

Kaj povejo krivulje za MTF o fotografskem objektivu

↓↓↓

PETER LEGIŠA

→

Kontrast in modulacija

Na sliki 1 imamo svetlo in temno površino drugo ob drugi. Naj bo E_t svetlost temnejšega dela in E_s svetlost svetlejšega dela. Za mero kontrasta med obema površinama vzamemo **modulacijo**

$$M = \frac{E_s - E_t}{E_s + E_t}. \quad (1)$$

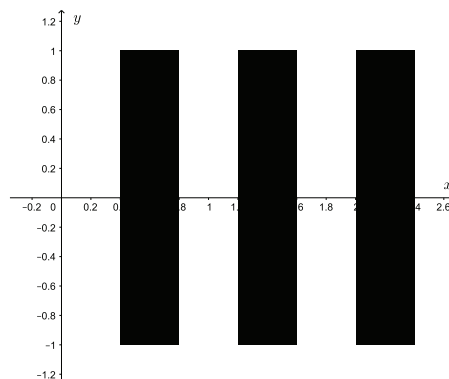
Vrednosti za M leže med 0 in 1.

Obstajajo še druge mere za kontrast, a mi se bomo držali gornje. Kontrast je pomemben tudi v vsakdanjem življenju. Pri branju si želimo kar se da velik kontrast med črkami in podlago. Črne črke na modri podlagi pomenijo kljub razliki v barvi majhen kontrast in težave pri branju. Še večja polomija so rumene črke na beli podlagi - kontrast je premajhen, tudi razlika v barvi je premajhna.

Pri večini fotografij si želimo visok kontrast in številne podrobnosti. Izjeme so recimo »zasanjane« meglene scene.

Pri testiranju fotografskih objektivov velikokrat slikajo površino - tarčo, na kateri so črni vzorci na beli podlagi. Denimo, da imamo črne stolpce, ločene z belimi prostori enake širine - kot na sliki 2. Ta tarča je že stara, a je prav primerna za razlago. En stolpec in skladen beli prostor ob njem sta en **črtni par** ali en **cikel**. Če je $E_t = 0$, je modulacija med obema pravokotnikoma 1.

Na sliki, ki jo naredi objektiv, bo kontrast zmanjšan: črnina ne bo čisto črna in se bo na robovih stolpca prelivala v belino. Prav tako vmesni prostori ne bodo povsem beli. To bo bolj očitno pri tankih stolpcih in v vogalih slike.



SLIKA 2.

Črni stolpci na beli podlagi.

Primer imamo na fotografiji 3, kjer je s tri desetletja starim širokokotnim zoomom 20-35 mm 1:3.5-



SLIKA 3.

Močno povečan vogal fotografije.



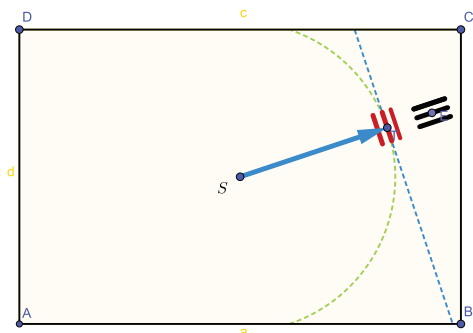
SLIKA 1.

Kontrast med temnejšo in svetlejšo površino.



4.5 pri goriščni razdalji 20 mm in povsem odprti zaslonki slikana tarča v spodnjem levem vogalu vidnega polja. Tarča je obešena tako, da je pol črnih paličic približno vzporednih zveznici s središčem slike. Objektiv je bil ročno izostren na tarčo, druge dele slike smo ignorirali. Poudarimo, da gre za manj kot pol odstotka površine celotne fotografije.

Smer od središča S slike do točke T na sliki 4 je **radialna** ali **sagitalna** smer. Latinska beseda *sagitta* pomeni puščico ali strelo. Na sliki 4 je ta smer narisana s puščico v modri barvi. Pravokotno na sagitalno smer pa poteka **tangentna** ali **meridionalna** smer skozi točko T . Rdeče imamo narisani tangentni vzoreček okrog točke T . Črno pa imamo narisani sagitalni vzoreček okrog točke E , ki je bližje robu. **Število črtnih parov preslikanega vzorca na milimeter slike na tipalu (filmu) je frekvenca vzorca.**



SLIKA 4.

Rdeči vzoreček je tangente, črni sagitalen.

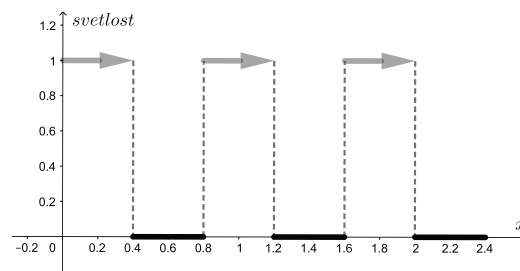
Vidimo, da je naša fotografija 3 razmazana v radialni smeri. Če dobro pogledamo, so robovi obarvani: na eni strani vijolično, na drugi zeleno. To je posledica *disperzije* svetlobe. Steklo in plastika lomita različne barve nekoliko različno, dolge valovne dolžine navadno manj od kratkih.

Manjše paličice, ki imajo tangentno smer, so na sliki pošteno obledele. Večje paličice v tangentni smeri so malo obledele in so se malo razmazale. Prostor med manjšimi paličicami je daleč od beline. Kontrast manjših tangentnih vzorcev je tako bistveno zmanjšan. Modulacijo preslikanega vzorca treh paličic izračunamo po formuli 1, kjer je E_t izmerjen v najtemnejšem delu slike paličice, E_s pa v najsveblejšem delu sredi med paličicami.

Paličice, ki potekajo v radialni smeri, so jo precej bolj odnesle, razmazane so le na koncih. Edino pri najbolj drobnih vzorcih je kontrast v obeh smereh tako zmanjšan, da paličic praktično ne ločimo več. Višja frekvenca vzorca pomeni manjšo modulacijo slike.

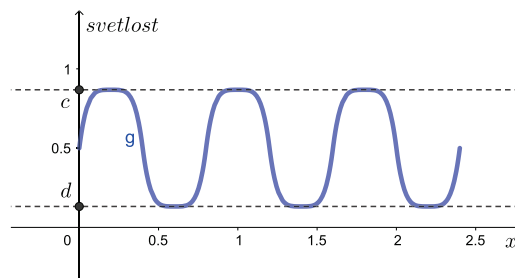
Faktor prenosa modulacije - MTF

Vrnimo se k sliki 2. Denimo, da se gibljemo po osi x in rišemo svetlost dela tarče (sustav treh črtnih parov) v vsaki točki. Če je svetlost črnih delov (idealizirano) 0, dobimo sliko 5. Modulacija te tarče je 1.



SLIKA 5.

Svetlost vzorca s slike 2.

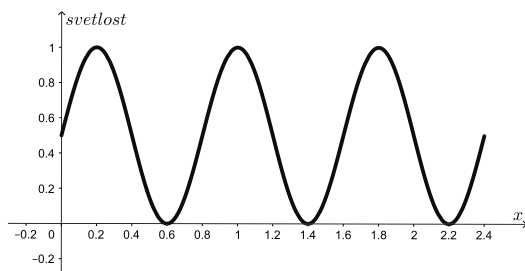


SLIKA 6.

Spreminjanje svetlosti preslikanega vzorca s slike 2.

Na sliki tarče merimo svetlost vzdolž slike osi x . Dobimo periodičen graf – nekaj takega kot na sliki 6. Nekoliko spominja na sinusoido. Modulacija, to je modulacija med najbolj temnimi in najbolj svetlimi deli slike, je enaka $(c - d) / (c + d)$ in je manjša kot 1.

V tridesetih letih prejšnjega stoletja je *Helmut Friese*, ki je delal pri firmi *Zeiss-Ikon*, prišel na nasled-

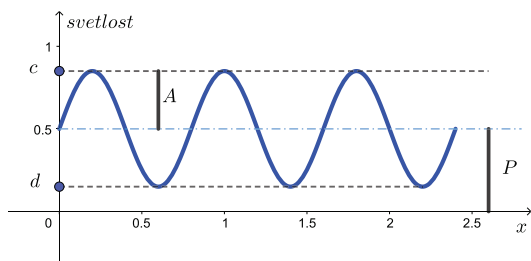


SLIKA 7.

Sinusno spreminjanje svetlosti vzorca.

njo idejo ([3, str. 30]). Tarčo na sliki 2 nekoliko spremenimo, tako da namesto oglatega grafa svetlosti dobimo sinusoido kot na sliki 7. Na tarči imamo zvezne prehode od bele do črne – kot bi se vzorec s slike 2 na poseben način razmazal v vodoravni smeri. Ekstremni vrednosti za svetlost se pri tem ohranita, tako da je modulacija M_1 tarče na sliki 7 blizu 1. En polni nihaj je en cikel. Na sliki 7 imamo tri cikle.

Frieser je opazil, da se svetlost slike – ne glede na napake lečja – v tem primeru spreminja tudi sinusno. To velja lokalno in bomo uporabili na majhnem delu slike okrog točke T . Svetlost preslikanega sinusnega vzorca je sinusoida, kot recimo na sliki 8. **Število ciklov na milimeter slike na tipalu (filmu) je frekvenca f vzorca.**



SLIKA 8.

Spreminjanje svetlosti preslikanega sinusnega vzorca.

Modulacijo slike, ki pride skozi lečje, izračunamo po formuli

$$M_2(f) = \frac{c - d}{c + d} = \frac{A}{P}, \quad (2)$$

kjer je c največja in d najmanjša vrednost sinusoide na sliki 8. In: $P = (c + d)/2$ je povprečna vrednost

sinusoide, $A = (c - d)/2$ pa *amplituda* sinusoide.

Količnik

$$K(f, T) = \frac{M_2(f)}{CM_1(f)}$$

je **faktor prenosa modulacije ali MTF** v točki T pri frekvenci f . Navadno je $M_1(f)$ konstanten, neodvisen od f . Normalizacijski faktor C določimo tako, da je pri frekvenci 0 vzorca zapisani količnik enak 1 (vira [1, str. 143] in [2]). Torej je

$$\frac{M_2(0)}{CM_1(0)} = 1 \quad \text{in od tod} \quad C = \frac{M_2(0)}{M_1(0)}.$$

(Po domače: če imamo zraven našega sinusnega vzorca večjo črno in večjo belo ploskev, je C modulacija med slikama teh ploskev.)

Število $K(f, T)$ je med 0 in 1 in je **mera za zmanjšanje kontrasta na sliki glede na original**.

Oznaka MTF je okrajšava za **Modulation Transfer Factor**.

Zdaj imamo že toliko izkušenj, da vemo, da bomo v točki T morali posebej obravnavati MTF za sagitalen tarčni vzorec in posebej za tangenten vzorec. In to vsaj pri dveh frekvencah. Kot minimum vzamejo recimo frekvenci 10 in 30 ciklov na mm slike. Kakovost upodabljanja v dani točki bo torej ocenjena z najmanj štirimi podatki.

Če je MTF pri frekvenci 10 visok, to je blizu 1, to navadno interpretirajo kot dober kontrast v dani točki. Visoko vrednost pri frekvenci 30 ali 40, 50 ciklov na mm pa interpretirajo kot visoko ločljivost. Navadno je najtežje doseči dobre vrednosti pri povsem odprti zaslonki, zato se skoraj vedno omejijo na ta primer.

Večina fotografiov ve, da je kakovost fotografije najboljša v sredini in večinoma pada proti robovom. Najslabša je navadno v vogalih. Torej je treba izmeriti MTF v več točkah, od sredine proti vogalu.

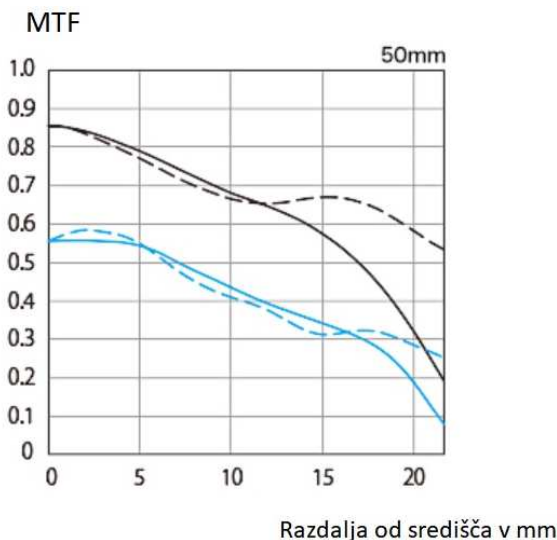
Postopek pri neposrednem merjenju je približno takle. Izberejo frekvenco f . Izostrijo sredino slike in tam določijo MTF. Nato se pomikajo v več korakih proti vogalu in na vsakem koraku izmerijo MTF, ne da spreminjali izostritev. Podatke vnesejo v graf, kjer je na abscisni osi razdalja od središča slike do točke v milimetrih. Pri polnem formatu s tipalom velikosti 24 mm × 36 mm je vogal od središča oddaljen

$$\sqrt{12^2 + 18^2} \approx 21,6 \text{ mm.}$$





Vrednosti povežejo – sagitalne vrednosti s polno, tangentne s črtkano črto. Dobijo dve lomljeni črti, ki ju večkrat zgladijo. Tako nastaneta dve **funkciji prenosa modulacije** pri frekvenci f , ki ju prav tako označimo z MTF – angleško **Modulation Transfer Function**.



SLIKA 9.

Novi proizvajalec prikaz MTF za polno odprti objektiv Canon EF 50 mm f/1.4 USM pri frekvencah 10 (črno) in 30 (modro). Črtkano tangentna smer, polno radialna.

Firmi Zeiss in Leica dejansko dajeta take izmerjene grafe za svoje objektivne, Zeiss denimo pri 10, 20 in 40 ciklih na mm. Leica pa pri frekvencah 5, 10, 20 in 40 mm^{-1} . Drugi proizvajalci dajejo **izračunane** prikaze MTF za svoje objektivne. Programi, ki izračunajo MTF lečja, so zelo olajšali delo konstruktorjem. Izračunani prikazi so bolj optimistični od izmerjenih.

MTF prikaze kakovosti objektivov je smiselno primerjati le v okviru enega proizvajalca. So prav koristna informacija pri odločitvi o nakupu. Na spletu jih najdemo pod »MTF chart« in oznako objektiva.

Canon je leta 2018 spremenil metodologijo, tako da je primerjava med prikazi pred tem datumom in po njem otežena. Novi kriteriji so strožji, dajejo pa le podatke pri frekvencah 10 in 30 na milimeter in povsem odprti zaslonki. Na sliki 9 imamo tako novi prikaz MTF s strani <https://canon.jp/> za tri dese-



SLIKA 10.

Fotografija vogalne tarče s Canon EF 50 mm f/1.4 USM.

tletja stari 50 milimetrski objektiv, pri zaslonkem številu 1,4.

Na abscisni osi je razdalja od središča slike. Črni krivulji sta pri frekvenci 10, modri pri frekvenci 30 mm^{-1} . Kakovost slike stran od središča pada in je v vogalih nizka. Pri frekvenci 10 je blizu roba tangentni kontrast precej višji od radialnega – črtkana črna črta je nad polno. To se ujema s fotografijo tarče v vogalu spodaj levo s tem objektivom na sliki 10. (Gre za približno odstotek površine celotne fotografije.)

Pri zaslonkih številih od 5,6 do 8 so za ta sede- mlečni objektiv krivulje MTF bistveno višje in drugačne in rezultati fotografiranja odlični. O tem več drugič.

Danes dobimo objektivne 50 mm f/1,4, ki so zelo dobri ali odlični že pri polni odprtini. So pa mnogo bolj zapleteni, večji, težji in dražji.

Literatura

- [1] S. F. Ray, *Applied Photographic Optics*, 2nd ed., Focal Press, Oxford 1995, 586 str.
- [2] Imatest: *Sharpness: What is it and How it is Measured*, <https://www.imatest.com/docs/sharpness/>
- [3] H. H. Nasse, *How to Read MTF Curves II*, Carl Zeiss Camera Lens Division, March 2009, 31 str., https://lenspire.zeiss.com/photo/app/uploads/2018/04/CLN_MTF_Kurven_2_en.pdf

× × ×