

تخمین پارامتر شکل طنین آکوستیکی با توزیع آماری K

عباس فتح تبار^{۱*}، علیرضا جعفری^۲

۱. کارشناسی ارشد، مهندسی برق، مخابرات، محقق پردازش سیگنال، سازمان تحقیقات تهران

۲. کارشناسی ارشد، مهندسی کامپیوتر، نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

*نویسنده مسئول: a.fathtabar@yahoo.com

چکیده:

سامانه سوناری یکی از ابزارهای آشکار سازی متحرک های دریایی نظیر شناورهای تندرو است. در آشکار سازی شناورها، به علت سرعت بالای متحرک، سیگنال دریافتی با نویزهای محیطی ترکیب می شود و بنابراین شناخت پارامترهای محیط برای سامانه لازم است. محیط زیر آب یک محیط پیچیده است که متأثر از عوامل فیزیکی مختلف بوده و به دلیل ماهیت غیر ایستادن و غیرخطی پدیده ها، بررسی همه پارامترهای مؤثر بر موج صوتی، کاری بسیار دشوار یا ناممکن است. اما برای تحلیل پدیده های آکوستیکی، نظیر نحوه انتشار موج، نحوه تضعیف سیگنال در برخورد به سطوح مختلف و مدل سازی کانال، طبق تئوری های فیزیک و ریاضی، تحلیل های آماری مختلفی ارائه شدند. یکی از این مدل ها، مدل توزیع احتمال کا (K) است که در بررسی سیگنال طنین آکوستیکی زیر آب کاربرد دارد. در این مقاله، یک سناریوی کانال صوتی شبیه سازی شده و سیگنال طنین با توزیع کا تولید شده است. سپس از روی داده و بر اساس برازش منحنی تابع توزیع تجمعی آن، پارامتر توزیع کا با استفاده از الگوریتم بهینه سازی تخمین زده شده است. مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش ها، برتری روش پیشنهادی را نشان می دهد.

واژه های کلیدی:

طنین آکوستیکی، تابع چگالی احتمال، توزیع آماری کا، تخمین پارامتر، الگوریتم بهینه سازی.

Shape Parameter Estimation of the K Distribution in Acoustic Reverberation

Abbas Fathtabar^{*1}, Alireza Jafari²

1 M.Sc., Electrical Engineering, Telecommunications, Signal Processing Researcher, Tehran Research Organization

2 Computer Engineering, Software, Islamic Azad University, Tehran

* Corresponding author: a.fathtabar@yahoo.com

Abstract:

The sonar system is one of the tools for detecting moving marine vessels such as high speed crafts. In marine vessels detection, due to the high speed of movement, the received signal is combined with ambient noise and affected by multi path, therefore it is necessary for the system to know the environmental parameters. The underwater environment is a complex environment that is affected by various physical factors and due to the non-stationary and nonlinear nature of the phenomena, it is very difficult or impossible to study all the parameters affecting the sound wave. But for the analysis of acoustic phenomena, such as how the wave propagates, how the signal attenuates in dealing with different surfaces and channel modeling, according to theories of physics and mathematics, different statistical analyzes were presented. One of these models is the K probability distribution model, which is used to study the underwater acoustic reverberation. In this paper, a scenario of underwater channel reverberation are simulated and a resonant signal with k distribution are generated. Then, based on the fitting of the curve of its cumulative distribution function, the k distribution parameter is estimated using the optimization algorithm. The proposed method is compared with the some methods such as maximum likelihood method, the method of moment and the zlogz method, which the results of the analysis show the superiority of the proposed method over other methods.

Keyword: Acoustic reverberation, probability density function, statistical k distribution, parameter estimation, optimization algorithm

امروزه سونار یک سامانه معمول برای آشکارسازی اهداف سطحی به ویژه هدف‌های متحرک کوچک دریایی (شناورهای تندرو) به شمار می‌رود. در سامانه سونار فعال داشتن پارامترهای محیطی از سیگنال‌های طنین که به صورت سیگنال مخرب در سیگنال دریافتی اثر می‌گذارد؛ یکی از شروط اصلی و لازم در آستانه‌گذاری و آشکارسازی است. طنین، نویز ناخواسته‌ای است که از پراکندگی صوت ناشی شده و علت آن بی‌نظمی‌های سطح و کف اقیانوس، ناهمگونی‌های داخل محیط و تجزیه سیگنال ناشی از سرعت متغیر صوت است. تعریف کلی از طنین، به این صورت است که طنین هر انرژی از نوع انرژی مربوط به فرستنده است که بعد از تولید، توسط فرستنده دریافت می‌شود و در عین حال این انرژی توسط هدف، بازتاب نشده است و منشأ دیگری دارد. برای بررسی اثرات کانال آکوستیکی بر سیگنال ارسالی، توزیع‌های آماری مختلفی با توجه به پدیده‌های فیزیکی حاکم بر مسئله ارائه می‌شود. به عنوان مثال، مدل رایسین، مدل سیگنال دریافتی از یک محیط چندمسیره با فرض وجود مسیر مستقیم بین فرستنده و گیرنده است [۱]، یا مدل محوشدگی لوگ-نرمال-رایلی^۱، می‌تواند برای حالتی باشد که در آن، سیگنال چندمسیرگی، یک مدل ترکیبی متشکل از اثر سایه، با توزیع لوگ نرمال و اثر رایلی ناشی از چندمسیرگی است [۲]. در سونارهای رزولوشن بالا، طنین، نتیجه یک ترکیب منسجم از بازتاب تعدادی پراکنده‌ساز نقطه‌ای است [۳-۴]. در [۵]، طنین بازگشتی از یک قطعه^۲ روی سطح یا کف دریا را محصول دو متغیر ترکیبی از زبری با مقیاس کوچک (با توزیع نمایی برای چگالی طیف انرژی از یک دامنه گوسی) و زبری با مقیاس بزرگ (با توزیع مربع کای) در نظر گرفته است. دامنه محوشوندگی طنین نیز دارای دنباله‌ای طولانی‌تر^۳ از توزیع رایلی است و از این رو در پردازش سیگنال‌های طنین، مدل آماری آن با دیگر

مدل‌های محوشدگی متمایز است. یکی از اصلی‌ترین روش‌های مدل‌سازی طنین آکوستیکی، توزیع آماری کا است. این توزیع در داده‌های کلاتر دریا از یک رادار باند X نیز مشاهده می‌شود [۶-۷]. در بیان و مدل‌سازی طنین مقالاتی مختلفی ارائه شده است. Ward [۸] در نظریه پراکندگی ترکیبی خود از مدل توزیع کا، برای طنین استفاده نمود و بیان نمود که طنین می‌تواند به عنوان محصول دو مؤلفه با زمان همبستگی متفاوت مدل‌سازی شود. در [۹]، بر اساس تئوری پرتو صوتی با استفاده از مدل واحد پراکندگی، روشی برای تولید عددی سری‌های زمانی طنین غیر ایستادن ارائه شده و در آن، تأثیر عواملی نظیر پارامترهای سونار، نوع و شکل و طول و توان پالس، محیط انتشار، توان برگشتی، در تولید طنین ناشی از کف و یا سطح آب بررسی گردید. در [۱۰]، روش معادله پارابولیک دو-جهتی، برای مدل کردن طنین سطح ناهموار استفاده شده است. در این مدل، برای دامنه‌ی ناهمواری با توزیع غیر گوسی، آمارگان پوش طنین دارای توزیعی با دنباله‌ای طولانی‌تر است. مرجع [۱۱] نیز توزیع کا را برای سیگنال خروجی فیلتر تطبیق سونار به کار برد. پوش خروجی فیلتر تطبیقی یک مدل گام تصادفی دوبعدی بوده و دامنه‌های تصادفی با توزیع نمایی در مدل آماری گام تصادفی، منجر به پوش‌های با توزیع کا شده است. استفاده از توزیع نمایی اغلب برای توصیف توزیع اندازه اشیاء طبیعی استفاده شده و بنابراین می‌تواند یک مدل معتبر برای اندازه پراکندگی باشد.

برای شناسایی اهداف در حضور طنین، بایستی پارامترهای آماری آن را به خوبی تخمین زد. در سونار فعال هم، طنین مانند کلاتر ظاهر شده و لذا داشتن پارامتر طنین برای بهینه کردن الگوریتم‌های آشکارسازی و کاربردهایی همچون آشکارسازی شناورهای تندرو یک ضرورت به شمار می‌رود. در سیستم‌های آکوستیکی تشخیص هدف، عملکرد سیستم از طریق احتمال هشدار نادرست یا PFA ^۴ به تابع چگالی احتمال وابسته است. برای آشکارسازهای آستانه‌ی پوش، تابع چگالی احتمال با $1-F$ به PFA ربط پیدا می‌کند

³ Heavy tail

⁴ Probability of False Alarms

* نویسنده پاسخگو: a.fathtabar@yahoo.com

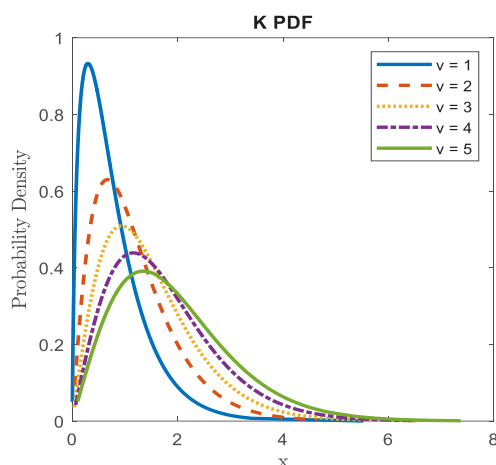
¹ Lognormal- Rayleigh

² Patch

پوش سیگنال طنین با توزیع کا، دارای تابع چگالی احتمال زیر است:

$$f(x; v; \alpha) = \frac{2}{\alpha \Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2\alpha}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{\alpha}\right) x \quad (1) \quad > 0$$

که K_v تابع بسل اصلاح شده از مرتبه v است و $\alpha = \sqrt{\pi}/2b$ پارامتر مقیاس، b پارامتر مقیاس یک توزیع کای^۳ و v پارامتر شکل برای توزیع کا است. در سامانه‌های راداری و سوناری با رزولوشن بالا، معمولاً، پارامتر شکل v ، در محدوده $0.1 < v < \infty$ قرار دارد [۲۰]. برای $\alpha = 1$ و مقادیر مختلف پارامتر شکل، نمودار تابع چگالی احتمال توزیع کا، به صورت شکل (۱) نمایش داده می‌شود.



شکل ۱- تابع چگالی احتمال K ، به ازای تغییرات پارامتر شکل

در توزیع کا، توان طنین وابسته به پارامتر مقیاس و مقدار قله آن وابسته به پارامتر شکل می‌باشد. همان طور که در شکل ۱، مشاهده می‌شود؛ برای مقادیر کوچک‌تر از پارامتر شکل، دامنه طنین دارای مقدار قله بزرگ‌تری است و در v های بزرگ‌تر، قله‌ی دامنه صاف‌تر می‌شود و وقتی این مقدار به سمت بی‌نهایت می‌رود؛ این توزیع، تقریباً مشابه توزیع رایلی می‌شود.

۳- روش‌های تخمین پارامتر توزیع کا

یکی از روش‌های تخمین پارامترهای توزیع کا، استفاده از روش حداکثر تشابه^۴ ML است [۲۲]. با فرض

که F تابع توزیع تجمعی^۱ (CDF) مرتبط با تابع چگالی احتمال^۲ (PDF) است [۲۱]. روش‌های مختلفی برای تخمین پارامتر مدل آماری کا، در توصیف کلاتر و طنین ارائه شده است [۱۲-۱۳]. از روش‌های رایج تخمین پارامتر توزیع کا، می‌توان به روش حداکثر تشابه، اشاره نمود [۱۴]. روش دیگر روش ممان است که دارای دقت خوبی است. در [۱۵] از روش ترکیبی حداکثر شباهت و روش ممان استفاده شده است. در [۱۶] با استفاده از تابع مشخصه تجربی، پارامترهای مدل کا تخمین زده شده است. در [۱۷]، مسئله غیرخطی تخمین پارامتر بصورت مسئله خطی در آمده است؛ سپس پارامتر توزیع کا با استفاده از شبکه عصبی دو لایه و ممان‌های سوم و چهارم محاسبه شده است. در [۱۸] روش دیگری به نام روش z -log- z ارائه شده است، که بر پایه لگاریتم متغیر تصادفی، پارامتر توزیع کا را محاسبه می‌کند.

مسأله‌ی تحقیق فعلی، پیدا کردن پارامتر محیطی طنین آکوستیکی، از طریق پردازش سیگنال دریافتی سوناری است. در این مقاله روشی برای تخمین پارامتر شکل توزیع کا، براساس توزیع تجمعی تجربی ارائه می‌شود. در این روش براساس پوش سیگنال طنین، تابع توزیع تجمعی محاسبه و با تابع توزیع تجمعی استاندارد از مدل کا، تطبیق داده می‌شود. برای برازش بهترین تابع تجمعی، پارامتر شکل، از طریق بهینه‌سازی محاسبه شده و با پیدا شدن بهینه‌ترین مقدار برای این پارامتر، مقدار تابع خطا در الگوریتم بهینه‌سازی کمینه می‌شود. ادامه‌ی مقاله، به صورت زیر است؛ در بخش دوم تابع چگالی احتمال تشریح می‌گردد. در بخش سوم، روش‌های تخمین پارامتر توزیع کا بررسی شده و در بخش چهارم روش پیشنهادی بیان خواهد شد. نتایج در بخش پنجم ارائه شده و بخش ششم، به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- تابع چگالی احتمال طنین

توزیع کا، برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ بعد از ظهور رادار با وضوح بالا به عنوان یک مدل آماری برای پراکندگی مورد توجه قرار گرفت [۵]؛ اما بعدها به عنوان یک مدل پراکندگی آماری در سیستم سونار نیز اتخاذ شد [۱۹].

^۴ Maximum Likelihood

^۱ Cumulative Distribution Function

^۲ Probability Density Function

^۳ Chi

$$\mu_k = \langle X^k \rangle \quad (5)$$

$$= \frac{\Gamma(0.5k + 1)\Gamma(v + 0.5k)}{\Gamma(v)} (2a)^k$$

که $\langle p \rangle$ ، نشان دهنده امید ریاضی از متغیر p است. با داشتن نمونه‌های سیگنال تصادفی از این توزیع، ممان لحظه‌ای آن (با فرض وجود N تحقق از متغیر تصادفی مستقل) به صورت رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$\tilde{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, \quad k \geq 0 \quad (6)$$

معمولاً در بیان مشخصات ممان‌ها، استفاده از رابطه‌ی (۷)، رایج است.

$$a_m = \frac{\mu_{2m}}{\mu_m^2}, \quad m = 1.2. \dots \quad (7)$$

این رابطه مستقل از پارامتر مقیاس α بوده و برای تخمین پارامتر شکل v استفاده می‌شود. پارامتر تخمین زده شده از v را با $\hat{v}$ نشان می‌دهیم. با قرار دادن رابطه (۵) در (۷) و انتخاب $m = 2$ نتیجه زیر حاصل می‌شود:

$$\hat{v} = \frac{2}{\frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 2} \cdot \frac{\mu_4}{\mu_2^2} \neq 2 \quad (8)$$

$$\hat{a} = \sqrt{\frac{m_2}{4(1 + \hat{v})}}$$

در [۱۲]، روش دیگری برای محاسبه نسبت ممان‌ها به صورت زیر ارائه شده است:

$$a_{m,q} = \frac{\mu_{m+2q}}{\mu_m \mu_{2q}}, \quad m > 0, q = 1.2. \dots \quad (9)$$

با انتخاب $q = 1$ رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\hat{v} = \frac{m(m+2)}{4 \left[\frac{\mu_{m+2}}{\mu_m \mu_2} - (0.5m + 1) \right]}, \quad m > 0 \quad (10)$$

این روش به روش ممان کسری مرتبه پایین (FrM) مشهور است. اگر $m = 2$ انتخاب شود؛ رابطه (۹) به (۷) تبدیل می‌شود. در روش ممان کسری مرتبه پایین، برای اینکه واریانس تخمین کم باشد؛ مقدار m بین ۰ تا ۲ مقدار می‌گیرد. در [۱۲] نشان داده شده که مقدار ۰،۱ کمترین واریانس تخمین را دارد. یکی دیگر از روش‌های تخمین پارامتر شکل استفاده از روش zlogz است [۱۸]. این روش بر اساس ممان $[z\log z]$ پیاده سازی شده است که z همان متغیر دارای توزیع آماری k است. با مشتق‌گیری از رابطه (۵) و محاسبه ممان به این روش، رابطه زیر حاصل می‌شود:

اینکه سیگنال $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ شامل N متغیر تصادفی مستقل یکسان (IID^1) با توزیع k ، باشد؛ بر اساس تابع چگالی احتمال (رابطه ۱)، می‌توان تابع تشابه لگاریتمی را به صورت زیر نوشت:

$$L = -N \ln[(2a)^{v+1} \Gamma(v)] \quad (2)$$

$$+ v \sum_{i=1}^N \ln(x_i)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \ln \left[K_{v-1} \left(\frac{x_i}{a} \right) \right]$$

مشتق جزئی تابع تشابه لگاریتمی برای هر کدام از پارامترهای شکل و مقیاس به ترتیب طبق رابطه (۳) و (۴) محاسبه می‌شود که در رابطه (۴)، $\psi(v)$ تابع دیگاما نام دارد و به صورت مشتق تابع گاما بر اساس X تعریف می‌شود.

$$\frac{\partial L}{\partial a} \quad (3)$$

$$= -\frac{(v+1)N}{a}$$

$$- \frac{1}{2a} \sum_{i=1}^N \frac{K_{v-2} \left(\frac{x_i}{a} \right) + K_v \left(\frac{x_i}{a} \right)}{K_{v-1} \left(\frac{x_i}{a} \right)} \left(\frac{x_i}{a} \right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial v} = -N[\ln(2a) + \psi(v)] + \sum_{i=1}^N \ln(x_i) \quad (4)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \frac{\frac{\partial}{\partial v} K_{v-1} \left(\frac{x_i}{a} \right)}{K_{v-1} \left(\frac{x_i}{a} \right)}$$

تخمین حداکثر تشابه برای پارامترهای شکل و مقیاس، می‌تواند با صفر نمودن رابطه‌های (۳) و (۴) به دست آید؛ اما از آنجایی که حل این مسئله، دارای یک رابطه بسته ریاضی نیست؛ برای محاسبه پارامترهای مذکور، از روش‌های حل عددی استفاده می‌شود. در محیط نرم افزار متلب، این تخمین، توسط تابع mle^2 محاسبه می‌گردد. اگر چه روش حداکثر تشابه در صورت داشتن تعداد نمونه‌های زیادی از داده مفید است؛ اما در کاربردهای عملی معمولاً از این روش به علت پیچیدگی محاسباتی، کمتر استفاده می‌شود. از این رو در مقالات مختلف، روش‌های غیر پارامتری گوناگونی برای تعیین مشخصات تابع چگالی احتمال ارائه شده است که در ادامه به دو نمونه از آن‌ها، اشاره خواهد شد. ممان مرتبه n از توزیع k ، به شکل زیر است:

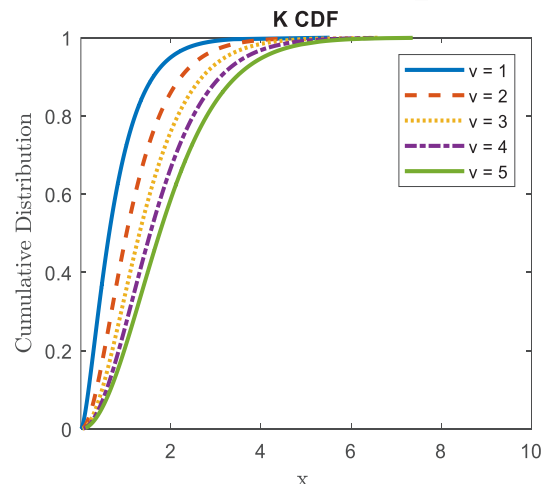
² Maximum likelihood estimates

¹ Independently and identically (IID)

$$\frac{<\hat{z} \log(\hat{z})>}{<\hat{z}>} - <\log(\hat{z})> = \frac{1}{\hat{\theta}} + 1 \quad (11)$$

۴- روش پیشنهادی

در این قسمت، براساس توزیع تجمعی سیگنال طنین، روش جدیدی برای تخمین پارامتر شکل تابع احتمال کا، ارائه می‌گردد. تابع توزیع تجمعی مربوط به توابع احتمال شکل ۱، به ازای تغییرات پارامتر v ، در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس این شکل، هر تغییر پارامتر، به تغییر در تابع توزیع تجمعی منجر می‌شود. در حالت عملی تابع توزیع تجمعی از محاسبه تجربی^۱ و طبق دستور $[f, x]$ $y = \text{ecdf}(y)$ در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی می‌شود که در آن y سیگنال سوناری و $[f]$ تابع توزیع تجمعی تجربی است که بر روی بردار x محاسبه شده است.



شکل ۲- تابع توزیع تجمعی K ، به ازای تغییرات پارامتر شکل

اگر میزان برازش این تابع، با تابع توزیع تجمعی در حالت تئوری سنجیده شود، می‌توان به پارامتر مجهول آن پی برد. روش‌های مختلفی برای برازش منحنی وجود دارد [۲۳-۲۴]. در اینجا از طریق رابطه بهینه‌سازی زیر نوشته می‌شود که در آن، e ، مقدار خطای برازش شده از تابع تئوری C با تابع توزیع تجمعی تجربی C' است و N ، تعداد نمونه‌های توابع توزیع می‌باشد.

$$E = \left| \sum_{i=1}^N (C_i - C'_i)^2 \right| \quad (12)$$

¹ Empirical cumulative distribution function

² Find minimum of constrained nonlinear multivariable function

برای بهینه‌سازی تابع E ، از الگوریتم fmincon ^۲ در محیط متلب که برای بهینه‌سازی توابع چند متغیره غیرخطی مقید^۳ کاربرد دارد؛ استفاده شده است. مسئله بهینه‌سازی توابع چند متغیره غیرخطی مقید به صورت رابطه زیر است.

$$\min_x f(x) \text{ such that } \begin{cases} c(x) \leq 0 \\ \text{ceq}(x) = 0 \\ A.x \leq b \\ \text{Aeq}.x = \text{beq} \\ lb \leq x \leq ub, \end{cases} \quad (13)$$

که $c(x)$ شرط نامساوی، $\text{ceq}(x) = 0$ شرط مساوی بوده و $A.x \leq b$ و $\text{Aeq}.x = \text{beq}$ به ترتیب قیود نامساوی و مساوی مسئله و $lb \leq x \leq ub$ محدوده محتمل و شدنی برای جواب مسئله را نشان می‌دهند. در بهینه‌سازی fmincon الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد که از تابع لگاریتم شباهت منفی^۴ (sqp) بخاطر سرعت بهتر آن نسبت به دیگر روش‌ها، در بهینه‌سازی استفاده شده است.

۵- نتایج شبیه سازی

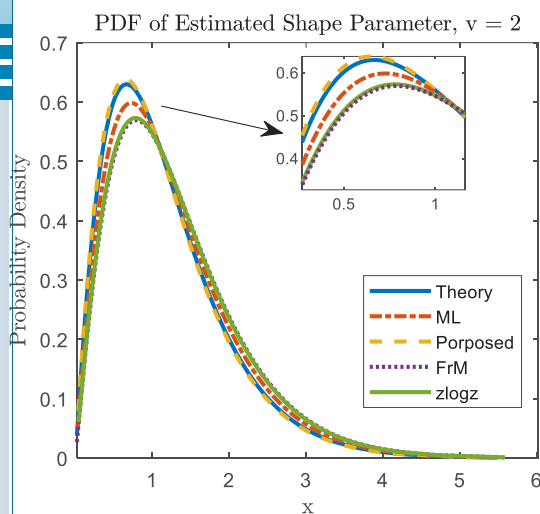
در این قسمت نتایج شبیه سازی طنین با توزیع کا و بهینه‌سازی پارامتر تخمینی از آن ارائه می‌گردد. روش پیاده‌سازی در محاسبه طنین، بر اساس الگوی پیاده سازی شده در مقاله [۴] می‌باشد. محیط انتشار سیگنال، یک کانال صوتی آبی با عمق ۳۰ متر، عمق فرستنده و گیرنده در ۵ متر، زمان ایستایی به لحاظ مشخصات آماری برای کانال برابر با ۲۵۰ میلی ثانیه و سرعت صوت ۱۵۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. برای نمونه‌های سری زمان سیگنال طنین، صدهزار تحقق مستقل از متغیر تصادفی با توزیع کا تولید شده است.

شکل ۳ نمایش سیگنال طنین با توزیع کا، با مولفه‌های چندمسیرگی ناشی از انتشار سیگنال را به ترتیب در نمودار بالایی و پایینی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل و با انتخاب آستانه نمونه برداری برای پوش سیگنال دریافتی وقتی که این آستانه برابر با 10^{-5} انتخاب می‌شود (خطوط قرمز رنگ)، احتمال آشکار سازی سیگنال با طنین کا، بعد از اضافه شدن مولفه‌های چند

³ Constrained nonlinear multivariable

⁴ Negative loglikelihood function

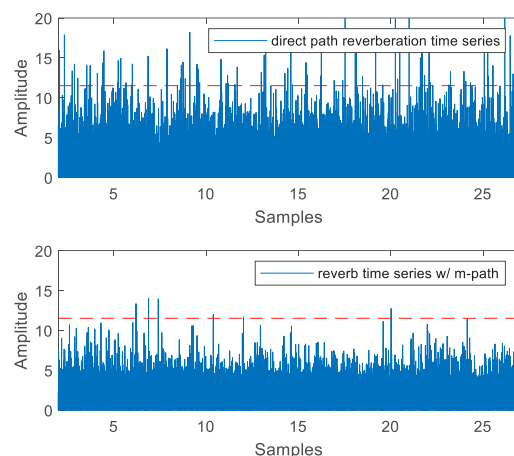
روش‌های مختلف به ازای تغییرات سیگنال به نویز از ۵- تا ۵ دسیبل نشان می‌دهد. تعداد تکرار در روش مونت کارلو برابر با چهار صد و پارامتر شکل برابر با مقدار دو، در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج، در این محدوده، روش پیشنهادی دارای کمترین خطا است. بر اساس این شکل در تغییرات نسبت سیگنال به نویز دو روش zlogz و FrM تقریباً مشابه هم هستند. در روش پیشنهادی میزان خطا در سیگنال به نویز منفی زیر صفر دسیبل بوده و در نسبت‌های بالاتر از ۵ دسیبل کارایی روش پیشنهادی تقریباً برابر با دیگر روش‌ها است. از این رو از این روش به عنوان الگوریتم تخمین پارامتر به نسبت سیگنال به نویز پایین می‌توان استفاده نمود.



شکل ۴- نتیجه تخمین پارامتر شکل، به روش‌های مختلف

در شکل ۶، تغییرات میزان خطا بر حسب دسیبل به ازای تغییر پارامتر شکل در نسبت سیگنال به نویز پنج دسیبل ارائه شده است. بر اساس این شکل به ازای افزایش پارامتر شکل تا مقدار شش، روش‌های مختلف با افزایش خطا روبرو می‌شوند و بعد از آن روند خطا کاهشی است. در پارامتر شکل برابر با یک خطای روش پیشنهادی بالاتر از دیگر روش‌ها بوده ولی در یک محدوده مورد قبولی قرار دارد و با تغییر پارامتر شکل، خطای الگوریتم پیشنهادی بین نیم تا دو دسیبل از دیگر روش‌ها کمتر است. بنابراین، الگوریتم پیشنهادی به نسبت دیگر روش‌ها، جواب قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد.

مسیرگی کاهش می‌یابد. جدول ۱، نتیجه تخمین پارامتر طنینی با پارامتر شکل (۷) برابر با یک، را نشان می‌دهد. برای مقایسه از روش حداکثر تشابه (ML)، روش ممان کسری مرتبه پایین (FrM) و روش zlogz بهره برده شده است. نتایج نشان می‌دهد که خطای روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌ها کمتر است.



شکل ۳- سری زمانی طنین برای مسیر مستقیم (شکل بالا) و مؤلفه چند مسیرگی (شکل پایین)

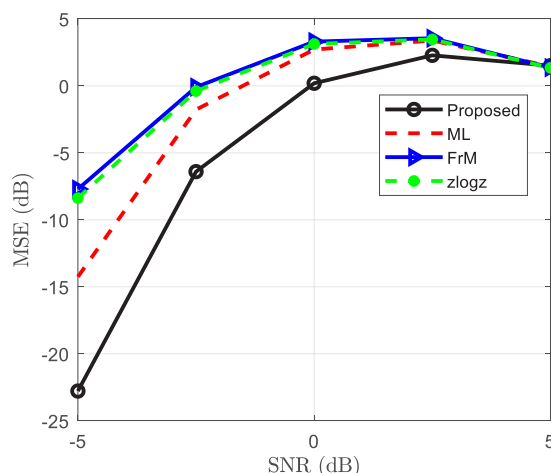
جدول ۱- مقادیر پارامتر شکل بر اساس روش‌های مختلف

Shape Parameter	ML	Propose	FrM	zlogz
1	0.9920	1.0038	0.9880	0.9883
2	2.0185	2.0162	2.0280	2.0266
3	2.9721	3.0259	2.9497	2.9526
4	3.9913	4.0057	3.9759	3.9758
Mean e	0.0158	0.0129	0.0286	0.0275

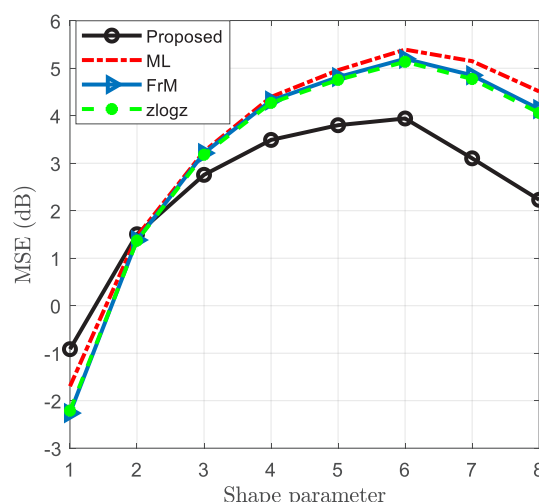
از آنجایی که مشاهده توان طنین می‌تواند با نویز همراه باشد، در ادامه، نتیجه‌ی تغییر نسبت سیگنال به نویز، بررسی شده است. شکل ۴، نتیجه تخمین پارامتر شکل را به روش‌های مختلف در سیگنال به نویز ۵- دسیبل نشان می‌دهد. در قسمت هم تابع چگالی تخمینی به روش پیشنهادی با تابع چگالی احتمال تئوری تطبیق بهتری را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، الگوریتم پیشنهادی بهترین تخمین و الگوریتم ممان مرتبه کسری (FrM) کمترین تطبیق را در برازش تابع احتمال دارد. شکل ۵ نمودار خطای محاسبه (بر حسب دسیبل) را در

مراجع

- [1] De Rango, Floriano, Fiore Veltri, and Peppino Fazio. "A multipath fading channel model for underwater shallow acoustic communications." 2012 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE, 2012. 10.1109/ICC.2012.6364590.
- [2] Yang, Wen-Bin, and T. C. Yang. "Characterization and modeling of underwater acoustic communications channels for frequency-shift-keying signals." OCEANS 2006. IEEE, 2006, doi: 10.1109/OCEANS.2006.306981.
- [3] Ruiz-Vega, Fernando, et al. "Ricean shadowed statistical characterization of shallow water acoustic channels for wireless communications." arXiv preprint arXiv:1112.4410 (2011).
- [4] Abraham, Douglas A., and Anthony P. Lyons. "Simulation of non-Rayleigh reverberation and clutter." IEEE Journal of Oceanic Engineering 29.2 (2004): 347-362, doi: 10.1109/JOE.2004.828202.
- [5] Jakeman, Eo, and P. Pusey. "A model for non-Rayleigh sea echo." IEEE Transactions on antennas and propagation 24.6 (1976): 806-814.
- [6] Sangston, Kevin J., Fulvio Gini, and Maria S. Greco. "Coherent radar target detection in heavy-tailed compound-Gaussian clutter." IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 48.1 (2012): 64-77.
- [7] Therrien, Charles, and Murali Tummala. Probability and random processes for electrical and computer engineers. CRC press, 2018.
- [8] Ward, K. D., R. J. A. Tough, and Simon Watts. "Sea clutter: Scattering, the K distribution and radar performance." Waves in Random and Complex Media 17.2 (2007): 233-234.
- [9] Minghui, Zhang, and Sun Hui. "Simulation model of bottom reverberation signals for horizontal bistatic receiving array." 2008 IEEE Ultrasonics Symposium. IEEE, 2008, doi: 10.1109/ULTSYM.2008.0349.
- [10] Lingevitch, Joseph F., and Kevin D. LePage. "Parabolic equation simulations of reverberation statistics from non-Gaussian-distributed bottom roughness." IEEE Journal of Oceanic Engineering 35.2 (2010): 199-208.



شکل ۵- نمودار خطای دسیبل روش‌های مختلف با تغییر سیگنال به نویز از ۵- تا ۵ دسیبل، پارامتر شکل برابر با مقدار دو



شکل ۶- نمودار خطای دسیبل روش‌های مختلف با تغییر پارامتر شکل در سیگنال به نویز ۵ دسیبل

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش برازش تابع توزیع تجمعی برای تخمین پارامتر شکل توزیع کاه ارائه شده است. در این روش از روی سیگنال طنین، محاسبه تابع توزیع تجمعی به روش تجربی از روی نمونه‌های سری زمانی آن محاسبه شده و سپس با تطبیق آن با تابع توزیع تجمعی تئوری و با بهینه‌سازی تابع هزینه توسط الگوریتم $fmincon$ ، پارامتر شکل به دست می‌آید. مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش‌های مشهور، برتری این روش را در محاسبه پارامتر شکل نشان می‌دهد.

- and Bayesian inference using mixture distributions." *The Journal of the Acoustical Society of America* 145.2 (2019): 761-774; <https://doi.org/10.1121/1.5089892>.
- [22] Joughin, Ian R., Donald B. Percival, and Dale P. Winebrenner. "Maximum likelihood estimation of K distribution parameters for SAR data." *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing* 31.5 (1993): 989-999.
- [23] Tu, Fuquan, et al. "Hysteresis curve fitting optimization of magnetic controlled shape memory alloy actuator." *Actuators*. Vol. 5. No. 4. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2016.
- [24] Pitha, J., and R. Norman Jones. "A comparison of optimization methods for fitting curves to infrared band envelopes." *Canadian Journal of Chemistry* 44.24 (1966): 3031-3050.
- [11] Abraham, Douglas A., and Anthony P. Lyons. "Simulation of non-Rayleigh reverberation and clutter." *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 29.2 (2004): 347-362.
- [12] Iskander, D. Robert, and Abdelhak M. Zoubir. "Estimation of the parameters of the K-distribution using higher order and fractional moments [radar clutter]." *IEEE Transactions on Aerospace and electronic systems* 35.4 (1999): 1453-1457.
- [13] Shui, Peng-Lang, Ming Liu, and Shu-Wen Xu. "Shape-parameter-dependent coherent radar target detection in K-distributed clutter." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 52.1 (2016): 451-465.
- [14] Roberts, William JJ, and Sadaoki Furui. "Maximum likelihood estimation of K-distribution parameters via the expectation-maximization algorithm." *IEEE Transactions on Signal Processing* 48.12 (2000): 3303-3306.
- [15] Chalabi, Izzeddine, and Amar Mezache. "Estimating the K-distribution parameters based on fractional negative moments." 2015 IEEE 12th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD15). IEEE, 2015.
- [16] Marhaban, Mohammad Hamiruce. "Estimation of K-distributed Clutter by using Characteristic Function Method." *Jurnal Teknologi* (2008): 29-40.
- [17] Wachowiak, Mark P., et al. "Estimation of K distribution parameters using neural networks." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 49.6 (2002): 617-620.
- [18] Blacknell, D., and R. J. A. Tough. "Parameter estimation for the K-distribution based on $[z \log(z)]$." *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation* 148.6 (2001): 309-312.
- [19] Abraham, Douglas A., and Anthony P. Lyons. "Novel physical interpretations of K-distributed reverberation." *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 27.4 (2002): 800-813.
- [20] Laferriere, Alison Beth. K-distribution fading models for Bayesian estimation of an underwater acoustic channel. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- [21] Olson, Derek R., et al. "Scattering statistics of rock outcrops: Model-data comparisons