Georgian Scientists

ქართველი მეცნიერები

Vol. 6 Issue 1, 2024

https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.01.17

ოპტიკური სისტემის კორექციის ერთი მეთოდის შესახებ

დავით შალამბერიძე, სოსო დოლიძე

სსიპ ინსტიტუტი ოპტიკა

ანოტაცია

სტატიაში წარმოდგენილია რიცხვითი მეთოდი, რომლის გამოყენებითაც ოპტიკური სისტემის გაანგარიშებისას გარკვეული აბერაციის შესამცირებლად, შესაძლებელია სისტემის ორი ან მეტი პარამეტრის შეცვლა ისე, რომ შეინარჩუნოს სისტემის ძირითადი მახასიათებელი. სტატიაში მოყვანილია ლინზების სიმრუდის ორი რადიუსის ურთიერთდამოკიდებულება ოპტიკური სისტემის მთავარი მახასიათებლის, ფოკუსური მანძილის შენარჩუნების პირობებში.

საკვანძო სიტყვები: ლინზა, ფოკუსური მანძილი, ოპტიკური სისტემა.

ოპტიკური სისტემების გათვლისას ხშირად, გარკვეული ტიპის აბერაციის შესამცირებლად საჭირო ხდება რომელიმე პარამეტრის (მაგ.: რადიუსი,ლინზებს შორის მანძილი, გარდატეხის მაჩვენებელი და ა.შ.) შეცვლა, ისე რომ სისტემის სხვა რომელიმე მ,ახასიათებელი, მაგ.: ფოკუსური მანძილი, უცვლელი დარჩეს. ეს შესაძლებელია ორი ან მეტი პარამეტრის სინქრონულად შეცვლის შედეგად. აქ განიხილება ორი პარამეტრის სინქრონული ცვლილების შემთხვევა, რაც გულისხმობს შემდეგს: მაგალითად: თუ ლინზის R_1 რადიუსს შევცვლით $R_1 + dR_1$ რადიუსით, მაშინ R_2, მეორე რადიუსის შეიცვალოს. ოპტიკურ სისტემებში ფოკუსური მანძილი მრავალი ცვლადის ფუნქციაა, კერძოდ $f = f(\vec{n}, \vec{d}, \vec{R})$ სადაც $\vec{n} = (n_1, n_2, n_3, \ldots n_{m+1})$ გარდატეხის მაჩვენებელი ვექტორი, $\vec{d} = (d_1, d_2, d_3, \ldots d_{m-1})$ ლინზებს შორის მანძილთა ვექტორი, $\vec{R} = (R_1, R_2, R_3, \ldots R_m)$ ლინზათა სიმრუდის რადიუსების ვექტორი, სადაც m ზედაპირების რაოდენობაა. ვთქვათ, საწყისი ოპტიკური კონსტრუქცია არჩეულია, ე.ი. მოცემულია $\vec{n}_0$, d_0, R_0 ვექტორები და შესაბამისი ფოკუსური მანძილი $f_0 = f(\vec{n}_0, \vec{d}_0, \vec{R}_0)$. ამ ვექტორის კომპონენტებიდან ავირჩიოთ ჩვენთვის სასურველი ორი კომპონენტი x და y, მაშინ ვღებულობთ ფოკუსურ მანძილს, როგორც ორი ცვლადის ფუნქციას. $f = f(x,y)$

განვიხილოთ არაცხადი განტოლება: $f(x,y) = f_0$, აქედან გამომდინარეობს:

$$\frac{dy}{dx} = -fx \,/\, fy$$

თუ დავკმაყოფილდებით წრფივი მიახლოებით:

$$dy = -\frac{fx}{fy}dx.$$

მაგრამ ოპტიკურ სისტემებში ეს მიახლოება არ დაგვაკმაყოფილებს, რადგან f -ის ცვლილების დასაშვები ფარდობითი ცდომილება 0,01 რიგის უნდა იყოს. ამიტომ განვიხილოთ მეორე რიგის მიახლოება

$$\Delta y \approx \frac{dy}{dx}\Delta x + \frac{1}{2}\frac{d^2y}{dx^2}\Delta x^2 \qquad (1)$$

$\frac{d^2y}{dx^2}$ - ის გამოსათვლელად გავაწარმოოთ $f_x + y'(x)\, f_y = 0$ ტოლობა x-ის ცვლადით, (ჩავთვალოთ, რომ y -არის x -ის ფუნცია) ვღებულობთ:

$$f_{xx} + f_{xy}\, y'(x) + y''(x)\, f_y + y'(x)\frac{dfy}{dfx} = 0 \qquad (2)$$

$$\frac{df_y}{dx} = f_{xy} + f_{yy}\; y'(x) \qquad (3)$$

(3) →(2) მივიღებთ:

$$f_{xx} + f_{xy}\, y'(x) + y''(x)\, f_y + y'(x)\,(f_{xy} + f_{yy}\, y') = 0 \qquad (4)$$

აქედან გამომდინარეობს

$$y''(x) = (f_{xx}(f_y)^2 + 2f_{xy}\, f_x\, fy - f_{yy}\,(f_x)^2)/f_y^3 \qquad (5)$$

(5)→(1) ვღებულობთ:

$$\Delta y \approx -\frac{fx}{fy}\Delta x + (-f_{xx}\,(f_y)^2 + 2f_{xy}\, f_x\, f_y - f_{yy}\,(f_x)^2)\Delta x^2/2(f_y)^3$$

f = f(x,y) ფუნქცია რთულ ოპტიკურ სისტემებში ცხადი სახით არ იწერება, ანუ წარმოებულის მოსაძებნად უნდა გამოვიყენოთ რიცხვითი მეთოდები [1]: $(f_x)_i^j = \frac{f_{i+1}^j - f_{i-1}^j}{2\,dh}$

$$(f_y)_i^j = \frac{f_i^{j+1} - f_i^{j-1}}{2\,dh}$$

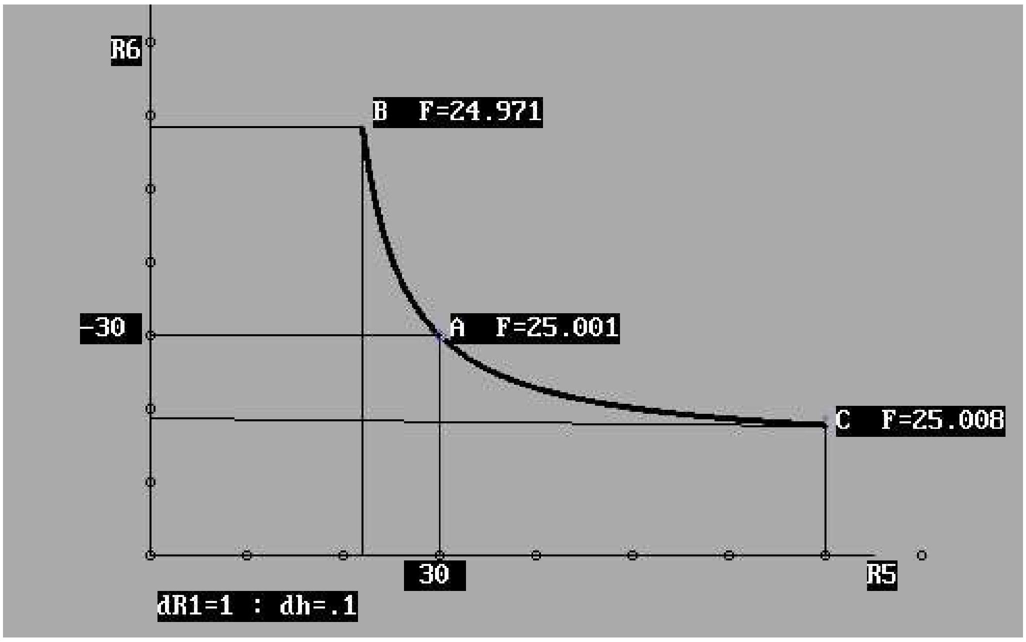
სადაც $f_i^j = f(x_i; y_i)$ $\quad f_{i+1}^j = f(x_i + dh; y_i)$

$f_i^{j+1} = f(x_i; y_i + dh)$ $\quad f_i^{j+2} = f(x_i; y_i + 2\,dh)$

და ა.შ.

$$(f_{xx})_i^j = \frac{f_{i+2}^j - 2f_i^j + f_{i-2}^j}{4\,dh^2} \qquad (f_{yy})_i^j = \frac{f_i^{j+2} - 2f_i^j + f_i^{j-2}}{4\,dh^2}$$

$$(fxy)_i^j = \frac{f_{i+1}^{j+1} - f_{i-1}^{j+1} - f_{i+1}^{j-1} + f_{i-1}^{j-1}}{4\,dh^2}$$



ნახაზი. ექვსზედაპირიანი, F = 25 მმ ფოკუსის მქონე, ოპტიკური სისტემის მე-5 და მე-6 ზედაპირების ურთიერთდამოკიდებულება ფოკუსის მუდმივობის პირობებში.

ამ მეთოდის გამოყენების საილუსტრაციოდ მოგვყავს ექვსზედაპირიანი ოპტიკური სისტემა [2] (სამლინზიანი ობიექტივი) რომლის ფოკუსი F = 25 მმ. ოპტიკური სისტემის საწყისი პარამეტრებია:

R	24.2	∞	15.7	10.6	30	-30	
d	4.6	0.8	7.5	8.7	6.4		
n	1	1.597	1	1.499	1	1.670	1

ცვლად პარამეტრებად არჩეულია R_5 და R_6 რადიუსები, რომელთა საწყისი მნიშვნელობებია $R_5 = 30$მმ და $R_6 = -30$მმ. R_5 რადიუსს ვცვლით $dR_5 = -1$ და $dR_5 = 1$ ბიჯით. ნახაზზე მოცემულია R_6 -რადიუსის R_5 -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი. როდესაც $R_6 = 40$ მმ ფოკუსის ცვლილების ფარდობითი ცლომილება $\delta f = 0{,}032\%$, ხოლო როდესაც $R_6 = -8$ $\delta f = 0{,}116\%$. მოყვანილი მაგალითი გვიჩვენებს, რომ ამ მეთოდის გამოყენება, მისი მაღალი სიზუსტის გამო, შესაძლებელია ოპტიკური სისტემის დასათვლელად.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Gilbert Strang, George J.Fix. Analysis of the finite element method. Prentice-hall,inc 1973
2. Borb M., Wolf E. Principles of Optics. Cembridge University Press. 1999

OPTICAL SYSTEM CORRECTION ABOUT ONE METHOD

David Shalamberidze, Soso Dolidze
LEPL Institute “Optica”

abstract

The article presents a numerical method, using which, in order to reduce certain aberrations in the calculation of an optical system, it is possible to change two or more parameters of the system in such a way as to preserve the main characteristic of the system. The article presents the relationship between the two radii of curvature of the lens under conditions of maintaining the main characteristic of the optical system, the focal length.

Keywords: Lens, focal length, optical system.