

Systèmes de communication basés sur les interfaces cerveaux-ordinateurs

Ricardo Ron-Angevin

UMA-BCI Group, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Málaga,
29071 Malaga, Spain

Résumé:

L'objectif des interfaces cerveau-ordinateur est de fournir aux patients d'un nouveau canal de communication et de contrôle non musculaire pour leur permettre de communiquer avec le monde extérieur. Le but de cet article est de présenter les derniers travaux réalisés par le groupe de recherche UMA-BCI de l'Université de Málaga (Espagne), étant l'objectif principal offrir des systèmes de communication, basés sur les paradigmes RCP et RSVP, qui permettent à des patients atteints de la maladie de Charcot de communiquer à travers différentes plateformes.

Mots clés: Interface Cerveaux-Ordinateur ; Systèmes de communication ; Maladie de Charcot ; Potentiel P300

1- Problématique et introduction aux Interfaces Cerveau-Ordinateur

De nombreuses maladies neurologiques peuvent aboutir à de graves situations de handicap, comme par exemple la Sclérose Latérale Amyotrophique (SLA), connue comme la maladie de Charcot. Dans certains cas, ces patients arrivent à un état connu comme *locked-in syndrome*, un état où la personne reste consciente mais est totalement paralysée, sans aucune possibilité de communication avec l'extérieur.

L'incidence de la maladie de Charcot est de 2,9 cas pour 100 000 habitants. Le pic de fréquence se situe entre 65 et 75 ans, mais elle n'est pas exclusive des personnes âgées, pouvant également atteindre à des sujets jeunes. La médiane de survie est de 3 ans.

Quelques technologies permettent à ces patients de pouvoir se communiquer. Par exemple les dispositifs de suivi oculaire (Hansen & Pece, 2004). D'autres systèmes sont contrôlés à travers un joystick spécial au menton, qui pourrait aider l'utilisateur à manipuler une assistance robot, comme présenté dans (Gräser et al., 2013). Dans (Fitzgerald et al, 2009), des capteurs infrarouges ont été utilisés pour détecter les mouvements de la tête afin de contrôler une souris d'ordinateur.

Toutes ces technologies sont très utiles et peuvent bénéficier à de nombreuses personnes handicapées mais ne sont bénéfiques que pour les patients qui maintiennent encore un certain contrôle moteur. Dans les cas où la personne a perdu le contrôle de tous les muscles de son corps (à exception des mouvements oculaires dans certains cas), comme par exemple les patients qui souffrent de la maladie de Charcot, la seule option pour que ces personnes puissent récupérer une certaine autonomie est d'utiliser les systèmes Interface Cerveau-Ordinateur (ICO) ou *Brain-Computer Interface* (BCI) et qui, actuellement, se trouvent en phase expérimentale.

L'objectif des interfaces cerveau-ordinateur est de fournir aux patients d'un nouveau canal de communication et de contrôle non musculaire pour leur permettre de communiquer avec le monde extérieur (Wolpaw et al., 2000). Ces systèmes traduisent l'activité cérébrale d'un individu, généralement les signaux électroencéphalographiques (EEG) enregistrés à travers d'électrodes, en une commande permettant de contrôler un élément extérieur tel qu'un ordinateur, fauteuil roulant ou système de communication.

Il y existe principalement deux types de systèmes BCI: i) ceux qui utilisent comme signal d'entrée des potentiels évoqués, tel que le signal P300 et ii) ceux qui sont basés sur la discrimination de différentes tâches cognitives. Cet article va se baser sur les premiers types de BCI, qui correspondent à des systèmes basés sur les changements de l'activité du cerveau comme réponse à un stimulus, généralement, visuel. Ces systèmes ont l'avantage de ne pas exiger un entraînement trop coûteux pour pouvoir les contrôler mais, cependant, le contrôle du sujet est dépendant de la présentation d'un stimulus. Ces systèmes sont appelés BCI exogène et un exemple d'application est le contrôle d'un clavier virtuel à travers le potentiel P300 (Farwell & Donchin, 1988).

Le premier système de communication basé sur le potentiel P300 a été introduit par Farwell et Donchin. Il s'agit du *Speller BCI*, qui lui, a besoin de mouvements oculaires pour son utilisation. Il consiste d'un clavier virtuel formé par une matrice 6 × 6 de

symboles clignotants affichés sur un écran. Les éléments étaient organisés en lignes et colonnes (paradigme ligne-colonne, *Row-Column Presentation (RCP)*), qui étaient intensifiés de façon aléatoire. Puisque cette matrice se composait de six lignes et six colonnes, 12 flashes étaient nécessaires pour intensifier chacune de ces colonnes et lignes. Afin d'écrire une lettre, le sujet devait concentrer son attention sur la lettre cible, et la tâche demandée était de compter mentalement le nombre de fois que cette lettre flashait. Le clignotement de la ligne et de la colonne qui contenait la cible souhaitée produirait une onde P300 dans les signaux EEG qui serait détectée par le système permettant de localiser la lettre choisie. Dans la plupart de ces systèmes, le nombre de flashes nécessaires pour identifier une lettre était supérieur à deux.

Lorsque le patient ne possède pas un contrôle oculaire lui permettant de focaliser son attention sur une lettre déterminée, ce système reste inefficace. Dans ces cas, il existe une autre modalité basée sur le potentiel P300 qui n'exigent pas de mouvements oculaires. Ces systèmes BCI utilisent un nouveau paradigme connu comme paradigme RSVP (*Rapid Serial Visual Presentation*). Celui-ci consiste à présenter tous les éléments du clavier virtuel de façon séquentiel et aléatoire au centre de l'écran (Acqualagna & Blankertz, 2013). De nouveau, afin de pouvoir sélectionner une lettre, la tâche demandée au sujet consiste à compter mentalement le nombre de fois que la lettre cible apparaît sur l'écran, évoquant chaque fois un potentiel P300. Dans ces systèmes, le temps nécessaire pour sélectionner une lettre est, généralement, bien plus élevée que les systèmes basés sur le paradigme RCP, étant le temps pour flasher toutes les lettres, plus élevé.

Le but de cet article est de présenter les derniers travaux réalisés par le groupe de recherche UMA-BCI de l'Université de Málaga (Espagne), étant l'objectif principal offrir des systèmes de communication, basés sur les paradigmes RCP et RSVP, qui permettent à des patients atteints de la maladie de Charcot de communiquer à travers différentes plateformes.

2- Système de communication basé sur le prédicteur T9

2.1- Description du système

Comme il a été dit, le premier système de communication basé sur le potentiel P300 a été introduit par Farwell et Donchin (Farwell & Donchin, 1988). Il consiste d'un clavier virtuel formé par une matrice 6 × 6 de symboles clignotants affichés sur un écran (paradigme ligne-colonne, *Row-Column Presentation (RCP)*). Puisque cette matrice se composait de six lignes et six colonnes, 12 flashes étaient nécessaires pour intensifier chacune de ces colonnes et lignes. Une façon de réduire le temps de sélection d'une lettre et, par conséquent, le temps d'écriture, est de diminuer la taille de la matrice que forme le clavier virtuel.

Une des premières propositions du groupe de recherche UMA-BCI pour essayer de réduire le temps d'écriture a été basée sur le développement d'un système BCI qui

utilisait un clavier virtuel plus réduit, particulièrement, un clavier virtuel basé sur une matrice de 4 x 3. Dans ce clavier, avec 4 colonnes et 3 files, rien que 7 flashes étaient nécessaires pour intensifier chacune de ces colonnes et lignes, permettant de réduire le temps d'écriture presque à la moitié. Évidemment, un clavier de 12 éléments ne pouvait pas afficher toutes les lettres de l'alphabet, c'est pour cela que le système était basé sur le prédicteur T9 des téléphones portables [Grover et al, 1998].

Sur ce clavier virtuel, formée par 12 touches (voir figure 1), uniquement 8 de ces touches – celles identifiées avec les chiffres 2 à 9 – sont utilisées pour écrire. Chacune de ces touches correspond à 3 ou 4 lettres de l'alphabet. Au fur et à mesure que le sujet choisit une touche, le système détermine tous les mots possibles que peuvent être formés avec la combinaison des lettres des touches sélectionnées. De toutes ces combinaisons, le système affiche sur une fenêtre située au dessous du clavier, le mot le plus fréquemment utilisé (voir figure 1a). Si ce mot est celui désiré, le sujet doit l'accepter en sélectionnant la touche 0 (« *espacio* »). Avec ceci, le mot s'affiche sur la fenêtre d'écriture en incluant un espace. Dans un autre cas, si le mot proposé par le système n'est pas le mot désiré, le sujet doit sélectionner la touche C (« *cambiar* », en espagnol, « changer »). Avec ceci, un nouveau clavier virtuel avec les 4 mots plus fréquemment utilisés se présente sur l'écran (figure 1b).

Par exemple, une fois sélectionner la séquence des touches 2272, le mot *casa* (maison en espagnol) s'affiche sur la fenêtre. Si le sujet choisi ensuite la touche C, alors les mots *casa*, *cara*, *capa* et *basa* sont montrés sur le nouveau clavier (voir figure 1b), pouvant le sujet sélectionner le mot désiré. Autrement, il peut revenir en arrière en sélectionnant la flèche (« *volver* », revenir en espagnol).



Figure 1. (a) Clavier virtuel basé sur le prédicteur T9 de dimension de 4 x 3. La fenêtre au-dessous du clavier propose le mot de 4 lettres utilisé plus fréquemment selon les touches 2272 (« *casa* »). Sur la fenêtre de gauche, le système propose un mot plus long et plus fréquemment utilisé et qui commence avec les lettres selon la combinaison 2272 (« *barcelona* »). (b) Si le mot de 4 lettres proposé par le système (« *casa* ») ne convient pas au sujet, en sélectionnant la touche C, le système propose d'autres mots.

Afin d'augmenter le taux d'écriture, le prédicteur de texte peut également proposer dans une autre fenêtre située à gauche du clavier virtuel, d'autres mots plus longs utilisés plus fréquemment. Par exemple, dans la Figure 1, le prédicteur propose, d'un côté, le mot de 4 lettres qui est plus fréquemment utilisé avec la combinaison des lettres selon les touches 2272 (« casa ») et, d'un autre côté, un mot plus long et plus fréquemment utilisé selon les mêmes touches 2272. Dans cet exemple, le mot proposé par le prédicteur est « *barcelone* ». Si celui-ci est le mot que le sujet veut écrire, il n'a qu'à sélectionner ensuite la touche 1 (« *validar* ») pour valider le mot. Finalement, la touche X (« *borrar* ») est utilisée pour effacer une lettre.

2.2- Procédure et résultats

Un total de 12 sujets a participé dans l'évaluation de ce système : 11 sujets sains et un sujet atteint de la maladie de Charcot (sclérose latérale amyotrophie). Le but était de comparer les résultats obtenus pendant une tâche d'écriture entre la proposition basée sur le prédicteur T9 et un clavier virtuel conventionnel basé sur celui proposé par Farwell et Donchin. La population des sujets sains était formée par huit hommes et 3 femmes, âgés de 19-36 ans, moyenne 26.2 ± 4.64 . Le sujet atteint de la maladie de Charcot était une femme de 62 ans qui souffrait de la maladie depuis 4 ans.

Chaque session expérimentale était divisée en deux phases. Une première phase de pré-calibrage était effectuée au début de l'expérience pour déterminer si l'individu était capable de maîtriser bien le système et arriver au 100% de performance BCI. La deuxième phase était la phase d'écriture, étant la finalité écrire la phrase « *Experiencia bci en la universidad de malaga* » (Expérience BCI à l'université de Málaga).

Les sujets sains ont participé dans deux sessions, une pour tester le système proposé (T9-BCI) et une autre pour réaliser la même tâche sur le système de référence : le clavier virtuel basé sur celui de Farwell et Donchin (Speller-BCI). Le patient n'a pu que participer à une seule session pour évaluer le système proposé.

Le temps employé pour écrire la phrase est le paramètre le plus intéressant à évaluer. Les résultats obtenus ont montré que les participants écrivaient à une vitesse beaucoup plus haute en utilisant le T9-BCI (moyenne 585 s) par rapport au Speller-BCI (moyenne 1612.5 s) [Ron-Angevin et al, 2015]. En ce qui concerne la patiente, celle-ci a eu besoin d'un temps de 663 s pour écrire la phrase avec le T9-BCI, un temps très similaire à celui employé par les sujets sains.

Il est évident que le clavier basé sur le prédicteur T9 est significativement plus rapide que le clavier conventionnel, autant pour des sujets sains que pour des sujets atteints de la maladie de Charcot.

3- Système de communication basé sur le paradigme RSVP : stimulation avec images

3.1- Antécédents

Comme il a été déjà dit, les systèmes de communications plus étendus sont ceux basés sur la détection du potentiel P300 de l'activité cérébrale (*P300-BCI*), existant deux modalités : i) paradigme RCP : un clavier virtuel formé par une matrice de symboles (lettres généralement) affichés sur un écran et dont les files et les colonnes sont intensifiés de façon aléatoire (Farwell & Donchin, 1988), ii) paradigme RSVP : tous les éléments du clavier virtuel sont présentés de façon séquentielle et aléatoire au centre de l'écran (Acqualagna & Blankertz, 2013).

Les systèmes BCI basés sur le paradigme RSVP sont la seule option possible lorsque le patient ne possède pas un contrôle oculaire lui permettant de focaliser son attention sur une lettre déterminée. Malheureusement, dans ces systèmes, le temps nécessaire pour sélectionner une lettre est, généralement, bien plus élevée que les systèmes basés sur le paradigme RCP, étant le temps pour flasher toutes les lettres, plus élevé.

Par défaut, les stimulus visuels dans un *P300-BCI* correspondent à l'intensification (paradigme RCP) ou l'apparition (paradigme RSVP) des lettres du clavier virtuel. Pourtant, des études relativement récentes menées sur le paradigme RCP ont prouvé que stimuler avec des images de visages célèbres améliorerait la performance de ces systèmes (Kaufmann et al., 2013), pouvant ces stimulus évoquer un potentiel P300 de plus haute intensité.

La finalité cette deuxième proposition est le design d'un clavier virtuel permettant d'optimiser les performances d'un système de communication lorsque le participant ne possède pas de contrôle oculaire. Le but est donc d'étudier s'il est possible d'améliorer la performance d'un système BCI basée sur le paradigme RSVP en stimulant avec des images de célébrités.

3.2- Description du système

Le système à tester consistait en un clavier virtuel basé sur le paradigme RSVP. Au lieu de stimuler avec toutes les lettres de l'alphabet (un minimum de 26 stimulus est nécessaire), afin de réduire le temps de sélection d'un symbole et donc, le temps de passation, le clavier se basait sur un clavier de 9 symboles et donc, de 9 stimulus. Puisque la finalité de cette proposition était d'étudier l'effet de stimuler avec des images, une étude comparative avec un clavier basé sur le paradigme RSVP conventionnel, c'est-à-dire, basée sur des stimulus en forme de lettres, a été menée.

Les paradigmes RSVP proposés sont ceux montrés sur la figure 2. Le clavier virtuel basé sur le paradigme de référence (stimulus en forme de lettre) utilisait les lettres suivantes : A, B, C, E, L, M, O, R et S (figure 2a). En ce qui concerne le clavier virtuel basé sur la stimulation de visages célèbres, chacun de ces visages furent choisi de façon que le nom de famille devait commencer par la même lettre employée dans le clavier de référence : Woody Allen pour la lettre « A », Hilary Clinton pour la lettre « C », etc.

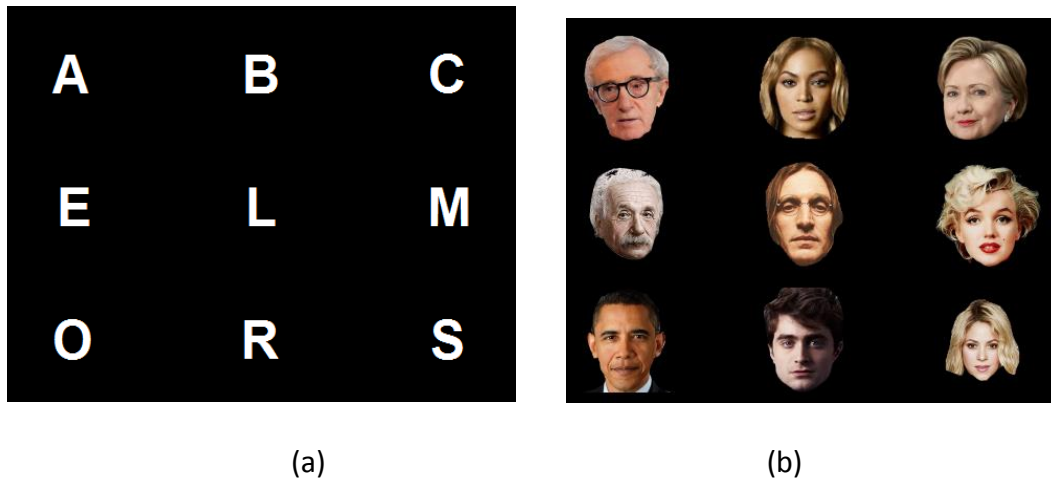


Figure 2 : Proposition de paradigme RSVP pour le clavier virtuel de référence (a) et celui basé sur la stimulation de visages de célébrités (b).

3.3- Procédure et résultats

Un total de 12 sujets (étudiants français) sains a participé dans cette étude (âge moyenne 19.91 ± 0.83). Aucun n'avait expérience sur les systèmes BCI.

L'expérimentation consistait en une seule session où les deux conditions (claviers) furent évaluées. De nouveau, chaque condition était divisée en deux phases, étant la première phase de calibrage. Dans cette phase de calibration, le nombre de flashes nécessaires pour obtenir 100% de performance était adapté à chaque participant pour la deuxième phase : la phase d'écriture. Dans cette deuxième phase, les participants devaient écrire 3 mots de 4 lettres : « *MALE* », « *ROSE* » et « *BOLS* ». Ceci dit, le nombre de sélections était de 12 lettres.

Le taux de performance (en pourcentage) ainsi que le taux d'écriture (en bits/min) ont été évalués. En ce qui concerne le taux d'écriture (*Information Transfer Rate, ITR*, Wolpaw et al., 1998), celui-ci est un paramètre très employé dans les *P300-BCI* pour mesurer la vitesse de communication de ces systèmes. Les résultats obtenus (Ron-Angevin et al., 2021) ont montré une meilleure performance ainsi qu'un taux d'écriture plus élevé des participants en utilisant le paradigme basé sur les célébrités (90.53 ± 9.33 % et 17.2 ± 5.86 bits/min respectivement) par rapport au paradigme basé sur les lettres (85.24 ± 9.74 % et 13.27 ± 5.13 bits/min respectivement).

Ces résultats montrent que la stimulation joue un rôle très important dans ces systèmes de communication, pouvant améliorer la performance mais, surtout, le taux d'écriture.

4- Conclusions

Dans cet article, deux propositions différentes de systèmes de communication basés sur le potentiel P300 ont été présentés : une première proposition basée sur le paradigme RCP et une deuxième basée sur le paradigme RSVP. Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'améliorer l'efficacité de ces systèmes en réduisant le temps d'écriture et en augmentant la performance. Ces études suggèrent qu'il faut encore travailler dans cette ligne afin de fournir des systèmes de communication plus efficace qui permettent à des patients atteints de la maladie de Charcot de communiquer, étant cette tâche indispensable pour leur offrir une meilleure qualité de vie.

Remerciements

Ce travail a été partiellement financé par le projet SICCAU: RTI2018-100912-B-100 (MCIU/AEI/FEDER, UE) et l'Université de Malaga ("Universidad de Málaga").

This work was partially supported by the project SICCAU: RTI2018-100912-B-100 (MCIU/AEI/FEDER, UE) and by the University of Malaga ("Universidad de Málaga").

Références

- Hansen, D. W., & Pece, A. (2004). Eye typing off the shelf. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2004.1315158>
- Gräser, A., Heyer, T., Fotoohi, L., Lange, U., Kampe, H., Enjarini, B., Heyer, S., Fragkopoulos, C., & Ristić-Durrant, D. (2013). A supportive FRIEND at work: Robotic workplace assistance for the disabled. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 20(4), 148–159. <https://doi.org/10.1109/MRA.2013.2275695>
- Fitzgerald, M. M., Sposato, B., Politano, P., Hetling, J., & O'Neill, W. (2009). Comparison of three head-controlled mouse emulators in three light conditions. *AAC: Augmentative and Alternative Communication*, 25(1), 32–41. <https://doi.org/10.1080/07434610802640745>
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., Heetderks, W. J., McFarland, D. J., Peckham, P. H., Schalk, G., Donchin, E., Quatrano, L. A., Robinson, C. J., & Vaughan, T. M. (2000). Brain-computer interface technology: A review of the first international meeting. In *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* (Vol. 8, Issue 2, pp. 164–173). <https://doi.org/10.1109/TRE.2000.847807>

- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70(6), 510–523. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90149-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90149-6)
- Acqualagna, L., & Blankertz, B. (2013). Gaze-independent BCI-spelling using rapid serial visual presentation (RSVP). *Clinical Neurophysiology*, 124(5), 901–908. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.12.050>
- Grover, D L, King M T & Kushler C. A. (1998). Reduced keyboard disambiguating computer U.S Patent 5 818 437
- Ron-Angevin, R., Varona-Moya, S. & da Silva-Sauer, L. (2015). Initial test of a T9-like P300-based speller by an ALS patient., In *Journal of Neural Engineering* 12 046023. [doi:10.1088/1741-2560/12/4/046023](https://doi.org/10.1088/1741-2560/12/4/046023)
- Kaufmann, Tobias, Schulz, S. M., Köblitz, A., Renner, G., Wessig, C., & Kübler, A. (2013). Face stimuli effectively prevent brain-computer interface inefficiency in patients with neurodegenerative disease. *Clinical Neurophysiology*, 124(5), 893–900. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.11.006>
- Wolpaw, J. R., Ramoser, H., McFarland, D. J., & Pfurtscheller, G. (1998). EEG-based communication: improved accuracy by response verification. *IEEE Trans. Rehabil. Eng.* 6, 326–333. doi: 10.1109/86.712231
- Ron-Angevin R, Medina-Juliá MT, Fernández-Rodríguez Á, Velasco-Álvarez F, Andre JM, Lespinet-Najib V & Garcia L. (2021). Performance Analysis with different types of visual stimuli in a BCI-Based Speller under an RSVP paradigm. *Front Comput Neurosci.* <https://doi.org/10.3389/fncom.2020.587702>