Archive of SID

مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱ www.Reservoir.ir

بهبود موثر شبیه سازی توزیع های فضایی پیچیده تخلخل موثر در مخازن هیدروکربنی از طریق بهبود بازشناسی الگوهای فضایی در الگوریتم FILTERSIM

حامد ناری[۱]، رکسانا رضایی[۲]، نادر فتحیان پور[۳]
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن
h.naderi@mi.iut.ac.ir

چکیده

زمین آمار چند نقطه ای عرصه ای در حال توسعه در حیطه ی مدلسازی استاتیک توزیع های فضایی پیچیده خواص مخازن نفتی است. در اغلب موارد الگوریتم های مبتنی بر زمین آمار واریوگرامی در شبیه سازی این گونه توزیع ها نتایج رضایت بخشی را بدست نمی دهند. الگوریتم فیلترسیم (FILTERSIM) ، الگوریتمی مبتنی بر زمین آمار چندنقطه ای است با مقایسه الگو به الگوی مرتبط با پارامتر مورد شبیه سازی، با دقت بالایی نسبت به سایر الگوریتم های زمین آماری سعی در بازسازی ساختارهای فضایی پیچیده پارامتر مورد نظر را در گستره مخزن دارد. با این حال الگوریتم فیلترسیم در انطباق و جورشدگی مرزی الگوها دچار مشکل است. در این مطالعه، با ارائه منطقی جدید در نحوه شبیه سازی و انتخاب الگو و اعمال آن بر الگوریتم فیلترسیم بهبود معنادار و موثری در کیفیت مدل های شبیه سازی شده بدست آمد. این روش های بهبودبخش شامل استفاده از کلاس بندی نظارت شده الگوها با استفاده از دو کلاسیفایر بیز موازی (Bayes) ترکیب شده با تئوری دمپسر-شیفر (Dempster-Shafer)، و درادامه استفاده از تابع ضریب همبستگی برای انتخاب منطبق ترین الگو جهت قرار گرفتن در شبکه شبیه سازی است. مقایسه نتایج بین مدل های شبیه سازی شده با استفاده از الگوریتم اصلی فیلترسیم و الگوریتم بهبود یافته فیلترسیم ، پیوستگی فضایی معنادار در انطباق بهتر بین الگوهای قرار گرفته شده در شبکه شبیه سازی را نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی: زمین آمار چندنقطه ای، الگوریتم FILTERSIM، الگوریتم SNESIM، تئوری Bayes، تئوری Dempster-Shafer.

۱- دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دنشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در مدلسازی استاتیک مخازن نفتی، نزدیک شدن به الگوی فضایی پیچیده پارامترهای پتروفیزیکی از طریق روش های زمین آماری، از اهداف مهم این نوع مدلسازی است. با توجه به تئوری مبنای الگوریتم های زمین آماری مبتنی بر واریوگرام، این الگوریتم ها به دلیل طبیعت دو نقطه ای بودن واریوگرام، در تشخیص، بازسازی و شبیه سازی الگوهای فضایی پیچیده پارامترهای خواص مخزنی(مانند لیتولوژکی،تخلخل...) در اغلب موارد محدود خواهند بود[۱]. از این رو، تئوری الهام گرفته از مفاهیم پردازش تصویر، به نام زمین آمار چندنقطه ای (Multiple-Point Geostatistics) در سال ۱۹۸۴ توسط سری واستاوا و گواردیانو پایه ریزی و در سال ۲۰۰۰ اولین الگوریتم قابل اجرا به نام اس-ان-اسیم (SNESIM) توسط استریبل معرفی شد. اس-ان-ای-سیم با اسکن کردن یک تصویر آموزشی(Training Image)(یک مدل دو یا سه بُعدی مفهومی ایستا که شامل ارتباط فضایی خواص مخزنی است)، به روش *الگو به نقطه (pattern to node)*، اقدام به ساخت مدل های مختلف شبیه سازی شده از مخزن مورد نظر می کند[۲]. ژانگ(۲۰۰۶) الگوریتم *الگو به الگوی (pattern to pattern)* فیلترسیم را در جهت بهبود ضعف های الگوریتم اس-ان-ای-سیم و همچنین شبیه سازی پارامترهای پتروفیزیکی را ارائه داد. الگوریتم فیلترسیم نسبت به اس-ان-ای-سیم از دقت بالاتری برای بازتولید الگوای زمین شناسی مورد نظر و ارائه شده در تصویر آموزشی برخوردار است، اما در حفظ پیوستگی فضایی بخصوص در رابطه با انطباق مرز بین الگوها در حین انجام فرآیند شبیه سازی دچار محدودیت است[۳].

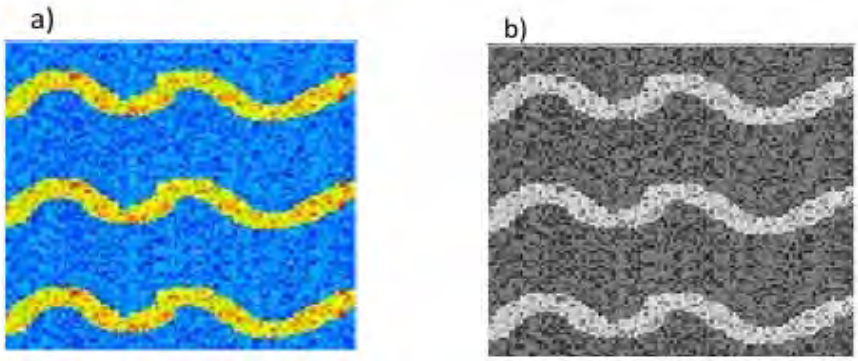
در این تحقیق، باپیاده سازی کد اصلی الگوریتم فیلترسیم و اعمال تغییرات بهبود بخش نظیر کلاس بندی الگوهای آموزشی استخراج شده از تصویر آموزشی با استفاده از تئوری بیز ترکیب شده با مفهوم ترکیب احتمال دمپسر-شیفر و انتخاب الگوها از هر کدام از کلاس ها با توجه به تابع ضریب همبستگی (Cross-Correlation)، نتایج شبیه سازی از نقطه نظر انتخاب الگوی مناسب و حفظ پیوستگی فضایی از بهبود قابل توجهی برخوردارشدند.

۲- الگوریتم فیلترسیم

الگوریتم فیلترسیم با اسکن کردن یک تصویر آموزشی (شکل ۱) با استفاده از یک الگوی جستجو با ابعاد مشخص تمامی الگوهای آموزشی ممکن (pat) را از تصویر آموزشی استخراج می کند (شکل ۲). سپس با طراحی فیلترهای(f) مناسب در جهات مختلف ویژگی های خاص از الگوی آموزشی از طریق ضرب نقطه ای هر فیلتر در آن الگو، به صورت اسکالرهای مرتبط با هر فیلتر (S) در می آید (رابطه-۱). در این مطالعه ۱۱ فیلتر طراحی شد. شکل ۳ برای نمونه سه عدد از فیلترهای طراحی شده را نمایش می دهد.

www.SID.ir

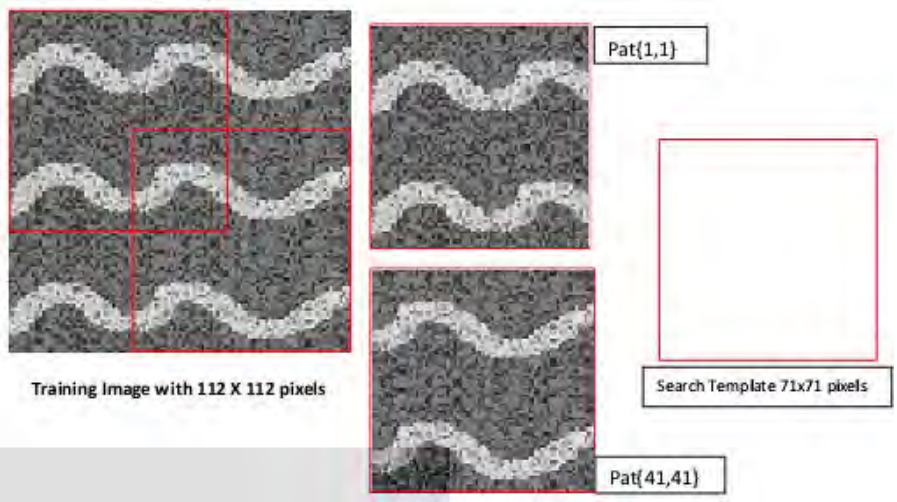
Archive of SID



شکل ۱: تصویر آموزشی طراحی شده برای مخزنی با کانال سینوسی ماسه سنگی با مقادیر بالای تخلخل– a): مقادیر واقعی تخلخل، b): مقادیر gary_scale تخلخل با دقت Double Precision در محیط نرم افزار MATLAB.

$$s_T(u) = \sum_{j=1}^{n} f(h_j).pat(u+h_j)$$

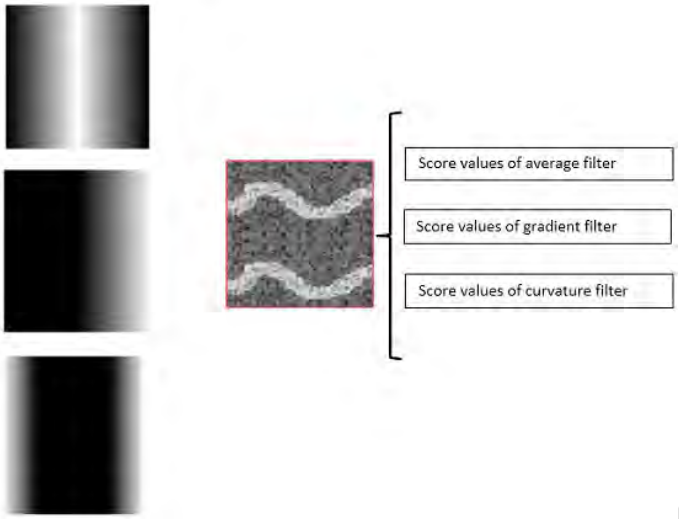
رابطه ۱



شکل ۲: تصویر آموزشی با ابعاد ۱۲۲×۱۲۲ پیکسل، الگوی جستجو با ابعاد ۷۱×۷۱ پیکسل و دو نمونه از الگوهای جستجوی استخراج شده به نام pat{1,1} و pat{41,41}.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳: فیلتر های طراحی شده برای سنجش میانگین، گرادیان و درجه انحنای هر کدام از الگوهای آموزشی.

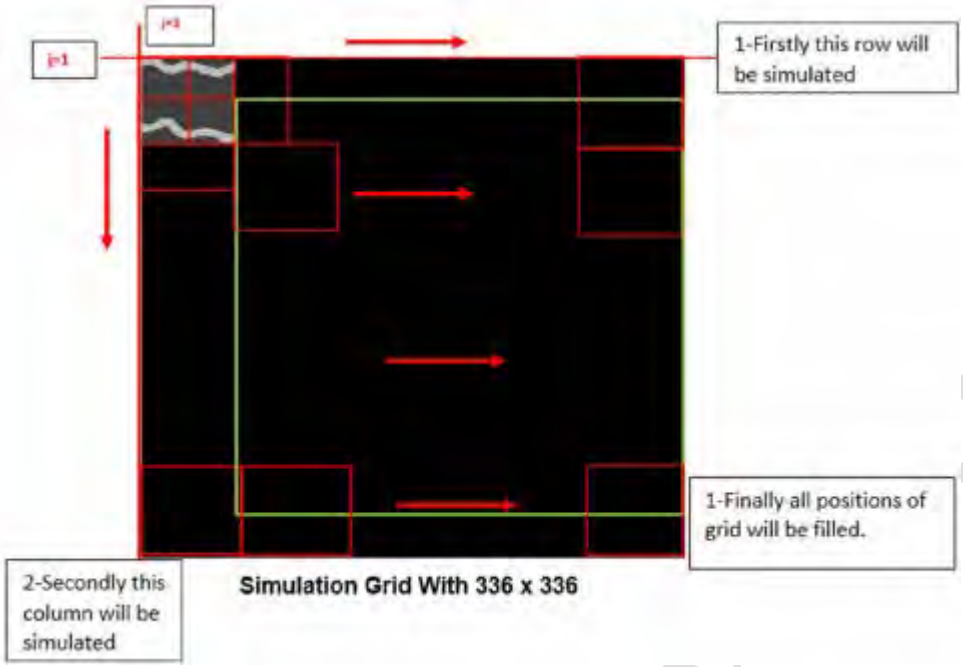
مقادیر اسکالر(امتیاز) بدست آمده برای هر الگوی آموزشی (برای هر الگو ۱۱ امتیاز، حاصل از ضرب ۱۱ فیلتر) فضای امتیازی ۱۶۸۱[11] (۱۶۸۱ عدد الگوی استخراج شده) را تشکیل می دهد. این فضا توسط روش نظارت نشده خوشه بندی k-mean به ۸۰ عدد خوشه، خوشه بندی می شود. هر خوشه الگوهای با توزیع فضایی تخلخل مشابه را در خود دارد، مرکزگون هر خوشه (Centroid) به عنوان انعکاسی از الگوی نماینده (Prototype) الگوهای منسوب به آن خوشه به حساب می آید.

بعد از کلاس بندی نظارت نشده امتیازهای فیلتری فضای در ۱۶۸۱[11] ، فرآیند شبیه سازی در شبکه شبیه سازی به ابعاد ۳۳۶×۳۳۶ صورت پذیرفت. بدین ترتیب، ابتدا یک الگوی آموزشی به صورت تصادفی در شبکه شبیه سازی چسبانده و با حرکت الگوی جستجو به اندازه ی ۰/۲۵ اندازه آن الگوی آموزشی، پیشامد داده جدید (data event) شکل می گیرد. این پیشامد داده در ۱۱ فیلتر طراحی شده ضرب داخلی شده و امتیاز ۱۱ بُعدی مربوط به آن (S_{dev}) تشکیل می شود. با محاسبه فاصله اقلیدسی بین (S_{dev}) و هر کدام از ۸۰ مرکزگون، از مرکزگون با کمترین فاصله اقلیدسی، یک الگوی بطور تصادفی بر روی شبکه شبیه سازی و در ادامه الگوی چسبانده شده قبلی قرار خواهد گرفت. با این ادامه این فرآیند، ابتدا ردیف اول شبکه شبیه سازی معادل با ابعاد الگوی جستجو، و سپس، ستون اول شبکه شبیه سازی معادل با ابعاد الگوی جستجو، ودر پایان کل شبکه به صورت ردیف به ردیف شبیه سازی خواهد شد(شکل ۴).

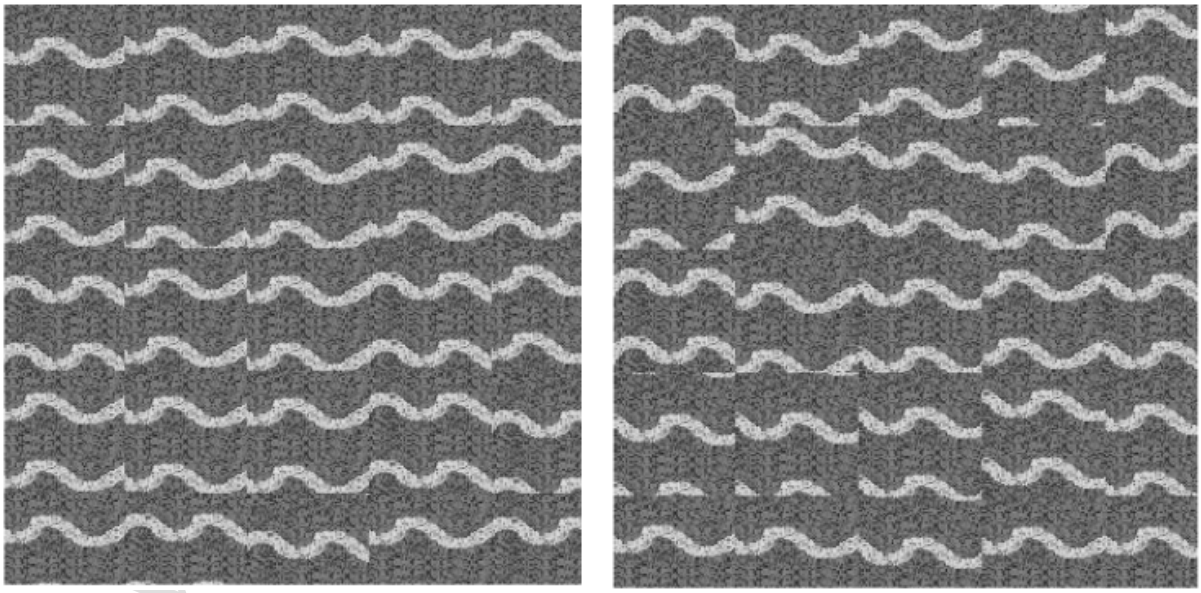
فرآیند شبیه سازی تشریح شده برای الگوریتم فیلترسیم درمحیط MATLAB پیاده سازی شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: شبکه شبیه سازی با ابعاد ۳۳۶x۳۳۶ و نحوه تکمیل شدن تمامی سلول های شبکه از طریق قیاس الگو به الگو با استفاده از الگوریتم فیلترسیم.



شکل ۵: دو مدل شبیه سازی شده با استفاده از الگوریتم اصلی فیلترسیم.

شکل-۵ دو مدل شبیه سازی شده با استفاده از الگوریتم فیلترسیم را نشان می دهد. ناپیوستگی های فضایی بین الگوهای بازفراخوانی شده در مدل های شبیه سازی شده قابل رویت است.

۳- الگوریتم بهبود یافته فیلترسیم

در این تحقیق، بهبود عملکرد الگوریتم فیلترسیم با اعمال دو فرآیند افزاینده دقت به کد اصلی آن صورت گرفت: فرآیند اول، استفاده از دو کلاسیفایر موازی بیزین برای جداسازی نظارت شده کلاس های مختلف و استفاده از تئوری دمپسر-سیفر

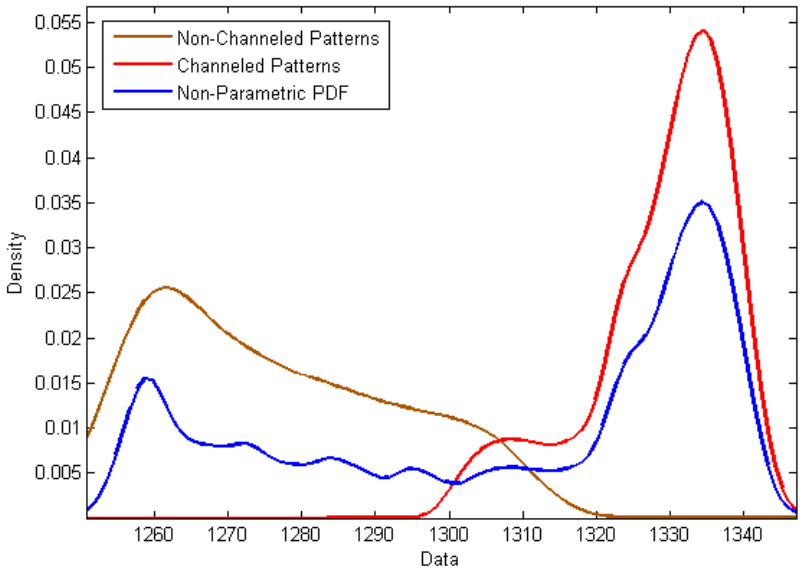
www.SID.ir

Archive of SID

برای تعیین کلاس الگوهای قرار گرفته در ناحیه خطای کلاسیفایرها، و پس از آن، به عنوان فرآیند دوم، استفاده از تابع ضریب همبستگی برای انتخاب الگوی با بالاترین درجه انطباق با پیشامد داده.

۳-۱- کلاس بندی الگوها با استفاده از روش بیز و تئوری دمپسر-شیفر

منظور از الگوها در واقع همان امتیازهای فیلتری متناظر با آن ها است که فضای امتیازی ۱۶۸۱[11] را تشکیل داده است. برای روشن شدن چگونگی استفاده از دو کلاسیفایر موازی و تئوری ترکیب احتمال دمپسر-شیفر، با توجه به چگالی احتمال امتیازهای فیلتر لبه ای(فیلتری که بر ویژگی های لبه ای الگوهای آموزشی تأکید می کند) می توان کلاسیفایر بیز اولیه را برای جداکردن الگوهای آموزشی با کانال های سینوسی از الگوهای بدون کانال طراحی کرد (شکل ۶).



شکل ۶: کلاسیفایر اولیه برای جداسازی الگوهای آموزشی کانال دار و بدون کانال با استفاده از pdf مربوط به امتیازهای فیلتر لبه ای.

در ادامه، با استفاده از همان تابع چگالی توزیع احتمال امتیازهای فیلتری، کلاسیفایر بیزین ثانویه برای جداسازی الگوهای با دو کانال سینوسی، الگوهای با یک کانال سینوسی، الگوهای با بخشی از یک کانال سینوسی و الگوهای بدون کانال طراحی شد. با داشتن دو کلاسیفایر بیز که هرکدام مستقل از یکدیگر به پیش بینی کلاس یک امتیاز فیلتر لبه ای می پردازند، در مواردی که نتایج حاصل از این دو کلاسیفایر در پیش بینی کلاس یک الگو بر اساس امیتاز فیلتر لبه ای آن، با یکدیگر درتضاد باشند، تئوری ترکیب احتمال دمپسر-شیفر به کار خواهد آمد. برای مثال، اگر با توجه به نرخ خطای کلاسیفایر اولیه، میزان باور(belief) و تردید (plausibility) آن به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۰/۱۲ بوده، و همین دو پارامتر برای کلاسیفایر ثانویه برابر با ۰/۹۱ و ۰/۰۹ باشد، آنگاه برای امتیاز فیلتر لبه ای ۱۳۰۱ که کلاسیفایر اولیه آن را بدون کانال و کلاسیفایر ثانویه آن را متعلق به کلاس الگوهای با یک کانال سینوسی پیش بینی کرده، بدست می آید:

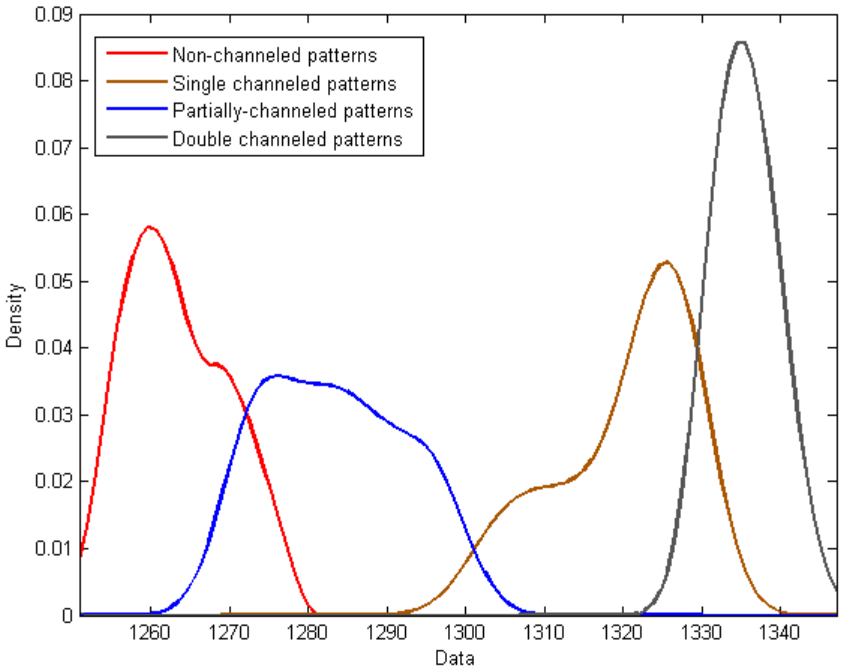
- اگر هردو کلاسیفایر قابل اعتماد باشند، غیر ممکن
- کلاسیفایر اولیه قابل اعتماد، ثانویه غیرقابل اعتماد، ۰/۰۹ × ۰/۸۸= ۰/۰۷۶۵، الگو بدون کانال است
- کلاسیفارثانویه قابل اعتماد، اولیه غیرقابل اعتماد، ۰/۹۱×۰/۱۰۹۲=۰/۲۱ ، الگو دارای کانال است
- هردو غیر قابل اعتماد، کلاس الگو مشخص نخواهد بود به احتمال ۰/۰۱۰۸ .

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین، الگوی آموزشی با امتیاز فیلتر لبه ای برابر با ۱۳۰۱، به احتمال ۰/۳۹ بدون کانال و به احتمال ۰/۵۶ دارای یک کانال است، که در نهایت کلاس نهایی الگو کلاس الگوهای دارای یک کانال سینوسی خواهد بود.

این منطق در فضای ۱۱ بعدی حاصل از تمامی امتیازهای فیلتری، به جای کلاس بندی نظارت نشده خوشه بندی K-mean، برای هر بیشتر کردن دقت کلاس بندی الگوها و کنترل نرخ خطای کلاس بندی و حداقل کردن آن مورد استفاده قرار گرفت. واضح است که کلاس بندی هر چه بهتر الگوهای آموزشی به طور مستقیم بر کیفیت شبیه سازی های حاصل از الگوریتم فیلترسیم تأثیر خواهد گذاشت.



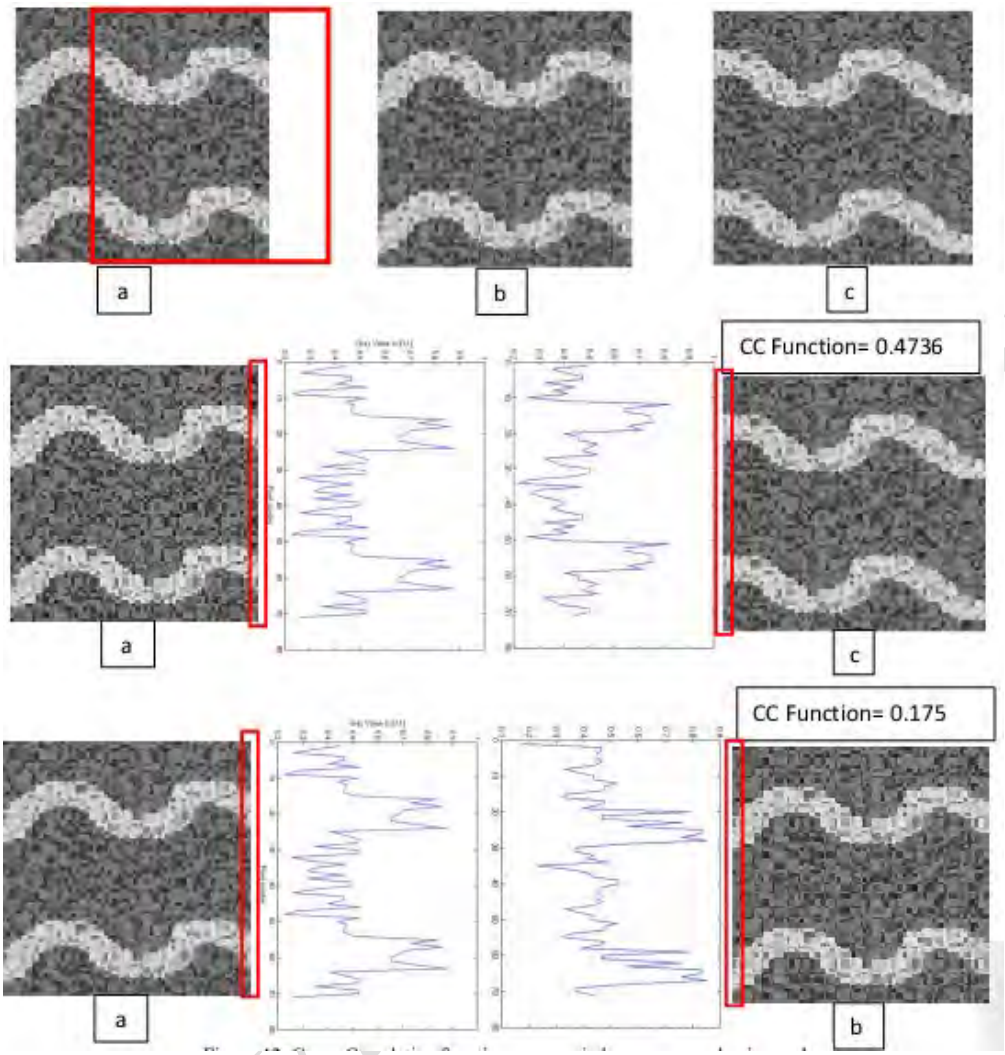
شکل ۷: کلاسیفایر بیز ثانویه با استفاده از pdf امتیازهای فیلتر لبه ای.

۳-۲- تابع ضریب همبستگی بر اساس تغییرات حاشیه ای الگوها

در مرحله ی قبل با استفاده از دو کلاسیفایر موازی و تئوری دمپسر-شیفر کلاس بندی بهینه ای بر فضای امتیازی فیلترها اعمال شد. با وجود اینکه این روش نسبت به خوشه بندی K-mean از دقت نظارت شده بیشتری برخوردار است، اما انتخاب تصادفی یک الگوی آموزشی از کلاسی که بیشترین شباهت مرکزی را به پیشامد داده در شبکه شبیه سازی دارد (فرآیندی که در الگوریتم اصلی فیلترسیم اتفاق می افتد)، تضمینی برای انتخاب الگویی با منطبق ترین حاشیه جهت حفظ پیوستگی فضایی با پیشامد داده را نمی دهد. این انتخاب تصادفی، با تعریف تابعی که بر مبنای مقایسه تغییرات حاشیه ای پیشامد داده و همه ی الگوهای قرار گرفته در نزدیک ترین کلاس به آن و کمی سازی این مقایسه در قالب ضریب همبستگی، جایگزین شد. به عنوان مثال، با توجه به شکل ۸، اگر a پیشامد داده مورد نظر باشد، و b و c دو الگوی آموزشی از کلاس الگوهای دارای دو کانال سینوسی باشند، مطابق با تابع ضریب همبستگی، الگوی c در شبکه ی شبیه سازی بلافاصله بعد از الگوی چسبانده شده قبلی قرار خواهد گرفت، زیرا مقدار ضریب همبستگی بین الگوی c و پیشامد داده نسبت به b با همان پیشامد، بیشتر است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: پیشامد داده، الگوهای دارای دو کانال سینوسی و انتخاب منطبق ترین الگو با پیشامد داده براساس تابع ضریب همبستگی.

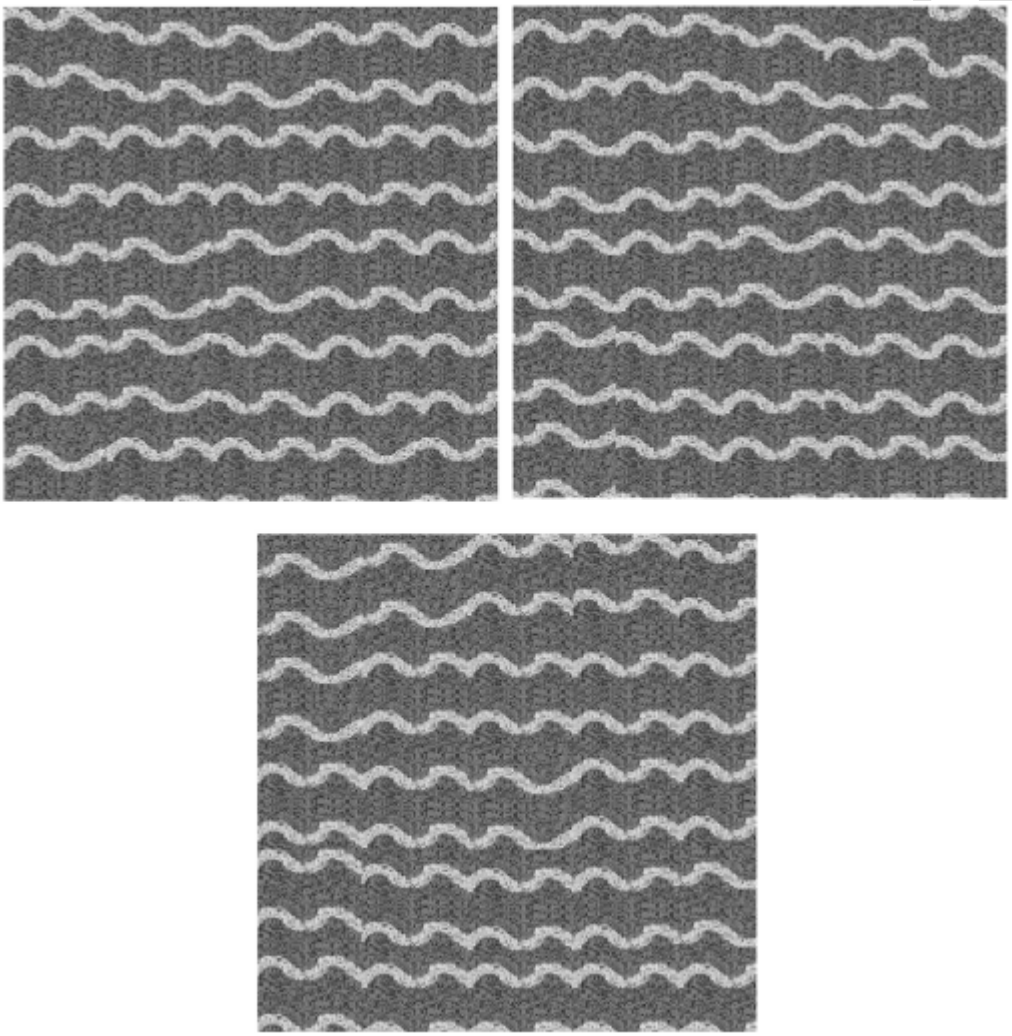
۳-۳- شبیه سازی با استفاده از الگوریتم فیلترسیم بهبود یافته

سرانجام، با اعمال تغییرات مشروحه در بندهای ۳-۱ و ۳-۲ بر الگوریتم اصلی فیلترسیم در محیط نرم افزار MATLAB، الگوریتم فیلترسیم بهبود یافته حاصل و اجرا شد. سه عدد از مدل های شبیه سازی شده این الگوریتم در شکل ۹ قابل مشاهده است.

شکل ۱۰ مقایسه بین الگوریتم های اصلی و بهبود یافته فیلترسیم را نسبت به یک تصویر آموزشی و پارامترهای تنظیم شده یکسان نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، در موقعیت های فضایی (نواحی مشخص شده با دوایر قرمز رنگ) از شبکه شبیه سازی، مدل حاصل از الگوریتم فیلترسیم ناپیوستگی و درهمان موقعیت ها، مدل حاصل از الگوریتم بهبود یافته فیلترسیم پیوستگی فضایی را نشان می دهد. این امر موید کارآیی روش های پیشنهاد شده در این تحقیق، استفاده از دو کلاسیفایر بیز موازی بهمراه تئوری دمپسر-شیفر، و انتخاب منطبق ترین الگوی آموزشی بر حسب تعریف تابع ضریب همبستگی، برای بهبود عملکرد الگوریتم فیلترسیم می باشد.

www.SID.ir

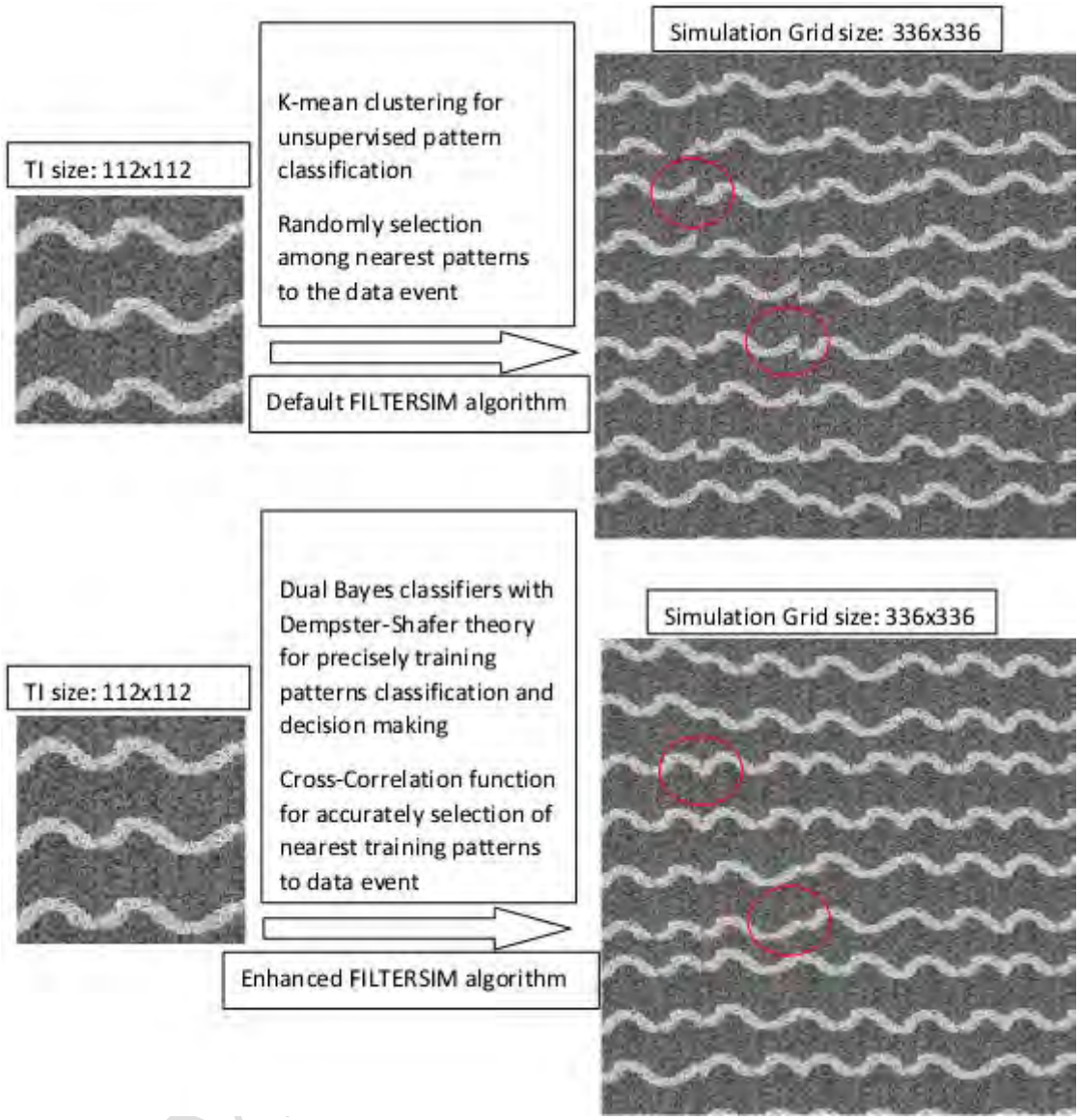
Archive of SID



شکل ۹: سه مدل شبیه سازی شده از الگوریتم بهبود یافته فیلترسیم.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰: مقایسه نتایج الگوریتم اصلی فیلترسیم و الگوریتم بهبودیافته فیلترسیم.

۴- نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق ارائه ایده های نوآورانه و بهبود بخش در الگوریتم اصلی فیلترسیم به منظور افزایش کارآیی فرآیند تشخیص الگو و کاهش ناپیوستگی های فضایی تخلخل موثر (و همچنین سایر خواص لیتولوژیکی و پتروفیزیکی مخازن نفتی)، می باشد. نتایج این تحقیق بصورت زیر ارائه می باشد:

- استفاده از کلاس بندی نظارت شده با استفاده از دو کلاسیفایر بیز موازی بهمراه تئوری ترکیب احتمال دمپسر-شیفر در قیاس با روش خوشه بندی نظارت نشده K-mean در کلاس بندی هرچه دقیق تر الگوهای آموزشی بهتر بخوبی عمل کرده و حق انتخاب و تعیین کلاس های مورد نظر را برای مدلساز استاتیک مخزن فراهم می آورد.
- تعریف تابع همبستگی برای مقایسه حاشیه پیشامد داده و الگوی های قرار گرفته در نزدیک ترین کلاس به آن، و انتخاب یک الگو براساس داشتن بیشترین مقدار ضریب همبستگی با پیشامد داده، تقریبا بطور کامل ناپیوستگی های

www.SID.ir

Archive of SID

فضایی مشاهده شده در مدل شبیه سازی شده با استفاده از الگوریتم اصلی فیلترسیم را رفع کرده و مدل های بدست آمده از الگوریتم بهبود یافته فیلترسیم نسبت به واقعیت زمین شناسی و الگوی فضایی درنظر گرفته شده برای تخلخل موثر در تصویر آموزشی، بسیار نزدیک تر و قابل قبول تر است.

مراجع

[۱]Strebelle, S. B. , (2001). “Reservoir Modeling Using Multiple-Point Statistics”, SPE 71324, 1-11.

[۲] Nikravesh, M., Aminzadeh, F., Zadeh L.A., (2003). “Soft Computing And Intelligent Data Analysis In Oil Exploration”. Elsevier Science , Development of Petroleum Science 51.

[۳] Wu, J., (2007). “4D Seismic and Multiple-Point Pattern Data Integration Using Geostatistics” Partial Fulfillment of the Requirments for the Degree of Ph.D, Stanford No. 1, 1-229.

www.Reservoir.ir

www.SID.ir