مجله دانشکده پزشکی اصفهان
سال سی و چهارم/شماره‌ی ۳۹۳/هفته‌ی اول مهر ماه ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۷

توسعه‌ی یک سیستم واسط مغز – کامپیوتر مبتنی بر پتانسیل برانگیخته‌ی بینایی حالت ماندگار برای تایپ متون فارسی

فاطمه آهنین‌جان[۱]، علی مالکی[۲]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: سیستم‌های واسط مغز- کامپیوتر (Brain-computer interface یا BCI) برای بیمارانی که قادر به استفاده از عضلات خود نیستند، امکان برقراری ارتباط بین مغز و دنیای پیرامون از طریق ایجاد یک کانال مصنوعی را فراهم می‌سازد. از بین انواع واسط‌های مغز- کامپیوتر که به عنوان هجی کننده کاربرد دارند، می‌توان به واسط‌های مبتنی بر پتانسیل برانگیخته‌ی بینایی حالت ماندگار (Steady-state visually evoked potentials یا SSVEP) اشاره کرد که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده است.

روش‌ها: در این پژوهش، از الگوهای تحریک مبتنی بر کد برایل با هشت نشانه‌ی چشمک‌زن استفاده گردید. برای ایجاد تحریک بینایی، از جعبه ابزار Psychophysics نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. استخراج ویژگی بر اساس روش Fast Fourier transform (FFT) و طبقه‌بندی مبتنی بر بیشینه‌ی مقدار انجام گردید.

یافته‌ها: با استفاده از پاسخ مغزی SSVEP و کدهای برایل، دستیابی به نرخ انتقال اطلاعات ۱۹/۶۳۲ بیت بر دقیقه و صحت ۹۶/۶۷ درصد میسر گردید.

نتیجه‌گیری: سیستم طراحی شده به دلیل مزایایی از جمله ثبت سیگنال به صورت تک الکترودی، کم بودن تعداد فرکانس‌های تحریک و قابلیت تنظیم پارامترهایی از جمله زمان استراحت بین انتخاب تحریک‌ها، بسیار کارآمد و کاربرپسند است.

واژگان کلیدی: سیستم واسط مغز- کامپیوتر، پتانسیل برانگیخته‌ی بینایی حالت ماندگار، تایپ متون فارسی

ارجاع: آهنین‌جان فاطمه، مالکی علی. **توسعه‌ی یک سیستم واسط مغز- کامپیوتر مبتنی بر پتانسیل برانگیخته‌ی بینایی حالت ماندگار برای تایپ متون فارسی.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۵؛ ۳۴ (۳۹۲): ۹۱۸-۹۱۴

مقدمه

برای بیمارانی که قادر به برقراری ارتباط با جهان اطراف خود از طریق روش‌های معمول و با استفاده از عضلات و اعصاب محیطی نیستند، سیستم‌های واسط مغز- کامپیوتر (Brain-computer interface یا BCI) می‌توانند یک کانال مصنوعی بین مغز آن‌ها و دنیای پیرامونشان ایجاد کنند. از انواع سیستم‌های واسط مغز- کامپیوتر، می‌توان به واسط‌های مبتنی بر P300، واسط‌های مبتنی بر پتانسیل برانگیخته‌ی بینایی حالت ماندگار (Steady-state visual evoked potential یا SSVEP) و واسط‌های ترکیبی (Hybrid BCI) اشاره کرد. SSVEP پاسخ حالت ماندگار مغز به تکرار یک تحریک بینایی با فرکانس مشخص است. هنگامی که کاربر به الگوی چشمک‌زن خیره می‌شود، فرکانسی برابر با فرکانس آن الگوی تحریک در سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام (Electroencephalogram یا EEG) ثبت شده از ناحیه‌ی پس‌سری وی ظاهر می‌شود.

در سال‌های اخیر، استفاده از سیگنال کنترلی SSVEP برای کاربرد هجی کننده بسیار مورد توجه بوده است. Cao و همکاران، در پژوهش خود با هدف بررسی یک هجی کننده‌ی BCI با سرعت بالا، از پاسخ SSVEP استفاده کردند. در سیستم پیشنهادی آن‌ها، برای انتخاب ۴۲ کاراکتر از طرحی جدول‌بندی شده با ۱۶ فرکانس تحریک و ۶ الکترود ثبت سیگنال استفاده شد. آن‌ها در این سیستم به نرخ انتقال اطلاعات ۶۱/۶۴ بیت بر دقیقه دست یافتند (۱). Vilic و همکاران، از یک هجی کننده‌ی دو سطحی مبتنی بر SSVEP با ۸ فرکانس تحریک و یک الکترود ثبت استفاده کردند و به نرخ انتقال اطلاعات ۲۱/۹۴ و تعداد ۴/۹ کاراکتر بر دقیقه دست یافتند (۲). Won و همکاران، یک سیستم BCI هجی کننده بر اساس SSVEP را توسعه دادند که از تحریک‌های فرکانس بالا استفاده می‌کرد. آن‌ها برای هر کدام از ۳۰ کاراکتر یک

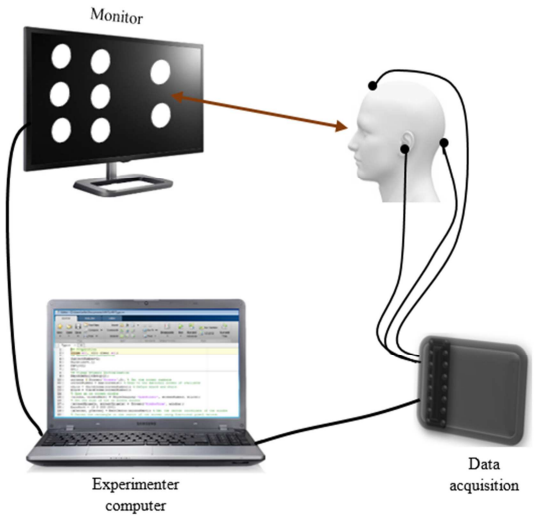
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۲- استادیار،گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
نویسنده‌ی مسؤول: علی مالکی
Email: amaleki@semnan.ac.ir

Light-emitting diode (LED) چشمک‌زن در نظر گرفتند و به صحت ۸۰ درصد دست یافتند (۳). هدف از انجام این مطالعه، طراحی و توسعه‌ی یک سیستم BCI مبتنی بر SSVEP بود تا با به کارگیری الگوهای بریل، امکان تایپ کردن به زبان فارسی فراهم گردد.

روش‌ها

مجموعه‌ی آزمایشگاهی

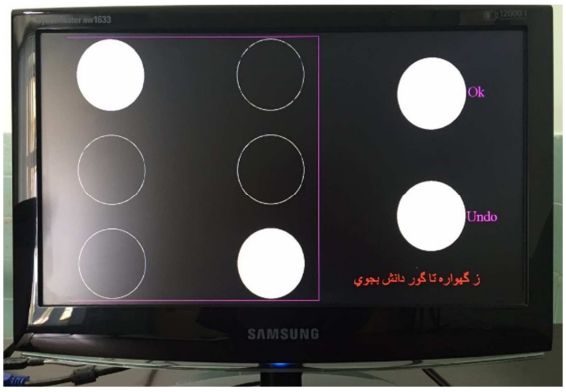
اجزای مجموعه‌ی آزمایشگاهی مورد استفاده و نحوه‌ی ارتباط آن‌ها در شکل ۱ آمده است. برای ثبت داده، از سیستم الکتروانسفالوگرافی EEG V.16.24 ساخت شرکت بایامد استفاده شد که دارای تقویت کننده‌ی ۱۶ کاناله و الکترودهای غیر فعال است. نمونه‌برداری از سیگنال با نرخ ۱۰۰۰ هرتز انجام گردید. امپدانس بین الکترود و پوست در کل آزمایش‌ها کمتر از ۵ کیلو اهم نگه داشته شد که برای کاربردهای BCI ایده‌آل است (٤). الکترودگذاری مطابق با سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ انجام شد. برای ثبت سیگنال، تنها از یک الکترود Oz در ناحیه‌ی پس‌سری استفاده گردید. الکترودهای مرجع و زمین نیز به ترتیب در AFz و نرمه‌ی گوش راست قرار داده شدند. برای مدیریت راه‌اندازی تحریک‌ها و ثبت سیگنال، از یک لپ‌تاپ استفاده گردید. ایجاد تحریک بینایی با کمک توابع موجود در جعبه ابزار Psychophysics نرم‌افزار Matlab انجام شد. این جعبه ابزار، امکان زمان‌بندی صحیح تحریک‌ها و ایجاد محرک‌های با فرکانس‌های دقیق و مشخص را فراهم می‌سازد (٦-۵). الگوی تحریک مبتنی بر کد بریل ایجاد شد. همچنین، برای نمایش تحریک، از یک نمایشگر LCD ۱۶ اینچی با نرخ نوسازی (Refresh rate) ٦۰ هرتز و زمان پاسخ‌گویی ۸ میلی‌ثانیه استفاده گردید.



شکل ۱. مجموعه‌ی آزمایشگاهی

روند آزمایش

در این پژوهش، برای ایجاد الگوهای حروف، از کدهای الفبای بریل الهام گرفته شد. در خط بریل، هر کاراکتر (سلول) از شش نقطه تشکیل شده است که در یک مستطیل به صورت دو ستون سه نقطه‌ای قرار می‌گیرند. بنابراین، برای نمایش الگوی کد بریل به ٦ نشانه‌ی تحریک چشمک‌زن متناظر با شش نقطه در هر کاراکتر بریل، نیاز است. دو نشانه‌ی تحریک دیگر با برچسب‌های «تأیید» و «لغو» نیز برای مقاصد کنترلی در نظر گرفته شده است. نشانه‌های تحریک، دایره‌هایی به قطر ٤/۷۵ سانتی‌متر هستند که با فرکانس‌های متمایز ۵/۸۸، ٦/۲۵، ٦/٦۷، ۷/۱٤، ۷/٦۹، ۸/۳۳، ۹/۰۹۱ و ۱۰ هرتز چشمک می‌زنند. در شکل ۲، نمایی از صفحه‌ی نمایش رو به روی کاربر نشان داده شده است.

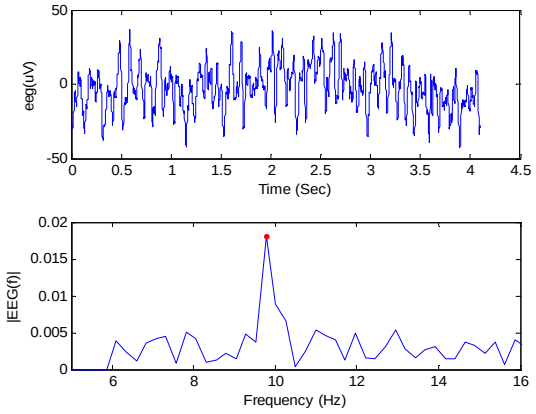


شکل ۲. نمایش تحریک‌ها و خروجی تایپ شده توسط کاربر روی صفحه‌ی نمایش

در هر دوره، نشانه‌های تحریک به مدت ٤/۱ ثانیه چشمک می‌زدند که کاربر باید در این مدت زمان، به نشانه‌ی مورد نظر خود خیره می‌شد. سپس، به مدت ۰/۱ ثانیه وقفه در نظر گرفته می‌شد تا کاربر نگاه خود را به نشانه‌ی بعدی منتقل می‌کرد و مقدار آن با توجه به نظر کاربر قابل تنظیم بود. در طی این زمان، سیگنال الکتروانسفالوگرام ثبت شده طی دوره‌ی نمایش الگوی تحریک پردازش می‌گردید. وقتی نشانه‌ی مورد نظر کاربر تشخیص داده می‌شد، چشمک زدن آن برای مراحل بعد متوقف می‌گردید. هر بار که کاربر الگوی کاراکتر مورد نظر خود را تکمیل می‌نمود با انتخاب نشانه‌ی «تأیید»، کاراکتر مربوطه روی نمایشگر پیش روی او تایپ می‌شد و همه‌ی نشانه‌ها فعال می‌شدند و شروع به چشمک زدن می‌کردند. بنابراین، در کل روند، کاربر می‌توانست نتیجه را به صورت زمان- واقعی مشاهده کند. در صورتی که کاربر در انتخاب دایره‌ای اشتباه کرده بود، با خیره شدن به نشانه‌ی «لغو» می‌توانست آخرین انتخاب خود را حذف کند. برای درج فاصله نیز لازم بود فقط نشانه‌ی «تأیید» را بدون انتخاب هیچ یک از نشانه‌های

شش‌گانه‌ی بریل انتخاب نماید. انتخاب نشانه‌ی ٦ و سپس انتخاب نشانه‌ی «تأیید» نیز برای خروج از سیستم در نظر گرفته شد.

از آن جایی که پاسخ SSVEP در طیف فرکانسی سیگنال به صورت یک قله در حوالی فرکانس تحریک نمود می‌یابد، اندازه‌ی طیف فرکانسی سیگنال با استفاده از روش تبدیل فوریه‌ی سریع در نرم‌افزار Matlab محاسبه گردید. بیشنیه‌ی دامنه‌ی طیف فرکانسی در پنجره‌ای با پهنای ۰/۳٤ هرتز حول هر یک از فرکانس‌های تحریک به عنوان ویژگی در نظر گرفته شد. با توجه به این که فرکانس هدف دارای بالاترین دامنه در طیف است، طبقه‌بندی بیشینه‌ی مقدار برای دستیابی به فرکانس هدف مورد استفاده قرار گرفت. مدت زمان ثبت سیگنال به نحوی انتخاب گردید که تعداد نمونه‌ها نمایی از ۲ باشد (2^{14}) تا نتیجه‌ی محاسبه‌ی تبدیل فوریه‌ی سریع، دقیق‌تر گردد. در شکل ۳، می‌توان نمودار زمانی و طیف فرکانسی یک نمونه‌ی سیگنال در فرکانس تحریک ۱۰ هرتز را مشاهده کرد.



شکل ۳. نمودار زمانی و طیف فرکانسی سیگنال ثبت شده در فرکانس تحریک ۱۰ هرتز

معیارهای ارزیابی

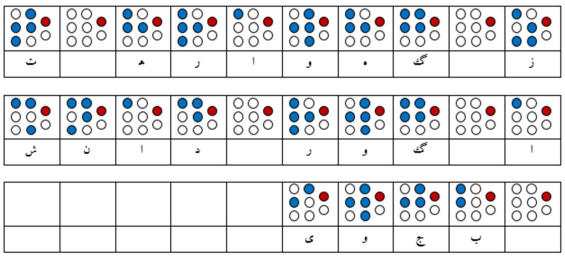
برای ارزیابی کمی کارآیی سیستم، از معیارهای صحت (Accuracy) و نرخ انتقال اطلاعات (Information transfer rate یا ITR) استفاده شد. نرخ انتقال اطلاعات، معیار کارآمدی است که به طور همزمان، صحت، تعداد کاراکتر در دقیقه و مقدار اطلاعات کد شده را منعکس می‌کند (۷). رابطه‌ی (۱) نحوه‌ی محاسبه‌ی صحت را نشان می‌دهد که در آن، N_c تعداد کل نشانه‌های صحیح (نشانه‌های لازم برای تایپ کل متن) است و N_e تعداد نشانه‌هایی است که به اشتباه یا برای تصحیح نشانه‌های اشتباه انتخاب می‌شوند. رابطه‌ی (۲) نیز نحوه‌ی محاسبه‌ی ITR را نشان می‌دهد (۹-۸، ۱). در این رابطه، N تعداد کاراکترهای قابل انتخاب، p مقدار صحت و T میانگین مدت زمان لازم برای انتخاب یک کاراکتر است.

$$p = \frac{N_c}{N_c + N_e} \quad (۱)$$

$$ITR = \frac{60}{T} \times \left[\log_2 N + p \log_2 p + (1-p) \log_2 \left(\frac{1-p}{N-1}\right)\right] \quad (۲)$$

یافته‌ها

به منظور وارسی عملکرد سیستم، از هر شرکت کننده خواسته می‌شد تا عبارت «ز گهواره تا گور دانش بجوی» را ده بار توسط این سیستم تایپ کند (شکل ۲). علت انتخاب این عبارت آن است که فراوانی حروف مختلف در این عبارت کوتاه آموزنده، به طور تقریبی منطبق با فراوانی حروف در متون رایج فارسی است. شکل ٤، روند انتخاب نشانه‌ها جهت تایپ عبارت هدف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، برای تایپ کردن عبارت، لازم بود کاربر ۸۷ نشانه (۸۲ نشانه برای ایجاد الگوی کاراکترهای عبارت و ۵ نشانه برای فاصله‌ها) را انتخاب کند (N_c = ۸۲). به طور میانگین، تعداد نشانه‌های اشتباه که نیاز به تصحیح با انتخاب گزینه‌ی لغو داشتند، ۱/۵ نشانه برای کل عبارت بود. بنابراین، با لحاظ کردن نشانه‌ی اشتباه و یک نشانه‌ی لغو جهت تصحیح هر اشتباه، N_e = ۳ حاصل شد و طبق رابطه‌ی (۱)، صحت بازشناسی ۹٦/٦۷ به دست آمد.



شکل ۴. روند انتخاب نشانه‌ها برای تایپ عبارت «ز گهواره تا گور دانش بجوی»

از سوی دیگر، تعداد کاراکترهای قابل انتخاب برای متون فارسی ۳۲ حرف است (N = ۳۲) و متوسط تعداد نشانه‌های هر حرف (با لحاظ کردن تعداد نشانه‌های هر یک از حروف و فراوانی آن حرف در متون فارسی) ۳/۳٦٥ نشانه برای هر حرف می‌باشد که با ضرب کردن در مدت زمان ٤/۲ ثانیه‌ای هر نشانه، مدت زمان لازم برای هر کاراکتر تعیین می‌گردد (T = ١٤/١٣٣). طبق رابطه‌ی (۲)، نرخ انتقال اطلاعات ITR = ١٩/٦٣٢ بیت بر دقیقه حاصل می‌گردد.

بحث

سیستم‌های BCI مبتنی بر SSVEP، دارای مزایای نرخ انتقال اطلاعات بالا و نیاز به آموزش کم هستند. از آن جایی که سیستم‌های

BCI برای استفاده در محیط زندگی طراحی می‌شوند، هرچه تعداد الکترودهای به کار رفته کمتر باشد، سیستم کاربرپسندتر خواهد بود. در این پژوهش، با به کارگیری کدهای استاندارد بریل برای تایپ حروف فارسی، تعداد فرکانس‌های تحریک کاهش داده شد؛ به طوری که برای انتخاب ۳۲ حرف فارسی، تنها از ۸ تحریک استفاده گردید. کم بودن تعداد فرکانس‌های تحریک از چندین جهت حایز اهمیت می‌باشد. از آن جایی که بازه‌ی فرکانسی که در آن پاسخ SSVEP دارای دامنه‌ی قوی می‌باشد، محدود است؛ هر چه تعداد تحریک‌های به کار برده شده کمتر باشد، فاصله‌ی تحریک‌ها بیشتر می‌گردد و دقت سیستم افزایش می‌یابد (۵).

از سوی دیگر، با کاهش تعداد تحریک‌های رو به روی کاربر، تمرکز کردن روی یک تحریک برای وی آسان‌تر می‌شود و همچنین، اثر مخرب حاصل از فرکانس‌های تحریک دیگر روی تحریک هدف کمتر می‌شود (۱۰). همچنین، به واسطه‌ی استاندارد و بین‌المللی بودن کد بریل، می‌توان زبان سیستم را بدون این که مشخصات آن تغییر کند، به هر زبان دلخواهی تغییر داد. از دیگر ویژگی‌های روش پیشنهادی، آن است که به راحتی می‌تواند کاراکترهای دارای الگوی مشابه را از هم متمایز کند. برای مثال، در شکل ٤ مشاهده می‌گردد که الگوی حروفی مثل «گ» و «ج» شباهت زیادی به یکدیگر دارند، اما سیستم برای تفکیک آن‌ها از یکدیگر هیچ مشکلی نخواهد داشت و می‌تواند الگوهای حروف را به درستی تشخیص دهد. حروف «ی» و «ج» و همچنین «و» و «ج» نیز شرایط مشابهی دارند. در پژوهش‌های بعد، تلاش خواهد شد با بهبود ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال و همچنین روش طبقه‌بندی، مدت زمان نمایش هر نشانه‌ی تحریک، کاهش و از این طریق، نرخ انتقال اطلاعات، بهبود یابد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی کسانی که در انجام این تحقیق مشارکت داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Cao T, Wang X, Wang B, Wong CM, Wan F, Mak PU, et al. A high rate online SSVEP based brain-computer interface speller. Proceedings of the 5th International Conference IEEE/EMBS; 2011 Apr 27-May 1; Cancun, Mexico.
2. Vilic A, Kjaer TW, Thomsen CE, Sorensen HB. DTU BCI speller: An SSVEP-based spelling system with dictionary support. Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS; 2013 Jul 3-7; Osaka, Japan.
3. Won DO, Zhang HH, Guan C, Lee SW. A BCI speller based on SSVEP using high frequency stimuli design. Proceeding of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC); 2014 Oct 5-8; San Diego, CA.
4. Resalat SN, Setarehdan SK. An improved SSVEP based BCI system using frequency domain feature classification. Am J Biomed Eng 2013; 3(1): 1-8.
5. Iscan Z, Dokur Z. A novel steady-state visually evoked potential-based brain-computer interface design: Character Plotter. Biomed Signal Process Control 2014; 10: 145-52.
6. Brainard D, Ingling A, Kleiner M, Murray R, Pelli D, Broussard C. What's new in psychtoolbox-3. Perception 2007; 36(14): 1-16.
7. Pires G, Nunes U, Castelo-Branco M. Comparison of a row-column speller vs. a novel lateral single-character speller: assessment of BCI for severe motor disabled patients. Clin Neurophysiol 2012; 123(6): 1168-81.
8. Speier W, Deshpande A, Pouratian N. A method for optimizing EEG electrode number and configuration for signal acquisition in P300 speller systems. Clin Neurophysiol 2015; 126(6): 1171-7.
9. Xu M, Qi H, Zhang L, Ming D. The parallel-BCI speller based on the P300 and SSVEP features. Proceedings of the 6th International Conference on IEEE EMBS Neural Engineering; 2013 Nov 6-8; Marina, CA.
10. Hassanien AE, Azar AT. Brain-Computer Interfaces: Current Trends and Applications. Berlin, Germany: Springer; 2014.

Journal of Isfahan Medical School Received: 18.07.2016

Vol. 34, No. 393, 1st Week, October 2016 Accepted: 28.08.2016

Development of a Steady-State Visually Evoked Potential (SSVEP)-Based Brain-Computer Interface for Typing Persian Texts

Fatemeh Ahaninjan[1], Ali Maleki[2]

Original Article

Abstract

Background: For disabled patients who are unable to use their muscles, brain-computer interface (BCI) systems can be used to establish a channel between their brain and outside world. Steady-state visually evoked potentials (SSVEP)-based interfaces are of brain-computer interface-spellers noted in recent years.

Methods: In this study, stimulation patterns based on Braille code with eight flickering cues were used. MATLAB psychtoolbox was used for construction of the visual stimulation. Fast Fourier transform (FFT) method and maximum classifier were used for feature extraction and classification, respectively.

Findings: We achieved 96.67% of classification accuracy and information transfer rate of 19.632 bit per minute using Steady-state visually evoked potentials brain response and Braille code.

Conclusion: Because of advantages such as single electrode signal recording, low number of excitation frequencies and adjustable parameters such as rest time between the stimulations, designed system is highly efficient and user friendly.

Keywords: Brain-computer interface, Steady-state visual evoked potential, Persian text typing

Citation: Ahaninjan F, Maleki A. **Development of a Steady-State Visually Evoked Potential (SSVEP)-Based Brain-Computer Interface for Typing Persian Texts.** J Isfahan Med Sch 2016; 34(393): 914-8.

1- MSc Student, Department of Bioelectric, School of Biomedical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Bioelectric, School of Biomedical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
Corresponding Author: Ali Maleki, Email: amaleki@semnan.ac.ir