استخدام واجهة الدماغ والكومبيوتر لتحسين مهارات التعلم للطلاب ذوي الإعاقة: مراجعة سريعة

أشرف عثمان

aothman@mada.org.qa

مركز مدى ، صندوق بريد 24230 ، قطر

الملخص

تتيح واجهة الدماغ والكومبيوتر (BCI) الاتصال المباشر بين الدماغ والجهاز الخارجي. وقد أصبحت أنظمة هذه الواجهة مجالًا شائعًا للدراسة في السنوات الأخيرة. ويمكن استخدام هذه التقنيات بطرق مختلفة لمساعدة الأشخاص ذوي الإعاقة والأفراد الأصحاء. وفيما يتعلق بالتطورات الكبيرة في هذا المجال، فإنه يمكننا القول أن هذه الأنظمة على وشك أن تصبح تجارية. وقد أخذت هذه المراجعة في الاعتبار الاتجاهات الحالية في أبحاث واجهة الدماغ والكومبيوتر حول التعليم الشامل لمساعدة الطلاب ذوي الإعاقة في تحقيق نتائج تعليمية محسنة لجميع الطلاب في بيئة شاملة.

الكلمات المفتاحية: واجهة الدماغ والكومبيوتر، التعليم الشامل، الطلاب ذوي الإعاقة

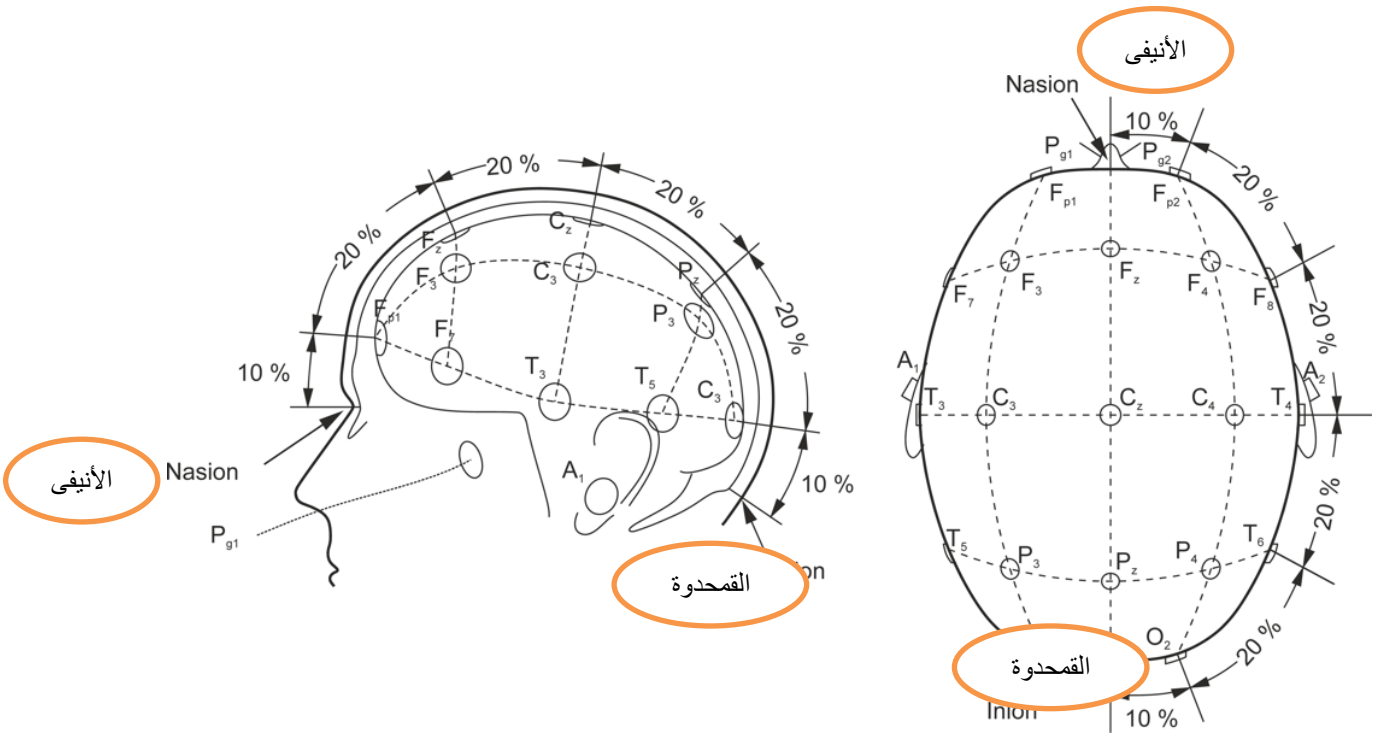
المقدمة

انتشر البحث حول أجهزة واجهة الدماغ والكومبيوتر (BCI) بشكل كبير على مدى العقود القليلة الماضية. وتتيح هذه الواجهة الاتصال المباشر بين الدماغ وجهاز خارجي مثل الكمبيوتر أو الروبوت أو الأطراف الاصطناعية أو الهيكل الخارجي أو الأطراف الاصطناعية للكلام أو التكنولوجيا المساعدة أو الكرسي المتحرك [1] [2]. وقد وجدنا من خلال العديد من مجموعات التركيز مع الأشخاص ذوي الإعاقة اهتمامًا باستخدام تقنية واجهة الدماغ والكومبيوتر BCI لابتكار حلول ومنتجات جديدة [3]. حيث يمكن استخدام هذه الأنظمة لمجموعة متنوعة من الأغراض. وعادة ما يتم استخدامها للأغراض السريرية ولكن يمكن استخدامها أيضًا للترفيه والتدريب والأمن والعلاج والتعليم والسلامة والتواصل والتحكم من بين تطبيقات أخرى [4] [5]. ويتم فصل معظم أنظمة واجهة الدماغ والكومبيوتر BCI إلى أساليب جراحية وغير جراحية. وتعد التقنية غير الجراحية هي الأكثر شيوعًا وأمانًا من بين هذه الخيارات. ولكن أنظمة هذه الواجهة لا تزال تواجه العديد من العقبات والقيود على الرغم من نشر العديد من المنشورات وتطوير العديد من التطبيقات الفعلية.

إن فهم كيفية عمل الدماغ لقياس وتفسير موجات الدماغ أمر بالغ الأهمية. ويمكن رصد الظواهر الكهربائية والمغناطيسية للوظيفة العصبية أثناء عمل الدماغ. ومن أكثر أشكال المراقبة الفيزيولوجية الكهربية شيوعًا

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

هو تخطيط كهربية الدماغ [6] حيث تقوم أجهزة الاستشعار الحيوية بقياس وتسجيل الإشارات الكهربائية الناتجة عن نشاط الدماغ. وتتواصل خلايا الدماغ عن طريق إرسال نبضات كهربائية وكلما زاد عدد النبضات المرسلة زادت الكهرباء التي يولدها الدماغ. ويمكن قياس نمط هذا النشاط الكهربائي بواسطة تخطيط كهربية الدماغ (EEG). إن تحليل بيانات مخطط كهربية الدماغ غالبًا ما يتم بواسطة نهج كمي EEG (QEEG) حيث يتم تقييم الطيف الترددي لإشارات EEG [7]. ويقدم الشكل 1 نظرة عامة على وضع الأقطاب على فروة الرأس لاكتشاف ومراقبة النبضات الكهربائية لأنشطة الدماغ [8].



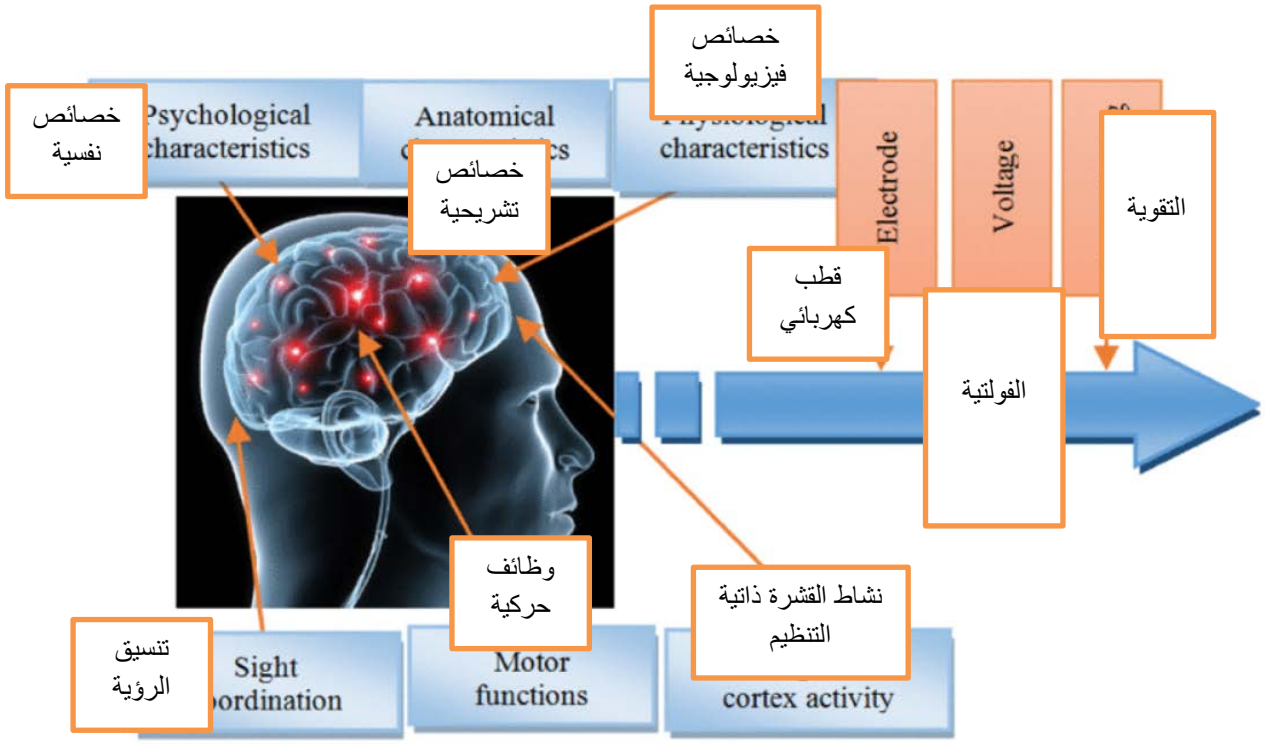
الشكل 1. وضع قطب كهربائي محتمل على فروة الرأس.

يتطلب إجراء مخطط كهربية الدماغ معدات متطورة ومكلفة وشاملة وغير متحركة. ومع ذلك فقد سمحت التطورات التكنولوجية الحديثة باستخدام الأجهزة المدمجة القائمة على المستشعر الحيوي EEG المحمول في التطبيقات الجديدة بما في ذلك الترفيه وأجهزة التحكم والتعليم. وفي هذه التطبيقات، تنشئ واجهة الدماغ والكومبيوتر صلة بين نشاط الدماغ المرصود بواسطة EEG والوظيفة المتولدة [9]. وتشتمل أجهزة هذه الواجهة المتقدمة على أجهزة الاستشعار الحيوية ووحدات معالجة الإشارات الحديثة وهي أقل تكلفة وأكثر قابلية للحمل بسبب تصميمها البسيط كما أنها دقيقة مثل معدات تخطيط الدماغ السريرية [10]. ويقدم الجدول 1 ملخصًا لهذه الطرق المختلفة.

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

الجدول 1. ملخص لطرق التصوير العصبي.

طريقة التصوير العصبي	قياس النشاط	القياس المباشر / غير المباشر	الدقة الزمانية	الدقة المكانية	الخطر	قابلية الحمل
مخطط كهربية الدماغ	كهربائي	مباشر	~0.05 s	~10 mm	غير جراحي	محمول
تخطيط مغناطيسية الدماغ	مغناطيسي	مباشر	~0.05 s	~5 mm	غير جراحي	غير محمول
التخطيط الكهربائي القشري	كهربائي	مباشر	~0.003 s	~1 mm	جراحي	محمول
تسجيل الخلايا العصبية داخل القشرة	كهربائي	مباشر	~0.003 s	~0.5 mm (LFP) ~0.1 mm (MUA) ~0.05 mm (SUA)	جراحي	محمول
الرنين المغناطيسي الوظيفي	استقلابي	غير مباشر	~1 s	~1 mm	غير جراحي	غير محمول
التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة	استقلابي	غير مباشر	~1 s	~5 mm	غير جراحي	محمول



الشكل 2. عينة توضيحية: نموذج للإشارات الكهروضوئية.

توضح الأبحاث التعليمية أن مشاركة الطلاب النشطة تسهل الحصول على المعلومات الجديدة والاحتفاظ بها بشكل أكثر فعالية من التدريس التقليدي القائم على المحاضرات [11]. علاوة على ذلك، فإنه عندما

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

تكون هذه المشاركة النشطة قائمة على أساس المجموعة وليس على الفرد، فإن مهارات الطلاب في حل المشكلات والكتابة والتحدث بالإضافة إلى مهاراتهم التعليمية والتعاونية ستتطور [12].

يمكن أن يتم الاكتساب الفعال للمهارات الهندسية العملية من خلال التعلم القائم على حل المشكلات (PBL) [13] والتعلم القائم على المجموعة [14] والتعلم المعتمد على المشروعات (PjBL) [15]. وتؤكد الهندسة بشدة على القدرة على تطبيق المعلومات في العالم الحقيقي.

1. واجهة الدماغ والكومبيوتر كتكنولوجيا مساعدة

تم إحراز تقدم كبير في البحث في التحكم في واجهة الدماغ والكومبيوتر [16] [17]. ويمكن استخدام هذه الواجهة في حالات مختلفة ومنها على سبيل المثال لا الحصر:

- التحكم في الأجهزة الخارجية، مثل الأطراف الاصطناعية [18]
- بيئات المنزل الذكي [19]
- الروبوتات والهياكل الخارجية [20]
- اليد الروبوتية [21]
- معينات السمع [22]
- الكراسي المتحركة [23]
- برامج الكمبيوتر [24]
- الواقع الافتراضي والشخصيات الافتراضية والعالم الافتراضي [25]
- البيئة الافتراضية والمدن الذكية [26]

ومن أهم استخدامات هذه الواجهة هو منح الأفراد القدرة على التحكم في حركات البسط والإمساك باستخدام أطرافهم المشلولة [27]. وتشمل التطبيقات الإضافية الممكنة لهذه الواجهة الاتصال [28]. كما أن أحد أكبر التحديات التي يمكن تجاوزها في هذا المجال هو استعادة واستبدال الوظيفة الحركية أو التواصل للأشخاص ذوي الإعاقات الجسدية.

2. استخدام واجهة الدماغ والكومبيوتر للتحكم في الألعاب التربوية والجادة

يعتمد جميع الأطفال بشكل كبير على اللعب لتعلمهم ونموهم. ويستفيد كل من الأطفال الذين يعانون من النمط العصبي والمتنوع العصبي من الانخراط في الأنشطة التي تبقيهم مهتمين ومشاركين وتوفر فرص

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

تعلم مضمنة [29]. ومع ذلك، يركز برنامج واجهة الدماغ والكومبيوتر الحالي على التطبيقات الأساسية المساعدة، مثل شبكات التدقيق الإملائي وحركة المؤشر. ورغم جدوى هذه التطبيقات فإنها محدودة في جاذبيتها للاستخدام المستدام، خاصة لمستخدمي هذه الواجهة من الشباب. وتشير الدلائل إلى أن تعزيز المشاركة في واجهة الدماغ والكومبيوتر من خلال التعلم المحفز عبر الألعاب قد يؤدي إلى قبول أوسع لهذه التكنولوجيا مع المساعدة في نشر استخدامها. [30]. ويكشف الاتجاه البحثي المتنامي بقوة عن أن المزيد من المشاركة عبر الأنشطة سهلة الاستخدام قد تعزز مجموعة متنوعة من الفوائد الملموسة في استخدام هذهذ الواجهة - سواء في تعلم المهام على المدى القصير أو في دقتها طويلة المدى [31]. ولذلك فإن هناك حاجة واضحة لدعم تطوير برامج واجهة الدماغ والكومبيوتر الأكثر جاذبية والقابلة للنفاذ والتي تتضمن مكونات اللعب الرئيسية في واجهة الدماغ والكومبيوتر المخصصة للأطفال.

توفر أنظمة واجهة الدماغ والكومبيوتر الإمكانات الجديدة لكل من المنصات الافتراضية (على سبيل المثال ألعاب الفيديو والوسائط الرقمية) واللعب المادي (على سبيل المثال لعبة الروبوتات والسيارات وما إلى ذلك). وتسمح هذه الحلول التكنولوجية عبر استخدام الخصائص غير العضلية لهذه الواجهة للأشخاص المستبعدين سابقًا من هذا السياق بالاستكشاف والتعلم من خلال اللعب. وقد أظهرت الأبحاث السابقة أن استخدام الوسائط يعد ضرورياً لاستمرار التعلم وإعادة التأهيل لدى الأطفال ذوي الإعاقة. وتمثل التطورات في أبحاث واجهة الدماغ والكومبيوتر التي تعزز التفاعل بين أنظمة هذه الواجهة واللعب إمكانات واعدة غير مستغلة للمستخدمين النهائيين من الأطفال.

3. نتيجة أنشطة التعلم باستخدام واجهة الدماغ والكومبيوتر

يمكن أن تلعب واجهة الدماغ والكومبيوتر دورًا حيويًا في سد فجوة المعرفة وتحسين المهارات التعليمية لدى الطلاب ذوي الإعاقة [32]. وتتمثل نتائج التعلم الأساسية لهذه الدورات في أن الطلاب ذوي الإعاقة يمكنهم:

• تصنيف الأنظمة بناءً على خصائصها وفهم واستغلال الآثار المترتبة على الخطية والثبات الزمني والاستقرار؛

• تحديد واستخدام محولات "فوريه" وطرق تحليل الإشارات الأخرى.

• فهم تطبيق طرق التحكم والخوارزميات النسبية والتكاملية التفاضلية وخصائص عنصر التحكم.

• فهم وتحليل الآثار المترتبة على التصميم والترابط بين الأنظمة المادية وأنظمة التحكم.

• تطوير نماذج رياضية للأنظمة الفيزيائية والتحكمية الحقيقية وإنتاج تطبيقات الرسم التخطيطي للكتل للنماذج الرياضية وطرق التحكم.

• يمكن لواجهة الدماغ والكومبيوتر تقديم تقنية بديلة للتحكم والمشاركة في دورات عبر الإنترنت أثناء الأزمات [33].

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

الخاتمة والعمل المستقبلي

بشكل عام، تربط واجهة الدماغ والكومبيوتر الدماغ بالأجهزة الخارجية. وهي مناسبة لتحسين وتسهيل حياة الجميع. ويمكن استخدام تقنيات هذه الواجهة في العديد من المجالات والتعليم الشامل. حيث تظهر النتائج أن العلماء في جميع أنحاء العالم يقومون بدراسة واجهة الدماغ والكومبيوتر عن كثب. كما توضح هذه الدراسة أن تكنولوجيا واجهة الدماغ والكومبيوتر كانت شائعة الاستخدام للأغراض الطبية. ويمكن اليوم استخدام هذه الواجهة في مجال التعليم في التعلم عن بعد للتحكم في الكمبيوتر للطلاب ذوي الإعاقات الجسدية. ولا تزال هذه التكنولوجيا قيد التطوير ويمكن أن تحقق نتائج ممتازة مع تأثير في المستقبل.

المراجع

[1] M. Zabcikova, Z. Koudelkova, R. Jasek, and J. J. Lorenzo Navarro, “Recent advances and current trends in brain-computer interface research and their applications,” *Int. J. Dev. Neurosci.*, vol. 82, no. 2, pp. 107–123, 2022, doi: 10.1002/jdn.10166.

[2] Lahiri, Anirban, Achraf Othman, Dena A. Al-Thani, and Amani Al-Tamimi. "Mada Accessibility and Assistive Technology Glossary: A Digital Resource of Specialized Terms." In *ICCHP*, p. 207. 2020.

[3] Al Thani, Dena, Amani Al Tamimi, Achraf Othman, Ahmed Habib, Anirban Lahiri, and Shahbaz Ahmed. "Mada Innovation Program: A Go-to-Market ecosystem for Arabic Accessibility Solutions." In *2019 7th International conference on ICT & Accessibility (ICTA)*, pp. 1-3. IEEE, 2019.

[4] P. Aricò, G. Borghini, G. D. Flumeri, N. Sciaraffa, and F. Babiloni, “Passive BCI beyond the lab: current trends and future directions,” *Physiol. Meas.*, vol. 39, no. 8, p. 08TR02, Aug. 2018, doi: 10.1088/1361-6579/aad57e.

[5] C. S. Nam, A. Nijholt, and F. Lotte, *Brain–computer interfaces handbook: technological and theoretical advances*. CRC Press, 2018.

[6] C. D. Binnie and P. F. Prior, “Electroencephalography.,” *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, vol. 57, no. 11, pp. 1308–1319, 1994.

[7] L. S. Prichep and E. R. John, “QEEG profiles of psychiatric disorders,” *Brain Topogr.*, vol. 4, no. 4, pp. 249–257, 1992.

[8] L. F. Nicolas-Alonso and J. Gomez-Gil, “Brain Computer Interfaces, a Review,” *Sensors*, vol. 12, no. 2, Art. no. 2, Feb. 2012, doi: 10.3390/s120201211.

[9] L.-D. Liao *et al.*, “Biosensor Technologies for Augmented Brain–Computer Interfaces in the Next Decades,” *Proc. IEEE*, vol. 100, no. Special Centennial Issue, pp. 1553–1566, May 2012, doi: 10.1109/JPROC.2012.2184829.

[10] A. Andrews, “Integration of Augmented Reality and Brain-Computer Interface Technologies for Health Care Applications: Exploratory and Prototyping Study,” *JMIR Form. Res.*, vol. 6, no. 4, p. e18222, 2022.

[11] M. Prince, “Does Active Learning Work? A Review of the Research,” *J. Eng. Educ.*, vol. 93, no. 3, pp. 223–231, 2004, doi: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x.

[12] J. Katona and A. Kovari, “A Brain–Computer Interface Project Applied in Computer Engineering,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 59, no. 4, pp. 319–326, Nov. 2016, doi: 10.1109/TE.2016.2558163.

[13] M. C. LaPlaca, W. C. Newstetter, and A. P. Yoganathan, “Problem-based learning in biomedical engineering curricula,” in *31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education. Conference Proceedings (Cat. No. 01CH37193)*, 2001, vol. 2, pp. F3E-16.

[14] S. Honeychurch, I. Ikegwuonu, and M. Fletcher, “Team-Based Learning: Optimising active and Collaborative Learning in a blended model of learning and teaching”.

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

[15] M. Kószó, “Projects on environmental education as means and methods to develop abilities used in the training of lower primary teachers,” in *Proc. Projects Environ. Educ.*, 2013, pp. 136–142.

[16] Luu, Trieu Phat, Yongtian He, Sho Nakagome, and Jose L. Contreras-Vidal. "EEG-based brain-computer interface to a virtual walking avatar engages cortical adaptation." In *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 3054-3057. IEEE, 2017.

[17] Hong, Xin, Zhong Kang Lu, Irvin Teh, Fatima Ali Nasrallah, Wei Peng Teo, Kai Keng Ang, Kok Soon Phua, Cuntai Guan, Effie Chew, and Kai-Hsiang Chuang. "Brain plasticity following MI-BCI training combined with tDCS in a randomized trial in chronic subcortical stroke subjects: a preliminary study." *Scientific reports* 7, no. 1 (2017): 1-12.

[18] Buccino, Alessio Paolo, Hasan Onur Keles, and Ahmet Omurtag. "Hybrid EEG-fNIRS asynchronous brain-computer interface for multiple motor tasks." *PloS one* 11, no. 1 (2016): e0146610.

[19] Minguillon, Jesus, M. Angel Lopez-Gordo, and Francisco Pelayo. "Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal." *Biomedical Signal Processing and Control* 31 (2017): 407-418.

[20] Frisoli, Antonio, Claudio Loconsole, Daniele Leonardis, Filippo Banno, Michele Barsotti, Carmelo Chisari, and Massimo Bergamasco. "A new gaze-BCI-driven control of an upper limb exoskeleton for rehabilitation in real-world tasks." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 42, no. 6 (2012): 1169-1179.

[21] Cho, Jeong-Hyun, Ji-Hoon Jeong, Kyung-Hwan Shim, Dong-Joo Kim, and Seong-Whan Lee. "Classification of hand motions within EEG signals for non-invasive BCI-based robot hand control." In *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 515-518. IEEE, 2018.

[22] Van Eyndhoven, Simon, Tom Francart, and Alexander Bertrand. "EEG-informed attended speaker extraction from recorded speech mixtures with application in neuro-steered hearing prostheses." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 64, no. 5 (2016): 1045-1056.

[23] Chen, Xin, Yang Yu, Jingsheng Tang, Liang Zhou, Kaixuan Liu, Ziyuan Liu, Siming Chen et al. "Clinical Validation of BCI-Controlled Wheelchairs in Subjects With Severe Spinal Cord Injury." *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 30 (2022): 579-589.

[24] Gannouni, Sofien, Kais Belwafi, Mohammad Reshood Al-Sulmi, Meshal Dawood Al-Farhood, Omar Ali Al-Obaid, Abdullah Mohammed Al-Awadh, Hatim Aboalsamh, and Abdelfettah Belghith. "A Brain Controlled Command-Line Interface to Enhance the Accessibility of Severe Motor Disabled People to Personnel Computer." *Brain Sciences* 12, no. 7 (2022): 926.

[25] El Ghoul, Oussama, and Achraf Othman. "Virtual reality for educating Sign Language using signing avatar: The future of creative learning for deaf students." In *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 1269-1274. IEEE, 2022.

[26] Kohli, Varun, Utkarsh Tripathi, Vinay Chamola, Bijay Kumar Rout, and Salil S. Kanhere. "A review on Virtual Reality and Augmented Reality use-cases of Brain Computer Interface based applications for smart cities." *Microprocessors and Microsystems* 88 (2022): 104392.

[27] Brandman, David M., Tommy Hosman, Jad Saab, Michael C. Burkhart, Benjamin E. Shanahan, John G. Ciancibello, Anish A. Sarma et al. "Rapid calibration of an intracortical brain–computer interface for people with tetraplegia." *Journal of neural engineering* 15, no. 2 (2018): 026007.

[28] Herweg, Andreas, Julian Gutzeit, Sonja Kleih, and Andrea Kübler. "Wheelchair control by elderly participants in a virtual environment with a brain-computer interface (BCI) and tactile stimulation." *Biological psychology* 121 (2016): 117-124.

[29] Kelly, D., Floreani, E. D., Jadavji, Z., Rowley, D., Zewdie, E. T., Anaraki, J. R., Bahari, H., Beckers, K., Castelane, K., Crawford, L., House, S., Rauh, C. A., Michaud, A., Mussi, M., Silver, J., Tuck, C., Adams, K., Andersen, J., Chau, T., . . . Kirton, A. (2020). Advancing Brain-Computer Interface Applications for Severely Disabled Children Through a Multidisciplinary National Network: Summary of the Inaugural Pediatric BCI Canada Meeting. *Frontiers in Human Neuroscience. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.593883*

[30] Powers, J. Clark, Kateryna Bieliaieva, Shuohao Wu, and Chang S. Nam. "The human factors and ergonomics of P300-based brain-computer interfaces." *Brain sciences* 5, no. 3 (2015): 318-354.

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0

[31] Faller, Josef, Jennifer Cummings, Sameer Saproo, and Paul Sajda. "Regulation of arousal via online neurofeedback improves human performance in a demanding sensory-motor task." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116, no. 13 (2019): 6482-6490.

[32] Khribi, Mohamed Koutheair, Achraf Othman, and Aisha Al-Sinani. "Toward Closing the Training and Knowledge Gap in ICT Accessibility and Inclusive Design Harnessing Open Educational Resources." In *2022 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 289-291. IEEE, 2022.

[33] Tlili, Ahmed, Natalia Amelina, Daniel Burgos, Achraf Othman, Ronghuai Huang, Mohamed Jemni, Mirjana Lazor, Xiangling Zhang, and Ting-Wen Chang. "Remote Special Education During Crisis: COVID-19 as a Case Study." In *Radical Solutions for Education in a Crisis Context*, pp. 69-83. Springer, Singapore, 2021.

نفاذ © 2022 من مركز مدى مرخصة بموجب CC BY-NC-ND 4.0