Dr Dragoljub Riđošić,
kapetan I klase, dipl. inž.

Dr Petronije Ašanin,
pukovnik, dipl. inž.

Uticaj udaljenosti cilja na položaj formiranja lika kod dnevno-noćnih osmatračko-nišanskih uređaja

U radu je dat teorijski deo odnosa predmeta i lika, kao i dozvoljeno pomeranje predmeta u zavisnosti od oštine lika. Izvršen je proračun za niz objektiv različitih žižnih rastojanja sa predmetom na različitim rastojanjima od uređaja, čime se izvode zaključci o dubinskoj oštini.

Uvod

Polazeći od realne pretpostavke da je udaljenost cilja, promenljiva, neophodno je sagledati kako se to odražava na položaj lika koji formira objektiv kod dnevno-noćnih osmatračko-nišanskih sprava. Mesto formiranja lika zavisi od udaljenosti cilja, kao i od samih karakteristika objektiv. Posebno značenje položaj lika u odnosu na fokalnu ravan objektiv dobija kod noćnih sprava, budući da se fotokatoda smešta u tu ravan. Svako odstupanje lika od fokalne ravni objektiv unosi određenu grešku koja ima za posledicu stvaranja, u najboljem slučaju, mutnog lika, a u najgorem njegovo neprepoznavanje. Cilj ovog rada jeste da ukaže na takve realne uzroke, posledice, kao i na postupke njihovog otklanjanja.

U radu je razmotren teoretski položaj formiranja lika u funkciji udaljenosti cilja za različite objektiv, te izvršen proračun za objektiv sa konstantnim i promenljivim fokusom za različite ulazne pupile objektiv.

Teoretske postavke

Dnevno-noćne osmatračko-nišanske sprave treba korisnicima da omoguće dobru vidljivost različitih ciljeva na promenljivim daljinama. Polazeći od

takve pretpostavke i od poznatih zakona geometrijske optike pomoću slike 1 može se doći do veličine odstupanja položaja lika (χ) od fokalne ravni slike.

Sl. 1 — Šematski prikaz formiranja lika pomoću objektiv

Sa slike 1, a na osnovu sličnosti trouglova ABF i CGF, odnosno EG₁F' i A₁B₁F; može se postaviti jednačina:

$$\frac{\chi}{f} = \frac{f'}{\chi'} \quad (1)$$

Pošto je ispred i iza objektiv ista sredina, onda je $f = f'$, pa se prethodna relacija može napisati u obliku:

$$\chi' = \frac{f^2}{\chi} \quad (2)$$

gde je:

χ - udaljenost cilja od prednje fokalne ravni, χ' - udaljenost lika od zadnje fokalne ravni objektiv, a f - žižina dužina

objektiva. Ako je predmet u beskonačnosti, lik će se formirati u zadnjoj fokalnoj ravni. Može se postaviti pitanje koliko bi trebao biti udaljen cilj da bi se formirao njegov lik u zadnjoj fokalnoj ravni objektiva, odnosno sa zanemarljivo malim odstupanjima. Odgovor na ovo pitanje može se dati ukoliko se uzme više različitih objektiva i varira njihova žižina dužina sa udaljenostima položaja cilja. U tu svrhu izvršen je proračun koji je dat u sledećem poglavlju.

Kvalitet lika u fizičkoj optici može se analizirati pomoću talasnih aberacija. Posmatrajući objektiv, dat na slici 2, može se reći da će idealan slučaj preslikavanja biti ukoliko su ravan lika P' i ravan predmeta konjugovani. Ukoliko objektiv nema aberacija, sve tačke iz ravni predmeta P preslikavaju se homocentričnim snopovima s presjecištem u ravni lika P' . Sve druge tačke iza ili ispred ravni P preslikavaju se izvan ravni P' u odgovarajućim konjugovanim tačkama.

Sl. 2 — Prikaz objektiva sa dubinskim oštrinama u prostorima predmeta i lika

Presek homocentričnih snopova u ravni P' predstavlja »kružiće rasipanja« koji uzrokuju neoštrinu tačaka. Kod vizuelnih optičkih instrumenata oko neće spoznati neoštrinu lika ukoliko je prečnik kružića rasipanja k' manji od veličine koja odgovara fiziološkom graničnom uglu moći razlaganja. Posledica ovakvog stanja je preslikavanje određenog dela prostora sa zadovoljavajućom oštrine lika tačaka u ravni P' . U slučaju da je k' granična veličina kružića ra-

sipanja, onda će u konjugovanoj ravni P predmeta odgovarati veličina k izražena relacijom (3): gde je: $\beta = -\frac{y'}{y}$

$$k = \frac{k'}{\beta} \quad (3)$$

linearno poprečno povećanje (y -veličina lika, y' -veličina predmeta (sl. 1). Zadovoljavajuću oštrinu imaće one tačke kojima presek homocentričnog snopa, zavisno od veličine ulazne pupile (D_u), nije veći od k u ravni P . Dubinska oštrina u prostoru predmeta biće definisana između tačaka L_v i L_u preko rastojanja t_d .

$$t_d = t_v + t_u \quad (4)$$

U praksi je najčešće određena ravan predmeta P koju odgovarajućim izoštravanjem treba dovesti u konjugovanu ravan lika P' . Ostvarivanje takve operacije, zbog dubinske oštrine preslikavanja, izvodi se s određenom netačnošću [1]. Sa slike 2 proizilazi:

$$\begin{aligned} \frac{k}{t_v} &= \frac{D_u}{z + t_v} \\ \frac{k}{t_u} &= \frac{D_u}{z - t_u} \end{aligned} \quad (5)$$

odakle sledi:

$$\begin{aligned} k &= D_u \cdot \frac{t_v}{z + t_v} \\ k &= D_u \cdot \frac{t_u}{z - t_u} \end{aligned} \quad (6)$$

odnosno,

$$\begin{aligned} t_v &= k \cdot \frac{z}{D_u - k} \\ t_u &= k \cdot \frac{z}{D_u + k} \end{aligned} \quad (7)$$

pa je veličina dubinske oštrine t_d :

$$t_d = 2 \cdot D_u \cdot k \cdot \frac{z}{D_u^2 - K^2} \quad (8)$$

Uvrštavanjem u (8) jednačine (3) dobija se:

$$t_v = k \cdot \frac{z}{\beta \cdot D_u - k}$$

$$t_u = k \cdot \frac{z}{\beta \cdot D_u + k} \quad (9)$$

Ako se umesto prečnika kružića rasipa k uvede vidni ugao pod kojim se vidi njegov prečnik na udaljenosti l od oka dobijamo:

$$\alpha = 3438 \cdot \frac{k'}{l'}$$

Uzimajući u obzir povezanost vidnog (G) i linearnog poprečnog povećanja (β) $G = \beta \cdot \frac{1}{l'}$ dobijamo izraze za t_u

i t_v .

$$t_v = \alpha \cdot z \cdot \frac{1}{3438 \cdot G \cdot D_u - \alpha \cdot l}$$

$$t_u = \alpha \cdot z \cdot \frac{1}{3438 \cdot G \cdot D_u + \alpha \cdot l} \quad (10)$$

gde je:

l -daljina posmatranog predmeta posmatranom okom, l' -udaljenost lika predmeta od pupile oka.

Kod idealno korigovanog optičkog sistema u ravnini lika dobija se difrakciona slika tačaka koja se karakteriše određenom raspodelom intenziteta svetlosti u centralnom kružiću i u prstenovima. Raspored intenziteta svetlosti se menja u zavisnosti od aberacija. U slučaju da je relativni raspored intenziteta svetlosti u centru prema idealnom sistemu, sa odstupanjima do 20%, smatra se da je kvalitet slike dobar. Takav raspored svetlosti nazivamo *definicionim intenzitetom*. Smatra se da odstupanja od konjugovane ravni lika ne smanjuje kvalitet preslikavanja ako definicioni intenzitet nije pri tome manji od 80%. Uz određena pojednostavljenja i aproksimacije može se reći da će ovaj zahtev

biti zadovoljen ako konus homocentričnog snopa pri preseku izvan Gaussove ravni nema bazu veću od samog centralnog kružića difrakcione slike, poluprečnika r , pa uslov za preslikavanje u blizini fokalne ravni objektiva iznosi:

$$x = 2 \cdot f \cdot \frac{r}{D_u} \quad (11)$$

Pošto je

$$r = 1,22 \cdot \lambda \cdot \frac{f}{D_u} \quad (12)$$

za $\lambda = 555$ nm (područje maksimalne spektralne osetljivosti oka za dobru osvetljenost cilja) dobija se:

$$x = 1,354 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{f^2}{D_u^2} \quad (13)$$

Konjugovanu ravan predmeta trebalo bi postaviti na udaljenost:

$$x(m) = - \frac{f^2}{x} = - 7,38 \cdot 10^{-4} \cdot D_u^2 \text{ (mm)} \quad (14)$$

Odstupanje predmeta od prednje fokalne ravni (x) može se posebno negativno odraziti na oštrinu lika kod pasivnih uređaja. Objektiv, kod pasivnih uređaja, mora da formira lik na fotokatodi ukoliko se želi imati jasan lik. S obzirom na debljinu fotoosetljivog sloja na fotokatodi (oko 120 nm za S-25), kao i na različite vrednosti x za različite fokuse objektiva i promenljive udaljenosti cilja (x), jasnoća lika može biti ozbiljno dovedena u pitanje. Da bi se to izbeglo, tj. da bi uvek imali jasan lik, potrebno je kod pasivnih uređaja ugrađivati pokretne objektivne [1, 2, 3 i 4].

Rezultati proračuna i diskusija

Pomoću prethodnih matematičkih relacija izvršen je proračun položaja

Zavisnost položaja lika (x) od fokusa objektiva (f) za različite položaje cilja

f [mm]	20	30	40	60	80	100	120	200	x [m]
x [mm]	0,004	0,009	0,016	0,036	0,064	0,1	0,144	0,4	100
	0,0004	0,0018	0,0032	0,0072	0,013	0,02	0,029	0,08	500
	0,0003	0,0006	0,0011	0,0024	0,0043	0,0067	0,0096	0,03	1500

Tabela 2

Zavisnost položaja lika (x') od udaljenosti cilja (x) za različite fokuse objektiva (f)

x [m]	200	300	400	500	600	700	800	1000	2000	f [mm]
x' [mm]	0,05	0,033	0,025	0,02	0,017	0,014	0,013	0,01	0,005	100
	0,2	0,133	0,1	0,08	0,067	0,057	0,05	0,04	0,02	200

Tabela 3

formiranja lika u funkciji različitih objektiva, a za različite udaljenosti ciljeva. Rezultati su dati u tabelama 1, 2 i 3.

Promenom fokusa objektiva f (tabela 1) od 20 do 200 mm za ciljeve na udaljenosti od 100 do 1500 m, vrednosti udaljenosti položaja lika od fokalne ravni objektiva (x) kreću se u rasponu od $3 \cdot 10^{-4}$ mm do 0,4 mm. Što je cilj na većoj udaljenosti, iznos odstupanja položaja lika od fokalne ravni objektiva je manji.

Proračun formiranja položaja lika za vrednosti udaljenosti cilja od 200 do 2000 m sa korakom od 100 m izvršen je za različite objekte, a za fokuse od 100 mm i 200 mm dat je rezultat u tabeli 2.

Promenom vrednosti odstupanja lika (x) za fokuse objektiva od 150 mm do 400 mm sa prečnicima ulazne pupile (D_u) od 30 mm do 80 mm (relativnim otvorima 1:2, 1:5 i 1:5,8 pri udaljenosti od 664 m do 4723 m, za maksimalnu spektralnu osjetljivost oka ($\lambda = 555$ nm), dat je u tabeli 3. Uočljivo je da sa povećanjem relativnog otvora, vrednosti x' postaju nepoznate prema manjim relativnim otvorima za iste udaljenosti cilja.

Položaj lika (x') i daljine cilja (x) za $\lambda = 555$ nm, u zavisnosti od fokusa objektiva (f) i prečnika ulazne pupile (D_u)

f [mm]	D_u [mm]	Relativni otvor $A = D_u/f$	x [mm]	x' [mm]
150	30	1:5 (0,2)	0,0339	664
200	40	1:5 (0,2)	0,0339	1184
250	50	1:5 (0,2)	0,0339	1845
100	50	1:2 (0,5)	0,0054	1852
300	60	1:5 (0,2)	0,0339	2657
350	60	1:5,8 (0,17)	0,046	2664
400	80	1:5 (0,2)	0,0339	4723

Zaključak

Na osnovu prezentiranih rezultata u tabelama 1, 2 i 3, može se zaključiti da je radi dobijanja jasnog lika kod pasivnih uređaja neophodno obezbediti pokretanje objektiva kako bi se lik, formiran pomoću njega, projektovao na fotoosetljivi sloj fotokatode. Veličina pomeranja objektiva zavisi od udaljenosti cilja, kao i veličine debljine fotoosetljivog sloja na fotokaturi. Zbog tih razloga bitno je unapred poznavati namenu pasivnog uređaja, tj. za koje udaljenosti se on predviđa kako bi se projektovao odgovarajući mehanizam za pokretanje objektiva radi obezbeđivanja jasnog lika posmatranog cilja.

Literatura:

- [1] Benčić D.: Prilog teoriji subjektivnih optičkih instrumenta primenjenih u mjernoj tehnici, (doktorska disertacija), Geodetski Fakultet Sveučilišta Zagreb 1979. god.
- [2] Landsberg G. S.: Optika, »Nauka«, Moskva 1976. god.
- [3] Šennona R. i Vajanta DZ.: Projektiranje optičeskih sistem, (perevod s anglaskog), »Mir«, Moskva 1983. god.
- [4] Kozelkin V. V. i Usoljcev I. F.: »Mašinostroenie«, Moskva 1967. god.