



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



تصویربرداری گوست محاسباتی از جسم متحرک با سرعت بالا

پوریا فرهادیان فرد، رضا خردمند، سهراب احمدی کاندجانی

دانشگاه تبریز، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

چکیده - تصویربرداری گوست یک روش تصویربرداری غیر محلی ست. از کاربردهای تصویربرداری گوست می توان به تصویربرداری از جسم متحرک و سنجش از راه دور اشاره کرد. در این مقاله به صورت تئوری و تجربی با استفاده از بهبود نرم افزاری، افزایش سرعت الگوهای گزینشی و تصادفی و افزایش سرعت مدولاسیون توانسته ایم تصویر حاصل از جسم متحرک که با سرعت بالا در حرکت است را به روش گزینشی بازیابی کنیم. همچنین با استفاده از ردیابی مسیر حرکت و زمان تولید الگوها، سرعت جسم متحرک بدست آمده است.

کلید واژه- تصویربرداری گوست، تابع همبستگی، گوست گزینشی، سنجش از راه دور، سرعت مدولاسیون.

High Speed Computational Ghost Imaging of Moving Object

Pouria Farhadianfard, Reza Kheradmand, Sohrab Ahmadi Kandjani

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

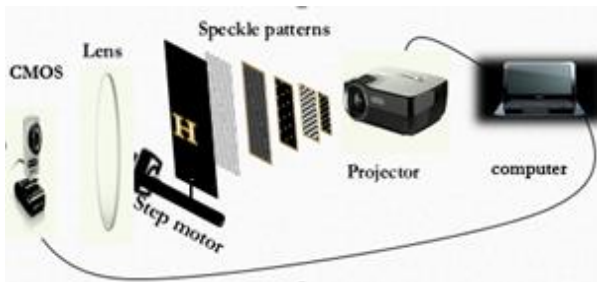
Abstract-Ghost imaging is a non-localized imaging method. The use of ghost imaging is the imaging form moving object and remote sensing. In this paper, theoretically and experimentally, using the improvement of software, increasing the speed of selective and random patterns and increasing the modulation speed, we have been able to retrieve the image of a moving object that moves at high speed with selective method. Also, the velocity of the moving object is obtained by tracking the movement path and the pattern production time.

Keywords: Ghost imaging, Correlation function, Selective ghost imaging, Remote sensing, Modulation speed.

۱- مقدمه

فضایی SLM می‌توان سرعت مدولاسیون را افزایش داد که موجب کاهش زمان بازیابی تصویر می‌شود. در ادامه به بررسی چیدمان آزمایش، مفاهیم ریاضی و بحث و نتیجه گیری درباره نتایج حاصل خواهیم پرداخت.

۲- چیدمان آزمایش



شکل ۱: چیدمان تجربی تصویربرداری گوست محاسباتی از جسم متحرک

در اینجا دستگاه پروژکتور، الگوهای تولید شده را به سمت جسم ارسال می‌کند. سپس این الگوها با جسم برخورد کرده و توسط آشکارساز CMOS به ابعاد (۱۷۶×۱۴۴) پیکسل، بدون تفکیک پذیری فضایی ثبت می‌شوند. چیدمان تجربی آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است. جسم ما حرف H می‌باشد که بر روی یک موتور با دقت ۰.۰۵ میلی‌متر قرار گرفته است و فاصله آن تا منبع ۳۰ سانتیمتر است. اگر فرض کنیم که $T_0(\rho)$ تابع عبور جسم باشد، میزان شدت دریافتی توسط آشکارساز CMOS به قرار زیر است:

$$B_i = \int I_i(\rho, t) T_0(\rho, t) d\rho \quad (1)$$

که در آن I_i الگوهای تولید شده و $\rho = (X_n, Y_n)$ مختصات عرضی الگوهای تولید شده در سطح جسم می‌باشند. در نهایت تصویر گوست توسط رابطه همبستگی مرتبه دوم بازسازی می‌شود:

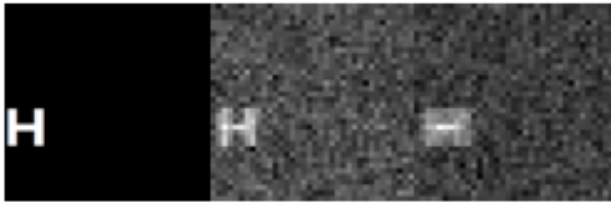
$$G(\rho) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_i - \langle B_i \rangle) I_i(\rho) \quad (2)$$

که در آن N تعداد الگوها می‌باشد. در پارامترهای مربوط به تصویربرداری گوست، تباین تصویر یک کمیت بسیار مهم است که اختلاف نسبی بین نواحی روشن و تاریک تصویر را توصیف می‌کند و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V(G) \equiv \frac{\langle G(X_{in}) \rangle - \langle G(X_{out}) \rangle}{\langle G(X_{in}) \rangle + \langle G(X_{out}) \rangle} \quad (3)$$

در تصویربرداری گوست با استفاده از دو باریکه همبسته فضایی که در دو مسیر متمایز حرکت می‌کنند تصویر جسم بازسازی می‌شود. به طوری که در یک مسیر که به بازوی جسمی معروف است، باریکه به جسم برخورد می‌کند و نور عبوری یا بازتابی از آن توسط یک آشکارساز تک پیکسل که فاقد تفکیک پذیری فضایی است آشکارسازی می‌شود. در مسیر دیگر که بازوی مرجع نام دارد، تنها از یک آشکارساز با قدرت تفکیک فضایی استفاده می‌شود. در نتیجه تصویر گوست با اندازه گیری تابع همبستگی متقابل شدت باریکه جسمی و باریکه مرجع به دست می‌آید [۱].

در سال ۱۹۹۵ پیتمن برای اولین بار توانست تصویر گوست را از باریکه های در هم تنیده بدست آورد [۲]. در سال ۲۰۰۲ بنینک و گروهش [۳] روش تصویر برداری گوست با استفاده از منبع کلاسیکی را پیشنهاد کردند. در سال ۲۰۰۸ شاپیرو به صورت تئوری روشی را مطرح کرد که در آن تنها از یک آشکارساز تک پیکسل استفاده می‌شد و نیازی به آشکارساز با قدرت تفکیک بالا و شکافنده پرتو نبود [۴]. این روش که به تصویربرداری گوست محاسباتی معروف است، در سال ۲۰۰۹ توسط برومبرگ و گروهش [۵] به صورت تجربی به اثبات رسید. در سال ۲۰۱۱ برای اولین بار تصویربرداری گوست از جسم متحرک مورد بررسی قرار گرفت. لی و همکارانش [۶] با استفاده از الگوریتم همبستگی خطی شرایط لازم برای بدست آوردن تصویر گوست از جسم متحرک را مورد بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۱۴ لی و همکارانش [۷] توانستند به صورت شبیه سازی و تجربی با استفاده از منبع نوری شبه حرارتی، با تطبیق اطلاعات محاسباتی و اطلاعات ضبط شده سرعت نامشخص جسم را بدست آورند و تصویر جسم را بازسازی کنند. در سال ۲۰۱۶ در پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره-شناسی تبریز، سحر غلامی و همکارانش توانستند بصورت تئوری و تجربی از جسم متحرک، تصویربرداری به عمل آورند [۸]. در این کار نیز با استفاده از بازسازی مرحله به مرحله داده ها تصویر گوست از جسم متحرک با سرعت ۰/۷ میکرومتر در هر نمونه-برداری به دست آمده است. در سال ۲۰۱۷ ونگ و همکارانش [۹] دریافتند که سرعت تصویربرداری گوست محاسباتی توسط فرکانس مدولاسیون SLM محدود شده است. جهت برطرف سازی این محدودیت دریافتند که با کاهش تفکیک پذیری

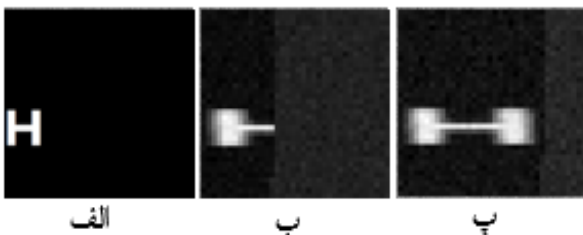


شکل ۳: تصاویر مربوط به شبیه‌سازی با روش معمولی و ۵۵ اندازه‌گیری در هر پیکسل (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر گوست محاسباتی بعد از ۲۰ پیکسل جابجایی (پ) تصویر گوست محاسباتی بعد از ۴۰ پیکسل جابجایی.

جدول ۱: مقادیر نسبت سیگنال به نویز و تباین تصویربرداری گوست‌گزینشی و تصویربرداری گوست معمولی

	SNR	Visibility
شکل ۲ قسمت (ب)	۲/۰۸	۰/۸۶
شکل ۳ قسمت (ب)	۰/۱۷	۰/۴۶

بالاترین سرعتی که در شبیه‌سازی با روش‌گزینشی بدست آمده است، (مطابق شکل ۴) معادل ۲۰۰ پیکسل جابجایی که در هر پیکسل ۵ اندازه‌گیری صورت گرفته است. اکنون با توجه به تعداد پیکسل‌های حرکتی و زمان تولید الگوهای گزینشی، می‌توان سرعت حرکت جسم متحرک را بازیابی کرد.



شکل ۴: تصویربرداری گوست‌گزینشی با ۵ اندازه‌گیری در هر پیکسل (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر گوست‌گزینشی بعد از ۱۰۰ پیکسل جابجایی (پ) تصویر گوست‌گزینشی بعد از ۲۰۰ پیکسل جابجایی

بنابراین سرعت جسم که ۲۰۰ پیکسل را در مدت زمان ۸۸ ثانیه طی کرده است، ۲/۲ پیکسل بر ثانیه خواهد بود.

همچنین نسبت سیگنال به نویز که نسبت اطلاعات مفید به نویز را نشان می‌دهد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SNR(G) = \frac{\langle G(X_{in}) \rangle}{\sqrt{1/2[\Delta^2 G(X_{in}) + \Delta^2 G(X_{out})]}} \quad (4)$$

که در آن X_{in} و X_{out} به ترتیب موقعیت پیکسل‌ها را در داخل و خارج جسم نشان می‌دهد.

۳- نتایج شبیه‌سازی



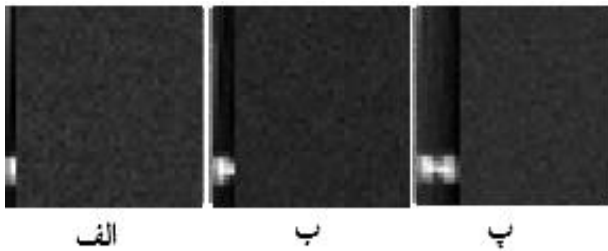
شکل ۲: تصویر گوست‌گزینشی با ۵۵ اندازه‌گیری در هر پیکسل (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر گوست‌گزینشی بعد از ۲۰ پیکسل جابجایی (پ) تصویر گوست‌گزینشی بعد از ۴۰ پیکسل جابجایی

در شبیه‌سازی نیز از حرف H به عنوان جسم متحرک استفاده شده که از چپ به راست در حرکت است. نحوه تولید الگوهای گزینشی به این صورت است که در هر اندازه‌گیری تمامی درایه‌ها دارای مقادیر تصادفی می‌باشند. تنها به یک درایه مقدار ثابت تعلق می‌گیرد که بزرگتر از درایه‌های تصادفی است و در کل اندازه‌گیری‌ها، درایه‌های ماتریس را جاروب می‌کند [۱۰]. در حالی که در روش معمولی در هر اندازه‌گیری از الگوهای تصادفی استفاده شده است. کلمه H در صفحه (شکل ۲) به اندازه ۴۰ پیکسل در مدت زمان ۱۳۶ ثانیه جابجا شده و در هر پیکسل ۵۵ اندازه‌گیری با روش‌گزینشی به عمل آمده است. در نتیجه سرعتی معادل ۰/۲۹ پیکسل بر ثانیه خواهد داشت.

اکنون به بررسی تصاویر حاصل از جسم متحرک با روش معمولی در شرایط کاملاً یکسان نسبت به روش‌گزینشی خواهیم پرداخت. نتایج حاصل در شکل (۳) و جدول (۱) آمده است.

۴- نتایج تجربی

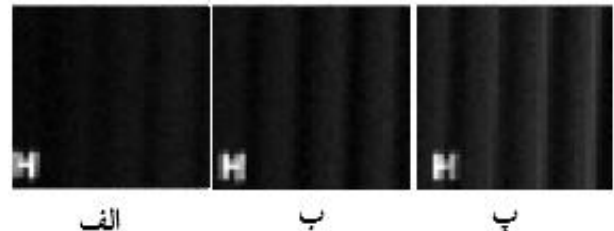
با استفاده از چیدمانی که در شکل (۱) نشان داده شده است و با استفاده از روش تصویربرداری گوست گزینشی، از جسم متحرک تصویربرداری صورت گرفته است. با توجه به شکل ۵ در قسمت (پ) مشاهده می شود که جسم معادل ۳ پیکسل حرکت کرده است و مدت زمان تولید الگوهای گزینشی برابر ۱۷۷ ثانیه می باشد. از آنجایی که طول هر پیکسل ۳ میلیمتر اندازه گیری شده است سرعت جسم متحرک 0.05 میلیمتر بر ثانیه می باشد.



شکل ۶: تصویربرداری گوست گزینشی از جسم متحرک. الف) تصویر گوست گزینشی با ۷۲ اندازه گیری. ب) تصویر گوست گزینشی با ۱۴۴ اندازه گیری. تصویر گوست گزینشی با ۲۸۸ اندازه گیری

۵- نتیجه گیری

در این مقاله توانستیم با استفاده از الگوهای گزینشی و افزایش تعداد الگوها در واحد زمان تصویر حاصل از جسم متحرک را که بصورت پیوسته با بالاترین سرعت ممکن در حرکت بوده است را بازیابی کنیم. با توجه به مشخص بودن ابعاد پیکسل ها، تعداد پیکسل های حرکتی و زمان تولید آنها، سرعت جسم متحرک بدست آمده است.



شکل ۵: تصویربرداری گوست گزینشی از جسم متحرک. الف) تصویر گوست گزینشی با ۱۴۴ اندازه گیری در آغاز حرکت. ب) تصویربرداری گوست گزینشی با ۱۶۵۶ اندازه گیری در مکان دوم. تصویربرداری گوست گزینشی با ۲۹۸۸ اندازه گیری در مکان سوم

مراجع

- [1] J. H. Shapiro, B. I. Erkmen, and A. Lvovsky, "Ghost imaging: from quantum to classical to computational," in *AIP Conference Proceedings*, 2010, vol. 1110, no. 1, pp. 417–422.
- [2] T. B. Pittman, Y. H. Shih, D. V. Strekalov, and A. V. Sergienko, "Optical imaging by means of two photon quantum entanglement," *Phys. Rev. A*, vol. 52, no. 5, p. R3429, 1995.
- [3] R. S. Bennink, S. J. Bentley, and R. W. Boyd, "'Two-Photon' Coincidence Imaging with a Classical Source," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, no. 11, p. 113601, 2002.
- [4] J. H. Shapiro, "Computational ghost imaging," *Phys. Rev. A*, vol. 78, no. 6, p. 61802, Dec. 2008.
- [5] Y. Bromberg, O. Katz, and Y. Silberberg, "Ghost imaging with a single detector," *Phys. Rev. A*, vol. 79, no. 5, p. 53840, May 2009.
- [6] H. Li, J. Xiong, and G. Zeng, "Lensless ghost imaging for moving objects," *Opt. Eng.*, vol. 50, p. 127005, 2011.
- [7] E. Li, Z. Bo, M. Chen, W. Gong, and S. Han, "Ghost imaging of a moving target with an unknown constant speed," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 104, no. 25, pp. 20–23, 2014.
- [8] S. G. Milani, R. Kheradmand, and S. A. Kandjani, "Experimental and theoretical study of computational ghost imaging of moving object," pp. 761–764.
- [9] Y. Wang, Y. Liu, J. Suo, G. Situ, C. Qiao, and Q. Dai, "High Speed Computational Ghost Imaging via Spatial Sweeping," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. March, p. 45325, Mar. 2017.
- [10] M. Zafari, R. Kheradmand, and S. Ahmadi-Kandjani, "Optical encryption with selective computational ghost imaging," *J. Opt. (United Kingdom)*, 2014.