

تخمین پارامترهای مدل K کلاتر رادار با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی

عطاالله ابراهیم زاده^{۱*}، محمد آخوندی درزیکلایی^۲

۱- دانشیار، ۲- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(دریافت: ۹۴/۰۸/۲۴؛ پذیرش: ۹۵/۰۶/۰۲)

چکیده

تخمین پارامترهای مدل آماری کلاتر، مسأله‌ای مهم در زمینه مدل‌سازی، شبیه‌سازی، طبقه‌بندی و شناسایی کلاتر رادار می‌باشد. کلاتر رادار، ذاتاً دارای ماهیت تصادفی است، بنابراین عموماً از توزیع‌های آماری برای توصیف بهتر ویژگی‌های کلاتر رادار استفاده می‌شود. توزیع K یکی از مدل‌های رایج برای توصیف کلاتر است که دارای دو مؤلفه اسپیکل و توان محلی می‌باشد. این توزیع دارای دو پارامتر مقیاس و شکل می‌باشد و به دلیل آن که مؤلفه‌های آن توسط توزیع گاما مدل‌سازی می‌شوند، مسأله تخمین پارامترهای توزیع K مسأله‌ای چند بعدی، غیرخطی و پیچیده است. در این مقاله، روش جدیدی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی جهت تخمین پارامترهای توزیع K پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی دارای دقت بسیار بالا در تخمین پارامترهای این نوع کلاتر می‌باشد. برای ارزیابی دقیق روش پیشنهادی این مقاله، تابع توزیع احتمال و تابع چگالی طیف توان کلاتر با پارامترهای تخمین زده در دو آزمایش مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. هم‌چنین از تست کولموگروف-اسمیرنوف نیز برای تعیین میزان دقت کلاتر تولیدی استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی، کارآمدی روش پیشنهادی برای تخمین پارامترهای توزیع K را به وضوح تصدیق می‌کنند.

واژگان کلیدی

الگوریتم جستجوی گرانشی، تخمین پارامتر، توزیع آماری K ، کلاتر رادار، تست کولموگروف-اسمیرنوف

۱. مقدمه

ماهیت تصادفی هستند و فرآیندی تصادفی به حساب می‌آیند، معمولاً کلاترها را با توزیع‌های مختلف آماری توصیف می‌کنند.

توزیع‌های گوسی، ویبول [۱]، رابلی [۲] و توزیع K [۳] از جمله رایج‌ترین این مدل‌ها هستند. با گسترش مطالعات مدل‌سازی کلاتر رادار، نمونه‌های قدیمی مدل‌سازی، به دلیل توانایی پایین آن‌ها در شبیه‌سازی همبستگی زمانی و مکانی، جای خود را به مدل‌های جدیدی مانند توزیع K دادند. توزیع K یکی از مهم‌ترین توزیع‌ها در توصیف کلاتر، به‌ویژه کلاتر دریا می‌باشد. توزیع آماری K ، دارای دو مؤلفه اسپیکل و توان محلی است و داده‌های کلاتری حاصل از این توزیع، بسیار به داده‌های واقعی کلاتر رادار نزدیک است.

تخمین پارامترهای مدل کلاتر، مسأله اصلی در حوزه شناسایی هدف در حضور کلاتر می‌باشد. استفاده از مدل‌های آماری برای توصیف داده‌های کلاتر نیازمند مسأله تخمین پارامتر از داده‌ها می‌باشد. تخمین پارامترهای توزیع‌های آماری از داده‌های اندازه‌گیری شده، بخش مهمی از پردازش سیگنال‌های راداری را شکل می‌دهد و دقت تخمین پارامتر، تاثیر مستقیم بر

اختراع رادار الهام‌گرفته از آفرینش حیواناتی نظیر خفاش و دلفین می‌باشد. رادار سامانه‌ای است که با استفاده از امواج الکترومغناطیسی به شناسایی، مکان‌یابی و اندازه‌گیری سرعت اجسام می‌پردازد. اساس کار رادار بدین‌گونه است که امواج الکترومغناطیسی را در فضا منتشر می‌کند و سیگنال‌های برگشتی از اجسام را دریافت می‌کند. پیشرفت تکنولوژی طبیعتاً بر سامانه رادار نیز تاثیر داشته است و باعث پیچیدگی ساختار رادار و محیط تجزیه و تحلیل عملکرد رادار شده است. بنابراین امروزه فناوری رادار به یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی تبدیل شده است.

عوامل متعددی می‌توانند بر عملکرد رادار تاثیر منفی داشته باشند. یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب، کلاتر می‌باشد. کلاتر عاملی ناخواسته می‌باشد که باعث اختلال در سیگنال‌های برگشتی از رادار می‌شود. کلاتر می‌تواند شامل بازگشتی‌هایی از سطح زمین، دریا، شرایط آب و هوایی، پرندگان، حشرات، ساختمان، جنگل‌ها و... باشد. چون برگشتی‌های کلاتر ذاتاً دارای

جمعی در طبیعت هستند و مسأله بهینه‌سازی غیرخطی با ابعاد بالا را به مسأله بهینه‌سازی تک‌بعدی تبدیل می‌کنند. یکی از این الگوریتم‌ها، الگوریتم جستجوی گرانشی می‌باشد. در این الگوریتم، روش بهینه‌سازی نوینی بر مبنای قانون گرانش و فعل و انفعالات اجرام معرفی می‌گردد. در الگوریتم جستجوی گرانشی، عوامل جستجو، مجموعه‌ای از اجرام هستند که بر اساس قانون جاذبه نیوتونی و قوانین حرکت با یکدیگر فعل و انفعال دارند [۱۴]. در این مقاله، ما روش جدیدی برپایه الگوریتم جستجوی گرانشی برای تخمین پارامترهای شکل و مقیاس توزیع K مطرح نمودیم. روش پیشنهادی این مقاله، دارای دقت بالایی می‌باشد و حتی با نمونه داده‌های بسیار کم کلاتر نیز دارای نتیجه بسیار خوبی است.

در ادامه ساختار مقاله بدین گونه خواهد بود: در بخش دوم توزیع آماری K معرفی خواهد شد و تابع توزیع احتمال آن بیان و تغییرات دامنه کلاتر با توجه به پارامترهای مختلف نیز مطرح می‌گردد. در ادامه این بخش، نحوه تولید متغیرهای کلاتر با استفاده از روش SIRP توضیح داده می‌شود. بخش سوم به معرفی الگوریتم جستجوی گرانشی و تاریخچه و نحوه کار این الگوریتم می‌پردازد. روش پیشنهادی ما برای تخمین پارامترهای شکل و مقیاس توزیع K در بخش چهارم بیان می‌شود و فلوجارت الگوریتم پیشنهادی که بر مبنای الگوریتم جستجوی گرانشی می‌باشد نیز در این قسمت آورده شده است. بخش پنجم نیز توضیحاتی در مورد نحوه کار تست کولموگروف-اسمیرنوف مطرح می‌کند. بخش ششم نیز نتایج شبیه‌سازی را بیان می‌کند. در این قسمت مقادیر بدست‌آمده الگوریتم پیشنهادی با مقادیر روش حداکثر شباهت مقایسه شده است. سپس تابع توزیع احتمال کلاتر تولیدی و طیف آن رسم گردیده و سر انجام شباهت کلاتر تولیدی با مقدار واقعی آن با استفاده تست کولموگروف-اسمیرنوف ارزیابی شده است و روش پیشنهادی برای داده‌های مختلف کلاتر توزیع K را دارا به کار گرفته شده است، که تمامی نتایج، صحت و دقت بالای روش پیشنهادی را تایید می‌کنند. در بخش هفتم نیز نتیجه‌گیری کار انجام شده، بیان گردیده است.

۲. توزیع آماری K

توزیع K توزیعی دو پارامتری می‌باشد که توسط دو مؤلفه توان محلی و مؤلفه اسپیکل مدل‌سازی می‌شود. توان محلی Z که مؤلفه تغییرات کند کلاتر می‌باشد، دارای ناهمبستگی زمانی بزرگی در دوره‌ای از زمان می‌باشد. توزیع گاما می‌تواند به خوبی توان محلی Z را مدل‌سازی کند:

$$f_c(z) = \frac{\alpha^v}{\Gamma(v)} z^{v-1} \exp(-\alpha z) \quad (1)$$

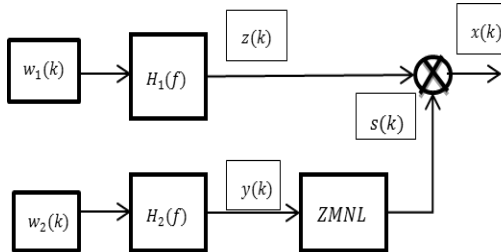
عملکرد آشکارسازی رادار دارد. روش‌های مختلفی برای تخمین پارامترهای توزیع K وجود دارد. روش حداکثر شباهت^۱ می‌تواند برای تخمین پارامترهای α و v به کار رود [۴]. این روش، تخمین مناسب و بهینه‌ای از پارامترها را ارائه می‌دهد ولی دارای ضعف‌هایی نیز می‌باشد. این روش دارای محاسبات پیچیده و حجیم می‌باشد و این عامل باعث شده است که روش حداکثر شباهت در سامانه‌های زمانی واقعی تقریباً غیر قابل اجرا باشد. همین‌طور چون توزیع K دارای فرمول ریاضی بسته‌ای برای تخمین پارامتر با استفاده از روش حداکثر شباهت نیست در نتیجه مقدار بهینه باید به صورت عددی به دست آید [۵-۶]. ولی این روش برای کاربردهایی که دارای مقادیر زیادی از داده‌ها هستند و نیازمند تخمین با دقت بسیار بالا می‌باشند، بسیار مناسب است. در مرجع [۷] روش گشتاورها معرفی شده است که تخمینی با دقت بالا را انجام می‌دهد ولی کماکان دارای پیچیدگی محاسباتی است. روش این مرجع، ساده‌ترین نوع روش گشتاور است و در آن از گشتاورهای مرتبه دوم و چهارم برای تخمین پارامترها استفاده کرده است. مؤلفان در مرجع [۸] روشی بر اساس خوشه‌بندی و مدل‌سازی فازی برای تخمین پارامترهای توزیع K مطرح کردند. یکی دیگر از روش‌های پیشنهادی جهت تخمین پارامتر شکل توزیع K ، استفاده از تابع مشخصه تجربی است [۹]. مؤلفان در مرجع [۱۰] الگوریتمی معرفی کردند که مسأله غیرخطی تخمین پارامترها را به مسأله خطی و یک بعدی تبدیل می‌کند و به زمان محاسبه و تعداد داده‌های کلاتر کمتری نیز نیاز دارد. مرجع [۱۱] استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پارامترهای توزیع K را بیان کرده است. در این مرجع، از شبکه عصبی دو لایه و ویژگی‌های گشتاور مرتبه سوم و چهارم برای تخمین پارامترها استفاده شده است. در مرجع [۱۲] روشی مرکب از روش حداکثر شباهت و روش گشتاورها برای تخمین پارامترها پیشنهاد داده شده و نشان داده شده است که نتایج این روش در مقایسه با حالتی که روش حداکثر شباهت و روش گشتاورها به تنهایی به کار می‌روند، دارای خطای کمتری است. در مرجع [۱۳] نیز روشی جدید با استفاده از تابع $z \log z$ برای تخمین پارامترها پیشنهاد شده است. این روش بر پایه تخمین‌گرهایی^۲ است که از تابع \log برای تخمین، استفاده می‌کنند.

با توجه به این که در سال‌های اخیر، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی در مسائل مختلف توسعه یافته است، ما نیز بر آن شدیم تا از این الگوریتم‌ها برای تخمین پارامترهای توزیع K استفاده کنیم. بسیاری از این الگوریتم‌ها الهام گرفته از رفتارهای

¹ Maximum Likelihood

² Log-based estimator

سفید و $H_1(f)$ یک فیلتر خطی می‌باشد. دنباله گوسی حقیقی سفید $w_2(k)$ نیز تولید می‌گردد و به وسیله پاسخ ضربه سامانه خطی تغییرناپذیر با زمان $h_2(m)$ فیلتر می‌شود و سپس از ZMNL عبور می‌کند.



شکل ۲. تولید کلاتر توزیع K با روش SIRP [۱۵]

دنباله خروجی دارای توزیع مرزی زیر می‌باشد:

$$f_s(s) = 2\Gamma^{-1}(\nu)s^{-1}(\nu s^2)^\nu \exp(-\nu s^2) \quad (۵)$$

که در رابطه بالا، ν پارامتر شکل توزیع K و Γ تابع گاما می‌باشد. طراحی فیلتر $H_1(f)$ مشابه ZMNL می‌باشد. بر اساس شکل بالا، تابع خودهمبستگی $s(k)$ بستگی به $H_2(f)$ و ZMNL دارد. $h_2(m)$ باید طوری طراحی شود که پهنای باند به اندازه کافی باریک باشد. بنابراین $h_2(m)$ ممکن است به صورت فیلتر دیجیتال پایین گذر طراحی شود. مفهوم ZMNL نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{g(\nu, \nu s^2)}{\Gamma(\nu)} u(s) = 1 - Q(y) \quad (۶)$$

تابع $g(q, p)$ تابع اویلری غیرکامل می‌باشد و $Q(y)$ نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q(y) = \int_y^\infty \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (۷)$$

بنابراین رابطه (۶) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{g(\nu, \nu s^2)}{\Gamma(\nu)} u(s) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(-\frac{y}{\sqrt{2}}\right) \quad (۸)$$

$\operatorname{erf}(\cdot)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp(-u^2) du \quad (۹)$$

$s(k)$ با استفاده از رابطه (۷) بدست می‌آید.

۳. الگوریتم جستجوی گرانشی^۱

الگوریتم جستجوی گرانشی [۱۴] در سال ۲۰۰۹ توسط راشدی و همکارانش معرفی شد. این الگوریتم نوعی الگوریتم بهینه‌سازی ابتکاری است که اخیراً مورد توجه مجامع علمی قرار گرفته است. در الگوریتم جستجوی گرانشی، از قانون جاذبه نیوتن و قانون حرکت برای پیدا کردن پاسخ بهینه استفاده می‌شود. این الگوریتم از مجموعه‌ای از عناصر جستجوگر تشکیل شده است که

این توزیع به پارامتر مقیاس α و پارامتر شکل ν وابسته است. مؤلفه دوم که اسپیکل نامیده می‌شود مؤلفه‌ای با تغییرات سریع می‌باشد. مؤلفه اسپیکل دارای زمان ناهمبستگی کوتاه‌تری در مقیاس زمان نسبت به مؤلفه اول می‌باشد. این مؤلفه توسط توزیع نمایی با میانگین Z مدل می‌شود:

$$f(x|z) = \frac{1}{z} \exp\left(-\frac{x}{z}\right) \quad (۲)$$

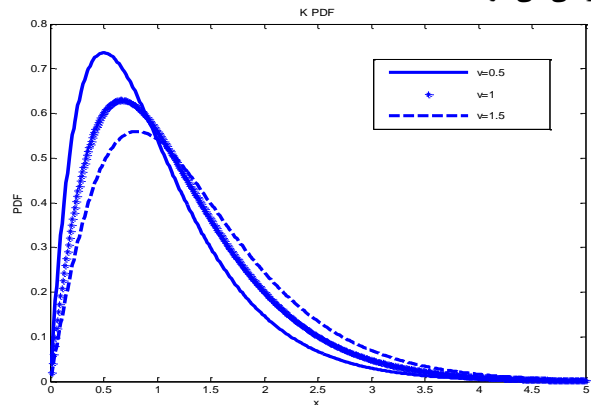
و انتگرال بر روی Z منجر به توزیع K می‌شود:

$$f(x) = \int f_c(z) f(x|z) dz \quad (۳)$$

در نتیجه پوش تابع توزیع احتمال توزیع K به صورت زیر به دست می‌آید:

$$f(x) = \frac{2}{\alpha \Gamma(\nu)} \left(\frac{x}{2\alpha}\right)^\nu K_{\nu-1}\left(\frac{x}{\alpha}\right) \quad (۴)$$

در این رابطه $x > 0$ ، $\nu > 0$ ، $\alpha > 0$ می‌باشد و ν پارامتر شکل و بازه تغییرات آن $(0, 1, \infty)$ است. α پارامتر مقیاس و Γ تابع گاما و K_ν تابع بسل درجه ν ام هستند. در توزیع K پارامتر مقیاس به توان کلاتر وابسته می‌باشد در حالی که مقدار قله کلاتر وابسته به پارامتر شکل می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود برای مقادیر کوچکتر ν ، دامنه کلاتر دارای مقدار قله بزرگ‌تری است و در ν های بزرگ‌تر، قله دامنه صاف‌تر می‌شود و وقتی این مقدار به سمت بی‌نهایت می‌رود این توزیع تقریباً مشابه توزیع رابلی می‌شود.



شکل ۱. توزیع K با پارامتر مقیاس واحد و پارامتر شکل متفاوت

۲-۱. شبیه‌سازی کلاتر با توزیع K با استفاده از روش

SIRP

روش SIRP، تکنیک‌هایی جهت تولید متغیرهای غیرگوسی چند متغیره و قابل پیگیری از نظر ریاضی ارائه می‌کند. در این روش متغیرهای غیر گوسی $x(k)$ از حاصلضرب متغیرهای گوسی مختلط همبسته با میانگین صفر $z(k)$ و متغیرهای غیر گوسی حقیقی، مثبت و ایستاد $s(k)$ و مستقل از $z(k)$ به صورت $x(k) = z(k)s(k)$ تولید می‌شوند.

شکل ۲، روند کلی تولید متغیرهای دنباله توزیع K را نشان می‌دهد. در این طرح کلی [۱۵]، $w_1(k)$ دنباله گوسی مختلط

^۱ GSA

در x_i بردار مکان عنصر i ام و ε یک حد آستانه کوچک و $G(t)$ ثابت گرانشی می‌باشند. $G(t)$ با گذشت زمان جهت کنترل دقت جستجو، کاهش می‌یابد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G(t) = G_0 e^{-\frac{\alpha t}{T}} \quad (16)$$

که در الگوریتم جستجوی گرانشی، در رابطه بالا G_0 را برابر با ۱۰۰ و α را برابر با ۲۰ مقداردهی می‌کنند و T تعداد کل تکرارها^۱ می‌باشد.

R_{ij} فاصله اقلیدسی بین عناصر i و j است. با استفاده از قانون دوم نیوتن، شتاب گرانشی عنصر i ام می‌تواند به صورت زیر بیان گردد:

$$a_i(t) = G(t) * \quad (17)$$

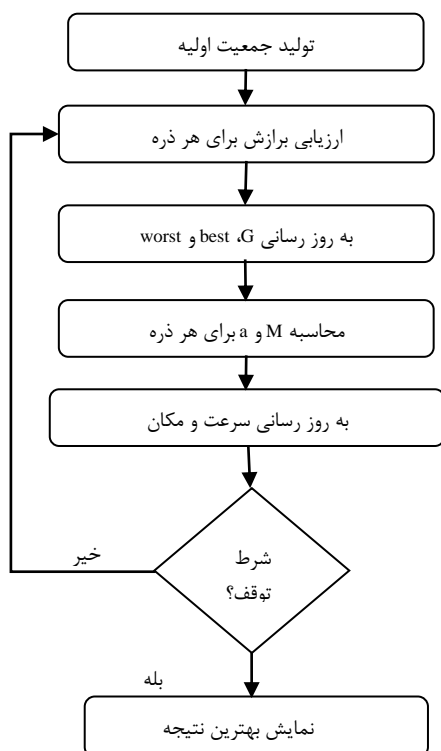
$$\left(\sum_{j=1}^n \text{rand}_j \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon} (x_j - x_i) \right)$$

که در آن rand_j عددی تصادفی یکنواخت در بازه $[0,1]$ برای اضافه کردن رفتار تصادفی به شتاب، آورده شده است. سرعت و مکان هر عنصر به صورت زیر به روز رسانی می‌شود:

$$v_i(t+1) = \text{rand}_i \times v_i(t) + a_i(t) \quad (18)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (19)$$

فلوچارت GSA در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۳. فلوچارت الگوریتم گرانشی

به وسیله نیروی جاذبه با یکدیگر در ارتباط هستند. عناصر، به عنوان هدف در نظر گرفته می‌شوند و عملکرد آن‌ها به وسیله جرم آن‌ها ارزیابی می‌شود. نیروی جاذبه باعث حرکت کلی عناصر می‌شود و عناصر به سمت جرم‌های سنگین‌تر حرکت می‌کنند. حرکت آهسته جرم‌های سنگین‌تر، دستیابی به پاسخ بهینه را تضمین می‌کند. این الگوریتم دارای ویژگی‌های برجسته‌ای است که آن را از سایر الگوریتم‌ها متمایز می‌کند. نیاز به حافظه کم، همگرایی سریع و استفاده از چندین پارامتر، از جمله این ویژگی‌ها است. در GSA هر جرم (عنصر) چهار ویژگی دارد: ۱- مکان ۲- جرم اینرسی ۳- جرم گرانشی فعال ۴- جرم گرانشی غیر فعال.

مکان جرم، بستگی به مسأله و روش حل آن دارد و جرم‌های اینرسی و گرانشی با استفاده از تابع برازش تعیین می‌شوند. الگوریتم GSA در گام‌های زیر خلاصه می‌شود:

- ۱) شناسایی فضای جستجو
- ۲) مقدار دهی تصادفی
- ۳) ارزیابی برازش عناصر
- ۴) به روز رسانی $G(t)$ ، $best(t)$ ، $worst(t)$ و $M_i(t)$ برای $i = 1, 2, \dots, N$
- ۵) محاسبه نیروی برآیند در جهت‌های مختلف
- ۶) محاسبه شتاب و سرعت
- ۷) به روز رسانی موقعیت‌های عناصر
- ۸) تکرار گام‌های ۳ تا ۷ تا برقراری شرایط توقف
- ۹) پایان.

سامانه‌ای با N عنصر را در نظر بگیرید. مکان عنصر i ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

در رابطه فوق x_i^d بیان‌گر موقعیت عنصر i ام در بعد d ام است و n بعد فضای جستجو می‌باشد. جرم هر عنصر بعد از محاسبه برازش جمعیت فعلی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (11)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (12)$$

در روابط بالا، $M_i(t)$ و $m_i(t)$ به ترتیب بیان‌گر جرم و مقدار برازش عنصر i ام در زمان t هستند. برای مسأله کمینه‌سازی $worst(t)$ و $best(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$worst(t) = \max_{i \in \{1, \dots, N\}} fit_i(t) \quad (13)$$

$$best(t) = \min_{i \in \{1, \dots, N\}} fit_i(t) \quad (14)$$

بردار نیرو برای عنصر i و z در رابطه زیر آورده شده است:

$$f_{ij}(t) = G(t) * \quad (15)$$

$$\frac{M_i(t) * M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j(t) - x_i(t))$$

¹ iterations

۴. روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم گرانشی برای تخمین پارامترهای توزیع K

تخمین پارامتر برای مدل کلاتر یک مبحث بسیار مهم در زمینه شبیه‌سازی، مدل‌سازی کلاتر رادار می‌باشد. با بررسی منابع مختلف می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر روش‌های تخمین پارامترها بر پایه روش حداکثر شباهت و گشتاورها می‌باشند. با توجه به این‌که روش حداکثر شباهت برای تخمین بهینه به داده‌های کلاتری زیادی نیاز دارد پژوهشگران این حوزه، سعی می‌کنند روش‌های جدیدی ارائه دهند. ما نیز در این بخش جهت رفع برخی از مشکلات روش‌های دیگر، روش جدیدی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی مطرح کردیم. این روش با استفاده از کمینه‌سازی رابطه (۲۲) با کمک الگوریتم جستجوی گرانشی به تخمین پارامترهای مقیاس و شکل توزیع K می‌پردازد. رابطه گشتاور مرتبه k ام توزیع K در زیر آورده شده است [۷].

$$\mu_k = E(X^k) = \frac{\Gamma(0.5k+1)\Gamma(v+1+0.5k)}{\Gamma(v+1)} (2\alpha)^k \quad (20)$$

گشتاور نمونه‌های تولید شده مدل K نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k \quad k \geq 0 \quad (21)$$

در این رابطه، $\{x_i; i = 1, 2, \dots, N\}$ مجموعه‌ای از N تحقق متغیر تصادفی مدل K می‌باشد که با استفاده از روش SIRP تولید می‌شوند. پارامترهای مدل K یعنی α و v را می‌توان با استفاده از الگوریتم GSA و تعریف تابع برازش به صورت زیر به دست آورد:

$$J(\alpha, v) = \arg \min \left[\sum_{k=1}^4 \left| \frac{E(X^k) - \hat{\mu}_k}{\hat{\mu}_k} \right| \right] \quad (22)$$

در رابطه بالا، چون گشتاورهای اول تا چهارم به خوبی می‌توانند ویژگی‌های داده‌های مورد نظر را استخراج کنند و تا حد خوبی انتظار را برآورده کنند، فقط این مقادیر حساب شدند. با وجود این‌که می‌توان، گشتاورهای مرتبه بالاتر را محاسبه نمود ولی این کار، تاثیر چندانی در پاسخ مسأله ندارد و فقط بار محاسباتی مسأله را بیشتر می‌کند.

گام‌های پیشنهادی تخمین پارامترهای مدل K توسط الگوریتم گرانشی به صورت زیر می‌باشد:

۱- تعریف فضای جستجو و مقداردهی اولیه

مکان‌های N عنصر به صورت تصادفی در فضای جستجو مقداردهی اولیه و تولید می‌شوند. بعد مسأله مورد نظر نیز دو می‌باشد. در این بخش مقدار اولیه ثابت گرانشی $G(t_0)$ نیز مشخص می‌گردد.

۲- محاسبه کل نیروی وارده در جهت‌های مختلف

نیروی وارده از طرف عنصر i ام در مکان (x_1, y_1) بر عنصر j ام در مکان (x_2, y_2) توسط رابطه (۱۴) به دست می‌آید. $M_j(t)$ و $M_i(t)$ نیز با توجه به رابطه (۱۰) و (۱۱) قابل محاسبه می‌باشند. فاصله اقلیدسی بین دو عنصر i و j نیز به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\|R_{ij}\| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (23)$$

در این روش نیروی کل وارده بر یک عنصر برابر با مجموع نیروهای وارده از طرف عناصر دیگر می‌باشد. نیروی کل وارده با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f_i(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \text{rand}_j f_{ij}(t) \quad (24)$$

۳- محاسبه شتاب و سرعت

شتاب هر عنصر توسط رابطه (۱۷) به دست می‌آید. با استفاده از این شتاب، سرعت هر عنصر با استفاده از رابطه (۱۸) قابل محاسبه است.

۴- به روز رسانی مکان هر عنصر

مکان هر عنصر با توجه به سرعت به دست آمده در گام قبلی و رابطه (۱۹) به دست می‌آید.

۵- به روز رسانی $G(t)$ و $M_i(t)$

با به روز رسانی مکان هر عنصر و جرم عنصر نیز طبق رابطه (۱۱) و (۱۲) تغییر می‌کند. $G(t)$ نیز از رابطه (۱۶) به روز رسانی می‌شود.

۶- ارزیابی برازش هر عنصر با استفاده از رابطه (۲۲) مقدار برازش هر عنصر به دست می‌آید.

۷- تکرار گام‌های ۲ تا ۶ تا برقراری شرط توقف که تعداد تکرار می‌باشد.

۸- پایان

در شکل ۴، فلوچارت تخمین پارامتر مدل K با استفاده از GSA آورده شده است.

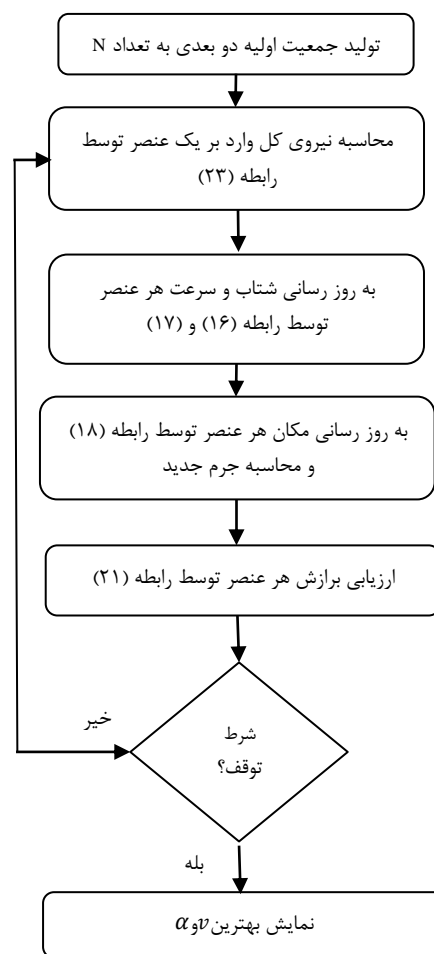
در این رابطه، n تعداد نمونه‌ها است و β نیز از رابطه (۲۷) به دست می‌آید.

$$\beta = 1 - e^{-2nc^2} \quad (27)$$

۶. نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت بخشی از نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌گردد و پارامترهای تخمین‌زده روش پیشنهادی با مقادیر تخمین‌زده روش حداکثر شباهت مقایسه می‌گردند. الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی در بخش چهارم به‌طور مفصل شرح داده شده است. روند شبیه‌سازی این مقاله به‌صورت زیر بیان می‌گردد:

برای تخمین پارامترهای مدل K کلاتر رادار، در ابتدا به داده‌های کلاتری نیاز می‌باشد. این داده‌های کلاتری می‌توانند داده‌های عملی و واقعی باشند که در محیط‌های خاص و با رادارهای مورد نظر اندازه‌گیری می‌شوند و یا می‌توان داده‌های کلاتری را توسط دو روش ZMNL [۱۷] و SIRP در محیط نرم‌افزاری شبیه‌سازی تولید نمود. با توجه به آن که دسترسی به داده‌های واقعی در محیط دانشگاهی نسبتاً دشوار می‌باشد، در نتیجه ما با استفاده از روش SIRP و طبق روندی که در بخش ۱- بیان گردید، داده‌های مدل K را تولید نمودیم. تعداد داده‌های کلاتر تولید شده به میزان ۲۰۰۰۰ نمونه کلاتر مدل K می‌باشد. همان‌طور که در بخش‌های قبل ذکر گردید، تخمین پارامترها باید از روی داده‌های کلاتری تولید شده انجام شود. جهت نشان دادن صحت و کارآمدی روش پیشنهادی، ما شبیه‌سازی خود را در دو آزمایش مختلف انجام دادیم. در هر آزمایش داده‌هایی با پارامترهای مختلف تولید نمودیم و مقادیر تخمین‌زده را با مقدار واقعی پارامترهای خود داده و مقادیر تخمین‌زده روش حداکثر شباهت مقایسه کردیم. همان‌طور که در جدول ۱ قابل مشاهده است در آزمایش یک، ۲۰۰۰۰ نمونه داده کلاتری با توزیع K و با پارامتر مقیاس $(\alpha = 1)$ و پارامتر شکل $(v = 2)$ تولید کرده و سپس با استفاده از الگوریتم پیشنهادی پارامترهای آن را تخمین زدیم. این جدول، به خوبی نشان می‌دهد که اعداد تخمین‌زده بسیار به پارامترهای واقعی نزدیک هستند و نتایج الگوریتم پیشنهادی از روش حداکثر شباهت بهتر است. در آزمایش دو نیز که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است، ۲۰۰۰۰ نمونه کلاتر با توزیع K و با پارامتر مقیاس $(\alpha = 1)$ و پارامتر شکل $(v = 4)$ تولید شده است و نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی با مقادیر



شکل ۴. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم گرانشی جهت تخمین پارامتر مدل K

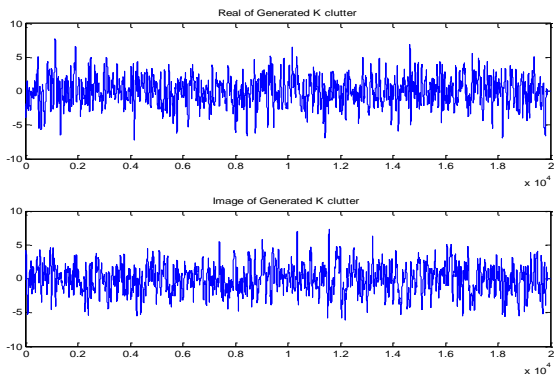
۵. تست کولموگروف - اسمیرنوف

برای تعیین و ارزیابی این که داده‌های دامنه تولیدی مشابه توزیع K می‌باشد از تست $K - S$ استفاده می‌شود. این روش، تستی غیرپارامتری برای ارزیابی توزیع‌های احتمال پیوسته می‌باشد. تست $K - S$ اختلاف بین تابع توزیع تجمعی تجربی نمونه و تابع توزیع تجمعی تئوری را محاسبه می‌کند.

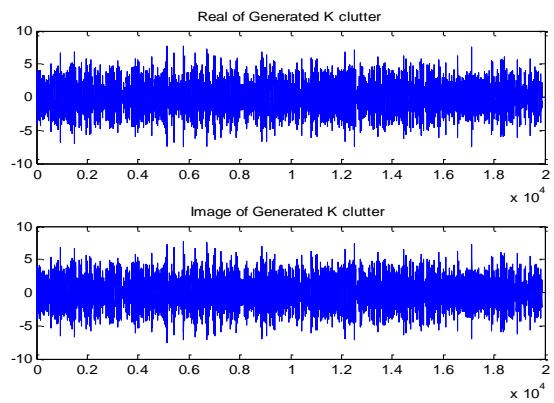
$$De = \max |F(x_i) - F_t(x_i)| \quad (25)$$

در این رابطه $F(x_i)$ تابع توزیع تجمعی تجربی و $F_t(x_i)$ تابع توزیع تجمعی تئوری برای توزیع K می‌باشند. پاپولیس De را با مقدار بحرانی D_{crit} مقایسه می‌کند [۱۶] اگر De بزرگتر از D_{crit} باشد، فرضیه می‌تواند نادیده گرفته شود و داده نمی‌تواند مشابه مدل تئوری باشد. مقدار D_{crit} از رابطه (۲۶) به دست می‌آید:

$$D_{crit} = \sqrt{-\frac{1}{2n} \ln\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (26)$$

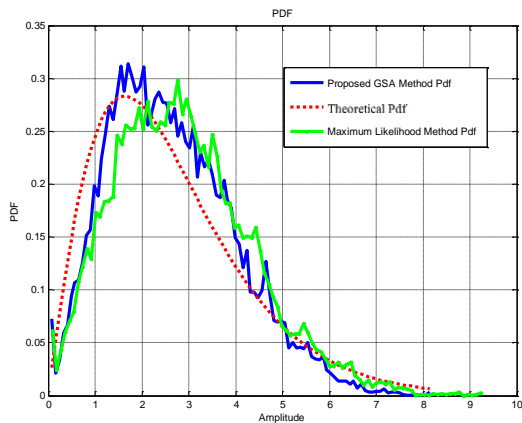


شکل ۵. قسمت موهومی و حقیقی دامنه کلاتر آزمایش یک



شکل ۶. قسمت موهومی و حقیقی دامنه کلاتر آزمایش دو

شکل‌های ۷ و ۸ مقایسه منحنی تابع چگالی احتمال توزیع K با پارامترهای تخمین زده و منحنی تابع چگالی احتمال با پارامترهای تئوری (واقعی) و منحنی تابع چگالی احتمال با پارامترهای تخمین زده با روش حداکثر شباهت، در دو آزمایش یک و دو را نشان می‌دهند. این شکل‌ها به خوبی نشان می‌دهند، منحنی‌هایی که با پارامترهای تخمین زده شده با روش پیشنهادی این مقاله هستند، بسیار به منحنی‌های پارامترهای تئوری، نزدیک هستند. این تفاوت کم تصدیق می‌کند که روش پیشنهادی با دقت بسیار بالایی می‌تواند پارامترها را تخمین بزند.



شکل ۷. مقایسه منحنی‌های تابع چگالی احتمال توزیع K با پارامترهای تخمین زده روش پیشنهادی و روش حداکثر شباهت تئوری و در آزمایش یک

روش حداکثر شباهت و مقادیر واقعی پارامترها مقایسه گردیده است. قابل ذکر است مقادیر پارامترهای الگوریتم جستجوی گرانشی در جدول ۳ آورده شده است. قابل ذکر است با توجه ماهیت تصادفی بودن الگوریتم جستجوی گرانشی، آزمایش‌های یک و دو، به تعداد ۵۰ دفعه تکرار شدند و میانگین مقادیر به دست آمده در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر پارامترهای آزمایش یک

آزمایش یک	پارامترها	α	ν
	مقدار واقعی	۱	۲
	الگوریتم پیشنهادی	۱/۰۲۸۱۳	۱/۹۸۶۳
	حداکثر شباهت	۱/۰۷۶	۱/۷۳۷۷

جدول ۲. مقادیر پارامترهای آزمایش دو

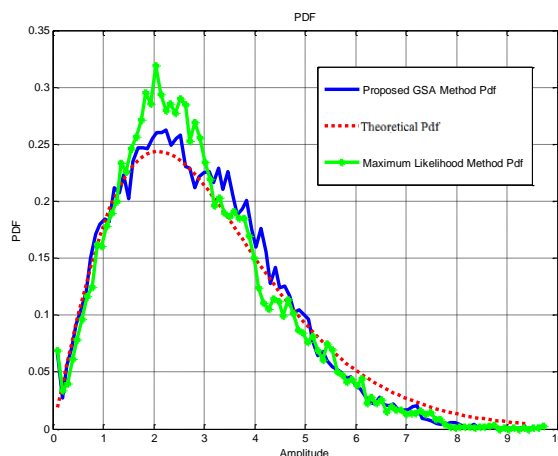
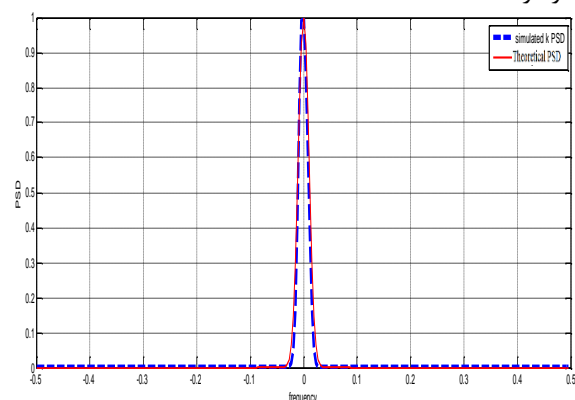
آزمایش دو	پارامترها	α	ν
	مقدار واقعی	۱	۴
	الگوریتم پیشنهادی	۱/۰۳۷۸۳	۳/۹۴۵۴
	حداکثر شباهت	۱/۰۹۹۸	۳/۸۲۴۶

جدول ۳. پارامترهای الگوریتم گرانشی

تعداد جمعیت	۵۰
ماکزیمم تکرار (iteration)	۱۰۰۰
مقدار اولیه ثابت G الگوریتم	۱۰۰
بازه تغییرات پارامتر ν	۰/۱-۱۰
بازه تغییرات پارامتر α	۰-۱۰

شکل ۵ و ۶ به ترتیب قسمت موهومی و حقیقی دامنه کلاتر توزیع K آزمایش یک و آزمایش دو برحسب زمان را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها در بعضی از زمان‌ها دامنه کلاتر دارای مقدار زیادی است و دارای تیزی است. این تیزی بیان‌گر مؤلفه اسپیکل کلاتر است که دارای تغییرات سریع در واحد زمان است. سایر زمان‌ها که دامنه کلاتر تغییرات کندی نسبت به زمان دارد، نشان دهنده مؤلفه توان محلی توزیع K است.

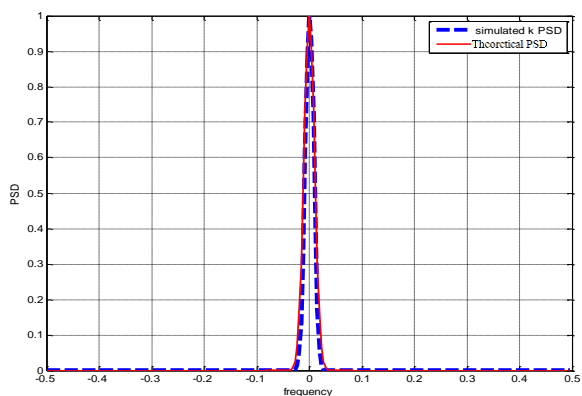
برای تخمین چگالی طیف توان کلاترهای تولید شده از تخمین‌گر چگالی طیف توان ولج^۱ استفاده شده است. این شکل‌ها تطبیق بالای طیف توان کلاتر تولیدی با پارامترهای تخمین‌زده و طیف توان کلاتر با پارامترهای تئوری و واقعی را نشان می‌دهند که این امر نشان دهنده صحت بالای روش استفاده شده این مقاله برای تخمین پارامترهای کلاتر مدل K می‌باشد. همین‌طور می‌توان نتیجه گرفت که کلاتر تولیدی با پارامتر تخمین‌زده ویژگی‌های همبستگی زمانی کلاتر مدل K را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. قابل ذکر است در این شبیه‌سازی فرکانس نمونه‌برداری ۱ Hz نظر گرفته شده است.



شکل ۸. مقایسه منحنی‌های تابع چگالی احتمال توزیع K با پارامترهای تخمین‌زده روش پیشنهادی و روش حداکثر شباهت و تئوری و در آزمایش دو

همبستگی زمانی کلاتر رادار معمولاً توسط چگالی طیف نشان داده می‌شود. شکل ۹ و ۱۰ نیز مقایسه چگالی طیف توان کلاتر با پارامتر تخمین‌زده و پارامتر تئوری در آزمایش یک و دو را نشان می‌دهند.

شکل ۹. مقایسه چگالی طیف توان کلاتر K با پارامتر تخمین‌زده و چگالی طیف توان کلاتر با پارامتر واقعی و تئوری در آزمایش یک



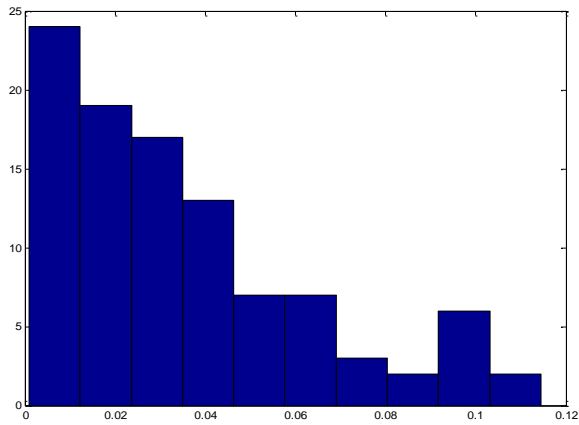
شکل ۱۰. مقایسه چگالی طیف توان کلاتر K با پارامتر تخمین‌زده و چگالی طیف توان کلاتر با پارامتر واقعی و تئوری در آزمایش دو

یکی دیگر از مزیت‌های این مقاله در مقایسه با موارد مشابه خود، استفاده از روشی برای تست تطبیق مدل K تولیدی با پارامتر تخمین‌زده با مدل واقعی آن است. طبق آنچه در بخش پنجم این مقاله بیان شد ما نیز برای تست صحت مدل کلاتر تولیدی در آزمایش یک و دو از تست کولموگروف-اسمیرنوف با $D_{crit} = 0.1045$ و $\beta = 0.05$ استفاده نمودیم.

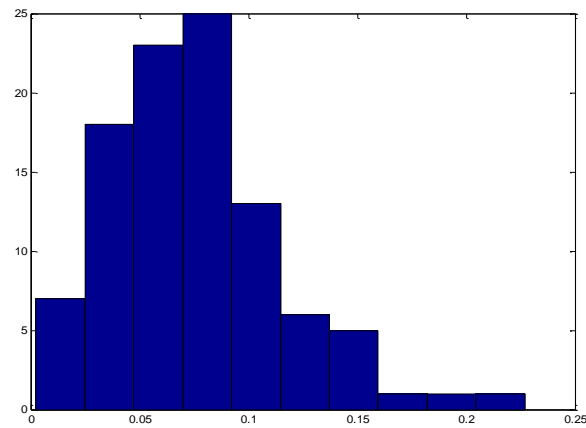
علت گوسی بودن طیف کلاتر تولیدی بدین گونه است: همان‌طور که بیان شد، برای تولید کلاتر توزیع K این مقاله، از روش SIRP استفاده شده است. در شکل ۲ نشان داده شده است، که روش نام برده ابتدا متغیرهای گوسی سفید را از یک فیلتر خطی عبور می‌دهد. این عمل، باعث می‌شود که متغیرها از سفید بودن خارج شوند. این فیلترها در این روش، به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که متغیرهای تولیدی، گوسی رنگی باشند. سپس این متغیرهای گوسی رنگی با استفاده از تبدیلات غیرخطی به توزیع‌های آماری مختلف مورد نظر، تبدیل می‌شوند. دلیل استفاده از متغیرهای گوسی برای تولید انواع مختلف کلاتر رادار، تعداد زیاد متغیرهای کلاتری در یک حجم تفکیک پذیری رادار می‌باشد. بنابراین طبق قضیه حد مرکزی، متغیرهای کلاتری دارای ماهیت گوسی می‌باشند. اما علت تولید مدل‌های دیگر کلاتر مانند رایلی و توزیع K و ... این است که توزیع گوسی در بعضی از شرایط نمی‌تواند به خوبی ویژگی‌های کلاتر منطقه را توصیف کند. بنابراین بر اساس پارامترها و شرایط مختلف یک منطقه، توزیع مناسب انتخاب می‌شود.

علاوه بر علتی که در بالا، برای توجیه گوسی بودن طیف کلاتر رادار بیان شد، با ترسیم دامنه کلاتر توزیع K رادار (شکل ۱) و مشاهده دامنه آن، می‌توان متوجه شد که دامنه آن‌ها بسیار نزدیک به دامنه توزیع گوسی و رایلی می‌باشد، بنابراین طیف آن نیز می‌تواند دارای توزیع گوسی باشد.

¹ welch



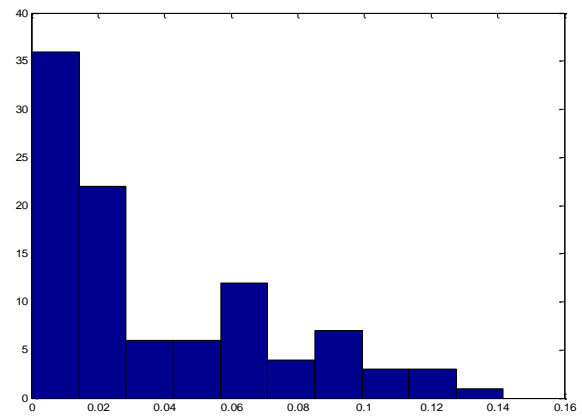
شکل ۱۳. تابع چگالی احتمال D_e تست کولموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های با پارامترهای تخمین‌زده با روش پیشنهادی در آزمایش دو



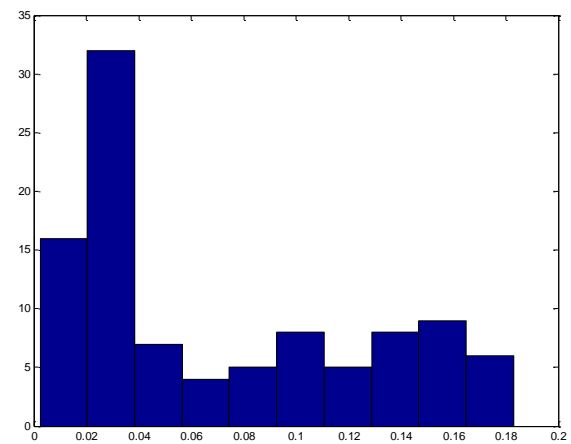
شکل ۱۴. تابع چگالی احتمال D_e تست کولموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های با پارامترهای تخمین‌زده با روش حداکثر شباهت در آزمایش دو

با توجه به نتایج شبیه‌سازی بیان‌شده، صحت و کارآمدی روش پیشنهادی تصدیق می‌شود ولی برای آن که اعتبار روش پیشنهادی چندین برابر مشخص شود و فراگیر بودن این روش برای داده‌های مختلف کلاتر توزیع K رادار تصدیق گردد، این روش، برای تخمین پارامترهای داده‌های کلاتر توزیع K با تعداد نمونه‌های مختلف به کار گرفته شده است. هم‌چنین پارامترهای الگوریتم جستجوی گرانشی در چندین حالت تغییر داده شده است و نتایج در جدول ۴ بیان گردیده است. این روش تخمین، برای داده‌های کلاتری با تعداد نمونه‌های ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ در بازه‌های مختلف تغییرات پارامترهای ν و α ارزیابی شده است. همان‌طور که در جدول ۴، قابل مشاهده است، پارامترهای به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی، بسیار به مقادیر پارامترهای واقعی و تئوری نزدیک است. قابل ذکر است شبیه‌سازی زیر، به تعداد ۱۰ دفعه تکرار شده است و میانگین مقادیر بدست آمده در جدول ۴ آورده شده است.

شکل‌های ۱۱ و ۱۳ که برای داده‌های کلاتری با پارامترهای تخمین‌زده‌شده توسط روش پیشنهادی رسم شده‌اند، به خوبی نشان می‌دهند که اکثر D_e های به‌دست‌آمده کمتر از D_{crit} می‌باشند که این امر نشان‌دهنده صحت و دقت بالای روش پیشنهادی این مقاله برای تخمین پارامتر است. تابع چگالی احتمال D_e برای داده‌های کلاتری با پارامترهای تخمین‌زده‌شده با روش حداکثر شباهت در دو آزمایش یک و دو نیز در شکل‌های ۱۲ و ۱۴ ترسیم گردیده‌اند. هرچند تست این داده‌ها (با پارامترهای روش حداکثر شباهت) نیز نشان می‌دهد که اکثر D_e ها کمتر از D_{crit} هستند ولی تعداد آن‌ها، کمتر از تعداد به‌دست آمده از روش پیشنهادی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، روش پیشنهادی این مقاله، به خوبی می‌تواند پارامترهای توزیع K کلاتر رادار را تخمین بزند.



شکل ۱۱. تابع چگالی احتمال D_e تست کولموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های با پارامترهای تخمین‌زده با روش پیشنهادی در آزمایش یک



شکل ۱۲. تابع چگالی احتمال D_e تست کولموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های با پارامترهای تخمین‌زده با روش حداکثر شباهت در آزمایش یک

جدول ۴. تخمین پارامترهای داده‌های توزیع K کلاتر رادار با تعداد نمونه‌های مختلف و در بازه‌های مختلف تغییرات پارامترهای α و ν ، توسط روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی

تعداد نمونه‌ها کلاتر رادار	بازه تغییرات α در الگوریتم GSA	بازه تغییرات ν در الگوریتم GSA	α تئوری	ν تئوری	α تخمین زده با روش پیشنهادی	ν تخمین زده با روش پیشنهادی
۲۰۰۰	[-۱۰, ۱۰] [-۲۰, ۲۰]	[۰, ۱۰] [۱۰, ۲۰]	۱ ۱۱	۲ ۱۵	۱/۱۲۲۹ ۱۱/۳۶۷۱	۲/۲۳۹۵ ۱۴/۶۲۴۵
۱۰۰۰۰	[-۲۰, ۲۰] [-۲۰, ۲۰]	[۰, ۱۰] [۱۰, ۲۰]	۱ ۱۱	۲ ۱۵	۰/۹۷۴۴ ۱۱/۳۱۲۷	۱/۹۶۸۷ ۱۵/۳۲۷۳
۲۰۰۰۰	[-۲۰, ۲۰]	[۱۰, ۲۰]	۱۱	۱۵	۱۱/۱۳۰۳	۱۴/۸۸۱۲
۳۰۰۰۰	[-۱۰, ۱۰] [-۲۰, ۲۰]	[۰, ۱۰] [۱۰, ۲۰]	۱ ۱۱	۲ ۱۵	۰/۹۸۶۷ ۱۱/۴۰۹۳	۲/۱۶۹۴ ۱۴/۵۷۷۱

۷. نتیجه‌گیری

این مقاله روش جدیدی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی برای تخمین پارامترهای مدل K کلاتر رادار مطرح نموده است. برای تخمین پارامترها با استفاده از روش پیشنهادی در ابتدا با استفاده از روش SIRP داده‌های کلاتری مورد نیاز تولید شد و سپس پارامترهای این داده‌ها استخراج گردید. برای اثبات صحت روش پیشنهادی، در دو آزمایش مختلف مقادیر پارامترهای تخمین زده با مقادیر روش حداکثر شباهت و مقادیر واقعی مقایسه گردیده‌اند. تابع چگالی احتمال و تابع چگالی طیف توان کلاترهای تولیدی ترسیم شد و هم‌چنین برای ارزیابی دقت کلاتر تولیدی، از تست کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در ادامه برای آن‌که کارآمدی روش پیشنهادی بیشتر مشخص شود، برای داده‌های مختلف کلاتر توزیع K با تعداد نمونه‌های متفاوت، روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت و سرانجام برای این که تاثیر پارامترهای توزیع K بر قدرت آشکارسازی رادار مشخص گردد، نمودار احتمال آشکارسازی نادرست بر حسب حد آستانه نیز ترسیم گردیده است. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی، به خوبی نشان دادند که مقادیر شبیه‌سازی بسیار نزدیک به مقادیر واقعی هستند و به وضوح صحت و اعتبار روش پیشنهادی برای تخمین پارامترهای کلاتر توزیع K را تصدیق می‌نمایند.

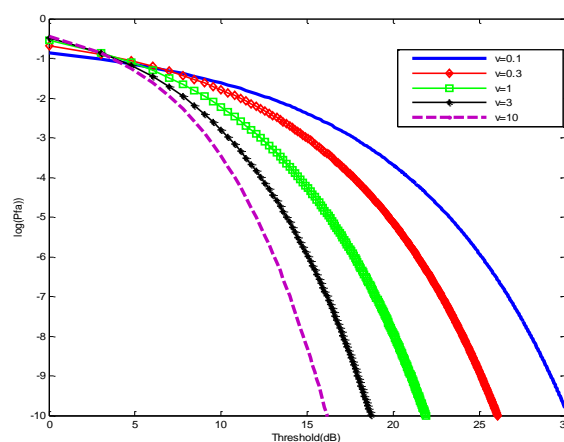
۸. مراجع

- [1] G. Li, B. Yu, "Modelling And Simulation Of Coherent Weibull Clutter," IEEE Proceedings of Radar and Signal Processing, vol. 136, no.3, pp. 2-12, 1989.
- [2] B. Wang, J. Wang, D. Wang, J. Zhang, "Clutter Modeling and Analysis Based On ZMNL Method," Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 45, no. 2, pp.3-20, 2012.
- [3] K. D. Ward, R. J. A. Tough, S.Watts, "Sea Clutter: Scattering, the K Distribution and Radar Performance," Waves in Random and Complex Media, vol. 17, no. 2, pp.

سرانجام برای آن که تاثیر پارامترهای توزیع K بر قدرت آشکارسازی رادار بیشتر مشخص شود، نمودار احتمال هشدار نادرست^۱ بر حسب حد آستانه^۲ ترسیم گردیده است. احتمال آشکارسازی نادرست برای یک پالس برگشتی از کلاتر توزیع K از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۸]:

$$P_{fa}(y_n) = \left(\frac{2(vy_n)^{\frac{v}{2}}}{\Gamma(v)} \right) K_v(2\sqrt{vy_n}) \quad (28)$$

که در رابطه بالا، y_n حد آستانه و ν پارامتر شکل توزیع K می‌باشند. در شکل زیر به ازای پارامترهای شکل (ν) مختلف، نمودار لگاریتم احتمال آشکارسازی بر حسب حد آستانه (بر حسب دسی بل) رسم شده است. در یک حد آستانه ثابت (به طور مثال ۲۲ dB) با تغییر ν از ۰٫۱ تا ۱، لگاریتم احتمال آشکارسازی نادرست حدود ۷ dB کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان از شکل دریافت که پارامترهای توزیع K ، دارای نقش به سزایی در قدرت آشکارسازی رادار دارند.



شکل ۱۵. احتمال آشکارسازی نادرست برای یک پالس برگشتی از کلاتر توزیع K (برای مقادیر مختلف پارامتر ν)

^۱ False alarm probability

^۲ Threshold

233–234, 2007.

- [4] T.K. Moon, W.C. Stirling, "Mathematical Methods and Algorithm for Signal Processing", Prentice-Hall, 2000.
- [5] I. R. Joughin, D. B. Percival, D. P. Winebrenner, "Maximum Likelihood Estimation of K Distribution Parameters for SAR data," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 31, no. 5, pp. 989–999, 1993.
- [6] F. Gini, M. Montanari, L. Verrazzani, "Maximum likelihood, ESPRIT, and Periodogram Frequency Estimation of Radar Signals in K-distributed Clutter," *Signal processing*, vol. 80, no. 6, pp. 1115–1126, 2000.
- [7] R. S. Raghavan, "A Method for Estimating Parameters of K-distributed Clutter," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, vol. 27, no. 2, pp. 238–246, 1991.
- [8] A. Davari, M. H. Marhaban, S. B. M. Noor, M. Karimadini, A. Karimoddini, "Parameter Estimation of K-distributed Sea Clutter Based on Fuzzy Inference and Gustafson–Kessel Clustering," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 163, no. 1, pp. 45–53, 2011.
- [9] M. H. Marhaban, "Estimation of K-Distributed Clutter by Using Characteristic Function Method," *Journal Technology*, Vol. 48, No. 1, pp. 29–40, 2012.
- [10] S.Q. Ren, Y.X. Liu, X. Li, Z.W. Zhuang, "Parameters Estimation for Generalized K-Distributed Clutter Model," *Acta Electronica Sinica*, vol. 34, no. 12, pp.2265-2278, 2006.
- [11] M. P. Wachowiak, R. Smolřková, J. M. Zurada, A. S. Elmaghraby, "Estimation of K Distribution Parameters Using Neural Networks," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 6, pp. 617–620, 2002.
- [12] D. R. Iskander, A. M. Zoubir, B. Boashash, "A Method for Estimating the Parameters of the K-Distribution," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 47, no. 4, pp. 1147–1151, 1999.
- [13] D. Blacknell and R. J. A. Tough, "Parameter Estimation for the K-distribution Based on $[z \log(z)]$," *IEEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, vol. 148, No. 6, pp. 309–312, 2001.
- [14] E. Rashedi, H. Nezamabadi-Pour, S. Saryazdi, "GSA: a Gravitational Search Algorithm," *Information sciences*, vol. 179, no. 13, pp. 2232–2248, 2009.
- [15] H. Yanhui, L. Feng, Z. Baobao, W. Shunjun, "Simulation of Coherent Correlation K-distribution Sea Clutter Based on SIRP," *CIE. Of the Int. Conf. on Radar*, 2006, pp. 1–4.
- [16] A. Papoulis, "Probability, Random Variables and Stochastic Processes", McGraw-Hill Inc, pp. 272, Second Edition, 1991.
- [17] L. Yunlong, X. Chao, Z. Hongzhong, F. Qiang, "Modeling and Simulation of Correlated K-Distributed Sea Clutter Based on ZMNL," in *Proc. of the Int. Conf. on Signal Processing Systems (ICSPS)*, 2011.
- [18] J. Ward, D. Keith, S. Watts, R. Tough, "Sea Clutter: Scattering, the K Distribution and Radar Performance," *IET*, vol. 20, pp 20-26, 2006.

Parameter Estimation of K Distribution Radar Clutter with the Gravity Searching Algorithm

A. Ebrahimzade*, M. Akhondi Darzikolaei

Babol Noshirvani University of Technology

(Received: 15/11/2015, Accepted: 23/08/2016)

Abstract

Parameter estimation is an important task in the modeling, classification, and detection of radar clutters. Radar clutters have stochastic characteristics. Therefore, Statistical distributions are usually used to describe the features of clutters better. K distribution is one of the most common models utilized to the simulation of clutters. This distribution, which consists of scale and shape parameters, has two speckle and local power components. Because local power component is modeled by gamma distribution, the parameter estimation of K distribution is a high dimensional and nonlinear problem. In this paper, a novel method is proposed based on the gravity searching algorithm for the parameter estimation. This new method has high accuracy and validity in estimating parameters. For the evaluation of the proposed method, the estimated probability density function and power spectrum in two different experiments were compared to actual ones. Finally, the results of the new method are compared to the results of the maximum likelihood method. Furthermore, K-S test is performed to evaluate generated clutters with estimated parameters. Results prove the validity of the proposed method for the parameter estimation.

Keywords: Gravity Searching Algorithm, K distribution, Parameter Estimation, Radar Clutter, K-S Test