8th Symposium on Advances in Science & Technology Commission-IV
مهندسی برق و توسعه پایدار
با محوریت دستاوردهای نوین در مهندسی برق
برگزارکننده:
موسسه آموزش عالی خاوران
مشهد، ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

روشی جدید برای بهسازی سیگنال های صوتی با استفاده از آنالیز lpc در روش فیلتر کالمن

بتول گرایلی ملک خیلی[1]، محمدرضا کرمی ملائی[2]

1- کارشناس ارشد مهندسی برق

2- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر،دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل

b.gerayli@stu.nit.ac.ir

ارائه دهنده: بتول گرایلی ملک خیلی

خلاصه

در این مقاله، روشی جدید برای بهسازی سیگنال های صوتی ارائه شده است. این روش که مبتنی بر روش فیلتر کالمن می باشد، از ضرایب پیشگویی خطی[۱] (LPC) برای تخمین و استخراج نویز استفاده می کند. سپس از این نویز برای تخمین پارامتر های فیلتر کالمن استفاده گردیده است. در حالی که در روش های قبلی از قسمت های سکوت گفتار (غیرگفتاری) برای تخمین نویز صوتی به کار گرفته می شد. در ادامه به مقایسه روش های پیشنهادی و روش موجود پرداخته و مشاهده گردید که روش پیشنهادی به میزان چشمگیری، معیار ارزیابی ادراکی کیفی گفتار[۲](PESQ) سیگنال آغشته به نویز را بهبود بخشیده است. همچنین در این مقاله از معیار آزمایش شنوایی[۳] (MOS) هم استفاده شده است که نتیجه آزمایش شنوایی نیز بیانگر این نتایج هستند.

واژه های کلیدی: بهسازی سیگنال های صوتی، فیلتر کالمن، آنالیز LPC

1. مقدمه

کاهش و یا حذف نویز، یکی از مباحث مهم در سیستم پردازش سیگنال های صوتی، مانند سیستم های ارتباطی، کدینگ سیگنال های صوتی و بازشناسی گفتار می باشد به همین دلیل روش های متعددی برای کاهش میزان نویز در سیگنال های صوتی ارائه شده است. از این میان می توان به روش های مبتنی بر فیلتر کالمن [1,2,3,4] ، تفریق طیفی[۵] ، فیلتر وینر[۶] و تبدیل موجک [7] اشاره نمود.

در روش های مبتنی بر فیلتر کالمن سه فرض ذیل برقرار می باشد:

نویز و سیگنال جمع شونده باشند.

نویز و سیگنال ناهمبسته باشند.

یک کانال در دسترس باشد.

در میان روش های تک کاناله بهسازی گفتار، فیلتر کالمن یکی از موثرترین آنها می باشد. در این روش عمدتاً سیگنال گفتار به صورت یک فرایند AR شناخته می شود و عملیات حذف نویز در دو مرحله صورت می گیرد: در مرحله اول واریانس نویز و پارامترهای گفتار تخمین زده شده و در مرحله دوم با استفاده از فیلتر کالمن سیگنال گفتار تخمین زده می شود. روش های مختلف فیلتر کالمن در تخمین پارامترهای گفتار و چگونگی

[1] Linear predictive coefficient
[2] Perceptual Evaluation of Speech Qualit
[3] Mean Opinion Score

اعمال الگوریتم کالمن باهم تفاوت دارند [1]. در برخی از روش ها پارامترهای گفتار را از روی گفتار بدون نویز تخمین زده و آن را به فیلتر کالمن اعمال می کنند [2]. در حالی که در سایر روش ها این پارامترها از روی گفتار نویزی استخراج شده و به عنوان تخمین پارامترهای گفتار به کار می روند. در این مقاله ابتدا روش فیلتر کالمن را شرح داده و سپس با استفاده از آنالیز LPC [8,9,10] به تخمین نویز از روی سیگنال صوتی پرداخته می شود. بدین ترتیب مشاهده می گردد که پارامترهای نویز تخمینی به میزان زیادی به پارامترهای نویز واقعی نزدیک است و به همین دلیل سبب بهبود چشمگیر روش فیلترکالمن شده است.

2. فیلتر کالمن :

فیلتر کالمن یک فیلتر انطباقی حداقل مربعات خطا است که یک راه حل بازگشتی محاسباتی بهینه را برای تخمین یک سیگنال در حضور نویز گوسی فراهم می کند. این الگوریتم با استفاده بهینه از اطلاعات غیر دقیق روی یک سیستم خطی با خطا های گوسی، به طور مداوم سیستم را بروز رسانی کرده و بهترین تخمین را از حالت فعلی سیستم می زند. عملکرد فیلتر کالمن شامل دو مرحله است: مرحله اول پیش بینی و در مرحله دوم تصحیح. در اولین مرحله، حالت سیستم با مدل دینامیکی پیش بینی می گردد و در مرحله دوم با مدل مشاهده، اصلاح می شود تا کواریانس خطای تخمین حداقل گردد و تخمین بهینه شود.

مدل گفتار نویزی و فیلتر کالمن

فرض براین است که سیگنال گفتار در طول هر فریم[1]، ایستان است و مدل AR گفتار در تمام قسمت ها یکسان باقی مانده است.
سیگنال گفتار $x(k)$ با یک مدل AR مرتبه P به صورت (1) مدل می شود[4]:

$$x(k) = \Sigma\, \alpha_i\, x(k-i) + u(k) \quad , \quad i = 1 \ldots . P \qquad (1)$$

که $x(k)$، kامین نمونه گفتار و α_i ها ضرایب پیشگویی خطی (LP) مدل AR هستند و $u(k)$ خطای پیشگویی است که دارای توزیع نرمال (N(0,Q)) می باشد که Q ماتریس کواریانس نویز فرایند است. سیگنال مشاهده شده ی $y(k)$ مطابق (2) با نویز سفید جمع شونده $n(k)$ آلوده شده است :

$$y(k) = Hx(k) + n(k) \qquad (2)$$

در (2)، $n(k)$ نویز سفید گوسی و ناهمبسته با $u(k)$ است. $n(k)$ دارای توزیع نرمال (N(0,R)) می باشد. R ماتریس کواریانس نویز اندازه گیری است. سیستم را با معادلات حالت زیر مدل می کنیم:

$$x(k) = Ax(k-1) + Gu(k) \qquad (3)$$

$$y(k) = Hx(k) + n(k) \qquad (4)$$

که $x(k) = [x(k-p+1) \ldots x(k)]^T$ بردار حالت P×1 بعدی، A ماتریس انتقال P×P بعدی است که در (5) نشان داده شده است:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ \alpha_p & \alpha_{p-1} & \alpha_{p-2} & \cdots & \alpha_1 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

که $G = [0\ 0 \ldots 0\ 1]^T$ دارای طولی به اندازه P (مرتبه LP) می باشد و $H = G^T$ به ترتیب بردار سطری مشاهدات و بردار ورودی می باشد.

[1] Frame

$x(k|k-1)$ را به عنوان تخمین قیاسی در زمان k و $x(k|k)$ را تخمین حالت استقرایی می گویند که در زمان k اندازه $y(k)$ را نشان می دهد. تخمین خطاهای استقرایی و قیاسی در (6) و (7) تعریف شده است:

$$e^{-}(k) = x(k) - x(k|k-1) \quad (6)$$

$$e(k) = x(k) - x(k|k) \quad (7)$$

کواریانس خطای تخمین قیاسی و استقرایی به ترتیب در (8)و (9) تعریف شده است :

$$P^{-}(k) = E\{e^{-}(k)\, e^{-T}(k)\} \quad (8)$$

$$P(k) = E\{e(k)\, e^{T}(k)\} \quad (9)$$

در فرمول استنتاج شده از فیلتر کالمن ، هدف یافتن معادله ای است که تخمین حالت استقرایی را به عنوان یک ترکیب خطی از تخمین قیاسی و اختلاف وزنی بین اندازه گیری واقعی و پیشگویی شده را محاسبه کند که به صورت (10) می باشد:

$$x(k|k) = x(k|k-1) + K(k)(y(k) - Hx(k|k-1)) \quad (10)$$

اختلاف $(y(k) - Hx(k|k-1))$ را نوآوری[1] (ابداع) اندازه گیری می نامند. نوآوری، اختلاف بین مقدار پیشگویی شده و اندازه گیری واقعی را نشان می دهد. $k(k)$ را بهره کالمن می گویند که کواریانس خطای استقرایی را به حداقل می رساند.

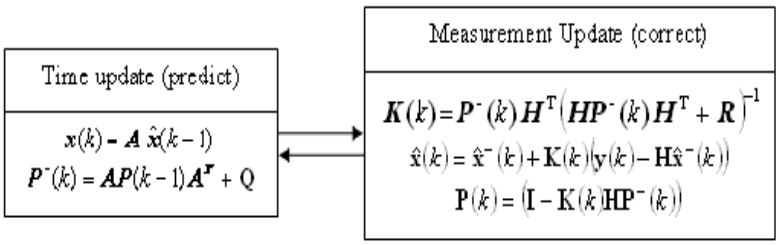
$$K(k) = P^{-}(k)H^{T}(HP^{-}(k)H^{T} + R)^{-1} \quad (11)$$

در معادله (11) مشاهده می شود که کواریانس نویز اندازه گیری R به صفر میل می کند و بهره کالمن، وزن نوآوری را سنگین تر می کند(12). از سویی دیگر کواریانس خطای تخمین قیاسی، بهره کالمن را به سمت صفر می برد و وزن نوآوری سبک تر می شود(13).

$$\lim_{R \to 0} K(k) = H^{-1} \quad (12)$$

$$\lim_{P^{-}(k) \to 0} K(k) = 0 \quad (13)$$

معادلات فیلتر کالمن به دو گروه معادلات به روز رسانی زمان (پیشگویی) و معادلات به روز رسانی اندازه گیری (تصحیح) تقسیم می شود که درشکل (1) نشان داده شده است:



شکل (1): معادلات فیلتر کالمن

3. ضرایب پیشگویی خطی (LPC)

[1] Innovation

از آنجایی که در الگوریتم پیشنهادی از آنالیز LPC برای تخمین نویز استفاده شده است، لذا در این بخش به اختصار به توضیح این آنالیز می پردازیم. ضرایب پیشگویی خطی یکی از قدرتمند ترین ابزار ها در پردازش گفتار می باشد[5]. ایده کلی این آنالیز این است که هر نمونه از سیگنال صوتی را می توان به صورت معادله ای خطی بر حسب خروجی ها و ورودی های قبلی نوشت:

$$s(n) = \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \, s(n-k) + \sum_{l=0}^{q} b_l \, u(n-l) \qquad (14)$$

α_k و b_l به ترتیب ضرایب مخرج و صورت فیلتر می باشند و $u(n)$ سیگنال ورودی است که برای حروف صدا دار یک قطار ضربه و برای حروف بی صدا یک رشته نویز تصادفی می باشد. تابع تبدیل سیستم با به کار بردن تبدیل Z روی معادله (14) بدست می آید.

$$H(z) = \frac{S(z)}{U(z)} = \frac{\sum_{l=0}^{q} b_l . z^{-l}}{1 - \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \, . z^{-k}} \qquad (15)$$

در عمل برای سیگنال های صوتی، یک مدل تمام قطب تقریب بسیار خوبی برای تابع تبدیل $H(Z)$ است [6] و می توان آن را به صورت زیر نشان داشت:

$$H(z) = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \, . z^{-k}} = \frac{1}{A(z)} \qquad (16)$$

برای سیگنال گفتار انسان، p یک عدد صحیح در محدود $10 \le p \le 14$ انتخاب می شود.

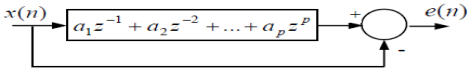
نکته اساسی در محاسبه ضرایب پیشگویی خطی این است که این ضرایب بایستی مستقیماً از سیگنال گفتار بدست آیند. به همین منظور و به علت ماهیت تغییر پذیری سیگنال گفتار (با زمان)، ابتدا عمل پنجره گذاری بر روی سیگنال انجام می شود و سپس ضرایب lpc در فریم های کوتاه محاسبه می شود[5].

1.3 تخمین نویز

با توجه به توضیحات ارائه شده، با تقریب خوبی می توان هر نمونه از سیگنال صوتی را تنها با p نمونه قبلی از همان سیگنال صوتی (بدون استفاده از p نمونه ما قبل ورودی) محاسبه نمود[6] :

$$\hat{s}(n) = \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \, s(n-k) \qquad (17)$$

با توجه به شکل (2) سیگنال خطا در حقیقت، اختلاف بین سیگنال صوتی اصلی و سیگنال صوتی تخمین زده شده از روی p نمونه ی ما قبل می باشد:



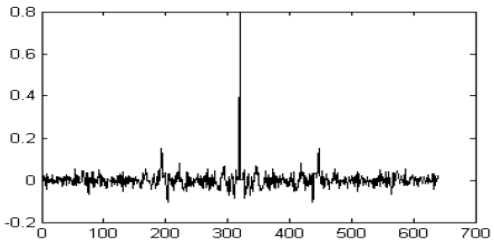
شکل(2): بلوک دیاگرام نحوه محاسبه تابع خطا

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) = s(n) - \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \, s(n-k) \qquad (18)$$

که اگر از طرفین معادله فوق تبدیل Z گرفته شود داریم :

$$E(z) = S(z)\left[1 - \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \, z^{-k}\right] = \qquad (19)$$
$$A(z)\, S(z)$$

تابع $E(z)$ ، تبدیل Z سیگنال خطا می باشد که دارای ماهیت نویزی است. می توان گفت که فیلتر خطی، قسمت غیر وابسته سیگنال را جدا می کند که قسمت اعظم آن نویز می باشد. برای اثبات این ادعا کافی است تابع خود همبستگی سیگنال $e(n)$ را محاسبه نماییم. در شکل (3) تابع خود همبستگی سیگنال خطا که متعلق به یک سیگنال صوتی از پایگاه داده TIMIT می باشد، رسم گردیده است. همان طور که مشاهده می شود، سیگنال $e(n)$ دارای ماهیت نویزی می باشد چرا که سیگنال خود همبستگی آن همانند تابع خود همبستگی سیگنال تصادفی نویز است.
ما در الگوریتم پیشنهادی خود، از این سیگنال برای تخمین نویز استفاده کرده ایم که سبب بهبود PESQ سیگنال های صوتی آغشته به نویز گردیده است.



شکل(3): تابع خود همبستگی سیگنال خطا

اگر چه سیگنال $e(n)$ همان سیگنال نویز اضافه شده به سیگنال صوتی تمیز نمی باشد اما اکثر مشخصات آن را در بر دارد. از طرفی در خروجی فیلتر $A(z)$، مقداری از سیگنال نا همبسته مربوط به سیگنال گفتار نیز وجود دارد که در مقابسه با نویز قابل چشم پوشی است.

4. بهبود الگوریتم فیلتر کالمن با استفاده از روش پیشنهادی تخمین نویز (آنالیز LPC)

در روش فیلتر کالمن، ما نیازمند تخمین نویز می باشیم تا بتوانیم پارامتر های نویز را بدست آورده و از آن در الگوریتم کالمن بهره جوییم. معمولا برای تخمین سیگنال نویز، از قسمت سکوت سیگنال گفتار آغشته به نویز استفاده می گردد. برای این امر، عموماً از فریم اول سیگنال آغشته به نویز، به عنوان قسمت سکوت سیگنال گفتار استفاده می شود که این روش تخمین نویز نیازمند دو فرض اساسی می باشد:

1- فریم اول سیگنال گفتار واقعا قسمت سکوت سیگنال باشد.

2- نویز در سراسر سیگنال به یک اندازه تاثیر گذاشته باشد.

در عمل لزوماً دو شرط فوق بر قرار نمی باشد. در مورد فرض اول ضعف شدید روش های موجود هنگامی آشکار می گردد که فریم اول، یک فریم سکوت نباشد. و همچنین در مورد فرض دوم که با توجه به منابع متعدد نویز و نیز تصادفی بودن آن، عموماً میزان نویز در تمام طول سیگنال به یک اندازه نمی باشد. به همین منظور ما در روش پیشنهادی خود، از هر فریم و با توجه به مشخصات آن فریم برای تخمین نویز در آن استفاده نموده ایم. بدین طریق مساله تغییر میزان نویز در طول سیگنال حل می شود.

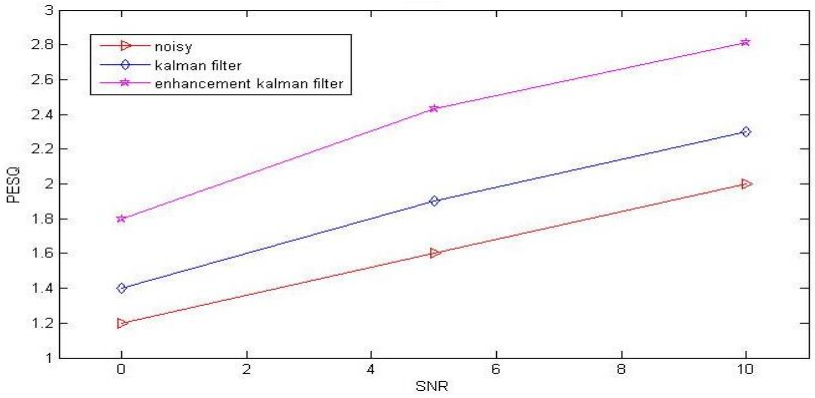
بدین منظور ابتدا سیگنال صوتی به فریم های کوچکتر (10ms-20ms) تقسیم بندی شده است و سپس ضرایب LP هر یک از فریم ها محاسبه می گردد. در مرحله بعد سیگنال صوتی از فیلتر $A(z)$ عبور داده می شود. در نهایت از خروجی فیلتر $A(z)$ که مبین اختلاف سیگنال اصلی و سیگنال تخمینی است (که دربخش 3 به آن پرداخته شده است) و بیشتر از سیگنال اصلی دارای ماهیت نویزی می باشد، به عنوان نویز تخمینی استفاده می گردد.

5. معیار ارزیابی PESQ

ارزیابی ادراکی کیفی گفتار(PESQ) در سال 2001 از طرف اتحادیه بین المللی ارتباطات راه دور ارائه شده است[۱۱]. در حقیقت PESQ معیاری برای نشان دادن کیفیت ادراکی و شنیداری سیگنال صوتی است[۱۲]. این معیار با مطالعه رفتار سیستم شنوایی و مغز انسان و شبیه سازی عکس العمل آن در برابر سیگنال گفتار تمیز و سیگنال آلوده به نویز، میزان شباهت این دو سیگنال را پیش بینی می کند. مقادیر PESQ در بازه 0.5- تا 4.5 تغییر می کند و هر چه این مقدار برای دو سیگنال بیشتر بوده، شباهت این دو سیگنال به یکدیگر نیز بیشتر است. مزیت استفاده از این معیار ارزیابی، در مقایسه با معیار های دیگر ، این است که این معیار به بررسی تاثیرات اعوجاج هایی همچون تاخیر[1] و اعوجاج ناشی از کدینگ نیز می پردازد و در کنار میزان نویز سیگنال، آنها را نیز در ارزیابی کیفیت سیگنال گفتار به کار می برد.

6. پیاده سازی و مقایسه روش ها

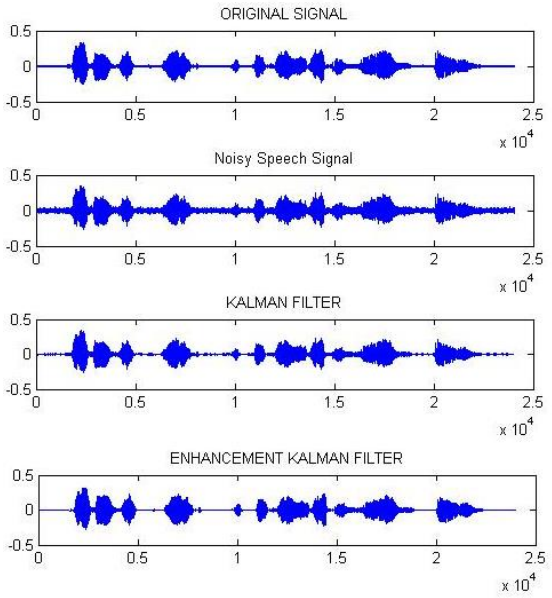
در این قسمت به مقایسه روش پیشنهادی با روش موجود می پردازیم. بدین منظور در نمودار (1) روش فیلتر کالمن را با روش فیلتر کالمن بهبود یافته و با معیار ارزیابی PESQ به ازای SNR های مختلف (نویز از نوع سفید گوسی)، مقایسه نموده ایم تا میزان توانایی روش تخمین نویز پیشنهادی در بهبود PESQ سیگنال های صوتی در تمامی محدوده های SNR مختلف(0تا 10 دسی بل)، مشخص گردد. این مقایسه در نمودار (1) نمایش داده شده است.



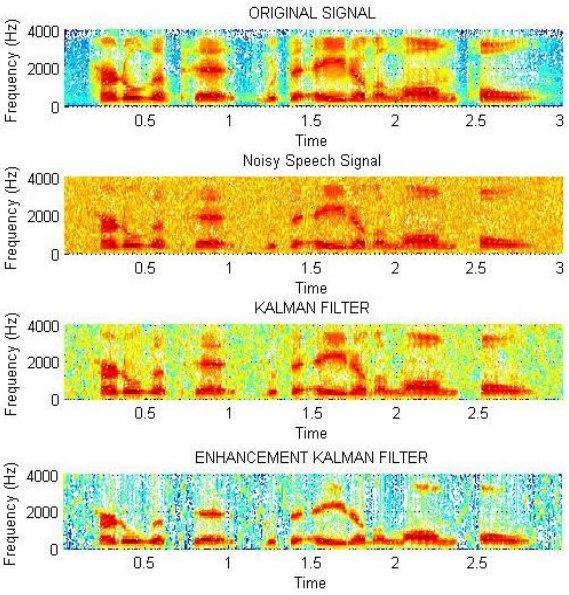
نمودار (1) مقایسه بین حالت سیگنال گفتار نویزی، روش موجود و روش پیشنهادی با معیار PESQ

جهت بررسی بیشتر روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش موجود، به عنوان نمونه، شکل موج و نمودار اسپکتروگرام سیگنال صوتی تمیز و سیگنال آغشته به نویز با SNR=10dB وسیگنال های خروجی در روش فیلتر کالمن و فیلتر کالمن بهبود یافته رسم گردیده است. همان طور که از شکل های (4) و (5) مشخص است سیگنال صوتی خروجی در روش پیشنهادی، به میزان قابل توجهی نسبت به روش موجود، بهبود یافته است.

[1] Delay



شکل (4): شکل موج سیگنال های خروجی در روش موجود و پیشنهادی



شکل (5): اسپکتروگرام سیگنال های خروجی در روش موجود و پیشنهادی

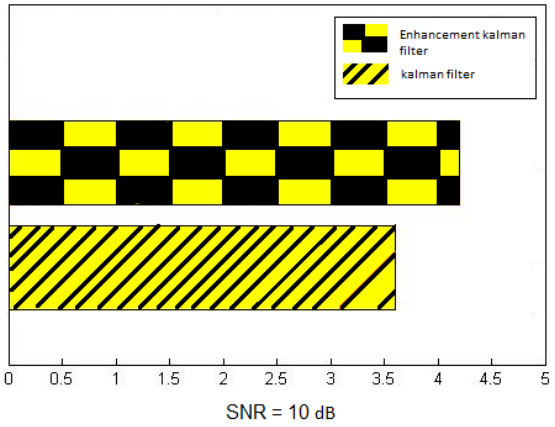
7. آزمایش شنوایی (MOS)

در بحث های قبلی مقایسه روش های موجود و پیشنهادی با معیار ارزیابیPESQ انجام پذیرفته است. اینک می خواهیم مقایسه کیفی بین روش موجود و روش پیشنهادی انجام دهیم. بدین منظور از تست شنوایی **[13]** برای مقایسه روش ها استفاده نموده ایم.

ابتدا ده سیگنال صوتی از پایگاه داده timit با SNR اولیه 10dB با فرض اینکه نویز از نوع سفید گوسی می باشد را به الگوریتم های موجود و پیشنهادی اعمال نموده ایم، سپس از شش نفر (سه نفر زن و سه نفر مرد از طیف سنی جوان تا پیر) برای نمره دهی به سیگنال های غنی شده بر اساس جدول (1) استفاده نموده ایم**[7]** . میانگین نمرات این شش نفر به این ده سیگنال صوتی (60 بار آزمایش به ازای SNR اولیه) در شکل (6) آورده شده است.

جدول 1- معیار آزمایش شنوایی**[7]**

کیفیت شنیده شدن نویز	نمره
نویز غیر قابل درک است	5
نویز قابل درک است اما اذیت کننده نیست	4
نویز قابل درک است وکمی اذیت کننده است	3
نویز اذیت کننده است اما نمی توان کلا مخالفت کرد	2
نویز بسیار اذیت کننده است	1



شکل(6): مقایسه روش پیشنهادی و روش موجود با استفاده از تست (MOS)

8. نتیجه گیری

در این مقاله روش فیلتر کالمن برای بهبود سیگنال گفتار آغشته به نویز بیان و تشریح شده است. با مطالعه این روش بهسازی گفتار، نقطه ضعف آن را در عدم تخمین صحیح نویز تشخیص داده ایم. به منظور رفع این مشکل، ایده استفاده از آنالیز LPC برای تخمین نویز شکل گرفته شد. از بررسی این به این نکته رسیدیم که در روش فیلتر کالمن به تخمینی از نویز و پارامتر های آن نیازمند می باشیم. بدین منظور به دنبال روشی رفتیم تا بتواند تخمین بهتر و درست تری از نویز را در اختیار قرار دهد.

در آنالیز LPC به دنبال فیلتر و مدلی از حنجره هستیم تا بتواند کلیه مشخصه های حنجره را در خود داشته باشد و در صورت اعمال نویز در ورودی، در خروجی آن سیگنال گفتار را داشته باشیم. پس در صورت اعمال سیگنال گفتار به مدل (فیلتر) معکوس، بایستی سیگنال نویز را در خروجی آن داشته باشیم. قسمت ناهمبسته سیگنال گفتار نویزی در خروجی فیلتر ظاهر می شود که به علت خطی بودن فیلتر، قسمت اعظم آن نویز می باشد. از این نویز در غنی سازی سیگنال گفتار استفاده نموده و از آن در اصلاح روش فیلتر کالمن کمک گرفته ایم. با مقایسه روش پیشنهادی و روش موجود ، مشاهده می شود که روش پیشنهادی نه تنها PESQ سیگنال بهبود یافته را افزایش داده است بلکه در آزمایش شنوایی نیز بهتر از روش موجود پاسخ داده است.

9. مراجع

[1] K.K.Paliwal and A.Basu,"A Speech Enhancement Method Based on Kalman Filtering", in Prec.ICASSP,87, PP.177-180,1981.
[2] E.Grivel ,M.Gabrea and M.Najim ,"speech enhancement az a realization issue" ,Signal Processing,Vol82,pp.1963-1978,Dec 2002.
[3] Nari Tanabe, Toshiniro Furukawa , Hideaki Matsue and Shigeo Tsujii., "Kalman Filter for Robust Noise Suppression in White and Colored Noise", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2008.1172-1175.
[4] Marcel Gabrea ,"A SINGLE MICROPHONE NOISE CANCELLER BASED ON AN ADAPTIVE KALMAN FILTER " , 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE),2012.
[5] S. Kamath and P. Loizou, "A Multi-band spectral subtraction method for Enhancing speech corrupted by colored noise", Proceedings of ICASSP-2002, Orlando, FL, May 2002.
[6]P. S. Whitehead, D. V. Andeson and M. A.Clements, "Adaptive acoustic noise suppression for speech enhancement", IEEE International Conference on Multimedia & Expo., Jul. 2003.
[7]Y. Ghanbari and M. R. Karami-Mollaee, "A new approach for speech enhancement based on adaptive thresholding of wavelet packets", Speech communication 48 (2006) 927-940.

[8]J. Tierney“ ,A study of LPC analysis of speech in additive noise ,”IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal processing, ASSP-28, 4, pp379-389 ,Aug.1980.
[9]L. R. Rabiner and R. W. Schafer ,” Digital processing of speech signals” , Prentice Hall, 1978 .
[10]J. R. Deller, J. H. L. Hansen and J. G. proakis ,”Discrete-time processing of speech signals “, 2nd edition, IEEE press, 2000.
[11] “ Perceptiial evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs” ,Recommendation P.862, International Telecommunications Union (ITU-T), Feb. 2001.
[12] N. Kitawaki, and T. Yamada, “Subjective and Objective Quality Assessment for Noise Reduced Speech” , ETSI Workshop on Speech and Noise in Wideband Communication, 2007.
[13]Y. Ghanbari and M. R. Karami,“Spectral Subtraction in the Wavelet Domain for Speech Enhancement”, International Journal of Imaging Systems and Technology, vol. 1, no. 1, Aug. 2004.