

ارائه روشی ترکیبی جهت انتخاب ویژگی های استخراج شده از سیگنال الکترومایوگرافی در حضور نویز

علی سرجوئی^۱، همایون مهدوی نسب^۲ و عباس چترائی^۳

^۱دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، Ali_serjoei@Sel.iaun.ac.ir
^۲دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، Mahdavinassab@Iaun.ac.ir
^۳دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، Abbas.chatraei@gmail.com

چکیده - برای استفاده های کاربردی از سیگنال الکترومایوگرافی (EMG)، مهمترین گام استخراج ویژگی های موثر آن می باشد. علاوه بر این وجود انواع نویز نیز یکی از مشکلات اساسی در شناسایی سیگنال EMG می باشد. در این بین وجود نویز سفید گوسی WGN مهمترین نویز موجود می باشد، زیرا حذف این نویز بطور کامل با استفاده از روش های معمول امکان پذیر نیست و حذف این نویز، یک گام مهم در استخراج ویژگی های سیگنال EMG می باشد. در این مقاله با استفاده از دو روش PE و RES بصورت ترکیبی که به نوع طبقه بندی نیز بستگی ندارند، به ارزیابی ویژگی های این سیگنال پرداخته ایم. یکی استفاده از یک روش آماری، یعنی شاخص RES که همان نسبت فاصله اقلیدسی به انحراف استاندارد می باشد، که در واقع میزان پراکندگی ویژگی ها را مشخص می کند. دیگری استفاده از معیار درصد خطا PE برای ارزیابی میزان مقاومت ویژگی ها در برابر نویز WGN می باشد. با استفاده از معیار RES از بین ویژگی های انتخابی با بهترین پنجره زمانی بدست آمده یعنی ۲۵۶ میلی ثانیه ویژگی های MAV2، CC و AR بهترین نتایج را دارند و با استفاده از معیار PE از بین ویژگی های حوزه فرکانس سه ویژگی TTP، MNF و MDF در حوزه زمان ویژگی های HIST، AR6 و SSI بیشترین مقاومت را در برابر نویز WGN دارند. کلید واژه - الکترومایوگرافی، انتخاب ویژگی، حوزه زمان و فرکانس، شاخص RES و PE.

استفاده از تجهیزات و الکترودهای مناسب حذف نمود. اما وجود تداخل های تصادفی نویز در سیگنال EMG که موجب پایین آمدن انرژی دامنه فرکانسی می شود و با استفاده از این روشها قابل حذف نمی باشد [۳-۴]. به این منظور از نویز سفید گوسی WGN^۲ برای نشان دادن نویز تصادفی در تجزیه و تحلیل سیگنال EMG استفاده می شود. استفاده از فیلترهای تطبیقی و تبدیل ویولت از بهترین روشهای پیش فیلتر برای حذف این نویز می باشد. با این حال نمی توان WGN را بطور کامل از سیگنال EMG حذف نمود. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می کنید، با توجه به رسم فرکانسی سیگنال EMG با استفاده از تبدیل فوریه با فرکانس نمونه برداری یک کیلوهرتز، مشخصه اصلی این نویز پهنای باند پهن و فرکانس تصادفی آن می باشد، که به این دلیل حذف آن دشوار می باشد. علاوه بر این، دامنه نویز در بعضی از

۱- مقدمه

الکترومایوگرافی^۱ (EMG) تکنیکی برای ارزیابی و ضبط خصوصیات فیزیولوژیک عضلات در هنگام استراحت و یا در حال انقباض، از طریق تحلیل سیگنال الکتریکی است. این سیگنال از آن جمله از سیگنال های حیاتی است که بطور گسترده در کاربردهای مهندسی و کلینیکی مورد مطالعه قرار گرفته است [۱-۲]. در اکثر این کاربردها مشکل عمده در تشخیص الگوی سیگنال EMG می باشد، که این مشکل در شرایط نویزی، اختلالات در ثبت سیگنال EMG، نویز ناشی از الکترودهای ثبت کننده، تداخل ناشی از برق شهر و یا سایر منابع نویز بیشتر نمایان می گردد. سه نوع اول نویز را می توان با استفاده از روشهای معمول فیلترگذاری مانند فیلتر میان گذر و میان نگذر

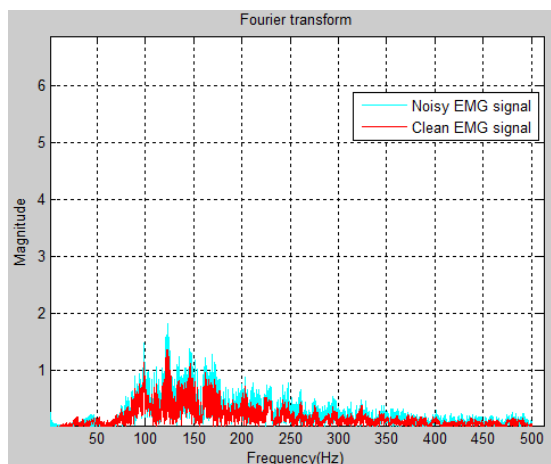
² White Gaussian Noise

¹Electromyography

از سیگنال EMG انجام شده است ولی بطور جامع و کامل بر روی اکثر ویژگی‌ها انجام نگرفته است. در سال ۱۹۹۵ زردتشی و همکاران [۴] از ۷ ویژگی در حوزه زمان و حوزه فرکانس استفاده کردند، آنها از WGN با ۰ تا ۵۰٪ RMS، دامنه سیگنال برای بررسی آزمون نویز استفاده کردند. علاوه بر این نتیجه‌ای ارائه شد [۵]، که در آن با استفاده از هیستوگرام گرفته شده از سیگنال EMG نتیجه بهتری در حضور نویز بالابدست می‌آید. پس از آن در سال ۲۰۰۳ تعداد ۱۳ ویژگی با ترکیب و دستورات مختلف از لحاظ مقاومت در برابر نویز توسط بوستانی و همکاران [۶] مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مورد نویزها به صورت تداخل ۵۰ هرتز و نویز تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و میزان حساسیت این ویژگی‌ها گزارش شد. علاوه بر این در تحقیقی که توسط Phinyomark و همکاران [۷-۸] در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ انجام گرفت تعداد ۸ ویژگی با تاثیر نویزهای تداخل ۵۰ هرتز و WGN مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج حاصل از معیار میانگین مربعات خطا (MSE) نشان می‌دهد که ویژگی دامنه ویلسون با مقدار ۵ میلی ولت سطح آستانه در مقایسه با سایر ویژگی‌ها دارای بهترین نتیجه می‌باشد. در ادامه Phinyomark و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۱ با استفاده از بررسی تابع ویولت سیگنال EMG و ویژگی‌های استخراج شده از تابع ویولت سیگنال به بررسی ویژگی MAV و RMS در ۴ سطح تجزیه با استفاده از شاخص آماری و نمودار پراکندگی اند و در ادامه نیز در مقاله‌ای دیگر به ارزیابی و مقایسه ۱۶ ویژگی استخراج شده از سیگنال EMG با استفاده از معیار شاخص آماری پرداخته و ویژگی‌های استخراج شده را در بازه‌های زمانی مختلف بررسی نموده است که در نهایت ویژگی‌های WL, RMS, MAV, IEMG, MAVI پیشنهاد شد.

تاکنون هیچ انتخاب و اصلاحی بر روی ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال EMG با استفاده از یک روش ترکیبی و همزمان بر روی ویژگی‌های سیگنال EMG انجام نگرفته است و هر کدام از محققین بر اساس دریافتهای تجربی خود به انتخاب ویژگی‌های استخراج شده از این سیگنال پرداخته اند، برای این منظور برای کمک به انتخاب هرچه بهتر ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال EMG روش‌های ساده‌ای ارائه شده است که در این تحقیق به بررسی آن در دو مورد به صورت همزمان می‌پردازیم. در این تحقیق ۲۵ ویژگی در حوزه زمان و حوزه فرکانس که از مهمترین ویژگی‌های مورد استفاده در مطالعات و

مواقع بزرگتر از دامنه سیگنال EMG نیز می‌باشد. همچنین باید توجه نمود که در ارزیابی کارایی ویژگی‌های سیگنال EMG، دیدگاه تفکیک کلاسی، بر اساس یک معیار مرکزی بسیار مهم می‌باشد. کیفیت خوب در تفکیک کلاس، بدان معنی است که درصد امکان عدم طبقه بندی بسیار پائین باشد. به عبارت دیگر، باید به حداکثر تفکیک بین کلاس‌های بدست آمده و به حداقل تنوع در عناصر مورد آزمایش رسید. به طور کلی انتخاب ویژگی‌های سیگنال EMG را می‌توان بر اساس هر دو روش طبقه بندی یا شاخص سنجش آماری نیز مورد مطالعه قرار داد. با این حال ارزیابی طبقه بندی دارای این نقطه ضعف است که نتایج ارزیابی وابسته به نوع طبقه بندی می‌باشد. در حالی که بررسی EMG بر اساس ویژگی‌ها با استفاده از شاخص آماری و محاسبه درصد خطای ویژگی در حضور نویز به نوع طبقه بندی بستگی ندارد، از این رو در این مطالعه در انتخاب ویژگی‌های سیگنال EMG معیار ارزیابی شاخص‌های آماری و محاسبه درصد خطا به صورت همزمان پیشنهاد می‌گردد. بنابراین سعی شده است که با استفاده از مطالعات انجام شده در سال‌های قبل تعداد ویژگی‌ها را در حوزه زمان و فرکانس را افزایش داده و نیز از دو روش معیارهای ارزیابی آماری و محاسبه درصد خطا از ویژگی‌ها در حضور نویز و در بازه‌های زمانی مختلف، به صورت همزمان و ترکیبی مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت بهترین ویژگی‌ها انتخاب و پیشنهاد می‌شوند [۳-۴].



شکل ۱: نمایش حوزه فرکانسی سیگنال اصلی و سیگنال آغشته به نویز در SNR=5

۲- پیشینه تحقیق

برخی از ارزیابی‌ها در مورد اثر نویز بر ویژگی‌های استخراج شده

Mean Absolute Value Slop(MAVSLP)	$MAVSLP = MAV_{k+1} - MAV_k$ $k = 1, \dots, k-1$
Simple Square Integral(SSI)	$SSI = \sum_{i=1}^N x_i^2$
Variance of EMG(VAR)	$VAR = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_i^2$
Root Mean Square(RMS)	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$
Waveform length(WL)	$WL = \sum_{i=1}^N x_{i+1} - x_i $
Zero crossing(ZC)	$ZC = \sum_{i=1}^{N-1} \{ \text{sgn}(x_i \times x_{i+1}) \cap x_i - x_{i+1} \geq \text{Threshold} \}$ $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq \text{threshold} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Slope Sign Change (SSC)	$SSC = \sum_{i=2}^{N-1} [f[(x_i - x_{i-1}) \times (x_i - x_{i+1})]]$ $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq \text{threshold} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Willisonamplitude (WAMP)	$WAMP = \sum_{i=1}^{N-1} \{ \text{sgn}(x_n - x_{n+1}) \}$ $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq \text{threshold} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Auto-regressive coefficients	$x_i = \sum_{p=1}^p a_p x_{i-p} + w_i$
Absolute value of the 3rd, 4th, and 5th temporal moment(TM3,4,5)	$TM5 = \left \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^5 \right $ $TM4 = \left \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^4 \right $ $TM3 = \left \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^3 \right $
Log detector(LOG)	$LOG = e^{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log(x_i)}$
Average amplitude change(AAC)	$AAC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{i+1} - x_i $

کاربردهای بالینی سیگنال EMG می باشد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و میزان مقاومت و استحکام آنها در برابر WGN با نسبتهای سیگنال به نویز (SNR) متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته اند.

۳- ویژگی های استخراج شده از سیگنال EMG

تعداد ۲۵ ویژگی استخراج شده در حوزه زمان و حوزه فرکانس در این بخش در جداول ۱ و ۲ شرح داده شده است. در حوزه زمان تعداد ۱۹ ویژگی به عنوان تابعی از زمان در نظر گرفته شده است، این ویژگی ها بدلیل سادگی محاسبات از محبوب ترین ویژگی ها در کاربردهای سیگنال EMG می باشند که به شرح جدول ۱ می باشند. این ویژگی ها بطور معمول برای تشخیص شروع، انقباض عضلانی و تشخیص فعالیت عضلانی مورد استفاده قرار می گیرد. علاوه براین، ویژگی هایی در حوزه فرکانس استفاده می شود که بیشتر برای شناسایی خستگی های عضلانی و ناهنجاری های عصبی مورد استفاده قرار می گیرد، که به شرح جدول ۲ می باشد [۳-۱۰].

جدول ۱: معرفی ویژگی های حوزه زمان سیگنال EMG [۳-۱۰]

Feature Extraction	Definition
Integrated EMG(IEMG)	$IEMG = \sum_{i=1}^N x_i $
Mean absolute value(MAV)	$MAV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i $
Modified Mean Absolute Value 1(MAV1)	$MAV1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i x_i $ $w_i = \begin{cases} 1 & \text{if } 0.25N \leq i \leq 0.75N \\ 0.5 & \text{otherwise} \end{cases}$
Modified Mean Absolute Value 2(MAV2)	$MAV2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i x_i $ $w_i = \begin{cases} 1 & \text{if } 0.25N \leq i \leq 0.75N \\ 4i/N & \text{elseif } i < 0.25N \\ 4(i-N)/N & \text{otherwise} \end{cases}$

۴- معیار انتخاب ویژگی با استفاده از روش محاسبه PE در حضور نویز WGN

درصد خطا^۳ (PE) برای ارزیابی کیفیت ویژگی های استخراج شده از سیگنال EMG در حضور نویز سفید گوسی (WGN) مورد استفاده قرار می گیرد. در این مورد Phinyomark و همکاران در [۷-۹] به بررسی این معیار بر روی ۱۶ ویژگی پرداخته و آنها را در حضور نویز WGN با نسبت های SNR مختلف مورد ارزیابی قرار داده اند، که در آن ویژگی میانگین فرکانسی MNF در حوزه فرکانس و دامنه ویلسون WAMP و هیستوگرام سیگنال HIST در حوزه زمان بهترین مقاومت را در شرایط نویزی از خود نشان داده اند و طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$PE = \left| \frac{feature_{clean} - feature_{noise}}{feature_{clean}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

که در آن $feature_{clean}$ بیانگر بردار ویژگی سیگنال اصلی EMG و $feature_{noise}$ نشان دهنده بردار ویژگی سیگنال نویزی EMG می باشد. مقدار WGN در سطوح مختلف به سیگنال EMG اصلی اضافه شده است و مقدار PE بطور متوسط برای آن محاسبه می شود. در این آزمایش نویز به مقدار ۰ تا ۲۰ دسی بل برای SNRهای مختلف مورد محاسبه قرار گرفته است. مقدار SNR با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود:

$$SNR = 10 \log \frac{P_{clean}}{P_{noise}} \quad (2)$$

که در آن P_{clean} توان سیگنال EMG اصلی و P_{noise} توان WGN می باشد. بنابراین ویژگی در بررسی سیگنال دارای ارزش بهتری می باشد که مقدار PE کمتری داشته و برای کاربردهای مختلف قابل اعتماد می باشد.

۵- انتخاب ویژگی با استفاده از شاخص آماری

در مقالات بسیاری از شاخص های آماری برای ارزیابی ویژگی های سیگنال EMG استفاده کرده اند، مانند شاخص Davies-Bouldin، شاخص پراکندگی، شاخص جداکننده خطی فیشر، فاصله Bhattacharyya، شاخص ارزیابی فازی-آنتروپی. در این

Difference absolute standard deviation value(DASDV)	$DASDV = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{i+1} - x_i)^2}$
Myopulse percentage rate(MYOP)	$MYOP = \sum_{i=1}^N [f(x_i)]$ $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq \text{threshold} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Coefficients of the Cepstral analysis (CP)	$c_p = -a_p - \sum_{l=1}^{p-1} (1 - \frac{l}{p}) a_l c_{p-l} \quad ; \quad c_1 = -a_1$

جدول ۲: معرفی ویژگی های حوزه فرکانس سیگنال EMG [۳-۱۰]

Feature Extraction	Definition
Median Frequency(MDF)	$MNF = \frac{\sum_{j=1}^M f_j P_j}{\sum_{j=1}^M P_j}$
Mean Frequency (MNF)	$\sum_{j=1}^{MDF} P_j = \sum_{j=MDF}^M P_j = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M P_j$
Peak frequency(PKF)	$\max(P_j) \quad ; \quad j = 1, \dots, M$
Mean power(MNP)	$MNP = \frac{\sum_{j=1}^M P_j}{M}$
Total power(TTP)	$TTP = \sum_{j=1}^M P_j = SM_0$
The 1st, 2nd, and 3rd Spectral moments (SM)	$SM_2 = \sum_{j=1}^M f_j^2 P_j \quad SM_3 = \sum_{j=1}^M f_j^3 P_j$ $SM_1 = \sum_{j=1}^M f_j P_j$

³Percentage Error

این شاخص با استفاده از فاصله اقلیدسی به عنوان یک تابع از فاصله و با استفاده از انحراف معیار به عنوان یک اندازه گیری میزان پراکندگی استفاده می شود و در نهایت بهترین جواب زمانی است که شاخص RES بالاترین مقدار راداشته باشد.

۶- شبیه سازی

شبیه سازی با استفاده از نرم افزار Matlab و بر روی سیگنال EMG ثبت شده با استفاده از الکتروود سطحی AG-AgCl بر روی عضله فلکسور کارپی^۴ ساعد دست راست از داوطلب گرفته و ثبت شده است. یک فیلتر میانگذر با فرکانس قطع ۴۰ تا ۴۵۰ هرتز و یک آمپلی فایر با بهره ۶۰ دسی بل مورد استفاده قرار گرفته است. فرکانس نمونه برداری ۱ کیلوهرتز و تبدیل آنالوگ به دیجیتال با استفاده از یک مبدل ۱۶ بیتی انجام گرفته شده است. داوطلبین در این از فرد مورد نظر ۱۰ مورد ثبت سیگنال شده است و محدوده سیگنال های ثبت شده ۶۰۰۰ ثانیه می باشد [۱۵].

در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش محاسبه در صد خطای ویژگی سطح آستانه مناسب را برای چهار ویژگی MYOP, ZC, WAMP و SSC در نسبت های مختلف سیگنال به نویز را براساس جدول ۳ محاسبه و بدست آمد.

جدول ۳: سطح آستانه های مناسب برای ویژگی های حوزه زمان

ویژگی	سطح آستانه مناسب (mv)
ZC	۳۰
MYOP	۳۰
WAMP	۲۰
SSC	۱۰

سپس برای انتخاب مناسبترین مرتبه تجزیه ضریب اتورگرسیون AR و انتخاب بهترین تعداد قسمت بندی برای بررسی ویژگی هیستوگرام HIST نیز از همین روش استفاده شد، که طبق محاسبات انجام گرفته برای ویژگی AR بهترین مرتبه ۶ و برای ویژگی HIST بهترین ضریب، ضریب میانی یعنی ۲ در انتخاب تعداد ۳ قسمت بندی در هیستوگرام می باشد. حال می توان به

تحقیق یک شاخص آماری یعنی نسبت فاصله اقلیدسی به انحراف معیار (RES index) مورد استفاده قرار گرفته است که مهمترین مزیت این شاخص ساده بودن آن در اجرا و محاسبه می باشد [۱۰-۱۲].

در این روش برای استفاده از پایگاه داده ثبت شده بهتر است که سیگنال های EMG را با سه اندازه پنجره زمانی ۶۴، ۱۲۸ و ۲۵۶ نمونه در هر پنجره مورد ارزیابی قرار گیرند. این تقسیم بندی گسسته برای استخراج سیگنال EMG ثبت شده ما که به صورت طولانی می باشد بسیار مفید است. باید توجه نمود در انقباض عضله در یک دوره طولانی دامنه سیگنال EMG به مرور زمان کاهش می یابد و این تاثیر مستقیمی در مقدار ویژگی های استخراج شده دارد [۱۳-۱۴].

روش کار به این صورت است که ابتدا فرم ماتریسی ویژگی های سیگنال EMG به فرم ذیل بدست می آید:

$$F_{1 \times J} = [f_{1,1} \dots f_{1,J}] \quad (3)$$

که در آن f ویژگی سیگنال EMG و Z شماره پنجره با شرط $(1 \leq z \leq J, J = \text{floor}(L/N))$ طول آن N طول اندازه پنجره انتخابی و L طول سیگنال می باشد. دقت شود که در این معیار باید مقادیر ویژگی در بین بازه ۰ تا ۱ نرمالیزه شود. که با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می شود:

$$f_{norm} = \frac{f - \min(f)}{\max(f) - \min(f)} \quad (4)$$

سپس مقادیر میانگین ویژگی سیگنال EMG برابر با \bar{F} و مقدار انحراف معیار ویژگی های سیگنال EMG برابر با \bar{S} به صورت رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J (f_j - \bar{f})^2}{J}} \quad (5)$$

و در نهایت تعریف ریاضی از شاخص RES به صورت زیر بیان می گردد:

$$RESindex = \frac{\bar{F}}{S} \quad (6)$$

که در آن \bar{F} فاصله بین مختصات از یک جفت خوشه در یک فضای n بعدی اقلیدسی، و S میزان پراکندگی خوشه ها می باشد.

⁴Flexor carpi

جدول ۴: محاسبه میانگین درصد خطا برای ویژگی های حوزه زمان

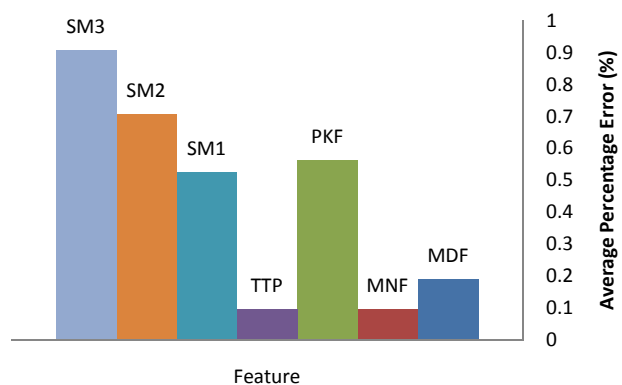
ویژگی	میانگین درصد خطا
IEMG	۱/۷۷۶
MAV	۴/۶۴۳
MAV1	۳/۵۱۵
MAV2	۳/۷۹۹
RMS	۰/۱۹۲
VAR	۰/۲۴۵
LOG	۱۷/۸۰۷
ZC;(30mv)	۲۴/۱۵۲
SSI	۰/۱۲۷
TM3	۱/۱۷۸
TM4	۰/۳۵۹
TM5	۱/۵۶
WL	۷/۹۵۳
MAVSLP	۳/۰۸۷
DAMV	۷/۵۵
WAMP;(20mv)	۱/۹۴۶
MYOP;(30mv)	۱/۰۶۱
SSC;(10mv)	۹/۸۷۹
DASDV	۰/۲۵۹
HIST	۰/۰۰۶
AR6	۰/۱۲

حال در مرحله دوم با انتخاب ۲۱ ویژگی مناسب به بررسی ویژگی های حوزه زمان با استفاده از شاخص آماری RES index می پردازیم، در این زمینه به علت طولانی بودن سیگنال برداشتی، این ویژگی ها در سه پنجره زمانی ۱۲۸، ۲۵۶ و ۵۱۲ میلی ثانیه با مقدار ۰/۸۷/۵ همپوشانی پنجره ها برای بالا بردن قابلیت اطمینان مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته اند. نتایج بدست آمده از ارزیابی شاخص آماری این سه پنجره زمانی مختلف را برای ۲۱ ویژگی، را در شکل ۶ مشاهده می کنید. با توجه به نمودار واضح است که برعکس آنچه که انتظار می رفت انتخاب پنجره زمانی ۱۲۸ میلی ثانیه نتیجه خوبی را در بر ندارد، و زمان محاسبه آن نیز طولانی تر می باشد. در این بین پنجره

راحتی به انتخاب ویژگی های حوزه زمان پرداخت، همانطور که در جدول ۴ مشاهده می کنید مقدار متوسط درصد خطا PE برای همه ویژگی های بیان شده در جدول ۱ محاسبه و مقایسه شده است.

با توجه به مقایسه ای که انجام می شود، مقادیر درصد خطا برای ویژگی های استخراج شده از سیگنال EMG مورد نظر برای ویژگی های WAMP, ZC, LOG, WL, DAMV, SSC, MV, MV1, MAVSLP, MV2 بسیار بالا بوده، یا به عبارت دیگر مقاومت کمتری از خود در برابر تغییرات مقدار نویز در سیگنال EMG نشان می دهند. لذا این ویژگی ها در حوزه زمان کارآیی خوبی ندارند. حال می توان سایر ویژگی ها در حوزه زمان را با استفاده از نموداری خطی در نسبت های سیگنال به نویز متفاوت به صورت کلی در شکل ۵ مشاهده کرد.

در ادامه به بررسی ویژگی های حوزه فرکانس پرداخته و همین روش را نیز برای ویژگی های انتخابی این حوزه که در جدول ۲ معرفی گردیدند، پیاده سازی می کنیم. نمودار ستونی از متوسط درصد خطا PE برای ویژگی های معرفی شده در حوزه فرکانس در شکل ۴ آورده شده است، مشاهده می شود که چهار ویژگی PKF, SM1, SM2, SM3 مقادیر درصد خطای بالایی دارند و یا به عبارت دیگر مقاومت کمتری در برابر نویز سفید گوسی داشته و با تغییر مقدار نویز در سیگنال EMG این ویژگی ها نیز تغییر زیادی می کنند. در نهایت نمودار خطی و مقایسه ای ۳ ویژگی انتخابی نهایی در حوزه فرکانس در نسبت های سیگنال به نویز از ۱ تا ۲۰ دسی بل در نمودار شکل ۴ نمایش داده شده است.

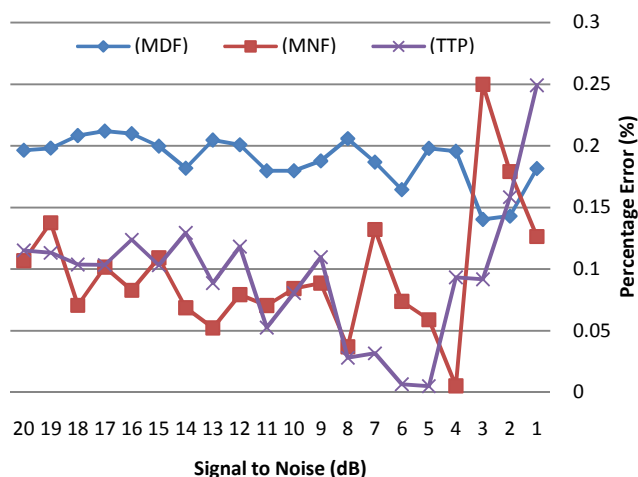


شکل ۳: نمودار متوسط PE سیگنال EMG ویژگی های فرکانسی

زمانی ۲۵۶ میلی ثانیه نتایج بهتری را در همه ویژگی های انتخابی از خود نشان می دهد و با توجه به نمودارهای بدست آمده ویژگی های MAV1, TM3, TM4, TM5, DASDV, MYOP, LOG کمترین مقادیر شاخص آماری را دارند، به همین منظور برای کاربرد ما حذف می گردند.

مراجع

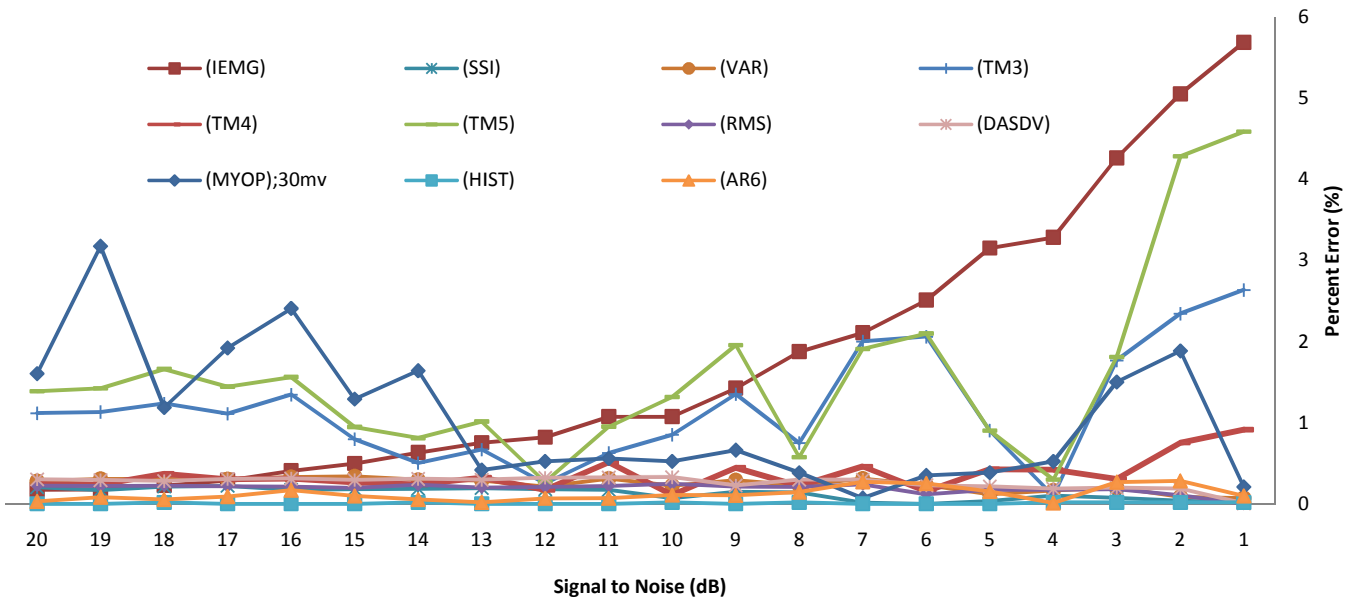
- [1] M. A. Oskoei and H. Hu, "Myoelectric Control Systems-A Survey," Biomedical Signal Processing and Control, vol. 2, no. 4, pp.2006.
- [2] P. Parker, K. Englehart, and B. Hudgins, "Myoelectric Signal Processing for Control of Powered Limb Prostheses," Journal of Electromyography and Kinesiology, vol. 16, no. 6, pp. 541-548, Dec.
- [3] E. A. Clancy, E. L. Morin, and R. Merletti, "Sampling, Noisereduction and Amplitude Estimation Issues in Surface Electromyography," Journal of Electromyography and Kinesiology, vol. 12, no. 1, pp. 1-16, Feb 2002, doi:10.1016/S1050-6411(01)00033-5.
- [4] M. B. I. Reaz, M. S. Hussain, and F. Mohd-Yasin, "Techniques of EMG Signal Analysis: Detection, Processing, Classification and Applications," Biological Procedures Online, vol. 8, no. 1, pp. 11-35, Mar 2006, doi:10.1251/bpo124.
- [5] M. Zardoshti-Kermani, B. C. Wheeler, K. Badie, and R. M. Hashemi, "EMG Feature Evaluation for Movement Control of Upper Extremity Prostheses," IEEE Trans. Rehabilitation Engineering, vol. 3, no. 4, pp. 324-333, Dec 1995, doi:10.1109/86.481972.
- [6] Boostani R, MoradiMH, "Evaluation of the forearm EMG signal features for the control of a prosthetic hand. PhysiolMeas," 24:309-319,2003.
- [7] A. Phinyomark, C. Limsakul, and P. Phukpattaranont, "A Comparative Study of Wavelet Denoising for Multifunction Myoelectric Control," Proc. Int. Conf. Computer and Automation Engineering (ICCAE '09), pp. 21-25, Mar. 2009, doi:10.1109/IC CAE.2009.57.
- [8] Phinyomark A, Limsakul C, Phukpattaranont P (2009) A novel feature extraction for robust EMG pattern recognition. J Comput 1:71-80
- [9] A. Phinyomark, C. Limsakul, P. Phukpattaranont, "Application of Wavelet Analysis in EMG Feature Extraction for Pattern Classification," MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, Volume 11, No. 2, 2011.
- [10] Z. Liu and S. Wada, "Robust Feature Extraction Technique for Texture Image Retrieval," Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing (ICIP '05), pp. 1-525-8, Sept. 2005, doi:10.1109/ICIP.2005.15298 03.
- [11] A. Phinyomark, C. Limsakul, and P. Phukpattaranont, "EMG Feature Extraction for Tolerance of 50 Hz Interference," Proc. PSU-UNS Int. Conf. Engineering Technologies (ICET '09), pp. 289- 293, Apr. 2009.
- [12] A. Phinyomark, C. Limsakul, and P. Phukpattaranont, "EMG Feature Extraction for Tolerance of white Gaussian noise," Proc. Int. Work. Symp. Science and Technology (I-SEEC '08), pp. 178-183, Dec. 2008.
- [13] R. Boostani and M. H. Moradi, "Evaluation of the ForearmEMG Signal Features for the Control of a Prosthetic Hand," Physiological Measurement, vol. 24, no. 2, pp. 309-319, May 2003, doi:10.1088/0967-3334/24/2/307.
- [14] A. Author 1 and B. Author 2, "Title of the conference paper," Proc. Int. Conf. on Power System Reliability. Singapore, pp. 100-105, 1999.
- [15] Russo, Frank A.; Livingstone, Steven R.; and Forde Thompson, William, "Facial Expressions and Emotional Singing: A Study of Perception and Production with Motion Capture and Electromyography," Psychology Publications and Research. VOLUME 26, ISSUE 5, PP. 475-488, 2009. <http://www.ucpressjournals.com>.



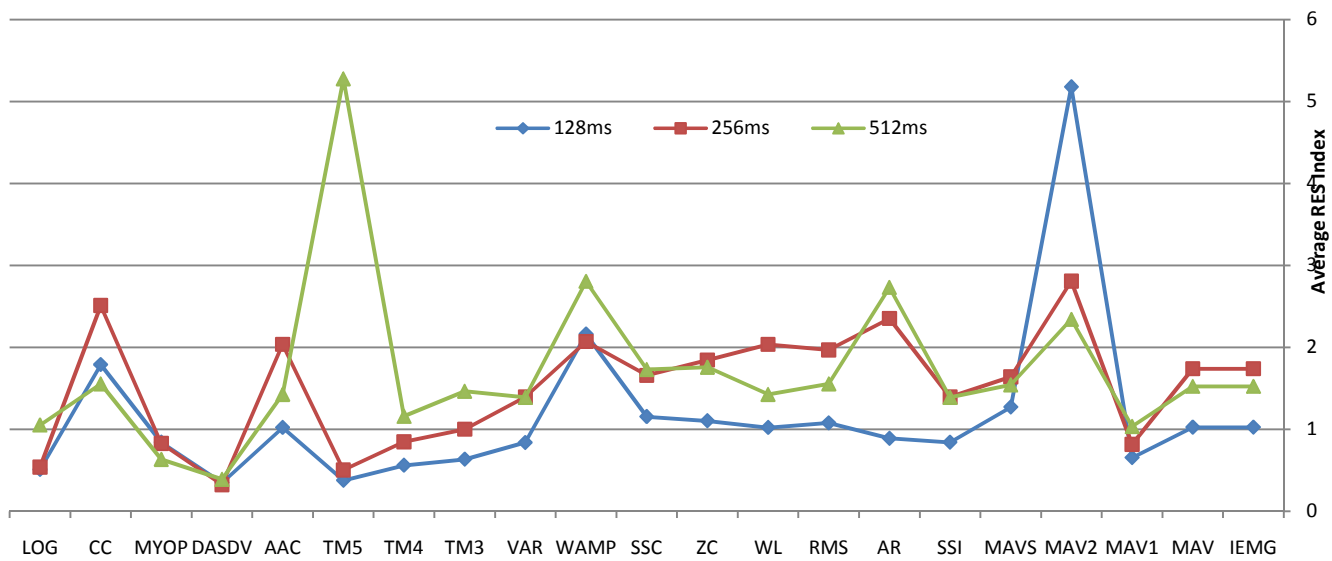
شکل ۴: نمودار درصد خطای (PE) ویژگی های انتخابی حوزه فرکانس در نسبت های مختلف سیگنال به نویز

۷- نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده برای انتخاب ویژگی های استخراج شده از سیگنال EMG با توجه به محاسبات انجام شده توسط معیار انتخاب درصد خطای PE ویژگی های RMS, VAR, SSI, MAV2, AR, CC, WL, WAMP, و ویژگی های AR6 و TM4, DASDV, HIST در حوزه زمان و ویژگی های MDF, MNF و TTP در حوزه فرکانس پیشنهاد می شوند و با استفاده از معیار شاخص آماری Res Index و ارزیابی میزان پراکندگی ویژگی ها در حوزه زمان براساس انتخاب پنجره زمانی مناسب ۲۵۶ میلی ثانیه برای قطعه بندی سیگنال به دلیل بازه زمانی طولانی آن، ویژگی های MAV2, AR, CC, WL, WAMP, و ویژگی های AAC و RMS در حوزه زمان پیشنهاد می شوند. در این بین ویژگی هایی حوزه زمان که توسط دو معیار انتخاب ویژگی از سیگنال EMG به صورت مشترک دارای نتایج بهتری می باشند، ویژگی های SSI, VAR, RMS, IEMG, AR در حوزه زمان و سه ویژگی MDF, TTP, MNF در حوزه فرکانس می باشند.



شکل ۵: نمودار درصد خطای (PE) ویژگی های انتخابی حوزه زمان در نسبت های مختلف سیگنال به نویز



شکل ۶: نمودار خطی میانگین شاخص آماری RES از ۲۱ ویژگی با پنجره های زمانی مختلف