



هفدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
۱۹-۲۱ بهمن ماه ۱۳۸۹ مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم
محیطی، ماهان کرمان
17th Iranian Conference on Optics and Photonics
International Center for Science, High Technology & Environmental
Sciences, 8-10 February 2011.



طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی با استفاده از الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات

الهه حسین زاده، میر مجتبی میرصالحی

گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده - در این مقاله طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی با الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات بررسی می شود. در طراحی از روش تحلیل تقریب فرانهافر استفاده شده و ریشه میانگین مربعات خطا، به عنوان تابع هزینه انتخاب شده است. برای ارزیابی نتایج، الگوریتم گریچبرگ-ساکستون را نیز پیاده سازی کرده و از مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا، بازده پراش و ناهمواری برای مقایسه استفاده کرده ایم. نتایج شبیه سازی ها توانایی الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات را در طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی نشان می دهد.

کلید واژه- بهینه یاب گروه ذرات (PSO)، عناصر نوری پراشی (DOE).

کد PACS- ۰۵۰.۰۰۵۰ - ۲۲۰.۰۲۲۰ - ۲۳۰.۰۲۳۰

Design of Multi-Level Diffractive Optical Elements Using Particle Swarm Optimization Algorithm

E. Hoseinzadeh, Mir M. Mirsalehi

Electrical Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract- In this paper, the design of multi-level diffractive optical elements (DOEs) using particle-swarm optimization (PSO) algorithm is investigated. The Fraunhofer approximation is used for analysis and the root mean square error is considered as the cost function. To evaluate the results, we have also implemented the Gerchberg-Saxton algorithm and compared the root mean square errors, diffraction efficiencies and roughnesses of the designs obtained by both algorithms. The simulation results show the capability of PSO algorithm in designing multi-level DOEs.

Keywords: Particle Swarm Optimization, Diffractive Optical Elements.

PACS No: 050.0050, 220.0220, 230.0230

یابی مبتنی بر قوانین احتمال است که توسط کندی و ابرهات در سال ۱۹۹۵ ارائه شد و از رفتار اجتماعی پرندگان در پیدا کردن غذا الهام گرفته است [۲]. این الگوریتم اولین بار در سال ۲۰۰۸ در طراحی عناصر نوری پراشی دو سطحی (باینری) مورد استفاده قرار گرفته است. اما تا کنون برای طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی از آن استفاده نشده است [۳].

در این مقاله طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی توسط الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات مورد بررسی قرار میگیرد. یکی از مشهورترین روشهای طراحی عناصر نوری پراشی، الگوریتم گریچبرگ-ساکستون^۳ است. ما طراحی عنصر نوری پراشی را با این الگوریتم جهت بررسی قابلیت الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات انجام داده ایم. در بخش ۲ الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات ارائه شده است. در بخش ۳ به توضیح الگوریتم گریچبرگ-ساکستون می پردازیم. شبیه سازی ها و نتایج در بخش ۴ ارائه شده است و در انتها به جمع بندی می پردازیم.

۱- الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات

در الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات از مجموعه ای از ذرات استفاده می شود که هر ذره جوابی از مسئله است که در فضای جستجو حرکت می کند تا به بهترین موقعیت برسد. در ابتدا سرعت و موقعیت اولیه هر ذره به صورت تصادفی انتخاب شده و رفته رفته تمام ذرات در راستای بهترین پاسخ مساله حرکت خواهند کرد. در طول اجرای الگوریتم بهترین موقعیتی که توسط هر ذره کسب می شود در \mathbf{p}_i و بهترین موقعیتی که کل ذرات کسب کرده اند در \mathbf{g}_i ذخیره می شود و در هر مرحله، سرعت ذرات با ضرایبی تصادفی در راستای این دو موقعیت به روز می شود:

$$v_{ij}(t+1) = w(t)v_{ij}(t) + c_1r_{ij}(t)[p_{ij} - x_{ij}(t)] + c_2s_{ij}(t)[g_{ij} - x_{ij}(t)] \quad (2)$$

و x_{ij} و v_{ij} بترتیب مولفه های زام بردارهای موقعیت و

۱- مقدمه

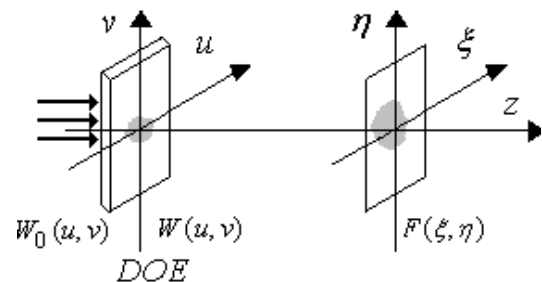
عناصر نوری پراشی^۱ (DOE) در زمینه های مختلفی همچون پردازش نوری و تقسیم پرتو کاربرد دارند. هدف از طراحی عناصر نوری پراشی یافتن ساختار مناسبی برای این عناصر است به طوری که در صفحه مشاهده جبهه موج مورد نظر تشکیل شود.

در شکل ۱ نحوه کارگیری یک عنصر نوری پراشی نشان داده شده است. دامنه مختلط نور در عنصر نوری به صورت $W(u, v) = A(u, v)e^{i\varphi(u, v)}$ و در صفحه مشاهده نیز به صورت $F(\xi, \eta) = B(\xi, \eta)e^{i\psi(\xi, \eta)}$ نشان داده شده است که $A(u, v)$ و $B(\xi, \eta)$ بترتیب دامنه سیگنال نور در صفحه عنصر نوری پراشی و در صفحه مشاهده می باشند. دامنه مختلط $W(u, v)$ در پشت عنصر نوری نازک از ضرب دامنه مختلط نور تابش $W_0(u, v)$ در تابع عبور عنصر نوری پراشی بدست می آید.

برای عناصر نوری پراشی تنها فاز، تابع عبور به صورت $\tau(u, v) = e^{i\theta(u, v)}$ بر روی فاز اثر می گذارند و دامنه نور تابش را تغییر نمی دهند. هدف ما، طراحی این نوع از قطعات نوری پراشی است. در طراحی قطعات، توزیع فاز $\theta(u, v)$ مربوط به آنها باید در محدوده $0-2\pi$ تعیین شود. از آنجایی که ساخت عناصر نوری پراشی با فاز پیوسته مقدور نیست، در مرحله طراحی فاز را کوانتیزه می کنند و با الگوریتمهای طراحی، خطای ناشی از کوانتیزاسیون را به حداقل می رسانند. فاز کوانتیزه شده برای L سطح، توسط رابطه خطی زیر بدست می آید.

$$\theta(u, v) = 2k\pi/L, \quad k = 0, 1, \dots, L \quad (1)$$

الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات (PSO)^۲، یک تکنیک بهینه



شکل ۱: نحوه به کارگیری یک از عناصر نوری پراشی [۱].

¹ Diffractive Optical Elements

² Particle Swarm Optimization Algorithm

³ Gerchberg Saxton Algorithm

از همگرایی زودرس از عملگر جهش استفاده کرده ایم [۵]. نرخ جهش در هر مرحله از تکرار الگوریتم از رابطه (4) محاسبه می شود.

$$\mu = 0.05 + 0.85(t/mt)^2 \quad (4)$$

mt حداکثر تعداد تکرارهای الگوریتم است. معیار توقف دو الگوریتم، توقف پس از رکود میباشد.

معیارهای مقایسه این الگوریتمها بازده پراش، جذر میانگین مربعات خطا و ناهمواری است. بازده پراش (DE) نسبت توان موجود در ناحیه اندازه گیری (MR) به توان در تمام صفحه مشاهده (All) می باشد:

$$DE = \frac{\sum_{(\xi, \eta) \in MR} \tilde{I}_0(\xi, \eta)}{\sum_{(\xi, \eta) \in All} \tilde{I}_f(\xi, \eta)} \quad (5)$$

ناهمواری به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho = \frac{\sum_{(\xi, \eta) \in MR} \{H[\tilde{I}_f(\xi, \eta) - \tilde{I}_0(\xi, \eta)]\}^2}{N_{MR}} \quad (6)$$

N_{MR} تعداد پیکسلها در ناحیه اندازه گیری و H میانگین انحنای منحنی شدت سیگنال خروجی است [۶]. $\tilde{I}_f(\xi, \eta)$ و $\tilde{I}_0(\xi, \eta)$ بترتیب شدت سیگنال در صفحه مشاهده و شدت سیگنال مطلوب می باشد.

جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) از رابطه (7) محاسبه می شود. N تعداد کل پیکسلها در صفحه مشاهده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{(\xi, \eta) \in All} [\tilde{I}_f(\xi, \eta) - \tilde{I}_0(\xi, \eta)]^2}{N}} \quad (7)$$

طراحی برای نمایش حرف E و H در صفحه مشاهده با ابعاد 16×16 و 32×32 پیکسل و برای 4، 8 و 16 سطح کوانتیزاسیون اجرا شده است. برای هر مورد، 10 بار الگوریتم اجرا شده و میانگین نتایج بازده پراش، RMSE و ناهمواری در جدولهای 1، 2 و 3 ارائه شده است. شکل 3 تصویر نهایی در صفحه مشاهده حاصل از الگوریتم های بهینه یاب گروه ذرات و گریچبرگ-ساکستون را برای حرف E با ابعاد 16×16 پیکسل (a) و 32×32 پیکسل (b)، نشان می دهد. همچنین شکل 4 تصویر نهایی در صفحه مشاهده حاصل از الگوریتم های بهینه یاب گروه ذرات و گریچبرگ-ساکستون را برای حرف H با ابعاد 16×16 پیکسل (c) و 32×32 پیکسل (d) نشان می دهد. در تمام موارد، تعداد سطوح کوانتیزاسیون 16 در نظر گرفته شده است.

سرعت ذره i ام، r_{ij} و s_{ij} ضرایب تصادفی، c_1 و c_2 مقادیر ثابت و t مرحله اجرای الگوریتم است. موقعیت جدید ذره i ام از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\mathbf{x}_i(t+1) = \mathbf{x}_i(t) + \mathbf{v}_i(t+1) \quad (3)$$

Algorithm (L=4)	Error (RMSE)			
	E (a)	E(b)	H(c)	H(d)
GS	0.008300	0.003200	0.007000	0.003700
PSO	0.001200	0.000279	0.001400	0.000292
Roughness (ρ)				
GS	3.456600	9.169400	4.022400	6.131800
PSO	0.073000	0.074900	0.085300	0.093200
Diffraction Efficiency (DE)				
GS	0.886600	0.853000	0.871400	0.815900
PSO	0.743300	0.771900	0.727900	0.768800

۲- الگوریتم گریچبرگ-ساکستون

این الگوریتم برای اولین بار در طراحی میکروسکوپیهای الکترونی توسط گریچبرگ و ساکستون مطرح شد [۴]. شبه کد الگوریتم در شکل ۲ ارائه شده است.

- ۱- فاز اولیه عنصر نوری پراشی تشکیل می شود.
- ۲- فاز عنصر نوری پراشی به تعداد سطوح کوانتیزاسیون مورد نظر کوانتیزه می شود.
- ۳- از تابع موج در صفحه عنصر نوری پراشی تبدیل فوریه گرفته می شود.
- ۴- دامنه مطلوب در صفحه مشاهده $B(\xi, \eta)$ جایگزین دامنه تابع حاصل از مرحله ۳ میشود.
- ۵- از تابع مرحله ۴ عکس تبدیل فوریه گرفته می شود.
- ۶- دامنه مطلوب در صفحه عنصر نوری پراشی $A(u, v)$ جایگزین دامنه تابع حاصل از مرحله ۵ میشود.
- ۷- فاز عنصر نوری پراشی محاسبه می شود.
- ۸- در صورتی که شرط توقف برآورده نشود، الگوریتم از مرحله ۲ تکرار می شود. در غیر اینصورت بهترین جواب دیده شده تاکنون به خروجی داده شده و الگوریتم متوقف می شود.

شکل ۲: شبه کد الگوریتم گریچبرگ-ساکستون.

۳- شبیه سازی ها و نتایج

در این مقاله طراحی عنصر نوری پراشی با روش الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات بررسی می شود. جهت مقایسه طراحی را با الگوریتم گریچبرگ-ساکستون نیز انجام داده ایم. در طراحی با الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات، 50 ذره انتخاب نمودیم. $c_1 = 0.1$ و $c_2 = 2.8$ انتخاب شده است و مقدار ضریب لختی $w(t)$ با تکرار الگوریتم به صورت خطی از 0/15 تا صفر کاهش داده شده است. به منظور جلوگیری

جدول ۱: نتایج طراحی برای ۴ سطح کوانتیزاسیون

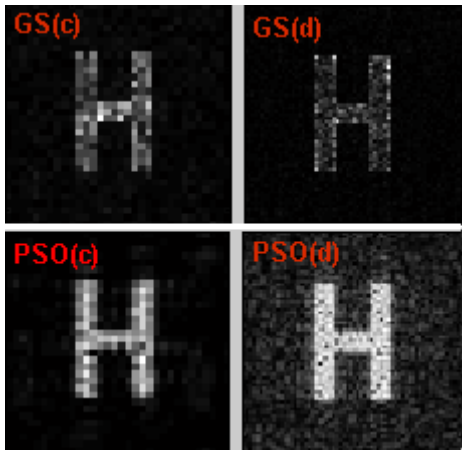
Algorithm (L=4)	Error (RMSE)			
	E (a)	E(b)	H(c)	H(d)
GS	0.008300	0.003200	0.007000	0.003700
PSO	0.001200	0.000279	0.001400	0.000292
Roughness (p)				
GS	3.456600	9.169400	4.022400	6.131800
PSO	0.073000	0.074900	0.085300	0.093200
Diffraction Efficiency (DE)				
GS	0.886600	0.853000	0.871400	0.815900
PSO	0.743300	0.771900	0.727900	0.768800

جدول ۲: نتایج طراحی برای ۸ سطح کوانتیزاسیون

Algorithm (L=8)	Error (RMSE)			
	E (a)	E(b)	H(c)	H(d)
GS	0.007800	0.004600	0.007000	0.003000
PSO	0.001100	0.000246	0.001200	0.000270
Roughness (p)				
GS	3.844600	18.509700	3.666200	7.806700
PSO	0.065800	0.062100	0.057500	0.085100
Diffraction Efficiency (DE)				
GS	0.940400	0.932400	0.930800	0.914600
PSO	0.813800	0.819600	0.803300	0.810200

جدول ۳: نتایج طراحی برای ۱۶ سطح کوانتیزاسیون

Algorithm (L=16)	Error (RMSE)			
	E (a)	E(b)	H(c)	H(d)
GS	0.007800	0.003200	0.006700	0.001900
PSO	0.000971	0.000232	0.001100	0.000260
Roughness (p)				
GS	3.742800	7.350000	3.776200	4.739300
PSO	0.053600	0.062200	0.051200	0.089700
Diffraction Efficiency (DE)				
GS	0.969900	0.971500	0.962000	0.961400
PSO	0.829300	0.837900	0.826800	0.827100



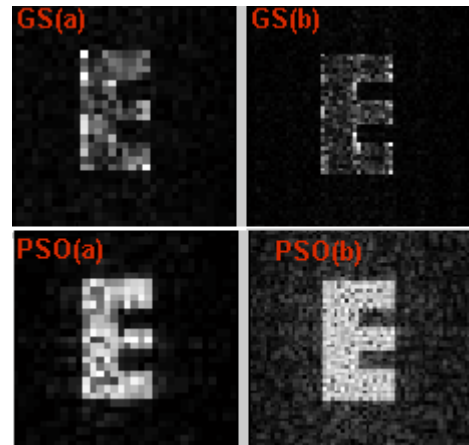
شکل ۴: تصویر نهایی در صفحه مشاهده حاصل از الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات (PSO) و گریچبرگ ساکستون (GS) برای حرف H با ابعاد ۱۶×۱۶ پیکسل (c)، حرف H با ابعاد ۳۲×۳۲ پیکسل (d).

۴- جمع بندی

در این مقاله، طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی با الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات ارائه شده است. شبیه سازیها در ابعاد ۱۶×۱۶ و ۳۲×۳۲ پیکسل و برای ۴، ۸ و ۱۶ سطح کوانتیزاسیون انجام شده است. برای بررسی نتایج، هر یک از موارد ۱۰ بار اجرا شده و میانگین نتایج در جداول ارائه شده است. ناهموازی و ریشه میانگین مربعات خطا در طراحی با الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات از الگوریتم گریچبرگ-ساکستون کمتر شده است اما در مقابل بازده پراش هم کاهش یافته است. البته این مقادیر مربوط به چند مورد طراحی انجام شده می باشد و مقایسه دقیق تر نیازمند طراحی های بیشتر است.

مراجع

- [1] V. Soifer, V. Kotlyar and L. Doskolovich, "Iterative Methods for Diffractive Optical Elements Computation", Taylor & Francis Ltd. (1997).
- [2] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization" Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, No. 27 (1995).
- [3] T. G. Jabbour and S. M. Kuebler, "Particle swarm optimization of axially superresolving binary phase diffractive optical elements", Opt. Lett., Vol. 33, No. 13 (2008) 1533-1535.
- [4] R. W. Gerchberg and W. O. Saxton, "A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures", Optik, Vol. 35, No. 2(1972) 237-246.
- [5] A. Stacey, M. Jancic and I. Grundy, "Particle swarm optimization with mutation", The 2003 Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, no. 4 (2003) 8-12.
- [6] M. Pasienski and B. DeMarco, "A high-accuracy algorithm for designing arbitrary holographic atom traps", Optics Express, Vol. 16, issue 3 (2008) 2176-2190.



شکل ۳: تصویر نهایی در صفحه مشاهده حاصل از الگوریتم بهینه یاب گروه ذرات (PSO) و گریچبرگ ساکستون (GS) برای حرف E با ابعاد ۱۶×۱۶ پیکسل (a)، حرف E با ابعاد ۳۲×۳۲ پیکسل (b).