

پیشنهاد پایه موجک منطبق بر سیگنال گفتار به منظور حذف نویز

شیما طبیبیان، بهزاد زمانی دهکردی، بابک ناصرشریف و احمد اکبری

دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی کامپیوتر

E-mail: shimatabibian@comp.iust.ac.ir, bzamani@iust.ac.ir, nasser_s@iust.ac.ir, akbari@iust.ac.ir

چکیده - روشهای بهسازی گفتار برای کاهش نویز زمینه و بهبود کیفیت گفتار و گاه برای حذف اثرات گوینده‌های دیگر یا کانال ارتباطی بکار می‌روند. روشهای متعددی از قبیل روشهای اصلاح طیف فرکانسی و روشهای حذف نویز مبتنی بر موجک برای این منظور وجود دارند. در روشهای حذف نویز مبتنی بر موجک، یکی از مسائل مطرح انتخاب پایه موجکی است که دارای کارایی مطلوبی در حیطه بهسازی گفتار باشد. یکی از روشهای این انتخاب، اشتقاق پایه‌های موجک متعامد -یکه از یک سیگنال مفروض است، که در تشخیص سیگنال، بهسازی تصاویر و تشخیص هدف استفاده شده است. در این مقاله ضمن ارائه روابط دقیق ریاضی، راهکاری برای یافتن پایه‌های موجک منطبق با سیگنال گفتار به منظور به کارگیری در بهسازی سیگنال گفتار نویزی ارائه شده است. نتایج آزمونهای ذهنی و عینی حاکی از آن است که پایه موجک منطبق با گفتار، کارایی بیشتری در بهسازی سیگنالهای گفتار، نسبت به پایه‌های موجک متداول دارد.

کلید واژه - آنالیز چند رزولوشنی متعامد -یکه، اندازه طیف موجک مادر، تابع مقیاس، موجک منطبق.

۱- مقدمه

در بسیاری از سیستمهای انتقال گفتار، حضور نویز زمینه باعث کاهش کیفیت یا قابلیت فهم گفتار می‌شود. همچنین گفتار می‌تواند در تبدیل و انتقال اطلاعات یا در هنگام تولید مجدد تحت تأثیر قرار گیرد. از این رو استفاده از روشهای بهسازی گفتار می‌تواند به کاهش نویز زمینه، بهبود کیفیت گفتار، یا حذف اثرات گوینده‌های دیگر و یا کانال ارتباطی کمک کند.

روشهای متعددی از قبیل روشهای اصلاح طیف فرکانسی و روشهای حذف نویز مبتنی بر موجک برای حذف نویز زمینه جمع شونده استفاده شده‌اند. در روشهای حذف نویز مبتنی بر موجک، یکی از مسائل مهم انتخاب پایه موجکی است که بتواند کارایی مطلوبی در حیطه بهسازی گفتار داشته باشد. اغلب روشهای موجود به منظور انتخاب پایه موجک ارائه شده در مقالات [۶-۲، ۱۴]، با انتخاب یک کتابخانه از پایه‌های موجک موجود و تعیین یک تابع هزینه، از طریق

بهینه نمودن مقدار تابع هزینه مفروض، پایه موجک مناسب را از بین پایه‌های موجک موجود در کتابخانه انتخاب می‌کنند. می‌توان گفت معیارهای هزینه آنتروپی و ادراکی [۷، ۸]، بیشترین استفاده را داشته‌اند. Rao و Chapa در سال ۲۰۰۰ ایده اشتقاق پایه‌های موجک متعامد -یکه را از سیگنال مفروض مطرح کردند [۸]. از این ایده در کاربردهای تشخیص سیگنال، بهسازی تصاویر و تشخیص هدف از جمله تشخیص لبه، استفاده شده است [۱۰]. تجزیه یک سیگنال با استفاده از توابع پایه موجک منطبق بر سیگنال، موجب ایجاد قله‌های بلندتری در حوزه زمان-مقیاس نسبت به بکارگیری توابع پایه موجک غیرمنطبق با سیگنال می‌شوند [۹]. در این مقاله به ارائه روابط ریاضی برای یافتن پایه‌های موجک منطبق با گفتار با هدف کاربرد در حیطه بهسازی گفتار پرداخته شده است.

این مقاله به این صورت ساختار یافته است؛ در بخش دوم شرایط لازم برای متعامد -یکه بودن پایه‌های موجک بیان شده است. سپس در بخش سوم فلسفه بهینه بودن پایه‌های

که $\psi(x)$ ، پایه موجک مادر و $\phi(x)$ ، تابع مقیاس می‌باشند. روابط ریاضی زیر شرایط لازم برای متعامد-یکه بودن پایه‌های موجک را نشان می‌دهند.

$$\langle \phi_{j,k}, \phi_{j,m} \rangle = \delta_{k,m} \quad (3)$$

$$\langle \phi_{j,k}, \psi_{j,k} \rangle = 0 \quad (4)$$

$$\langle \psi_{j,k}, \psi_{l,m} \rangle = \delta_{j,l} \delta_{k,l} \quad (5)$$

تبدیل فوریه رابطه (۳) به حاصل جمع Poisson معروف بوده، که به صورت رابطه (۶) ارائه می‌شود:

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} |\Phi(w + 2\pi m)|^2 = 1 \quad (6)$$

از آنجا که $\phi(x) \in V_0 \subset V_{-1}$ و $\psi(x) \in W_0 \subset V_{-1}$ ، پایه موجک مادر و تابع مقیاس می‌توانند به عنوان یک ترکیب خطی از پایه‌های فضای V_{-1} به صورت زیر نمایش داده شوند.

$$\phi(x) = 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_k \phi(2x - k) \quad (7)$$

$$\psi(x) = 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_k \phi(2x - k) \quad (8)$$

روابط فوق در حوزه فرکانس به صورت زیر می‌باشند:

$$\Phi(w) = H\left(\frac{w}{2}\right) \Phi\left(\frac{w}{2}\right) \quad (9)$$

$$\Psi(w) = G\left(\frac{w}{2}\right) \Phi\left(\frac{w}{2}\right) \quad (10)$$

در روابط (۷) و (۸)، h_k و g_k پاسخهای ضربه فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر بکار رفته در بانک فیلتر آنالیز می‌باشند. توابع $H(w)$ و $G(w)$ متناوب با دوره تناوب 2π هستند و رابطه (۱۱) مابین آنها برقرار است:

$$|H(w)|^2 + |G(w)|^2 = 1 \quad (11)$$

۳- فلسفه انتخاب پایه موجک منطبق با سیگنال

با استفاده از بانک فیلتر منطبق شده با سیگنال، طرحی از پایه موجک پیشنهاد می‌شود. پایه پیشنهادی با سیگنال مورد نظر به گونه‌ای تطبیق پیدا می‌کند که ضرایب خروجی

موجک منطبق با گفتار مطرح می‌گردد. در ادامه در بخش چهارم ویژگیهای اندازه طیف پایه موجک مادر متعامد-یکه^۱، روابط ریاضی مابین تابع موجک مادر^۲ و تابع مقیاس^۳ و روشی برای به دست آوردن اندازه طیف تابع مقیاس از روی اندازه طیف موجک مادر ارائه خواهند شد. در بخش پنجم روابط لازم برای طراحی پایه موجک منطبق با گفتار در حالت گسسته در زمان بررسی می‌شود. در بخش ششم فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر مورد استفاده در بانک فیلتر موجک پیشنهادی در حوزه فرکانس و نحوه حصول شرایط بازسازی کامل، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش هفتم نتایج پیاده‌سازی بانک فیلتر پیشنهادی آورده شده است. در پایان نیز جمع‌بندی مطالب ارائه می‌شود.

۲- پایه‌های موجک متعامد-یکه

در آنالیز موجک، یک سیگنال $f(x) \in V^{-1}$ به یک دنباله متناهی از توابع جزئیات^۴ $\{g_j(x)\}, j = \{0, 1, \dots, J\}$ و یک تابع تخمین^۵ با رزولوشن پایین، $f_J(x)$ ، تقسیم می‌شود، که

$$\text{رابطه } f(x) = \sum_{j=0}^J g_j(x) + f_J(x) \text{ برای آنها برقرار است. در}$$

سطح اول $f(x)$ به دو زیرفضای متعامد-یکه V_0, W_0 نگاشت می‌شود. این نگاشت، سیگنالهای $f_0(x) \in V_0$ و $g_0(x) \in W_0$ را تولید می‌کند، که به ترتیب حاوی ضرایب تخمین با رزولوشن پایین و جزئیات گم شده، یعنی تفاوت بین تخمین با رزولوشن پایین و سیگنال اصلی می‌باشد. عملیات با نگاشت $f_0(x)$ به زیرفضاهای V_1, W_1 و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. قابل ذکر است که رابطه $V_1 = V_0 + W_0$ میان زیرفضاهای برقرار است. پایه‌های متعامد-یکه از زیرفضاهای V_j و W_j به ترتیب از روابط (۱) و (۲) استخراج می‌شوند [۱۱، ۱۰]:

$$\psi_{j,k} = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}x - k) \quad (1)$$

$$\phi_{j,k} = 2^{-j/2} \phi(2^{-j}x - k) \quad (2)$$

¹ Orthonormal

² Mother wavelet

³ Scaling function

⁴ Detail

⁵ Approximation

$$|\Phi(w)|^2 = |\Psi(2w)|^2 + |\Phi(2w)|^2 \quad (14)$$

با حل رابطه بازگشتی بالا رابطه (۱۵) حاصل می‌شود [۱۰]:

$$|\Phi(w)|^2 = \sum_{j=1}^{\infty} |\Psi(2^j w)|^2 \text{ for } w \neq 0 \quad (15)$$

۴-۱- ویژگیهای اندازه طیف موجک مادر

در بخش قبل نحوه یافتن تابع مقیاس از روی تابع موجک مادر نشان داده شد. قضیه ۱ برای به دست آوردن ویژگیهای تابع مقیاس باند محدود و طیف موجک مادر به کار می‌رود.

قضیه ۱

در یک آنالیز چند رزولوشنی طیف تابع مقیاس باند محدود با حداکثر تعداد قابل شمارشی صفر در بازه بسته $[-w_m, w_m]$ تعریف شده است. به طوری که داریم [۱۰]:

$$w_m \leq \pi + \alpha, 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3} \quad (16)$$

به علاوه شرایط لازم و کافی برای داشتن یک تابع مقیاس متعامد-یکه باند محدود عبارتند از:

$$|\Phi(w)| = 1, \text{ for } |w| < \pi - \alpha \quad (17)$$

$$|\Phi(w)| + |\Phi(2\pi - w)| = 1 \quad (18)$$

for $\pi - \alpha \leq w \leq \pi + \alpha$

در یک آنالیز چند رزولوشنی متعامد-یکه با یک تابع مقیاس باند محدود تابع موجک مادر متعامد-یکه متناظر، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$|\Psi(w)| = \begin{cases} 0, 0 \leq |w| < \pi - \alpha \\ |\Phi(2\pi - w)|, \pi - \alpha \leq |w| < \pi + \alpha \\ 1, \pi + \alpha \leq |w| < 2\pi - 2\alpha \\ |\Phi(\frac{w}{2})|, 2\pi - 2\alpha \leq |w| \leq 2\pi + 2\alpha \\ 0, |w| > 2\pi + 2\alpha \end{cases} \quad (19)$$

شرایطی که در روابط بالا آمده است تقارنی را حول $4\pi/3$ اعمال می‌کند. لازمه این تقارن داشتن شرایط زیر است:

بانک‌فیلتر برای آن سیگنال ماکزیمم شوند. در تشخیص سیگنال، ضرایب با مقادیر ماکزیمم، معرف ضرایب حاصل از آنالیز سیگنال مورد جستجو هستند. در بهسازی سیگنالهای نویزی، ضرایب سیگنال تمیز، ماکزیمم مقادیر را بین تمام ضرایب حاصل از بانک‌فیلتر موجک منطبق دارند؛ پس از حذف نویز، سیگنال بهبودیافته به سیگنال تمیز نزدیکتر بوده، کمتر دچار اثرات نامطلوبی چون اعوجاج و نویز باقی مانده می‌شود.

رابطه مربوط به نگاشت سیگنال ورودی به فضای جزئیات در واقع یک ضرب داخلی است که با توجه به رابطه پارسوال در حوزه زمان یا فرکانس به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$d_k^j = \langle f(x), \psi_{j,k} \rangle = \langle F(w), \Psi_{j,k}(2^j w) \rangle \quad (20)$$

$$\Psi_{j,k}(2^j w) = 2^{j/2} e^{-i2^j w_k} \Psi(2^j w)$$

انرژی ضریب d_k^j در یک مقیاس خاص مثل j_0, k_0 از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$|d_{k_0}^{j_0}|^2 = |\langle F(w), \Psi_{j_0, k_0}(2^{j_0} w) \rangle|^2 \quad (21)$$

زمانی ماکزیمم می‌شود که طیف فرکانسی تابع موجک مادر با طیف فرکانسی سیگنال $f(x)$ معادل باشد. از آنجا که انطباق به صورت کامل صورت نمی‌گیرد، پس از آنالیز سیگنال، انرژی سیگنال حول مقیاس j_0, k_0 توزیع می‌شود که بیشترین مقدارش در مقیاس j_0, k_0 می‌باشد.

۴- شرایط پایه موجک مادر در آنالیز چند

رزولوشنی متعامد-یکه

یکی از مسائلی که در منطبق کردن طیف تابع موجک مادر با طیف سیگنال وجود دارد آن است که شرایط متعامد-یکه بودن آنالیز چند رزولوشنی، شرایطی لازم و کافی نیستند. به عبارت دیگر اگر چه تابع مقیاس متعامد-یکه پایه موجک مادر متعامد-یکه‌ای را نتیجه می‌دهد، عکس این مطلب لزوماً برقرار نمی‌باشد. بنابراین ابتدا باید شرایط گفته شده برای متعامد-یکه بودن تابع مقیاس را به تابع پایه موجک مادر تعمیم داد، سپس تحت این شرایط، تابع موجک مادر را با سیگنال مورد نظر تطبیق داده و تابع مقیاس را بر اساس تابع موجک مادر به دست آورد [۱۰]. با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) می‌توان رابطه (۱۴) را به دست آورد:

$$\frac{2^L}{3} < \left| \frac{2^L}{2^P} (k + 2^{L+1}m) \right| < \frac{2^{L+2}}{3} \quad (25)$$

اگر در روابط بالا L برابر با M و برابر با ۴ در نظر گرفته شود، برای یک مقدار خاص k ، نظر به حدود تعیین شده در رابطه (۲۵)، تنها دو یا سه مقدار Y در محاسبه رابطه (۲۴) دخالت خواهند داشت. با مقداردهی k در بازه $[6, 21]$ ، ۱۱ معادله مستقل خطی از رابطه (۲۴) به دست می‌آید. از روی ضرایب صحیح این ۱۱ معادله، ماتریسی به نام ماتریس شرایط به دست می‌آید که عبارتست از:

$$A = \begin{bmatrix} 1,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0 \\ 0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0 \\ 0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1 \\ 0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,1,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,1,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0 \end{bmatrix}$$

با فرض آنکه E تعداد معادلات مستقل خطی است داریم:

$$\sum_{i=1}^L \alpha_{ik} Y(k) = l, \text{ where } \alpha_{ik} \in \{0,1,2\} \quad (26)$$

for $k = \left\{ \left\lfloor \frac{2^L}{3} \right\rfloor, \dots, \left\lfloor \frac{2^{L+2}}{3} \right\rfloor \right\}$
 $i = 1, \dots, E;$

$l = \{1,1,\dots,1\}$ is a $E \times 1$ vector

فرض کنید W, Y به ترتیب بردارهای شامل نمونه‌های $|\Psi(k\Delta w)|^2, |F(k\Delta w)|^2$ هستند. داریم:

$$W = \{ |F(k\Delta w)|^2 \}, Y = \{ |\Psi(k\Delta w)|^2 \} \quad (27)$$

$k = \left\{ \left\lfloor \frac{2^L}{3} \right\rfloor, \dots, \left\lfloor \frac{2^{L+2}}{3} \right\rfloor \right\}$

رابطه (۲۸) مقدار خطای میان اندازه طیف توان پایه موجک مادر و اندازه طیف توان سیگنال ورودی را نشان می‌دهد که می‌بایست مینیمم شود. روابط (۲۹) و (۳۰) برای محاسبه اندازه طیف توان موجک مادر منطبق با اندازه طیف توان سیگنال ورودی، به کار می‌روند [۱۰]. نحوه بدست آوردن این روابط در مقاله [۱۰] آورده شده است.

$$|\Psi(w)| = |\Psi(4\pi - 2w)| \quad (20)$$

for $\pi - \alpha < |w| < \frac{4\pi}{3}$

$$|\Psi(w)|^2 + |\Psi(2\pi - w)|^2 = 1 \quad (21)$$

for $\pi - \alpha < |w| < \frac{4\pi}{3}$

برقراری روابط (۲۰) و (۲۱)، شرایط متعامد-یکه بودن موجک مادر را تضمین می‌کند.

۵- انطباق موجک مادر با سیگنال در حالت

گسسته در زمان

در بخش ۴ به وجود رابطه (۱۵) بین تابع مقیاس و تابع پایه موجک مادر اشاره شد. در حالت گسسته در زمان به دلیل وجود حد بالای بینهایت در این رابطه، به دست آوردن نتایج عملی غیر ممکن بوده و لازم است این رابطه گسسته‌سازی شود. فرض کنید از اندازه طیف تابع مقیاس و تابع پایه موجک مادر در حوزه فرکانس با فواصل فرکانس مشخصی به عنوان مثال $w = k\Delta w$ ، نمونه‌برداری شود. با فرض آن که $\Delta w = \frac{\pi}{2^L}$ ، رابطه (۲۲) میان تابع مقیاس و تابع موجک مادر برقرار است، که نمونه‌برداری شده رابطه (۱۵) با فرکانس نمونه برداری مذکور می‌باشد [۱۰].

$$\left| \Phi\left(\frac{\pi k}{2^L}\right) \right|^2 = \left| \Phi\left(\frac{\pi k}{2^{L-1}}\right) \right|^2 + \left| \Psi\left(\frac{\pi k}{2^{L-1}}\right) \right|^2, k \neq 0 \quad (22)$$

با ساده‌سازی رابطه بازگشتی (۲۲) رابطه غیر بازگشتی (۲۳) حاصل می‌شود:

$$\left| \Phi\left(\frac{\pi k}{2^L}\right) \right|^2 = \sum_{p=0}^L \left| \Psi\left(\frac{2\pi k}{2^p}\right) \right|^2 \text{ for } k \neq 0 \quad (23)$$

قضیه ۲

فرض کنید $\Delta w_\Psi = \frac{2\pi}{2^M}$ ، با استفاده از رابطه poisson و رابطه (۲۳) اثبات می‌شود [۱۰] که:

$$\sum_{p=0}^L \sum_{m=-\infty}^{+\infty} Y\left(\frac{2^M}{2^p} (k + 2^{L+1}m)\right) = 1 \quad (24)$$

$L = \{0, \dots, M\}$

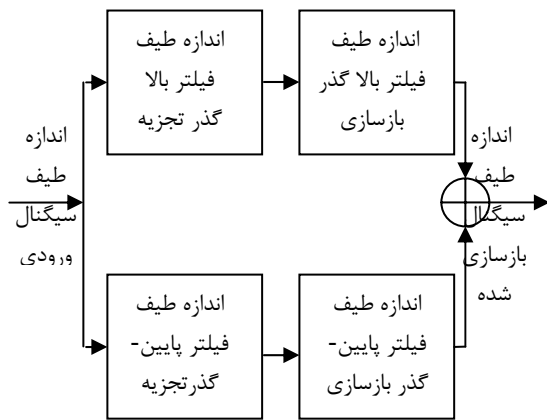
برای محاسبه اندازه طیف توان فیلتر بالاگذر، کافی است مقادیر طیف توان ضرایب فیلتر پایین‌گذر را نرمال کرده، تفاضل آنها را از عدد یک محاسبه شود. پس از به دست آوردن فیلترهای آنالیز بانک‌فیلتر موجک پیشنهادی در حوزه فرکانس، لازم است فیلترهای بازسازی، با توجه به برقراری شرایط بازسازی کامل، محاسبه شوند. برای به دست آوردن فیلترهای بازسازی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned}\tilde{H}(k\Delta w) &= H(-k\Delta w) \\ \tilde{G}(k\Delta w) &= G(-k\Delta w)\end{aligned}\quad (32)$$

از آنجا که فیلترها دارای مفادیر حقیقی هستند، اندازه طیف آنها در حوزه فرکانس تقارن زوج داشته، داریم:

$$\begin{aligned}|\tilde{H}(k\Delta w)| &= |H(-k\Delta w)| = |H(k\Delta w)| \\ |\tilde{G}(k\Delta w)| &= |G(-k\Delta w)| = |G(k\Delta w)|\end{aligned}\quad (33)$$

شکل (۱)، فیلتربانک موجک پیشنهادی در حوزه فرکانس را نشان می‌دهد.



شکل ۱: فیلتر بانک موجک پیشنهادی برای یک سطح آنالیز و سنتز

قابل ذکر است که برای برگرداندن سیگنال بازسازی شده از حوزه فرکانس به حوزه زمان، از فاز سیگنال ورودی در کنار اندازه سیگنال بازسازی شده، و عکس تبدیل فوریه استفاده می‌شود.

شکل (۲)، بلاک دیاگرام سیستم کاهش نویز بکار رفته در این مقاله را نشان می‌دهد.

$$E = \frac{(W - aY)^T (W - aY)}{W^T W} \quad (28)$$

$$Y = \frac{1}{a} W + A^T (AA^T)^{-1} (1 - \frac{1}{a} AW) \quad (29)$$

$$a = \frac{l^T (AA^T)^{-1} (AW)}{l^T (AA^T)^{-1} l} \quad (30)$$

بر اساس روابط بیان شده، اندازه طیف پایه موجک مادر منطبق محاسبه شده و با استفاده از رابطه میان طیف توان موجک مادر و طیف توان تابع مقیاس، تابع مقیاس منطبق بر سیگنال نیز محاسبه می‌شود.

۶- فیلتر بانک موجک پیشنهادی در حوزه فرکانس

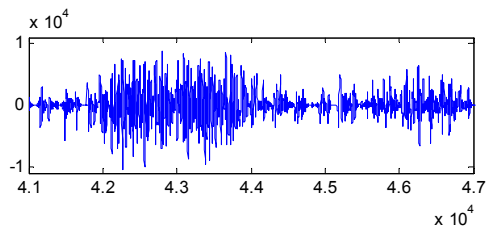
به منظور بررسی کارکرد پایه‌های موجک منطبق بر سیگنال گفتار در زمینه بازسازی سیگنالهای گفتار نویزی و مقایسه با پایه‌های موجک دابوچی (که اغلب در این زمینه به کار می‌روند)، بانک‌فیلتر موجک ساده‌ای در حوزه فرکانس پیشنهاد شده است. لازم به تأکید است که این بانک‌فیلتر موجک ساده، صرفاً جهت مقایسه کارکرد پایه موجک پیشنهاد شده با پایه موجک دابوچی طراحی شده است. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که در حالت کلی بهترین بازدهی را در زمینه بهسازی سیگنالهای گفتار نویزی ارائه دهد، زیرا حذف نویز در حوزه فرکانس منجر به ایجاد پدیده نامطلوب نویز موسیقی می‌شود.

برای طراحی فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در حوزه فرکانس، نمونه‌برداری از رابطه (۹) با فرکانس نمونه‌برداری $w = k\Delta w$ پیشنهاد شده است.

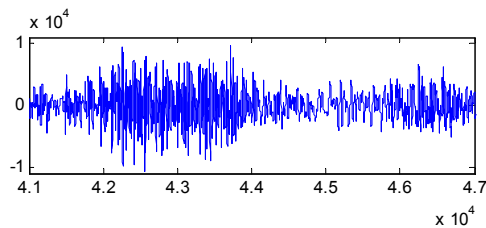
$$\begin{aligned}\Phi(k\Delta w) &= H\left(\frac{k\Delta w}{2}\right)\Phi\left(\frac{k\Delta w}{2}\right) \\ \Rightarrow \Phi(2k\Delta w) &= H(k\Delta w)\Phi(k\Delta w) \\ \Rightarrow H(k\Delta w) &= \frac{\Phi(2k\Delta w)}{\Phi(k\Delta w)} \\ \Rightarrow |H(k\Delta w)| &= \frac{|\Phi(2k\Delta w)|}{|\Phi(k\Delta w)|}\end{aligned}\quad (31)$$

به کمک رابطه بالا، اندازه طیف فیلتر پایین‌گذر بانک‌فیلتر پیشنهادی از روی اندازه طیف تابع پایه مقیاس، حاصل می‌شود. با توجه به رابطه $|H(k\Delta w)|^2 + |G(k\Delta w)|^2 = 1$

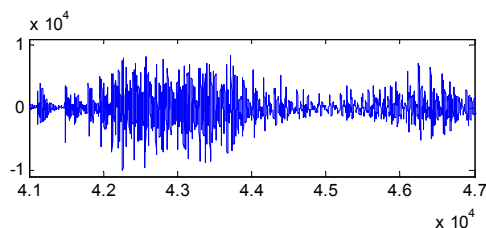
ایجاد شده است که به دلیل کار در حوزه فرکانس بوده، آزاددهنده نمی‌باشد. این در حالی است که نویز زمینه بطور کامل بدون تخریب سیگنال گفتار حذف شده است.



(الف) سیگنال گفتار تمیز



(ب) سیگنال بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر دابوچی



(ج) سیگنال بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر منطبق

شکل ۵: نمودار سیگنال گفتار تمیز و سیگنالهای بهبودیافته

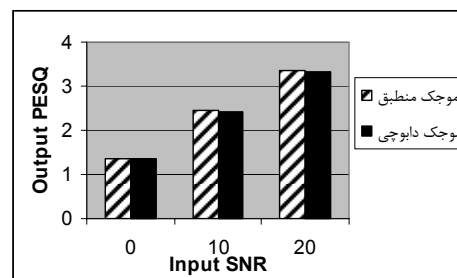
بررسی ضرایب حاصل از بانک‌فیلتر موجک منطبق نشان می‌دهد که تقریباً هیچ ضریبی از سیگنال گفتار تمیز ورودی در بخش جزئیات بانک‌فیلتر موجک پیشنهادی قرار نمی‌گیرد. با حذف جزئیات و بازسازی بخش تخمین، پدیده‌های نامطلوب اعوجاج، اکو و خفگی در سیگنال بازسازی شده وجود نخواهد داشت. بنابراین پس از آستانه‌گذاری ضرایب حاصل از بانک‌فیلتر، ضرایب نویز به خوبی حذف شده، ضرایب سیگنال گفتار تمیز بدون اعوجاج محسوسی باقی می‌مانند. این امر به دلیل استفاده از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر منطبق می‌باشد که موجب ماکزیمم شدن ضرایب می‌شود. بنابراین پس از بازسازی، سیگنال بهبودیافته دارای نسبت سیگنال به نویز بالاتر و اعوجاج کمتری نسبت به سیگنال بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر موجک غیر منطبق می‌باشد.

جدول ۴: نتایج ارزیابی میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز برای نویز همهمه با روش آستانه‌گذاری نیمه‌نرم

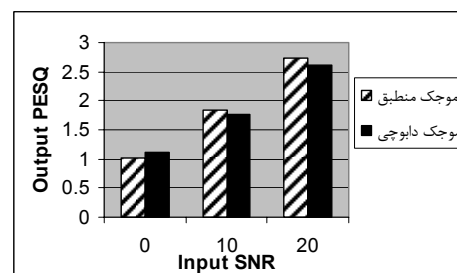
موجک دابوچی	موجک منطبق	SNR ورودی (db)
۰/۶۱۲ db	۱/۱۶ db	۰
۰/۰۲۴ db	۰/۷۱ db	۱۰
-۰/۴۸ db	۰/۰۴ db	۲۰

مطابق با نتایج مندرج در جداول میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز ورودی برای پایه موجک پیشنهادی نسبت به پایه موجک دابوچی حدود ۱ الی ۲ دسیبل بیشتر می‌باشد.

شکل‌های (۳) و (۴) نیز میزان بهبود PESQ برای دو پایه پیشنهادی و دابوچی برای روش آستانه‌گذاری نیمه‌نرم در حضور نویز سفید و همهمه با نرخ سیگنال به نویز ورودی ۰، ۱۰ و ۲۰ دسیبل آورده شده است.



شکل ۳: نتایج ارزیابی میزان بهبود PESQ برای نویز سفید با روش آستانه‌گذاری نیمه‌نرم



شکل ۴: نتایج ارزیابی میزان بهبود PESQ برای نویز همهمه با روش آستانه‌گذاری نیمه‌نرم

شکل (۵) نمودار سیگنال گفتار تمیز، سیگنال بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر منطبق و سیگنال بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر دابوچی را نشان می‌دهد. چنانچه در شکل دیده می‌شود میزان کاهش نویز در حالت بانک‌فیلتر دابوچی بیشتر است؛ به همین دلیل انتظار می‌رود که تخریب بیشتری در سیگنال بهبودیافته ایجاد شود. در سیگنال بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر منطبق مقدار نویز موسیقی

به نتیجه فیلتربانک موجک دابوچی ترجیح دادند.

نتایج مقایسه میان دو روش آستانه‌گذاری حاکی از آن است که بر خلاف موجک دابوچی، موجک منطبق نسبت به نوع روش آستانه‌گذاری به کار رفته برای حذف نویز، چندان حساس نبوده، با انتخاب یک روش آستانه‌گذاری بسیار ساده نیز می‌توان از حداکثر کارایی موجک منطبق بهره گرفت.

در این مقاله موجک منطبق با گفتار برای بهسازی گفتار پیشنهاد گردید که می‌تواند در بازشناسی، کد کردن و فشرده‌سازی نیز بکار گرفته شود.

مراجع

[1] زمانی دهکردی، بهزاد، *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، زمستان ۱۳۸۴.

[2] Rajpoot, N. M., Wilson, R. G., Meyery, G., Coifman, R. R., "A New Basis Selection Paradigm For Wavelet Packet Image Coding", **IEEE International Conference on Image Processing**, Vol.3, pp. 816-819, 2001.

[3] Prelcic, N. G, Pena, A.S., "An Adaptive Tree Search Algorithm with Application to Multiresolution Based Perceptive Audio Coding", **IEEE-SP International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis**, pp. 117-120, 1996.

[4] Prelcic, N. G, Pena, A.S., "An Adaptive Tiling of the Time-Frequency Plane with Application to Multi-resolution-based Perceptive Audio Coding", **Signal Processing**, Vol. 81, No. 2, pp.301-319, February 2001.

[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 Wavelet Decomposition for Audio Compression", **Mp3 technical papers**, 2000.

[7] Zhuang, Y., Baras, J.S., "Optimal Wavelet Basis Selection for Signal Representation", **Proc. SPIE**, Vol. 2242, p. 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, Philadelphia, PA, Oct. 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.

[11] Schniter, Ph., "ECE-700 Time-Frequency/Wavelet Notes", www.ece.osu.edu/~schniter/ee700/handouts, 12 March 2007.

[12] Donoho, D. L., "Denoising by soft thresholding", **IEEE Trans. on Information Theory**, Vol. 41, No. 3, pp. 613-627, May 1995.

[13] Seok, J. W., Bae, K.S., "Speech enhancement with reduction of noise components in the wavelet domain", **ICASSP**, Vol. 2, pp. 1323 - 1326, 1997.

[14] 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.

[15] "Objective Measurement of Active Speech Level", **ITU-T, Geneva, Recommendation**, pp.56, March 1993.

چنانچه نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند، میزان بهبود نرخ سیگنال به نویز برای بانک‌فیلتر موجک منطبق نسبت به بانک‌فیلتر موجک دابوچی، در حدود ۰/۵ الی ۲ دسیبل برتری داشته است. این برتری، به ویژه در نسبت‌های سیگنال به نویز بالا، به لحاظ اعوجاج و نویز باقیمانده کمتر در سیگنال بهبودیافته، قابل توجه است. میزان بهبود معیار PESQ برای فیلتربانک موجک منطبق نسبت به فیلتربانک موجک دابوچی تا حدودی برتری داشته است.

در آزمونهای ذهنی شنوندگان، کیفیت سیگنال بهسازی شده حاصل از بانک‌فیلتر موجک منطبق را به لحاظ اعوجاج و میزان نویز باقیمانده کمتر و قابلیت درک بیشتر، به کیفیت سیگنال بهسازی شده حاصل از بانک‌فیلتر موجک دابوچی، ترجیح داده‌اند.

در مقایسه میان روشهای آستانه‌گذاری بکار رفته، این نتیجه حاصل شد که زمانیکه از موجک منطبق به منظور کاهش نویز استفاده می‌شود، تفاوت زیادی میان نتایج بدست آمده از دو روش آستانه‌گذاری سخت و نیمه نرم وجود ندارد. گاهی برای نرخ سیگنال به نویز ورودی صفر دسیبل برتری با روش آستانه‌گذاری نیمه‌نرم است. در حالیکه برای موجک دابوچی، روش آستانه‌گذاری نیمه‌نرم برتری قابل توجهی نسبت به روش آستانه‌گذاری سخت دارد.

۸- نتیجه گیری و کارهای آتی

در این مقاله روشی برای طراحی پایه‌های موجک و فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر منطبق بر گفتار در حوزه فرکانس ارائه شد. نتایج پیاده‌سازی فیلتربانک پیشنهادی، کارایی بهتر آن را نسبت به بانک‌فیلتر موجک دابوچی در کاربرد بهسازی گفتار نشان داد. ارزیابی‌های عینی افزایش ۰/۵ الی ۲ دسیبل میزان بهبود نرخ سیگنال به نویز ورودی را برای بانک‌فیلتر موجک منطبق بر گفتار نسبت به بانک‌فیلتر موجک دابوچی، گزارش می‌کنند.

میزان بهبود معیار PESQ با بکارگیری بانک‌فیلتر موجک منطبق نسبت به بانک‌فیلتر موجک دابوچی در حدود ۰/۱ تا ۰/۸ واحد می‌باشد. در تمام آزمونهای ذهنی، شنوندگان با در نظر گرفتن جنبه‌های کیفیت و قابلیت درک گفتار، میزان اعوجاج و میزان نویز باقیمانده در سیگنال بهبودیافته، سیگنالهای بهبودیافته حاصل از بانک‌فیلتر موجک منطبق را