بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

طراحی و ساخت سامانه طیف سنجی مادون قرمز نزدیک عملکردی ۴ کاناله برای ناحیه پیش پیشانی کورتکس

کوروش زارع، دکتر محمدعلی انصاری، مهرداد زارعی، صدرالدین محمودکلایه، دکتر وحید نجاتی[۲]

آزمایشگاه تصویربرداری نوری پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی، تهران

[۲] پژوهشکده مغز و علوم شناختی دانشگاه شهیدبهشتی، تهران

چکیده – طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک عملکردی (*fNIRS*) یک روش تصویربرداری غیرتهاجمی است که در آن از نور ناحیه مادون قرمز نزدیک(*NIR*) (۷۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر) برای بررسی فعالیت های عملکردی مغز استفاده می شود. با این روش می‌توان میزان تغییرات غلظت‌های اُکسی-هموگولوبین و دی‌اُکسی-هموگلوبین را در حین انجام تکالیف شناختی اندازه‌گیری کرد. در این مقاله به موضوع ساخت دستگاه *fNIRS* موج-پیوسته و چهار کاناله به منظور بررسی فعالیت همودینامیک کورتکس در ناحیه پیش-پیشانی مغز افراد پرداخته شده است. به علاوه از این دستگاه برای اندازه‌گیری بار حافظه فعال در افراد در تکلیف *N-back* استفاده شده است.

کلید واژه-طیف سنجی فروسرخ نزدیک اکسی‌هموگلوبین دی‌اکسی‌هموگلوبین فعالیت‌شناختی

Design and fabrication of 4-channel functional near infrared spectroscopy (fNIRS) for prefrontal cortex

K. Zare[1], Dr. M.A. Ansari[1] , M.Zarei[1], S. Mahmood kalayeh[1], Dr. V. Nejati[2]

[1]Optical bio imaging Lab, Laser and plasma research institute, Shahid Beheshty University, Tehran

[2] Shahid Beheshty University, Tehran

Functional near-infrared spectroscopy (*fNIRS*) is a non-invasive imaging technique which uses near-infrared light (700-900 nm) to monitor functional activities of the brain. With this method, concentration changes of Hb and HbO2 can be detected during cognitive tasks. In this paper, designing of a CW (continuous-wave) 4-channel fNIRS device for monitoring of hemodynamic responses of human brain in middle prefrontal cortex has been discussed. Additionally the same device has been used to study the working memory load in an N-bank task.
Keywords: fNIRS oxy-hemoglobin deoxy-hemoglobin Cognitive task

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

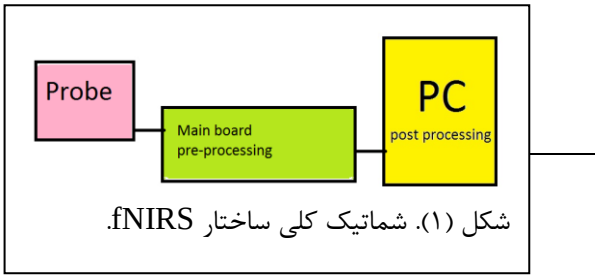
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

روش طیف سنجی فروسرخ نزدیک عملکردی،fNIRS، روشی ایمن، ارزان، غیرتهاجمی و قابل حمل برای بررسی سیگنالهای مغزی می‌باشد تاکنون برای کارهای شناختی مانند بررسی تمرکز و حالات هیجانی و درمان کودکان اوتیسم از این روش استفاده شده است. این روش تصویربرداری نوری مشابه روش MRI [۱] تغییرات اکسیژنه بافت مغز را اندازه‌گیری می‌کند اما دستگاه fMRI بسیار حجیم گران قیمت و برای کودکان و افراد سالمند دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. از طرفی دستگاه fNIRS یک مغز نگار قابل حمل، ارزان قیمت و با قابلیت استفاده برای افراد سالخورده و کودکان می‌باشد. [۱] در سامانه fNIRS از نور فروسرخ نزدیک (۹۵۰-۶۵۰) نانومتر استفاده می‌شود. این نور از پوست سر، جمجه و مایع نخاعی عبور کرده و وارد کورتکس می‌شود. تغییرات زمانی غلظت سیگنال‌های خونی (اکسی هموگلوبین و دی اکسی هموگلوبین) باعث تغییر در ضریب جذب کورتکس شده و لذا شدت نور خروجی از بافت کورتکس تغییر می‌کند. با اندازه‌گیری شدت می‌توان تغییرات سیگنال‌های خونی را بدست آورد. باتوجه به مطالعات انجام شده بین این تغییرات و کارکرد مغز ارتباط معناداری وجود دارد. [۲]

دستگاه‌های fNIRS عموما از سه بخش کلی کنترل کننده مرکزی، پراب و نرم‌افزار رابط تشکیل شده‌اند (شکل ۱) که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

وظیفه کنترل‌کننده مرکزی، کنترل شدت نورها، داده‌گیری، پیش پردازش و ارسال داده ها به کامپیوتر را بر عهده دارد. چیدمانی از آشکار سازها و منابع نوری روی پراب طراحی می‌شود. نرم افزار کامپیوتری نیز وظیفه دریافت و پس پردازش و نمایش داده‌های ارسال شده از واحد کنترل کننده مرکزی را دارد.



شکل (۱). شماتیک کلی ساختار fNIRS.

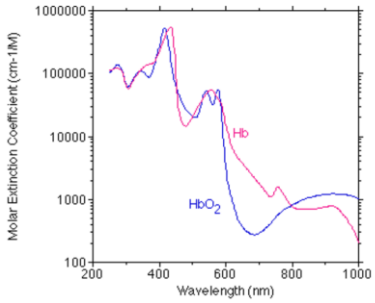
[۱] fMRI –functional Magnetic Resonance Imaging

ما در این مطالعه نحوه طراحی و ساخت یک سامانه fNIRS ۴کاناله را ارائه خواهیم کرد و سپس به بررسی عملکرد آن در حوزه علوم شناختی خواهیم پرداخت به همین منظور یک بسته نرم افزاری شناختی N-Back برای سنجش میزان بار حافظه فعال افراد طراحی و مورد آزمون قرار گرفت.

۲- روش ساخت دستگاه fNIRS و بسته شناختی

۲-۱- کنترل کننده مرکزی

مدارهای الکترونیکی در این قسمت از چند طبقه مجزا تشکیل شده‌اند که فعالیت کلی آنها از طریق میکرو پروسسور به شماره فنی (LPC1768 Philips) کنترل می-شود. با توجه به نمودار جذب بافت در ناحیه مادون قرمز نزدیک (شکل۲)، بهترین انتخاب برای منابع نوری طول موج های ۷۳۰ و ۸۵۰ نانومتر بود که با در نظر گرفتن این موضوع به انتخاب منابع نوری پرداختیم.



شکل(۲)طیف جذبی اکسی هموگلوبین و دی اکسی هموگلوبین [۳]

ضمنا از منبع نوری به شماره فنی (L4*730/4*805/4*850-40Q96-I EPITEX LED) استفاده شد که با توجه به برگه اطلاعاتی با اعمال جریانی ۵۰ میلی امپر توان خروجی ۳۰ میلی وات را به بافت اعمال می‌کند که برای تاباندن به ناحیه پیش پیشانی مناسب است. اولین قسمت مدار کنترل‌کننده مرکزی راه انداز منابع نوری با جریان ثابت و پایداری نسبتا بالا می‌باشد که سیگنال کنترلی خود را از طریق واحد آنالوگ به دیجیتال(D/A) در یافت می‌کند (شکل۳).

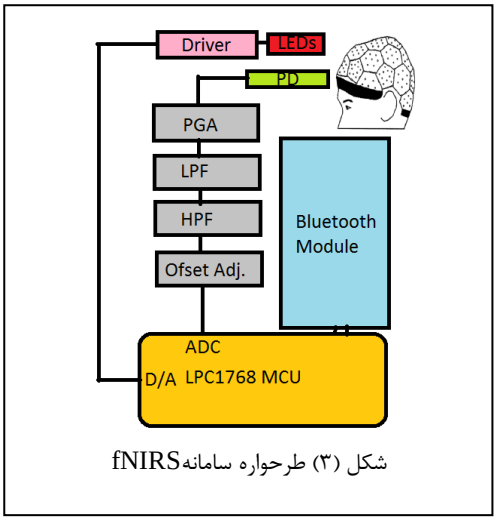
طبقه بعدی مدار کنترل کننده مرکزی گیرنده سیگنال از فوتو دیودها می‌باشد که از تقویت برنامه پذیر(PGA) و فیلترهای آنالوگ (HPF)(LPF)تشکیل شده‌است (شکل۴). فیلتر آنالوگ بکار رفته از نوع سالن-کی مرتبه دو با نمودار

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

مشخصه های زیر می باشد که با توجه به بازه فرکانسی فعالیت همودینامیکی (0.01-0.7Hz) انتخاب مناسبی است.

سیگنال بعد از عبور فیلتر بالاگذر مولفه جریان ثابت خود را

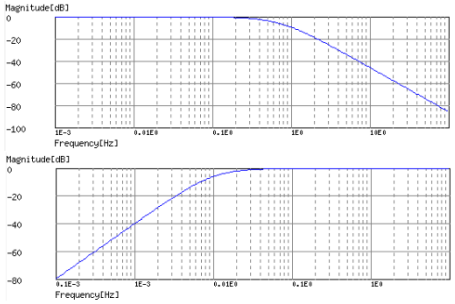


شکل (۳) طرحواره سامانه fNIRS

از دست داده پس طبقه بعدی مسئول اضافه کردن ولتاژ ۱,۵ ولت(Offset adjustment) بمنظور آماده شدن برای واحد تبدیل انالوگ به دیجیتال می‌باشد (A/D) (شکل۴).

قسمت بعدی مبدل آنالوگ به دیجیتال با وضوح ۱۲بیت و محدوده دینامیکی ۳,۳ ولت و سیگنال به نویز ۱۱۰ دسی بل در فرکانس ۱کیلو هرتز می‌باشد که بصورت داخلی در میکرو کنترلر قرار دارد [۴].

سیگنال‌های آنالوگ بعد از تبدیل از طریق واحد سریال (USART) به کامپیوتر میزبان (Host) فرستاده می‌شود. در این قسمت وظیفه کنترل کننده مرکزی پایان می یابد.



شکل (۴) فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر مرتبه دوم.

۲-۲- طراحی پروب

قسمت بعدی دستگاه طراحی چیدمانی از منابع نوری و آشکارسازها است که با توجه به ناحیه پیش پیشانی و عمق نفوذ در ناحیه مذکور فاصله بین هر کانال نوری -فاصله بین منبع تا آشکارساز- ۳ سانتی متر درنظر گرفته شد. از طرفی با توجه به فرکانس نور ورودی و شدت خروجی از فوتو آشکارسازهایی با شماره فنیOPT101 استفاده شده است. شکل (۵) تصویری چیدمان پراب را نمایش میدهد.



شکل (۵) تصویر پروب ۴ کانال

۲-۳- نرم افزار کامپیوتری

به‌منظور پیاده سازی پردازش‌های دیجیتال و نمایش داده-های دریافتی از کنترل کننده مرکزی نرم افزار کامپیوتری نوشته شده که ۴ کانال داده را بصورت بلادرنگ نمایش می-دهد و از طرفی نرم‌افزار تکلیف شناختی بر روی آن اجرا می‌شود.

از آزمون N-Back به عنوان تکلیف شناختی استفاده شد. به این صورت که از اشخاص درخواست می‌شود رو به رایانه نشسته و به صفحه نمایش نگاه کنند و ۲۰ ثانیه ابتدایی هیچ تغییری در صفحه نمایش صورت نمی‌گیرد (حالت استراحت) و در پایان زمان مذکور اعداد به مدت ۳ ثانیه روی صفحه نمایش ظاهر می‌شوند سپس عوض می‌شوند. اگر عدد نمایش یافته مشابه عدد قبلی(1-Back) و مشابه دوعدد قبلی (2-Back) باشد باید کلید F را روی صفحه کلید فشار دهد.

۲-۴- نحوه محاسبه غلظت‌ها

غلظت‌های اکسی هموگلوبین، ΔHbO_2، و دی‌اکسی هموگلوبین ، ΔHb،از رابطه زیر بدست می‌آیند:

$$\Delta Hb = \frac{\ln\frac{I_0(\lambda_2)}{I(\lambda_2)}\varepsilon_2(\lambda_1) - \ln\frac{I_0(\lambda_1)}{I(\lambda_1)}\varepsilon_2(\lambda_2)}{(\varepsilon_2(\lambda_1)\varepsilon_1(\lambda_2) - \varepsilon_2(\lambda_2)\varepsilon_2(\lambda_1))BL} \quad (۱)$$

$$\Delta HbO_2 = \frac{\ln\frac{I_0(\lambda_1)}{I(\lambda_1)}\varepsilon_1(\lambda_2) - \ln\frac{I_0(\lambda_2)}{I(\lambda_2)}\varepsilon_1(\lambda_1)}{(\varepsilon_2(\lambda_1)\varepsilon_1(\lambda_2) - \varepsilon_2(\lambda_2)\varepsilon_2(\lambda_1))BL} \quad (۲)$$

که λ_1و λ_2 به ترتیب طول‌موج ۷۳۰ و ۸۵۰ نانومتر مورد استفاده در دستگاه می‌باشد. ε_1و ε_2 به ترتیب ضریب

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

خاموشی اکسی هموگلوبین و دی‌اکسی هموگلوبین می‌باشد. B و L هم به ترتیب فاکتور طول مسیر و فاصله میان چشمه و آشکارساز است.

۳- ۳.نتایج تجربی

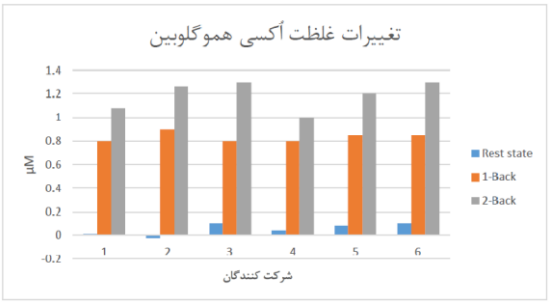
ابتدا برای بررسی حساسیت و کالیبراسیون دستگاه، از فانتوم‌های دینامیک مشابه سر انسان استفاده شد که جزییات آن در مقاله [۳] ارائه شده است. نتایج نشان داد که دستگاه قادر است تا تغییرات دهم میکرومولار را در عمق دو سانتی‌متری لایه کورتکس فانتوم با دقت خوبی اندازه‌گیری نماید. ضمنا به کمک فیلترهای نرم‌افزاریANOVA، نوفه-های حرکتی کاهش و نسبت سیگنال به نوفه بیش از ۳۸ دسی‌بل بهبود داده شد.

سپس آزمون شناختی روی ۶ دانشجو مرد در بازه سنی ۲۴ تا ۲۷ سال انجام شد. از طرفی دستگاه fNIRS بر روی پیشانی قرار گرفته و سیگنال های همودینامیک را ثبت می-کند که نتایج آن در نمودار شکل (۶) مشاهده می‌شود. انتظار داریم با سخت‌تر شدن آزمون، تغییرات غلظت‌ها بیشتر شود.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله مراحل ساخت دستگاه fNIRS چهارکاناله توضیح داده شد. همانطور که در شکل۶ دیده می‌شود این سامانه قادر است تا تغییرات غلظت اکسی‌هموگلوبین و دی-اکسی‌هموگلوبین را با دقت ۰٫۱ میکرومولار اندازه‌گیری نماید. همانطور که انتظار می‌رود با سخت‌تر شدن فرایند شناختی، تغییرات بیشتری در سیگنال‌های همودینامیک مغز اندازه‌گیری شد.





شکل(۷) نمودار تغییرات غلظت دی‌اکسی‌هموگلوبین(شکل بالا) و اکسی-هموگلوبین (شکل پایین) در هنگام فعالیت شناختی N-Back برای ۶ نفر.

مراجع

[1]A. V. Lühmann, et al. "Toward a Wireless Open Source Instrument: Functional Near-infrared Spectroscopy in Mobile Neuroergonomics and BCI Applications." *Frontiers in human neuroscience* 9 (2015).

[2]M. A. Ansari, M. Shojaeifar, E. Mohajerani;"The estimation of recovery time of calf muscle oxygen saturation during exercise by using functional near infrared spectroscopy"; Optics Communications 325 (2014) 23-27

[۳] مهرداد زارعی، صدرالدین محمود کلایه، محمدعلی انصاری، بررسی حساسیت دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک عملکردی به تغییرات ضریب جذب در فانتوم مشابه بافت مغز انسان، چهارمین کنفرانس لیزر و کاربردهای آن، تهران، آبان ۱۳۹۵.

[4] G. E. Strangman, L. Zhi, and Z. Quan, "Depth sensitivity and source-detector separations for near infrared spectroscopy based on the Colin27 brain template." *PloS one* 8.8 (2013): e66319.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]