

## UVOD

Šumi, šumi – digitalna fotografija; slikovni šum digitalnih posnetkov je verjetno poznan že vsakomur, ki si je omislil digitalni fotoaparatus. Povzročajo ga parazitski signali oziroma tok zatemitve (dark current), ki nastane v snemalnem vezju, tudi ko ni osvetljeno. Znano je, da je obratnosorazmeren z velikostjo snemalnega vezja, njegovo geometrijsko ločljivostjo in splošno občutljivostjo. Torej:

- ◆ večje ko je pri istem številu fotoelementov snemalno vezje, manj slikovnega šuma povzroča (fotoelementi so razmeroma veliki),
- ◆ več ko je fotoelementov na snemalnem vezju iste velikosti, večji je slikovni šum posnetka (fotoelementi so razmeroma majhni),
- ◆ večja ko je splošna občutljivost snemalnega vezja, bolj šumeči so posnetki.

S slikovnim šumom se proizvajalci digitalnih fotoaparatusov spopadajo zlasti z ustreznimi algoritmi v slikovnih procesorjih, to je pri konvertiranju signalov v slikovne elemente oziroma piksele. Tu se pojavljajo druge napake, najpogosteje razostritev, posteriziranje in fragmentiranje. Edina prava rešitev pa je seveda zmanjšanje ali izničenje slikovnega šuma pri njegovem izviru na snemalnem vezju. V tem smislu so ta v zadnjih letih že zelo izboljšali, tako da pri enaki velikosti in podvojeni geometrični ločljivosti (12 namesto 6 milijonov fotoelementov) povzročajo enako ali celo manj šuma. Vseeno je še vedno prisoten, izražen zlasti pri posnetkih zahtevnih motivov z visoko splošno občutljivostjo in zelo veliko ekspozicijo. Običajno

# DIGITALNA FOTOGRAFIJA SE ZGLEDUJE PO OČESU

jih z amaterskimi kompaktnimi kamerami brez šuma sploh ni mogoče posneti.

- ◆ Pozor! Šumenje posnetkov je odvisno tudi od kakovosti monitorja in aplikacije oziroma programske opreme, s katero upodabljam digitalno sliko. Potrošniška oprema ga pogosto ne upodobi, zato je razočaranje v fotolaboratoriju toliko večje.

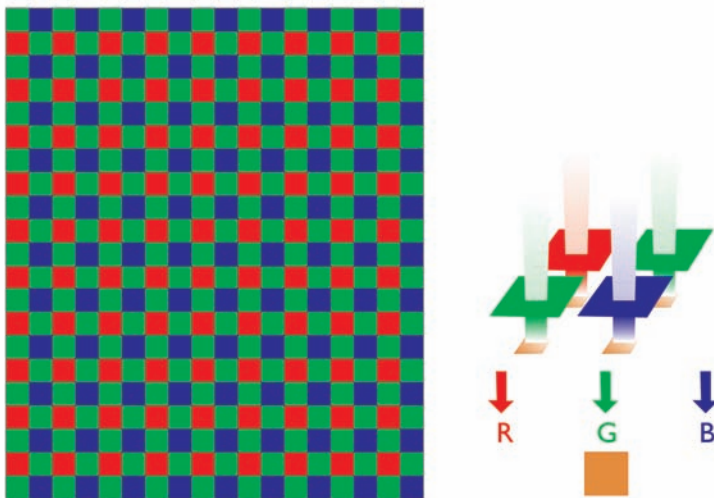
## NE POZABI SE SPOMINJATI OČESA

Navedenemu v izogib je Kitajec Gang Luo poleti leta 2006 predlagal, že leta 1999 pa patentiral novo zasnovo snemalnih vezij. Ker je njegova raziskovalna dejavnost usmerjena k preučevanju našega vida, je razumljivo, da se je pri tem zgledoval prav po ustroju človeškega očesa. Že dolgo se učimo, da so na njegovi mrežnici tri vrste čepkov (RGB), s katerimi zaznavamo barve, in paličke, s katerimi zaznavamo zgolj svetlost barvnih dražljajev. Tudi to vemo, da je svetlobna občutljivost paličk veliko večja kot občutljivost čepkov. Pri slabi osvetljenosti so aktivirane samo paličke, zato barv ne vidimo in vse krave so ponoči črne – no, temno sive. Le kaj torej še čaka-

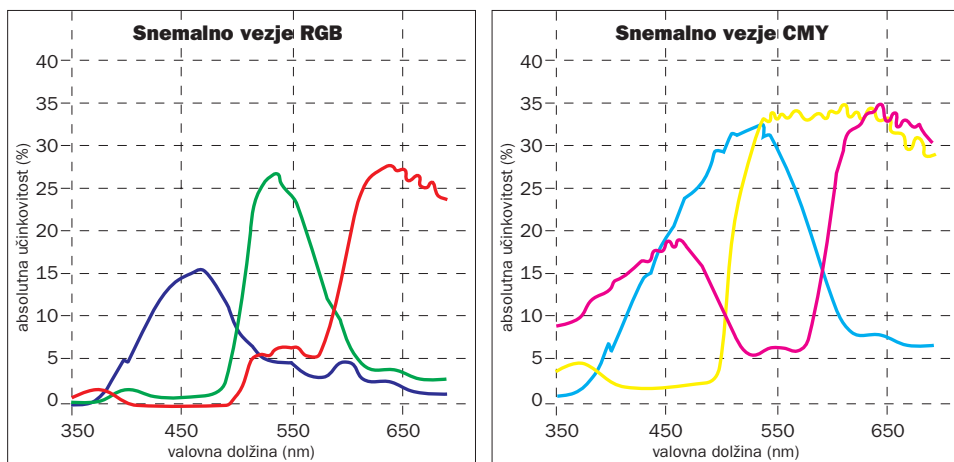
mo; že zdavnaj bi lahko zasnovali tudi podobno snemalno vezje za digitalno kamero. Na njem bi bili namesto paličk pankromatski fotoelementi (občutljivi na vse barvne dražljaje, na vse valovne dolžine spektra, tudi t. i. panpiksli), kar bi bistveno povečalo njegovo splošno občutljivost, poleg njih pa namesto čepkov (mono)kromatični fotoelementi s filtri, občutljivimi za posamezna spektralna območja: rdeče, zeleno in modro.

Večina snemalnih vezij je za sedaj zasnovana po Bayerjevem načelu. Kodakov sodelavec dr. Bryce E. Bayer je namreč leta 1975/76 predlagal in razvil strukturo oziroma razporeditev

(CFA: Color Filter Array), pri kateri so pred fotoelementi izmenično nameščeni rdeči, zeleni in modri filtri, s tem da je polovica zelenih, po četrtnina pa rdečih in modrih. Na 12-milijonskem vezju je torej šest milijonov zelenih in po tri milijone zelenih in rdečih fotoelementov; slika 1. Ker vsak izmed (aditivno) primarnih filtrov RGB prepušča zgolj tretjino vpadne (bele) svetlobe, se močno zmanjša splošna občutljivost vezja, še zlasti pri kompaktnih kamerah, pri katerih so fotoelementi zelo majhni. Da bi se te zadrege rešili, so v preteklosti skušali uporabiti (aditivno) sekundarne filtre CMY: cian namesto rdečega, magento name-



Slika 1. Klasična Bayerjeva struktura snemalnega vezja je do danes postala standard digitalne fotografije.



Slika 2. Snemalni vezji RGB in CMY v nasprotju. Splošna občutljivost drugega je veliko (približno šestkrat) večja od prvega, žal pa so pridobljeni piksli zaradi preračunov barvno oporečni.

sto zelenega in rumenega namesto modrega. Vsak sekundarni filter prepušča dve tretjini bele svetlobe, zato se občutljivost snemalnega vezja močno poveča. Ker pa digitalna fotografija kot televizija temelji na aditivnem mešanju barvnih dražljajev, so morali pridobljene sekundarne signale CMY pretvoriti nazaj v primarne RGB. Pri tem so se pojavile nepremostljive težave v zvezi z upodabljanjem barv, zato so tehnologijo opustili; slika 2.

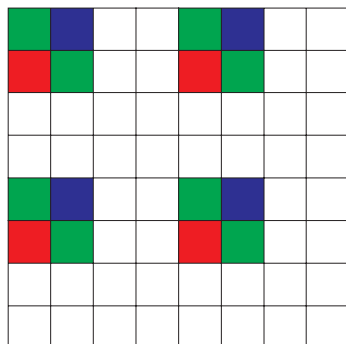
Gang Luo je svoje snemalno vezje zasnoval tako, da ima več kot polovico nefiltriranih pankromatičnih fotoelementov, preostanek pa je razdeljen na četrtino zelenih in po osmino rdečih in modrih; slika 3. Nefiltrirani fotoelementi uporabijo za snemanje vso razpoložljivo svetlobo, razmerje med informacijskim signalom in tokom zatemnitve v vezju se močno poveča, splošno postanejo zelo občutljivi, to pa v slabih svetlobnih razmerah pri-

pomore k bistveno manjšemu slikovnemu šumu in boljšemu upodabljanju podrobnosti. Signali fotoelementov RGB se uporabljajo samo še za procesiranje in upodabljanje barv, medtem ko za podrobnosti in ostrino poskrbijo signali nefiltriranih pankromatskih fotoelementov. Posnetek ni zaradi tega prav nič osiromašen, ker tudi naše oko zaznava podrobnosti in ostrino na podlagi svetlosti in ne kromatičnosti in barvitosti. Kromatični

signali so lahko veliko manj detajlirani kot akromatični. To dejstvo praktično dokazuje pretvarjanje in prenašanje televizijskih signalov pa tudi mnogi postopki za kompresiranje digitalnih slik (JPEG v številnih digitalnih kamerah). Rezultate Luovega snemalnega vezja ponazarja slika 4.

## KODAK PREVZEMA POBUDO

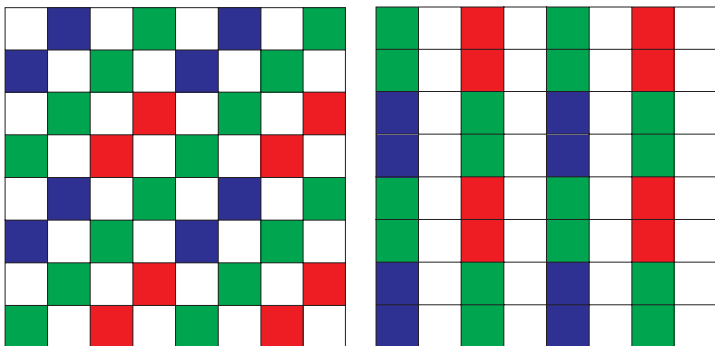
Prednosti zamisli Ganga Lua sta očitno spoznala Kodakova sodelavca John Compton in John Hamilton (slika 5) ter letos junija predstavila zasnovo treh novih snemalnih vezij, ki imajo 50 odstotkov nefiltriranih fotoelementov, 25 odstotkov je zelenih, po 12,5 odstotka pa rdečih in modrih. Vsakemu fotoelementu s filtrom sledi eden brez njega, strukturirani pa so, kot se vidi na sliki 6. Kodak navaja, da je te strukture mogoče uporabiti pri katerem koli snemalnem vezju, ne glede na njegovo velikost, ge-



Slika 3. Snemalno vezje Ganga Lua ima v naslovni mreži (8 × 8) 48 nefiltriranih fotoelementov, osem je zelenih, po štiri pa so rdeči in modri. Pri snemalnem vezju z desetimi milijoni fotoelementov bi to pomenilo, da je 7,500.000 pankromatskih, 1,250.000 zelenih in po 625.000 rdečih in modrih.

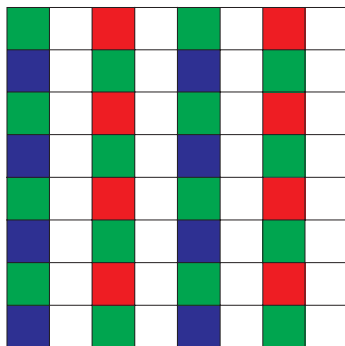


Slika 4. Uspešnost nove zasnove snemalnega vezja je Gang Luo dokazoval s simulacijo na podlagi podosvetljenih surovih posnetkov (slikovni format RAW), ki jih je izdelal z digitalnim fotoaparatom Canon 30D. Ta ima na snemalnem vezju formata APS-C (22,5 × 15,0 mm) po Bayerjevem načelu razporejenih 8,5 milijona fotoelementov. Pri tej razporeditvi se pojavi močan slikovni šum (levo), pri Luovi izgine, izboljša pa se tudi upodabljanje podrobnosti (desno).



Slika 5. Kodakova sodelavca John Compton, levo, John Hamilton, desno, sta očitno privzela Luovo zamisel.

Slika 6. Tri nove Kodakove zasnove snemalnih vezij: strukture A, B in C so še v eksperimentalni fazi in naj bi jih praktično realizirali v prvi polovici leta 2008.



ometrično ločljivost ali vrsto (CCD/CMOS). Trdijo tudi, da zaradi povečane občutljivosti lahko fotografiramo pri dvakrat do štirikrat manjši ekspoziciji (krajši čas ali bolj zaprta zaslonska), zaradi večje splošne občutljivosti lahko pri istem formatu uporabljamo manjše fotoelemente, kar posledično vodi do višje ločljivosti digitalnih posnetkov.

K novim snemalnim vezjem sodijo seveda tudi ustrezni algoritmi za rekonstrukcijo surovih podatkov oziroma za pretvarjanje v slikovne elemente. Signale iz bolj občutljivih pankromatskih fotoelementov uporabljajo za rekonstrukcijo svetlosti (kanal L oziroma visokoločljiv črno-bel barvni

izvleček), nizkoločljive kromatične informacije (C) pa tvorijo iz filtriranih signalov RGB. Laboratorijski rezultat nove strukture A v primerjavi s standardno Bayerjevo ponazarja slika 7.

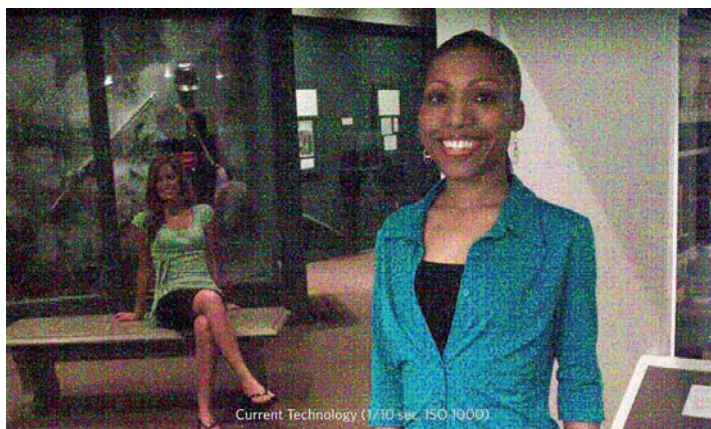
**Marko KUMAR**

VIRI

**Homepage of Gang Luo**  
<http://www.geocities.com/Athens/Library/9805/>, 5. 11. 2007

**Kodak's Brilliant Idea**  
[http://theonlinephotographer.typepad.com/the\\_online\\_photographer/2007/06/kodaks\\_brilliant.html](http://theonlinephotographer.typepad.com/the_online_photographer/2007/06/kodaks_brilliant.html), 6. 11. 2007

**New sensor tech promises improved sensitivity**  
<http://www.imaging-resource.com/NEWS/1181811769.html>, 6. 11. 2007



Slika 7. Nova struktura snemalnega vezja (CFA) povzroča v slabih svetlobnih razmerah veliko manj slikovnega šuma kot Bayerjeva. Izboljšuje tudi učinkovitost digitalne kamere pri akcijski fotografiji. Slike niso simulacija, marveč eksperimentalni posnetki s pravimi snemalnimi vezji (zagotovilo Kodaka).

**Kodak High Sensitivity Image Sensor Tech**  
<http://www.dpreview.com/news/0706/0706140kodakhightsens.asp>, 14. 6. 2007

Dietmar Wüller  
 Geringeres Rauschen  
**Neues Kodak-konzept für empfindlichere Sensoren**  
 Color Foto, 11/2007, str. 50–51

Melissa J. Perenson, PC World  
**New Kodak Sensors See Well in Dark**  
[http://www.pcworld.com/article/id,132865/article.html?tk=nl\\_dnxnws](http://www.pcworld.com/article/id,132865/article.html?tk=nl_dnxnws), 6. 11. 2007

Marko Kumar  
**Decodifikacija sporočilnega naboja slik**  
 Grafičar 3/2005, str. 21–30

Marko Kumar  
**Tehnologija grafičnih procesov**  
 Center za poklicno izobraževanje  
 Republike Slovenije  
 Ljubljana 2007