

قفل های زمان-مکانی بر مبنای پردازش سیگنال های مغزی

علی اکبر توکلی^{۱*}، امین منظری^۲، میکائیل شاپوری^۳

۱- دانشگاه فرهنگیان باهنر اصفهان، دبیری فیزیک

۲- دانشگاه فرهنگیان باهنر اصفهان، دبیری فیزیک

۳- مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه آزاد خمینی شهر

خلاصه

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 ایجاد امنیت و ساخت قفل های با کلید پردازش الکترو آنسفالوگرام^۱ می باشد به نحوی که فرد با فکر کردن به رمز قفل بتواند به وسیله یک سری الکترو سیگنال مورد نظر را جهت باز شدن را در اختیار پردازشگر قرار دهد. یکی از ابزارهای پوشیدنی در دسترس برای استفاده به منظور پردازش سیگنال های مغزی ماژول نورواسکای می باشد که در این مقاله 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 کنترل قفل الکتریکی با کلید امواج مغزی را ارایه 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 قفل های امنیتی و قفل منازل مورد بررسی قرار گیرد. به نحوی که پس از ذخیره سازی یک سیگنال خاص از فردی مشخص او باید برای باز شدن قفل مجددا همان سیگنال را به ماژول گیرنده امواج مغزی بدهد.

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

۱. مقدمه

مدل سازی امکان سنجی ساخت این قفل مغزی با در نظر گرفتن یک ماژول جهت تشخیص و دسته بندی سیگنال های مغزی و نرم افزار واسطی که برای دو پلت فرم اندروید و ویندوز در نظر گرفته شده است و برد الکترونیکی واسط جهت برقراری ارتباط نرم افزار با سخت افزار مورد نظر جهت کنترل قفل الکترونیکی با سیگنال مغزی و قفل یک الکتریکی درب منازل بررسی می شود. امواج دریافت شده به وسیله الکترودها حاوی اطلاعات مهمی هستند که حاصل فعالیت های

* Corresponding author: دانشگاه فرهنگیان باهنر اصفهان، دبیری فیزیک

Email: aliakbart21@gmail.com

¹Electro encephalogram

الکتريکی لايه های فوقانی مغز کورتکس و شاخه های دندريتی سلول های هر می قرار گرفته زیر مجمعه 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 فوريه سریع^۲
- حوزه زمان_ فرکانس
- تبدیل ويولت^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 فوريه سریع، تبدیل ويولت، اسپکتوگرام و متوسط گیری می باشند. درحوزه ی فرکانس با استفاده از تبدیل فوريه خصوصیات فرکانسی سیگنال مثل قدرت سیگنال بدست می آید. تبدیل ويولت 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 فوريه است و نقاط پیک نمودار را نشان می دهد. پردازش حوزه ی فرکانس شامل پارامترهایی از جمله محتوای فرکانسی، اندازه، فاز، ضرایب فوريه 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

1.2. تبدیل فوريه سریع

یک از پربازده ترین ابزارها برای سنجش محتوای فرکانس یک سیگنال، تبدیل فوريه است. با انتقال سیگنال به حوزه فرکانس توسط تبدیل فوريه، می توان به تعدادی از خصوصیات فرکانسی مانند متوسط قدرت کل سیگنال، فرکانس متوسط و سایر دست یافت. [2] در واقع تبدیل فوريه متد سریع و الگوریتمی برای محاسبه تبدیل فوريه گسسته^۵ است. از آنجاییکه تبدیلات گسسته روی بردارها عمل می کنند، تبدیلات فوريه 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. نحوه ی محاسبه ی تبدیل فوريه:

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

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

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

⁵ DFT Discrete- Fourier Transform

از الگوریتم های تبدیل فوریه سریع می توان به الگوریتم تبدیل فوریه سریع براون¹، ریدر²، ادلمن³، کولی-توکی⁴ 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 سائز مرکب از $N=N_1N_2$ 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.

2.2. تبدیل ویولت

تبدیل موجک⁵ با حذف نویز از سیگنال ها (با حذف محدوده خاصی از ضرایب موجک) و فشردن 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 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 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 همزمان⁶

۲- رزولوشن بهینه⁷ در حوزه زمان و فرکانس

۳- عدم وابستگی⁸ به پایداری سیگنال

نحوه ی محاسبه ی تبدیل موجک:

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

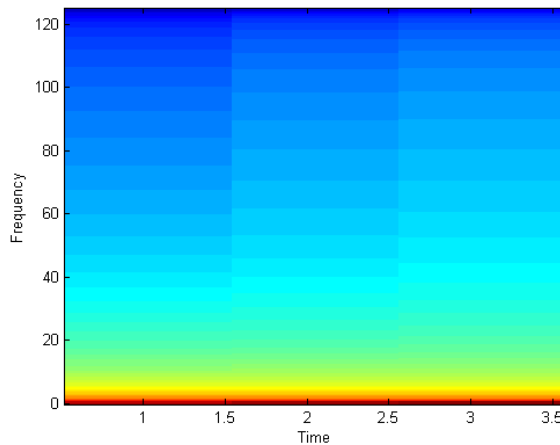
۳.۲. نمودار اسپکتروگرام

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. 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.

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

نمودار ۱



۴.۲. 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 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 وزنی² به عنوان ضریب. تابع وزنی بایستی دارای خاصیت روبرو باشد.

$$\overline{\phi_{T,V}(\vec{x}, t)} = \iiint_{-\infty}^{+\infty} \phi(\vec{x} - \vec{\xi}, t - \tau) \omega(\vec{\xi}, \tau) d\vec{\xi} d\tau$$

$$\iiint_{-\infty}^{+\infty} \omega(\vec{\xi}, \tau) d\vec{\xi} d\tau = 1$$

۳. ساختمان قفل الکتریکی

مطابق شکل ۱، قفل الکتریکی دارای ساختمان زیر می باشد که پس از قرار دادن باتری ها و اتصال آن به مدار ارسال فرمان قفل درب آماده دریافت فرمان برای باز یا بسته شدن خواهد بود. مهم ترین بخش های قفل موتور الکتریکی ۱۲ ولت آن و مدار کنترل می باشد که این دسته از قفل ها را با سایر قفل ها متمایز می سازد. این قفل ها دارای کیفیتی برابر قفل های رایج می باشند و به آسانی بر در جای قفل های کلید دار نصب می شوند. بارز ترین ویژگی قفل الکتریکی، سیستم باز شونده ضروری قفل به وسیله اپراتور و سنسور موقعیت سنجی وضعیت درب (در حالت باز یا بسته) می باشد که ایمنی این قفل ها را دو چندان کرده است.

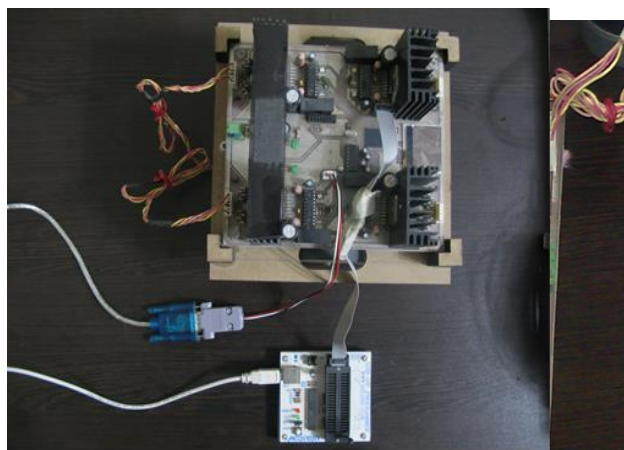
¹ Probability Density ² Weighting Function



شکل شماره ۱

۴. مدار ارسال فرمان

جهت کنترل قفل الکتریکی و ایجاد ارتباط با نرم افزار مطابق شکل ۲ مدار طراحی و ساخته شده است و 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. [8] پردازشگر مرکزی مدار AT128a می باشد مدار دارای تغذیه ی جداگانه ۱۲ ولت است. جهت راه اندازی قفل های الکتریکی 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 ماژول 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 قفل الکتریکی ۱۲ ولت حداکثر ۶ آمپر می باشد و در صورت توسعه طرح می توان با تشخیص پیشرفته تر فرکانس ها و تفکیک پذیری آنها به کنترل ربات و بازو رباتیک با حداکثر ۴ موتور پرداخت اما در این مقاله به کنترل یک قفل الکتریکی پرداخته می شود.



شکل شماره ۲

شکل شماره ۳

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 پشرفت 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

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

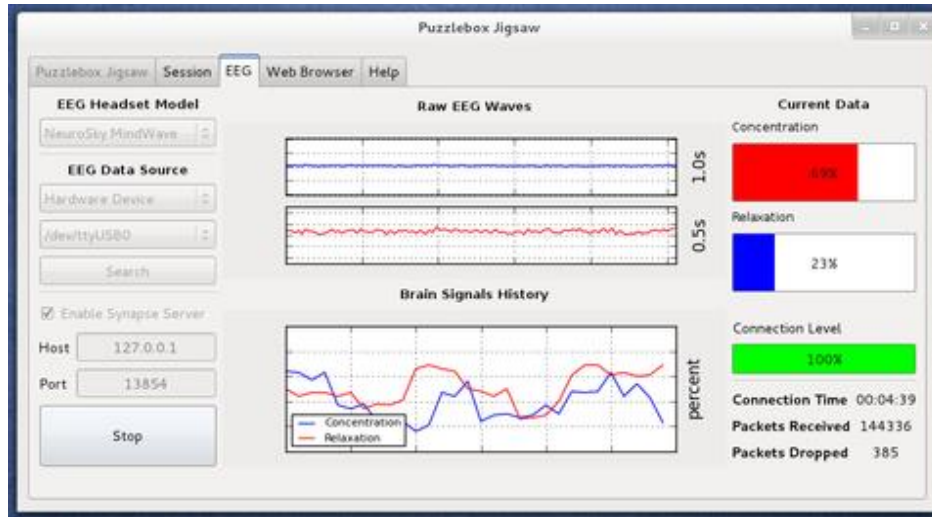


شکل شماره ۴

۶. نرم افزار تحلیل داده ها

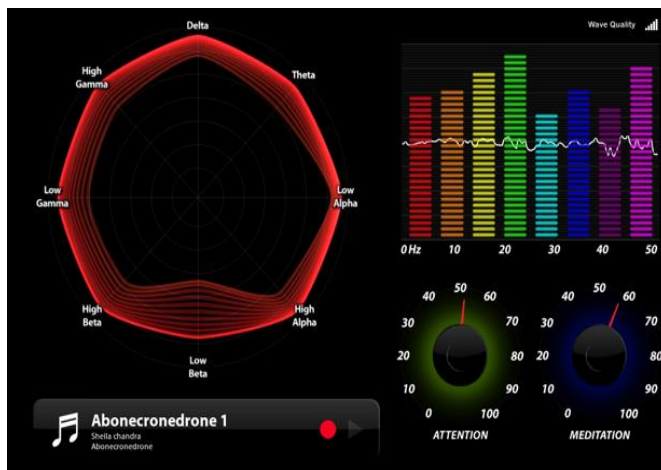
این نرم افزار که بر روی پلت فرم های ویندوز (شکل شماره ۵) و پلت فرم اندروید (شکل شماره ۶) عرضه می شود دارای ویژگی هایی از قبیل ضبط و تطبیق دهی سیگنال ها و همچنین ارایه ای از طیف های سیگنال ها را به کاربر می دهد. این نرم افزار قابلیت تبادل داده به صورت خودکار و آنلاین به نرم افزارهای تحلیلی از قبیل متلب 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.

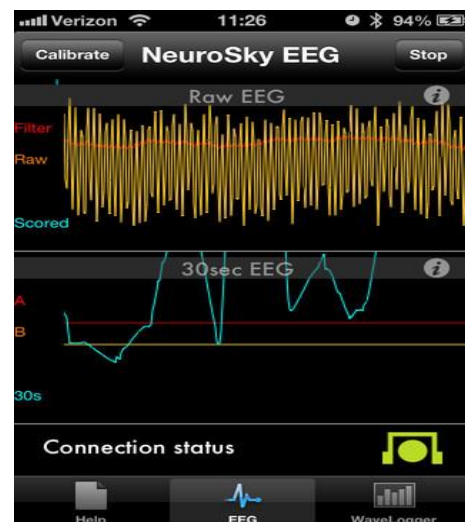


شکل شماره ۵

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 اینکه 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 ستونی 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 قفل الکتریکی و پروگرام کردن برنامه مورد نیاز با نرم افزار AVR بروی مدار کنترل جهت کنترل قفل 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 کنترل قفل الکتریکی تصمیم به آن گرفته شد که بمنظور ساده تر شدن آزمایش فقط عمل باز شدن قفل در نظر گرفته شد. 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 ۱۲۰ دقیقه مدت آزمایش، مشاهده گردید که ایجاد دو سیگنال یکسان و تداوم آن تنها برای چند ثانیه به منظور شناسایی و ارسال فرمان جهت باز شدن قفل، 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 منجر به باز شدن قفل به طور کامل نگردید.

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 قفل الکتریکی 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 قفل الکتریکی می باشد و همچنان به نظر می رسد نیاز به فیلترهای پشرفته 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.

۹-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.
3. C.S. Burrus, R.A. Gopinath, and H. Guo, "wavelets and wavelet transform: A primer", prentice hall upper 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.

6. روزبه 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 transracial 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.