



اندازه گیری نسبت اشتربل برای یک سیستم اپتیک تطبیقی شبیه سازی شده

عبدالرحیم بهاروند^۱، محمد مرادی و صغری محمدی^۲

^۱گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، ^۲گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه لرستان

چکیده- انتشار پرتوهای الکترومغناطیس و مخصوصا پرتو لیزر در جو آشفته همواره با چالش هایی روبرو است. پرتوهای ذکر شده هنگام انتشار در جو به وسیله پدیده های فیزیکی مانند پراش و آشفته گی، به طور کاتوره ای واپیچیده می شود که در این حالت حل تحلیلی مناسبی برای انتگرال فرنل وجود ندارد. در این حالت حل عددی برای این گونه مسائل راه گشاست. برای بررسی تاثیر جو آشفته بر پرتو لیزر ابتدا با استفاده از چند جمله ای های زرنیک و به کمک برنامه نویسی متلب جو آشفته که از صفحات فاری کاتوره ای تشکیل شده، شبیه سازی می شود. در این مقاله هدف اندازه گیری نسبت اشتربل یک سیستم اپتیک تطبیقی است. برای این منظور بعد از شبیه سازی جو آشفته و در نظر گرفتن کمیت ها بر حسب یکاهای مناسب نسبت اشتربل این سیستم اپتیک تطبیقی مورد بررسی قرار می گیرد. کلیدواژه: آشفته گی جو، صفحات فار کاتوره ای، چند جمله ای های زرنیک، سیستم اپتیک تطبیقی،نسبت اشتربل.

Measurment of Strehl Ratio for an Adaptive Optic System simulation

Abdulrahim Baharvand¹, Mohammad Moradi² and Soghra Mohammady³

¹Department of Physics, Faculty of Science, Lorestan University, ² Department of Physics, Faculty of Science, Sharecord University

Abstract - Propagation of electromagnetic radiation , especially laser beam in a turbulent atmosphere is always faced with challenges. Beams propagating in the atmosphere when mentioned by physical phenomena such as diffraction and turbulence , a random to be distorted in this case an analytical solution for the Fresnel integral does not exist. The numerical solution for such problems is resourceful way. To evaluate the effect of atmospheric turbulence on the laser beam using MATLAB programming polynomial Zernike and help the turbulent atmosphere composed of a random phase pages , are simulated .The purpose of this paper is to measure the ratio Strehl an adaptive optics system . For this purpose, the simulation of the turbulent atmosphere and consider the quantity in terms of appropriate units Strehl adaptive optics system is investigated.

Keywords: atmosphere turbulence, a random phase plates, Zernike polynomials, adaptive optics system,

۱- مقدمه

یکی از راه های ارزیابی عملکرد سیستم اپتیک تطبیقی استفاده چند جمله ای های زرنیک به صورت نمایش آینه های تغییر شکل پذیر است.

برای توصیف ابیراهی های فاز ناشی از تلاطم جو از چند جمله ای های زرنیک استفاده می شود [۱].

در این مقاله ابتدا جو آشفته به کمک چند جمله ای های زرنیک شبیه سازی شده و سپس نسبت اشتیریل یک سامانه اپتیک تطبیقی محاسبه شده است. الگوریتم شبیه سازی صفحات فازی با استفاده از چند جمله ای های زرنیک در مرجع [۲] آورده شده است.

یک مجموعه از چند جمله ای هایی که بر روی دایره به صورت متعامد قرار دارند، توسط زرنیک معرفی شد که دارای خاصیت های بسیار مفیدی هستند. این سری ها، سری های زرنیک نامیده شده و به صورت ترکیبی از مجموع جمله های سری های توانی با ضرایب مناسب بهنجار شده می باشد. چند جمله ای های زرنیک یک دسته از چند جمله ای های متعامد هستند که در توصیف یک تابع موج پیشرونده در سیستم های اپتیکی با مردمک های دایروی بکار می روند. چند جمله ای های زرنیک به دو دسته به ترتیب فرد و زوج تقسیم می شوند که به صورت زیر بدست می آیند:

$$U_n^m(\rho, \Phi) = R_n^m(\rho) \sin(m\theta) \quad (1-1)$$

$$U_n^m(\rho, \Phi) = R_n^m(\rho) \cos(m\theta) \quad (2-1)$$

$$\Phi(\rho, \theta) = A_{00} + \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{n=2}^{\infty} A_{n0} R_n^0 \left(\frac{\rho}{R'} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n [A_{nm} \cos m\theta + B_{nm} \sin m\theta] R_n^m \left(\frac{\rho}{R'} \right) \quad (3-1)$$

یک صفحه فاز کاتوره ای با شعاع واحد به صورت زیر بر حسب حاصل ضرب چند جمله ای های زرنیک و ضرایب زرنیک به دست می آید:

$$\Phi(R\rho, \theta) \approx \sum_{i=1}^{n_z} a_i Z_i(\rho, \theta) \quad (4-1)$$

جو آشفته به صورت صفحات فازی کاتوره ای به کمک جملات زرنیک و برنامه نویسی متلب شبیه سازی شده است.

در این مقاله هدف اندازه گیری نسبت اشتیریل سیستم اپتیک تطبیقی است. این نسبت به صورت نسبت شدت در مرکز صفحه تصویر برداری با وجود ابیراهی به شدت در مرکز تصویر در غیاب ابیراهی (حد پراش نظری) تعریف می شود.

۲- روش انجام کار

در ابتدا با استفاده از برنامه نویسی متلب جو آشفته را که به شکل صفحات فازی تعریف شده است شبیه سازی می شود، سپس انتشار یک پرتو گاوسی در جو شبیه سازی شده بررسی می گردد. به این صورت که پرتو گاوسی پس از عبور از صفحات فازی به دلیل ابیراهی و اعوجاج موجود در جو دچار انحراف می شود و بر روی صفحه تصویر پرتوی گاوسی ابیراهی دار مشاهده می گردد. هدف سیستم اپتیک تطبیقی این است که میزان این ابیراهی را به حداقل برساند. نسبت اشتیریل کمیتی است که میزان کیفیت تصویر را نشان می دهد. با اندازه گیری نسبت اشتیریل این سیستم می توان کیفیت تصویر بدست آمده را سنجید.

برای اندازه گیری نسبت اشتیریل ابتدا باید شدت پرتو گاوسی در هر نقطه بر روی صفحه تصویر اندازه گیری شود. با استفاده از رابطه زیر می توان شدت را در هر نقطه بدست آورد.

برای هر باریکه همدوس با طول موج λ می توان شدت نور در نقطه p را بر روی تصویر یا صفحه کانونی که در فاصله Z قرار دارد، به صورت زیر نوشت [3]:

$$I(P) = \left(\frac{Aa^2}{\lambda R^2} \right)^2 \left| \int_0^1 \int_0^{2\pi} e^{i[k\rho - v\rho \cos(\theta - \psi) - \frac{1}{2}u\rho^2]} \rho d\rho d\theta \right|^2 \quad (1-2)$$

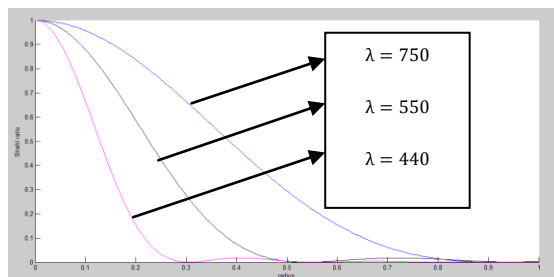
در اینجا مردمک دایره ای دارای شعاع a و مختصات ρ و θ ، صفحه تصویر دارای مختصات قطبی r و ψ ، مختصه Z عمود بر صفحه مردمک، R میزان کج شدگی از مرکز مردمک تا نقطه P ، $k = 2\pi/\lambda$ و $k\rho$ نشان دهنده انحراف فاز کره کامل حول مبدا صفحه کانونی

نسبت اشتریل به عواملی همچون اندازه دهانه لیزر به صورت مستقیم و طول موج پرتو گاوسی و مسافتی که پرتو در آن منتشر می شود به صورت وارون و غیره بستگی دارد.

۳-۱ محاسبه نسبت اشتریل در حالت طول موج

متغیر

در این حالت دیگر پارامترها ثابت در نظر گرفته شده و تنها اثر تغییرات طول موج بررسی می شود.

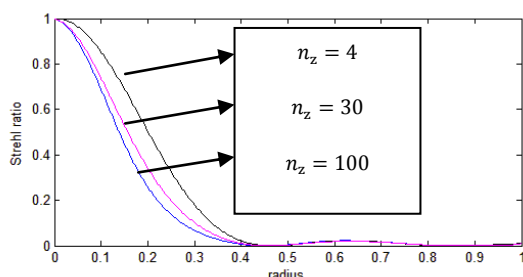


شکل (۲): تغییرات نسبت اشتریل بر حسب طول موج های مختلف

۳-۲ محاسبه نسبت اشتریل برای مدهای زرنیک

متفاوت

شکل صفحه فازی به تعداد مدهای زرنیک استفاده شده بستگی دارد به صورتی که یک صفحه فازی کاتوره ای برابر جمع حاصل ضرب ضرایب زرنیک در مدهای زرنیک است.



شکل (۳): تغییرات نسبت اشتریل بر حسب مدهای زرنیک متفاوت. هرچه تعداد مدها بیشتر می شود، افت نمودار بیشتر می شود.

۳-۳ محاسبه نسبت اشتریل برای فواصل z مختلف

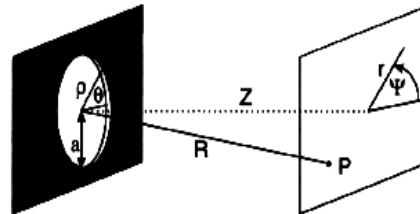
در این حالت هرچه میزان این فاصله بیشتر باشد، میزان کج شدگی و انحراف وارد بر جبهه موج بیشتر می شود و

است. برای سادگی مختصات بهنجار شده را در صفحه

کانونی به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$u = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{a}{R}\right)^2 z \quad (2-2)$$

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{a}{R}\right) r \quad (3-2)$$



شکل (۱): دستگاه مختصات محاسبه پراش با ابراهی Φ

اگر هیچ نوع ابراهی وجود نداشته باشد، شدت بر روی محور بیشینه می شود ($r = 0$) که آن را نقطه تصویر گاوسی می نامند.

$$I_{\varphi=0}(P_{r=0}) = \pi^2 \left(\frac{Aa^2}{\lambda R^2}\right)^2 = \left(\frac{\pi^2 a^4}{\lambda^2 R^2}\right) I_{z=0} \quad (4-2)$$

با ترکیب روابط (۲-۱) و (۲-۴) می توان نسبت اشتریل را چنین به دست آورد:

$$S = \frac{I(P)}{I_{\varphi=0}} =$$

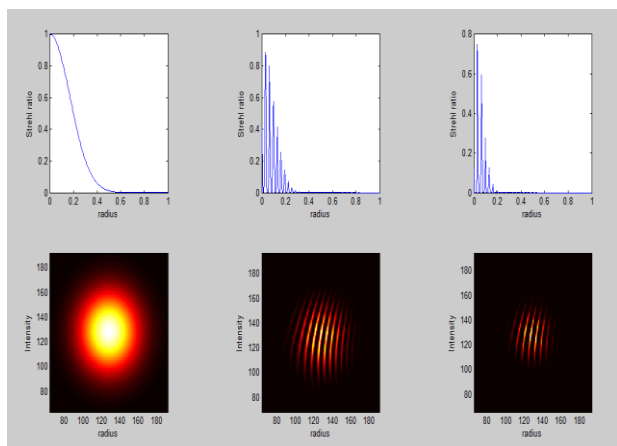
$$\frac{1}{\pi^2} \left| \int_0^1 \int_0^{2\pi} e^{i[k\varphi - v\rho \cos(\theta - \psi) - \frac{1}{2}u\rho^2]} \rho d\rho d\theta \right|^2 \quad (5-2)$$

دهانه بزرگتر، طول موج کوتاه تر یا مسافت منتشر شده کوتاه تر، باعث افزایش بیشینه شدت در صفحه کانونی می شود. تمام دستگاه هایی که دارای هر نوع ابراهی باشند، یعنی $\varphi_p > 0$ ، نسبت اشتریل آنها از یک کوچکتر است. برای ابراهی های کوچک، وقتی کج شدگی حذف شود و صفحه کانونی به کانون گاوسی خود منتقل شود، جمله های خطی و درجه دوم در تابع نمایی رابطه (۲-۵) از بین می روند. اگر ابراهی های باقیمانده را که اکنون در اطراف یک کره نسبت به نقطه p جمع شده با φ_p نشان دهیم، نسبت اشتریل به صورت زیر ساده می شود:

$$S = \frac{1}{\pi^2} \left| \int_0^1 \int_0^{2\pi} e^{i[k\varphi]} \rho d\rho d\theta \right|^2 \quad (6-2)$$

که چگونگی تأثیر جبهه موج بر کاهش انتشار را نشان می دهد. اگر باریکه بدون ابراهی در مردمک قرار داشته باشد، $\varphi_p = 0$ ، نسبت اشتریل به مقدار واحد کاهش می یابد، $S = 1$ یعنی شدت در کانون دارای پراش محدود است.

۳- نسبت اشتریل



شکل (۶): تغییرات نسبت اشتیریل و شدت پرتو گاوسی در حالت های بدون ابیراهی و با ابیراهی با وجود یک و دو صفحه فازی (از چپ به راست).

۴- نتیجه گیری

در بررسی های انجام شده این نتیجه بدست آمد که نسبت اشتیریل کمیت بسیار مناسبی است برای سنجش میزان کیفیت تصویری که از عبور پرتو در یک جو آشفته حاصل می شود چرا که مشاهده شد با تغییر شرایط جوی و ویژگی های پرتو از جمله فاصله، کج شدگی، قطر دهانه لیزر، طول موج پرتو و غیره نسبت اشتیریل چگونگی تغییر شدت تصویر را نشان می دهد. هرچه دهانه لیزر بزرگتر، طول موج پرتو گاوسی کوتاه تر، مسافت منتشر شده کوتاه تر باشد میزان نسبت اشتیریل به یک نزدیک تر است و هرچه میزان مسافت بزرگ تر، تعداد مدهای زرنیک بیشتر، نسبت D/r_0 بزرگ تر، فاصله بین صفحات فازی بیشتر باشد، نسبت اشتیریل افت بیشتری دارد و نسبت به یک کمتر می شود.

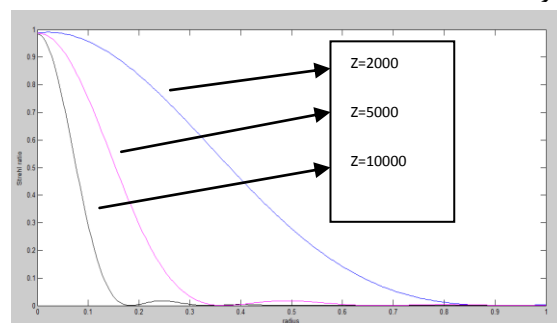
۵- منابع

[۱] N.Ageorges and C. Dainty (eds.), *Laser Guide star Adaptive Optics for Astronomy*, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, (2000).

[۲] R. Conan, "Mean-square residual error of a wavefront after propagation through atmospheric turbulence and a after correction with Zernike polynomials," J. Opt. Soc. Am. A/Vol. 25, No. 2 (February 2008).

[3] رابرت کی. تاپسون. ۱۳۹۰. اصول اپتیک تطبیقی (ویرایش دوم). ترجمه مرادی محمد، شهراد محمد. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان.

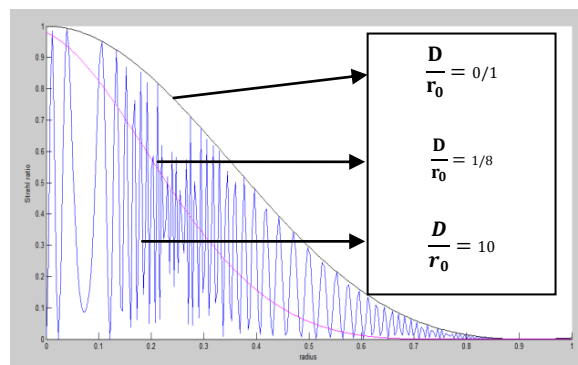
در نتیجه تصویر از حالت کانونی بیشتر فاصله می گیرد و کیفیت آن کمتر و پهن شدگی آن زیاد می شود.



شکل (۴): تغییرات نسبت اشتیریل بر حسب فواصل Z مختلف (فواصل بر حسب متر است).

۳- محاسبه نسبت اشتیریل برای D/r_0 های مختلف

از دیگر مواردی که در نسبت اشتیریل تاثیر گذار است، تغییرات نسبت D/r_0 است. نشان دهنده قطر دهانه لیزر و r_0 شعاع فرید است. هرچه مقدار این نسبت بیشتر باشد نشان دهنده طول فرید کوچک تر است که در این حالت مقدار افت نمودار نسبت اشتیریل نیز بیشتر می شود.



شکل (۵): تغییرات نسبت اشتیریل بر حسب D/r_0 های مختلف.

۳-۵ محاسبه نسبت اشتیریل برای چند صفحه فازی با فواصل یکسان

در این حالت صفحات بین صفحه تصویر و چشمه گاوسی پشت سر هم و با فواصل یکسان قرار می گیرند و پرتو لیزر هر بار پس از عبور از هر صفحه دچار تغییر فاز می شود. تغییر فاز اعمال شده بر پرتو با تابع $e^{i\varphi}$ نشان داده می شود.