

## پیشنهاد پایه موجک منطبق بر سیگنال گفتار به منظور حذف نویز و بررسی پارامترهای مؤثر بر عملکرد آن

احمد اکبری	بابک ناصرشریف	بهزاد زمانی دهکردی	شیما طبیبیان
دانشکده مهندسی کامپیوتر	دانشکده مهندسی کامپیوتر	دانشکده مهندسی کامپیوتر	دانشکده مهندسی کامپیوتر
دانشگاه علم و صنعت ایران	دانشگاه علم و صنعت ایران	دانشگاه علم و صنعت ایران	دانشگاه علم و صنعت ایران
'j a' dʔ h r s' b-tq	m' r r d q r' h r s' b-tq	ay' l ' mʔ h r s' b-tq	r g h ' s' a t a h mʔ b n l o- h r s' b-tq

[۴-۶]، با انتخاب یک کتابخانه از پایه‌های موجک موجود و تعیین یک تابع هزینه عمل می‌کنند و با بهینه نمودن مقدار تابع هزینه مفروض، بهترین پایه موجک موجود در کتابخانه را بدست می‌آورند. در اکثر مقالات معیار هزینه آنتروپی و معیار هزینه ادراکی [۷،۸] استفاده شده‌اند.

در روش‌های دیگر، مسئله اشتقاق پایه‌های موجک متعامد-یکه از خود سیگنال مطرح می‌شود، که کاربردهایی در تشخیص سیگنال، بهسازی تصاویر و تشخیص هدف از جمله تشخیص لبه دارد [۱۰]. تجزیه یک سیگنال با استفاده از توابع پایه موجکی که بر سیگنال مذکور منطبق هستند، قله‌های بلندتری را در مقایسه با توابع پایه موجک غیرمنطبق با سیگنال در حوزه زمان-مقیاس نتیجه می‌دهد [۹].

در این مقاله با استفاده از یک بانک فیلتر منطبق شده با سیگنال، پایه موجکی پیشنهاد شده است که با بکارگیری آن ضرایب خروجی بانک فیلتر برای سیگنال مورد نظر ماکزیمم می‌شوند [۳]. همچنین راهکاری برای یافتن پایه‌های موجک منطبق با گفتار، به منظور استفاده از این پایه‌ها برای بهسازی گفتار نویزی ارائه شد.

ساختار این مقاله به این صورت است در بخش دوم روابط ریاضی لازم برای طراحی پایه موجک منطبق با گفتار را در حالت گسسته در زمان بررسی می‌گردد. سپس در بخش سوم فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر فیلتر بانک موجک پیشنهادی در حوزه فرکانس و نحوه حصول شرایط بازسازی کامل در این فیلتر بانک، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش چهارم فیلتر بانک موجک پیشنهادی در حوزه زمان برای بهسازی سیگنال‌های سینوسی و کسینوسی نویزی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه در بخش پنجم نتایج پیاده‌سازی فیلتربانک پیشنهادی در دو حوزه زمان و فرکانس و تأثیر پارامترهای مختلف فیلتر بانک پیشنهادی در عملکرد آن، بررسی خواهد شد. در انتها جمع‌بندی مطالب ارائه می‌شود.

### ۲- انطباق پایه موجک مادر با سیگنال گسسته در زمان

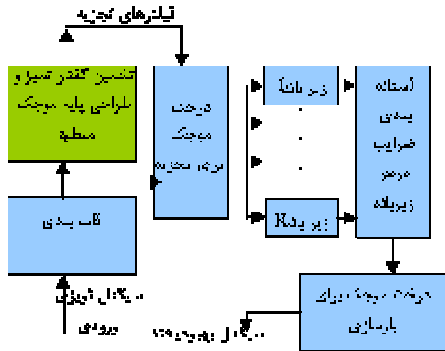
**چکیده:** روش‌های بهسازی گفتار بمنظور کاهش نویز زمینه، بهبود کیفیت گفتار و حذف اثر کانال ارتباطی بکار می‌روند. روش‌های متعددی از قبیل روش‌های اصلاح طیف فرکانسی و روش‌های حذف نویز مبتنی بر موجک برای این منظور مطرح شده‌اند. در روش‌های حذف نویز مبتنی بر موجک، یکی از مسائل مطرح انتخاب پایه موجکی است که بتواند کارایی مطلوبی در حیطه بهسازی گفتار داشته باشد. یکی از روش‌های این انتخاب، اشتقاق پایه‌های موجک متعامد-یکه از یک سیگنال مفروض است که کاربردهای مختلفی در حیطه تشخیص سیگنال، بهسازی تصاویر و تشخیص هدف دارد. در این مقاله ضمن ارائه روابط دقیق ریاضی، راهکاری برای یافتن پایه‌های موجک منطبق با سیگنال گفتار، به منظور استفاده از این پایه‌ها برای بهسازی سیگنال گفتار نویزی ارائه شده است. به علاوه تأثیر پارامترهای مختلفی از قبیل نوع نویز جمع‌شونده، روش آستانه‌گذاری، عمق درخت تجزیه موجک، بر عملکرد فیلتر بانک موجک منطبق بررسی می‌گردد. نتایج حاصل نشان داد که پایه موجک منطبق با گفتار، کارایی بیشتری در بهسازی سیگنال‌های گفتار، نسبت به پایه‌های موجک متداول دارد. همچنین میزان نویز باقی‌مانده در سیگنال بهبود یافته، بدون آنکه اعوجاج محسوسی در سیگنال بهبود یافته حاصل شود، به صفر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** آنالیز چند رزولوشنی متعامد-یکه، اندازه طیف موجک مادر، تابع مقیاس، موجک منطبق، آستانه‌گذاری

### ۱- مقدمه

در بسیاری از سیستم‌های انتقال گفتار، حضور نویز زمینه باعث کاهش کیفیت یا قابلیت فهم گفتار می‌شود. از اینرو استفاده از الگوریتم‌های بهسازی گفتار می‌تواند به کاهش نویز زمینه، بهبود کیفیت گفتار، یا حذف اثر کانال ارتباطی کمک کند. روش‌های متعددی برای حذف نویز ارائه گردیده است که می‌توان به روش‌های حذف نویز مبتنی بر موجک اشاره کرد که انتخاب پایه موجک مناسب روی کارایی این روشها تأثیر زیادی می‌گذارد. اغلب روش‌های موجود به منظور انتخاب پایه موجک

موجک ساده‌ای در حوزه فرکانس پیشنهاد شده است که به دلیل محدودیت صفحات مقاله روند طراحی آن در این مقاله ذکر نمی‌شود. شکل (۱)، بلاک دیاگرام کامل مربوط به سیستم کاهش نویز مورد استفاده در این مقاله را نشان می‌دهد. برای برگرداندن سیگنال بازسازی شده از حوزه فرکانس به حوزه زمان، از فاز تبدیل فوری سیگنال ورودی در کنار اندازه تبدیل فوری سیگنال بازسازی شده، و عکس تبدیل فوری استفاده می‌شود.



شکل ۱: سیستم کاهش نویز پیشنهادی برای بهسازی گفتار

#### ۴- فیلتر بانک موجک پیشنهادی در حوزه زمان

پس از بدست آوردن اندازه و فاز طیف پایه موجک مادر منطبق، از ترکیب اندازه و فاز، طیف پایه موجک مادر در حوزه فرکانس به طور کامل حاصل می‌شود. سپس با اعمال تبدیل فوری معکوس، پایه موجک مادر در حوزه زمان بدست می‌آید. عملیات مشابهی برای بدست آوردن فیلتر تجزیه پایین‌گذر در حوزه زمان صورت می‌پذیرد. سپس فیلتر تجزیه بالاگذر بر اساس رابطه (۵) حاصل می‌شود.

$$g(n) = (-1)^n h(-n) \quad (5)$$

پس از محاسبه فیلترهای تجزیه، فیلترهای ترکیب نیز به راحتی بر اساس رابطه (۶) به دست می‌آیند.

$$h(n) = \tilde{h}(-n) \quad (6)$$

$$g(n) = \tilde{g}(-n)$$

در روابط بالا  $h(n)$  و  $g(n)$  به ترتیب فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر تجزیه و  $\tilde{h}(n)$ ،  $\tilde{g}(n)$  به ترتیب فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر ترکیب هستند. فیلتر بانک موجک پیشنهادی در حوزه زمان، پس از محاسبه فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر تجزیه و ترکیب بر اساس روش متداول کاهش نویز مبتنی بر موجک [۲] ایجاد می‌شود.

#### ۵- نتایج پیاده‌سازی

نتایج پیاده‌سازی فیلتر بانک موجک منطبق در دو حوزه فرکانس و زمان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در حوزه فرکانس، عملکرد فیلتر بانک پیشنهادی برای بهسازی سیگنال گفتار مورد ارزیابی قرار گرفت [۳]. در

طراحی پایه موجک منطبق با سیگنال ورودی طی دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول اندازه طیف پایه موجک مادر با اندازه طیف سیگنال ورودی منطبق شده و در مرحله دوم فاز طیف پایه موجک با فاز طیف سیگنال ورودی منطبق می‌شود. روند انجام مرحله اول در [۳] توسط نویسندگان همین مقاله با جزئیات کامل توضیح داده شده است. در این مقاله تنها روند انجام مرحله دوم بررسی می‌گردد.

#### ۱-۲ انطباق فاز طیف پایه موجک با فاز طیف سیگنال

##### ورودی

در این بخش هدف آن است که تأخیر گروهی موجک مادر،  $\Gamma_\Psi(w)$ ، با تأخیر گروهی سیگنال مورد نظر،  $\Gamma_F(w)$ ، منطبق شود. در راستای انطباق طیف فاز موجک مادر با طیف فاز سیگنال مورد نظر تابع خطایی به صورت زیر تعریف می‌شود. هدف انطباق طیف فاز موجک مادر با طیف فاز سیگنال از طریق مینیمم نمودن این تابع خطا است [۱۰]:

$$g = \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} (\Gamma_F(n) - \Gamma_\Psi(n))^2 \quad (1)$$

فاز تابع پایه موجک مادر بایستی در باند عبورش با فاز سیگنال مورد نظر منطبق شود، بنابراین تابع خطا با یک تابع وزن‌دهی نرمالایز می‌شود. فرض کنید  $\Omega(n) = Y(n) / \sum Y(n)$  که  $Y(n)$  اندازه طیف توان پایه موجک منطبق [۳] می‌باشد. تابع خطای وزندار عبارتست از:

$$g_\Omega = \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} [\Omega(n)(\Gamma_F(n) - \sum_{r=0}^{R/2} c_r d_{n,r})]^2 \quad (2)$$

در رابطه بالا  $\{d_{n,r}\}$  المان‌های  $D_\Psi$  هستند. بردار  $\hat{c}$  که تابع خطا را کمینه می‌نماید، به صورت زیر حاصل می‌شود [۱۳]:

$$\hat{c} = (\overline{D_\Psi^T D_\Psi})^{-1} (\overline{D_\Psi^T \Gamma_F}) \quad (3)$$

تأخیر گروهی پایه موجک مادر به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\Gamma_\Psi = D_\Psi \hat{c} \quad (4)$$

در [۱۳] نحوه محاسبه سایر تأخیرهای گروهی مورد نیاز ارائه شده است. مجموع تأخیرهای گروهی تابع موجک مادر و تابع مقیاس برای بدست آوردن فازهای دو تابع، در بازه [طول بردار تأخیر گروهی، ۰] گرفته می‌شود. از ترکیب فاز طیف با اندازه طیف توابع، تخمین کاملی از هر دو تابع حاصل می‌شود که تمام شرایط لازم برای متعامد-یکه بودن آنالیز چند رزولوشنی را [۳، ۱۳] برآورده می‌کند.

#### ۳- بانک فیلتر موجک پیشنهادی در حوزه فرکانس

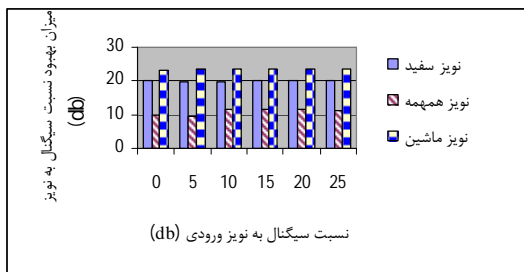
به منظور بررسی کارکرد پایه‌های موجک منطبق بر سیگنال گفتار در زمینه بازسازی سیگنال‌های گفتار نویزی و مقایسه با پایه‌های موجک دابوچی (که اغلب در این زمینه به کار می‌روند)، در [۳] فیلتربانک

حداقل حدود ۴ و حداکثر حدود ۲۴ دسیبل بر فیلتر بانک موجک دابوچی برتری دارد.

چنانچه در بخش مقدمه مطرح گردید، با استفاده از پایه موجک منطبق بر سیگنال ضرایب حاصل از سیگنال ماکزیمم مقدار ممکن را پیدا می کنند. بنابراین تقریباً تمام ضرایب سیگنال نویزی که پایین تر از حد آستانه هستند، مربوط به نویز بوده، بدون ایجاد اعوجاج محسوسی در سیگنال بهبود یافته، حذف می شوند. تقریباً تمام ضرایبی که بالاتر از حد آستانه قرار می گیرند، مربوط به سیگنال تمیز بوده، در بازسازی سیگنال بهبود یافته شرکت می کنند. پس میزان اعوجاج و نویز باقی مانده در سیگنال بهبود یافته حاصل تقریباً به صفر می رسد.

#### ۵-۲ ارزیابی اثر پارامترهای فیلتر بانک موجک منطبق

در این قسمت تأثیر چهار پارامتر نوع روش آستانه گذاری، نوع نویز جمع شونده، نوع سیگنال به کار رفته برای طراحی موجک منطبق و عمق پیشروی در درخت موجک تجزیه مورد بررسی قرار گرفته اند. برای ارزیابی نتایج از هر سه نوع نویز سفید، ماشین و همهمه با نسبتهای سیگنال به نویز ورودی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ دسیبل استفاده شده است. برای پنجره بندی سیگنال ورودی از سه اندازه قاب ۱۲۸، ۲۵۶ و ۵۱۲ نمونه استفاده شده است که نتایج تنها برای اندازه قاب ۲۵۶ نمونه ارائه شده اند. در ارتباط با نحوه تأثیر پارامتر اندازه پنجره بر سیگنال گفتار بهبود یافته در مرجع [۱] به طور مفصل بحث شده است. برای مقایسه پارامتر نوع روش آستانه گذاری از سه روش آستانه گذاری سخت، نرم و نیمه نرم استفاده شده است. شکل های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) نتیجه این ارزیابی ها را نشان می دهند.



شکل (۲): تأثیر نوع نویز جمع شونده بر میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی با روش آستانه گذاری سخت

چنانچه شکل (۲) نشان می دهد، عملکرد فیلتر بانک موجک منطبق با ماهیت نویزهای سفید و ماشین سازگاری بیشتری دارد. عملکرد فیلتر بانک برای نویز همهمه تضعیف می شود.

حوزه زمان، عملکرد فیلتر بانک پیشنهادی برای بهسازی سیگنال های سینوسی نویزی که تشکیل دهنده سیگنال گفتار هستند، مورد ارزیابی قرار گرفت. در انتهای این بخش نیز نتایج حاصل از ارزیابی تأثیر پارامترهای فیلتر بانک بر روی عملکرد آن ارائه شده اند.

#### ۵-۱ ارزیابی پایه موجک پیشنهادی در حوزه زمان

برای طراحی پایه موجک منطبق با گفتار در حوزه زمان لازم است پارامترهای  $\Delta w$ ،  $T$ ،  $N$  و  $R$  مقادری اولیه شوند.

پارامترهای  $N$  و  $\Delta w$  به ترتیب تعداد نمونه های سیگنال ورودی در حوزه فرکانس و گام نمونه برداری بوده، با اندازه قاب ورودی و  $2p/16$  مقادری شده اند. پارامترهای  $T$  و  $R$  به ترتیب دوره تناوب نمونه برداری و مرتبه چند جمله ای معادل با یک تناوب از تأخیر گروهی فیلتر پایین گذر تجزیه بوده، هر دو برابر با ۱۶ مقداردهی شده اند. طول فیلترهای تجزیه و ترکیب برابر با طول فیلترهای موجک دابوچی db20 و برابر با ۴۰ نمونه، در نظر گرفته شده است.

برای پیاده سازی فیلتر بانک موجک سابق در حوزه زمان، از پایه موجک دابوچی (db20) استفاده شده است. سیستم بهسازی گفتار پیاده سازی شده برای پایه موجک دابوچی همان ساختار ارائه شده در شکل (۱) را داراست با این تفاوت که از فیلترهای پایین گذر و بالاگذر مرتبط با پایه موجک دابوچی برای ساخت درخت تجزیه و درخت بازسازی بهره گرفته شده است. سایر پارامترهای سیستم مشابه با سیستم بهسازی گفتار حوزه فرکانس [۳] تنظیم شده اند. به منظور ارزیابی نتایج از نسبت سیگنال به نویز قطعه ای [۳] بهره گرفته ایم.

#### جدول ۱: نتایج ارزیابی میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی

برای نویز سفید با روش آستانه گذاری سخت

SNR ورودی (db)	موجک منطبق	موجک دابوچی
۰	۱۹/۹۹ db	۴/۰۲ db
۱۰	۱۹/۹۲ db	۵/۱۶ db
۲۰	۲۰/۰۶ db	۵/۳۹ db

#### جدول ۲: نتایج ارزیابی میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی

برای نویز همهمه با روش آستانه گذاری سخت

SNR ورودی (db)	موجک منطبق	موجک دابوچی
۰	۹/۷۶ db	-۰/۴۷ db
۱۰	۱۱/۵۱ db	-۱/۹۳ db
۲۰	۱۱/۳۶ db	-۰/۰۹ db

جدول (۱) میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی را برای دو روش آستانه گذاری سخت در حضور نویز سفید را با نرخ سیگنال به نویز ۰، ۱۰ و ۲۰ دسیبل نشان می دهد. جدول (۲) همین نتایج را در حضور نویز همهمه نشان می دهد. مطابق با نتایج مندرج در جداول فوق میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی توسط فیلتر بانک موجک منطبق،

چنانچه در شکل (۵) نشان داده شده است، عملکرد فیلتر بانک موجک منطبق زمانی که از سیگنال نویزی ورودی برای طراحی پایه موجک مادر منطبق استفاده می‌شود، نسبت به حالتی که از سیگنال تمیز یا سیگنال تمیز تخمین زده شده بدین منظور استفاده می‌شود، تنزل کوچکی دارد. مقدار این تنزل در نسبتهای سیگنال به نویز بالا به ویژه برای نویز سفید و نویز ماشین، افزایش می‌یابد.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله کارایی فیلتربانک پیشنهادی با فیلتر بانک موجک دابوچی در مقوله حذف نویز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌های نظری، یک افزایش ۰/۵ الی ۲ دسیبلی را در میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز، با استفاده از فیلتربانک موجک منطبق بر گفتار نسبت به فیلتربانک موجک دابوچی، گزارش می‌کنند. در تمام آزمون‌های عملی، شنوندگان سیگنال بهبود یافته حاصل از فیلتربانک موجک منطبق را به سیگنال بهبود یافته حاصل از فیلتربانک موجک دابوچی ترجیح دادند.

در حوزه زمان، چنانچه مطرح شد، کارایی دو فیلتر بانک مورد مقایسه در بهسازی سیگنال‌های سینوسی تشکیل دهنده گفتار، مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی توسط فیلتر بانک موجک منطبق، حداقل حدود ۴ دسیبلی و حداکثر حدود ۲۴ دسیبلی بر فیلتر بانک موجک دابوچی برتری دارد. نظر به آنکه سیگنال گفتار، ترکیبی خطی از سیگنال‌های سینوسی و کسینوسی است، انتظار می‌رود، نتیجه بهسازی سیگنال گفتار نویزی توسط فیلتر بانک موجک منطبق بر گفتار به همین اندازه مؤثر باشد.

#### ۷- مراجع

[۱] ب. زمانی دهکردی، بررسی اثر پارامترهای بانکهای فیلتر آنالیز و سنتز بر روی روشهای فرکانسی حذف نویز از سیگنال گفتار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ص ۸۴-۱۳۶، زمستان ۱۳۸۴.

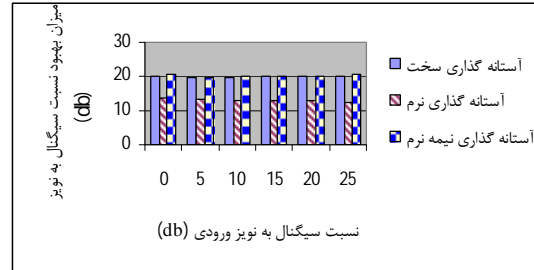
[۲] ب. زمانی دهکردی، ا. اکبری، ب. ناصر شریف، بررسی اثر باندهای بحرانی و پارامترهای بکارگیری تبدیل ویولت در بهبود گفتار، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی کامپیوتر ایران کنفرانس کامپیوتر، سال ۱۳۸۴.

[۳] ش. طیبیان، ب. زمانی دهکردی، ا. اکبری، ب. ناصر شریف، پیشنهاد پایه موجک منطبق بر سیگنال گفتار به منظور حذف نویز، سومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش، دانشگاه فردوسی مشهد، سال ۱۳۸۶.

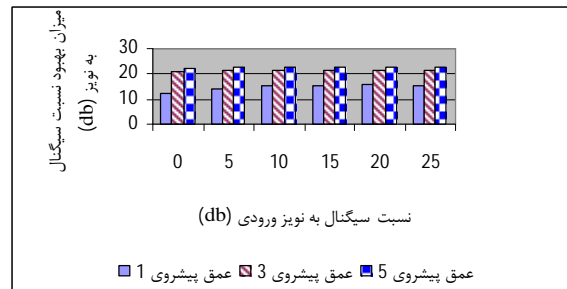
[4] Coifman, R.R., WickerHauser, M.L, Entropy Based Algorithms for Best Basis Selection, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 38, Iss. 2, pp. 713-718, March 1992.

[5] Huang, Y, Pollak, I, Bouman, C.A., Do, M.N, New Algorithms for Best Local Cosine Basis Search, *ICASSP*, Vol. 2, pp. 773-776, 2004.

[6] Ruiz Reyes, N., Zurera, M.R., Ferreras, F. L., Muñoz, D. M., Villafranca, J.M., A New Cost Function to Select the

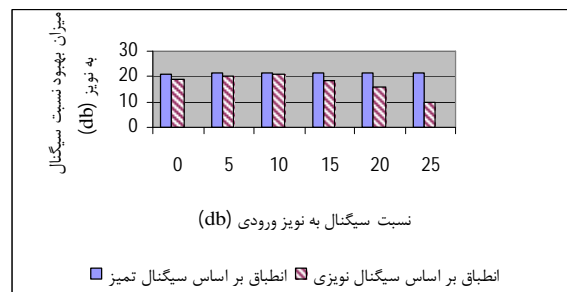


شکل (۳): ارزیابی تأثیر نوع روش آستانه‌گذاری بر میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی در حضور نویز جمع‌شونده سفید چنانچه شکل (۳) نشان می‌دهد، ماهیت عملکردی فیلتر بانک موجک منطبق با روش آستانه‌گذاری نرم سازگاری چندانی ندارد. عملکرد فیلتر بانک برای دو نوع روش آستانه‌گذاری دیگر یکسان است.



شکل (۴): ارزیابی تأثیر عمق پیشروی در درخت تجزیه موجک بر میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی در حضور نویز جمع‌شونده سفید

چنانچه شکل (۴) نشان می‌دهد که با افزایش عمق پیشروی در درخت تجزیه موجک، عملکرد فیلتر بانک موجک منطبق بهبود می‌یابد. میزان این بهبود برای افزایش از عمق پیشروی ۱ به عمق پیشروی ۳، چشمگیر است. ولی عملکرد فیلتر بانک در عمق پیشروی ۵ نسبت به عمق پیشروی ۳ اندکی بهبود یافته، حتی در آزمایشات انجام گرفته در حضور نویز ماشین تنزل کوچکی هم داشته است.



شکل (۵): ارزیابی تأثیر نوع سیگنال به کار رفته برای طراحی موجک منطبق بر میزان بهبود نرخ سیگنال به نویز ورودی در حضور نویز جمع‌شونده سفید

Wavelet Decomposition for Audio Compression, *IEEE Nordic Signal Processing Symposium (NORSIG2000)*, Kolmarden (Linkoping, Sweden), pp. 331-334, July 2000.

[7] Zhuang, Y., Baras, J.S., Optimal Wavelet Basis Selection for Signal Representation, *Proc. SPIE*, Vol. 2242, pp. 200-211, 1994.

[8] Taswell, C., Near Best Basis Selection Algorithms with Non-Additive Information Cost Functions, *IEEE-SP International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis*, pp. 13-16., October 1994

[9] Chapa, J.O., Rao, R.M., Algorithms for Designing Wavelets to Match a Specified Signal, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 48, No. 12, pp. 3395 - 3406, December 2000.

[10] Fung. C.C., Shi, P., Design of Compactly Supported Wavelet to Match Singularities in Medical Images, *Proc. SPIE*, Vol. 4790, pp. 358-369, November 2002.