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

بازیابی تصویر در سیستم‌های تصویربردار از زیر آب بر مبنای روش واپیچش فوریه-موجک

سید علی اصغر عسکری، لاله رحیمی

پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین‌شهر، اصفهان

چکیده - جذب و پراکندگی از آب و ذرات معلق در آب از عواملی هستند که عملکرد سیستم‌های تصویربردار از زیر آب را محدود می‌نمایند. تصاویر دریافتی درنتیجه‌ی این عوامل مات و نوفه‌ای خواهند بود. برای بازیابی تصویر از روش واپیچش فوریه استفاده شده است. روش واپیچش روشی حساس به نوفه است و در حین واپیچش، نوفه به شدت تقویت می‌گردد. برای بازیابی مناسب تصاویر و افزایش ناحیه‌ی کاری سیستم‌های تصویربردار از زیر آب، پالایه تیخونوف-موجک استفاده شده است. شبیه‌سازی‌های انجام گرفته نشان دهنده‌ی این است که این روش به خوبی قادر به بازیابی تصاویر دریافتی و کاهش اثرات محیطی است.

کلید واژه- تصویر برداری از زیر آب، موجک، واپیچش.

Image retrieving in underwater optical imaging systems based on Fourier-wavelet deconvolution

Ali Asghar Askari, and Lale Rahimi

Optics & Laser Research Center, University Institute of Applied Sciences, Malek-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract- Absorption and scattering of water and in-water particles are two main factors that limit the performance of underwater optical imaging systems. Captured images of underwater imaging systems are blurred and noisy due to these effects. Fourier deconvolution was used to retrieve the original images. Deconvolution is a noise sensitive process. To suppress noise amplification during deconvolution, Tikhonov-wavelet filter has been used to deconvolve and denoise the captured image, simultaneously. Simulations show that this method is an efficient technique to extend the dynamic range of underwater optical imaging systems.

Keywords: underwater optical imaging, wavelet, deconvolution

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]

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

۱- مقدمه

امروزه تصویربرداری نوری از زیرآب توسط طیف وسیعی شامل محققان علوم دریا برای مطالعه‌ی ساختارها و موجودات زیر آب، شرکت‌های نفت و گاز و مخابرات به منظور پایش خطوط انتقال سوخت و کابل‌های مخابراتی و مراکز نظامی برای تشخیص مین‌های دریایی و زیردریایی‌ها استفاده می‌شود.

جذب و پراکندگی شدید نور در آب که قسمتی از آن ناشی از محیط آب و بخش دیگر نیز بواسطه ذرات معلق در آب است، از عوامل محدود کننده‌ی سیستم‌های تصویر بردار از زیر آب هستند. درحالی‌که جذب نور در آب موجب کاهش نسبت سیگنال به نوفه می‌گردد، پراکندگی رو به جلو موجب مات شدن تصویر و رو به عقب موجب کاهش نمایانی تصاویر دریافتی خواهند شد.

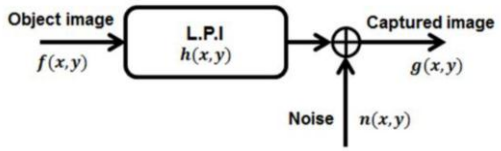
به منظور افزایش کیفیت تصاویر دریافتی از زیر آب روش‌های تجربی مانند استفاده از آشکارسازهای با قابلیت گیت‌شدن، مدوله نمودن چشمه‌ی لیزری با امواج رادیویی و تصویربرداری قطبشی مورد استفاده قرار گرفته است[۱]. علاوه بر روش‌های تجربی سخت‌افزاری، روش‌های نرم‌افزاری مبتنی بر پردازش تصویر نیز به منظور افزایش محدوده‌ی کاری سیستم‌های تصویربردار از زیر آب استفاده شده است[۲].

در دسته‌ای از کارها، از ویژگی‌های تصاویر دریافتی بدون در نظر گرفتن عوامل ایجاد کننده‌ی اختلالات ایجاد شده، برای بهبود کیفیت استفاده شده است. گروه دیگری از روش‌ها مبتنی بر درنظر گرفتن خواص اپتیکی ذاتی و غیر ذاتی آب هستند. مدل‌سازی آب با سیستم‌های خطی ناوردای مکانی[1] و بازیابی تصویر به شیوه‌ی واپیچش یکی از پیشنهادهای هوشمندانه‌ای است که ارایه شده و بسیاری از روش‌های بازیابی تصویر مانند واپیچش کور[2] و پالایه واینر[3] بر پایه‌ی آن استوار شده است[۳].

یکی از مشکلات روش‌های واپیچش فوریه مانند واینر این است که این روش‌ها برای تصاویر دارای تکینگی، که انرژی بر روی تعداد زیادی از ضرایب فوریه توزیع می‌شود، کارایی چندانی ندارد. به همین منظور در این مقاله علاوه بر واپیچش فوریه‌ای، از بسط تصویر در پایه‌های موجک، برای بازیابی تصاویر از نمونه‌ی مات و نوفه‌ای آن، استفاده شده است.

۲- تئوری

بنابر نظریه‌ی سیستم‌های خطی ناوردای مکانی، شکل‌گیری تصویر در محیط آب مطابق آنچه در شکل ۱ نشان داده شده است، توصیف می‌گردد.



شکل ۱: شکل‌گیری تصویر در سیستم‌های تصویر بردار از زیر آب بر اساس سیستم‌های خطی ناوردای مکانی.

بر این اساس، تصویر اصلی از جسم یا صحنه‌ی مورد نظر، $f(x,y)$، در عبور از محیط آب و اجزای سیستم تصویربردار توسط تابع گسترش نقطه‌ای، $h(x,y)$، مختل می‌شود. در نهایت تصویر ثبت شده، $g(x,y)$، تصویر مختل شده‌ای است که به نوفه‌ی ناشی از محیط و آشکارساز، $n(x,y)$، آغشته شده است. بر اساس نظریه‌ی سیستم‌های خطی ناوردای مکانی رابطه‌ی بین تصویر اصلی، تابع گسترش نقطه‌ای، تصویر دریافتی و نوفه به صورت

$$g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) + n(x,y) \qquad (۱)$$

است که * عملگر پیچش است. هدف محاسبه‌ی تصویر اصلی، f، از تصویر مختل شده و آغشته به نوفه‌ی، g، است.

در حوزه‌ی فرکانس رابطه‌ی اخیر را می‌توان به صورت

$$G(u,v) = F(u,v)\,H(u,v) + N(u,v) \qquad (۲)$$

نوشت که (u,v) فرکانس مکانی و G، H، F و N به ترتیب تبدیلات فوریه g، h، f و n می‌باشند. با صرفنظر کردن از اثرات سیستم اپتیکی بر تصاویر دریافتی و مطابق با

[1] Linear Position Invariant(L.P.I)
[2] Blind deconvolution
[3] Wiener filter

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]

تقریب پراکندگی زاویه کوچک[1]، برای تابع H که به تابع انتقال اپتیکی نیز معروف است، رابطه‌ی[۴]

$$H(\chi,R)=\exp\left\{-cR+bR\left[\frac{1-\exp(-2\pi\theta_0\chi)}{2\pi\theta_0\chi}\right]\right\} \quad (۳)$$

را داریم. $\chi=(u^2+v^2)^{1/2}$، c، b و R به‌ترتیب فرکانس زاویه‌ای فضایی بر حسب سیکل بر رادیان، ضریب جذب، ضریب پراکندگی و فاصله می‌باشند. θ_0 میانگین زاویه پراکندگی تک‌گانه و مقدار آن حدود ۰/۰۳ رادیان است.

مطابق رابطه‌ی (۲)، یک تخمین از تصویر اصلی، $\hat{f}$ به صورت

$$\hat{f}(x,y)=\mathcal{F}^{-1}\left[F(u,v)\right]+\mathcal{F}^{-1}\left[\frac{N(u,v)}{H(u,v)}\right] \quad (۴)$$

خواهد بود که $\mathcal{F}$ عملگر تبدیل فوریه است. مطابق این رابطه، در غیاب نوفه، تصویر اصلی به طور کامل قابل بازیابی است. با این حال در حالت واقعی که تصویر دریافتی آغشته به نوفه است، تخمین حاصله، تصویر اصلی و مختل نشده‌ای است که یک نوفه‌ی تقویت شده به‌طور کامل آن را پوشانده است(جمله‌ی دوم رابطه‌ی (۴)).

برای جلوگیری از فرایند تقویت نوفه در حین واپیچش از پالایه‌ی واینر، H_{wi}، به صورت

$$\hat{F}_{wi}(u,v)=\hat{F}(u,v)H_{wi}(u,v)= F(u,v)H_{wi}(u,v)+\frac{N(u,v)}{H(u,v)}H_{wi}(u,v) \quad (۵)$$

$$H_{wi}(u,v)=\frac{|H(u,v)|^2}{|H(u,v)|^2+\frac{S_n}{S_f}} \quad (۶)$$

می‌توان سود برد. $S_{n(f)}$ توان طیفی نوفه (تصویر اصلی) است. پالایه‌ی کاربردی‌تر در این زمینه پالایه‌ی تیخونوف[2]است که در آن جمله‌ی نامعلوم S_n/S_f با یک پارامتر ثابت τ جایگزین می‌گردد.

اندازه‌ی τ مقدار مات بودن یا مقدار نوفه‌ی تصویر را کنترل می‌کند. درحالی‌که برای مقادیر کوچک τ تصاویری نوفه‌ای و با ماتی کم بدست می‌آید، مقادیر بزرگ τ تصاویر با نوفه‌ی کم و مات را نتیجه می‌دهد. به عبارتی مقدار پارامتر τ پهنای باند پالایه‌ی پایین گذر تیخونوف را تعیین می‌نماید.

مطابق رابطه‌ی ۵، پالایه‌ی واینر (یا تیخونوف) برای بازیابی تصاویر با جزئیات زیاد مناسب نیست. زیرا انرژی این گونه تصاویر بر روی تعداد زیادی از ضرایب بسط فوریه توزیع می‌گردد و پالایه‌ی پایین‌گذر تیخونوف موجب حذف تعداد زیادی از این ضرایب خواهد شد.

بر خلاف تبدیل فوریه، تبدیل موجک برای بسط تصاویر دارای تکینگی بسیار مناسب است. تبدیل موجک گسسته تصویر g برحسب یک تابع مقیاس دوبعدی $\varphi(x,y)$ و سه تابع موجک دو بعدی جهتمند $\psi^i(x,y),\{i=H,V,D\}$ که H، V و D به ترتیب نشانگر جهت‌های افقی، عمودی و قطری هستند، به صورت

$$\hat{g}^J(x,y)=\sum_m\sum_n W_\varphi(j_0,m,n)\varphi_{j_0,m,n}(x,y) +\sum_i\sum_{j=j_0}^{J}\sum_m\sum_n W_\psi^i(j,m,n)\psi^i_{j,m,n}(x,y) \quad (۷)$$
$$i=\{H,V,D\}$$

نشان داده می‌شود[۵]. در این رابطه ضرایب مقیاس به صورت $W_\varphi=<g,\varphi_{j_0,m,n}>$ و ضرایب موجک به صورت $W_{\psi^j}=<g,\psi^i_{j,m,n}>$ هستند. همچنین پایه‌های بسط مقیاس $\varphi_{j,m,n}(x,y)=2^{j/2}\varphi(2^jx-m,2^jy-n)$ و موجک $\psi^i_{j,m,n}(x,y)=2^{j/2}\psi^i(2^jx-m,2^jy-n)$ می‌باشند.

پس از بسط تصویر در پایه‌های موجک می‌توان با قرار دادن یک حد آستانه‌ی مناسب ضرایب کوچک، که عمدتا مربوط به نوفه هستند، را حذف نمود، و با اعمال عملگر عکس تبدیل موجک تصویر با نوفه‌ی کم را بدست آورد.

از آن‌جایی‌که تبدیل موجک برای نمایش نوفه مناسب نیست، برای بازیابی مناسب یک تصویر از هردو پالایه‌ی تیخونوف و موجک استفاده می‌نماییم. برای این منظور

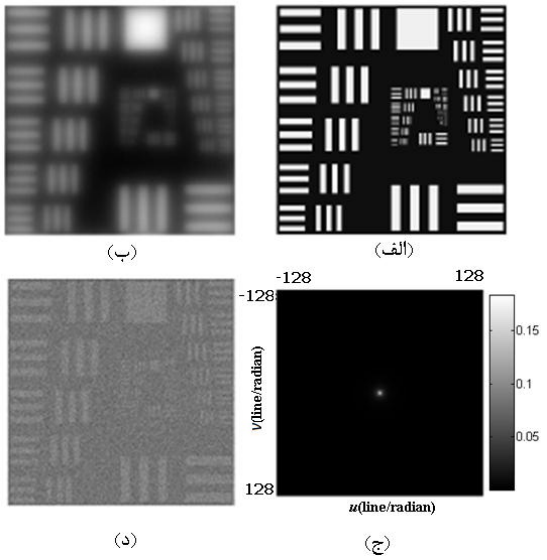
[1]Small angle scattering
[2]Tikhonov filter

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]

ابتدا مطابق رابطه‌ی (۵) تصویر گرفته شده را با یک مقدار کوچک τ از پالایه‌ی تیخونوف عبور می‌دهیم. نتیجه‌ی این کار داشتن یک تصویر با درجه‌ی ماتی کم و نوفه‌ی به نسبت زیاد است. نوفه‌های باقی مانده بر تصویر به کمک تبدیل موجک و انتخاب حد آستانه‌ی مناسب تا اندازه‌ی بسیار زیادی قابل کاهش می‌باشند.

۳- شبیه‌سازی‌ها و نتایج

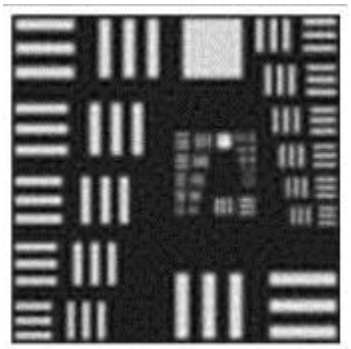
به منظور بررسی عملکرد روش تیخونوف-موجک در بازیابی تصاویر از زیر آب، جسمی به ابعاد ۲×۲ متر در نظر گرفته شده است (شکل ۲-الف). تصویر شبیه‌سازی شده از این جسم در زیر آب بر اساس روابط (۱) تا (۳)، در شکل ۲-ب نشان داده شده است. فاصله‌ی جسم تا سیستم تصویربردار ۲۵ متر و میدان دید سیستم نیز ۵ درجه فرض شده است. این میدان دید کوچک استفاده از تقریب پراکندگی تک‌گانه را ممکن می‌سازد. مقادیر ضرایب میرایی و پراکندگی به ترتیب ۰/۳ بر متر و ۰/۲۴ بر متر در نظر گرفته شده است.



شکل ۲: الف-جسم مورد مطالعه به ابعاد ۲×۲ متر. ب- تصویر شبیه‌سازی شده از جسم در فاصله‌ی ۲۵ متری از یک سیستم تصویربردار از زیر آب با میدان دید ۵ درجه با نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۲۵ dB. ج- تابع انتقال آب در فاصله‌ی ۲۵ متری با ضریب میرایی ۰/۳ بر متر و ضریب پراکندگی ۰/۲۴ بر متر. د- تصویر بازیابی شده به کمک روش واپیچش.

همچنین یک نوفه با توزیع گاوسی به تصویر اضافه شده است به نحوی که نسبت سیگنال به نوفه ۲۵dB باشد. تابع انتقال محیط برای فاصله‌ی ۲۵ متر در شکل ۲-ج نشان داده شده است. با توجه به این که تابع انتقال، یک پالایه‌ی پایین‌گذر است، تصویر دریافتی مات می‌شود. نتیجه‌ی استفاده از روش واپیچش (رابطه‌ی (۴)) که یک تصویر غیرمات ولی با نوفه‌ی تقویت شده می‌باشد در شکل ۲-د آمده است.

برای جلوگیری از تقویت نوفه در حین واپیچش از پالایه‌ی تیخونوف-موجک استفاده شده و نتایج در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: تصویر بازیابی شده با استفاده از پالایه‌ی تیخونوف-موجک.

در بازیابی تصویر به روش تیخونوف-موجک، موجک symlet7 و مقدار τ نیز $۱/۰۵ \times ۱۰^{-۵}$ انتخاب شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کیفیت تصویر بدست آمده از این روش در مقایسه با تصویر گرفته شده به مراتب بهتر است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله استفاده از یک پالایه‌ی ترکیبی تیخونوف-موجک برای بازیابی تصاویر دریافتی سیستم‌های تصویربردار از زیر آب پیشنهاد شده است. شبیه‌سازی‌های انجام گرفته نشان‌گر این است که این روش به خوبی قادر به اصلاح اثرات مخرب محیط بر تصاویر دریافتی می‌باشد.

مراجع

[1] Cochenour B., Mullen L., Muth J., *Modulated pulse laser with pseudorandom coding capabilities for underwater ranging, detection, and imaging*, **Appl. Opt.** 50 (2011) 6168-6178.

[2] Prabhakar C. J., Praveen Kumar P. U., *An image based technique for enhancement of underwater images*, **Int. J. Mach. Intell.** 3 (2011) 217-224.

[3] Fan F *et al.*, *Underwater image restoration by means of blind deconvolution approach*, **Front. Optoelectron. China** 3 (2010) 169–178.

[4] Wells W. H., *Theory of small angle scattering*, **AGARD Lec.** 61 (1973).

[5] Mallat S., *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 1998.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]