حذف پدیده نامطلوب الیاسینگ مکانی با استفاده از تبدیل موجک ایستا

محمد جواد خشنواز[1]، دکترحمیدرضا سیاهکوهی[2] و دکتر بهرام عکاشه[3]

چکیده

پدیده نا مطلوب الیاسینگ مکانی، در برخی از برداشت های لرزه ای ، امری اجتناب ناپذیر می باشد.این پدیده تاثیراتی بسیار نامطلوب، در روند پردازش و تفسیر داده های لرزه ای حاصل از سیستم های چند کاناله بر جای می گذارد. تاکنون از روشهای بسیاری برای حذف پدیده مذکور، همچون روشهای درونیابی ردلرزه ها با استفاده از تبدیلات مختلفی همچون تبدیل رادون، استفاده شده است.در این مقاله با بهره جستن از تبدیل موجک ایستا، اثر الیاسینگ مکانی بطور کامل برطرف می‌شود. مزیت و برتری استفاده از این روش نسبت به روشهای مرسوم، ثابت باقی ماندن تعداد ردلرزه ها ،ثابت ماندن شکل کلی موجک ایجاد کننده ردلرزه ها، به حداقل رسیدن تغییر فاز رخدادهای لرزه ای و در نهایت سرعت بالای انجام واعمال این روش بر روی داده های لرزه ای می باشد.

کلید واژه ها: تبدیل موجک ایستا، مقیاس، انتقال، الیاسینگ مکانی، نایکوییست.

Removing Spatial Aliasing Using Stationary Wavelet Transform

Mohammad Javad Khoshnavaz, Dr. Hamid Reza Siahkoohi and Dr.Bahram Akashe

Abstract

Spatial aliasing is unavoidable in some seismic data acquisitions and has serious adverse impacts on the performance of multichannel data processing and interpretation. So far, many methods have been used for removing spatial aliasing, such as interpolation methods of seismic traces by various transforms like Radon transform. In this paper, a new method for complete removal of spatial aliasing using stationary wavelet transform is presented. Our method has several advantages over previous ones such as, fixing the number of traces, avoiding transfiguration of wavelet shape that constructs the traces, minimizing the phase shift in seismic events, and reducing the run time.

Keywords: Stationary wavelet transform, scale, shift, spatial aliasing, Nyquist.

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

[2] عضو هیئت علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

[3] عضو هیئت علمی دانشگاه آزد اسلامی واحد تهران شمال

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

پدیده های الیاسینگ مکانی و الیاسینگ زمانی در اثرعدم رعایت انتخاب پارامترهای نمونه برداری مناسب مکانی و زمانی بوجود می آیند. یکی از تفاوتهای اصلی الیاسینگ زمانی و مکانی در این است که ، در مرحله برداشت الیاسینگ زمانی با کاهش نرخ نمونه برداری برطرف می گردد، ولی وقوع الیاسینگ مکانی در مرحله برداشت، تقریبا امری اجتناب ناپذیر بوده و حذف یا تضعیف آن بیشتر در حوزه پردازش داده های لرزه ای میسر می گردد. علت این تفاوت، تعدد و تنوع پارامترهای دخیل در ایجاد الیاسینگ مکانی می باشد. این پارامتر ها عبارتند از شیب لایه ها، سرعت ظاهری انتشار امواج لرزه ای، فاصله مکانی نمونه برداری یا فاصله دو گیرنده متوالی، دورافت یا فاصله هر گیرنده نسبت به مکان چشمه و فرکانس در یافتی توسط گیرنده ها. در این مقاله، با حذف مولفه‌های فرکانسی که در ایجاد الیاسینگ مکانی نقش دارند، این اثر حذف می گیرد.

قضیه نمونه برداری

فرض می کنیم $x(t)$ سیگنالی با پهنای باند محدود باشد بطوریکه برای $|\omega| > \omega_M$ ، $X(j\omega)=0$ است. آنگاه می توان $x(t)$ را از روی نمونه های آن یعنی $x(nT)$ « $n=0,\pm1,$ به طور یکتا تعیین کرد، اگر شرط زیر برقرار باشد :

$$\omega s > 2\omega M$$

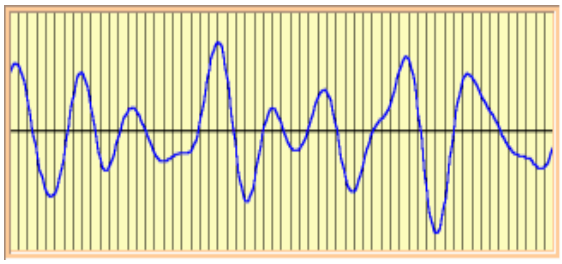
که در آن:

$$\omega s = 2\pi / T$$

با داشتن این نمونه ها، می توان $x(t)$ را با ایجاد یک قطار ضربه متناوب که در آن ضربه های متوالی دارای دامنه هایی برابر با مقادیر نمونه های متوالی هستند، باز سازی نمود . سپس این قطار ضربه با یک فیلتر پایین گذر ایده آل با بهره T و فرکانس قطع بزرگتر از ω_M و کوچکتر از $\omega_s-\omega_M$ پردازش می شود. در این حالت سیگنال خروجی دقیقا برابر $x(t)$ خواهد بود. فرکانس زاویه ای را معمولا نرخ نایکوییست می نامند که در قسمتهای بعد بیشتر درباره فرکانس نایکوییست بحث خواهد شد .

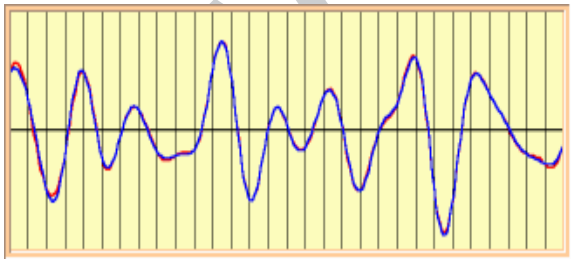
الیاسینگ زمانی

شکل زیر نشاندهنده قسمتی از یک رد لرزه (اصلی) می باشد که با نرخ نمونه برداری 1 ms برداشت شده است. خطوط خاکستری عمودی، نقاط نمونه برداری را مشخص می کند. در این قسمت بطور تصاعدی نرخ نمونه برداری این سیگنال را افزایش می دهیم. به بیان دیگر نرخ نمونه برداری دوره تناوب (زمان) را افزایش می دهیم .



شکل ۱ : قسمتی از یک رد لرزه با نرخ نمونه برداری 1 ms

با نرخ نمونه برداری 2 ms، سیگنال بازسازی شده بطور تقریبی همپوشانی خوبی با سیگنال اصلی دارد (سیگنال اصلی با رنگ روشن نمایانده شده است). مشاهده می شود که سیگنال جدید کمی انحراف وتفاوت نسبت به سیگنال اصلی دارد. این پدیده در اثر حذف مقداری ازفرکانس های بالا در سیگنال اصلی ، می باشد.

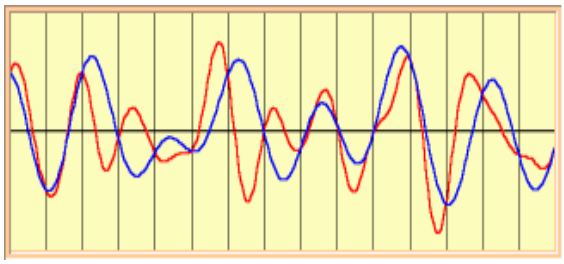


شکل ۲: ردلرزه بازسازی شده با نرخ بازسازی 2 ms

حال نرخ نمونه برداری را به 4 ms افزایش می دهیم. مشاهده می شود که شکل سیگنال بوضوح دچار تغییرات شدید و اشتباه شده است. اگرچه روند کلی سیگنال بازسازی شده به سمت سیگنال اصلی میل می کند، ولی انحرافات زیادی نسبت به سیگنال اصلی دارد.

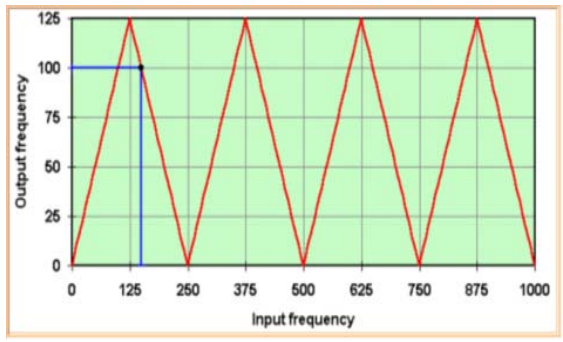
Archive of SID

www.SID.ir



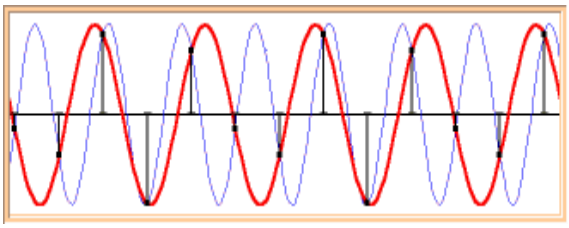
شکل ۳ : ردلرزه بازسازی شده با نرخ بازسازی 4 ms

حال اگر نرخ نمونه برداری را به 8 ms افزایش دهیم، انحراف از سیگنال اصلی خود را در نهایت حد ممکن، بصورت زیر نشان می‌دهد. دراین شکل تمامی فرکانسهای بالاتر از فرکانس آستانه (که در پاراگراف بعد معرفی خواهد شد)، به اشتباه خود را به صورت فرکانس های پایین تر به نمایش فرکانس های بالاتر از فرکانس نایکوییست، حول فرکانس نایکوییست دوران کرده یا به عبارت دیگر دچار تا خوردگی (Fold-backing) نسبت به این فرکانس می شوند و خود را بصورت فرکانس های پایین تر نشان می دهند. به عنوان مثال در نمونه برداری با نرخ 4 ms که فرکانس نایکوییست در آن 125 Hz می‌باشد، فرکانس 150 Hz که 25 Hz بیش از فرکانس نایکوییست است، حول فرکانس نایکوییست تا خورده و خود را بصورت 100 Hz نشان می دهد که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل۵ : دوران، تا خوردگی یا Fold-backing حول فرکانس نایکوییست ،(الیاسینگ)

در شکل زیر سیگنال اصلی با رنگ آبی و سیگنال الیاس شده مثال فوق با رنگ قرمز، بازسازی شده است. در این نمایه از بین رفتن فرکانسهای بالاتر از فرکانس نایکوییست و انحراف شدید از سیگنال اصلی بوضوح قابل مشاهده می باشد.



شکل٦ : سیگنال اصلی با رنگ روشن وسیگنال بازسازی شده (الیاس شده) بارنگ تیره مشخص شده است.

تعداد پیک های موجود در واحد طول و در راستای افقی، شمارش می گردد . همانند فرکانس زمانی آستانه یا فرکانس نایکوییست، عدد موج آستانه مکانی یا عدد موج نایکوییست داریم که به صورت زیر تعریف می‌گردد (ییلماز،۲۰۰۱).

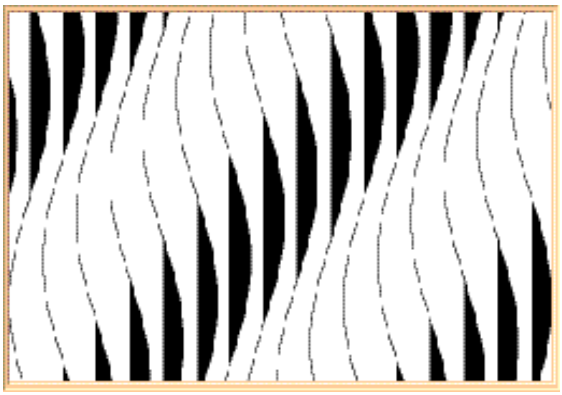
$$K_{Nyq}=1/2\Delta x \qquad (۲)$$

هنگامی که فاصله نمونه برداری بصورت بهینه انتخاب نشود، آنگاه عدد موج هایی که بیش از عدد موج نایکوییست باشند، حول این نقطه دوران نموده و تغییر علامت می دهند که در نتیجه آن شیب رخدادها بگونه ای غیر واقعی خود را نشان می دهند. رابطه ی بین فرکانس، سرعت ظاهری و طول موج ظاهری بصورت زیر است :

$$\lambda_{AP}=V_{Ap} / f \qquad (۳)$$

$$K_{Ap}= f / V_{Ap} \qquad (٤)$$

به منظور دریافت بهتر الیاسینگ مکانی و معزلات بوجود آمده توسط آن، مثال زیر را مورد تحلیل قرار می دهیم. در دو رکوردهای لرزه ای زیر، فاصله میان هر دو گیرنده متوالی ثابت و برابر 25m می‌باشد. فرکانس‌های تکفام در این رکوردها به ترتیب از 10 و ٦٠ هرتز می باشد .



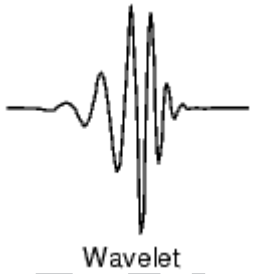
شکل۷ : رکورد لرزه ای مصنوعی با فرکانس 10 Hz

Archive of SID

www.SID.ir

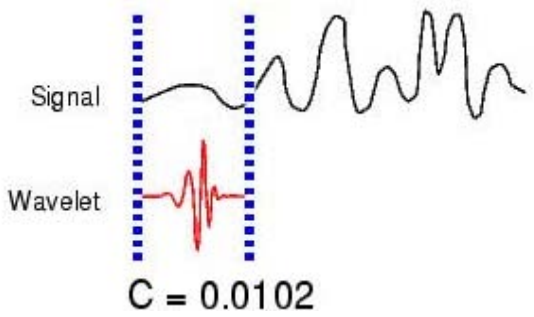
تبدیل موجک ایست

تبدیل موجک از ابزارهای ریاضی بسیارمفیدی است که در سال های اخیر مورد توجه پژوهشگران عرصه پردازش سیگنال قرار گرفته است. موجک، نوعی سیگنال است که حاوی محتوای فرکانسی بالا و طول زمانی کوچک ومحدود می باشد.



شکل ۱۰: نمایش شماتیک موجک

درتبدیل‌های موجک، دومفهوم اساسی انتقال و مقیاس مورد استفاده قرار می گیرد. موجک انتخاب شده برای اعمال تبدیل موجک، ابتدا با یک طول زمانی معین(مقیاس مشخص) مقابل ابتدای سیگنال مورد بررسی قرار گرفته و دامنه‌های متناظر آنها در یکدیگر ضرب شده و با یکدیگر جمع می گردند. عدد بدست آمده ضریب موجک نام دارد. این ضریب نشان دهنده میزان شباهت موجک با مقیاس انتخاب شده و قسمتی از سیگنال که تبدیل بر روی آن اعمال گردیده، می باشد (دابیشز،۱۹۹۲). شکل زیر نشان دهنده توصیفات فوق می باشد.

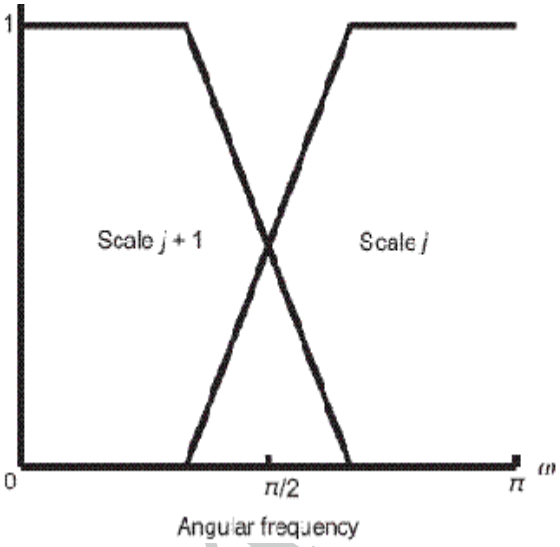


شکل۱۱ : اعمال تبدیل موجک با یک مقیاس انتخابی معین

علت نامگذاری تبدیل موجک ایستا، پایا و ثابت بودن تعداد کل نمونه ها در تمامی مراحل انجام این تبدیل می باشد.

اصل همسایگی در تبدیل موجک

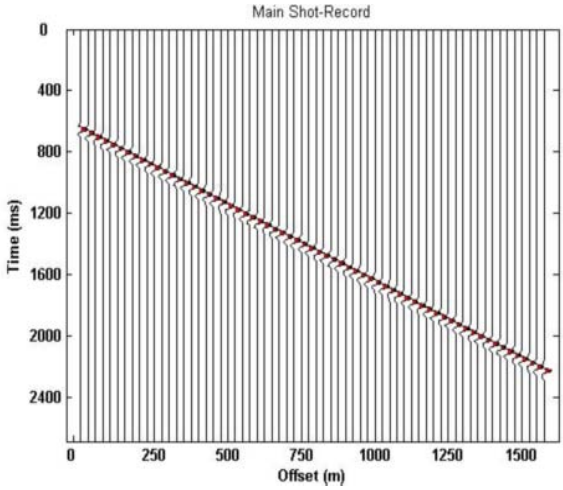
در تبدیلات موجک انرژی سیگنال در هر مقیاس، به بازه های معینی از فرکانس محدود می گردد، بطوریکه با افزایش مقیاس یا طول پنجره، اندازه فرکانس غالب موجک مورد استفاده دچار کاهش می گردد. به منظور کاهش حتی المقدور پدیده گیبس، ایجاد همپوشانی و اشتراک در پنجره ها و مقیاسهای مجاور یا همسایه ، امری ضروری می باشد. ایجاد این اشتراک، سبب ایجاد همپوشانی و شباهت فرکانسی میان مقیاسهای همسایه می شود. از اینرو، اشتراک و همپوشانی مقیاسهای مجاور و شباهت فرکانسی ایجاد شده در پنجره های همسایه ،اصل همسایگی در تبدیل موجک نامیده می گردد. نمودار شکل زیر بصورت شماتیک نشاندهنده اصل مذکور می باشد (استرنگ ونوگیان، ۱۹۹۷) .



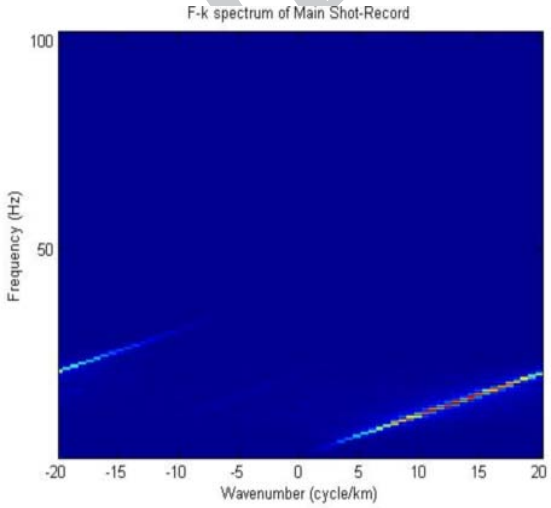
شکل۱٤:نمایش شماتیک اصل همسایگی در تبدیلات موجک

مثال زیر نمونه ای ازبکارگیری روش حذف الیاسینگ بوسیله تبدیل موجک ایستا بر روی رکورد لرزه‌ای مصنوعی می باشد. موجک استفاده شده برای تولید رکورد مذکور، موجک ریکر با فرکانس غالب 15 Hz می باشد. نرخ نمونه برداری زمان 2 ms و فاصله نمونه برداری 25 m انتخاب شده است.

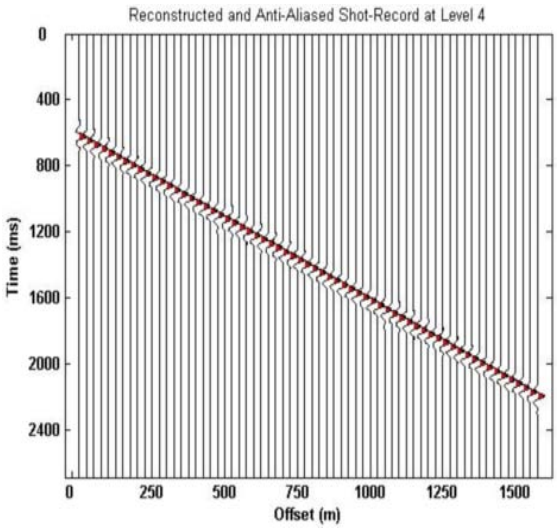
www.SID.ir



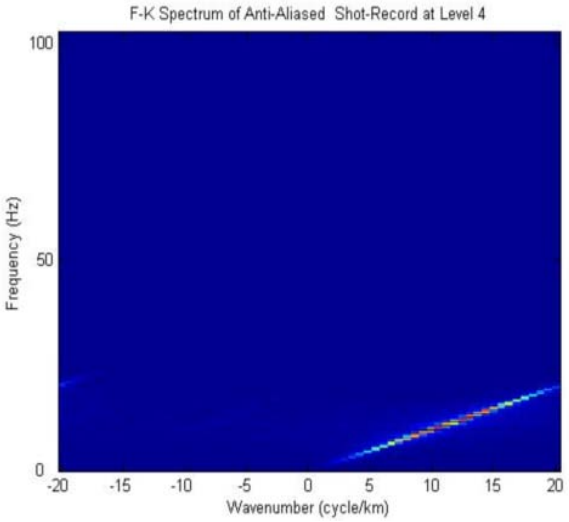
شکل۱۵: رکورد لرزهای مصنوعی خطی ایجاد شده با موجک ریکر و فرکانس غالب 15 Hz



شکل۱۶: وقوع الیاسینگ مکانی در تحلیل طیفی F-K مربوط به رکورد لرزه ای شکل ۱۵



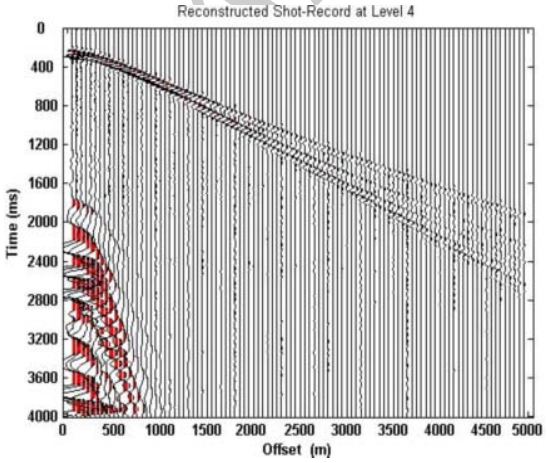
شکل ۱۹: رکورد لرزه ای بازسازی شده از ضرایب موجک مقیاس چهارم



شکل۲۰ : تحلیل طیفی F-K رکورد لرزه ای بازسازی شده

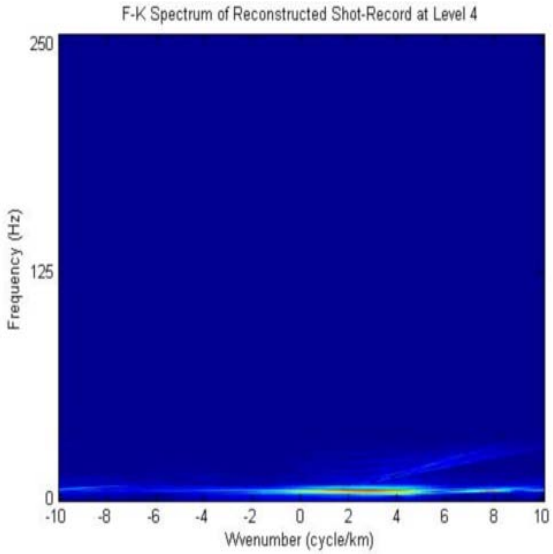
از ضرایب موجک مقیاس چهارم وحذف الیاسینگ مکانی در مثال بعد، روش حذف الیاسینگ مکانی با استفاده از تبدیل موجک ایستا، بر روی داده واقعی اعمال شده است. این داده واقعی، یک رکورد لرزه ای است که شامل ۹۸ رد لرزه، نرخ نمونه برداری 2 ms و فاصله نمونه برداری مکانی 50 m می باشد. این داده توسط دستگاه نمونه برداری 408 UL Sercel در یکی از مناطق نفت خیز.

همانطور که در نمودار تحلیل طیفی (F-K) رکورد لرزه ای اخیر مشاهده می شود، واقع شدن الیاسینگ مکانی به وضوح مشخص می باشد. حال نتیجه حاصل از اعمال تبدیل موجک ایستا درچهار مقیاس و حذف پدیده مذکور در مقیاس چهارم، در شکل های زیر آورده شده است.

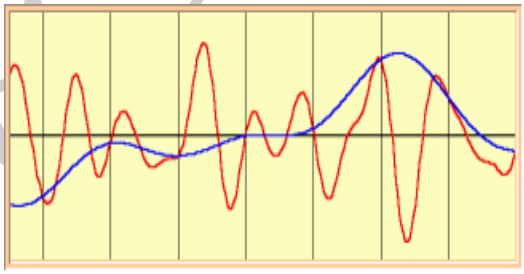


شکل۲۳: رکورد لرزه ای بازسازی شده از ضرایب موجک مقیاس چهارم

Archive
www.SID.ir



شکل ۲٤: تحلیل طیفی F-K رکورد لرزه ای بازسازی شده از ضرایب موجک مقیاس چهارم و به حداقل رسیدن یا حذف الیاسینگ مکانی گذارده اند.



شکل ٤ : ردلرزه بازسازی شده با نرخ بازسازی 8 ms

ناپدید شدن یا حذف محتویات فرکانسی بالا، در اثر انتخاب نرخ نمونه برداری بالا را پدیده الیاسینگ زمانی می نامند. آمار شناس آمریکایی به نام نایکوییست، اثبات کرد که فرکانس آستانه (فرکانسی که فرکانسهای بالاتر از آن بصورت فرکانسهای پایین تر از آن در می آیند)، از تقسیم 5/ ۰ بر روی اندازه نرخ نمونه برداری بدست می آید که به زبان ریاضی بصورت فرمول زیر در می آید (ییلماز،۲۰۰۱).

$$F_{Nyq}= ½ \Delta t \qquad (۱)$$

فرکانسهای نایکوییست حالات و اشکال چهارگانه فوق، با استفاده از فرمول اخیر محاسبه شده و نتیجه بصورت جدول زیر گشته است .

Sample Period (ms)	Nyquist Frequency (Hz)
1	500
2	250
4	125
8	62.5

جدول۱ : نرخ نمونه برداری و فرکانسهای نایکوییست مربوط به رد لرزهای چهارگانه مثال فوق

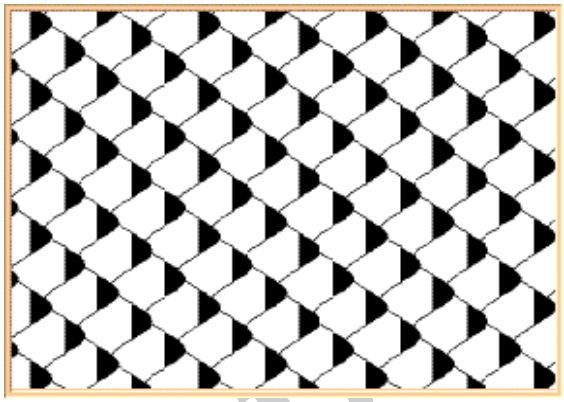
الیاسینگ مکانی

بحث گذشته درباره پدیده الیاسینگ، مربوط به اثر الیاسینگ زمانی بود. حال می خواهیم اثر الیاسینگ مکانی را معرفی نماییم. این پدیده مربوط به سیستم های برداشت چند کاناله می باشد. به عبارت دیگر این پدیده در برداشت هایی که در آن از چندین گیرنده (ژئوفون) یا چندین ایستگاه گیرنده استفاده می گردد، رخ می دهد.در معرفی پدیده الیاسینگ زمانی، با نوعی فرکانس (Temporal Frequency) که به فرکانس زمانی معروف است، کار می شد که این فرکانس عبارت است از تعداد نوسانات یا سیکل های کامل در واحد زمان (cycle/s). نکته قابل توجه این است که حرکت و انتشار جبهه موج لرزه ای تنها تابعی از زمان نیست ، بلکه تابعی از مکان نیز می باشد که این مکان خواه فاصله بین دو نقطه میانی مشترک متوالی، خواه فاصله میان دو ایستگاه گیرنده متوالی در یک رکورد لرزه ای می باشد. لذا در این قسمت با نوع دیگری از فر کانس، که فرکانس مکانی (Spatial Frequency) نام داشته و در سیستم های چند کاناله مطرح می شود، آشنا خواهیم شد. فرکانس مکانی عبارت است از تعداد سیکل های کامل در واحد طول، که همان تعریف عدد موج می باشد. همانگونه که برای حصول فرکانس زمانی از یک سیگنال متناوب، تعداد پیک های آن در واحد زمان شمارش می شد، برای بدست آوردن فرکانس مکانی نیز همانگونه که مشاهده می شود، با افزایش فرکانس و بدون تغییر فاصله میان گیرنده ها، شیب رویدادهای تکفام از منفی به مثبت تغییر می یابد.

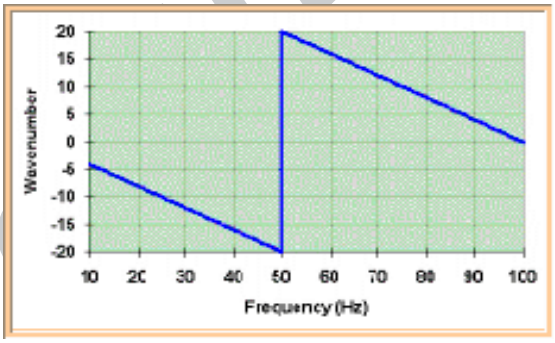
Archive of SID

www.SID.ir

این اثر همان پدیده الیاسینگ مکانی می باشد. نمودار شکل زیر نشان دهنده تغییرات عدد موج ظاهری بر حسب فرکانس می باشد.



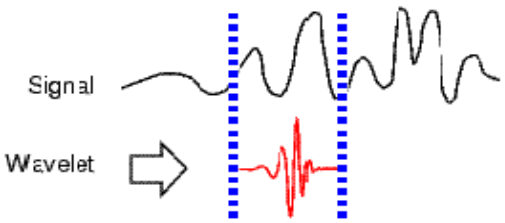
ششکل ۸: رکورد لرزه ای مصنوعی با فرکانس 60 Hz



شکل ۹ : تغییرات عدد موج بر حسب فرکانس و وقوع الیاسینگ مکانی

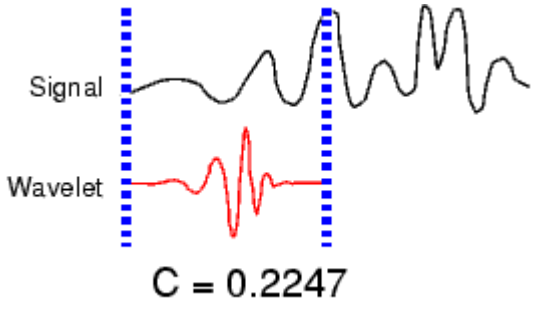
حال پس از توصیف نسبتا کامل از پدیده الیاسینگ مکانی، به تشریح چگونگی حذف آن بوسیله تبدیل موجک ایستا پرداخته و الگوریتم معرفی شده بر روی داده های مصنوعی و حقیقی اعمال و نتایج بدست آمده با تبدیل F-K مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

پس از این مرحله، موجک با همین مقیاس به قسمتهای بعدی سیگنال انتقال یافته، ضرایب موجک در یک مقیاس معین درتمام طول سیگنال محاسبه می گردند.



شکل ۱۲ : انتقال و محاسبه ضرایب موجک در تمام طول سیگنال ، با یک مقیاس ثابت

مرحله بعد تغییر طول زمانی موجک یا همان تغییر مقیاس موجک و اعمال تمامی مراحل قبل بر روی سیگنال می باشد.



شکل۱۳ : اعمال تبدیل موجک با تغییر مقیاس

با ملاحظه و دقت در شکلهای ۱۱ و ۱۳ و با مقایسه ضرایب بدست آمده در دو مقیاس مختلف، می توان دریافت که میزان همبستگی و شباهت موجک مورد استفاده با مقیاس در نظر گرفته شده برای آن در شکل ۱۳، بیش از شباهت موجک مورد استفاده با مقیاس انتخاب شده در شکل۱۱، می باشد. لذا هر چقدر اندازه ضریب موجک بدست آمده بزرگتر باشد ، میزان شباهت ظاهری و شباهت در محتوای فرکانسی نیز بیشتر خواهد بود.

رویه اصلی حذف پدیده الیاسینگ مکانی در این روش، در حقیقت طراحی نوعی فیلتر پایین گذر می باشد، بطوریکه با استفاده از آن ، فرکانسهای بالا مورد تضعیف و حذف قرار می گیرند .

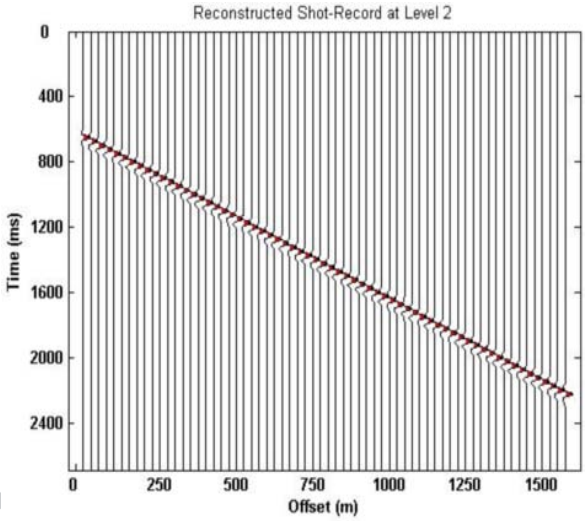
مرحله اول، اعمال تبدیل موجک ایستا در چند مقیاس مختلف (که با یکدیگر مجاور و همسایه هستند)، بر روی یک رکورد لرزه ای الیاس شده می باشد. لازم به ذکر است، اگر طول هر رد لرزه N و عدد در نظر گرفته شده برای مقیاس L باشد، آنگاه رعایت شرط $log_2^N \geq L$ در انتخاب عدد مقیاس یا تعداد دفعات اعمال تبدیل موجک ایستا، الزامی خواهد بود. اگر عدد مقیاس را ٤ انتخاب نماییم، تبدیل موجک ایستا بر روی یکایک ردلرزه‌ها در چهار مقیاس مختلف، اعمال خواهد شد.

مرحله بعد اعمال عکس تبدیل موجک بر روی هریک از ضرایب موجک می باشد. در هر بار اعمال عکس

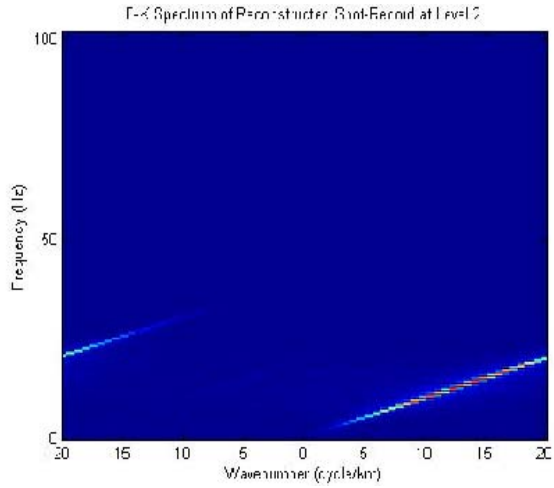
Archive of SID

www.SID.ir

تبدیل، ضرایب موجک مرحله قبل حاصل می گردد. حال رکورد لرزه ای مربوط به هر مرحله را از روی ضرایب موجک آن، بازسازی می نماییم. سپس تبدیل فوریه دو بعدی(F-K) را بر روی هر چهار رکورد لرزه ای باز سازی شده از هر مرحله ، اعمال می نماییم. بزرگترین مقیاسی که اثر الیاسینگ مکانی در تحلیل طیفی (F-K) آن مشاهده نشود، همان مقیاس مورد نظر ما می باشد.حاصل بدست آمده رکورد لرزه ای پردارش شده بدون حضور پدیده الیاسینگ مکانی می باشد (مک میشان ،۲۰۰۷).



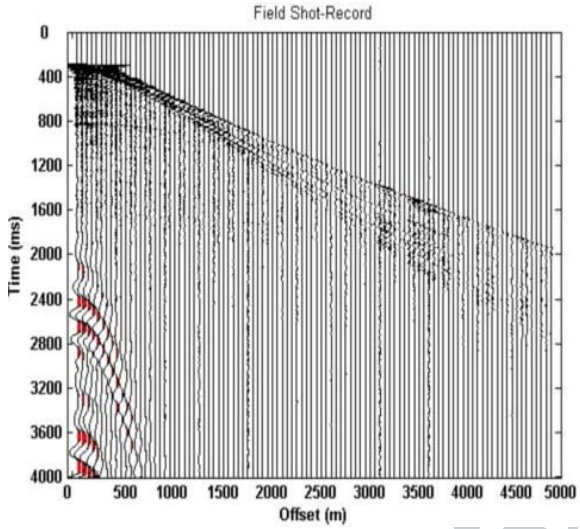
شکل ۱۷: رکورد لرزه ای بازسازی شده از ضرایب موجک مقیاس دوم



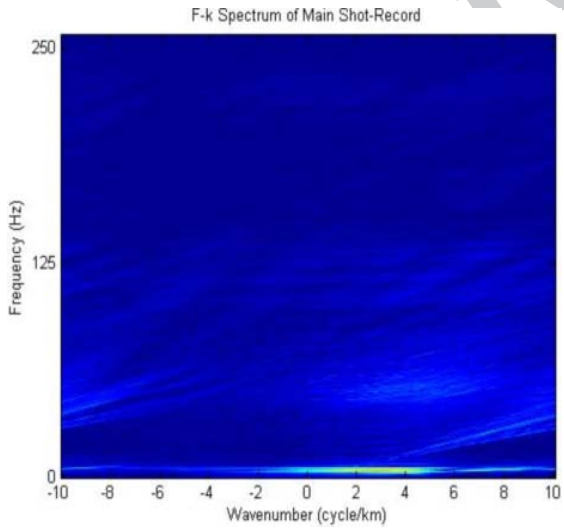
شکل ۱۸ . تحلیل طیفی F-K رکورد لرزه ای بازسازی شده از ضرایب موجک مقیاس دوم و احراز الیاسینگ مکانی

همانگونه که از شکلهای نمایش داده شده پیداست، الیاسینگ مکانی در مقیاس دوم حذف نشده است. لذا تبدیل موجک ایستا باید در مقیاسهای بالاتر، که حاوی فرکانسهای پایینتر می باشند، نیز اعمال گردد تا جایی که اثری از پدیده مذکور در حوزه تبدیل فوریه دو بعدی (F-K) مشاهده نگردد. این عمل تا مقیاس چهارم و حذف کامل الیاسینگ انجام شده است.

جنوب کشور ایران، برداشت شده است. علی رغم وجود فیلتر سخت افزاری حذف الیاسینگ مکانی در دستگاه مذکور، باز هم وقوع این پدیده در رکوردهای لرزه ای برداشت شده مشاهده می گردد.



شکل ۲۱: رکورد لرزه ای واقعی



شکل ۲۲: وقوع الیاسینگ مکانی شدید در تحلیل طیفی F-K مربوط به رکورد لرزه ای واقعی شکل ۲۱

نتیجه گیری

با تـوجه به مـطالب مطرح شده و مثالهایی از اعمال

www.SID.ir

روش حذف اثر الیاسینگ مکانی با استفاده از تبدیل موجک ایستا، بر روی داده های واقعی و مصنوعی، و با توجه به نتایج بدست آمده، مشخص گردید که روش مذکورتاثیر و توانمندی زیادی در حذف پدیده الیاسینگ مکانی دارد. یکی از مزایای استفاده از این روش، سرعت نسبتا بالای استفاده از آن می باشد. از اینرو قابل استفاده در محل برداشت و پردازش اولیه در فیلد می باشد.

(تمامی مراحل ایجاد داده های لرزه ای مصنوعی، تحلیل طیفی F-K ، تبدیل موجک ایستا و شکل های مربوط به آنها، در غالب برنامه‌هایی در محیط برنامه نویسی MATLAB تدوین شده است)

References:

- Daubechies, I., 1992, Ten lectures on wavelets, SIAM, Capital City Press
- Mcmechan,G.,Ferguson,J.,Anno,P.and Yu, Z., 2007, Wavelet-Radon dealiasing and interpolation of seismic data, Geophysics, 72, 41-49.
- Strang, G. and Nguyen, T., 1997, Wavelets and filter banks: Wellesley Cambridge Press.
- Yilmaz, O., 2001, Seismic data analysis, SEG Tulsa.

Archive of SID

www.SID.ir