Poprava popačenja

Peter Legiša

Uvod

Ta članek je nadaljevanje članka *Popačenje*. Fotografski objektivi včasih ukrivijo slike daljic, ki ne ležijo na premicah skozi središče slike. Ta napaka se imenuje *popačenje* in je najbolj opazna na robovih slike. Kot smo videli, lahko popačeno sliko opišemo kot transformacijo F neke virtualne idealne slike K, brez popačenja. Pri tem velja:

- Preslikava F ohranja izhodišče O (središče naše slike), sicer pa $F(T) = T_1$ leži na poltraku iz izhodišča O skozi T (slika 1).
- Če je $s = |OT|$ razdalja točke T od izhodišča (s je *polmer* ali *radij* točke T) in $r = |OT_1|$ polmer točke $F(T)$, označimo

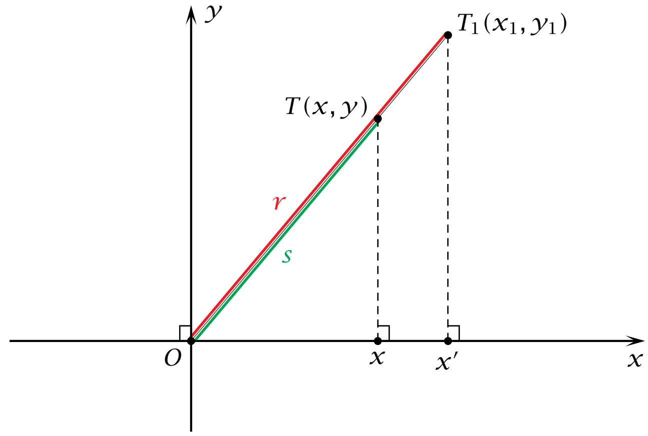
$$r = |OT_1| = f(s) = f(|OT|) = s\left((1 + \frac{d(s)}{100}\right), \tag{1}$$

kjer je $d(0) = 0$.
- Funkcija $s \mapsto f(s)$ strogo narašča.

Temu rečemo **radialno popačenje**, kakršno včasih vidimo na fotografijah. Seveda bomo privzeli, da ima funkcija d lep, »gladek« graf. Funkciji f in F sta očitno *injektivni*, se pravi, preslikata različne točke v različne točke. Zahteva, da je $d(0) = 0$, pomeni, da količnik $f(s)/s$ stremi k 1, ko gre s proti 0. To pomeni, da preslikava F v bližini izhodišča skoraj ne premika točk in je tam praktično identična preslikava.

Naj bo $T(x,y)$ in $T_1(x_1,y_1) = F(T) = F(x,y)$. Na sliki 1 vidimo, da je $x : s = x_1 : r$, torej $x_1 = rx/s$ in podobno $y_1 = ry/s$. Torej je

$$F(x,y) = \left(\frac{rx}{s}, \frac{ry}{s}\right) = \frac{f(s)}{s}(x,y).$$



SLIKA 1.
Popačenje točko T preslika na točko T_1, ki leži na poltraku iz O skozi T.

Ker je $s = \sqrt{x^2+y^2}$, smo dobili

$$F(x,y) = \left(x\frac{f(\sqrt{x^2+y^2})}{\sqrt{x^2+y^2}}, y\frac{f(\sqrt{x^2+y^2})}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) = \frac{f(\sqrt{x^2+y^2})}{\sqrt{x^2+y^2}}(x,y). \tag{2}$$

Odprava popačenja

Denimo, da poznamo funkcijo $s \mapsto f(s)$ in (s to funkcijo) popačeno sliko L. Naj bo A točka v L z $|OA| = t$. Ker je $s \mapsto f(s)$ injektivna, obstaja natanko eno število u, da je $f(u) = t$. Za $t > 0$ naj bo A' točka, ki leži na poltraku iz O skozi A in ima polmer u. Torej je $F(A') = A$.

Preslikava $g : t \mapsto u$ je dobro definirana in preslika zalogo vrednosti funkcije f nazaj na definicijsko območje. Spomnimo se, da je g *inverzna preslikava* k f in da lahko pišemo $g = f^{-1}$. Če je, recimo, $f(1) = 1{,}05$, je $g(1{,}05) = f^{-1}(1{,}05) = 1$.

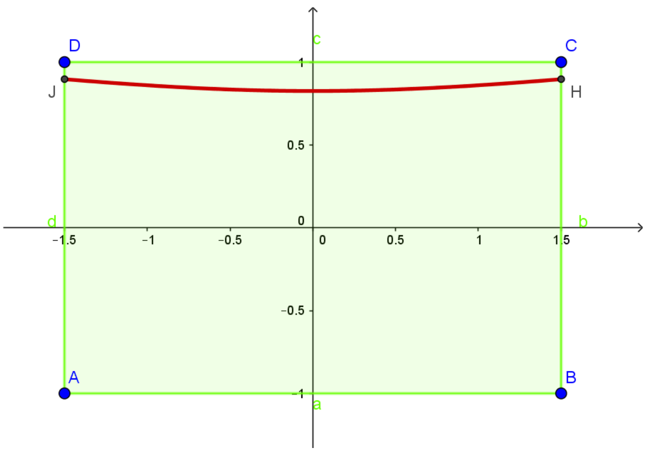
Velja:

$f(u) = t$ natanko takrat, ko je $g(t) = f^{-1}(t) = u$ in $f(f^{-1}(t)) = t$ ter $f^{-1}(f(u)) = u$.

Graf za inverz f^{-1} injektivne funkcije f dobimo tako, da graf za f prezrcalimo čez simetralo lihih kvadrantov.

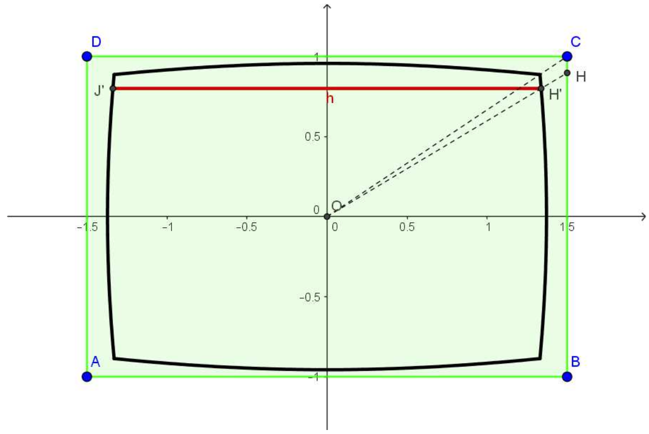
Preslikava $g : t \mapsto u$ je spet strogo naraščajoča. Če to ne bi bilo res, bi lahko našli števili $t_1 < t_2$ iz zaloge vrednosti za f, tako da je $g(t_1) \geq g(t_2)$. Od tod sledi, ker je f strogo naraščajoča, da je $f(g(t_1)) = t_1 \geq f(g(t_2)) = t_2$, kar je protislovje. Mogoče je videti, da je $g(t) = t(1 + D(t))$, kjer je $D(0) = 0$. Namreč: ker F v bližini izhodišča praktično ne premika točk, to velja tudi za inverzno preslikavo G.

Preslikava G, ki vsako točko $A = F(A')$ preslika nazaj na točko A', popačeno sliko L na tipalu preslika na nepopačeno sliko K. Seveda je G inverzna preslikava k F in pišemo $G = F^{-1}$. Točko s polmerom t preslikava G preslika na točko s polmerom $g(t)$. Tako je G spet popačenje, ampak tokrat »dobro« popačenje, ki izniči vpliv originalnega popačenja F. Če so bili robovi originalne slike L ravni, pa to ne velja več za robove slike K.



SLIKA 2.
Zeleni pravokotnik predstavlja tipalo. Rdeča krivulja je popačena slika daljice.

Na sliki 2 zeleni pravokotnik predstavlja tipalo. Imamo *blazinasto* popačenje F, kar pomeni (kot smo povedali v prvem članku), da je funkcija d v enačbi 1 strogo naraščajoča. Funkcija F raztegne idealno sliko K na popačeno sliko na tipalu. Relativni delež raztega je največji v vogalih slike. Poglejte si ilustracijo v prvem članku in v [1]. Na sliki 2 je rdeča krivulja od J do H blazinasto popačena slika neke daljice. Inverzno popačenje $G = F^{-1}$ je sodčkasto – relativno najbolj skrči prav vogale. Funkcija G nam zeleni pravokotnik preslika na črno obrobljeni sodček K na sliki 3.



SLIKA 3.
Poprava popačenja je zravnala rdečo krivuljo, a ukrivila robove originalne slike.

Množica K je idealna slika, zato so slike ravnih črt (s fotografirane scene) ravne. (Tudi naša rdeča krivulja se je zravnala v daljico od J' do H'). To plačamo z dejstvom, da so robovi popravljene (idealne) slike K ukrivljeni. Ker je $g(t) < t$, preslikava G skrči originalno sliko.

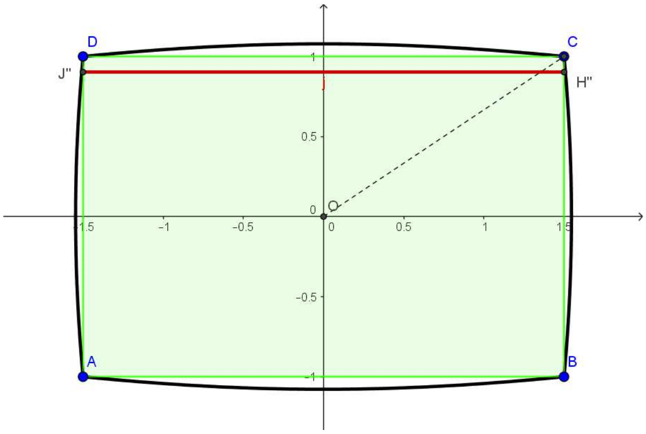
Na sliki 2 ima zeleni pravokotnik $ABCD$ tipala velikost 3×2 in $f(u) = u + 0{,}05u^3$. Funkcija $g = f^{-1}$ je dana, kot bomo izračunali malo kasneje, bolj zapleteno, s formulo:

$$g(t) = \sqrt[3]{10t + \sqrt{100t^2 + \frac{8000}{27}}} + \sqrt[3]{10t - \sqrt{100t^2 + \frac{8000}{27}}}.$$

Rdeča krivulja od J do H na sliki 2 je $F(J'H')$, kjer je $J'H'$ rdeča daljica od J' do H' na sliki 3. Konkretno je ta daljica oddaljena za 0,8 od osi x.

Programi za popravljanje, kolikor vemo, poskušajo ohraniti velikost slike (v pikslih).

Za končni rezultat navadno potrebujemo pravokotno sliko. Zato smo na sliki K naredili središčni razteg W, ki je vogale našega sodčka preslikal na oglišča pravokotnika $ABCD$. Točka C ima polmer $s = |OC| = \sqrt{1{,}5^2 + 1} = \sqrt{3{,}25}$. Vemo, da je $|OC'| = g(s) = g(\sqrt{3{,}25})$, kjer je C' ustrezni vogal slike K (sodčka na sliki 2). Raztegniti moramo torej za fak-



SLIKA 4.

Popravljeno sliko raztegnemo, tako da ravno pokrije tipalo.

tor $m = s/g(s) = \sqrt{3{,}25}/g(\sqrt{3{,}25})$, tako da dobimo črno obrobljeno sodčkasto sliko $W(K) = K_2$ na sliki 4, ki pokrije celotno tipalo. Velja $W(x, y) = (mx, my)$. Če odrežemo vse izven zelenega tipala, imamo na koncu pravokotno sliko brez popačenja. Pri tem smo se odpovedali nekaterim delom originalne slike L v bližini robov.

V praksi je stvar bolj zapletena, ker je slika sestavljena iz končnega števila pikslov. Naj bo točka T središče piksla na popravljeni sliki. Ta točka je enaka $W(G(V))$ za neko točko V na originalni sliki. Prva ideja je, da jakosti rdeče, zelene in modre barve na tistem pikslu originalne slike, ki vsebuje V, prenesemo na piksel, v katerem leži točka T. To je gotovo idealna in neproblematična rešitev v (malo verjetnem) primeru, da je točka V središče piksla na originalni sliki. Kaj pa če V leži na meji med dvema piksloma? Zato programi za transformacijo slike delujejo drugače. (Angleško se postopku reče *resampling*, to je *ponovno vzorčenje*, ker moramo transformirano sliko spet kar se da dobro predstaviti kot množico pikslov.) Pogledajo, recimo, vrednosti v štirih pikslih, katerih središča so najbližje točki V. Nato naredijo nekakšno *uteženo povprečje* teh vrednosti, tako da bolj upoštevajo vrednosti v tistih od štirih pikslov, katerih središča so bliže točki V. Temu se reče *interpolacija*. O tem bi podrobneje govorili kdaj drugič.

V bližini izhodišča preslikava G deluje približno kot identiteta, preslikava W pa je središčni razteg za faktor m. Naša korekcija popačenja torej v bližini izhodišča deluje približno kot središčni razteg s faktorjem $m > 1$ in tako tam dejansko raztegne sliko. Ko sliko raztegnemo, pa se gostota informacij na njej zmanjša.

Pri popravi popačenja se iz vseh teh razlogov kakovost slike nekoliko poslabša.

Poprava enostavnega popačenja in Cardanove formule

Poglejmo si *enostavno popačenje*. Po prvem članku to pomeni:

- $f(s) = s(1 + as^2) = s + as^3.$ (3)

Za $a > 0$ imamo blazinasto popačenje, za $a < 0$ pa sodčkasto.

Potem pri danem t iz $f(u) = t$ dobimo kubično enačbo

- $u + au^3 = t$

ali

- $u^3 + \frac{1}{a}u - \frac{t}{a} = 0.$

Oglejmo si torej kubično enačbo

- $y^3 + py + q = 0.$ (4)

Pišimo

- $y = z + w$

in to vstavimo v enačbo 4, pa dobimo

- $z^3 + w^3 + (3zw + p)(z + w) + q = 0.$

Oklepaj postavimo enak 0, se pravi $zw = -(p/3)$, da se stvari poenostavijo. Kot bomo videli, si to lahko privoščimo. Potem je

- $z^3 + w^3 = -q.$

Od tod dobimo sistem enačb za z^3 in w^3:

- $z^3 + w^3 = -q \quad \text{in} \quad z^3 w^3 = -p^3/27.$

Od tod je $(x - z^3)(x - w^3) = x^2 + qx - p^3/27.$

Tako sta z^3 in w^3 korena kvadratne enačbe $x^2 + qx - p^3/27 = 0$. Torej

$$z^3 = \frac{-q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \frac{p^3}{27}},\ w^3 = \frac{-q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \frac{p^3}{27}}. \tag{5}$$

Od tod z, w dobimo s kubičnim korenom. Problem pa nastopi, če je pod kvadratnim korenom v 5 negativno število. Potem sta z^3 in w^3 kompleksni števili. Najti kubični koren iz kompleksnega števila pa je že bolj zapletena zgodba.

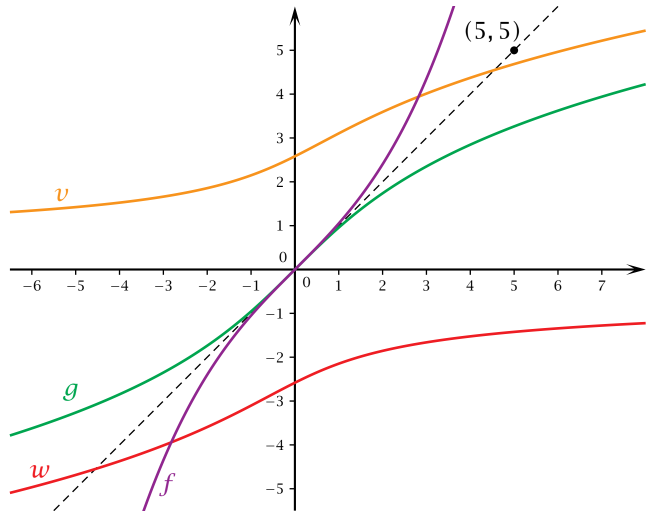
Formuli 5 sta **Cardanovi formuli**. Odkriti sta bili v renesančni Italiji in imata zelo zanimivo zgodovino. Enačbo $x^3 + px = h$ je prvi rešil Scipione del Ferro, profesor na bolonjski univerzi, nekje med 1510 in 1515, vendar rezultata ni objavil. Takrat so namreč potekali nekakšni dvoboji med matematiki, ki so drug drugemu zastavljali probleme. Poraženec je pogosto izgubil službo. Del Ferro je imel za tak primer v rokavu aduta: rešitev enačbe, ki je bila za druge pretrd oreh. Leta 1535 je beneški matematik in inženir Niccolo Fontana Tartaglia neodvisno prišel do rešitve. Girolamo Cardano je iz Tartaglie izvlekel njegovo metodo, z obljubo, da tega ne bo razširjal. Cardano je na podlagi zaupanega šel naprej od Tartaglie: obdelal je vse možne primere ter ugotovil, da ima kubična enačba tri korene, ki so lahko tudi kompleksni. Cardano je dobil leta 1543 dostop do zapuščine Scipia del Ferra. Menil je, da ga spoznanje, da je del Ferro prvi rešil enačbo, odvezuje od obljube Tartagli. V knjigi Ars Magna (Velika umetnost), izdani leta 1545, je objavil rešitev kubične enačbe in jasno priznal zasluge tako del Ferru kot Tartagli. Tartaglia je bil vseeno skrajno ogorčen in prišlo je do velikega spora, izmenjave žaljivk. Zgodba o tem, da je Tartaglia ovadil Cardana inkviziciji, pa se je izkazala kot plod domišljije pisca iz 20. stoletja. Cardano je bil vsestranski in izredno ustvarjalen človek: zdravnik, izumitelj odlične kriptografske metode (Cardanova rešetka), avtor prve knjige o verjetnosti, De Ludo Aleae (O igri s kocko).

Poskusimo najti inverzno funkcijo g k strogo naraščajoči funkciji $y \mapsto f(y) = y + 0{,}05\,y^3$. Če je $f(y) = x$, je $y = f^{-1}(x) = g(x)$. Rešiti moramo torej enačbo $y + 0{,}05y^3 - x = 0$ ali $y^3 + 20y - 20x = 0$. V 4 je torej $p = 20$ in $q = -20x$. Tako je $y = v + w$, kjer je

$$v^3 = 10x + \sqrt{100x^2 + \frac{8000}{27}},$$

$$w^3 = 10x - \sqrt{100x^2 + \frac{8000}{27}}.$$

Očitno sta w^3 in w negativna.



SLIKA 5.
Vijolični graf za kubični polinom f in njegov zeleni inverz sta simetrična glede na premico $y = x$.

Na sliki 5 si oglejmo oranžni graf za v, rdeči graf za w, zeleni graf za g. Ker sta vijolični graf za f in zeleni graf za g simetrična glede na črtkano simetralo lihih kvadrantov, to potrjuje, da smo inverz izračunali pravilno.

Tako smo si ogledali matematična orodja, ki omogočajo popravo enostavnega sodčkastega popačenja.

Kaj pa, če na sliki vidimo bolj ali manj enostavno popačenje, a nimamo nobenih natančnih podatkov o njem? To lahko poskusimo popraviti ročno, recimo v Photoshopu (Elements): Filter/Correct camera distortion/Remove distortion ali v Lightroomu, Lens corrections/Manual/Distortion.

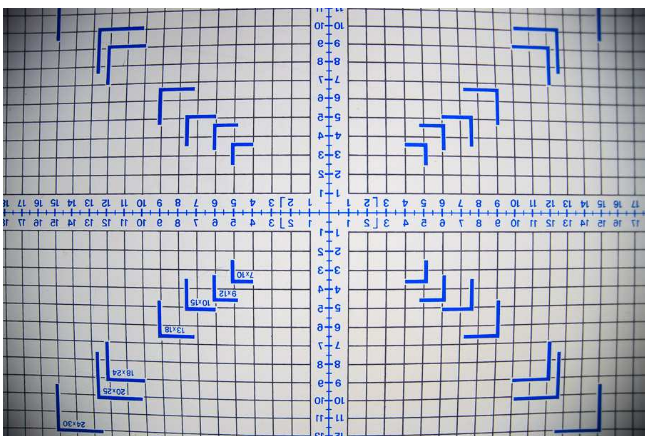
Premikamo drsnik, dokler v naravi ravne črte ob robu niso na sliki spet približno ravne. Z drsnikom v bistvu spreminjamo parameter a v enačbi 3. Na koncu bomo morali sliko še obrezati.

Poprava zapletenega popačenja

V prosto dostopnem programu Gimp imamo v Filters/Distorts/Lens Distortion celo dva drsnika za popravo popačenja. Eden od njiju deluje bolj na robu, tako da lahko bolj ali manj dobro popravimo tudi rahlo zapleteno popačenje.

Plačljivi programi za obdelavo slik imajo za mnoge objektive tako imenovane *profile*, v katerih so tudi popravki za popačenja, ne glede na to, kako zapletena so. Zanimivo je opazovati, kako tak profil popravi popačenje. Zdi se, kot da bi se slika vbočila ali izbočila. Poprava je zelo udobna.

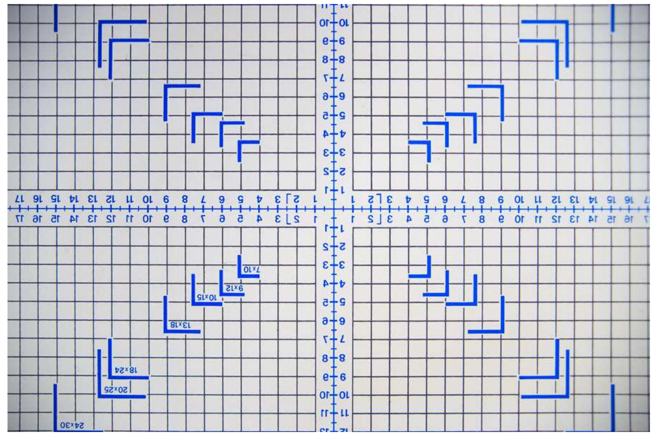
Profili vsebujejo tudi popravek za problem temnih vogalov – *vinjetiranje*. Vinjetiranje je najbolj opazno pri polno odprti zaslonki in pri širokokotnih objektivih. Jakost vinjetiranja je navadno odvisna samo od razdalje točke od središča slike, tako da je to popraviti sorazmerno lahko. Vinjetiranje lahko odpravljamo tudi ročno. (V Gimpu je odprava vinjetiranja na istem mestu kot poprava popačenja.) Posvetlitev vogalov lahko tam ojači *šum*.



SLIKA 6.
Fotografija z izrazitim popačenjem in močnim vinjetiranjem, pri zaslonki 3.5.

Če gre za star objektiv, lahko profil naredimo tudi sami, le da to zahteva precej truda – mnogo posnetkov tarče po točno določenem protokolu. Te slike vnesemo v poseben program, ki izdela profil in ga objavi.

Fotografija 7 ima opazno popačenje in močno vinjetiranje. Poskusili smo jo popraviti v programu



SLIKA 7.
S profilom dobimo zelo dobro popravo fotografije 7.

Lightroom z orodjem za korekcijo enostavnega popačenja, a smo bili le delno uspešni: na robu smo v najboljšem primeru dobili rahlo valovite črte. Originalno popačenje ni bilo enostavno in orodje za to delo niti ni bilo namenjeno. S profilom, ki ga je naredil fotograf-prostovoljec in dal na Adobe Lens Profile Downloader, je bila poprava popačenja neprimerno boljša, čeprav ne popolna. Bistveno zmanjšano je tudi vinjetiranje. Rezultat je na sliki 7. Poprava je odrezala nekaj malega, še največ na levem in desnem robu.

Zrcalni in brezzrcalni sistemi

Novi zrcalno refleksni aparati imajo za nekaj deset najbolj običajnih objektivov pri slikanju v JPEG formatu vključen popravek vinjetiranja.

Popravek popačenja lahko v meniju ponekod vključimo sami. Razlog, da to ni vključeno že tovarniško je ta, da imajo ti aparati optično iskalo, s katerim gledamo skozi objektiv. Če vključimo popravek popačenja, bo fotografija vsebovala le izrez tistega, kar vidimo v iskalu. Poprava lahko vzame tudi nekaj časa, tako da se hitrost zajemanja slik lahko upočasni. Popravki so boljši pri objektivih, ki aparatu sporočajo oddaljenost, na katero je naravnan objektiv. Funkcija $s \mapsto f(s)$ v enačbi za popačenje 1 je namreč odvisna od razdalje med predmetno ravnino in ravnino tipala. Vključitev avtomatičnega popravka popačenja pri slikanju arhitekture, reprodukcijah. je zelo smiselna. Če namreč JPEG sliko naknadno popravljamo ter rezultat vsakič shranimo (in s tem stisnemo), po več takih korakih kakovost začne vidno padati. Pri popravljanju originalne nestisnjene slike je padec kvalitete mnogo manjši.

Če slikamo v »surovem« RAW formatu, ki shranjuje maksimalno količino informacij o sliki, so podatki za popravo navadno vključeni v RAW datoteko. Tako lahko popravke izvedemo (odkljukamo) naknadno v obdelavi z RAW konverterjem proizvajalca kamere (ali pa recimo v programu Lightroom, ki ima tako in tako profile za skoraj vse novejše objektive). Programi za obdelavo RAW slik imajo še eno veliko prednost – ohranjajo originalno datoteko in kompresijo v format JPEG, ki pomeni izgubo dela informacij o sliki, izvedejo šele čisto na koncu, po prej omenjenih in po fotografovih popravkih. Seveda pa RAW datoteka zavzame nekajkrat več prostora.

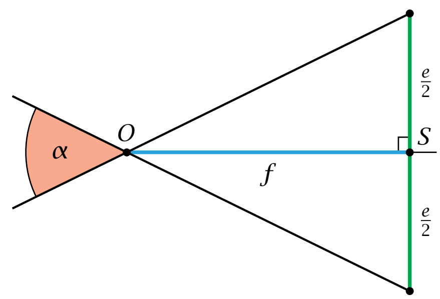
Brezzrcalni aparati z izmenljivimi objektivi postajajo bolj priljubljeni. Iskalo pri teh fotoaparatih (nekateri zaradi varčevanja z denarjem in prostorom iskala niti nimajo) je elektronsko. Zato je pri njih popravek popačenja (vsaj v JPEG formatu) tovarniško vključen.

Še več: če je popravek popačenja avtomatičen, se pri konstrukciji objektivov ne trudijo zmanjšati te in druge naknadno odpravljive napake. Ker ni zrcala, je bajonet in s tem zadnji del objektiva lahko bliže tipalu. To pomeni tanjše aparate in večjo svobodo pri konstrukciji objektivov. Nekateri brezzrcalni sistemi so tudi sicer konstruirani povsem na novo. Rezultat so manjši, lažji in včasih celo ostrejši objektivi z manj odsevi ob slikanju proti svetlobi.

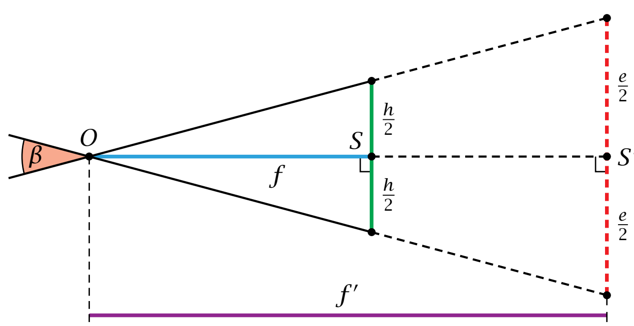
Na področju brezzrcalnih aparatov je zelo znan konzorcij »Mikro štiri tretjine« (Micro Four Thirds, MFT ali M43), ker ima tipalo razmerje stranic 4 : 3. Vanj sta vključena dva večja proizvajalca kamer (Olympus, Panasonic) in več prozvajalcev objektivov in druge opreme. Senzorji so velikosti 17,3 mm × 13 mm. Pri MFT je vse konstruirano povsem na novo. Površina senzorja je nekako četrtina površine senzorja *polnega formata*.

Tipalo za *polni format* (Full Format – FF) ima velikost približno 36 mm × 24 mm, to je enaka velikost kot sličica na 35 milimetrskem filmu. Taka tipala so še zmeraj draga. Kamere polnega formata imajo velike (in težke) objektive, ki zberejo mnogo svetlobe. Zato so prava izbira za slikanje v šibki svetlobi. Podjetje Sony ima brezzrcalne aparate s FF tipalom. Večina kamer s takim tipalom pa sodi med zrcalno refleksne. Pogosto lahko uporabljamo tudi starejše objektive iz filmskega obdobja.

Tipala velikosti APS-C imajo velikost 23,5 mm × 15,6 mm za znamke Nikon, Sony, Fuji. Podjetje Canon ima nekoliko manjše APS-C senzorje velikosti 22,2 mm × 14,8 mm. Format APS-C je cenovno dostopen in priljubljen pri lastnikih starih objektivov za zrcalno refleksne kamere. Objektivi, konstruirani za polni format, večinoma delujejo tudi na APS-C formatu istega proizvajalca. Manjše tipalo izkoristi le osrednji del slike, ki jo vrže tak objektiv. Zato so mnoge napake, kot sta popačenje in vinjetiranje, na malem tipalu bistveno manj izražene.



SLIKA 8.
Tu je e diagonala tipala, f, goriščna razdalja objektiva in α vidni kot objektiva.



SLIKA 9.
Na manjšem senzorju z diagonalo h se objektiv z goriščno razdaljo f obnaša, kot bi imel goriščnico $f' = ef/h$.

Vendar pa bo vidni kot objektiva na manjšem tipalu zožen. Po definiciji je vidni kot α objektiva kot, pod katerim vidimo diagonalo e tipala s točke na osi objektiva, oddaljene za goriščno razdaljo f od tipala (slika 1). Na sliki 2 vidimo, da ima na manjšem tipalu, z diagonalo h, isti objektiv vidni kot β. To pa je kot, ki bi ga imel objektiv z goriščno razdaljo $f' = ef/h$ na polnem formatu. Pišimo $c = e/h$, pa je $f' = cf$. Pravimo, da ima naš objektiv *ekvivalent* goriščne razdalje f' na polnem formatu. Ker sta oba senzorja pravokotnika z razmerjem stranic 3 : 2, je kvocient $c = e/h$ enak razmerju daljših stranic, torej $c = 36/23{,}5 \approx 1{,}5$ za Nikon, Sony oziroma $c = 36/22{,}2 \approx 1{,}6$ pri Canonu. Standardni 50 milimetrski objektiv za polni format se torej na »obrezanem« APS-C formatu obnaša približno kot 75 (ali pri Canonu 80) milimetrski objektiv na polnem formatu in tako postane »portretni« objektiv. Faktorju c pravijo angleško *crop* faktor. Ta faktor je dobra novica za lastnike teleobjektivov. Širokokotni objektivi za polni format pa na manjšem formatu žal niso več tako široki.

Predpostavimo, da primerjamo senzorje različnih razsežnosti, a s približno enakim številom pikslov. Grobo lahko ocenimo: če smo pri FF ravno še zadovoljni z rezultati pri ISO 2500–3200, se bomo pri MFT (senzor ima približno četrtino ploščine FF tipala) ustavili nekje pri ISO 800–900, pri APS-C pa pri ISO 1000–1300. FF tipalo ima namreč približno 2,4 krat do 2,6 krat tolikšno površino kot APS-C senzor.

Podatki za popravo popačenja in nekaterih drugih zgoraj omenjenih napak so v brezzrcalnih sistemih pogosto vgrajeni v elektroniko objektiva. Tako objektivi raznih proizvajalcev sporočajo ustrezne podatke kameram in dajejo JPEG slike skoraj brez popačenja. Na primerjalnih testih praktično vsi taki objektivi dobijo potem odlične ocene na preizkusih popačenja.

Tudi nove kamere, ki imajo fiksno vgrajen objektiv, skoraj brez izjeme dajejo JPEG slike brez vidnega popačenja – po zaslugi procesorja v aparatu. Priljubljeni so postali aparati z »1-colskim senzorjem«. Oznaka sloni na zastarelih standardih, saj je diagonala (14–17 mm) daleč od cole. Tipalo ima približno pol površine senzorja M43. Razpon goriščnic sega do približno 1 : 25. Pri manjšem razponu (1 : 3 ali 1 : 4) dobimo žepne aparate, ki lahko ob dobri svetlobi delajo odlične slike, a niso poceni. Kamere z najmanjšim senzorjem velikosti približno 6,2 mm × 4,6 mm (1 : 2,3′′) (približno četrtina površine 1-colskega senzorja) omogočajo superzoome z razponom goriščnic do 1 : 80. Vendar je pri teh in podobnih malih senzorjih po mojih izkušnjah najbolje, če ostanemo pri najnižji občutljivosti (ISO 80–160). Procesorji v aparatu sicer odstranijo šum pri visokih ISO vrednostih – hkrati s podrobnostmi. Pri portretih je to lahko celo ugodno, a marsikdaj iz fotografije nastane čudno obarvan »akvarel«. Še manjša so tipala pametnih telefonov (okrog 5,5 mm × 4,1 mm ali še manj). Za hitre procesorje v pametnih telefonih poprave popačenja, vinjetiranja niso problem.

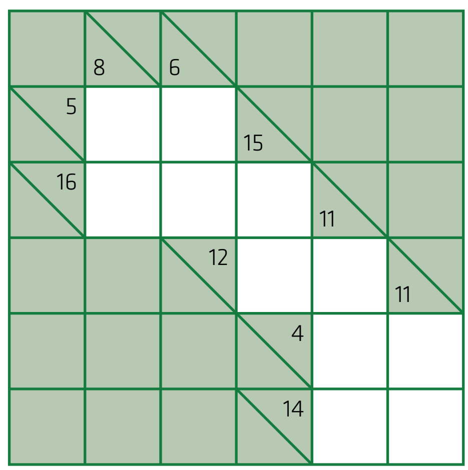
Literatura

[1] Interaktivne ilustracije članka so na avtorjevi strani na GeoGebra Tube: `https://www.geogebra.org/peter.legisa`

× × ×

Križne vsote

Naloga reševalca je, da izpolni bele kvadratke s števkami od 1 do 9 tako, da bo vsota števk v zaporednih belih kvadratkih po vrsticah in po stolpcih enaka številu, ki je zapisano v sivem kvadratku na začetku vrstice (stolpca) nad (pod) diagonalo. Pri tem morajo biti vse števke v posamezni vrstici (stolpcu) različne.



× × ×