

کنترل ربات بر مبنای پردازش سیگنال های مغزی

محمد نوربخش^۱، میکائیل شاپوری^{۲*}، محمد زارعی^۳^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.پست الکترونیکی: mnourbakhsh68@gmail.com^۲ مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر. پست الکترونیکی: mikail.shapoori@gmail.com^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.پست الکترونیکی: mamal_asimo@yahoo.com

چکیده

همگام با توسعه علوم شناختی بررسی و استفاده از سیگنال های مغزی نیز مورد توجه مراکز تحقیقاتی و دانشگاه ها قرار گرفته است و از پیشرفت چشمگیری نیز برخوردار بوده است. یکی از موارد مهم که مورد توجه کنترل ربات ها و وسایل متحرک با الکترو آنسفالوگرام^۱ می باشد به نحوی که فرد با فکر کردن به یک جسم خاص بتواند به وسیله یک سری الکترو سیگنال های مورد نظر را جهت حرکت ربات را در اختیار پردازشگر قرار دهد. یکی از ابزارهای پوشیدنی در دسترس برای استفاده به منظور پردازش سیگنال - های مغزی حسگر نورواسکای می باشد که در اینجا از این وسیله به همراه نرم افزار آن استفاده شده است. این وسیله می تواند با استفاده از الگوریتم ها و تبدیلات مختلفی بسته به موارد کاربرد پردازش سیگنال ها و استخراج ویژگی از آنها داده های دقیق برای امکان سنجی ساخت رباتی با قابلیت حرکت با امواج مغزی را ارائه دهد. این الگوریتم ها بطور کلی متناسب با حوزه زمان، زمان-فرکانس و فضای فاز می باشد. از این رو در این مقاله سعی شده است تا با اشاره بر الگوهای موثر فیلترینگ الکترو آنسفالوگرام با بررسی الگوریتم ها و تبدیلات مختلف به روند طراحی و مراحل استفاده از سیگنال های مغزی جهت ساخت رباتی با امکان حرکت، مورد بررسی قرار گیرد. به نحوی که پس از ذخیره سازی یک سیگنال خاص از فردی مشخص، او باید برای حرکت کردن ربات مجددا همان سیگنال را به ماژول گیرنده امواج مغزی بدهد.

کلمات کلیدی: تبدیل ها، سیگنال مغزی، الگوریتم، آنسفالوگرام،

¹Electro encephalogram

۱- مقدمه

مدل سازی امکان سنجی ساخت این ربات با در نظر گرفتن یک ماژول جهت تشخیص و دسته بندی سیگنال های مغزی و نرم افزار واسط که برای دو پلت فرم اندروید و ویندوز در نظر گرفته شده است و برد الکترونیکی واسط جهت لینک کردن نرم افزار با سخت افزار مورد نظر جهت کنترل ربات با سیگنال مغزی و دو استپر موتور بررسی می شود. امواج دریافت شده به وسیله الکترودها حاوی اطلاعات مهمی هستند که حاصل فعالیت های الکتریکی لایه های فوقانی مغز کورتکس و شاخه های دندریتی سلول های هرمی قرار گرفته زیر مجسمه می باشند. [1] امواج مورد بررسی از روی پوست سر دارای دامنه کمتر از ۱۰۰ میکرو ولت و فرکانسی در محدوده ۰.۵ الی ۱۰۰ هرتز می باشد. الکترو آنسفالوگرام یکی از سیگنالهای بیولوژیکی^۱ می باشد که روش های مختلفی برای پردازش متناسب با حوزه ای که سیگنال در آن قرار دارد موجود است و به صورت زیر دسته بندی می شوند:

- حوزه فرکانس
- تبدیل فوریه سریع^۲
- حوزه زمان_فرکانس
- تبدیل ویولت^۳
- اسپکتوگرام^۴
- متوسط گیری
- نمایش فضای فاز
- روش های مبتنی بر هوش محاسباتی

چهار روش موثر برای دسته بندی سیگنال های الکترو آنسفالوگرام شامل تبدیل فوریه سریع، تبدیل ویولت، اسپکتوگرام و متوسط گیری می باشند. درحوزه ی فرکانس با استفاده از تبدیل فوریه خصوصیات فرکانسی سیگنال مثل قدرت سیگنال بدست می آید. تبدیل ویولت در مقیاس چند منظوره (زمان- فرکانس) عمل می کند و یک کاربرد آن کاهش نویز سیگنال است. نمودارهای اسپکتوگرام طیف سیگنال را در حوزه ی فرکانس نشان داده که در آن شدت رنگ با شدت فرکانس رابطه مستقیم دارد. برای تخمین فرکانس خاصی از سیگنال از روش کپستروم استفاده می شود که یک آنالیز فوریه است و نقاط پیک نمودار را نشان می دهد. پردازش حوزه ی فرکانس شامل پارامترهایی از جمله محتوای فرکانسی، اندازه، فاز، ضرایب فوریه و اسپکتوگرام می باشد. در ادامه ابتدا به توضیح چهار روش مهم و موثر جهت فیلترینگ سیگنال ها می پردازیم تا اهمیت استفاده از ماژول پردازشگر سیگنال های مغزی بمنظور بدست آوردن سیگنال مورد نظر مشخص گردد.

۲- روش های مختلف برای پردازش سیگنال ها

۲-۱- تبدیل فوریه سریع

یک از پرکارنده ترین ابزارها برای سنجش محتوای فرکانس یک سیگنال، تبدیل فوریه است. با انتقال سیگنال به حوزه فرکانس توسط تبدیل فوریه، می توان به تعدادی از خصوصیات فرکانسی مانند متوسط قدرت کل سیگنال، فرکانس متوسط و سایر دست یافت. [2] در واقع تبدیل فوریه متد سریع و الگوریتمی برای محاسبه تبدیل فوریه گسسته^۵ است. از آنجاییکه تبدیلات گسسته روی بردارها عمل می کنند، تبدیلات فوریه گسسته به میزان زیادی در پردازش سیگنال استفاده می شوند. این الگوریتم، بسیار سریع و کارآمد است و محاسبات را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد.

¹ Biological signal ² Fast Fourier Transform – FFT ³ Wavelet Transform ⁴ Spectrogram

^۵ DFT Discrete- Fourier Transform

نحوه ی محاسبه ی تبدیل فوریه:

$$x(t) = \sum_i c_i e_i \quad c_i = \sum_t \langle x(t), e_i \rangle$$

محاسبه تبدیل فوریه گسسته برای n نقطه با استفاده از تعریف، $O(n^2)$ عملیات ریاضی نیاز دارد در حالی که تبدیل فوریه سریع می تواند همان نتایج را در $O(n \log n)$ عملیات، محاسبه نماید.

از الگوریتم های تبدیل فوریه سریع می توان به الگوریتم تبدیل فوریه سریع براون^۱، ریدر^۲، ادلمن^۳، کولی-توکی^۴ اشاره نمود. رایج ترین الگوریتم تبدیل فوریه سریع الگوریتم کولی-توکی است که یک الگوریتم تقسیم و حل است که به صورت بازگشتی یک مسئله تبدیل فوریه گسسته را به سایز مرکب از $N=N_1 N_2$ می شکند و به مسئله تبدیل فوریه گسسته با اندازه های N_1 و N_2 تبدیل می کند. این الگوریتم در هر مرحله مسئله را به دو تکه با اندازه $N/2$ تقسیم می کند و بنابراین به اندازه توانی از 2 محدود است اما می تواند با فاکتورگیری در حالت کلی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۲- تبدیل ویولت

تبدیل موجک^۵ با حذف نویز از سیگنال ها (با حذف محدوده خاصی از ضرایب موجک) و فشرده سازی سیگنال ها و تصاویر و استخراج ویژگی از سیگنال و آنالیز سیگنال های مختلف می باشد. بعضی از زمینه های کاربردی آن را می توان فشرده سازی تصاویر، کاهش نویز سیگنال و تشخیص الگو نام برد. واژه ی ویولت یا موجک بخاطر خاصیت موجی و نوسانی تابع پنجره و محدود و کوتاه بودن آن استفاده می گردد، در اصل موجک ها (موجکهای فرزند) از اتساع و انتقال یک موجک مادر به وجود می آیند. [3] همچنین واژه ی ویولت مادر به علت اینکه تمام نسخه های انتقال یافته و مقیاس شده از روی یک تابع اولیه است بدست می آیند. در تبدیل ویولت به علت نبودن پارامتر فرکانس از پارامتر مقیاس استفاده می شود که به طور معکوس با فرکانس ارتباط دارد. بر اساس خصوصیت چند بعدی سیگنالهای گذرا با زمان، تبدیل ویولت یک روش مؤثر برای استخراج ویژگی هاست. تبدیل ویولت، یک نمایش زمانی- فرکانسی را از یک سیگنال که سه مزیت عمده نسبت به روش های قبلی دارد ارائه می دهد: [4]

۱- نگهداری اطلاعات زمانی و فرکانسی همزمان^۶

۲- رزولوشن بهینه^۷ در حوزه زمان و فرکانس

۳- عدم وابستگی^۸ به پایداری سیگنال

نحوه ی محاسبه ی تبدیل موجک:

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \Psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-2j\pi ft} dt$$

۲-۳- نمودار اسپکتروگرام

این روش یک روش آنالیز فوریه برای طیف سیگنال با دامنه لگاریتمی است، در واقع طیف با دامنه لگاریتمی سیگنال را به عنوان یک سیگنال جدید در نظر گرفته و با گرفتن تبدیل فوریه از آن، نقاط پیک نمودار معین می شود.

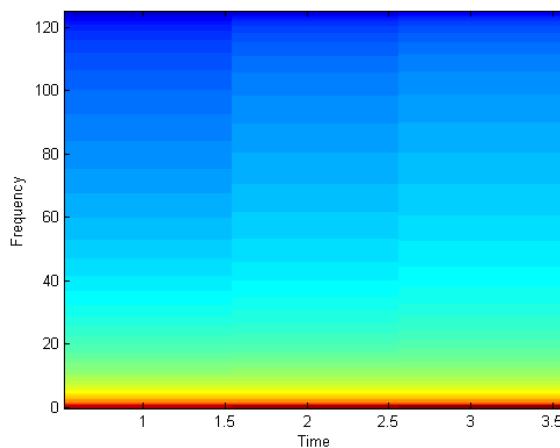
¹ Bruun's FFT algorithm ² Rader's FFT algorithm ³ Bluestein's FFT algorithm ⁴ Cooley-Tukey FFT algorithm

⁵ Wavelet Transform ⁶ Synchronic time and frequency information ⁷ Optimum resolution

⁸ Independence

اسپکتروگرام بر اساس تبدیل فوریه پنجره شده متداول ترین روش تحلیل زمان فرکانس است که هنگام آنالیز سیگنال های غیرایستا با محدودیت رزولوشن مواجه است. [5] روش اسپکتروم نسبت به تبدیل ویولت از قدرت و کارایی بالاتری برخوردار است، در واقع روش های مبتنی بر ضرایب کپستروم و تحلیل سیگنال در حوزه ی فرکانس در ردیابی رویدادها نسبت به روش هایی مانند تابع همبستگی سیگنال و یا تبدیل ویولت سیگنال در تخمین فرکانس اهمیت بیشتری دارد. [6] در نمودار شماره ۱ با توجه به افزایش فرکانس رنگ ها تیره تر نشان داده شده اند.

نمودار ۱



۲-۴- متوسط گیری

هنگام آنالیز آماری و ارزیابی مفاهیم جریان آشفته نیاز به جداسازی ترم های نوسانی و محاسبه متوسط کمیت های جریان می باشد. متوسط گیری در جریان آشفته، بخصوص هنگامی که جریان متوسط دارای نوسانات باشد نیاز به دقت و توجهات خاصی دارد و نباید منجر به حذف بخشی از فرکانس های جریان متوسط گردد. [7] متغیر α را به صورت دلخواه در نظر گرفته می شود. احتمال اینکه مقدار ϕ در محدوده α و $\alpha + d\alpha$ قرار گیرد را با $P(\alpha)d\alpha$ که به دانسیته احتمال^۱ معروف است نشان داده می-شود. حال مطابق تعریف، متوسط ϕ را می توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\bar{\phi} = \int_{-\infty}^{\infty} \alpha P(\alpha) d\alpha$$

یکی از عملی ترین روش های متوسط گیری عبارتست از انتگرال گیری کمیت مورد نظر برای مثال (ϕ) در زمان و مکان با استفاده از یک تابع وزنی^۲ به عنوان ضریب. تابع وزنی بایستی دارای خاصیت روبرو باشد.

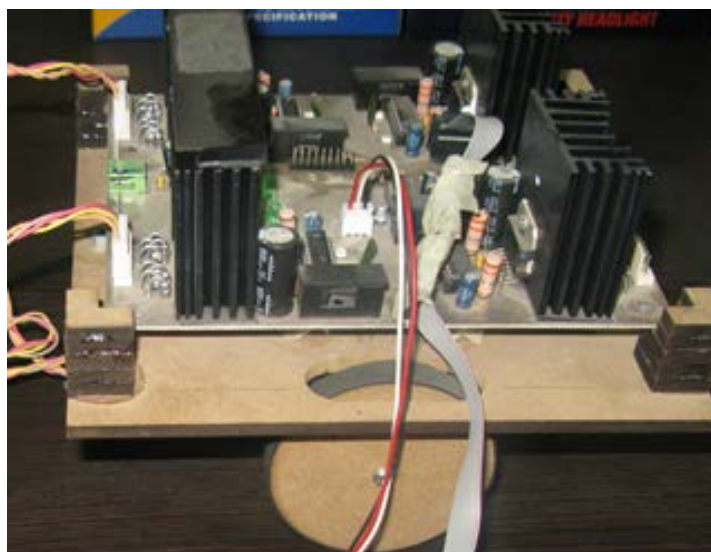
$$\overline{\phi_{T,V}(\vec{x}, t)} = \iiint \int \phi(\vec{x} - \vec{\xi}, t - \tau) \omega(\vec{\xi}, \tau) d\vec{\xi} d\tau$$

$$\iiint \int \omega(\vec{\xi}, \tau) d\vec{\xi} d\tau = 1$$

¹ Probability Density ² Weighting Function

۳- ساختار مکانیکی روبات

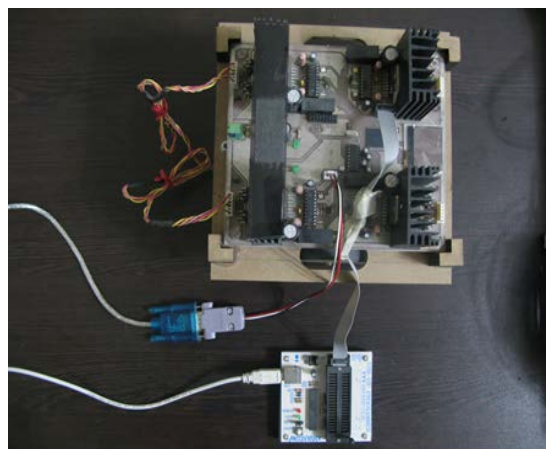
مطابق شکل ۱، یک ربات دارای دو چرخ و دو استپر موتور ۱،۸ درجه می باشد که به شاسی ربات متصل گردیده اند به نحوی که در ساختار زیر نشان داده شده است. با توجه به دستورات مدار ارسال فرمان ربات امکان حرکت در جلو و عقب و گردش به راست و چپ را دارا می باشد اما در این مقاله با توجه به پیچیده بودن تفکیک دستورات گردش به طرفین فقط حالت حرکت به جلو مد نظر بوده است. جنس شاسی و چرخ های ربات را از *MPF* انتخاب گردیده به منظور اینکه طرح آسان تر ساخته شود.



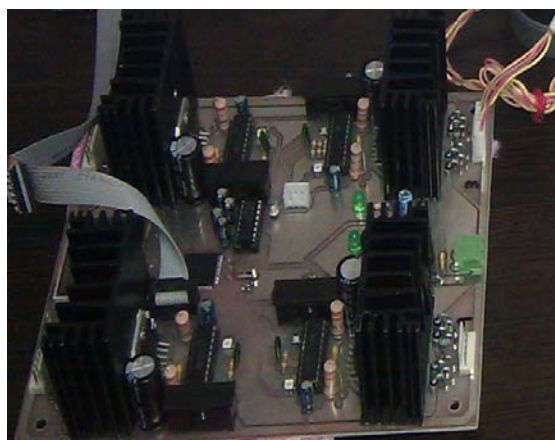
شکل شماره ۱

۴- مدار ارسال فرمان

جهت کنترل استپرموتورها و ایجاد ارتباط با نرم افزار مطابق شکل ۲، مدار ارسال فرمان طراحی و ساخته شده است که دارای قابلیت ارتباط مستقیم با کامپیوتر به وسیله کابل RS۲۳۲ می باشد (شکل ۳) که این کابل نیز با یک تبدیل به پورت USB کامپیوتر متصل خواهد شد. پردازشگر مرکزی مدار AT128a می باشد مدار دارای تغذیه ی جداگانه ۱۲ ولت است و تا حداکثر ۳ آمپر جریان نیاز دارد. جهت مدار درایور استپرموتورها از L297 و L298 استفاده شده است و همچنین مدار دارای نمایشگر گرافیکی جهت نمایش نوع داده های ورودی و نوع فرمان در حال اجرا وضعیت اتصال مدار با نرم افزار های واسط از قبیل متلب و نورو اسکای ویو (نرم افزار مازول فرکانس های مغزی) می باشد. برای این مدار امکان توسعه نیز، در نظر گرفته شده است، به نحوی که مدار دارای چهار درایور، جهت کنترل چهار استپر موتور و حداکثر ۶ آمپر می باشد و در صورت توسعه طرح می توان با تشخیص پیشرفته تر فرکانس ها و تفکیک پذیری آنها به کنترل سایر ربات و بازو رباتیک با حداکثر ۴ موتور پرداخت.



شکل شماره ۳



شکل شماره ۲

۵- ماژول تشخیص سیگنال الکترو آنسفالوگرام

با توجه به پیچیدگی تشخیص و دسته بندی سیگنال های مغزی برای دریافت، تفکیک و استفاده آنها ماژول های متفاوتی را شرکت ها معرفی نموده اند که هر کدام دارای ویژگی های خاصی هستند. یکی از شرکت های مطرح در این حوزه نورواسکای می باشد. تکنولوژی دستگاه های نورواسکای با پیشرفت این شاخه در حال توسعه می باشد و داده های خروجی از کیفیت مطلوبی برخوردار می باشند قابلیت تقویت و فیلترینگ سیگنال های مغزی را دارند. [9] در این مقاله از مدل mind wave mobile استفاده گردیده است. به همراه این دستگاه نرم افزارهای کاربردی آن با قابلیت برقرار ارتباط با پورت های خروجی کامپیوتر نیز عرضه می گردد که با استفاده از این ویژگی می توان یک سیگنال مغزی را ضبط و در حافظه نرم افزار نگه داشت سپس با تکرار مجدد آن نرم افزار سیگنالی را از طریق پورت های خروجی به مدار ارسال فرمان خواهد فرستاد. [10] این ابزار پوشیدنی مطابق شکل ۴ بر روی سر قرار می گیرد و از طریق امواج وای فای امکان اتصال به نرم افزار را دارد. در جدول شماره ۱ به برخی از ویژگی ها مهم این ماژول ذکر گردیده است.

جدول شماره ۱

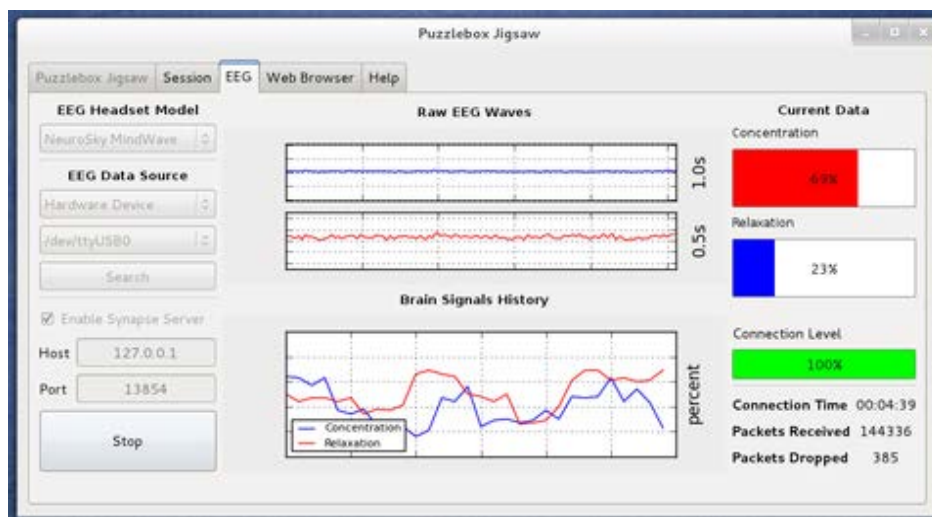
sampling rate	512Hz
frequency range	3-100Hz
ESD Protection	4kV Contact Discharge; 8kV Air
UART (Serial)	1200, 9600, 57600 baud
waves	Delta, Theta, low alpha, high alpha, low beta, high beta and gamma



شکل شماره ۴

۶- نرم افزار تحلیل داده ها

این نرم افزار که بر روی پلت فرم های ویندوز (شکل شماره ۵) و پلت فرم اندروید (شکل شماره ۶) عرضه می شود دارای ویژگی هایی از قبیل ضبط و تطبیق دهی سیگنال ها و همچنین ارایه ای از طیف های سیگنال ها را به کاربر می دهد. این نرم افزار قابلیت تبادل داده به صورت خودکار و آنلاین به نرم افزارهای تحلیلی از قبیل متلب نیز دارا می باشد. با توجه به نوع برقراری ارتباط ماژول نرم افزارهای ارایه شده بر روی هر دو پلت فرم های ذکر شده تنها از طریق امواج رادیویی با طول موج ۲,۴ گیگاهرتز قابلیت اتصال دارند. لازم به ذکر است شرکت سازنده با باز قرار دادن امکان توسعه این برنامه قابلیت افزودن قسمت های مورد نیاز دیگر را به توسعه دهندگان داده اند. در شکل شماره ۵ در سیستم عامل ویندوز می توان منوی اصلی نرم افزار و تفکیک سیگنال ها را مشاهده کرد.



شکل شماره ۵

شکل شماره ۶ نرم افزار را در حین نمایش سیگنال های مغزی و فیلترینگ هوشمند نویزها در سیستم عامل اندروید نشان می دهد و در پایین شکل نرم افزار با اندازه گیری طول موج ها در حال ضبط سیگنال مورد نظر می باشد و اندازه گیری زمان می باشد.

در شکل شماره ۷ در حال نمایش اینکده مغز چه سیگنال هایی را از خود ساطع می کند در این شکل با تنظیمات انجام شده در نرم افزار ماژول نورواسکای در حال نشان دادن گستره کلی امواج الکترو آنسفالوگرام می باشد در این حالت نرم افزار نمودار سستونی با توجه به طول موج ها را ترسیم کرده است.



شکل شماره ۷

شکل شماره ۶

۷- آزمایش های انجام شده

با اتصال مدار کنترل به استپرموتورها و پروگرام کردن برنامه مورد نیاز با نرم افزار AVR بروی مدار کنترل برای حرکت ربات پس از دریافت یک سیگنال خاص، از طریق کابل متصل شده به مدار و کامپیوتر قسمت سخت افزار آزمایش تدارک دیده شد. [11] در ضمن با توجه به برنامه نوشته شده بر روی میکروکنترلر برای دریافت دستور مورد نظر از کامپیوتر و سرعت نه چندان بالای اتصال از طریق کابل RS232 و ارسال دستور جهت حرکت ربات، تصمیم به آن گرفته شد که بمنظور ساده تر شدن آزمایش فقط حرکت مستقیم ربات در نظر گرفته شود. در ضمن هر اسپرتور نیاز به برنامه خاص خود جهت راه اندازی داشت که با در نظر گرفتن حرکت مستقیم، برنامه آنها نیز به صورت موازی در نظر گرفته شد و در میکروکنترلر پروگرام گردید. سپس با در نظر گرفتن سیگنال خاص ضبط شده از فرد مورد آزمایش توسط ماژول نورواسکای که حال فکر کردن فرد به شکل هندسی خاصی بود، از همان فرد خواسته شده به شکل هندسی قبل نتایج سیگنال مغزی اش در نرم افزار ضبط شده است فکر کند و بدین صورت سعی در ایجاد سیگنالی مشابه جهت صدور فرمان مورد نظر برای مدار کنترل گردید. در زمان تقریبی ۸۰ دقیقه مدت آزمایش، مشاهده گردید که ایجاد دو سیگنال یکسان و تداوم آن تنها برای چند ثانیه به منظور شناسایی و ارسال فرمان جهت حرکت ربات، نیازمند تمرین و مهارت بسیار بالایی می باشد بطوری که در حین انجام آزمایش چندین بار برای لحضاتی سیگنال یکسان، با فکر کردن فرد مورد آزمایش ایجاد گردید و مورد شناسایی قرار گرفت اما حرکت رو به جلوی ربات تداوم چندانی نداشت.

۸- نتیجه گیری

از میان روش هایی که برای پردازش سیگنالهای بیولوژیکی وجود دارند و روش های بررسی شد که در استفاده از سیگنال های الکترو آنسفالوگرام کاربرد گسترده ای دارند و سپس با بیان هدف مقاله به مراحل استفاده کاربردی و روند کنترل یک ربات دو چرخ با استفاده از ابزارهای ذکر شده پرداخته شد و در نهایت سعی در شبیه سازی طرح مورد نظر شد. در اینجا می توان نتیجه گرفت که اگر چه ماژول های زیادی برای استفاده از سیگنال های مغزی این روند را با دقت بالا و فیلترینگ های موثرشان آسان کرده اند اما مشکل در ایجاد سیگنال های مغزی یکسانی است که به منظور کنترل ابزارها و در این مقاله ربات دو چرخ می باشد و همچنان به نظر می رسد نیاز به فیلترهای پیشرفته تر به منظور تسریع فرآیند مقایسه سیگنال ها می باشد که بتوان سیگنال های پایدارتر و منظم تر را مورد بررسی قرار داد که فقدان این امر در آزمایش انجام گرفته به وضوح مشاهده می شد. به طور کلی با توجه به عدم موفقیت کامل در آزمایش انجام شده می توان به این نتیجه رسید که این طرح از نظر کاربردی طرح در حال حاضر قابل اجرا نمی باشد.

۸- مراجع

1. S. T. Ahi, H. Kambara, and Y. Koike, "A dictionary-driven P300 speller with a modified interface," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 6–14, 2011.
2. Sujoy ketan saha, *Discrete Fourier transform; Fast Fourier transform & their application in Signal Processing. velet transform: A primer*, prentice hall upper a.C.S. Burrus, R.A. Gopinath, and H. Guo, "wavelets and w 3. saddle River, 1998
۴. حسام الدین جهانیان، "تحلیل تصاویر عملکردی تشخیص مغناطیسی (FMRI) باروش خوشه بندی و استفاده از تبدیل ویولت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، شهریور ۱۳۸۲.
۵. غفرانی صدیقه، "توزیع Matching Pursuit و تکنیک Minimum Cross Entropy" فصلنامه علوم و مهندسی برق، شماره اول ۱۳۸۹.
۶. روزه بهروزمند، "مقایسه روش کپستروم اصلاح شده و تبدیل ویولت در تخمین فرکانس گام سیگنال گفتار بیماران مبتلا به ناهنجاری حنجره ای"، کنفرانس بین المللی فناوری اطلاعات و دانش، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، خرداد ۱۳۸۴.
۷. نوری نوروزمحمد، "متوسط گیری در جریان آشفته با استفاده از روش انتگرال و مشتق پیایی"
8. Hazrati MKh and Efranian A. *An online EEG-based brain-computer interface for controlling hand grasp using an adaptive probabilistic neural network.* In PubMed, 2010.
۹. Ali S. AlMejrad. *Human Emotions Detection using Brain Wave Signals.* In European Journal of Scientific Research, 2010, pages 640-659.
10. U. Herwig, P. Satrapi, and C. Schönfeldt-Lecuona, "Using the international 10–20 EEG system for positioning of transcranial magnetic stimulation," *Brain Topography*, vol. 16, no. 2, pp. 95–99, 2003.
11. B. C. Baker, "What does 'Rail to Rail'," *Operation Really Mean, Microchip Technology Analog Design Note ADN009*, 2004.