مجله علمی پژوهشی «راداور»
سال چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵؛ ص ۴۳-۳۷

ارائه روش جدید نمایش زمان فرکانس بر اساس تبدیل S

روح‌الله رمضانی[1*]، مجید اخوت[2]
۱- کارشناس ارشد، ۲- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)
(دریافت: ۹۴/۰۲/۰۹، پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۴)

چکیده

تبدیل S یک تبدیل زمان- فرکانس بوده که بر اساس مفاهیم تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک پدید آمده است. خاصیت اصلی این تبدیل که آن را از تبدیل فوریه زمان کوتاه مجزا می‌نماید رزولوشن متغیر با فرکانس آن است. اما تغییرات رزولوشن این تبدیل از فرکانس‌های بالا تا پایین زیاد می‌باشد. بنابراین تبدیل دیگری تحت عنوان تبدیل S اصلاح‌شده معرفی می‌شود که با تنظیم پارامترها سرعت تغییرات رزولوشن در آن کنترل می‌شود. در این مقاله ابتدا به معرفی تبدیل S و تبدیل S بهینه‌شده (MST) می پردازیم و سپس بر همان اساس نوع دیگری از تبدیل MST با پارامتری جدید معرفی می‌نماییم (EST) و با محاسبه طول پنجره مورد استفاده، وابستگی آن را به پارامترهای روش پیشنهادی بررسی نموده و تاثیر هر یک از پارامترها بر نرخ تغییرات طول پنجره را به صورت تئوری و شبیه‌سازی بیان می‌کنیم. در نهایت با شبیه سازی، عملکرد روش پیشنهادی را برای آشکارسازی سیگنال FMCW مورد بررسی قرار داده و تاثیر هر یک از پارامترها را در آشکارسازی سیگنال فوق نشان می‌دهیم و عملکرد بهتر روش پیشنهادی را نسبت به دو روش قبل اثبات می نماییم.

واژگان کلیدی

پردازش زمان- فرکانس،تبدیل s، تبدیل s بهینه‌شده، سیگنال FMCW

۱. مقدمه

دو نمایش معمول برای یک سیگنال، نمایش حوزه زمان و نمایش حوزه فرکانس می‌باشد. در هر شکل نمایش، زمان و فرکانس متغیرهایی مجزا هستند و برای نمایش سیگنال در حوزه زمان، سیگنال در حوزه فرکانس یکپارچه می‌شود و برعکس. بنابراین هر نمایش سیگنال یا به صورت محلی[1] و یا به صورت غیرمحلی می‌باشد. یعنی در نمایش فرکانسی، سیگنال در زمان میانگین‌گیری شده و در نمایش زمانی، سیگنال در فرکانس میانگین‌گیری می‌شود. به‌طور مثال در نمایش فرکانسی مشاهده می‌شود که چه فرکانس‌هایی و با چه نسبتی در سیگنال وجود دارد اما اطلاعاتی در مورد فرکانس‌های موجود در هر لحظه نمی‌دهد [۱]. بنابراین، این نمایش‌های تک‌بعدی، اطلاعاتی در مورد نحوه توزیع انرژی در حوزه زمان و فرکانس به‌دست نمی‌دهد. یکی دیگر از دلایلی که باعث می‌شود به دنبال روش‌های زمان- فرکانس برویم، سیگنال‌های غیرایستان[2] است که در این سیگنال‌ها با تغییر زمان، فرکانس‌های موجود در سیگنال نیز تغییراتی دارند، بنابراین به دانستن فرکانس‌های موجود در هر لحظه نیاز داریم [۲].

اولین روشی که برای نمایش زمان- فرکانس سیگنال‌ها مخصوصا سیگنال‌های غیرایستان پیشنهاد می‌شود تبدیل فوریه زمان کوتاه[3] است. اساس کار این تبدیل بر مبنای تبدیل فوریه معمولی می‌باشد. در این حالت شیفت‌یافته یک سیگنال که طول آن محدود است، در سیگنال ضرب شده و تبدیل فوریه سیگنال را به‌ازای زمان‌های مختلف محاسبه می‌نماید، این عمل را پنجره‌گذاری می‌گویند. اولین تکنیک در پردازش استفاده از پنجره‌گذاری بر روی سیگنال است که موجب می‌شود قسمتی از سیگنال را انتخاب کرده و سپس عمل پردازش را روی آن انجام دهیم. پنجره تابعی است که در یک تابع دیگر ضرب شده و تنها در دوره‌ای که دارد داده‌ها را نگه می‌دارد و در سایر موارد (خارج از دوره) داده‌ها را صفر می‌کند. پنجره‌گذاری معمولا در سه جا استفاده می‌شود [۳]:

۱) تحلیل طیفی ۲) طراحی فیلتر ۳) شکل‌دهی بیم

نکته مهم در پنجره‌ها نوع و طول آنهاست. نوع پنجره مشخص‌کننده خواص و کاربرد آن در موارد خاص است و طول پنجره نیز میزان داده‌ها را مشخص می‌کند. در انتخاب نوع پنجره‌ها باید به رزولوشن، پهنای باند نویز،گین پردازش (این دو

* رایانامه نویسنده پاسخگو: r5529ramezani@yahoo.com

[1] Local
[2] Nonstationary
[3] Short Time Fourier Transform (STFT)

مورد در پنجره‌گذاری سیگنال‌های گسسته مد نظر است)، فاصله دینامیکی توجه شود. ساده‌ترین پنجره، پنجره مستطیلی است. نام دیگر آن پنجره دریکله است. مشخصات اصلی آن به شرح زیر است [۴]:

۱) دارای بهترین رزولوشن برای سیگنال‌هایی با قدرت نزدیک به هم است.

۲) این پنجره بسیار ساده است.

۳) برای سیگنال‌هایی با دامنه نابرابر مناسب نیست، زیرا فاصله دینامیکی آن پایین است.

باید توجه داشت پنجره‌هایی با فاصله دینامیکی بالا برای کاربردهای پهن باند مناسبند در این پنجره اولین ساید لوب۳ dB کمتر از لوب اصلی است.

دو پنجره مهم دیگر عبارتند از: پنجره همینگ و پنجره هنینگ. این دو پنجره متعادل هستند و برای کاربردهای باند باریک مناسبند. از جمله این کاربردها می‌توان به طیف کانال تلفن اشاره کرد. در واقع تحلیل طیف، همسنجی میان سیگنال‌هایی با قدرت نابرابر و فرکانس‌هایی مشابه و سیگنال‌هایی با فرکانس نامشابه و توان برابر است. این پنجره‌ها برای پنجره‌گذاری در حوزه فرکانس مناسبند و ذاتا رایس کوساین هستند. در این پنجره‌ها ساید لوب‌ها در هر اکتاو حدود ۱۸ dB جابه‌جا می‌شوند. باید توجه داشت دو پنجره متفاوت طبقات نویز متفاوتی ایجاد می‌کنند، چرا که هر پنجره پهنای باند متفاوتی را ایجاد می‌کند و در میزان نویز ورودی موثر است لذا باید در نظر داشت نوع پنجره در میزان نویز ورودی نیز موثر است. همچنین باید به این نکته اشاره شود که نوع پنجره متفاوت می‌تواند در بهبود میزان سیگنال به نویز نیز موثر باشد. لذا نوع پنجره در پهنای باند و یکنواخت و غیر یکنواخت بودن و پراکندگی و میزان نویز موثر است. در واقع اولین راه برای داشتن یک تبدیل زمان فرکانس پنجره‌گذاری بر روی تبدیل فوریه است و انتخاب نوع و طول پنجره نیز در کیفیت کار تاثیر دارد [۳ و ۴]. تبدیل فوریه زمان کوتاه سیگنال $h(t)$ به صورت رابطه زیر بیان می‌شود در واقع حاصل پنجره گذاری بر روی تبدیل فوریه معمولی است [۲]:

$$\mathrm{STFT}(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)g(\tau - t)e^{-j2\pi ft}dt \quad (۱)$$

$g(\tau - t)$ تابع پنجره شیفت یافته است و توسط آن تبدیل فوریه حول لحظه τ محاسبه می‌شود و f فرکانس می‌باشد. یکی از مشکلات این روش که باعث می‌شود به سراغ روش‌های زمان فرکانس دیگری برویم، رزولوشن ثابت این تبدیل زمان - فرکانس می‌باشد. عاملی که باعث این مسئله می‌شود طول ثابت پنجره در تبدیل فوریه زمان کوتاه است. برای غلبه بر این مشکل تبدیل دیگری به نام تبدیل موجک[1] ارائه می‌شود. این تبدیل از توابعی به نام موجک استفاده می‌نماید که موجک‌ها مقیاس پذیر هستند. بنابراین می‌توان رزولوشنی متغیر با زمان یا فرکانس به دست آورد. تبدیل موجک سیگنال $h(t)$ به صورت زیر بیان می‌شود [۱، ۲ و ۴]:

$$W(\tau, f) = \frac{1}{\sqrt{f}}\int_{-\infty}^{+\infty} h(t)\varphi(\frac{t-\tau}{f})dt \quad (۲)$$

در رابطه فوق φ موجک اولیه، τ متغیر زمان و f بیانگر مقیاس تابع موجک است. مقدار مقیاس متناسب با عکس فرکانس می‌باشد. به عبارت دیگر در فرکانس‌های بالا، مقیاس کوچک بوده و در فرکانس‌های پایین، مقیاس بزرگ می‌شود. بنابراین از این طریق می‌توان رزولوشن متغیر با فرکانس را به دست آورد.

حال چنانچه بتوانیم تبدیلی داشته باشیم که مزایای تبدیل فوریه زمان کوتاه را به همراه مزایای تبدیل موجک داشته باشد، بسیار مفید خواهد بود. تبدیل s یک پیشنهاد بهینه برای این امر است. این تبدیل دارای کاربردهای زیر است:

- فیلتر نمودن نویز جمع شونده با سیگنال
- اندازه‌گیری افزایش و کاهش ناگهانی ولتاژ الکتریکی
- اندازه‌گیری محل و لحظه خطا در خطوط قدرت

ضعف عمده تبدیل s نداشتن رزولوشن خوب در تمام صفحه زمان فرکانس برای آشکارسازی سیگنال است. در این مقاله ضمن مطالعه این تبدیل روشی را پیشنهاد می‌کنیم که این ضعف را می‌پوشاند و تبدیل جدیدی به نام تبدیل S توسعه‌یافته ارائه می‌شود که می‌تواند در آشکارسازی سیگنال‌های راداری از جمله سیگنال LFMCW به‌کار رود.

۲. تبدیل S

در سال ۱۹۹۶ استاکول و همکاران نوع دیگری از تبدیل فوریه زمان کوتاه را با مقیاس‌پذیر نمودن پنجره معرفی کرده و تحت عنوان تبدیل S ارائه دادند [۶]. این تبدیل حالت خاصی از تبدیل فوریه زمان کوتاه می‌باشد که از پنجره گوسی با طول متغیر استفاده می‌نماید. طول این تابع گوسی وابسته به واریانس تابع می‌باشد (با افزایش واریانس، تابع گوسی پهن‌تر و با کاهش واریانس، باریک‌تر می‌شود). برای این منظور واریانس را به صورت تابعی از فرکانس (عکس فرکانس) درنظر می‌گیرند. تفاوت این تبدیل با تبدیل گابور در این است که در تبدیل گابور پنجره گوسی با طول ثابت استفاده شده ولی در تبدیل S از پنجره‌ای با طول متغیر با فرکانس استفاده می‌شود. بنابراین باعث ایجاد رزولوشن متغیر با فرکانس می‌شود. تبدیل S سیگنال $h(t)$ را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان نمود [۸-۶]:

$$ST(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\tau-t)^2}{2\sigma^2}}e^{-j2\pi ft}dt \quad (۳)$$

[1] Wavelet

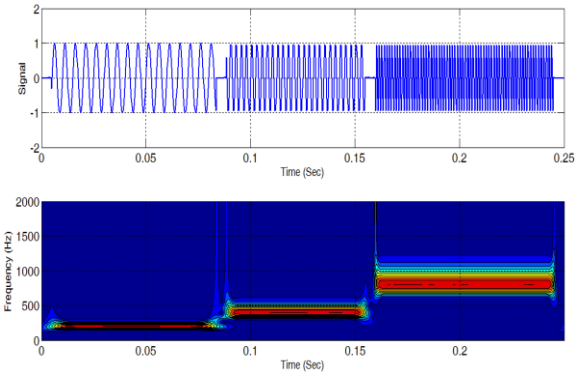
به‌طوری که τ و f به ترتیب برابر زمان و فرکانس طیف سیگنال بوده و $\sigma(f)=\frac{1}{|f|}$ است. به راحتی می‌توان نشان که رابطه زیر برای تبدیل S برقرار می‌باشد [۸]:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S(\tau,f)d\tau = H(f) \qquad (۴)$$

رابطه فوق نشان‌دهنده برگشت‌پذیر بودن تبدیل S است [۹ و ۱۱].

به عبارت دیگر با کاهش فرکانس، طول پنجره گوسی افزایش یافته و در نتیجه طول پنجره در حوزه فرکانس کاهش می‌یابد که این امر باعث افزایش رزولوشن فرکانسی می‌شود. به صورت عکس با استدلالی مشابه، مشاهده می‌شود با افزایش فرکانس، رزولوشن زمانی افزایش می‌یابد. به طور کلی در تبدیل S، رزولوشن فرکانس‌های پایین بیشتر از رزولوشن فرکانس‌های بالاست.

در شکل ۱ سیگنالی به صورت مجموع سه سیگنال سینوسی و تبدیل S این سیگنال نمایش داده شده است. همان‌طور که از روی شکل مشخص است، در فرکانس‌های پایین رزولوشن فرکانسی بهتر و در فرکانس‌های بالا رزولوشن فرکانسی کمتر شده ولی رزولوشن زمانی نمایش بهبود یافته است.



شکل ۱. نمایش رزولوشن متغیر با فرکانس تبدیل S

۳. تبدیل S اصلاح‌شده[1]

مشکل تبدیل S این است که به همه مولفه‌های فرکانسی، واریانس (متناسب با طول پنجره) یکسانی را تخصیص می‌دهد که به صورت عکس فرکانس در نظر گرفته شده است. همچنین در تبدیل S تغییرات رزولوشن از فرکانس‌های پایین تا فرکانس بالا زیاد است. بنابراین در فرکانس‌های بالا رزولوشن خوبی ندارد. لذا از تابع دیگری برای کنترل طول پنجره استفاده می‌نماییم. این تابع که با σ نشان داده می‌شود برابر است با [۱۲]:

$$\sigma(f)=\frac{1}{|f|^p} \qquad (۵)$$

با پنجره جدید که طول آن به صورت رابطه فوق تعریف می‌شود، می‌توان تبدیل S اصلاح‌شده را به صورت زیر معرفی نمود:

$$\mathrm{MST}(\tau,f,p) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)\frac{|f|^p}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau-t)^2 f^{2p}}{2}} e^{-j2\pi f t}dt \qquad (۶)$$

پارامتر جدید p طول پنجره و در نتیجه رزولوشن را کنترل می‌نماید. به‌ازای p=1 تبدیل S اصلاح‌شده معادل با تبدیل S معمولی می‌باشد. روش تبدیل S اصلاح‌شده با پارامتر p سرعت تغییر رزولوشن از فرکانس پایین تا بالا را کنترل کرده و از سرعت تغییرات در مقایسه با تبدیل S می‌کاهد.

۴. تبدیل S توسعه‌یافته[2]

تنها پارامتر قابل تنظیم در تبدیل S اصلاح‌شده پارامتر p می‌باشد. در ادامه در قسمت شبیه‌سازی خواهیم دید که با کاهش مقدار p از سرعت تغییرات رزولوشن سیگنال کاسته‌شده که این مورد برای ما مطلوب می‌باشد، زیرا تغییرات زیاد رزولوشن ما را در آشکار نمودن پارامترهای سیگنال در فرکانس‌های بالا و پایین دچار خطا می‌نماید. اما مشکلی که در تبدیل S اصلاح شده وجود دارد این است که در سیگنال‌هایی که تغییرات ناگهانی در فرکانس دارند، با کاهش p از میزان حساسیت نمایش کاسته شده و در لبه‌ها و یا نقاط با تغییرات شدید، تبدیل S اصلاح‌شده نمایش درستی از سیگنال به ما نمی‌دهد. یعنی در لبه‌های شکل حالت تیزی خود را از دست داده است. لذا نمی‌توان p را به مقدار زیادی کاهش داد بنابراین به دنبال روش دیگری باید رفت تا هم مشکل تبدیل S و هم مسئله کاهش p را حل کند.

البته باید در نظر داشت در برخی مراجع نظیر [۱۳] پیشنهادی برای بهبود تبدیل S با اصلاح تابع پنجره گاوسی به صورت (۷) داده شده است.

$$\sigma(f)=\frac{\delta}{|f|} \qquad (۷)$$

در آن صورت تبدیل s پیشنهادی به‌صورت زیر در می آید[۱۳]:

$$S(\tau,f,\delta)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\frac{|f|}{\sqrt{2}\pi\delta} e^{-\frac{(\tau-t)^2 f^2}{2\delta^2}} e^{-j2\pi f t}dt \qquad (۸)$$

اما در این روش تنها پارامتر قابل تغییر δ است که به تنهایی نمی‌تواند برای بهبود آشکارسازی سیگنال FMCW به کار برود و با توجه به نبود پارامتر کنترلی دیگر، در آشکارسازی این سیگنال دقت کافی ندارد. البته این تبدیل رزولوشن را نسبت به تبدیل S کمی بهبود می‌بخشد اما در سیگنال‌هایی که تغییرات ناگهانی در فرکانس دارند، میزان حساسیت نمایش در آن ها کم است و این تبدیل در لبه‌ها نمایش درستی از سیگنال به ما نمی‌دهد. لذا باید راه‌کاری ارائه شود که علاوه بر کنترل سرعت تغییرات رزولوشن، نمایش درستی از تمام سیگنال ارائه شود به‌گونه‌ای که بتوان تبدیل S را طوری بهینه کرد که علاوه بر داشتن رزولوشن مناسب بهترین نمایش از سیگنال با هر نوع تغییرات فرکانسی به‌دست آید. لذا تبدیل S توسعه‌یافته پیشنهاد می‌شود که با آن هم رزولوشن بهبود می‌یابد و هم استفاده از آن در بررسی دسته

[1] Modified S Transform (MST)

[2] Extended S Transform (EST)

وسیعی از سیگنال‌ها با تغییرات کند و یا سریع فرکانس بدون از دست رفتن اطلاعات سیگنال امکان پذیر می‌شود.

در نتیجه با جمع‌بندی روش‌های فوق و تغییر در تابع پنجره تبدیل‌های قبلی، خواهیم داشت:

$$\sigma(f) = \left|\frac{q}{f}\right|^p \qquad (۹)$$

بنابراین تبدیل S توسعه‌یافته برابر است با:

$$PST(\tau, f, p, q) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)\frac{|f|^p}{|q|^p\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau-t)^2 f^{2p}}{2|q|^{2p}}} e^{-j2\pi ft} dt \qquad (۱۰)$$

تبدیل S توسعه‌یافته (EST) دارای دو متغیر قابل تنظیم p و q می‌باشد (یعنی تلفیقی از دو حالت بهینه‌سازی‌شده قبل). همان‌طور که در ابتدای این قسمت بیان شد، با کاهش مقدار p، در لبه‌ها در نمایش زمان- فرکانسی که فرکانس متغیر دارد، در تبدیل S اصلاح شده نمایش درستی از سیگنال نداریم. بنابراین پارامتر دیگری به نام q معرفی شد. این پارامتر مشکل اخیر را حل می‌کند و سرعت تغییرات رزولوشن را نیز کنترل می‌نماید. در ادامه ابتدا طول پنجره گوسی را محاسبه نموده و سپس نحوه تاثیر پارامترهای p و q بر سرعت تغییر طول پنجره و در نتیجه رزولوشن تبدیل EST را بیان می‌کنیم.

۴-۱. محاسبه طول متوسط پنجره پیشنهادی

برای محاسبه طول پنجره، فرض می‌کنیم یک تابع به صورت گوسی داریم که مرکز آن (پیک) در نقطه $t = \mu$ قرار دارد. طول متوسط یک پنجره $w(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{L} = \sqrt[2]{\frac{\int_{-\infty}^{+\infty}(t-\bar{t})^2 w(t)dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} w(t)dt}} \qquad (۱۱)$$

که در آن $\bar{t}$ برابر است با:

$$\bar{t} = \int_{-\infty}^{+\infty} t w(t)dt \qquad (۱۲)$$

به شرط این که در روابط فوق متوسط $w(t)$ برابر با صفر نباشد. حال با فرض این‌که پنجره مورد نظر یک پنجره گوسی باشد، می‌توان طول متوسط را برای آن محاسبه نمود:

$$\bar{t} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{t}{\sqrt[2]{2\pi}\sigma(f)} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma(f)^2}} dt = \mu \qquad (۱۳)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(t-\bar{t})^2}{\sqrt[2]{2\pi}\sigma(f)} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma(f)^2}} dt = \sigma(f)^2 \qquad (۱۴)$$

همان‌طور که قبلا نیز بیان شد، در تبدیل EST داریم: $\sigma(f) = \left(\frac{q}{f}\right)^p$. بنابراین طول متوسط پنجره برابر است با:

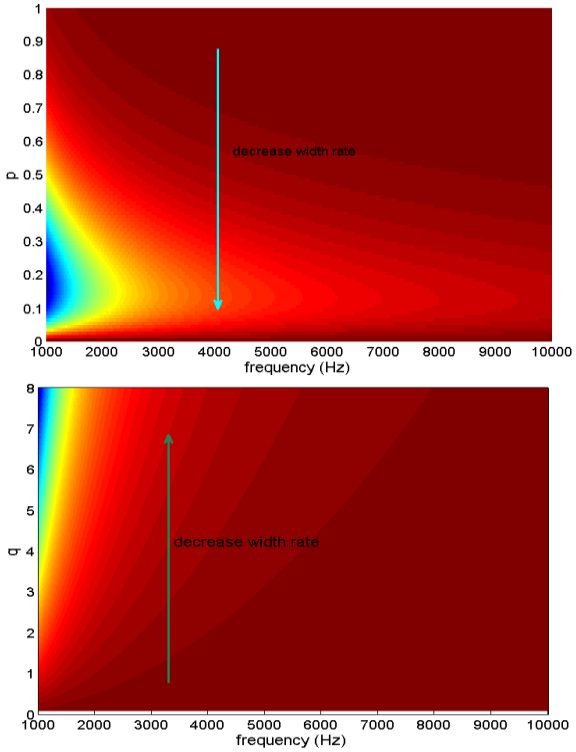
$$\bar{L}(f) = \sqrt[2]{\sigma(f)^2} = \sigma(f) = \left(\frac{q}{f}\right)^p \qquad (۱۵)$$

عبارت فوق نشان می‌دهد همان‌طور که انتظار داشتیم طول متوسط پنجره تابعی از فرکانس است که می‌توان با استفاده از پارامترهای p و q آن را کنترل نمود. مشکل اصلی تبدیل S تغییرات شدید بین طول پنجره در فرکانس‌های بالا و پایین می‌باشد. که این تغییرات باعث ایجاد اختلاف بین رزولوشن تبدیلات زمان- فرکانس در فرکانس‌های بالا و پایین می‌شود. مثلا در نمایش زمان- فرکانس یک سیگنال چیرپ با فرکانس خطی متغیر با زمان، پهنا یا رزولوشن خط در فرکانس بالا و پایین متفاوت است. این تفاوت باعث ایجاد خطا در اندازه گیری پارامترهای این سیگنال از جمله نرخ چیرپ می‌شود. برای حل این مشکل، تبدیل EST معرفی شد. حال تاثیر پارامترهای p و q را بر نرخ تغییرات طول پنجره بررسی می‌کنیم.

$$\bar{L}(f) = \left(\frac{q}{f}\right)^p \qquad (۱۶)$$

$$\frac{d\bar{L}(f)}{df} = -pq\left(\frac{q}{f}\right)^{p-1}\frac{1}{f^2} = -pq^p\frac{1}{f^{p+1}} \qquad (۱۷)$$

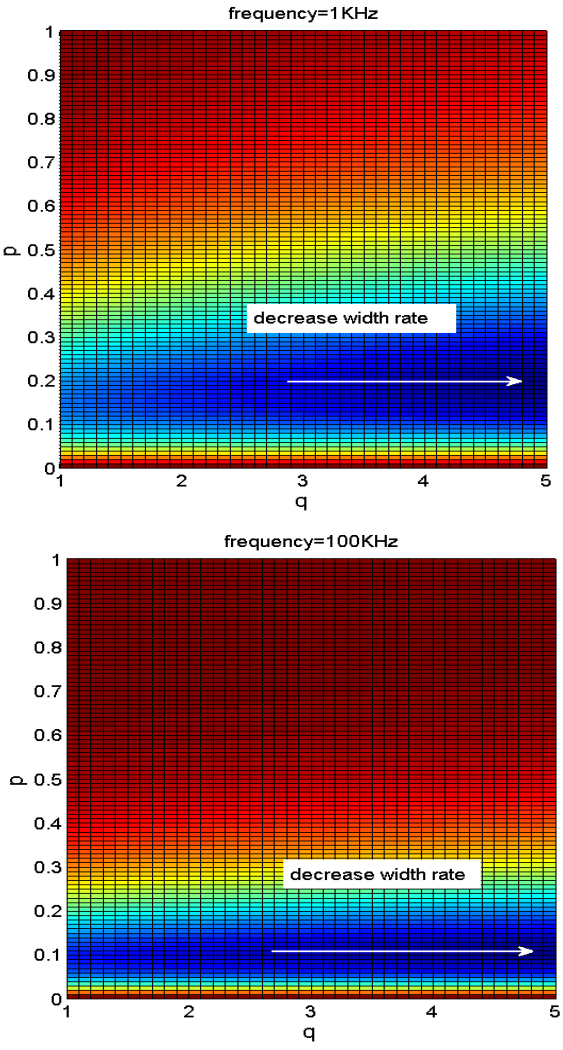
همان‌طور که در رابطه فوق مشاهده می‌شود و همچنین از شکل ۲ بر می‌آید با کاهش p، سرعت تغییرات طول پنجره کاهش می‌یابد. با کاهش p از عدد یک، ابتدا نرخ تغییرات ملایم است ولی کم کم با شیب زیادی کاهش می‌یابد. این پدیده باعث می‌شود که نتوان p را زیاد تغییر داد.



شکل ۲. تاثیر پارامتر ***p*** و ***q*** بر تغییرات طول پنجره به صورت جداگانه در فرکانس

با افزایش q سرعت تغییرات طول پنجره کاهش می‌یابد ولی این کاهش سرعت به صورت ملایم‌تری انجام می‌شود. در شکل ۳

به‌ازای دو فرکانس ۱ و ۱۰۰ کیلوهرتز، نرخ تغییر طول پنجره بر حسب پارامترهای p و q رسم شده است. همان‌طور که از شکل ۳ نیز مشخص است، تاثیر پارامتر p بیشتر از پارامتر q می‌باشد. ولی پارامتر q بی تاثیر نیست. به ازای یک p ثابت، حساسیت نسبت به q کم می‌باشد. به همین دلیل ما در روش پیشنهادی ابتدا پارامتر p را کاهش داده و سپس با ثابت گرفتن p، پارامتر q را افزایش می‌دهیم تا رزولوشن مناسبی به‌دست آوریم.



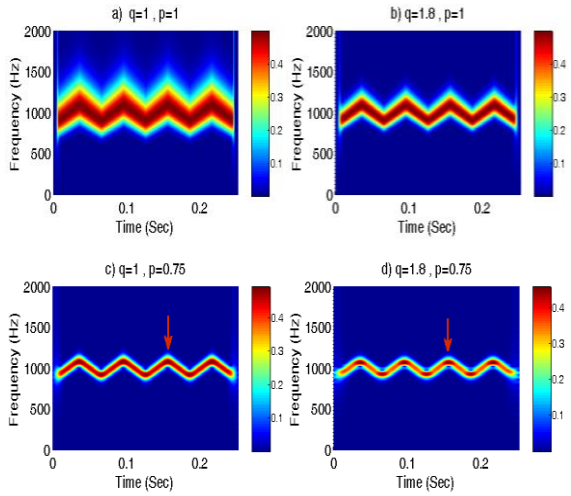
شکل ۳. تاثیر هم‌زمان پارامتر ***p*** و ***q*** بر تغییرات طول پنجره

در بخش بعد به شبیه‌سازی روش پیشنهادی می‌پردازیم.

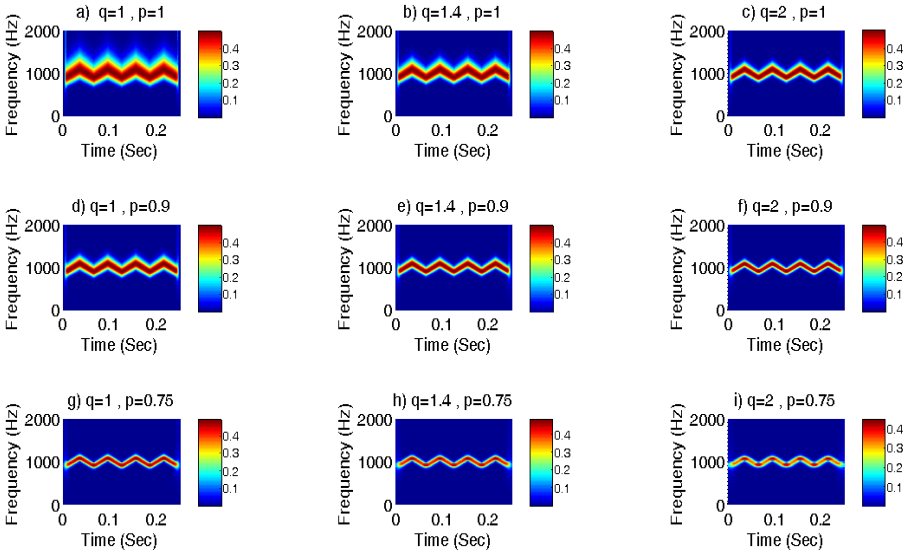
۵. شبیه‌سازی

در این قسمت سیگنالی به صورت مدولاسیون فرکانس موج پیوسته در نظر گرفته و به شبیه‌سازی آن می‌پردازیم. سیگنال مدوله شده را به صورت FMCW در نظر می‌گیریم، چون می‌خواهیم اثر تبدیل پیشنهادی بر روی لبه‌های سیگنال نیز مشاهده شود و بهترین سیگنال به این منظور FMCW است. فرکانس مرکزی این سیگنال برابر ۱ KHz بوده که در مدت زمان ۰/۰۳ s، ۰/۲ KHz به سمت بالا و ۰/۲ KHz به سمت پایین تغییر می‌نماید.

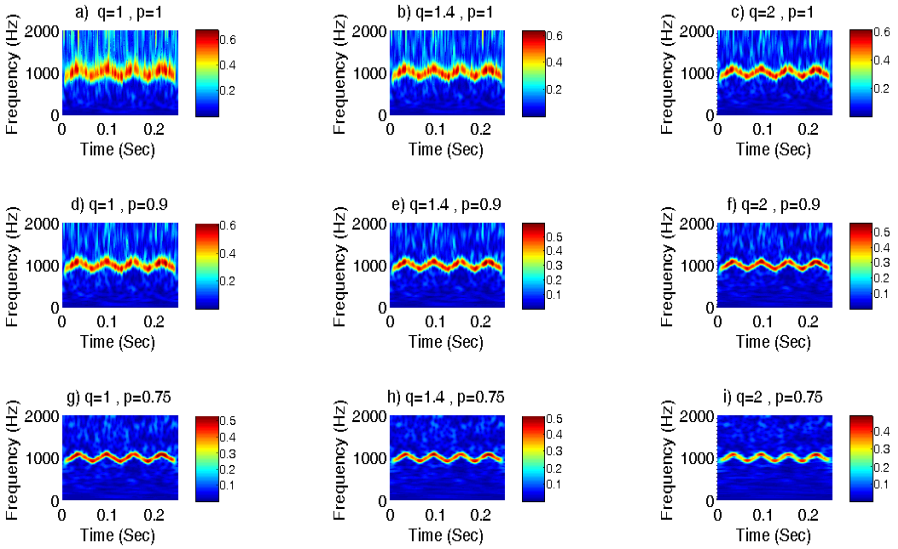
شکل ۴ نمایش زمان فرکانس تبدیل S توسعه‌یافته را به‌ازای دو مقدار p=1,0.75 و q=1,1.8 نشان می‌دهد. به‌ازای p=q=1، تبدیل پیشنهادی معادل با تبدیل S و به‌ازای q=1 معادل با تبدیل S اصلاح شده می‌باشد. در ضمن لازم به ذکر است که مقدار p بیش از ۱ نمی‌تواند باشد. در قسمت a و b افزایش q نشان داده شده است. با افزایش q از تغییرات رزولوشن فرکانسی بین فرکانس بالا تا پایین کاسته شده است. قسمت a و c تاثیر تغییر پارامتر p را نشان می‌دهد. با کاهش p به مقدار کمتر از ۱ (در اینجا ۰,۷۵) همانند قسمت‌های a و b از تغییرات رزولوشن بین فرکانس‌های بالا و پایین کاسته شده است اما همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، لبه‌های خطوط که بیشترین تغییر فرکانسی را دارد دچار خمیدگی شده است. این مسئله در شکل با فلش مشخص شده است. با کاهش مقدار p میزان این خمیدگی نیز بیشتر می‌شود. اما با افزایش q چنین مشکلی به وجود نمی‌آید. همچنین مشکل دیگری که با کاهشp به وجود می‌آید کاهش رزولوشن زمانی در لبه‌های ابتدایی و انتهایی نمایش می‌باشد. تاثیر پارامتر q بر رزولوشن زمانی در لبه‌های ابتدا و انتها قابل صرف‌نظر می‌باشد. در شکل ۴، قسمت b و c از نظر آشکارسازی بهترین نمایش‌ها هستند.



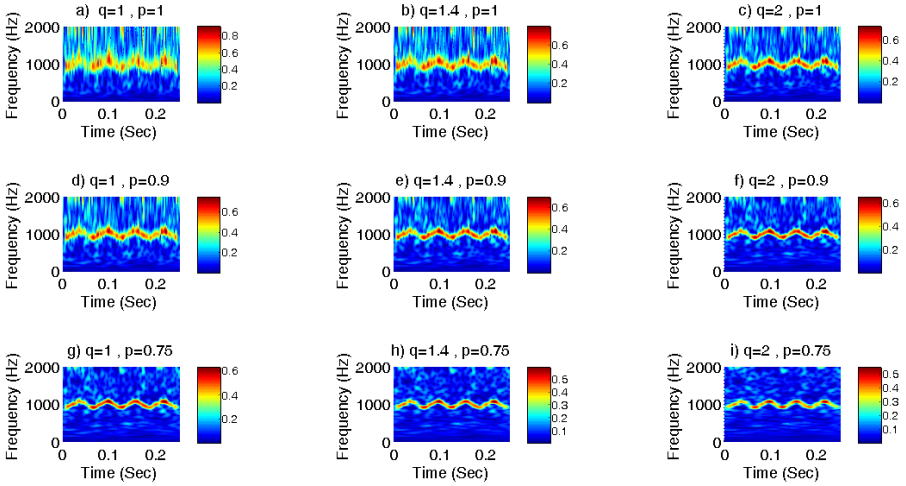
شکل ۴. سیگنال FMCW بدون نویز



شکل ۵. سیگنال **FMCW**، بدون نویز



شکل ۶. سیگنال **FMCW**، **SNR=5dB**



شکل ۷. سیگنال **FMCW**، **SNR=0dB**

شکل‌های ۵ تا ۷، به‌ازای مقادیر مختلف p و q و مقادیر مختلف سیگنال به نویز رسم شده‌اند. در حالت بدون نویز، کاهش p باعث کاهش تغییرات رزولوشن در طول خط شده ولی در عین حال باعث خمیدگی سیگنال در محل اتصال دو خط فرکانسی و کاهش رزولوشن زمانی در لبه‌های ابتدایی و انتهایی خطوط می‌شود. همچنین افزایش q، باعث کاهش تغییرات رزولوشن در طول خطوط فرکانسی شده و به‌ازای مقادیر بیشتر از ۲ و همچنین به‌ازای مقادیر کم p، باعث به‌وجود آمدن خمیدگی می‌شود. اما مشکل کاهش رزولوشن زمانی را ندارد. بنابراین نمی‌توان مقدار p را بیش از حد کاهش داد، می‌توان با مصالحه بین دو پارامتر، نمایش بهتری از زمان فرکانس برای سیگنال داشت.

شکل‌های ۶ و ۷ به‌ازای سیگنال به نویز به ترتیب ۵ dB و ۰dB نمایش زمان فرکانس را نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل ۷ قسمت‌های e و f مشخص است یک گزینه مناسب برای نمایش، انتخاب مقادیری نزدیک به ۰/۹ برای p و افزایش پارامتر q می‌باشد. گزینه دیگر این است که p را تا مقادیر کمتر از ۰/۹کاهش داد ولی این بار نمی‌توان q را زیاد افزایش داد. بسته به دقت مورد نیاز و اولویت اهمیت آشکارسازی پارامترها می‌توان یکی از دو روش را انتخاب نمود. در جدول ۱ روش پیشنهادی با روش‌های قبلی مقایسه شده است که به شرح زیر است.

جدول ۱. مقایسه روش پیشنهادی با روش های قبلی

تبدیل EST	تبدیل MST	تبدیل S
مزیت:کنترل تغییرات شدید رزولوشن برای داشتن رزولوشن بهتر، قابلیت به‌کارگیری برای‌آشکارسازی دسته وسیع‌تری از سیگنال‌ها	مشکل: حساسیت زیاد پارامترها به رزولوشن، درست عمل نکردن در لبه‌ها مزیت:کاهش تغییرات شدید رزولوشن	مشکل: تغییرات شدید رزولوشن (عدم آشکارسازی سیگنال‌های مدولاسیون فازی مانند فرانک وP1)

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک تبدیل S توسعه‌یافته پیشنهاد شد و عملکرد آن در شبیه‌سازی یک سیگنال FMCW به عنوان نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. تبدیل پیشنهادی، دارای رزولوشن بالاتر و دقت بهتری در آشکارسازی بوده و همچنین سیگنال را در نسبت سیگنال به نویز پایین‌تری آشکار می‌کند و می‌توان آن را در سامانه‌های عملی که در محیط‌های نویزی مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌جای تبدیل S به‌کار برد. همچنین به علت داشتن پارامتر کنترلی بیشتر، کنترل زیادتری بر روی تبدیل وجود دارد و لذا با تعیین مقدار صحیح این دو پارامتر می‌توان به آشکارسازی بهتری دست یافت. در این جا با معرفی پارامتر p و q تغییرات طول پنجره گوسی و در نتیجه رزولوشن فرکانسی کنترل شده است. مشاهده می‌شود با کاهش p از ۱ تا ۰/۵، تغییرات رزولوشن کاهش یافته و سیگنال‌های چیرپی که در نمایش تبدیل S دارای شکلی نامتقارن بودند در اینجا با کاهش p متقارن می‌شوند. در عوض رزولوشن زمانی سیگنال، کاهش می‌یابد همچنین باعث پدید آمدن خمیدگی در محل اتصال خطوط فرکانسی می‌شود. برای کاهش اثر پارامتر p در میزان خمیدگی پارامتر q معرفی شده است. با شبیه‌سازی نشان دادیم که با افزایش q تغییرات رزولوشن در کل محدوده فرکانسی کندتر می‌شود در ضمن به ازای مقادیر p تقریبا بین ۰/۸و ۱، با افزایش q تا ۲، میزان خمیدگی خطوط نامحسوس می‌باشد. اما در مقادیر کمتر p، افزایش q باعث افزایش خمیدگی می‌شود. بنابراین برای حل این مشکل دو روش پیشنهاد شده است. ۱) انتخاب $0.8 \lesssim p < 1$ و افزایش مقدار q تا ۲. ۲) انتخاب مقادیری نزدیک به ۰/۷ برای p و تقریبا ۱ برای q. همچنین نشان داده شده است حداکثر به‌ازای سیگنال به نویز dB ۰ می‌توان سیگنال‌ها را آشکارسازی نمود که این مزیت تبدیل S توسعه‌یافته در برابر تبدیل S معمولی را نشان می‌دهد.

۷. مراجع

[1] B. Boashash; "Time Frequency signal Analysis and Processing"; Elevier, 2003.

[2] L. Stankovi´c; M. Dakovi´c; and T. Thayaparan; "Time-Frequency Signal Analysis with Applications," Artech house, 2013.

[3] M. Misiti. Y. Misiti. G. Oppenheim. and J.-M. Poggi. "Wavelets and their Applications," In proc.of the Int. conf.ISTE, 2007, 44-50.

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Window_function.

[5] M. Portnoff; "Time-frequency representation of digital signals and systems based on short-time Fourier analysis" IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing ASSP-28 (1), pp. 55–69, 1980.

[6] R. G. Stockwell; L. Mansinha; and R. P. Lowe; "Localization of the complex spectrum: The S Transform," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 44, no. 4, pp. 998-1001, April 1996.

[7] R. G. Stockwell; "A basis for efficient representation of the S-transform," Digital Signal Processing, Elsevier, 2006.

[8] V. Nithin ;S. George; "Transform: Time Frequency Analysis & Filtering," Msc Thesis, National Institute of Technology, Rourkela, India, 2009.

[9] R. G. Stockwell; "Why use the S-Transform, AMS Pseudo–differential operators: partial differential equations and time–frequency analysis," vol. 52, pp. 279–309, 2007.

[10] Z. Hao; H. Xu; G. Zheng; and G. Jing; "Study on the Time-frequency Characteristics of Engine Induction Noise in Acceleration Based on S Transform," IEEE CISP, vol. 5, pp. 242-246, 2008.

[11] M. Schimmel ; J. Gallart; "The Inverse S-Transform in filters with Time Frequency Localization" , IEEE Trans. Signal Processing, vol. 55, no.11, pp. 4417-4422, 2005.

[12] I. Djurovic; E. Sejdic; and J. Jiang; "Frequency-based window width optimization for S-transform", International Journal of Electronics and Communications, Elsevier, pp. 245-250, 2008.

[13] S. S. Sahu; G. Panda; and N. V. George; "An Improved S-Transform for Time-Frequency Analysis", IEEE International Advance Computing Conf. IACC 2009, 20-29.

Journal of "Radar"
Vol. 4, No. 2, 2016 (Serial No. 12)

Presenting a New Method for Time-Frequency Representation Based on the S Transform

R. Ramezani*, M. Okhovvat
Imam Hossein University
(Received: 29/04/2015, Accepted: 05/03/2016)

Abstract

S transform is a time-frequency transform created based on the concept of short-time Fourier transform and wavelet transform. The main property of this transform that separates it from the discrete short-time Fourier transform is the variable-frequency resolution. But in this transform, the resolution change of high frequencies to low frequencies is very significant. So another transform as a Modified S Transform(MST) was introduced to adjust a parameter that controls the rate of change in resolution. In this paper, S and MST has been first discussed.Then, on the basis of the MST transform,the Optimum S Transform (EST) was introduced with a new parameter. Next, calculating the length of the used window, the dependence of it to the proposed parameters was studied and the effect of each of the parameters on the rate of changing the length of window was illustrated in theory and simulation. Finally, with simulation, the performance of the proposed method for detection of FMCW signals was examined , and the effect of each of the parameters on the detection of above signals was shown. Then the better performance of the proposed method than two last methods was proved.

Keywords: Time-Frequency Transform, STransform, Modified STransform, FMCW Signal.

Corresponding author E-mail: r5529ramezani@yahoo.com