici. Ta intrferencija može se izbjeći korištenjem nekog drugog formata za pohranu slike, kao na primjer RAW ili TIFF. Iz osobnog iskustva mogu izdvojiti i činjenicu da različiti programi za obradu digitalnih fotografija artefakte nastale JPEG kompresijom prikazuju na bitno različite načine.

Redukcija šuma nastalog produženom ekspozicijom

Uklanjanje ovog tipa šuma danas se najčešće radi već u samim digitalnim fotoaparata, međutim pri tom se koristi stara metoda „Tamnog okvira“. Ova metoda sastoji se od toga da se prije ili poslije snimanja fotografije sa dugom ekspozicijom, napravi snimanje sa zatvorenim otvorom objektiva u trajanju identičnom onom kojim smo obavili fotografiranje slike. Nakon fotografiranja, slike se obrađuju u programima za obradu digitalnih fotografija. Tamni okvir se koristi za detekciju šuma te se njegove vrijednosti „oduzimaju“ od snimljene fotografije te se na taj način isprave nedostaci nastali pojavom šuma.

Ovaj se proces kod modernih digitalnih fotoaparata događa direktno u samom fotoaparatu i to bez potrebe snimanja dodatnog tamnog okvira, naime fotoaparat to odradi sam.

2.13. Bijeli balans

Temperatura slike

Većina izvora svjetla koje nalazimo u prirodi ili umjetno generiranih nisu 100% bijeli već imaju određenu toplinu, odnosno obojenje, čiju vrijednost izražavamo u kelvinima.

Primjera radi podnevno sunčevo svjetlo bliže je bijeloj boji od jutarnjeg ili poslijepodnevnog svjetla. U tablici 3 navedeni su neki tipični izvori osvjetljenja te pripadajuće temperature osvjetljenja.

Tablica 3. Temperatura boje


Izvor svjetla	Temperatura boje (K)
Svijetlo voštanice	1500
Žarulja (obična)	3000
Izlazak, zalazak sunca	3500
Podnevno sunce, blic	5500
Čisto sunce, čisto nebo	6000
Oblačno nebo, sijena	7000
Plavo nebo	9000

Bijeli balans

U normalnim uvjetima ljudske oči su u stanju kompezirati uvijete osvjetljenja kroz različite temperature boje. Kod digitalnog fotoaparata stvar je malo složenija. Da bi bilo moguće točno interpretirati boje, bez obzira na osvjetljenje, digitalnom fotoaparatu je potrebna referentna točka koja će označavati bijelo. U odnosu na odabranu referencu, digitalni fotoaparatus izvršiti će kalkulacije svih snimljenih boja te ih na taj način interpretirati, te će boje biti točno interpretirane bez obzira na trenutne svjetlosne uvjete.

Kao primjer možemo navesti sljedeću situaciju, halogena lampa osvjetljava bijeli zid. Pri takvom osvjetljenju zid će poprimiti žučkasto obojenje, premda je u stvarnosti bijel, međutim ako za digitalni fotoaparatus tu boju definiramo kao referentno bijelo, sve snimke će biti kompezirane u odnosu nas taj parametar.

Većina digitalnih fotoaparatus provjerava bijeli balans iz snimljenog kadra na način da ugođaj najbolje odgovara uvjetima snimanja, međutim sam algoritam[Slika 7.] za izračun balansa bijelog može biti zavarans sadržajem snimljenog kadra posebno kad na slici dominira jedna boja. Najkritičniji su slučajevi kad kadrom dominira zelena boja ili kad je u potpunosti uklonjeno prisustvo primarne bijele boje.

WB SETTINGS	COLOR TEMPERATURE	LIGHT SOURCES
	10000 - 15000 K	Clear Blue Sky
	6500 - 8000 K	Cloudy Sky / Shade
	6000 - 7000 K	Noon Sunlight
	5500 - 6500 K	Average Daylight
	5000 - 5500 K	Electronic Flash
	4000 - 5000 K	Fluorescent Light
	3000 - 4000 K	Early AM / Late PM
	2500 - 3000 K	Domestic Lightning
	1000 - 2000 K	Candle Flame

Slika 7. Bijeli balans

Da bi se ovaj automatizam mogao korigirati u ekstremnim slučajevima ili kad želimo stvoriti poseban ugođaj, digitalni fotoaparati srednje i visoke klase omogućavaju nam manualno podešavane balansa bijele. Ti parametri u srednjoj klasi digitalnih fotoaparata (slika 7) najčešće se nazivaju prema mogućim svjetlosnim uvjetima koje želimo simulirati pri snimanju, kao npr. Sunčano, oblačno, fluorescentno, osvjetljenje žaruljama itd. Profesionalni digitalni fotoaparati omogućuu i veći stupanj autonomije gdje sami određujemo balans bijele odabirom temperature osvjetljenja ili pak uzimanje uzorka iz okoline u kojoj se snima. Uzorak uzimamo tako da kadriramo područje stvarne bijeline iz okoline ili neke druge boje koja će nam služiti kao referenca za određivanje balansa. Nakon unosa podataka aparat je podešen za snimanje. Za precizno definiranje bijele često se koriste i tonkarte sa sivim klinovima ili ploče sa bijelim standardom kod kojih su boje strogo definirane međunarodnim standardima.

2.14. Svjetlosna osjetljivost (ISO)

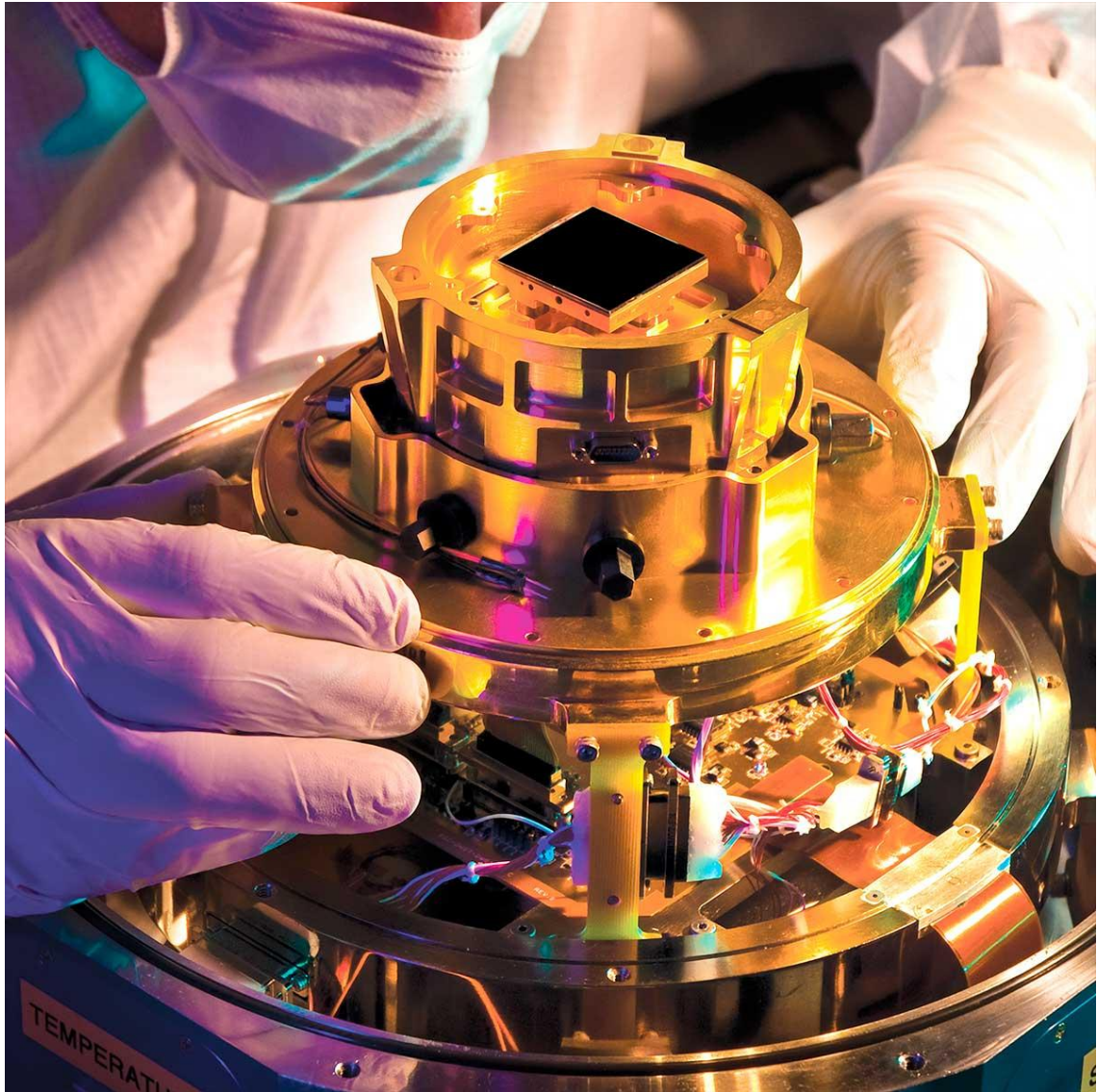
Klasični fotografski filmovi dolaze u trgovine proizvereni sa različitim ali fiksnim osjetljivostima koji definiraju korištenje filma za različite svjetlosne uvijete. Korištenjem filma niže svjetlosne osjetljivosti dobivene slike su fine zrnatosti, ali za snimanje trebamo više svjetlosti. Ovakvi filmovi su pogodni za snimanje u prirodi ili pri snimanju eksterijera pri dobrom osvjetljenju. Za snimanje interijera ili pri lošim svjetlosnim uvijetima trebamo ili dodatnu rasvjetu ili osjetljiviji film. Sa povećanjem osjetljivosti filma raste i zrnatost konačne fotografije.

Kod digitalnih fotoaparata situacija je nešto drugačija, pošto svaki digitalni aparat ima fotosenzor koji se ne da izmjeniti, takav senzor ima dinamičku mogućnost mijenjanja osjetljivosti. Promjena osjetljivosti se vri u rasponu koji je definiran proizvodnim karakteristikama samog fotosenzora. Na tržištu digitalnih fotoaparata trenutno je standard da svi digitalni aparati podržavaju barem raspon osjetljivosti od 100, 200, 400 i 800 ISO. Međutim kod profesionalnih D-SLR fotoaparata ta je dinamika znatno veća pa na tržištu nalazimo specifikacije o osjetljivosti od 50 ISO pa sve do 409,600.

Povećavanje osjetljivosti digitalnog fotosenzora vrši se na način da se pojača izlazni signal fotosenzora tako da u konačnici trebamo manje svjetla da bi snimili fotografiju. Nezgodno je to da se pojačavanjem izlaznog signala digitalnog fotosenzora pojačava i količina šuma vidljivog na slici. To povećanje šuma na digitalnoj fotografiji podsjeća upravo na onu povećanu zrnatost kod klasičnog filma premda se pojavljuje zbog različitog razloga. Ako bismo željeli to malo slikovitije pojasniti tada možemo povećavanje osjetljivosti fotosenzora usporediti sa radijskom prijemnikom koji hvata loš signal radiopostaje. Naime pojačavanjem radija pri lošem signalu dobivamo navolumenu zvuka ali se povećavaju i smetnje zbog lošeg prijema signala.

Napretkom tehnologije kroz godine stvoren je čitav niz usko specijaliziranih digitalnih fotosenzora iznimno visoke osjetljivosti kod kojih je ova distorzija

šuma svedena na minimum. Takvi se fotosenzori koriste u medicini, istraživanju svemira, nuklearnoj tehnologiji i sl.[Slika 8].



Slika 8. Fotosenzor za teleskop

2.15. Interpolacija

Interpolacija, koju ponekad zovemo i reempliranje, je metoda obrade digitalne slike sa svrhom povećanja ili smanjivanja broja nosilaca slikovne informacije, piksela, na digitalnoj fotografiji.

Pojedini digitalni fotoaparati koriste interpolaciju da bi kreirali digitalne fotografije većeg formata, slike sa više piksela, nego što je u stvarnosti moguće snimiti sa fotosenzorom ugrađenim u uređaj. Osim ovoga Interpolacija se koristi kod digitalnih fotoaparata koji imaju mogućnost digitalnog zumiranja. Gotovo svi programi koji su specijalizirani ili se nekim svojim dijelom bave obradom digitalne fotografije, podržavaju jednu ili više metoda interpolacije. Ovisno o tome koliko povećamo dio kadra sa digitalne fotografije, na samoj slici pojavljuje se digitalna zrnatost ili nazubljenost, jaggies. Koliko će ta nazubljenost odnosno digitalna zrnatost biti vidljiva ovisi o tome koliko je softiciran program za interpolaciju.

Interpolacija povećava broj piksela na slici, danas postoje kvalitetni algoritmi koji omogućavaju jako dobre rezultate interpolacije. Međutim u svakom trenutku mora nam biti jasno da interpolacija ne može dodati slici nove informacije koje digitalna slika nije već imala. Drugim riječima interpolacijom ne možemo digitalnoj slici dodati više detalja nego što ih ona u originalnoj rezoluciji ima.

Cijela teorija interpolacije zasniva se na prilično jednostavnom principu, ovisno o našem zahtjevu za interpolacijom, algoritam izračunava parametre novog piksela, boju i svjetlinu, koji će biti umetnut u digitalnu sliku, uzimajući u obzir okolne piksele. Parametri boje i svjetline okolnih piksela definiraju izgled novog piksela. Na primjer ako želimo sliku dimenzije 120 X 90 piksela uvećati na veličinu 480 x 360 piksela događa se sljedeće: iako slika raste nominalno 4X broj ukupnog broja piksela raste 16X, originalna slika ima 10.800 piksela a uvećana 172.800 piksela. U konačnici to možemo interpretirati i ovako; Svaki piksel originalne slike mora dati informaciju za kreiranje 16 piksela nove slike.

Bez obzira koliko algoritmi za interpolaciju bili napredni a programi sofisticirani oni ne mogu na slici kreirati informacije, detalje, koji nisu uhvaćeni digitalnim fotoaparatom.

Dakle pitanje same interpolacije nije kako digitalnu sliku napraviti boljom, već na koji način najtočnije predvidjeti parametre koji će se dodjeliti novokreiranom pikselu ili kako bi on trebao izgledati da je digitalna slika fotografirana u većoj rezoluciji.

U nastavku teksta objasniti ćemo nekoliko najčešće korištenih tehnika i metoda koje se koriste pri interpolaciji a korišteni su od strane digitalnih fotoaparata i programa za obradu digitalne fotografije. Metode interpolacije koje ćemo obraditi su:

- Nearest Neighbour interpolacija
- Bilinear Interpolacija
- Bicubic interpolacija
- Fractal interpolacija

Nearest Neighbour interpolacija je najjednostavniji oblik interpolacije i u osnovi povećava postojeći piksel za iznos zadanog povećanja. Boja piksela na novoj slici je identična boji najbližeg piksela sa originala. Ako digitalnu fotografiju povećamo za 200% originalni piksel biti će povećan na površinu 2X2 piksela odnosno kreirati će 4 piksela sa identičnom bojom originalnog piksela. Ovu metodu interpolacije najčešće koriste programi za obradu i prikaz digitalnih fotografija kad se koristi opcija zoom, odnosno povećanja, u svrhu pregleda prije daljnje obrade digitalne fotografije. Kad se koristi u ovu svrhu funkcija Nearest Neighbour daje iznimno dobre rezultate jer ne mijenja boju piksela, a nedostatak je da se povećava nazubljenost, digitalna zrnatost, fotografije. Problem koji se pojavljuje kod ovog tipa interpolacije najviše je vidljiv kod koraka povećanja koji nisu djeljivi sa 2 ili 4 od osnovne 100% veličine slike.

Važno je naglasiti da ova radnja nije zahtjevna ni memorijski ni procesorski tako da jednostavno daje prikaz u stvarnom vremenu.

Bilinear interpolacija spada srednje kompleksne oblike funkcija za interpolaciju. Kalkulacija vrijednosti novog piksela se radi na bazi četiri piksela koji se nalaze u neposrednoj blizini unutar 2X2 piksela te se vrijednost dobiva standardnim linearnim izračunom. Dobivena vrijednost koja se dodjeljuje novom pikselu stvara Anti-aliasing efekt koji rezultira prilično kvalitetnim i glatkim rubovima sa gotovo neprimjetnim nazubljenjem, digitalnom srnatošću.

Bicubic interpolacija je znatno kompleksnija metoda od prethodno objašnjene bilinearne opcije interpolacije. Upotrebom ove funkcije dobivamo gotovo neprimjetnu digitalnu zrnatost, a rubovi su gotovo savršeno glatki. Zbog svog iznimno zahtjevnog algoritma Bicubic interpolacija zahtjeva dosta procesorske snage što je do prije nekoliko godina stvaralo dosta problema, danas zbog sve jačih procesora to ne predstavlja veliki problem. Vrijednost parametara koji se dodjeljuju novonastalom pikselu izračunava se uzimajući bikubičnu vrijednost 16 najbližih piksela u okruženju od 4X4 piksela originalne slike. Bicubic interpolacije najčešće je korištena metoda interpolacije u programima za obradu digitalne fotografije a koristi se i kod digitalnih fotoaparata kod opcije digital zoom-a. Bicubic interpolacija često dolazi u svoje dvije inačice: Bicubic Smoother i Bicubic Sharper.

Fractal interpolacija je bazirana na konceptu fraktalnih funkcija i koristi se kod ekstremnih povećanja digitalne fotografije. Ova metoda najbolje od svih predstavljenih metoda čuva sam izgled elemenata digitalne fotografije i smanjuje zamućenje na rubovima elemenata kadra.

2.16. Formati datoteka za pohranu podataka

Zašto imamo različite formate datoteka i čemu to sve služi?

Da bi mogli pružiti kvalitetan odgovor na ovo jednostavno pitanje moramo se vratiti korak u nazad i reći nešto više o samoj memorijskoj veličini digitalne fotografije. Osim toga potrebno je objasniti na koji se način definiraju podatci koji čine digitalnu fotografiju te na koji se način isti ti podaci spremaju na memorijskoj kartici ili čvrstom disku.

Da bi nam slika o tome na koji se način pohranjuje digitalna fotografija bila čim jasnija ovo smo poglavlje podjelili na tri dijela: Stvarna veličina digitalne slike, Kompresija bez i sa gubitkom i Najčešći formati za pohranu digitalne fotografije na digitalnom fotoaparatu.

Stvarna veličina digitalne fotografije

Kada govorimo o stvarnoj veličini digitalne fotografije to jest o njenoj memorijskoj veličini moramo u obzir uzeti nekoliko parametara koji direktno utječu na veličinu digitalne fotografije, a to su:

- Broj piksela digitalne fotografije
- Dinamički opseg digitalne fotografije

Broj piksela prikazanih na digitalnoj fotografiji najčešće je određen veličinom samog foto senzora, osim kad se koristimo interpolacijom da bi povećali broj piksela slike što je objašnjeno u poglavlju o interpolaciji. Kao primjer možemo navesti foto senzor sa 3.1 mega piksela, digitalna slika dobivena ovim foto senzorom ima rezoluciju 2048x1536 piksela ili 3.145.728 piksela. Dakle ukupni broj piksela određene digitalne fotografije dobijemo tako da pomnožimo njezinu širinu i visinu izraženu u pikselima.

Dinamički opseg predstavlja broj boja koje određena digitalna fotografija može prikazati, a stvar postaje puno kompleksnija nego kad govorimo o ukupnom broju piksela.

U predhodnim smo poglavljima već pojasnili da se scaka kolorna slika sastoji iz tri osnovna kanala boje, crvena, zelena i plava (RGB). Po svakom kanalu boje, svakom se pikselu ponaosob, dodjeljuje memorijski kapacitet koji svakom pikselu daje kapacitet da prikaže bilo koju boju koja se nalazi unutar pripadajućeg kolornog opsega. Ako jednom kanalu boje dodjelimo 8 bitnu boju, to znači da naš piksel u tom kanalu boje može prikazati 2^8 nijansi te boje ili 256 nijansi. Prema standardima mjernih jedinica 8 Bitova je 1 Byte. Pošto najčešće govorimo o digitalnim fotografijama u punoj boji odnosno o 3 kanala boje, svakom je pikselu pridruženo 3 Byte memorije odnosno svaki piksel naše digitalne fotografije može prikazati 24 bitnu dinamički opseg ($R+G+B=8+8+8=24$) što nas dovodi do činjenice da svaki piksel digitalne fotografije može prikazati paletu od 2^{24} boja ili da se u njegovom dinamičkom opsegu nalazi 16.777.216 boja.

Sad kad nam je jasno na koji se način rezervira memorija za digitalnu fotografiju kalkulacija je zbilja jednostavna

$$3.145.728 \times 3 \text{ Byta} = 9.437.184 \text{ Byta}$$

$$9.437.184 \text{ Byta} / 1024 = 9.216 \text{ KB}$$

$$9.216 \text{ KB} / 1024 = 9 \text{ MB}$$

Dakle stvarna memorijska veličina sdigitalne slike fotografirane senzorom od 3.1 MP koja je spremna prihvatiti puni dinamički opseg iznosi 9 MB.

Međutim iskustvo govori da jedna digitalna fotografija od 3.1 MP ni u kojem slučaju ne prelazi veličinu od 1 MB kad je spremljena na memorijsku karticu ili čvrsti disk. Kako je moguće da postoji tolika razlika između egzaktno matematičke kalkulacije i realnog stanja stvari? Odgovor na ovo pitanje je dvojak, naime izračunom se bobiva stvarna veličina digitalne fotografije, ali zbog korištenja krajnje naprednih algoritama za sažimanje podataka,

kompresije, konačna datoteka zuzima puno manje memorijskog prostora na mediju za pohranu nego što kalkulacija pokazuje.

2.17. Mediji za pohranu slike

Pohrana fotografije na medij za trajno spremanje može se činiti kao trivijalna stvar, ali je pored samog procesa snimanja fotografije jedna od najvažnijih funkcija digitalnog fotoaparata.

Bez kvalitetne pohrane fotografije sam proces fotografiranja nema smisla, jer ako nemamo mogućnost našu fotografiju ponovno vidjeti, njom manipulirati i opetovano ju koristiti, čemu onda sav trud oko samog fotografiranja.

Nažalost broj različitih tipova memorijskih kartica za pohranu fotografija raste svake godine, što krajnjim korisnicima stvara probleme kod kompatibilnosti između različitih proizvođača digitalnih fotoaparata kao i kod vrsta i generacija pojedinih uređaja i medija. Dobra vijes svakako je da cijena memorije kontinuirano opada čime pristupačnost medija za pohranu postaje prihvatljiva a sama potreba za povećanjem kapaciteta memorijskih kartica ne stvara značajan problem.

Memorijske kartice su za digitalni fotoaparatus upravo ono što je film za konvencionalni (analogni) fotoaparatus. Memorijske kartice su pokretni uređaji za pohranu i prijenos digitalnog zapisa, fotografije, fotografiranih digitalnim fotoaparatom. Same kartice se mogu koristiti za pohranu bilo kakvog digitalnog zapisa ali pošto u ovom radu govorimo digitalnoj fotografiji, na pohrani digitalne fotografije ćemo se bazirati kad govorimo o memorijskim karticama.

Razvoj memorijskih kartica prati trendove razvoja digitalnih fotoaparata pa kad govorimo u kojem se smjeru razvijaju memorijske kartice, govorimo o:

- Povećanje kapaciteta
- Povećanje brzine zapisivanja – kako bi se podržalo kvalitetno zapisivanje visokorezolucijskih slika i snimane nekomprimiranih zapisa – RAW
- Pad cijena koštanja GB

- Smanjenje dimenzija

Jedina loša strana ovih globalnih kretanja u razvoju medija za pohranu skriva se u činjenici da je gotovo nemoguće u isto vrijeme koristiti istu memorijsku karticu na različitim uređajima konzumerke elektronike, kao što su: PDA, MP3 playeri, foto okviri, mobiteli, kamere i sl.

Krenemo li povjesnim sljedom, kao prvu memorijsku karticu možemo identificirati Flopy disketu koja je predstavljena od tvrtke Sony. Ovaj medij ne samo da je bio nepouzdan i poznat po svojstvu da vremenom podatci zapisani na njemu nisu čitljivi već prema današnjim standardima na jedan Floppy stane samo jedna dotografija od 3 megapiksela komprimirana u JPEG formatu kvalitete Fine.

Danas najkorišteniji tipovi memorijskih kartica su:

- Compact Flash – CF
- Microdrive – MD
- Smart Media – SM
- Memori Stick
- Multi Media Card – MMC
- xD Picture Card

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu se u kontroliranim uvjetima provelo ispitivanje utjecaja promjene osjetljivosti i promjene bijelog balansa na reprodukciju boja i nastanka šuma na digitalnoj fotografiji.

Ispitivanje je provedeno na realnom fotografskom motivu i standardnoj tablici boja pri dnevnom svjetlu sa dva različita modela fotoaparata sa slijedom identičnih postavki u cilju usporedbe rezultata.

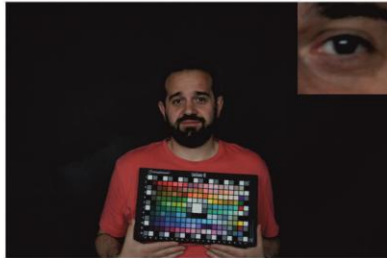
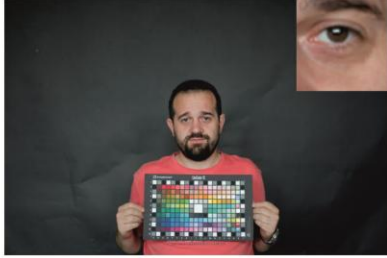
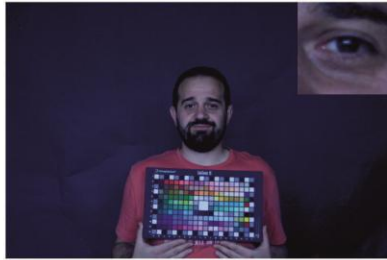
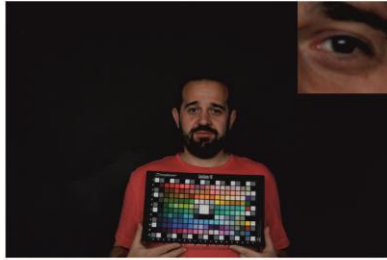
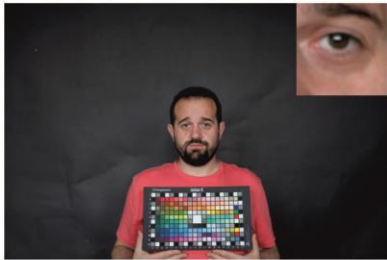
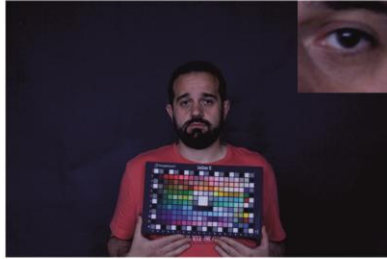
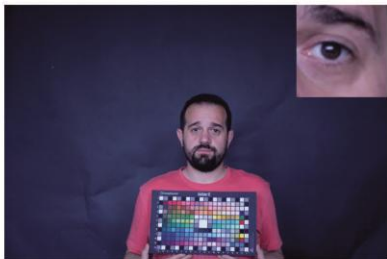
Korišteni modeli fotoaparata su:

- Canon EOS 1000D
- Canon EOS 5D Mark II

Fotografski motiv je slikan sa udaljenosti 2.2 metra pri dnevnom svjetlu, digitalne fotografije su spremane u JPEG i RAW formatu.

4. REZULTATI

Na slikama je prikazana promjena bijelog balansa kroz AWB, Tungsten, Daylight i Fluorescent postavke pri osjetljivosti od 100 ISO[Slika 9.].

100 ISO	•Canon EOS 1000D	•Canon EOS 5D Mark II
·AWB	 A photograph of a man with a beard holding a color calibration chart. The background is dark, and the lighting is balanced (AWB). A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.	 A photograph of the same man holding the same chart. The background is dark, and the lighting is balanced (AWB). A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.
·TUNGSTEN	 A photograph of the man holding the chart. The background is dark with a blueish tint, characteristic of tungsten lighting. A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.	 A photograph of the man holding the chart. The background is dark with a blueish tint, characteristic of tungsten lighting. A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.
·DAYLIGHT	 A photograph of the man holding the chart. The background is dark, and the lighting is balanced (Daylight). A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.	 A photograph of the man holding the chart. The background is dark, and the lighting is balanced (Daylight). A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.
·FLUORESCENT	 A photograph of the man holding the chart. The background is dark with a blueish tint, characteristic of fluorescent lighting. A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.	 A photograph of the man holding the chart. The background is dark with a blueish tint, characteristic of fluorescent lighting. A close-up inset of the man's eye is visible in the top right corner.

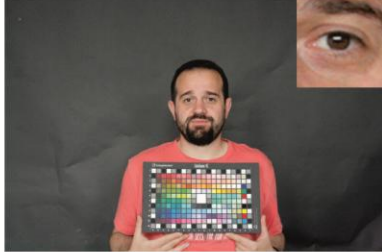

Slika 9. Promjena bijelog balansa na 100 ISO

Na slikama je prikazana promjena bijelog balansa kroz AWB, Tungsten, Daylight i Fluorescent postavke pri osjetljivosti od 800 ISO[Slika 10.].

800 ISO	•Canon EOS 1000D	•Canon EOS 5D Mark II
·AWB		
·TUNGSTEN		
·DAYLIGHT		
·FLUORESCENT		


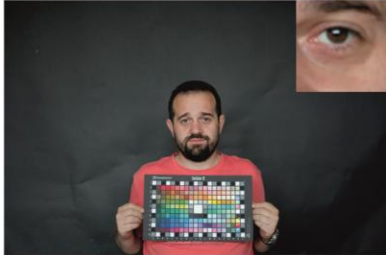
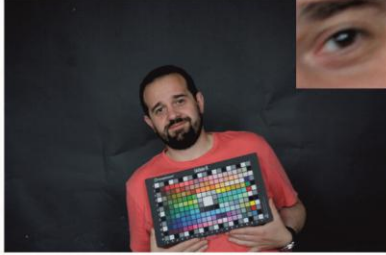
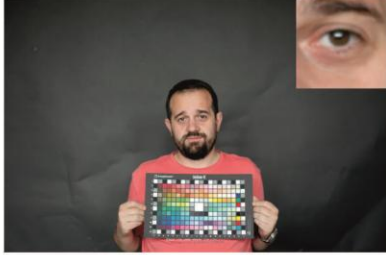
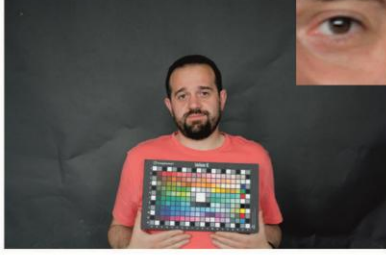
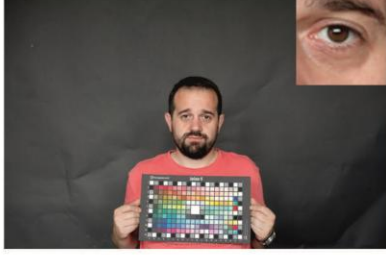
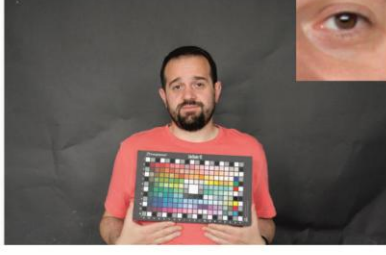
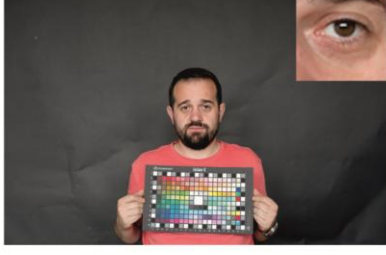


Slika 10. Promjena bijelog balansa na 800 ISO

Na slikama je prikazana promjena bijelog balansa kroz AWB, Tungsten, Daylight i Fluorescent postavke pri osjetljivosti od 1600 ISO[Slika 11.].

1600 ISO	•Canon EOS 1000D	•Canon EOS 5D Mark II
·AWB		
·TUNGSTEN		
·DAYLIGHT		
·FLUORESCENT		

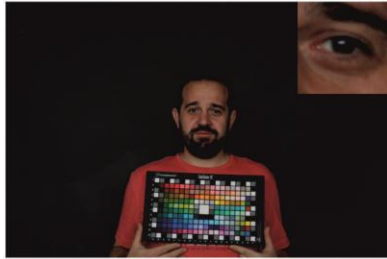
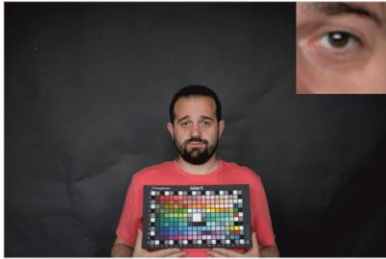
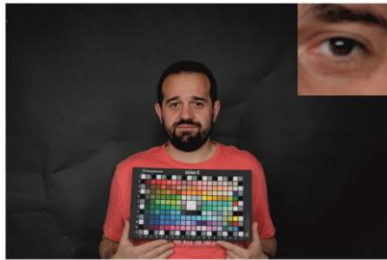
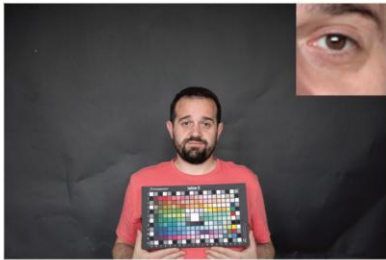
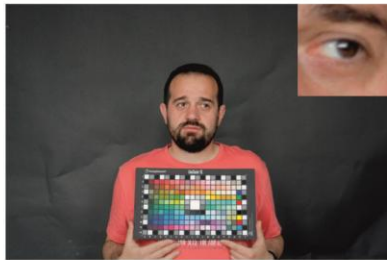
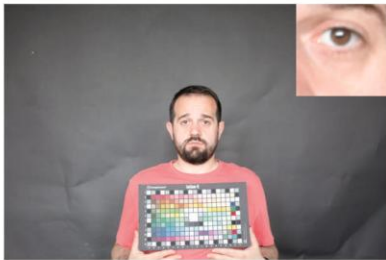
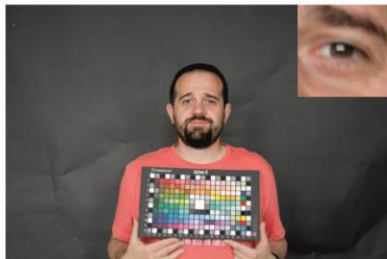
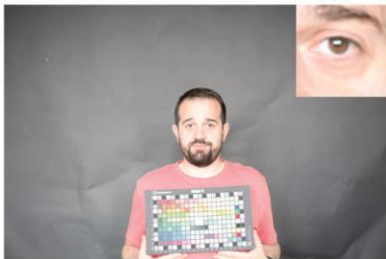
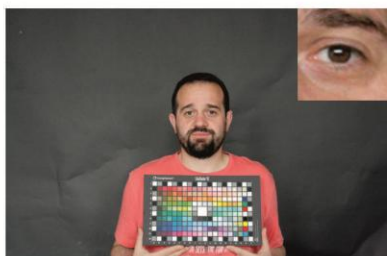
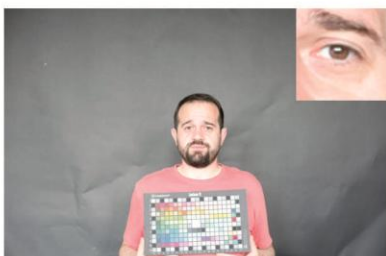
Slika 11. Promjena bijelog balansa na 1600 ISO

Na slikama je prikazana promjena osjetljivosti od 100 ISO, 200 ISO, 400 ISO, 800 ISO I 1600 ISO kroz AWB bijeli balans[Slika 12.].

AWB	•Canon EOS 1000D	•Canon EOS 5D Mark II
·100 ISO		
·200 ISO		
·400 ISO		
·800 ISO		
·1600 ISO		

Slika 12. Promjena osjetljivosti na AWB

Na slikama je prikazana promjena osjetljivosti od 100 ISO, 200 ISO, 400 ISO, 800 ISO I 1600 ISO kroz Daylight bijeli balans[Slika 13.].

DAYLIGHT	•Canon EOS 1000D	•Canon EOS 5D Mark II
·100 ISO		
·200 ISO		
·400 ISO		
·800 ISO		
·1600 ISO		

Slika 13. Promjena osjetljivosti na Daylight

5. RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Ispitivanja koja su provedena, ispitivanje utjecaja osjetljivosti te šuma fotosenzora na sliku te ispitivanje bijelog balansa na slici sa dva različita fotoaparata, pokazala su kao što je bilo očekivano različite rezultate.

Kod oba fotoaparata pri ispitivanju utjecaja osjetljivosti te šuma fotosenzora kod osjetljivosti od 100 ISO vidljiva je zadovoljavajuća kvaliteta reprodukcije fotografija u povećanjima primjerenim za izložbe fotografija. Prva razlika između dva aparata uočava se pri osjetljivosti od 800 ISO kod fotoaparata Canon EOS 1000D gdje šum fotosenzora pri toj osjetljivosti postaje vidljiv na ispisu fotografije dok kod fotoaparata Canon EOS 5D MK II na toj osjetljivosti kvaliteta ispisa ostaje nepromijenjena. Prva vidljiva razlika na fotoaparatu Canon EOS 5D MK II pojavljuje se kod osjetljivosti od 3200 ISO koja nije bila uspoređivana s fotoaparatom Canon EOS 1000D zbog toga što taj aparat nema mogućnost izbora te ISO osjetljivosti.

Istraživanje bi se u tom području dalje moglo provesti programskom nadogradnjom fotoaparata Canon EOS 1000D te daljnjom usporedbom osjetljivosti kod reprodukcija fotografija.

Ispitivanje bijelog balansa kod oba fotoaparata korištena u ovom završnom radu pokazalo je kod svih ispitivanih bijelih balansa razliku u kvaliteti kod snimljenih fotografija. Najveće razlike bile su vidljive kod *Tungsten*, *Daylight* i *Flourescent* bijelog balansa dok se najmanja razlika u promjeni bijelog balansa pokazala kod odabira *AWB (Auto White Balance)* opcije.

Jednako kao i kod ispitivanja osjetljivosti i šuma na fotosenzoru i ovdje bi se ispitivanje moglo ponoviti nakon programske nadogradnje fotoaparata te detaljnijom analizom vidjeti da li se smanjuju okom vidljive razlike kod *Tungsten*, *Daylight* i *Flourescent* bijelog balansa te da li se dodatno smanjila razlika kod *AWB* opcije bijelog balansa.

Kroz provedena ispitivanja fotoaparata CanonEOS 1000D u području ispitivanja ISO osjetljivosti i šuma fotosenzora dao je lošije rezultate od fotoaparata Canon EOS 5D Mk II. U ispitivanju bijelog balansa bila je slična situacija kod *Tungsten*, *Daylight* i *Flourescent* rasvjete sa vidljivo lošijim rezultatima za fotoaparata Canon EOS 1000D dok se kod odabira opcije *AWB* bijelog balansa ta razlika drastično smanjila. Kroz sve navedeno može se zaključiti da fotoaparati sa novijim senzorom koji koriste noviju tehnologiju daju bolje rezultate. Za buduća ispitivanja pokazalo se interesantnim u daljnjem radu ponovno provesti ispitivanje nakon programske nadogradnje fotoaparata s obzirom da do novog napretka u razvoju tehnologije dolazi u današnje vrijeme na svakodnevnoj bazi.

6. LITERATURA

1. Scott Kelby(2008), *The Digital Photography Book 1st Edition*, Peachpit press
2. Bryan Peterson(2010), *Understanding Exposure, 3rd Edition*, Amphoto Books
3. Henry Horenstein(2011), *Digital Photography: A Basic Manual*, Little, Brown Company
4. Junichi Nakamura(2005), *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras (Optical Science and Engineering*, CRC Press
5. Susan M. Winchip(2011), *Fundamentals of Lighting 2nd Edition*, Fairchild Books
6. Ajit Khosla, Dongsoo Kim(2015) *Optical Imaging Devices: New Technologies and Applications (Devices, Circuits, and Systems)*, CRC Press

SLIKE

Slika 1 - George Smith i Willard Boyle- <http://www.chipsetc.com/ccd-camera-sensors.html>

Slika 2 - Zapis slike na senzoru- <http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20126/camera>

Slika 3 - RGB- http://crbsite.com/new_aicasf/digital_color_current/color_wheels/RGB_sample_CW_pst_&_slider_f13.jpg

Slika 4 Separacija boja- <content/uploads/2010/09/colorseparation.gif>

Slika 5 - SCCD senzor- http://www.dpreview.com/glossary/resources/images/123di_fuji.gif

Slika 6 - Veličina senzora- http://cvp.com/images/uploaded/sensor_table.gif

Slika 7 - Bijeli balans- <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/04/92/aa/0492aa6716108fb483e26b41b7755f6a.jpg>

Slika 8 - Fotosenzor za teleskop- [http://www.teledyne-si.com/images/Image-iwst-2.jpg](http://www.teledyne-si.com/images/Image-<u>iwst-2.jpg</u>)

Slika 9 - Promjena bijelog balansa na 100 ISO- [autor](#)

Slika 10 - Promjena bijelog balansa na 800 ISO- [autor](#)

Slika 11 - Promjena bijelog balansa na 1600 ISO- [autor](#)

Slika 12 - Promjena osjetljivosti na AWB- [autor](#)

Slika 13 - Promjena osjetljivosti na Daylight- [autor](#)