بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

بررسی تجربی و نظری تصویربرداری شبه گونه محاسباتی یک جسم متحرک

سحر غلامی میلانی، رضا خردمند، سهراب احمدی کندجانی

دانشگاه تبریز ، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

چکیده – تصویربرداری شبه گونه محاسباتی یک روش تصویربرداری غیرمستقیم از جسم است به طوری که مبنای آن استفاده از تابع همبستگی مرتبه دوم بین دو باریکه همبسته است. یکی از کاربردهای مهم تصویربرداری شبه گونه محاسباتی در زمینه ی سنجش از راه دور می باشد. در این مقاله امکان تصویربرداری شبه گونه محاسباتی از جسم متحرک به صورت تئوری و تجربی بررسی شده و هم چنین حداکثر سرعت جسم به طور کمی مورد بحث قرار گرفته است.

کلید واژه- تابع همبستگی، تصویربرداری شبه گونه محاسباتی، جسم متحرک،سنجش از راه دور

Experimental and theoretical study of computational ghost imaging of moving object

Sahar Gholami Milani, Reza Kheradmand, Sohrab Ahmadi Kandjani

Research Institute for Applied Physics and Astronomy (RIAPA), University of Tabriz, Tabriz

Abstract- Computational ghost imaging is a nonlocal imaging which is based on using second-order correlation function between two correlated beams. One of the important applications of ghost imaging is in remote sensing. In this paper the possibility of computational ghost imaging of moving object have been investigated theoretically and experimentally. Also the maximum transverse speed of object has been discussed.

Keywords: Computational ghost imaging, Second-order correlation function, Moving object, Remote sensing

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

تصویربرداری شبه گونه یک روش تصویربرداری غیرمستقیم از جسم است به عبارتی در این نوع تصویربرداری نیازی به اسکن جسم توسط دوربین های با قدرت تفکیک فضایی نداریم. در تصویربرداری شبه گونه مرسوم باریکه لیزر بعد از عبور از یک شیشه ی مات چرخان توسط باریکه شکن به دو باریکه ی همبسته فضایی شکافته می شود: ۱) باریکه مرجع که هیچ برهم کنشی با جسم ندارد و به یک آشکارساز با قابلیت تفکیک فضایی (CCD) می رسد. ۲) باریکه سیگنال که از جسم عبور می کند و به یک آشکارساز شدتی بدون تفکیک فضایی می رسد. سپس با محاسبه ی همبستگی بین شدتهای رسیده به CCD و آشکارساز شدتی بدون تفکیک فضایی می توان تصویر شبه گونه مربوط به جسم را بازسازی کرد.

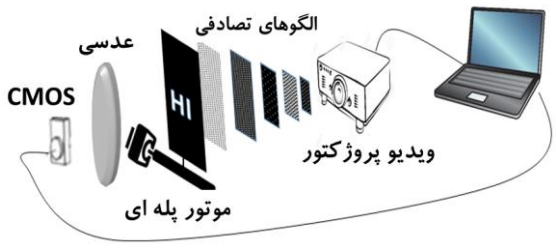
تصویربرداری شبه گونه مرسوم ابتدا در سال ۱۹۹۵ توسط پیتمن و گروهش به صورت تجربی با استفاده از فوتون های در هم تنیده انجام شد[۱]. در سال ۲۰۰۲ بنینک و گروهش به صورت تجربی نشان دادند که تصویربرداری شبه گونه با منبع کلاسیکی نیز امکان پذیر می باشد [۲]. در سال ۲۰۰۹ روش دیگری برای تصویربرداری شبه گونه ارائه شد با نام تصویربرداری شبه گونه محاسباتی که توسط برومبرگ و گروهش به صورت تجربی معرفی گردید[۳،۴].

در تصویربرداری شبه گونه محاسباتی باریکه لیزر از یک تحریرگر فضایی نور(SLM) عبور داده می شود به طوری که طرح های کاتوره ای توسط رایانه روی SLM اعمال می شود. چون در این تصویربرداری الگوی شدت نور تابشی مشخص است، بازوی مرجع تصویربرداری شبه گونه مرسوم حذف می شود.

یکی از کاربردهای مهمی که اخیرا در زمینه تصویربرداری شبه گونه محاسباتی مطرح شده سنجش از راه دور می باشد. برای عملی کردن این کاربرد بایستی مشکلاتی نظیر تاثیر تلاطم جوی و هم چنین جابجایی جسم در تصویر شبه گونه را مورد بررسی قرار دهیم[۵]. در سال ۲۰۱۱ لی و همکارانش شرایط لازم برای به دست آوردن تصویر شبه گونه یک جسم متحرک با تباین بالا با استفاده از الگوریتم همبستگی خطی مورد بررسی قرار دادند[۶]. در سال ۲۰۱۴ گروهی توانستند هم به صورت شبیه سازی و هم تجربی با استفاده از منبع نوری شبه حرارتی ، بازیابی سرعت نامشخص جسم با تطبیق دادن اطلاعات محاسبه شده با اطلاعات ثبت شده تصویر جسم متحرک را بازسازی کنند[۷]. در سال ۲۰۱۵ تاثیر حرکت محوری بین جسم و منبع نوری مورد مطالعه قرار گرفت. در این کار که هم به صورت تئوری و هم تجربی نشان داده شد که حرکت محوری باعث تیرگی، پخش شدگی و محو شدگی تصویر می شود و به منظور غلبه بر این اثرات مخرب از روش تغییر اندازه الگوهای تصادفی و بازیابی سرعت استفاده کردند[۸]. در این مقاله تاثیر حرکت جسم بر روی تصویر شبه گونه را مطالعه کرده و علاوه بر نشان دادن دینامیک تصویر توانسته ایم حداکثر سرعت جسم را تحت شرایطی که بتوان تصویر شبه گونه را بدست آورد، محاسبه کنیم.

۲- آرایش تجربی

چیدمان جدیدی که برای تصویربرداری شبه گونه محاسباتی معرفی شده استفاده از دستگاه ویدئو پروژکتور می باشد. در این چیدمان طرح های فازی کاتوره ای با استفاده از رایانه تولید و به دستگاه ویدئو پروژکتور فرستاده می شود . بدین ترتیب جسم تحت تابش طرح های کاتوره ای قرار می گیرد. شکل (۱) چیدمان تصویربرداری شبه گونه محاسباتی با استفاده از دستگاه ویدئو پروژکتور را نشان می دهد.



شکل ۱ : چیدمان تصویربرداری شبه گونه محاسباتی با استفاده از دستگاه ویدئو پروژکتور

در آرایش شکل بالا جسم کلمه ی HI می باشد که از یک صفحه ی پلاستیکی مشکی رنگ بریده شده است در نتیجه هنگامی که نور به آن می رسد تنها از قسمتهای بریده شده عبور خواهد کرد. ضمنا فاصله ی دستگاه ویدئو پروژکتور از جسم در حدود ۳۰ سانتی متر می باشد.

در تصویربرداری شبه گونه برای بازسازی جسم با تابع عبور $T(x,y)$ و در فاصله ی $z=L$ از SLM از رابطه ی زیر

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

استفاده می شود [۳]:

$$G(x,y)=\frac{1}{N}\sum_{r=1}^{N}(B_r-<B>)I_r(x,y) \quad (۱)$$

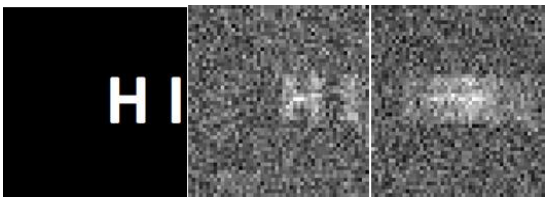
در معادله فوق، $G(x,y)$ همبستگی مرتبه دوم و N تعداد اندازه گیری های انجام شده می باشد. B_r نیز شدت اندازه گیری شده توسط آشکارساز شدتی بدون تفکیک فضایی می باشد که از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$B_r=\int dxdyI_r(x,y,L)T(x,y) \quad (۲)$$

که در آن $I_r=|E(x,y,z=L)|^2$ طرح های شدت در سطح جسم هستند[۳].

۳- نتایج شبیه سازی عددی

در قسمت شبیه سازی از جسم متحرک تصویری به ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ پیکسل متشکل از کلمه ی HI را در نظر گرفته ایم که در شکل (۲) نشان داده شده است. شرط اصلی که در تصویربرداری از جسم متحرک وجود دارد این است که جسم بایستی در معرض تابش طرح های کاتوره ای باشد تا بتوانیم تصویر شبه گونه آن را بازسازی کنیم. بنابراین در قسمت شبیه سازی عددی نیز این شرط را رعایت کرده ایم. کلمه HI در صفحه جسم به اندازه ۱۰۰ پیکسل جابجا شده و در هر پیکسل ۵۰ نمونه برداری انجام شده است. بنابراین سرعت حرکت جسم ما برابر ۰/۰۲ پیکسل در هر نمونه برداری می باشد که معادل ۵/۲ میکرومتر در هر نمونه برداری $(\frac{\mu m}{sampling})$ است.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۲: نتایج مربوط به شبیه سازی عددی با تعداد ۵۰ نمونه برداری در هر پیکسل حرکت. الف) تصویر اصلی. ب) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم بعد از ۲۰ پیکسل جابجایی. ج) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم بعد از ۱۰۰ پیکسل جابجایی.

همانطور که از شکل (۲) معلوم می باشد با جابجایی جسم وضوح تصویر شبه گونه آن از بین می رود.

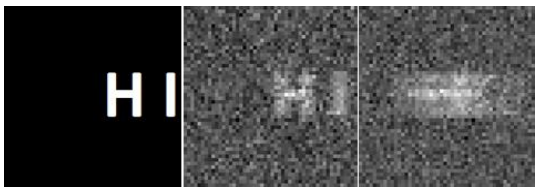
به منظور بررسی تاثیر افزایش نرخ نمونه برداری بر هر پیکسل از کمیتی به نام تباین (Visibility) تصویر طبق رابطه زیر استفاده می شود[۹]:

$$V_g=\frac{<I_1I_2>_{\max}-<I_1I_2>_{\min}}{<I_1I_2>_{\max}} \quad (۳)$$

در رابطه فوق I_1 و I_2 شدت های حاصل از باریکه مرجع و باریکه جسمی می باشند. در این مقاله باریکه مرجع حاصل از ماتریس های تصادفی و باریکه جسم شدت حاصل از CMOS می باشد.

تباین تصویر یک معیار بسیار مهم است که اختلاف نسبی بین نواحی تاریک و روشن تصویر را مشخص می کند.

در شکل (۳) تعداد نمونه برداری ها را به ۱۰۰ افزایش داده ایم. سرعت حرکت جسم در این حالت ۲/۶۴ میکرومتر در هر نمونه برداری است.



(الف) (ب) (ج)

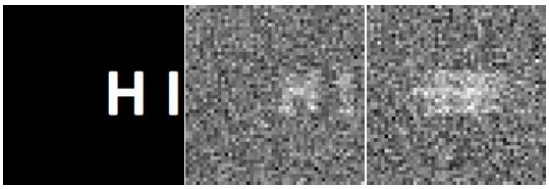
شکل ۳: نتایج مربوط به شبیه سازی عددی با تعداد ۱۰۰ نمونه برداری در هر پیکسل حرکت. الف) تصویر اصلی. ب) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم بعد از ۲۰ پیکسل جابجایی. ج) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم بعد از ۱۰۰ پیکسل جابجایی.

با توجه به معادله (۳)، تباین تصویر قسمت (ب) شکل (۲) برابر $V_g=0.09$ و تباین تصویر قسمت (ب) شکل (۳) برابر $V_g=0.12$ می باشد. نتیجه می گیریم که با افزایش تعداد فریم ها در هر نمونه برداری کیفیت تصویر شبه گونه حاصل بهبود می یابد.

حداکثر سرعت جسم مورد نظر به صورت شبیه سازی در شرایطی که بتوان تصویر شبه گونه آن را به دست آورد برابر ۱۰/۵ میکرومتر در هر نمونه برداری می باشد. تصاویر شبه گونه حاصل از حرکت جسم با این سرعت در شکل (۴) نشان داده شده است.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]



(الف) (ب) (ج)

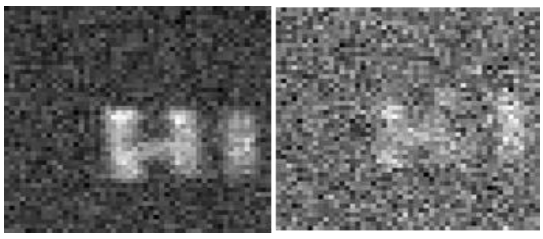
شکل۴: تصاویر شبه گونه به دست آمده از نتایج شبیه سازی عددی. الف) تصویر اصلی. ب) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم بعد از ۲۰ پیکسل جابجایی. ج) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم بعد از ۱۰۰ پیکسل جابجایی.

تباین تصویر قسمت (ب) شکل (۴) برابر $V_g = 0.01$ است . مشاهده می کنیم که افزایش سرعت جسم باعث کاهش وضوح تصویر می شود.

۴- نتایج تجربی

برای به دست آوردن تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم متحرک از چیدمان شکل (۱) بهره گرفته ایم. بدین ترتیب که طرح های کاتوره ای به شکل ماتریس های تصادفی خاکستری رنگ در نرم افزار متلب تولید و به دستگاه ویدئو پروژکتور فرستاده می شود سپس دستگاه ویدئو پروژکتور جسم را تحت تابش این طرح های تصادفی قرار می دهد. از یک دوربین CMOS به ابعاد ۱۲۰×۱۶۰ پیکسل و هم چنین از یک موتور پله ای با گام ۰/۰۵ میلی متر استفاده کرده ایم.

در انجام قسمت تجربی نیز جسم را تحت تابش طرح های تصادفی قرار داده ایم. سرعت حرکت جسم ۰/۷ میکرومتر در هر نمونه برداری می باشد . برای بدست آوردن سرعت بدین گونه عمل شده است که پس از جابجایی به مقدار ۰/۰۵ میلی متر تعداد ۷۰ نمونه از طریق CMOS که نقش بوکت را برای ما خواهد داشت، ثبت شده است. شکل (۵) تصاویر شبه گونه حاصل از جسم با این سرعت را نشان می دهد.



(ب) (الف)

شکل۵: نتایج تجربی. الف) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم ساکن با تعداد نمونه برداری ۱۰۰۰۰. ب) تصویر شبه گونه محاسباتی از جسم متحرک با سرعت ۰/۷ میکرومتر در هر نمونه برداری.

تباین تصویر برای قسمت (الف) شکل (۵) برابر ۰/۴۳۵ و برای قسمت (ب) ۰/۱۲۸ می باشد.

۵- نتیجه‌گیری

همانطور که از داده های شبیه سازی و تجربی مشخص است حرکت عرضی بین جسم و منبع نوری باعث تنزل کیفیت و وضوح تصویر شبه گونه می شود. ما توانسته ایم با توجه به بازسازی مرحله به مرحله داده ها تصویر شبه گونه جسم متحرک را به دست آوریم.

مراجع

[1] Pittman, T. B., et al. "Optical imaging by means of two-photon quantum entanglement." *Physical Review A* 52.5 (1995): R3429.

[2] Bennink, Ryan S., Sean J. Bentley, and Robert W. Boyd. ""Two-photon" coincidence imaging with a classical source." *Physical review letters* 89.11 (2002): 113601.

[3] Bromberg, Yaron, Ori Katz, and Yaron Silberberg. "Ghost imaging with a single detector." *Physical Review A* 79.5 (2009): 053840.

[4] Shapiro, Jeffrey H. "Computational ghost imaging." *Physical Review A* 78.6 (2008): 061802

[5] Cheng, Jing. "Ghost imaging through turbulent atmosphere." *Optics express* 17.10 (2009): 7916-7921.

[6] Li, Hu, Jin Xiong, and Guihua Zeng. "Lensless ghost imaging for moving objects." *Optical Engineering* 50.12 (2011): 127005-127005.

[7] Li, Enrong, et al. "Ghost imaging of a moving target with an unknown constant speed." *Applied Physics Letters* 104.25 (2014): 251120.

[8] Li, Xiaohui, et al. "Ghost imaging for an axially moving target with an unknown constant speed." *Photonics Research* 3.4 (2015): 153-157.

[9] Kellock, H., et al. "Higher-order ghost imaging with partially polarized classical light." *SPIE Optical Systems Design*. International Society for Optics and Photonics, 2011.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]