



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۳-۴-۱۵۰-۱۰-A

اثر سرعت بر روی تصویر در تصویربرداری گوست محاسباتی جاروبی

سجاد رجبی قلعه، سهراب احمدی کندجانی و رضا خردمند

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

چکیده - در این کار، با اعمال الگوهای کاتوره‌ای به صورت جاروب سطری / ستونی بر روی جسم موردنظر، در سرعت و جهت‌های متفاوت، تصویر نهایی بررسی شده است. الگوهای کاتوره‌ای اعمالی به جسم دارای پس‌زمینه با مقادیر کاتوره‌ای و یک سطر/ستون با مقدار شدت زیاد نسبت به پس‌زمینه‌اش در نظر گرفته شده است. نتایج کار هم بصورت تجربی و هم به صورت شبیه‌سازی شده در سرعت و جهت‌های حرکت متفاوت بررسی شده است و نتایج بیانگر این هستند که در حالت حرکت ماتریس کاتوره‌ای و جسم "در راستای هم" بهترین حالت برای تصویربرداری از جسم در بین حالت‌های معرفی شده است. به طوری که در حالت‌های دیگر مقداری از اطلاعات جسم از بین رفته است.

کلید واژه- اثر سرعت، الگوهای کاتوره‌ای، تصویربرداری گوست محاسباتی جاروبی، جاروب سطری و ستونی

The Effect of Speed on an image in sweeping computational ghost imaging

Sajjad Rajabi-Ghaleh, SohrabAhmadi-Kandjani, and Reza Kheradmand

Photonics group, Institute for Applied Physics and Astronomy, Tabriz, 29 Bahman Blvd, university of Tabriz.

s.rajabi94@ms.tabrizu.ac.ir

s_ahmadi@tabrizu.ac.ir

r_kheradmand@tabrizu.ac.ir

Abstract- In this work, a random patterns are applying a row/column sweep on the object, at different speeds and directions, the reconstructed image is examined. The applied random patterns to an object are considered with values of random background and a row / column with a high intensity. The results of both experimental and simulation results at different speeds and directions of motion have been investigated and the results indicated that the case of "the same direction" is the best case, as at the other cases eliminated the amount of the information's object.

Keywords: Random patterns, row and column sweeping, sweeping computational ghost imaging, and the effect of speed,

روش فوق، اثر سرعت را بر روی جسم موردنظر در سرعت و راستاهای مختلف بررسی می‌کنیم. براساس نتایج بدست آمده، مشخص می‌شود که در سرعت های پایین براساس میزان سرعت مقداری از اطلاعات جسم از بین می‌رود و در سرعت های بالا یک قسمت از جسم دوباره بازسازی می‌شود.

تئوری

همانطور که در بالا اشاره کردیم تصویربرداری گوشت متشکل از دو بازوی جسمی و مرجع می باشد که مقدار شدت اندازه گیری شده در هر بازو به صورت زیر بیان می‌شود.

برای بازوی جسمی شدت های عبوری یا انعکاسی از جسم با استفاده از آشکار ساز بوکت با استفاده از رابطه زیر اندازه گیری می شود [۴]:

$$B_r = \int dx dy I_r(x, y) R(x, y) \quad (1)$$

که در آن

B_r : شدت اندازه گیری شده توسط آشکار ساز بوکت

$R(x, y)$: تابع عبور/انعکاس جسم

$I_r(x, y)$: شدت میدان ورودی منبع (و شدتی که توسط آشکار ساز بازوی مرجع اندازه گیری می‌شود) است که با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید [۴]:

$$I_r = \left| E^{(in)} e^{i\varphi_r(x, y)} \right| \quad (2)$$

سپس با استفاده از همبستگی بین شدت میدان ورودی (الگوهای کاتوره‌ای اعمالی به مدوله‌کننده فضایی نوری) و شدت اندازه گیری شده به وسیله آشکار ساز بوکت، تصویر نهایی تحت رابطه زیر بازسازی می‌شود [۴]:

$$G(x, y) \equiv \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N (B_r - \langle B \rangle) I(x, y) = \langle BI(x, y) \rangle - \langle B \rangle \langle I(x, y) \rangle$$

مقدمه

یکی از روش‌های تصویربرداری که در چند سال اخیر مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است شیخ‌نگاری است، که یک تصویربرداری "غیرمحلی" است. در این روش با جدا کردن باریکه منبع اصلی به دو بازوی جسمی و مرجع با استفاده از همبستگی بین دو باریکه، تصویر نهایی بدست می‌آید. به طوریکه در بازوی جسمی، جسم موردنظر قرار گرفته است و شدت عبوری از آن توسط یک آشکار ساز تک-پیکسل (بوکت) اندازه‌گیری می‌شود و در بازوی دیگر آشکار ساز آرایه‌ای قرار گرفته است که الگوهای کاتوره‌ای اعمالی به جسم را اندازه‌گیری می‌کند و در نهایت با استفاده از همبستگی بین مقادیر دو آشکار ساز تصویر بدست می‌آید. در ابتدا منبع مورد نیاز برای تصویربرداری گوشت، کوانتومی بود که به تصویر برداری گوشت کوانتومی معروف است. بعداً با استفاده از منبع نور حرارتی نیز تصویربرداری گوشت انجام شد، که به تصویربرداری گوشت کلاسیکی معروف است [۱-۶].

تصویربرداری که در این کار از آن استفاده شده است، تصویربرداری گوشت محاسباتی می باشد، که برای اولین بار توسط شاپیرو [۵] ارائه و بعدها توسط پیتمن و همکارانش [۶] آزمایش تجربی آن انجام شد که در این روش فقط از مسیر جسمی یعنی فقط از آشکار ساز بوکت تک‌پیکسل برای بازسازی تصویر استفاده شده است و به جای مسیر مرجع از اطلاعات اعمالی بر روی SLM استفاده می‌شود.

در سال ۲۰۲۰ روشی به نام تصویربرداری گوشت محاسباتی جاروبی توسط گروه احمدی و همکارانش [۷] ارائه شده است که در آن با استفاده از دو ماتریس جاروبی سطری و ستونی به تصویر نهایی دست یافت که از مزایای این روش دستیابی به تصویر با کیفیت بالا و همچنین تصویربرداری گوشت با سرعت بالا می‌باشد. با استفاده از

نظر گرفتن سرعت و راستاهای متفاوت ماتریس جاروب و حرکت جسم تصاویر بازسازی شده اند.

نتایج شبیه‌سازی و عددی

با استفاده از روش تصویربرداری گوشت جاروبی، از جسم متحرک در ۴ مورد تصویربرداری صورت گرفته است و نتایج حاصل از آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. در حالت شبیه‌سازی و **مورد اول**: ماتریس جاروب یک پیکسل و جسم نیز به اندازه ۰.۲۲۷ میلی‌متر (برابر با ۱ پیکسل) در راستای هم حرکت می‌کنند. **مورد دوم**: ماتریس جاروب ۲ پیکسل و جسم ۰.۲۲۷ میلی‌متر در راستای هم حرکت می‌کنند. **مورد سوم**: ماتریس جاروب یک پیکسل و جسم نیز به اندازه ۰.۲۲۷ میلی‌متر (برابر با ۱ پیکسل) در جهت خلاف هم حرکت می‌کنند. **مورد چهارم**: ماتریس جاروب ۲ پیکسل و جسم ۰.۲۲۷ میلی‌متر در جهت خلاف هم حرکت می‌کنند. چهار مورد اشاره شده در حالت شبیه‌سازی و تجربی انجام گرفته است و نتایج حاصل از آنها به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است. همچنین چیدمان به کار گرفته شده برای حالت تجربی در این کار در شکل ۱ قابل مشاهده است.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در مورد ۱، ماتریس جاروبی جسم به اندازه یک پیکسل در راستای هم حرکت می‌کنند، تصویر بازسازیشده نشان می‌دهد که هیچ اطلاعاتی از جسم نمی‌توان بدست آورد (نمودارهای سبز رنگ نیز همین موضوع را نشان می‌دهند). در مورد ۲، ماتریس جاروبی ۲ و جسم به اندازه ۱ پیکسل در راستای هم حرکت می‌کنند که از تصویر قابل مشاهده است که طول جسم کشیده تر شده است به خاطر اینکه قسمت هایی از جسم دو بار توسط ماتریس جاروب می‌شوند که این مورد می‌تواند به عنوان بهترین گزینه در بین ۴ حالت برای تصویربرداری از جسم متحرک انتخاب شود. در مورد

(۰) نشان دهنده میانگین آنسامبلی و N تعداد اندازه‌گیری را نشان می‌دهند.

برای رفع مشکل پایین بودن سرعت و بالا بودن زمان تصویربرداری، روش تصویربرداری گوشت محاسباتی جاروبی ارائه شده است به طوریکه در این روش از جاروب سطری/ستونی الگوهای کاتوره‌ای استفاده شده است. بدین صورت که در یک ماتریس $m \times m$ با پس‌زمینه کاتوره‌ای در نظر گرفته شده است ولی سطر/ستون اول این ماتریس با مقدار شدت بالاتراز مقادیر پس‌زمینه انتخاب می‌شود و در هر شاتی که این الگوریتم به جسم تابانده می‌شود سطر/ستون موردنظر به سطر/ستون بعدی جابجا خواهد کرد بدین معنی که ماکزیمم تعداد شات ما به ابعاد ماتریس رندوم ما بستگی دارد یعنی به ازای یک ماتریس $m \times m$ ، تصویر نهایی با تعداد $m+m$ شات بازسازی می‌شود.

با در نظر گرفتن تصاویر حاصل از دو ماتریس سطری و ستونی، تصویر گوشت حاصل از این دو حالت، با استفاده روابط زیر بازسازی می‌شود [۷]:

$$G_{row} = G_1(i, j) \quad (۴)$$

$$G_{column} = G_2(i, j)$$

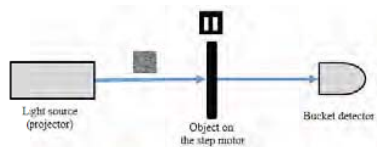
$G_1(i, j)$ و $G_2(i, j)$ بترتیب تصاویر حاصل از ماتریس-های رندوم b^2 و b'^2 هستند، یک سطر دلخواه از G_{row} و یک ستون دلخواه از G_{column} و $G_1(i, j)$ است.

در نهایت با استفاده از رابطه زیر تصویر بازسازی می‌شود [۷]:

$$G_{final}(i, j) = G_{column} \times G_{row} \quad (۵)$$

که \times عملگر ضرب خارجی را نشان می‌دهد.

حال با استفاده از روش معرفی شده در بالا، از جسم متحرک در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی تصویربرداری انجام شده است. در ابتدا یک تصویر دو شکاف به عنوان جسم در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی در نظر گرفته شده است که جسم در راستای افقی حرکت می‌کند که با در



شکل ۲: تصاویر بازسازی شده در حالت شبیه سازی. تصویر سمت چپ در بالای جدول، جسم را نشان می دهد.

۳، ماتریس جارویی جسم به اندازه یک پیکسل در خلاف هم حرکت می کند و تصویر نشان می دهد که مقداری از اطلاعات جسم از بین رفته است. در مورد ۴، ماتریس جارویی ۲ و جسم به اندازه ۱ پیکسل در خلاف هم حرکت می کنند بنابراین تصویر نشان می دهد که دوباره اطلاعاتی از جسم در دسترس نیست.

تجربی			
ردیف	جهت حرکت	شدت نرمالایز تصاویر اولیه	تصویر بازسازی شده
۱	راستای هم		
۲	در خلاف جهت هم		

شکل ۳: تصاویر بازسازی شده در حالت تجربی. تصویر سمت چپ در بالای جدول، جسم را نشان می دهد.

شبیه سازی			
ردیف	جهت حرکت	شدت نرمالایز تصاویر اولیه	تصویر بازسازی شده
۱	راستای هم		
۲	در خلاف جهت هم		

شکل ۱: چیدمان تجربی تصویربرداری گوست محاسباتی جارویی

[۷]

توضیحات ارائه شده در حالت شبیه سازی برای شکل ۱ و موارد ۱ تا ۴ برای حالت تجربی نیز دقیقاً بیانگر همان

توضیح اضافی: تفاوت عمده بین کار حاضر و رفرنس ۷ این است که در این کار اثر سرعت در راستاهای مختلف جسم و ماتریس کاتوره ای بیان شده است در حالی که در رفرنس ۷ ماتریس کاتوره ای ثابت و جسم در یک راستای مشخص در حرکت می‌باشد.

نتایج هستند. بهینه سرعت برای حالت تجربی به اندازه ۲.۷۹ میلیمتر بر ثانیه در مرجع [۷] بدست آمده است که در آن ماتریس کاتوره ای ثابت و جسم فقط در یک راستا حرکت می‌کند.

نتیجه‌گیری

با استفاده از تصویربرداری گوست محاسباتی جاووبی، در این کار، اثر سرعت در راستاها و مقادیر مختلف بررسی شده است. همانطور که در شکل های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود اطلاعات تصویر بازسازی شده در هر چهار مورد با نواقصی همراه است که در حرکت در "خلاف جهت هم" مقداری از اطلاعات جسم از بین رفته است و نمی‌تواند اطلاعات کامل از جسم را تشریح کند، اما در حالت "حرکت در راستای هم" اطلاعات اضافی از جسم در تصویر نهایی بازسازی می‌شود (مورد دوم) که تصویر با اینکه شبیه جسم اولیه نیست ولی تقریباً تمامی اطلاعات آن را دارد که می‌تواند بهترین حالت برای تصویربرداری از بین گزینه های مطرح شده باشد.

مراجع

- [۱] J. H. Shapiro and B. I. Erkmen, "Ghost imaging: from quantum to classical to computational," *AIP Conf. Proc.* **1110**, (2009) 417–422.
- [۲] R. S. Bennink, S. J. Bentley, and R. W. Boyd, "Two-photon coincidence imaging with a classical source," *Phys. Rev. Lett.* **89**, (2002)113601.
- [۳] V. Strelakov and V. Sergienko, "Optical imaging by means of twophoton quantum entanglement," *Phys. Rev.* **A52**, (1995)R3429.
- [۴] Bromberg, Yaron, Ori Katz, and Yaron Silberberg. "Ghost imaging with a single detector." *Physical Review A* **79**, no. 5 (2009) 053840.
- [۵] J. H. Shapiro, "Computational ghost imaging," *Phys. Rev. A* **78**, (2008)061802.
- [۶] Y. Bromberg, O. Katz, and Y. Silberberg, "Ghost imaging with a single detector," *Physical. Review.A* no.May, (2009) pp. 05384.
- [۷] Rajabi-Ghaleh, S, Olyaeefar B, Kheradmand R, and Ahmadi-Kandjani S. "Ultra-fast vivid computational ghost imaging of still and moving objects by sweeping random patterns." *Journal of Optics* **22**, no. 9 (2020): 095701.