

ОПТИМИЗОВАНИ ОПТИЧКИ СИСТЕМ ЗА МОНОКУЛАР ЗА НОЋНО ОСМАТРАЊЕ СА
ИМПЛЕМЕНТИРАНИМ ГЕНЕТСКИМ АЛГОРИТМОМ

Техничко решење категорије М82

1. Др Марина Симовић Павловић
2. Др Дарко Васиљевић




Пријава техничког решења

Аутори техничког решења:

др Марина Симовић Павловић, др Дарко Васиљевић

Назив техничког решења:

„Оптимизовани оптички систем за монокулар за ноћно осматрање са имплементираним генетским алгоритмом“

Кључне речи:

Оптимизација, генетски алгоритам, оптички систем

Правно лице – корисник:

Телеоптик-Жироскопи д.о.о.

Датум реализације решења:

Јул 2026.

Датум почетка примене:

Јул 2026.

Област и научна дисциплина:

Машинство, системи наоружања (пројектовање оптичких система)

Проблем који се техничким решењем решава:

Проналажење оптималне конфигурације параметара објектива пасивних ноћних осматрачких справа ради смањења аберација и побољшања укупних оптичких перформанси система.

Стање решености проблема у свету:

У свету је развијен велики број метода за оптимизацију оптичких система, али ниједна до сада није показала универзалну ефикасност у свим условима и за све типове проблема.

Опис техничког решења:

Развијена је метода оптимизације симетричног објектива за пасивне ноћне осматрачке уређаје, заснована на генетском алгоритму ASSGA. Метод обухвата избор одговарајућег типа објектива, оптимизацију његових параметара и упоредну анализу добијених резултата, при чему омогућава ефикасно проналажење оптималне конфигурације без ослањања на прецизно дефинисане почетне услове.

Оригинални научни допринос:

Оригинални научни допринос представља развој и примена посебно прилагођене методе генетског алгоритма ASSGA за оптимизацију симетричних оптичких система, којом се превазилазе ограничења конвенционалних метода оптимизације и постиже стабилније и ефикасније проналажење оптималног решења.

Докази о примени техничког решења:

- Уговор о пословно-техничкој сарадњи између Института за физику у Београду и Телеоптик-Жироскопи
- Потврда (о развоју техничког решења) предузећа Телеоптик-Жироскопи
- Мишљење предузећа Телеоптик-Жироскопи о техничко-развојном решењу.

Листа раније прихваћених техничких решења:

Нема раније прихваћених техничких решења.

ОПТИМИЗОВАНИ ОПТИЧКИ СИСТЕМ ЗА МОНОКУЛАР ЗА НОЋНО ОСМАТРАЊЕ СА ИМПЛЕМЕТИРАНИМ ГЕНЕТСКИМ АЛГОРИТМОМ

(Optimized optical system for night vision monocular with implemented genetic algorithm)

др Марина Симовић Павловић^{1,2}, др Дарко Васиљевић²

¹Телеоптик-Жироскопи, Филипа Вишњића 31, Београд, Србија

² Лабораторија за нанофотонику, Центар за фотонику, Институт за физику, Универзитет
у Београду, Прегревица 118, Београд, Србија

1. ОБЛАСТ НА КОЈУ СЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ОДНОСИ

Техничко решење припада области војне оптоелектронике, конкретно пројектовању и оптимизацији пасивних оптичких система који функционишу у условима минималног осветљености без додатног активног осветљења. Прихваћено је од стране Телеоптик-Жироскопи д.о.о који је корисник резултата оптимизације која је предмет истраживања. Техничко решење је укључено у предавања и лабораторијске вежбе из предмета Оптички уређаји и оптоелектроника на модулу за Системе наоружања.

2. ТЕХНИЧКИ ПРОБЛЕМ

Пасивне осматрачке справе се састоје од малог броја компоненти (објектив, појачавач слике и окулар) које се усклађују како би извршиле предефинисане перформансе. [1] Како појачавач слике има своју јасно дефинисану функцију и уграђује се са конкретним карактеристикама и квалитетом зависно од дефинисане генерације истог, а окулар игра улогу „лупе“, односно увећава лик са електролуминисцентног екрана појачавача, објектив остаје као компонента која дефинише квалитет у смислу различитих финеса, а самим тим је и подложен подешавању односно оптимизацији.

Приликом пројектовања стандардних оптичких система који се користе у пасивним ноћним уређајима најчешћи проблеми који се сусрећу се односе на следеће:

- Висок степен хроматских и сферних аберација,
- Ниска пропустљивост светлости (трансмисија),
- Ограничено видно поље,
- Незадовољавајућ однос између димензија система и квалитета слике.

Имајући све наведено у виду, најпре је потребно правилно изабрати тип објектива за монокулар за ноћно осматрање [2], а затим ускладити метод оптимизације који може ефикасно пронаћи оптималну конфигурацију оптичких параметара, а све у циљу побољшања укупних перформанси система.

3. ПОСТОЈЕЋЕ СТАЊЕ У СВЕТУ

Када се говори о методама оптимизације, тренутно се теоретски може наћи велики број могућности. У пракси још увек није идентификована „идеална“ метода оптимизације.

Једна од уобичајених и задовољавајућих метода припада **Традиционалним детерминистичким методама** [3] које се користе у индустријском дизајну сочива. Ове методе су брзе и ефикасне, али се претежно користе за локалну оптимизацију. Проблем код оваквих метода је што захтевају добру иницијалну процену параметара и што веома лако упадају у локалне минимуме.

Вишециљна оптимизација [4] се користи када постоји већи број циљева за постизање и она даје скуп компромисних решења уместо једног оптималног. Примена ове методе је ограничена јер захтева стручност и сама метода је веома сложена а самим тим и значајно спорија од других.

Машинско учење и вештачка интелигенција [5] је метода у развоју, која ће бити веома корисна за масивне системе код којих евалуација дуго траје.

Комерцијални софтверски алати (Zemax, Oslo, Trace Pro и сл.) су најчешће коришћене методе јер имају своје интерне алгоритме и дају веома пристојна решења. [6]

Хеуристичке и метахеуристичке методе [7] постају веома популарне у савременом свету оптимизације. Њихова предност је што не зависе од добро постављених почетних услова. Међутим, у случају преференција у овом правцу, потребно је одабрати конкретну методу.

Генетски алгоритам [8] – Инспирирана еволуцијом, решење се итеративно развија кроз селекцију, укрштање и мутацију. Проналази решење у комплексним и нелинеарним просторима и може да ради и поред шума или услед неког дисконтинуитета у проналажењу решења. Као недостатак се може посматрати могућност великог утицаја на перформансе услед лошег подешавања параметара.

Симулирано каљење [9] – Инспирирана процесом хлађења материјала, оптимизација се одвија једноставно, оптимизује се једна тачка по итерацији. Има могућност „прескакања“ локалног минимума, али може да дође до дуготрајног „лутања“ без побољшања.

Ројеви честица [10] – Инспирирана колективним понашањем честица, односно учењем честица једних од других. Ова метода решава континуиране проблеме и брзо конвергира, али може да доведе и до преурађене конвергенције, односно да се „заглави“ и престане са потрагом за бољим деловима простора решења. Ова метода није згодна за фина подешавања.

4. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

4.1. Избор објектива

Како је монокулар пасивна справа којој је потребан велики угао видног поља и мало увећање, објектив се бира из групе рефракционих објектива, односно објектива који су пројектовани само од сочива. [1]

Иницијална идеја за почетни објектив мора предвидети следеће захтеве који су битни за пројектовање пасивних справа [1]:

1. Максимална оштрина слике у целом видном пољу,
2. Добра контрола аберација,
3. Висока светлосна моћ,
4. Механичка компактност,
5. Прилагођеност одређеној таласној дужини.

Са овако постављеним захтевима, као добар почетни објектив може се изабрати „Double Gauss“ [8, 11] симетрични објектив, а у наставку ће бити појашњено и због чега:

- Вишекомпонентна структура објектива омогућава да се оштрина задржи од центра до ивице слике, чак и при широком отвору бленде. (Испуњен први захтев.)
- Симетрично распоређена сочива омогућавају ефикасну корекцију аберација (посебно сферне и астигматизма), што је веома важно за рад са великим отвором бленде. Управо комбинација геометријске симетрије и корекције аберација омогућава добру светлосну моћ без компромиса у квалитету слике. (Испуњени други и трећи захтев.)

- Оптички пут се смањује постизањем кратке ефективне жижне дужине која се добија комбиновањем позитивних и негативних група сочива. Такође, симетрија помаже компактност система јер се аберације коригују унутар краће структуре. (Испуњен четврти захтев.)

Што се тиче другог захтева, следи објашњење за сваку аберацију:

- Сферна аберација, кома, астигматизам и закривљење поља – као што је већ наведено коригује се комбиновањем позитивних и негативних сочива симетрично,
- Кома и дисторзија - Симетрија дизајна око бленде коригује кому и поништава дисторзију. Негативна сочива (конкавна) у средини коригују закривљења која би створила конвексна. На овај начин је геометријска дисторзија сведена на минимум, посебно око оптичке осе.
- Астигматизам – коригује се фином контролом закривљења сочива у средини система,
- Употреба више стакала различитих индекса лома и дисперзије омогућава корекцију хроматских аберација.

За полазни систем изабран је симетрични објектив компаније „Angenieux“, конфигурација која је коришћена за „PN-2“ пасивне наочаре за возача тенка М80 у ноћним условима.

4.2. Избор метода

Од велике је важности направити добар избор методе оптимизације оптичког система. [12, 13] Како се ради о комплексном, нелинеарном и вишедимензионалном проблему, код ког се може јавити више локалних минимума, за оптимизацију пасивног монокулара изабран је генетски алгоритам (ГА). [8] Како је у питању метода глобалне оптимизације, а овде је потребно наћи глобално оптималну конфигурацију оптичких параметара, ова метода се чини погодном за пројектовање оптичког система. Ова метода, инспирисана природном селекцијом, претражује велики простор решења и не захтева диференцијабилност циљне функције што је изузетно погодно за оптичке системе код којих је функција квалитета слике неретко веома несавршена.

Класични генетски алгоритам је у неколико случајева примењиван за оптимизацију оптичких система [14, 15], али постоји и ређе коришћен „adaptive steady-state genetic algorithm“ (ASSGA). [8] Разлика између ове две методе је у начину на који се ствара нова популација. Док класични генетски алгоритам у свакој итерацији ствара целу нову популацију и замењује стару, друга поменута метода у новој итерацији генерише само неколико хромозома и постепено мења лошије хромозоме у популацији. Дакле, док класични алгоритам брже претражује простор решења, ASSGA ради на постепеном побољшавању постојећих решења, односно успева да очува добре хромозоме. Оваква метода је ефикаснија у реалном времену и представља коначан избор за оптимизацију оптичког система за монокулар за ноћно осматрање.

4.3 Методологија

Како би се примењена методологија детаљно приказала поступно кроз кораке, најпре је потребно дефинисати шта подлеже оптимизацији. У случају ГА оптимизује се „хромозом“. Хромозом представља комплетан скуп параметара објектива. Изабрани су следећи параметри:

- Полупречник закривљености сочива ($R_1, R_2, R_3 \dots$)
- Дебљине оптичких компоненти ($T_1, T_2 \dots$)
- Растојање између елемената ($d_1, d_2 \dots$)
- Избор материјала (mat1, mat2...)

Први корак – Иницијализација популације

- У овом кораку се најпре дефинише број хромозома за оптимизацију.
- За сваки одабрани параметар у оквиру хромозома дефинишу се опсези.
- У дозвољеним опсезима се насумично генерише дефинисан број хромозома.

Хромозом се може представити на следећи начин:

$$Hromozom=[R_1, R_2, \dots, T_1, T_2, \dots, d_1, d_2, \dots, mat1, mat2, \dots]$$

Други корак – Евалуација „фитнес“ функције

- Параметри хромозома се провлаче кроз оптички софтвер и мере се перформансе добијеног система.
- Израчунава се „мерит“ функција, односно функција за оцену која мери укупну грешку система. На овај начин се добија нека јединствена вредност оцене система, односно утицаја свих аберација система. Што је мања вредност ове функције, боље решење је добијено.
- Фитнес функција се добија претварањем „мерит“ функције у облик у ком мања грешка измерена „мерит“ функцијом представља већи „фитнес“.

Трећи корак – Селекција родитеља

- Из тренутне популације врши се селекција 10-20% најбољих хромозома за родитеље-хромозоме.

Потребно је одлучити се за методу селекције у циљу стварања што квалитетније нове генерације. За ово решење одабрана је „Рулет“ селекција (Roulette wheel selection) која се може представити у три корака:

1. Сумирање „мерит“ функција свих хромозома и добијање тзв. „тоталне мерит функције“.
2. Генерисање насумичног броја у опсегу од нула до „тоталне мерит функције“.
3. Враћање првог хромозома чија је „мерит“ функција сабрана са „мерит“ функцијама претходних хромозома, већа или једнака генерисаном насумичном броју.

Предност ове методе селекције је што је у питању најпрактичнији избор јер фаворизује најбоље чланове и они најчешће улазе у слот за укрштање. Како „рулет“ метода нема подједнаке слотове, има бољу „фитнес“ функцију, односно већи слот. Може се закључити да је одабрана метода нека врста елитистичке методе, али мање детерминистички дефинисана.

Четврти корак – Укрштање

- Врши се избор два родитеља чији се гени комбинују

Пети корак – Мутација

- Мутација представља насумичну промену малог дела решења како би се избегло запињање у лошим решењима (упадање у локални минимум), а уједно се увео неки новитет у постојеће.

Шести корак – Формирање нове генерације

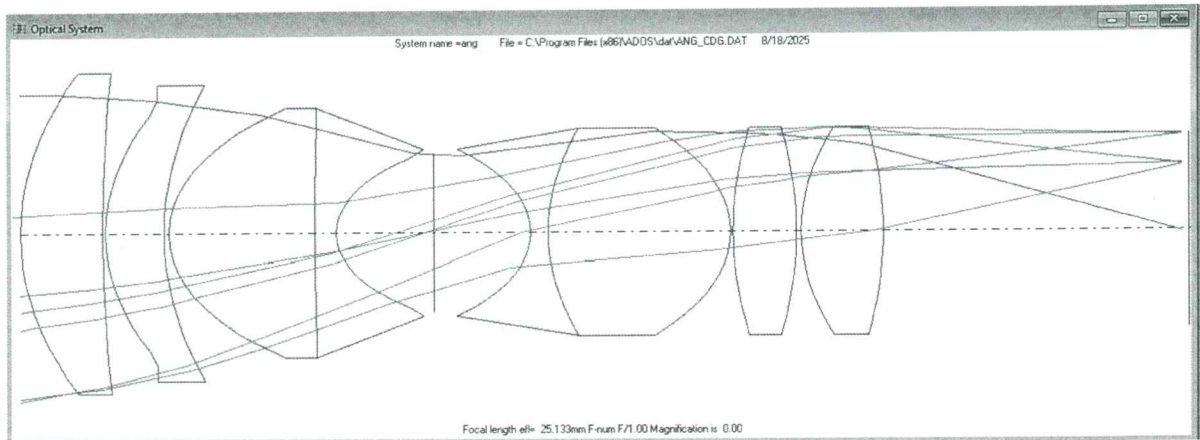
- У свакој итерацији се формира нова генерација тако што се формира мали број нових параметара који замењују најлошије постојеће. (Овде је важно уочити разлику између класичног ГА и ASSGA, где би за случај класичног нова генерација потпуно заменила стару.)

Седми корак – Заустављање алгорита

- Алгоритам престаје са радом уколико се достигне максимални предвиђени број генерација, уколико се не види значајно побољшање у одређеном броју генерација или ако се постигне унапред одређена задовољавајућа вредност „фитнес“ функције.

5. ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА ПРИМЕНЕ

У оквиру приказа резултата примене најпре је приказана шема оптичког система (симетричног објектива) који је предмет оптимизације (слика 1).



Илустрација 1 Шема симетричног објектива

На шеми се уочава 15 преломних површина. За сваку преломну површину су променљиви радијуси и материјали, док је због ограничења коришћеног програма растојање између површина променљиво само тамо где је веће од 1mm.

Важно је напоменути да се приликом прорачуна заправо не мењају радијуси него кривина поља. На овај начин се омогућава примена математичког модела, јер код равних површина кривина поља има нулту вредност а радијус бесконачну која не може да се уведе у рачун.

Када се говори о материјалу, односно врсти стакла, програм узима нумеричке вредности индекса преламања и дисперзије као променљиве, формира систем (хромозом) са тим вредностима, а затим тражи реално стакло са најприближнијим карактеристикама из каталога. Стакло се тражи у оквиру унапред предвиђеног троугла дефинисаног са три крајња стакла. Такав троугао садржи већину стакала из каталога, између 70 и 80 процената. Уколико такво стакло не може да се пронађе, систем се одбацује као неважећи, односно као систем који не испуњава унапред постављене граничне услове. Уобичајено је да се даје велики број граничних услова како би увек било могуће наћи важећи систем.

У табели 1 су најпре презентовани параметри, односно вредности аберација, полазног система.

Табела 1 Вредности аберација полазног оптичког система

Попречна сферна аберација	Кома	Астигматизам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS
Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
-0.17695	0.00157	0.0415	-0.30732	-1.69698	0.007566301	0.007077084	0.002311749

У првом кораку је примењена ASSGA оптимизација са једним променљивим параметром, и то полупречником закривљености сочива. У табели 2 приказани су добијени резултати. Ради јаснијег приказа резултата, вредности ће се у наредним табелама ограничавати на три децимале.

Табела 2 Вредности аберација оптичког система оптимизованог са променљивим радијусима

Популација 500	Мерит функција	Попречна сферна аберација	Кома	Астигматизам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
Оптимизација 1	71.561	0.046	0.012	-0.503	-0.196	-3.651	0.003	0.011	0.012
Оптимизација 2	83.256	0.072	0.003	-0.614	-0.171	-3.667	0.002	0.012	0.014
Оптимизација 3	75.95	0.055	-0.005	-0.593	-0.167	-3.175	0.002	0.011	0.012
Оптимизација 4	81.593	0.058	0.006	-0.578	-0.160	-0.160	0.003	0.011	0.013
Оптимизација 5	71.484	0.067	0.002	-0.536	-0.173	-3.080	0.003	0.011	0.011
Средња вредност		76.61191068							

Стандардна девијација	4.920922572						
-----------------------	-------------	--	--	--	--	--	--

Из приложене табеле се може уочити да ASSGA не даје много боље резултате када се само један параметар дефинише као варијабилан. Табела 3 приказује резултате оптимизације са два променљива параметра: полупречником закривљености сочива и растојањем између елемената система.

Табела 3 Вредности абериција оптичког система оптимизованог са променљивим радијусима и растојањима

Популација 500	Мерит функција	Попречна сферна абериција	Кома	Астигматизам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна абериција RMS	Таласна абериција RMS	Таласна абериција RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
Оптимизација 1	67.446	0.047	0.007	-0.603	-0.163	-3.252	0.002	0.012	0.012
Оптимизација 2	76.631	0.064	0.007	-0.607	-0.166	-4.079	0.002	0.013	0.017
Оптимизација 3	71.453	0.045	0.012	-0.551	-0.181	-3.958	0.002	0.011	0.015
Оптимизација 4	77.864	0.048	0.012	-0.603	-0.162	-5.561	0.001	0.013	0.017
Оптимизација 5	84.605	0.045	0.004	-0.673	-0.173	-2.906	0.002	0.012	0.017
Средња вредност		75.37421112							
Стандардна девијација		5.847461104							

Како се тражи решење за монокулар за ноћно осматрање, од великог је значаја оптимизовати врсту стакла јер различити оптички материјали имају различите индексе преламања и дисперзије, што директно утиче на трансмисију светлости и минимизацију хроматских абериција при слабом осветљењу. У условима ноћног осматрања, ефикасно преношење и фокусирање доступне светлости је пресудно за квалитет слике.

Дакле, финално су за променљиве узети следећи параметри:

- Полупречник закривљености сочива
- Растојање између елемената
- Материјал/Врста стакла

У овако постављеној конфигурацији, одрађена је оптимизација за популације од 500 (Табела 4), 600 (Табела 5), 700 (Табела 6) и 800 (Табела 7) хромозома.

Табела 4 Вредности абериција оптичког система оптимизованог са променљивим радијусима, растојањима и материјалима (Популација 500)

Популација 500	Мерит функција	Попречна сферна абериција	Кома	Астигматизам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна абериција RMS	Таласна абериција RMS	Таласна абериција RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
Оптимизација 1	57.495	0.026	-0.013	-0.599	-0.171	0.306	0.001	0.013	0.016
Оптимизација 2	66.259	0.046	-0.001	-0.586	-0.146	-2.625	0.002	0.012	0.014
Оптимизација 3	51.224	0.055	-0.004	-0.533	-0.155	-0.578	0.002	0.012	0.013
Оптимизација 4	76.717	0.065	-0.003	-0.668	-0.153	-1.277	0.001	0.015	0.018
Оптимизација 5	69.798	0.061	-0.003	-0.599	-0.168	-1.252	0.001	0.013	0.016
Средња вредност		63.65266727							
Стандардна девијација		9.005968745							

Табела 5 Вредности абериција оптичког система оптимизованог са променљивим радијусима, растојањима и материјалима (Популација 600)

Популација 600	Мерит функција	Попречна сферна аберација	Кома	Астигмати- зам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
Оптимизација 1	77.999	0.059	-0.006	-0.643	-0.217	-1.099	0.001	0.013	0.018
Оптимизација 2	64.814	0.056	-0.008	-0.592	-0.139	0.224	0.002	0.014	0.015
Оптимизација 3	48.08	0.046	0.046	-0.541	-0.133	-0.712	0.002	0.010	0.012
Оптимизација 4	48.974	0.034	-0.008	-0.545	-0.159	-1.513	0.001	0.012	0.015
Оптимизација 5	71.021	0.068	-0.002	-0.644	-0.147	-2.034	0.002	0.013	0.016
Средња вредност		61.01195422							
Стандардна девијација		11.90420434							

Табела 6 Вредности аберација оптичког система оптимизованог са променљивим радијусима, растојањима и материјалима (Популација 700)

Популација 700	Мерит функција	Попречна сферна аберација	Кома	Астигмати- зам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
Оптимизација 1	59.178	0.058	-0.010	-0.596	-0.140	0.049	0.001	0.012	0.014
Оптимизација 2	56.5	0.049	-0.008	-0.562	-0.122	-0.652	0.002	0.012	0.013
Оптимизација 3	53.132	0.033	-0.003	-0.530	-0.159	-0.528	0.002	0.012	0.013
Оптимизација 4	55.463	0.043	-0.004	-0.579	-0.163	-0.892	0.002	0.011	0.014
Оптимизација 5	62.062	0.042	-0.001	-0.638	-0.105	-1.750	0.001	0.014	0.016
Средња вредност		57.18456263							
Стандардна девијација		3.084959514							

Табела 7 Вредности аберација оптичког система оптимизованог са променљивим радијусима, растојањима и материјалима (Популација 800)

Популација 800	Мерит функција	Попречна сферна аберација	Кома	Астигмати- зам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm
Оптимизација 1	64.311	0.054	-0.005	-0.603	-0.146	-0.930	0.002	0.013	0.015
Оптимизација 2	77.407	0.040	-0.003	-0.638	-0.161	-1.950	0.002	0.012	0.015
Оптимизација 3	61.704	0.053	-0.009	-0.599	-0.155	0.132	0.001	0.013	0.015
Оптимизација 4	44.839	0.055	-0.006	-0.491	-0.166	-0.310	0.001	0.010	0.012
Оптимизација 5	54.017	0.066	-0.007	-0.525	-0.164	0.470	0.001	0.011	0.012
Средња вредност		59.47206785							
Стандардна девијација		10.85455056							

Након оптимизације са три варијабилна параметра добијено је седам одличних система који задовољавају све услове за објектив пасивног монокулара. Како би се приступило дискусији, наведени системи су издвојени у засебну табелу 8.

Табела 8 Упоредни приказ одабраних оптичких система

Упоредни приказ	Мерит функција	Попречна сферна аберација	Кома	Астигмати- зам	Кривина поља	Дисторзија	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS	Таласна аберација RMS
		Hmax	HmaxVmax	Wmax	Wmax	Wmax	оса	0.7*wmax	wmax
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm

Полазни систем		-0.177	0.002	0.042	-0.307	-1.697	0.008	0.007	0.002
Популација 500 Оптимизација 1	57.495	0.026	-0.013	-0.599	-0.171	0.306	0.001	0.013	0.016
Популација 600 Оптимизација 2	64.814	0.056	-0.008	-0.592	-0.139	0.224	0.002	0.014	0.015
Популација 700 Оптимизација 1	59.178	0.058	-0.010	-0.596	-0.140	0.049	0.001	0.012	0.014
Популација 700 Оптимизација 3	53.132	0.033	-0.003	-0.530	-0.159	-0.528	0.002	0.012	0.013
Популација 800 Оптимизација 3	61.704	0.053	-0.009	-0.599	-0.155	0.132	0.001	0.013	0.015
Популација 800 Оптимизација 4	44.839	0.055	-0.006	-0.491	-0.166	-0.310	0.001	0.010	0.012
Популација 800 Оптимизација 5	54.017	0.066	-0.007	-0.525	-0.164	0.470	0.001	0.011	0.012

Из упоредне табеле се уочава следеће:

- Полазни систем има најбоље особине на највећем углу видног поља, док је за пројектовани систем битније да има што мање аберације близу осе јер се онда добија максимална резолуција. Изабрани оптимизовани системи су дали одличне резултате на овом пољу.
- Полазни систем има лошије резултате за кривину поља од астигматизма, док оптимизовани системи постижу обрнуто. Код пасивног монокулара се користи раван појачавач због чега је слика која се формира кроз оптички систем „равна“ и свака закривљеност може да узрокује дисторзију слике. Астигматизам најчешће узрокује деформацију слике у одређеном правцу што је мање уочљиво за корисника, посебно код пасивних система. Како се једна од две наведене аберације коригује на рачун друге најчешће, за оптимизацију система код пасивног монокулара избор пада на корекцију кривине поља.
- Добијене су мање вредности дисторзије код оптимизованих система што је веома важно за уређај као што је монокулар код ког се не користи друго око које би могло да исправи грешку. Такође када се користи само једно око важно је да геометрија буде што правилнија како не би изазвала додатни напор посматрачу.

6. ЗАКЉУЧАК

Овде описана нова метода припада области војне оптоелектронике, конкретно пројектовању пасивних оптичких система и пружа, кроз седам корака, поступак за оптимизацију изабраног симетричног објектива. Техничко решење представља:

1. Избор одговарајућег објектива за испуњење захтева потребних за ноћно осматрање монокуларом;
2. Дефинисање посебне методе оптимизације генетским алгоритмом погодне за оптимизацију оптичких система и то ASSGA;
3. Примену методе на конкретном примеру;
4. Приказ и упоредна анализа добијених резултата;

Новом методом се избегавају устаљена ограничења стандардних метода као што је западање у локалне минимуме. Добијају се оптимална решења која резултује стабилним системом за пасивне оптичке уређаје. Такође се решење проналази ефикасно и без потребе да се уложи време и друге методе како би почетни услови оптимизације били довољно добри.

Примењена метода омогућила је постепено побољшавање решења уз очување добрих особина кроз генерације. Такав приступ је посебно користан код вишекомпонентних објектива као што је разматран, јер омогућава фину контролу над променама и бољу стабилност током претраге.

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Vasiljević, D., „Optički uređaji i optoelektronika“, Mašinski fakultet, Beograd, 2005.

- [2] Stoychev, I., Hutov, I., „Night Vision Monocular – Basic Elements and Development trends“, *Environment Technology Resources*, Volume 4, pp. 260–268, 2024.
- [3] Colaco, M. J., Dulikravich, G. S., „A survey of basic deterministic, heuristic, and hybrid methods for single-objective optimization“, y *Classical and Evolutionary Algorithms in the Optimization of Optical Systems*, Springer (zbornik), 2011.
- [4] Shaine, J., Kang, H. W., Chakraborty, „Lens design as multi-objective optimisation“, *International Journal of Automation and Control*, 2011.
- [5] Cote, G., Lalonde, J.-F., Thibault, S., „On the use of deep learning for lens design“, *Proceedings of the International Optical Design Conference*, SPIE, 2021.
- [6] Visconti, A., „Optimization and analysis of three different imaging objectives in Synopsys CODE V and Ansys Zemax“, *SPIE International Optical Design Conference 2023*, Proc. SPIE 12798, 2024.
- [7] Cui, H.-Z., „A review of metaheuristic optimization methods“, *Applied and Computational Engineering*, Volume 33, 2024.
- [8] Vasiljević, D., „Classical and evolutionary algorithms in the optimization of optical systems“, *Kluwer Academic Publishers*, Boston/Dordrecht/London, 2002.
- [9] Chao, S. M., Whang, A. J.-W., Chou, C.-H., Su, W.-S., Hsieh, T.-H., „Optimization of a total internal reflection lens by using a hybrid Taguchi-simulated annealing algorithm“, *Optical Review*, Volume 21, pp. 153–161, 2014.
- [10] Qin, H., „Particle Swarm Optimization applied to automatic lens design“, *Optics Communications*, 2011.
- [11] Vasiljević, D., Bakić, S., „Optimization of the double-Gauss objective with the various evolution strategies and the damped least squares“, *Phys. Scr.* **T162**, 014034 (4pp), 2014.
- [12] Simović Pavlović, M., Nestorović, K., Vasiljević, D., „Importance of optimization of optical systems in the army“, VoJna...
- [13] Nestorović, K., Simović Pavlović, M., Živanović, V., „Analysis of a modern thermal imaging devices for military application“, VoJna...
- [14] Hoschel, K., Lakshminarayanan, V., „Genetic algorithms for lens design: a review“, *Journal of Optics*, Volume 48 (3), pp. 134–144, 2019.
- [15] Nezhad, N.H.M., Niasar, M.G., Mohammadi-Gheidari, A., Kruit, P., Hagen, C. W., „Multiple criteria optimization of electrostatic electron lenses using multiobjective genetic algorithms“, *Journal of Vacuum Science & Technology B*, Volume 39, 062605, 2021.

ТЕЛЕОПТИК - ЖИРОСКОПИ Д.О.О.

Бр. 2068

22. 06. 2026 год.

ЗЕМУН-БЕОГРАД, ФИЛИПА ВИШЊИЋА 31



ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ | БЕОГРАД
ИНСТИТУТ ОД НАЦИОНАЛНОГ
ЗНАЧАЈА ЗА РЕПУБЛИКУ СРБИЈУ
www.ipb.ac.rs

Број

0801-1033/1

Датум

18. 06. 2026

Институт за физику у Београду, са седиштем у Београду, адреса: Прегревица 118, Земун, ПИБ 100105980, МБ 07018029, који заступа в.д. директора др Владимир Срећковић

и

Телеоптик-жироскоп, са седиштем у Београду, адреса: Филипа Вишњића 31, ПИБ 100091185; МБ 07020945, који заступа в.д. генералног директора Зоран Јарић

УГОВОР О ПОСЛОВНО-ТЕХНИЧКОЈ САРАДЊИ

Члан 1.

Предмет споразума је међусобна сарадња уговорних страна у циљу реализације развоја и имплементације нове методе оптимизације за примену код пројектовања пасивних оптичких система.

Члан 2.

Институт се обавезује да ће ангажовати стручни тим који ће се бавити развојем нове методе оптимизације за примену код пројектовања пасивних оптичких система и учествовати у њеној имплементацији.

Члан 3.

Телеоптик се обавезује да ће обезбедити услове за имплементацију и тестирање методе у свим њеним развојним фазама и дати финално мишљење о могућој употреби.

Члан 4.

Рок за извршење обавеза дефинисаних чланом 3. и 4. овог уговора је 31.08.2026. године.

Завршне одредбе

Члан 5.

Измене и допуне овог споразума врше се искључиво у писаној форми.

Евентуалне спорове уговорне стране ће решавати споразумно.

Споразум је сачињен у два истоветна примерка, по један за сваку уговорну страну.



* Зоран Јарић



Институт за физику у Београду
др Владимир Срећковић

У Београду, 16.06.2026. године



ТЕЛЕОПТИК-ЖИРОСКОПИ Д.О.О.

ЕЛЕКТРО-ОПТО МЕХАНИКА

TELEOPTIK-GYROSCOPES

ELECTRO-OPTO MECHANICS

11080 Београд-Земун; Филипа Вишњића 31; тел +381 11 2614 522; тел/факс +381 11 2105 439
МБ: 07020945; ПИБ 100091185; ЈБКЈС:91346; ШД: 2651; web:http://ziroskopi.rs; e-mail: office@ziroskopi.rs

ПОТВРДА

да је за потребе предузећа Телеоптик-Жироскопи д.о.о., ул. Филипа Вишњића 31, 11000 Београд, Србија, пројектни тим који се састоји од чланова са Института за физику развио нову методу оптимизације оптичких система и применио исту на примеру монокулара за ноћно осматрање. Развијена метода приказана кроз алгоритам, као и упутство за примену исте, предато је крајњем кориснику.

У Земуну, 06.07.2026. године



Зоран Јарић, В.Д. генерални директор

Телеоптик-Жироскопи д.о.о.



ТЕЛЕОПТИК-ЖИРОСКОПИ Д.О.О.

ЕЛЕКТРО-ОПТО МЕХАНИКА

TELEOPTIK-GYROSCOPES

ELECTRO-OPTO MECHANICS

11080 Београд-Земун; Филипа Вишњића 31; тел +381 11 2614 522; тел/факс +381 11 2105 439
МБ: 07020945; ПИБ 100091185; ЈБКЈС:91346; ШД: 2651; web:http://ziroskopi.rs; e-mail: office@ziroskopi.rs

МИШЉЕЊЕ

о техничко-развојном решењу под називом
„Оптимизовани оптички систем за монокулар за ноћно осматрање са имплементираним
генетским алгоритмом“

У својству корисника овог техничког решења, стручни тим је разматрао постигнуте резултате и у потпуности је сагласан са истим. У оквиру предметног техничког решења дато је ново решење за оптимизацију оптичког система за монокулар са ноћним осматрањем са имплементираним генетским алгоритмом. Са дугогодишњим искуством у пројектовању и производњи оптичких уређаја, мишљења смо да метода представљена у оквиру техничког решења под називом „Оптимизовани оптички систем за монокулар за ноћно осматрање са имплементираним генетским алгоритмом“ у потпуности задовољава захтеве оптимизације и пројектовања.

Предметно техничко решење се прихвата за примену у оптимизацији оптичких система, а реализоваће се у складу са нашом стратегијом пословања и развојним активностима.

У Земуну, 06.07.2026. године



Зоран Јарић, В.Д. генерални директор

Телеоптик-Жироскопи д.о.о.