



بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



## بررسی تاثیر تلاطم محیط بر تصویر برداری گوست محاسباتی دیفرانسیلی

پریسا سلیمانی، سهراب احمدی-کندجانی و رضا خردمند

گروه فوتونیک، پژوهشکده فیزیک کاربردی و تحقیقات ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، تبریز

چکیده - در این مقاله تصویر برداری گوست محاسباتی دیفرانسیلی در حضور تلاطم بصورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که نسبت سیگنال به نویز، کنتراست و تباین تصاویر تحت تاثیر تلاطم کاهش می یابد، عبارت دیگر کیفیت تصاویر گوست در اثر افزایش شدت تلاطم کاهش می یابد.

کلید واژه- تصویربرداری گوست دیفرانسیلی محاسباتی، تلاطم، کنتراست، تباین، نسبت سیگنال به نویز

## Effect of ambient turbulence on differential computational ghost imaging

Parisa Soleimani, Sohrab Ahmadi-Kandjani, and Reza Kheradmand

Photonics Group, Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz

Abstract- In this paper the differential computational ghost imaging in the presence of turbulence were experimentally investigated. Results show that the signal to noise ratio, contrast and image visibility is reduce under the influence of turbulence, in other words ghost imaging quality decreases with increasing turbulence intensity.

Keywords: differential computational ghost imaging, turbulence, contrast, signal to noise ratio, visibility

## ۱- مقدمه

$$G(\rho) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_i - \langle B_i \rangle) I_i(\rho) = \langle BI(\rho) \rangle - \langle B \rangle \langle I(\rho) \rangle \quad (۳)$$

تصویر برداری گوشت دیفرانسیلی محاسباتی برای اجسامی که خاصیت جذب کنندگی ضعیفی دارند، بکار میرود. چیدمان این نوع تصویر برداری مشابه چیدمان تصویر برداری های قبلی است و تنها تفاوت در رابطه ی همبستگی است که از رابطه ی زیر برای بازسازی تصویر استفاده می شود:

$$\langle G_{DGI}(\rho) \rangle = \langle s_1 I_2(\rho) \rangle - \frac{\langle s_1 \rangle}{\langle s_2 \rangle} \langle s_2 I_2(\rho) \rangle \quad (۴)$$

$s_1, s_2$ : به ترتیب میانگین شدت های بوکت و میانگین مجموع شدت های درایه های SLM است و همچنین  $\bar{T} = \frac{\langle s_1 \rangle}{\langle s_2 \rangle}$  میانگین تصاویر گوشت بدست آمده در هر شات را به دست می دهد. [8] همچنین می توان این نوع روش تصویر برداری را با حضور تلاطم محیط نیز بررسی کرد که بخش اصلی کار ما را تشکیل میدهد. تلاطم محیط، تغییرات ضریب شکست در طول مسیر باریکه ی نوری سبب ایجاد تلاطم محیط می شود، بسته به مقدار تغییرات ضریب شکست، محیط می تواند تلاطم قوی یا ضعیف داشته باشد. [9]

در حالت کلی در این مقاله تاثیر تلاطم محیط روی تصویر برداری گوشت محاسباتی دیفرانسیلی در حالت های متفاوت مقایسه و بررسی میشود.

## ۲- آرایش تجربی

در این مقاله برای نمایش اثر تلاطم محیط بر تصویر برداری گوشت محاسباتی دیفرانسیلی از چیدمان شکل (۱) استفاده شده است. همانطور که از شکل معلوم است یک محفظه ای که بطور پیوسته بخار به داخل آن تزریق می شود، قرار داده شده است. این محفظه به ابعاد  $11 \times 12 \times 12 \text{ cm}^3$  است و یکی از ابعادش  $x=12 \text{ cm}$  قابلیت جابجایی دارد یعنی می توان حجم محفظه را تغییر داد، کم یا زیاد کرد.

تصویر برداری گوشت نوعی روش تصویر برداری غیرمحلّی است که نیازی به قرار گرفتن جسم در مقابل عدسی دوربین نمی باشد و با اندازه گیری همبستگی شدت ها میتوان تصویر جسم ناشناخته را بدست آورد. [3-1]

در تصویر برداری گوشت، تصویر جسم توسط دوباریکه که همبستگی فضایی دارند، بازسازی می شود: (۱) باریکه مرجع که به جسم برخورد نمیکند و با آشکارساز CCD اندازه گیری می شود و (۲) باریکه ی جسمی که بعد از برخورد با جسم توسط آشکارساز بوکت (تفکیک فضایی ندارد) جمع آوری می شود. [4,5]

در سال ۲۰۰۹ برای اولین بار تصویر برداری گوشت محاسباتی توسط شاپیرو پیشنهاد شد. [6] در تصویر برداری گوشت محاسباتی فقط از یک باریکه برای تصویر سازی استفاده شده است. تفاوت این نوع چیدمان با چیدمان های قبلی در حذف آشکار ساز CCD و شیشه ی مات چرخان است که به جای هر دوی آن ها از مدولاتور نوری فضایی (SLM) استفاده شده است. عبارت دیگر طرح های فازی کاتوره ای از قبل در کامپیوتر توسط یک تابع از پیش تعریف شده ای مانند  $\varphi_i(\rho, t)$  تولید و بر روی SLM اعمال می شوند. کل شدت رسیده از هر طرح فازی کاتوره ای توسط آشکارساز بوکت که در پشت جسم قرار دارد، جمع آوری می شود:

$$B_r = \int dx dy I_r(x, y) T(x, y)$$

$B_r$ : مقدار شدت بوکت را نشان می دهد که مستقیماً به طرح های پیسه  $I_i(\rho, t)$  وابسته است.

رابطه ی بین ناحیه ی عبور جسم و طرح پیسه بصورت زیر است:

$$I_i(\rho, t) = |E_i(\rho, t)|^2$$

$\rho(x_n, y_n)$ : مختصات عرضی روی SLM را نشان می دهد. در نهایت تصویر گوشت از معادله ی همبستگی زیر حاصل میشود: [7]



شکل ۲: تصاویر گوست بدست آمده از داده های تجربی: (الف) تصویر گوست بازسازی شده برای محفظه با حجم کوچکتر (غلظت بخار بیشتر)، (ب) تصویر گوست بازسازی شده برای محفظه با حجم بزرگتر (غلظت کمتر)

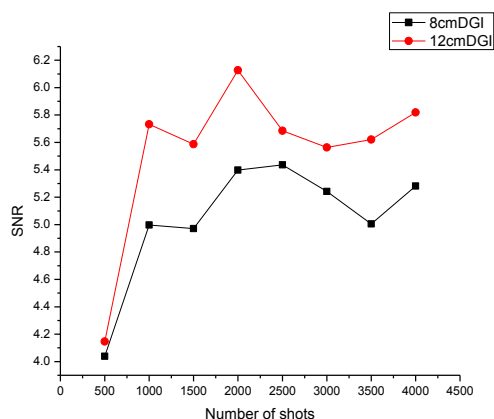
در این قسمت از داده های تجربی بدست آمده نمودارهای نسبت سیگنال به نویز، تباین و کنتراست با استفاده از معادلات زیر رسم شده اند: [10]

$$V(G) = \frac{\langle G(x_{in}) \rangle - \langle G(x_{out}) \rangle}{\langle G(x_{in}) \rangle + \langle G(x_{out}) \rangle} \quad (5)$$

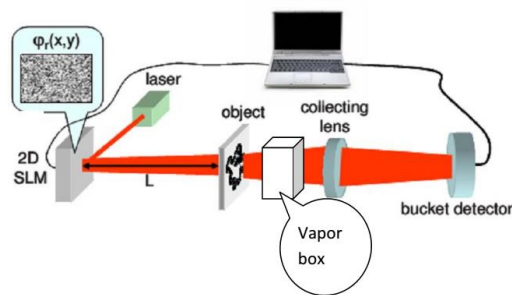
$$SNR(G) = \frac{\langle G(x_{in}) \rangle}{\sqrt{\frac{1}{2} [\Delta^2 G(x_{in}) + \Delta^2 G(x_{out})]}} \quad (6)$$

$$CNR(G) = \frac{\langle G(x_{in}) \rangle - \langle G(x_{out}) \rangle}{\sqrt{\frac{1}{2} [\Delta^2 G(x_{in}) + \Delta^2 G(x_{out})]}} \quad (7)$$

$V(G)$ : تباین تصویر، یک کمیت بسیار مهم است که اختلاف نسبی بین نواحی روشن و تاریک تصویر را توصیف می کند.  $SNR(G)$ ,  $CNR(G)$ : چگونگی قابل تمییز بودن اطلاعات مفید را نسبت به نویز موجود در سیستم مشخص می کنند.



شکل ۳: نمودار نسبت سیگنال به نویز برای طول های محفظه با  $x=8,12\text{cm}$



شکل ۱: چیدمان تصویر برداری گوست محاسباتی دیفرانسیلی بکار رفته در آزمایشگاه

برای مقایسه و نمایش تاثیر تلاطم محیط بر روی تصویر برداری گوست محاسباتی دیفرانسیلی در حالت های متفاوت به طور تجربی، از یک لیزر هلیون- نئون با طول موج  $\lambda = 632.8\text{nm}$ ، یک SLM به ابعاد  $130 \times 130$  پیکسل (اندازه ی هر پیکسل  $209 \times 209 \mu\text{m}^2$ ) و یک دوربین CMOS (complementary Metal- Oxide Semiconductor) به ابعاد  $480 \times 640$  پیکسل ( $4 \times 3 \text{mm}^2$ ) استفاده شده است.

برای ایجاد طرح های پیسه روی باریکه ی لیزر، در هر اندازه گیری الگوها بصورت ماتریس توسط یک کنترل کننده کامپیوتری روی SLM نقش می بندد. SLM، طرح های پیسه را روی نور یکنواخت لیزر ایجاد می کند. طرح های پیسه که دارای نقاط روشن و تاریک هستند، بعد از عبور از جسم به اشکارساز می رسند. در نتیجه در هر طرح پیسه یک عدد منحصر بفرد بعنوان شدت توسط اشکار ساز ثبت می شود که با توجه به طرح پیسه ی مربوطه می توان تصویر گوست را بدست آورد. از نرم افزار MATLAB به عنوان رابط بین رایانه و SLM استفاده شده است که می توان الگو های تصادفی را به صورت ماتریس های دلخواه در اندازه های مختلف روی SLM اعمال کرد.

### ۳- نتایج و بحث

تصاویر زیر، تصاویر بدست آمده از داده های تجربی برای حجم های متفاوت هستند:

شکل های (۴) و (۵) نشان می دهند که با افزایش تعداد شات ها، کنتراست و تباين تصوير بهبود می یابد در واقع تصوير نهایی کیفیت بهتری خواهد داشت و همچنین چون غلظت محیط یا تلاطم در حالت  $x=8\text{cm}$  بیشتر است به همین دلیل کیفیت تصوير گوست بازسازی شده ی نهایی پایین تر از کیفیت تصوير گوست بازسازی شده ی حالت  $x=12\text{cm}$  است.

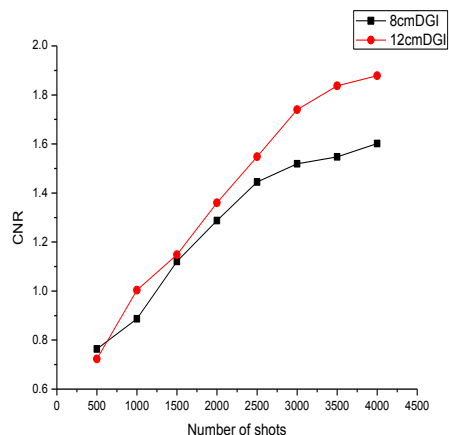
#### ۴- نتیجه گیری

همانطور که از هر سه شکل (۳) و (۴) و (۵) مشخص است با افزایش تعداد شات ها کیفیت تصوير گوست بازسازی شده بهبود می یابد و نتیجه ی دیگری که می توان از این شکل ها گرفت این است که هرچه غلظت یا تلاطم محیط بالا باشد، کیفیت تصوير گوست بازسازی شده پایین می آید.

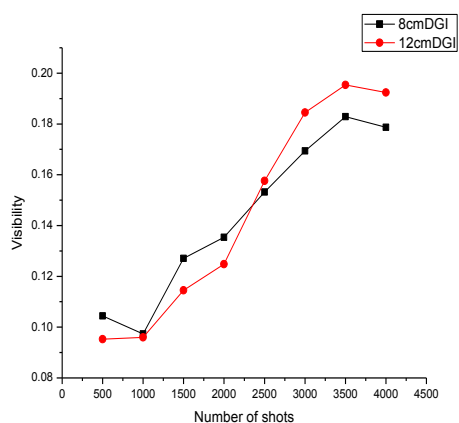
#### مراجع

- [1] T. B. Pittman, Y. H. Shih, D. V. Strekalov, and A. V. Sergienko, Phys. Rev. A. 52, R3429(1995)
- [2] G. Scarcelli, V. Berardi, and Y. shih, "Can Two-Photon correlation of Intensity Fluctuations?" ,Phys. Rev.Lett.96,063602(2006)
- [3] Erkmen, B., Shapiro, J., Ghost imaging: from quantum to classical to computational, Adv. Opt. Photon., Vol 2, pp. 405-450, 2010.
- [4] R. W. Boyd, R. S. Bennink, S. J. Bentley, Phys. Rev. Lett. 89, 113601 (2002)
- [5] O.katz, Y. Bromberg, and Y. Silberberg, "compressive ghost imaging", Appl. Phys. Lett. 95, 131110(2009)
- [6] J. H. Shapiro, "Computational ghost imaging". Phys.Rev.A 78.061802(2008)
- [7] Y. Bromberg, O. Katz, and Y. silberberg, "Ghost imaging with single detector", Phys. Rev. A. 79.053840(2009)
- [8] F. Ferri, D. Magatti, L. A. Lugiato, and A. Gatti. " Differential ghost imaging". Phys. Rev. Lett. 104, 253603 (2010).
- [9] J.Cheng, "Ghost imaging through Turblent atmosphere", Optics Express, Vol. 17, Issue 10, pp. 7916-7921 (2009)
- [10] K.W.C., Chan., O'Sullivan., M.N., Boyd., R.W., Optimization of thermal ghost imaging: high-order correlations vs. background subtraction, Optics Express., Vol 18(6), pp. 5562-5573, 2010.

همانطور که از شکل (۳) مشخص است نمودار نسبت سیگنال به نویز حالت  $x=8\text{cm}$  زیر نمودار حالت  $x=12\text{cm}$  است و این خود حاکی از غلظت بالا یا تلاطم بالا در حالت  $x=8\text{cm}$  نسبت به حالت  $x=12\text{cm}$  است.



شکل ۴: نمودار کنتراست نسبت به شات برای طول های محفظه با  $x=8,12\text{cm}$



شکل ۵: نمودار تباين نسبت به شات برای طول های محفظه با  $x=8,12\text{cm}$