

Nastajanje boje u CCD senzoru

Tomislav Ciceli*



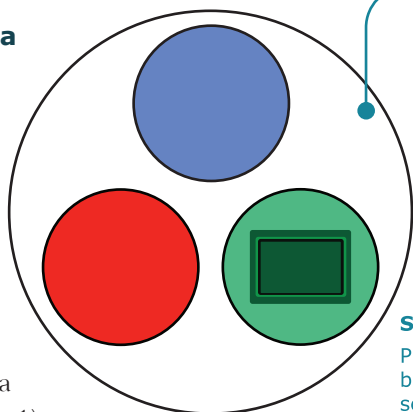
Neke stvari u životu uzimamo »zdravo za gotovo«. Recimo fotografiranje digitalnim fotoaparatom ili, danas sve više, mobilnim telefonima. Jeste li se ikada zapitali kako nastaje boja u tim uređajima? Vjerujem da mnogi nisu. Ovaj rad približit će vam procese koji se odvijaju u tim uređajima nakon »okidanja«, pa do trenutka kada gledamo prikaz fotografije na zaslonu.

1. Izvedbe senzora

CCD senzor je po svojoj prirodi monokromatski, tj nema sposobnost razlikovanja dijelova crvenog, zelenog i plavog svjetla. Zbog toga se u industriji koriste tri osnovna načina za izdvajanje boje snimljene scene¹. Problem karakterističan za svaki od navedenih načina prikupljanja informacija je da postoji utrostručenje podataka.

1.1 CCD senzor sa sekvencijskim dobivanjem boje

Slika u boji dobiva se pomoću filtera za tri osnovne boje: crvenu, zelenu i plavu, smještenog na rotacijski kotač (slika 1).



Slika 1.
Prikaz dobivanja boje kod senzora sa sekvencijskim kotačem

Jedan otvor, jedan filter, jedna boja. Prvo se registrira jedna boja, pa druga i zatim treća. Boja se dobiva naknadnom rekonstrukcijom registriranog intenziteta izvan samog senzora.

Prednost ovakve metode je iskorištenje punog formata samog piksela, tj. dobivanje maksimalne rezolucije (Kodak Company, 2001). Međutim treba više vremena za registriranje (više od tri puta) te objekt snimanja mora mirovati dulji period kako bi se izvršilo registriranje.

1.2 Tri CCD senzor (3 CCD senzor)

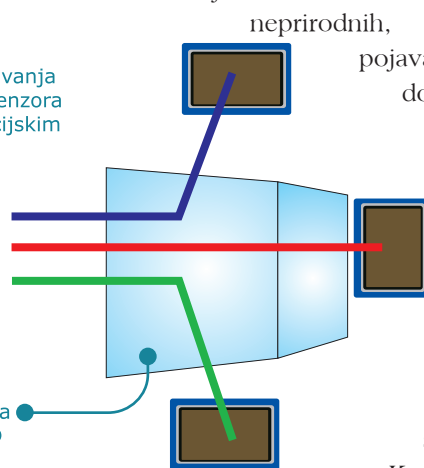
Tri CCD senzor se u osnovi sastoji od tri odvojena senzora, a svaki registrira boju u skladu sa odabranim filterom. Za razdvajanje svjetla na osnovne

boje koristi se prizma (vidi sliku 2).

Prednost je istovremena registracija svih boja registriranog objekta, a nedostatak je velika kompleksnost takovog uređaja i kalibracija kamere, koja s ciljem rekonstruiranja puta zraka između senzora nije jednostavna upravo zbog toga što u kameri egzistiraju tri fizički odvojena senzora.

1.3 Integrirani filteri na samom senzoru

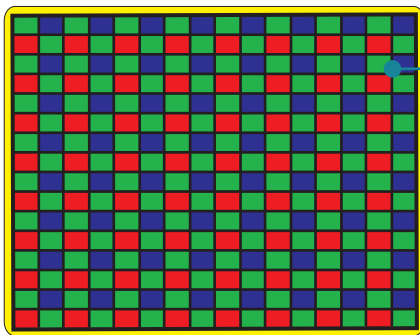
Umjesto da se filtriranje upadne zrake svijetla proizvodi izvan samog senzora, filteri se ugrađuju na samom senzoru (slika 3). Ipak svaki piksel može biti bojan samo jednom (kod RGB sustava) ili s dvije (kod CMY sustava) boje. Svaki izbor vodi smanjivanju efektivne rezolucije i povećanju



Slika 2.
Prikaz dobivanja boje kod 3 CCD senzora

neprirodnih, neregistriranih pojava. Još jedan nedostatak je da se izvan senzora u postupku naknadne obrade moraju ispuniti rupe koje se javljaju kao nedostaci boje između samih piksela. Kod RGB senzora

[*] mr. sc. Tomislav Ciceli, dipl. ing. geod., Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, e-mail: tomislav.ciceli@geof.hr
[1] Kod CMOS tehnologije postoji i četvrti način. Detalji se nalaze u poglavlju »CMOS senzori«



Slika 3.
Prikaz dobivanja
boje kod senzora
s integriranim
filterima

za postupak nastajanja boje koristi se, u skladu s Bayer RGB uzorkom, dvostruko više zelenih piksela, zbog činjenice da je ljudsko oko najosjetljivije upravo na tu boju. Tako npr. senzor od 768 horizontalnih elemenata ima 384 zelenih, 192 crvena i 192 plava elementa (Holst, 1996).

2. Dobivanje boje kod ccd senzora uporabom filtera integriranih na samom senzoru

Dobivanje boje kod CCD senzora uporabom filtera integriranih na samom senzoru bazira se na tome da svaki piksel pohranjuje informacije samo o jednoj boji. Takav način pohranjivanja boja kreira mozaik piksela. Kako bi dobili stvarni prikaz, potrebno je napraviti demozaiciranje.

Kako bismo rekonstruirali informacije o boji, potrebno je kreirati informacije o iluminaciji i boji. Budući da je ljudsko oko manje osjetljivo na degradaciju u boji nego na informaciju o osvjetljenju, fotodetektor za prikaz iluminacije moraju se pojavljivati u većem broju nego fotodetektor za prikaz boje. Spektralna osjetljivost ljudskog oka na osvjetljenje je slična spektralnoj snazi zelene boje, pa se za dobivanje osvjetljenja koriste pikseli osjetljivi na zelenu boju. Crveni i plavi pikseli nadomještaju informacije o

boji (Ramanth, 2000). Na osnovi tih spoznaja konstruiraju se filteri za dobivanje informacija o bojama.

Najviše je korištena izvedba patentirana od strane Bayera 1976. godine. (Bayer, 1976.). Predstavlja mozaik cr-

venih, zelenih i plavih optičkih filtera koji se mogu opisati kao jednostavan 2 x 2 uzorak prikazan na slici 4.

Uzorak se ponavlja kroz cijeli senzor u zavisnosti od početnog, koji predstavlja gornji lijevi kut senzora. U ostatku senzora uzorak se samo multiplicira.

Uzorak koji se često koristi u kamerama tvrtke Sony je Yamanaka uzorak (slika 5) koji zelene piksele ima poredane u jedan red.

Digitalne kamere koriste nelinearna logaritmička pojačala za konverziju svjetla u napon. Te vrijednosti je potrebno pretvoriti u linearne vrijednosti prije nego što budu pretvorene u XYZ sustav boja. Ta transformacija se odvija po zakonitostima Opto Elektroničke Konverzacijske Funkcije.

2.1 Algoritmi za kreiranje boje iz mozaika piksela (demozaiciranje)

Svaki CCD senzor registrira samo jednu boju na svakom pikselu pa iz mozaika boja koja nastaje kao rezultat korištenog filtera (Bayerna, Yamamake ili nekog drugog) rekonstruirati boju koja odgovara stvarnoj boji. Na taj način dobivamo sliku u punoj rezoluciji. Takav proces se naziva demozaiking. Interpolacija se izvodi na sirovim podacima. Postoji nekoliko metoda za interpolaciju: od najjednostavnije, li-

nearne interpolacije pa do puno kompleksnijih kao što su interpolacije nazvane prema tvorcima: Cok, Freeman, Laroche, Prescott, Hamilton-Adams i dr. (Ramanath i dr., 2002.).

2.1.1 Bilinearna interpolacija

Bilinearna interpolacija predstavlja najjednostavniji oblik interpolacije. Rekonstruirat će se informacija o plavoj i crvenoj boji za vrijednost piksela koja, npr. na slici 7, ima oznaku B44.

Kako je na pikselu 44 mjerena samo plava vrijednost, znači mora se odrediti G44 i R44. U susjedstvu se nalaze pikseli s oznakama G34, G43, G45 i G54. Vrijednost za G44 dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$G_{44} = \frac{(G_{34} + G_{43} + G_{45} + G_{54})}{4}$$

Da bi se odredila vrijednost R44 koristit će se ista analogija, samo će se obratiti pažnja na piksele s oznakom R, a to su R33, R35, R53 i R55.

$$R_{44} = \frac{(R_{33} + R_{35} + R_{53} + R_{55})}{4}$$

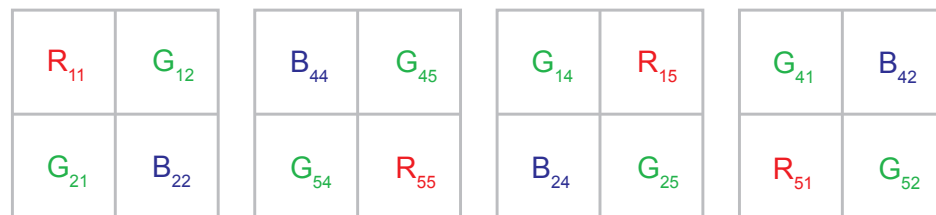
Na taj način kreiraju se vrijednosti boje za sve piksele, koje nedostaju u ovisnosti o boji za koju su registrirane. Takav oblik demozaiciranja spada u nisko frekventno filtriranje. Posljedica toga su »omekšani« rubovi.

2.1.2 Laroche–prescott metoda demozaiciranja

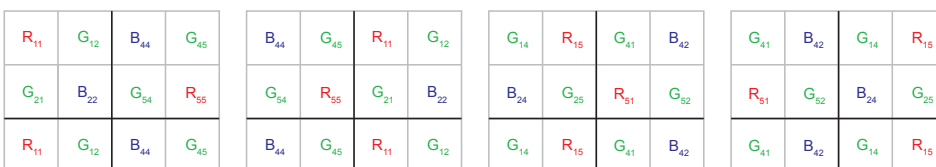
Kod ove metode interpoliranja koriste se tri koraka za dobivanje prave vrijednosti boje na nekom pikselu. Prvi korak podrazumijeva određivanje vrijednosti zelene boje, a treći i četvrti određivanje razlika u boji između plavog i zelenog te crvenog i zelenog kanala. Tako dobivene razlike služe za kreiranje kanala koji određuju boju (plavog i crvenog). Takav način interpoliranja koristi činjenicu da je ljudsko oko najosjetljivije na promjenu osvjetljenja. Prema slici 7 ponovo se određuje vrijednost G44. Uvest ćemo α i β kako bismo odredili pripada li piksel pripada vertikalnom ili horizontalnom rubu.

$$\alpha = \left[\frac{B_{42} + B_{46}}{2} \right] - B_{44}$$

$$\beta = \left[\frac{B_{24} + B_{64}}{2} \right] - B_{44}$$



Slika 4. Četiri moguće izvedbe filtera Bayer



Slika 5. Yamanaka uzorak za dobivanje boje

Za zeleni piksel koji nedostaje imamo izračun sljedećih vrijednosti:

$$G_{44} = \begin{cases} \frac{G_{43} + G_{45}}{2} & \text{ako je } \alpha < \beta \\ \frac{G_{34} + G_{54}}{2} & \text{ako je } \alpha > \beta \\ \frac{G_{43} + G_{45} + G_{34} + G_{54}}{4} & \text{ako je } \alpha = \beta \end{cases}$$

Prema istom obrascu izračunava se piksel G33. Jednom kada se osvjetljenje odredi pristupa se određivanju boje za piksele na osnovi razlike plavih i crvenih piksela od zelenih.

$$R_{34} = \frac{(R_{33} - G_{33}) + (R_{35} - G_{35})}{2} + G_{34}$$

$$R_{43} = \frac{(R_{33} - G_{33}) + (R_{35} - G_{35})}{2} + G_{43}$$

$$R_{44} = \frac{(R_{33} - G_{33}) + (R_{35} - G_{35}) + (R_{53} - G_{53}) + (R_{55} - G_{55})}{4} + G_{44}$$

Prije ovih izračuna, zelene vrijednosti se u potpunosti izračunavaju za cijeli senzor. Ova metoda interpolacije pokazala se kao najbolja u slučajevima kada snimljeni objekti imaju dobro definirane rubove.

3. Zaključak

Iz navedenog je vidljivo da nastanak boje u senzorima nije jednostavan, tj. da zapis boje koji se nalazi pred

nama ne predstavlja stvarnu, nego interpoliranu vrijednost. Možemo zaključiti da kvaliteta prikaza ovisi o dvama osnovnim uvjetima: kvaliteti senzora i kvaliteti interpolacije.

Literatura

- Bayer, B.E. (1976): Color imaging array, United States Patent 3,971,065, 1976
- Holst, G.C. (1996): CCD Arrays, Ca-

meras and Displays, JCD Publishing & SPIE Optical Engineering Press, Washington, SAD

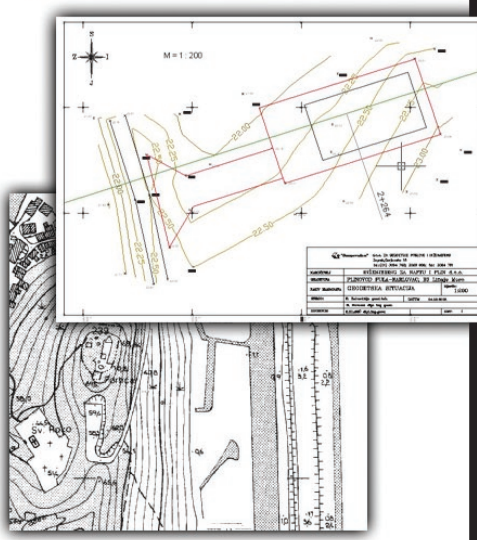
- Eastman Kodak Company (2001.): Charge-Coupled Device (CCD) Image Sensors, Image Sensors Solutions, Rochester, SAD
- Ramanath, R. Snyder, W. E., Bilbro, G. (2002): Demosaicking methods for Bayer color arrays, Journal of Electronic Imaging 11(3), 306-315, July 2002

Slika 6.
Matrica sa Bayer uzorkom boja

R ₁₁	G ₁₂	R ₁₃	G ₁₄	R ₁₅	G ₁₆	R ₁₇
G ₂₁	B ₂₂	G ₂₃	B ₂₄	G ₂₅	B ₂₆	G ₂₇
R ₃₁	G ₃₂	R ₃₃	G ₃₄	R ₃₅	G ₃₆	R ₃₇
G ₄₁	B ₄₂	G ₄₃	B ₄₄	G ₄₅	B ₄₆	G ₄₇
R ₅₁	G ₅₂	R ₅₃	G ₅₄	R ₅₅	G ₅₆	R ₅₇
G ₆₁	B ₆₂	G ₆₃	B ₆₄	G ₆₅	B ₆₆	G ₆₇
R ₇₁	G ₇₂	R ₇₃	G ₇₄	R ₇₅	G ₇₆	R ₇₇



www.geooperativa.hr





Geooperativa d.o.o.

ZA GEODETSKE POSLOVE
 10000 Zagreb, Gorjanska 18, 24
 tel: (01) 3095-906, 3041-270
 fax: 3094-760, 3094-761
 e-mail: info@geooperativa.hr