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

حذف تصویر مزدوج و نوفه‌ها در تمام‌نگاری دیجیتال

ناصر پرتوی شبستری، محمدرضا رشیدیان وزیری، عیسی علیدخت و بهاره زارع فارسانی

پژوهشکده لیزر و اپتیک، تهران، ایران

چکیده: شکل‌های بازسازی شده در روش تمام‌نگاری دیجیتال علاوه بر تصویر خود جسم، دربردارنده پراش مرتبه صفر، تصویر مزدوج جسم و نوفه‌های تجربی هستند. این آثار ناخواسته، علاوه بر کاهش کیفیت تصویربازسازی شده، استخراج اطلاعات باارزش فازی جبهه موج پراکنده از جسم را دشوار می‌سازند. در این کار با استفاده از پالایش تصاویر تمام نگاری دریافتی توسط CCD، این آثار نامطلوب به طور مؤثر حذف شده‌اند. به این منظور از صافی‌های میانگین ۳×۳ در فضای مکان و صافی‌های شفاف در فضای بسامد استفاده شده است. انتخاب نوع صافی‌ها باید با دقت کامل و مطابق با روابط فیزیکی مربوط به ذخیره‌سازی تمام‌نگارها صورت پذیرد.

کلید واژه - اپتیک فوریه، پردازش سیگنال، تداخل سنجی تمام نگاشتی، تمام نگاری دیجیتال.

Suppression of twin image and noises in digital holography

N. Partovi Shabestari, M.R. Rashidian Vaziri, E. Alidokht, B. Zarefarsani

Laser and optics research school, Tehran, Iran

Abstract: In numerically reconstructed images of digital holography the zero order diffraction, the complex conjugate image and experimental noises coexist with the real image of the object. These undesirable features not only reduce the quality of the reconstructed images, but also make it difficult to extract the invaluable information contained in the phase of the diffracted wavefront from the object surface. In this work, the mentioned undesirable features have been effectively removed by filtration of the CCD-recorded holographic pictures. To this end, ۳×۳ average filters and transparent filters have been used. These spatial and frequency filters should be chosen carefully and in accordance with the underlying physical relations for recording the holograms.

Keywords: digital holography, Fourier optics, holographic interferometry, signal processing.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

تمام‌نگاری روشی است که می‌تواند به طور همزمان اطلاعات فازی و دامنه‌ای جبهه موج جسم را ضبط و بازسازی کند[۱و۲]. با پیشرفت فن-آوری و عرضه شدن دوربین‌های CCD سریع و با قدرت تفکیک بالا، ایده ثبت نوارهای تداخلی بر روی سطح این دوربین‌ها ارائه و روش تمام‌نگاری دیجیتال پا به عرصه وجود نهاد [۳]. مشکلی که برای بازسازی عددی تصاویر ثبت شده توسط CCDها وجود دارد شکل‌گیری پراش مرتبه صفر، تصویر مزدوج جسم اصلی و نوفه‌ها در تصاویربازسازی شده است. در این کار پس از حذف موثر پراش مرتبه صفر[۴]، از تمام‌نگاشت تبدیل فوریه گرفته و در فضای بسامد، بسامدهای مربوط به تصویر اصلی را انتخاب و بقیه را حذف می‌کنیم. پس از انجام تبدیل فوریه وارون به تمام‌نگاشتی می‌رسیم که فقط حاوی طرح تداخلی مربوط به جسم اصلی است. پس از محاسبه تبدیل فرنل، تصویر جسم به تنهایی و با کیفیت بالاتر بازسازی خواهد شد.

۲- چیدمان تجربی

نمای شماتیک چیدمان تمام نگاری دیجیتال در شکل ۱-الف و چیدمان پیاده سازی شده بر اساس این طرح در شکل۱-ب نشان داده شده اند.

۳- روش حذف تصویر مزدوج و نوفه‌ها

تمام نگاشت دیجیتال ثبت شده بر روی CCD در شکل ۱، از تداخل دو جبهه موج مرجع و جسم (تاسی به ابعاد یک سانتی متر) حاصل می‌شود. اگر روی سطح CCD دامنه مختلط موج جسم را با O و دامنه مختلط موج مرجع را با r نشان دهیم، تداخل این دو موج روی سطح CCD را می‌توان با رابطه زیر توصیف کرد:

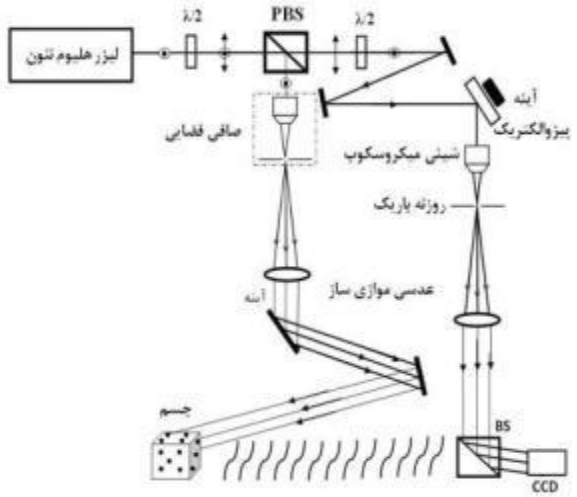
$$h = (O + r)(O + r)^* = (|O|^2 + |r|^2) + rO^* + r^*O \qquad (1)$$

برای بازسازی تصاویر، تابع تمام‌نگاری را باید در دامنه مختلط موج مرجع ضرب کرد:

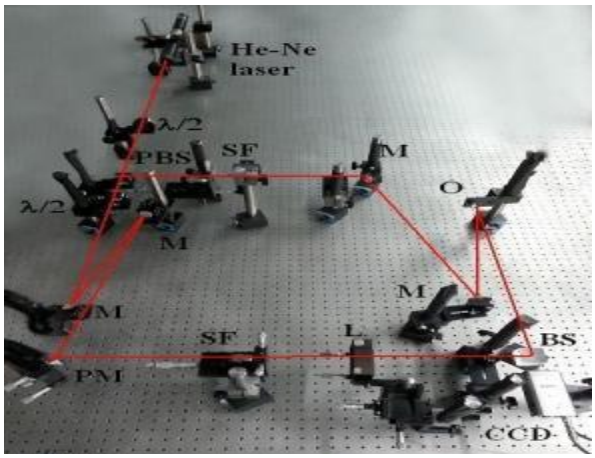
$$hr = (|O|^2 + |r|^2)r + r^2O^* + |r|^2O \qquad (2)$$

جمله نخست در سمت راست این رابطه متناسب با دامنه مختلط موج مرجع استفاده شده برای بازسازی تصویر است.این جمله، موج پراش نیافته پس از عبور از تمام نگاشت(مرتبه صفرم پراش) را نشان می‌دهد. جمله دوم، مزدوج موج جسم بازسازی شده است که باعث شکل‌گیری

الف)



ب)

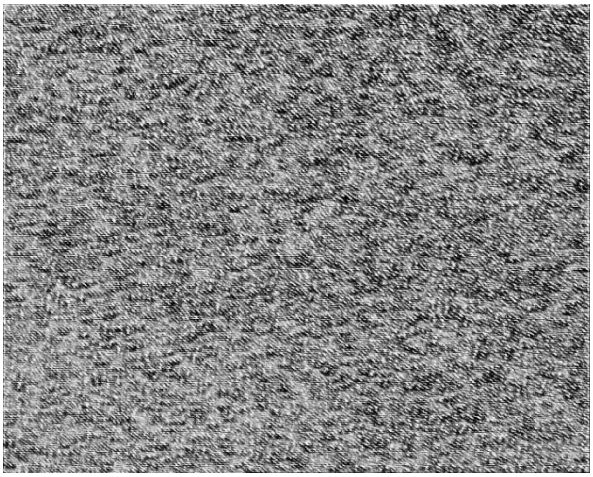


شکل ۱: چیدمان ضبط تمام‌نگاشت دیجیتال. الف)طرح شماتیک، ⊙ و ↕، به ترتیب نشان‌دهنده قطبش‌های نوع s و p باریکه لیزر هستند. ب) چیدمان تجربی مورد استفاده در آزمایشگاه، PBS شکافنده باریکه قطبش‌گر، λ/۲ تیغه نیم‌موج، BS شکافنده باریکه غیر قطبش‌گر، SF صافی فضایی، PM آینه پیزوالکتریک، L عدسی، M آینه، O جسم. طول موج لیزر و توان آن به ترتیب ۶۳۲/۸ نانومتر و ۱۰ میلی وات است.

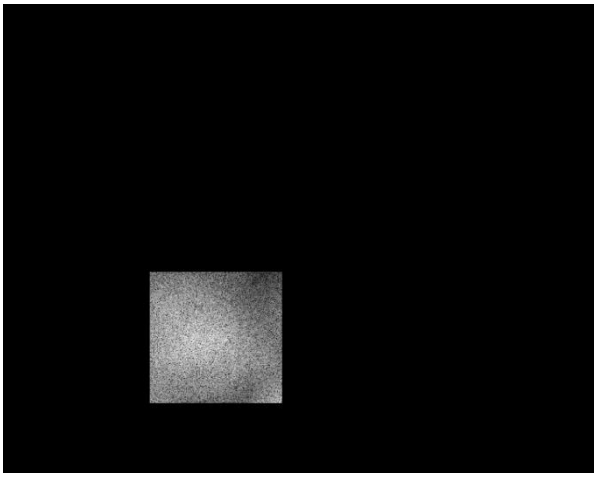
تصویر مزدوج می‌شود. جمله سوم نیز تصویر واقعی را بر جای می-گذارد. علاوه براین بایستی دقت داشت که درصورت وجود بازتابش-های ناخواسته در قطعات نوری مسیر چیدمان، جمله‌های نوفه نیز در تمام‌نگاشت ثبت شده توسط CCD وجود داشته و به رابطه (۲) افزوده خواهند شد.

برای حذف جمله دوم رابطه (۱)، یعنی برای حذف تصویر مزدوج، امکان استفاده از صافی‌هایی که به صورت مستقیم روی ماتریس تمام‌نگاشت h اعمال شوند وجود نخواهد داشت. به منظور دست‌یابی به این هدف می‌توان از پالایش ماتریس تمام‌نگاشت در فضای فوریه، یا فضای بسامد بهره جست.

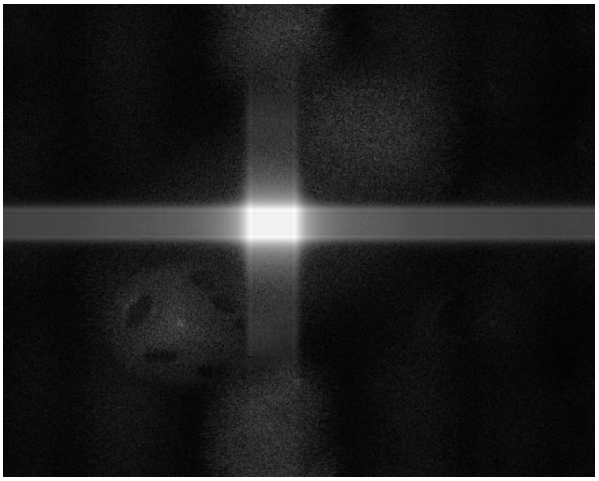
[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]



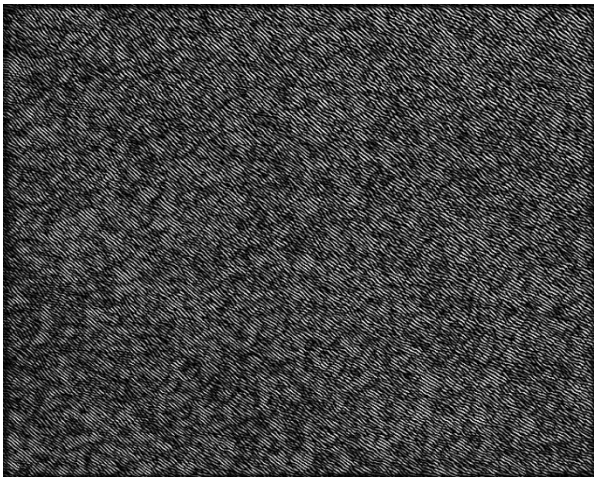
(الف)



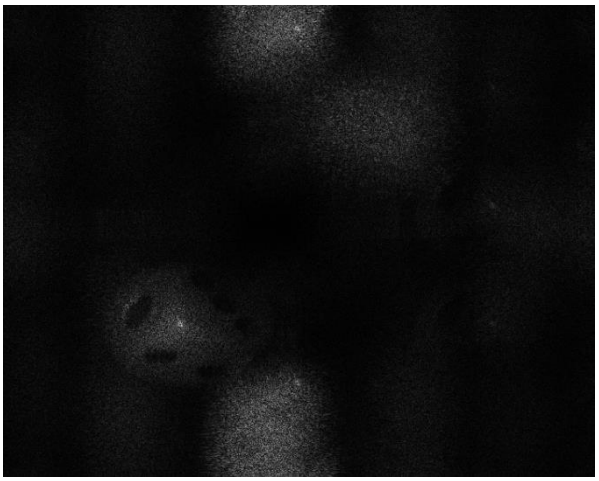
(د)



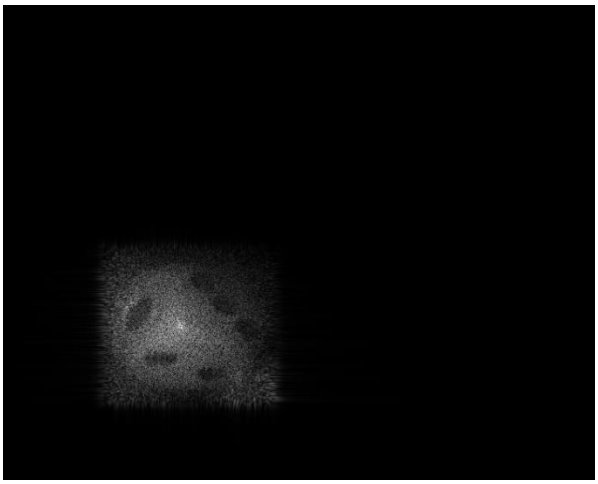
(ب)



(ه)



(ج)



(و)

شکل ۳: الف) تمام‌نگشت ذخیره شده توسط CCD ب) بازسازی عددی تمام‌نگاشت به روش فرنل ج) تصویر بازسازی شده با استفاده از صافی میانگین ۳×۳ د) تبدیل فوریه تمام‌نگاشت پس از اعمال صافی شفاف ه) تمام‌نگاشت پس از پالایش در فضای فوریه و بازگشت به فضای مکان و) تصویر نهایی بازسازی شده بدون وجود نوفه و تصویر مزدوج جسم.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

۴- نتایج

در شکل ۳-الف تصویر تمام‌نگاشت ثبت شده توسط CCD و در شکل ۳-ب تصویر بازسازی شده آن را می‌توان مشاهده کرد. بازسازی با استفاده از تبدیل فرنل و بدون هیچگونه پالایش به انجام رسیده است. پراش مرتبه صفر به صورت لکه نورانی در مرکز شکل ۳-ب مشخص است.

تصویر مزدوج جسم نیز به صورت هاله‌ای کم‌رنگ درحالت قرینه نسبت به مرکز شکل قرار گرفته است. هاله‌های نورانی کم‌رنگ در بالا و پائین شکل نیز حاصل از نوفه موجود به هنگام ثبت تصویر تمام‌نگاشت می‌باشند. شکل ۳-ج با پالایش تصویر توسط صافی میانگین ۳×۳ به دست آمده است. استفاده از این نوع صافی باعث حذف مؤثر پراش مرتبه صفر از وسط تصویر شده است [۴]. با حذف مؤثر پراش مرتبه صفر، نوفه حاصل از آن در محل تصویر واقعی جسم نیز حذف خواهد شد. این نکته با دقت در تصاویر ۳-ب و ۳-ج قابل مشاهده است. بنابراین استفاده از صافی ۳×۳ روی تمام‌نگاشت پیش از انتقال آن به فضای فرکانس، باعث خواهد شد که بسامدهای جدا شده مربوط به تصویر واقعی جسم از تبدیل فوریه تمام‌نگاشت باشد و نوفه حاصل از پراش مرتبه صفر به میزان قابل توجهی کاهش یابد. در شکل۳-د نتیجه حاصل از اعمال صافی شفاف روی تبدیل فوریه تمام‌نگاشت قابل مشاهده است. برای به دست آوردن این شکل، صافی شفافی از نوع زیر در ماتریس تبدیل فوریه شکل ۳- الف ضرب شده است.

$$\begin{bmatrix} \cdot & & \cdots & & \cdots & \cdot \\ \vdots & & \cdots & & \cdots & \vdots \\ & ۱ & ۱ & ۱ & & \\ \vdots & ۱ & ۱ & ۱ & \cdots & \vdots \\ & ۱ & ۱ & ۱ & & \\ \cdot & & \cdots & & \cdots & \cdot \end{bmatrix}$$

تعداد عناصر ۱ در این ماتریس متناظر با ابعاد تصویر تاس در شکل ۳-ج انتخاب می‌شوند. شکل ۳-ه با محاسبه تبدیل فوریه وارون شکل ۳-د به دست آمده است. در حقیقت، شکل ۳-ه با پالایش شکل ۳-الف، یا تصویر تمام‌نگاشت ذخیره شده توسط CCD، در فضای فوریه به دست آمده است. در انتها با محاسبه تبدیل فرنل شکل ۳-ه، شکل ۳-و به دست آمده است. با مقایسه شکل ۳-و با شکل ۳-ب می‌توان به افزایش میزان وضوح تصویر پی برد. همان طور که در شکل‌های ۳-الف و ۳-ه (تمام‌نگاشت قبل و پس از پالایش) مشاهده می شود، پیش از پالایش، تمام‌نگاشت ثبت شده توسط CCD حاوی نوفه‌های بسیاری است که

که رؤیت نوارهای تداخلی روی سطح آن را دشوار می‌سازد. پس از پالایش متوالی آن در فضاهای مکان و فرکانس با استفاده از صافی‌های میانگین ۳×۳ و شفاف، در تمام‌نگاشت حاصل نوفه ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته‌اند و نوارهای تداخلی روی سطح آن به وضوح قابل مشاهده می‌باشند.

۵- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این کار، فراهم کردن شرایط اولیه و کالیبره کردن چیدمان تمام‌نگاری دیجیتال به منظور استفاده از آن در کاربردهای میکروسکوپی است[۶]. به این منظور باید پراش مرتبه صفر، تصویر مزدوج و نوفه‌های ناخواسته تجربی را از فریم‌های متوالی دریافتی توسط CCD حذف کرد تا درنهایت بتوان فیلم بازسازی شده جسم را بدون هرگونه نوفه مزاحم، مشاهده نمود. در این‌کار با استفاده از نتایج کار گذشته و با افزودن یک مرحله جدید پالایش تصویر در فضای فوریه، علاوه بر حذف مؤثر پراش مرتبه صفر، تصویر مزدوج جسم و نوفه‌های ناخواسته نیز حذف شده‌اند. نتیجه نهایی پالایش تصویر در فضاهای مکان و بسامد با حذف مؤثر نوفه‌ها از سطح تمام-نگاشت و مشاهده نوارهای تداخلی روی سطح آن قابل مشاهده است. بسته به میزان جزییات جسم این نوع پالایش ممکن است برخی فرکانس های مربوط به جزییات جسم را نیز حذف کند. نتایج ارائه شده در این کار را می‌توان با اندکی تغییر در زمینه‌های گوناگون مرتبط با پردازش تصاویر طرحهای تداخلی نوری، تصاویر پزشکی و سیگنال‌های الکترونیک به کار گرفت.

مراجع

[۱] Gabor D., "*A new microscopic principle*" Nature **۱۶۱**, ۷۷۷–۷۷۸ (۱۹۴۸).

[۲] Leith E. N., & Upatnieks, J., "*Reconstructed wavefronts and communication theory*" JOSA **۵۲**(۱۰), ۱۱۲۳-۱۱۲۸ (۱۹۶۲).

[۳] Schnars U. and Jüptner W., "*Direct recording of holograms by a CCD target and numerical reconstruction*", App. Opt. **۳۳**(۲), ۱۷۹-۱۸۱ (۱۹۹۴).

[۴] رشیدیان وزیری، محمدرضا؛ پرتوی شبستری، ناصر؛ علیدخت، عیسی؛ زارع فارسانی، بهاره؛ " *حذف پراش مرتبه صفر در تصاویر بازسازی شده به روش تمام‌نگاری دیجیتال*"، سومین کنفرانس لیزر و کاربردهای آن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (۱۳۹۳).

[۵] Kreis T., "*Handbook of Holographic Interferometry Optical and Digital Methods", John Wiley & Sons, pp۱۷۰-۱۰۸* (۲۰۰۵).

[۶] Myung K. Kim, "*Principles and techniques of digital holographic microscopy*", SPIE Reviews ۱: ۰۱۸۰۰۵ (۲۰۱۰).

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]