http://www.ui.ac.ir

ریاضی و جامعه
شاپا (چاپی): ۶۴۹۳-۲۳۴۵، شاپا(الکترونیکی): ۶۵۰۷-۲۳۴۵
جلد ۴، شماره ۱ (۱۳۹۸)، صص. ۳۶-۲۹
© ۱۳۹۸ دانشگاه اصفهان
http://math-sci.iranjournals.ir

کاربرد موجک ها در پردازش سیگنال

حجت الله سعیدی* و زهره سعیدی

چکیده. موجک‌ها ابزاری قوی برای تجزیه، تحلیل و پردازش سیگنال‌های دیجیتال هستند. تبدیل موجک، نمایش دامنه‌ـ زمان یک سیگنال را در قالب ضرایب موجک به نمایش فرکانس‌ـ زمان تبدیل می کند. ضرایب موجک می توانند در قالب یک روش وابسته به فرکانس برای دستیابی به اثرات پردازش‌های گوناگون سیگنال، به کار گرفته شوند و همچنین تبدیل موجک معکوس، ضرایب موجک بدست آمده را به نمایش دامنه‌ـ زمان به منظور دست یابی به یک سیگنال اصلاح شده، تبدیل می‌کند. در این مقاله بعد از یک مرور کلی از روش فوریه و تبدیل موجک، موجک هار و موجک دوبچیز شرح داده می شود و پس از آن چند پردازش سیگنال از موجک‌ها شامل حذف نویز، پالایش موجک، فشرده سازی داده، اثرات موسیقیایی و نیز یک اجرای جاوای مبتنی بر پردازشگرهای موجک، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱. مقدمه

از موجک‌ها به طور وسیعی در پردازش سیگنال و کامپیوتر به منظور تجزیه و تحلیل و همچنین انتقال داده استفاده می‌شود. مفهوم موجک ریشه در بسیاری از رشته‌ها از جمله ریاضی، فیزیک و مهندسی دارد[۱]. دهه ۱۹۸۰ اکتشافات جدیدی از موجک‌ها نظیر تجزیه و تحلیل چندگانه و موجک‌های دارای محمل فشرده، به وقوع پیوست. این پیشرفت‌ها باعث دگرگونی رشته‌ها و کاربرد هر چه بیشتر موجک‌ها شد. موجک‌ـ که در واقع به معنای موج کوچک است‌ـ یک تابع با میانگین نوسان صفر است که در یک دوره کوچک زمانی متمرکز شده است. یک موجک مادر با استفاده از انتقال و تجانس می تواند به خانواده ای از موجک‌ها تبدیل شود[۲]. موجک‌ها ابزاری عالی برای پردازش سیگنال‌های دیجیتال هستند[۷، ۸]. یک سیگنال دیجیتال می‌تواند با استفاده از ضرایب موجک‌ها نشان داده شود. این ضرایب اطلاعات زمانی و فرکانسی مهم را که می‌توانند برای تجزیه و تحلیل یک سیگنال به کار روند، در اختیار ما قرار می‌دهند. علاوه بر این سیگنال می تواند قبل از اینکه به شکل نمایش نرمال دامنه‌ـ زمان برگردد، در دامنه موجک پردازش شود. بنابراین موجک‌ها یک چارچوب منحصر به فرد برای پردازش سیگنال را مهیا می‌کنند.

عبارات و کلمات کلیدی. تبدیل موجک، تبدیل فوریه، پردازش سیگنال، موجک هار، اثرات دیجیتال.
دبیرتخصصی رابط: مجید فخار * نویسنده مسئول
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۹

DOI: http://dx.doi.org/10.22108/msci.2019.118249.1331

۲. تبدیل فوریه[۱]

از آنجایی که تبدیل فوریه یک روش از پیش شناخته شده تر نسبت به تبدیل موجک است، نوشتارهای مربوط به موجک به طور معمول شامل آنالیر فوریه و تبدیل فوریه می‌شود[۱، ۳]. دو قرن پیش، ژوزف فوریه[۲] نشان داد که هر سیگنال دارای دوره تناوب را می‌توان به صورت مجموعی از توابع سینوسی نشان داد. تبدیل فوریه، یک سیگنال را به طیفی از فرکانس‌های ناشی شده از فرکانس توابع سینوسی، تبدیل می‌کند. یک تبدیل فوریه را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (۱.۲)$$

عبارت نمایی مولفه سینوسی، f یک فرکانس مشخص و $x(t)$ سیگنال ورودی را به عنوان تابعی از زمان نشان می دهند[۴]. اساساً این انتگرال یک حاصل ضرب داخلی است که سیگنال ورودی را با مولفه سینوسی مرتبط می‌کند. تبدیل سریع فوریه(FFT)[۳] یک روش سریع گسسته برای حل انتگرال فوق است. بر اساس اصل عدم قطعیت هایزنبرگ[۴] یک اختلاف اساسی بین دقت فرکانس و دقت زمان وجود دارد[۴]. در تبدیل فوریه، جاهایی که اطلاعات زمانی از دست رفته برای ما ارزشمند است، یک سیگنال ورودی با زمان طولانی دقت اطلاعات مربوط به فرکانس را بالا می‌برد. اگر چه تبدیل فوریه یک ابزار عالی برای آنالیز طیفی است، اما توانایی تفکیک اختلاف فرکانس_زمان را در سطوحی از جزئیات بر پایه فرکانس ندارد.

۳. تبدیل موجک[۵]

تبدیل موجک یک راهبرد مطلوب برای برقراری تعادل بهینه بین دقت زمان و دقت فرکانس است. در فرکانس‌های بالاتر، تبدیل موجک در ازای از دست دادن اطلاعات مربوط به فرکانس به اطلاعاتی موقتی دست پیدا می کند در حالی که در فرکانس‌های پایین‌تر، به اطلاعات مربوط به فرکانس در ازای از دست دادن اطلاعات موقتی، دست پیدا می‌کند. این رویکرد مطلوب در تبادل اطلاعات، برای پردازش سیگنال دیجیتال و برنامه‌های موسیقی مفید است زیرا رخدادهایی که در فرکانس‌های بالا اتفاق می افتد(علی‌القاعده به دقت زمان بالایی نیاز دارد) و نیز رخدادهایی که در فرکانس‌های پایین رخ می‌دهد، معمولا به دقت فرکانس بالا نیاز دارند. همانطور که تبدیل فوریه بر اساس یک انتگرال تعریف می‌شود، تبدیل موجک نیز می تواند بر اساس یک انتگرال به صورت زیر تعریف شود:

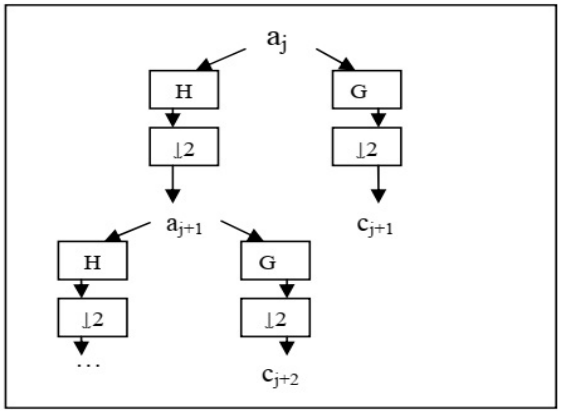
$$Wx(s,u) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\psi_{s,u}(t)dt \qquad (۱.۳)$$

در انتگرال بالا، سیگنال ورودی $x(t)$ بوسیله پارامتر انتقال u و پارامتر تجانس s با موجک در ارتباط است[۳]. این تبدیل یک سیگنال را به ضرایبی تبدیل می‌کند که بیانگر اطلاعات مربوط به زمان و فرکانس هستند. این ضرایب دارای دقت زمان بیشتر در فرکانس‌های بالا و دقت فرکانس بیشتر در فرکانس‌های پایین هستند. پارامتر تجانس، موجک را قادر به تبادل اطلاعات در رخدادهای‌فرکانسی می‌سازد. راه‌های گسسته سریع برای محاسبه تبدیل موجک وجود دارد که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می کنیم:

یکی از راه‌های سریع محاسبه تبدیل موجک به کارگیری فیلترهاست[۳]. سیگنال ورودی به دو فیلتر Hو G منتقل می‌شود؛ این فیلترها دو مجموعه از ضرایب تولید می کنند که هر دو با ضریب دو، نمونه برداری می‌شوند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید، این روش به طور متوالی روی مجموعه‌ای از ضرایب که از فیلتر H خارج می‌شوند، به‌کار گرفته می‌شود.

[1]Fourier Transform [2]Joseph Fourier [3]Fast Fourier Tranform [4]Heisenberg Uncertainty Principle [5]Wavelet Transform

DOI: http://dx.doi.org/10.22108/msci.2019.118249.1331



شکل ۱: تبدیل سریع موجک با استفاده از فیلترها.

یکی از فرضیات تبدیل موجک این است که تعداد نمونه‌های سیگنال ورودی توانی از دو، است. اگر تعداد ورودی‌ها توانی از عدد دو نبود، در این صورت می‌توان با افزودن صفر به ورودی‌های سیگنال، تعداد ورودی‌ها را به توانی از دو تبدیل کرد.

۱.۳. موجک هار[۶]. موجک هار– که توسط آلفرد هار[۷] در سال ۱۹۱۰ کشف شد– از نظر آموزشی ساده و از نظر کاربرد قوی است. موجک پایه هار، یک تابع ثابت چندضابطه‌ای است که به صورت زیر تعریف می‌شود[۵]:

$$\psi_{(۰,۱]}(x) = \begin{cases} ۱ & ۰ \le x < \frac{۱}{۲} \\ -۱ & \frac{۱}{۲} \le x < ۱ \\ ۰ & \text{بقیه نقاط} \end{cases} \qquad (۲.۳)$$

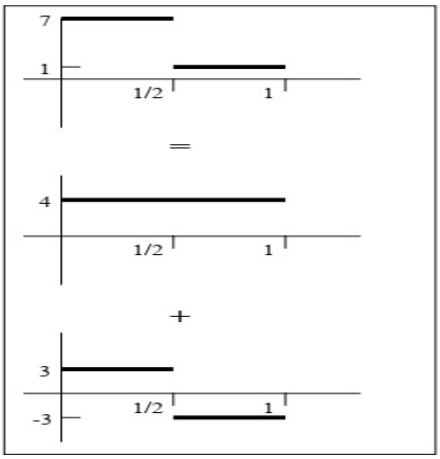
تبدیل موجک هار متوالیاً هر جفت گام مجاور در سیگنال را با یگ گام گسترده‌تر و یک موجک جایگزین می‌کند[۵]. یک گام ϕ تابعی است که در نواحی پیوسته مقدار آن برابر یک و در بقیه جاها برابر صفر است.
فرض کنید سیگنال f را با دو نمونه ورودی $\{۱,۷\}$ در اختیار داریم. تبدیل موجک هار ضریب مقدار میانگین را به صورت $\frac{۷+۱}{۲}$ و ضریب تغییر را به صورت $\frac{۷-۲}{۲}$ محاسبه می‌کند. مقدار میانگین، ضریبی برای طول گام گسترده‌تر و مقدار تغییر، ضریبی برای موجک استاندارد هار است[۵]. بنابراین نمایش جبری تبدیل به صورت

$$f = \frac{۷+۱}{۲}\phi_{(۰,۱]} + \frac{۷-۱}{۲}\psi_{(۰,۱]}$$

و نمایش هندسی آن به صورت شکل۲ است.

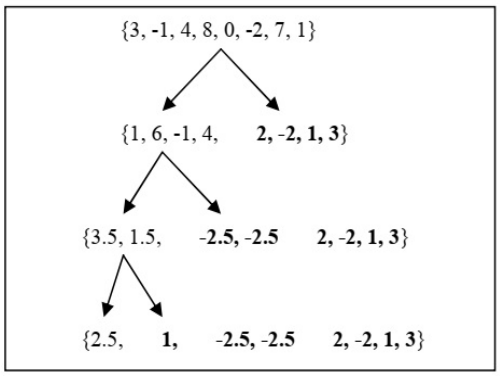
[6]Haar Wavelet [7]Alfred Haar

DOI: http://dx.doi.org/10.22108/msci.2019.118249.1331



شکل ۲: تبدیل موجک هار یک سیگنال با دو نمونه ورودی.

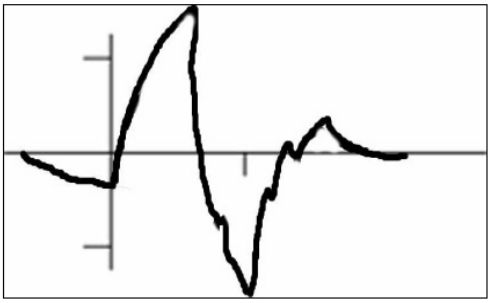
به عنوان نمونه‌ای دیگر سیگنال f با ۸ نمونه ورودی $\{۱, ۷, ۲ - , ۰, ۸, ۴, ۱ - , ۳\}$ را در نظر بگیرید. تبدیل موجک هار همان روند به کار گرفته شده در شکل ۱ را در پیش می‌گیرد. تبدیل موجک به اندازه $\log۸=۳$ مرحله که متوالیاً روی ضرایب مقدار میانگین به کار گرفته می‌شود، نیاز دارد. شکل ۳ جزئیات بدست آوردن تبدیل موجک سیگنال f را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مراحل بدست آوردن ضرایب تبدیل موجک هار یک سیگنال با ۸ ورودی

یکی از تفاوت‌های تبدیل فوریه و تبدیل موجک اینست که کانال‌های فرکانس در تبدیل فوریه به طور یکنواخت پراکنده ولی در تبدیل موجک به صورت لگاریتمی پراکنده شده اند[۴]. در شکل ۳ فرکانس کانال سمت راست که دارای ضرایب $\{۲, ۲ - , ۱, ۳\}$ دو برابر فرکانس کانال میانی با ضرایب $\{۲/۵ - , ۲/۵\}$ و فرکانس کانال میانی دو برابر فرکانس پایین ترین کانال که دارای ضریب یک است، می‌باشد. عدد سمت چپ پایین یعنی ۲/۵ مقدار میانگین همه سیگنال است.

۲.۳. موجک دوبچیز[۸]. موجک دوبچیز پیچیده‌تر از موجک هار است. این موجک پیوسته است و بنابراین از نظر محاسباتی گران‌تر از موجک هار که گسسته است، می‌باشد[۵]. دوبچیز چهار فیلتری می تواند به عنوان تبدیل موجک



شکل ۴: موجک دوبچیز

دوبچیز به کار گرفته شود. فیلتر معکوس می‌تواند با استفاده از ضرایب موجک، سیگنال را بازسازی کند. تساوی‌های فیلتری زیر به طور خلاصه موجک دوبچیز را نشان می‌دهند:

$$
\begin{aligned}
&۱.\ a[n] = S[۲n] + \sqrt{۳}S[۲n+۱] \\
&۲.\ c[n] = S[۲n] + \frac{\sqrt{۳}}{۴}a[n] - \frac{\sqrt{۳}-۲}{۴}a[n-۱] \\
&۳.\ a[n] = a[n] - c[n+۱] \\
&۴.\ a[n] = \frac{\sqrt{۳}-۱}{\sqrt{۲}}a[n] \\
&۵.\ c[n] = \frac{\sqrt{۳}+۱}{\sqrt{۲}}c[n]
\end{aligned}
\tag{۳.۳}
$$

این تساوی‌ها به طور متوالی برای هر تکرار تبدیل موجک دوبچیز به کار گرفته می‌شود. S آرایش سیگنال، a ضرایب پایین گذر و c ضرایب بالا گذر را حفظ می‌کند. تکرار بعدی تبدیل موجک دوبچیز روی معادلات فیلتری برای بدست آوردن ضرایب پایین گذر، به کار گرفته می‌شود. این تبدیل همان فرآیند نشان داده شده در شکل ۱ را دنبال می‌کند. اجرای معکوس تبدیل دوبچیز آسان است. الگوریتم معکوس می تواند با معکوس کردن نظم به کار گرفته در معادلات بالا و عملیات به کار گرفته شده (از آخر به اول)، بدست آید. بنابراین سیگنال S می‌تواند با استفاده از ضرایب a و c بازسازی شود.

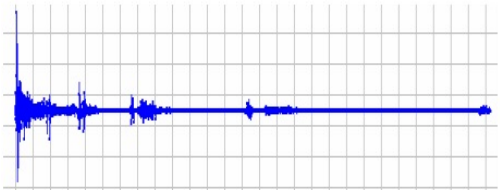
۴. کاربردهای موجک‌ها

در این بخش به معرفی تعدادی از کابردهای موجک‌ها می‌پردازیم. برای آزمایش کردن کارایی تبدیل موجک در پردازش سیگنال از یک برنامه جاوا به نام AWE[۹] استفاده شده‌است.

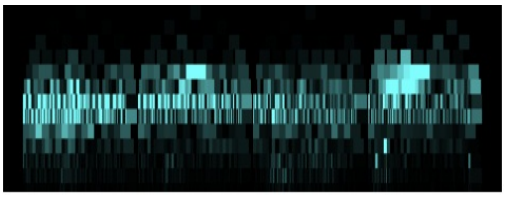
[8] Daubechies Wavelet [9] Art's Wavelet Effects

DOI: http://dx.doi.org/10.22108/msci.2019.118249.1331

۱.۴. آنالیز و تصویرسازی. اگرچه تاکنون روش‌های خیلی خوبی برای آنالیز طیفی وجود داشته است(مانند تبدیل فوریه)، موجک‌ها نیز می‌توانند به عنوان یک ابزار قوی برای پردازش سیگنال به کار روند. تبدیل موجک، به تجزیه و تحلیل شفافیت‌های چندگانه کمک می‌کند؛ زیرا تبدیل موجک می‌تواند به صورت پیاپی روی یک سیگنال برای رسیدن به دقت مطلوب به کار گرفته شود. به طور خلاصه، تبدیل موجک تصویرهای چندگانه یک سیگنال ــ از کلیات تا جزئیات مربوط به سیگنال ــ را در اختیار قرار می‌دهد. تصویرسازی تبدیل موجک با استفاده از ضرایب یک شکل کامل از تجزیه و تحلیل سیگنال است و راه‌های مختلفی برای این تصویرسازی وجود دارد. یک دستگاه زمان ــ فرکانس می تواند برای نشان دادن پراکندگی انرژی بین زمان و فرکانس به کار گرفته شود[۶]. این پراکندگی به وسیله ضرایب موجک تعریف می‌شود. AWE می‌تواند ضرایب تبدیل موجک را به دو روش تصویرسازی کند. همانند یک صفحه طیف نما اولین روش تصویرسازی به سادگی ضرایب تبدیل موجک با فاصله لگاریتمی از فرکانس کم به فرکانس بالا مرتب می‌کند. یکی از پیامدهای فاصله‌های لگاریتمی این است که فرکانس‌های بالا همه نیم صفحه راست را اشغال می‌کنند. روش دوم تصویرسازی شبیه سونوگرافی[۱۰][۴] و دستگاه فرکانس ــ زمان است. ضرایب موجک روی یک چارچوب مثلثی تصویر می‌شوند. زاویه بالایی مثلث نشان دهنده ضریب کمترین فرکانس در حالی که پایین مثلث نشان دهنده ضرایب بیشترین فرکانس است. هر ردیف در مثلث نشان دهنده کانال فرکانس متفاوت است. این نمایش مثلثی ضرایب موجک با دامنه موجک موثر در زمان ــ که به صورتی مثلثی است ــ رابطه معکوس دارد[۴].



شکل ۵: تصویرسازی اول در AWE



شکل ۶: تصویرسازی دوم در AWE

۲.۴. رفع اختلال[۱۱]. یکی از رایج‌ترین کاربردهای موجک‌ها رفع اختلال است[۲، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۱]. این فرآیند در پردازش تصویر بیشتر از پردازش صدا به چشم می‌خورد. رفع اختلال با حذف کانال‌های فرکانسی خاصی به کاستن از اختلال‌های یک سیگنال کمک می‌کند. اگر قرار باشد یک سیگنال در یک محدوده فرکانسی خاصی قرار داده باشد، همه کانال‌های فرکانسی بیرون از این محدوده جهت رفع اختلال سیگنال، حذف می‌شوند. اگر یک اختلال تصادفی در سیگنال

[10]Sonogram [11]Denoising

وجود داشته باشد، حذف گوناگونی‌های کوچک سیگنال می تواند به رفع اختلال آن کمک کند[۶]. این گوناگونی‌های کوچک را می‌توان با صفر قرار دادن ضرایب بزرگترین کانال فرکانسی از بین برد. AWE رفع اختلال از سیگنال را آسان می‌کند و همچنین تقویت و تضعیف کانال‌های فرکانسی هر دو با استفاده از رابط فیلتر AWE انجام می‌شود.

۳.۴. فیلتر موجک. همانند روند به کار گرفته شده در رفع اختلال، با دستکاری ضرایب موجک می توان به یک تعادل فرکانسی مطلوب دست پیدا کرد. کانال‌های فرکانسی می‌توانند برای برجسته کردن فرکانس‌های معین تقویت و یا برای فرونشاندن فرکانس‌های معین، تضعیف شوند[۴]. بنابراین فیلتر کردن می‌تواند در دامنه موجک انجام شود. AWE می‌تواند این کار را برای ده کانال فرکانسی انجام دهد.

۴.۴. فشرده سازی. یکی دیگر از کاربردهای موجک‌ها، فشرده سازی داده‌های یک سیگنال است. موجک‌ها در قالب فرمت‌های JPEG[۱۲] و MPEG[۱۳] برای فشرده سازی داده‌ها، به کار گرفته می‌شوند. فشرده سازی به چند روش می‌تواند انجام شود؛ یک روش، گذراندن ضرایب موجک از یک تابع آستانه است. اگر ضریب موجک از آستانه خاصی بزرگ‌تر باشد، این ضریب مهم است؛ چون برخی از توزیع‌های قابل اندازه‌گیری سیگنال را فراهم می‌کند و اگر در فرآیند فشرده سازی ضریب از آستانه خاصی پایین‌تر باشد، آن را برابر صفر قرار می‌دهند. فشرده سازی داده‌ها همچنین می‌تواند برای حذف فرکانس‌های بالای یک سیگنال به کار گرفته شود؛ زیرا فرکانس‌ها دارای توزیع لگاریتمی هستند و فرکانس‌های بالا به حافظه بیشتری نسبت به فرکانس‌هلی پایین جهت نگهداری، نیاز دارند. با فرض اینکه فرکانس‌ها با توان دو توزیع شده‌اند، فقط حذف دوکانال فرکانسی بالا باعث خالی شدن $\frac{1}{4}$ حافظه اصلی می‌شود. AWE فشرده سازی داده‌های موجک را شبیه سازی می‌کند. از آنجایی که موجک دوبچیز پیوسته و موجک هار گسسته است، استفاده از موجک دوبچیز جهت فشرده سازی داده‌ها نسبت به موجک هار رضایت بخش‌تر است.

۵.۴. اثرات موسیقیایی. تاثیرات جذاب صدا می‌تواند با دستکاری کردن ضرایب موجک ایجاد شود. اثرات نوسان صدا می‌تواند با ضرب کردن ضرایب در یک موج کسینوسی ایجاد شود. AWE نمایشی از اثرات فرکانسی و همچنین یک سنتز عرضی بین دو مجموعه از ضرایب را ایجاد می‌کند. در AWE ضرایب موجک یک سیگنال به عنوان یک آستانه برای ضرایب موجک دیگر سیگنال‌ها عمل می‌کنند.

۶.۴. چالش‌های انجام محاسبات. از آنجایی که تبدیل‌های موجک ممکن است از نظر محاسباتی نسبت به تبدیل فوریه ناکارآمدتر باشند اما هنوز هم می‌توانند نزدیک به زمان واقعی محاسبات انجام دهند. AWE هر دو تبدیل هار و دوبچیز را با اثرات سیگنال گوناگون به کار می‌گیرد. تصویرسازی ضرایب موجک گرانترین جنبه AWE از نظر محاسباتی است؛ بنابراین این برنامه مکانیسمی را جهت توقف تصویرسازی به منظور اطمینان از فرآیند پردازش صدای موثر ایجاد می‌کند.

۵. نتیجه گیری

پردازش سیگنال بر پایه تبدیل موجک می تواند با استفاده از دستکاری کردن ضرایب موجک بدست آید. رفع اختلال، فیلتر کردن، فشرده سازی داده‌ها همگی در دامنه موجک قابل انجام است. موجک‌ها به شکل‌های گوناگونی می‌توانند در تبدیل‌های موجک معکوس و پیشرو به کار روند. همچنین موجک‌های خاص می توانند خصوصیات صدا را تحت تاثیر قرار دهند.

[12] Joint Photographic Experts Group [13] Moving Picture Experts Group

DOI: http://dx.doi.org/10.22108/msci.2019.118249.1331

مراجع

[1] D. Lokenath, Wavelet Transforms Their Applications, *Birkhauser*, 2001 pp. 12.

[2] T. Anthony, Computational Signal Processing with Wavelets, *Birkhauser*, 1998 60–61 and 173-174.

[3] M. Stephane, A Wavelet Tour of Signal Processing, 2nd ed, *Academic Press* , pp. 5 and 257, 1999.

[4] R. Curtis, The Computer Music Tutorial, *MIT Press*, pp. 446 and 581–589 and 1087, 1996.

[5] N. Yves, Wavelets Made Easy, *Birkhauser*, 3-60, 1999.

[6] A. Jensen, Ripples in *Mathematics: The Discrete Wavelet Transform*, Springer, pp. 102 and 155-158, 2001.

[۷] ح. صلواتی، موجک‌ها: راز شنیدن، *فرهنگ و اندیشه ریاضی*، **۲۳** (۱۳۸۳) ۳۰–۱۹.

[۸] ا. محمدزاده، ع. سلاجقه و ر. قاسمی، کاربرد تبدیلات موجک در پردازش امواج زلزله *نشریه دانشکده فنی*، **۳۹** (۱۳۸۴) ۳۵۲–۳۴۱.

[۹] ف. شیخ علیشاهی، ح. ابوطالبی و م. تابان، آستانه گذاری وفقی ضرایب موجک برای پاکسازی سیگنال گفتار نویزی، *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، **۷** (۱۳۸۸) ۶۶–۵۸.

[۱۰] ح. علیزاده دیزجی، م. ج. ابوالحسنی، ع. احمدیان و ی. سلیم‌پور، بررسی کاهش نویز در سیگنال گسیل‌های صوتی برانگیخته گذرای گوش با استفاده از توابع مناسب پایه موجک، *شنوایی شناسی*، **۱۶** (۱۳۸۶) ۳۵–۲۵.

[۱۱] س.نظامی‌وند چگینی، س. ف. ظریف، ا. باقری و م. علی طاولی، حذف نویز از سیگنال‌های ارتعاشی ماشین‌های دوار به کمک تبدیل موجک تجربی و روش‌های رایج آستانه گذاری، *مجله علمی پژوهشی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها*، **۹** (۱۳۹۸) ۱۲۴–۱۱۱.

حجت الله سعیدی

شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده علوم ریاضی

hojat.saeidi۶۵@gmail.com

حجت الله سعیدی متولد سال۱۳۶۵در لردگان است. وی در سال ۱۳۸۴ وارد مقطع کارشناسی رشته آموزش ریاضی دانشگاه فرهنگیان اصفهان شد. در سال ۱۳۹۳ در دانشگاه شهرکرد از پایان نامه کارشناسی ارشد خود با موضوع معادلات دیفرانسیل سخت دفاع نمود. از موضوعات مورد علاقه وی می توان به پردازش سیگنال، پردازش تصویر، موجک‌ها و معادلات دیفرانسیل اشاره کرد.

زهره سعیدی

شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده فنی و مهندسی

zohre.saeidi۹۱@gmail.com

زهره سعیدی متولد مردادماه۱۳۷۰ در شهرستان لردگان است.وی در سال ۱۳۸۸ وارد مقطع کارشناسی مهندسی برق دانشگاه صنعتی اصفهان شد و در سال ۱۳۹۵ تحصیلات کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه شهرکرد به پایان رساند.