

Offre de thèse de doctorat
sur les interfaces cerveau-ordinateur (systèmes embarqués/neurosciences)
Date limite de candidature: 30/11/2020

Où: Nancy / Metz et Rennes, France

Quand: décembre 2020 (durée de 3 ans)

Avec qui: Laurent Bougrain (Univ. Lorraine / LORIA) & Stéphanie Fleck (Univ. Lorraine / Perseus) & Anatole Lécuyer (Inria)

Mots-clés

Interfaces cerveau-ordinateur, Interaction Homme-Machine (IHM), Conception centrée utilisateur, Retour haptique, Rééducation, Déficiences motrices, Electroencéphalographie, Accident vasculaire cérébral, Imagination motrice kinesthésique.

Problématique de recherche

L'objectif de cette thèse est de co-concevoir et évaluer une interface cerveau-ordinateur basée sur l'imagination motrice kinesthésique (IMK) intégrant des retours à la fois visuel et haptique. Cette interface est prévue pour soutenir l'activité cérébrale motrice engagée lors de la tâche d'IMK, avec pour finalité d'améliorer la rééducation du membre supérieur chez les patients victimes d'AVC en sollicitant plus complètement la boucle sensorimotrice intervenant dans le contrôle d'un mouvement.

Thématiques /Domaine /Contexte

L'accident vasculaire cérébral est la principale cause d'invalidité acquise chez les adultes. Un accident vasculaire cérébral se produit toutes les 4 minutes en France. Que le vaisseau soit obstrué ou déchiré, le sang, et donc l'oxygène qu'il transporte, n'arrive plus aux neurones. Ceux-ci dépérissent rapidement et n'assurent plus leur fonction. Dans 50% des cas, des séquelles importantes apparaissent comme des troubles du langage, de la vision ou du contrôle moteur. Dans ce dernier cas, il est possible de stimuler les neurones par des exercices pour développer de nouveaux réseaux qui compenseront en partie le handicap. Pour stimuler les neurones moteurs, les chercheurs s'intéressent à l'imagination motrice kinesthésique (IMK), c'est-à-dire à la capacité de réaliser mentalement un mouvement sans réellement l'effectuer. Lors d'une imagination motrice, la puissance des oscillations dans les bandes de fréquences alpha et bêta est modulée en fonction du temps comme lors d'un mouvement réel. Plus précisément, au sein des signaux électroencéphalographiques (EEG), il est possible d'observer des désynchronisations neuronales (ERD, Event-related desynchronization) pendant l'acte moteur et des synchronisations neuronales (ERS, Event-related synchronization) après celui-ci.

Pour répondre aux questions de recherche et aux défis technologiques associés aux enjeux de la rééducation post-AVC, les travaux associant les neurosciences aux questions d'interactions homme-machine (IHM) et de conception pédagogique (ID) constituent une approche innovante et importante du défi de santé publique que représente la réadaptation des

victimes d'accidents vasculaires cérébraux. Dans ce cadre, les Interfaces Cerveau-Ordinateur (Brain-Computer Interface ou BCI en anglais) permettent de mesurer l'activité cérébrale, par exemple, via l'électroencéphalographie (EEG) et de fournir à des personnes, notamment avec de fortes déficiences motrices, un neurofeedback témoin sur la qualité de l'activité cérébrale qu'elle produise. Par extension, il devient possible d'apprendre à l'amplifier pour améliorer la rééducation motrice.

Le projet ANR GRASP-IT dans lequel s'inscrit cette thèse vise ainsi à soutenir la rééducation du contrôle des membres supérieurs en améliorant la génération d'imagerie motrice kinesthésique (IMK) de patients cérébrolésés post-AVC. Cette approche repose sur un programme de rééducation gamifié soutenu par une interface cerveau-machine (Brain-Computer Interface en anglais – BCI) fournissant à ses utilisateurs des stimulations et des retours visuels, tangibles et haptiques dans un environnement unifié. L'objectif à termes est que cette BCI innovante basée sur l'imagination motrice intègre des modalités complémentaires d'interactions telles que des interactions tangibles et haptiques dans une orthèse flexible imprimable en 3D.

Méthode

Pour atteindre ces objectifs au sein du projet ANR Grasp-IT, le doctorant aura notamment la charge de :

- Etape 1 : Concevoir une interface hapto-tangible s'intégrant dans une orthèse et couplable à la BCI, fournissant différents neurofeedbacks visuo-haptiques à valider chez le patient ;
- Etape 2 : Évaluation du potentiel des solutions proposées en termes d'acceptabilité, utilisabilité et expérience utilisateur positive mais aussi en termes d'amélioration des processus de rééducation ;
- Etape 3 : validation de la solution proposée ;
- Etape 4 : Intégration de la solution hapto-tangible à la BCI multimodale ;
- Etape 5 : Évaluation de la BCI multimodale finale en termes d'utilisabilité (y compris l'efficacité pour la stimulation du cortex moteur), d'acceptabilité, et d'expérience utilisateur auprès de patients hémipariés.

De la conception au développement et à l'évaluation des techniques d'interaction, ce travail intègre les spécificités des patients-utilisateurs dans leur diversité (âge, nature du handicap moteur, sensoriel, cognitif, etc.). Ce travail s'appuie sur un premier prototype fonctionnel déjà développé par les membres du consortium, et s'effectuera en collaboration avec les équipes de recherche, d'ingénieurs et de thérapeutes impliquées dans le projet ANR GRASP-IT.

Résultat attendu

En termes de produits technologiques, les prototypes d'interfaces seront fonctionnels, acceptables et générant des expériences utilisateurs positives. Les environnements conçus répondront aux besoins réels d'utilisateurs en contexte d'usage (i.e., les patients cérébrolésés, leurs thérapeutes).

En termes de résultats scientifiques, les neurofeedback devraient soutenir la rééducation d'un trouble moteur des membres supérieurs terminaux (e.g., attraper, pincer, lâcher, etc.) et être porteur de sens pour accompagner la progression dans le programme de rééducation gamifié.

Partenaires

Les partenaires du projet GRASP-IT sont :

- U. Lorraine/LORIA-Inria/Neurorhythms (<https://neurosys.loria.fr/research/>);
- U. Lorraine/Perseus (<https://perseus.univ-lorraine.fr/>);
- Inria Hybrid (<https://team.inria.fr/hybrid/>) ;
- Inria Camin (<https://team.inria.fr/camin/>) ;
- le centre de médecine physique et de réadaptation pour adultes de Lay Saint Christophe - Lorraine ;
- le CHU de Rennes ;
- le CHU de Toulouse ;
- et l'entreprise Open Edge - Lorraine.

Profil du candidat

Le ou la candidat.e doit avoir une solide expérience des systèmes embarqués et des interactions. En particulier, les qualités et compétences suivantes seront très appréciées, voire requises :

- * Bases solides sur les systèmes embarqués et les interactions (requis) ;
- * Connaissance en neurosciences / interfaces cerveau-ordinateur et apprentissage automatique ;
- * Expérience antérieure en neurosciences expérimentales / interfaces cerveau-ordinateur ou a minima en fouille de données ;
- * Expérience en programmation (Python ou langage similaire);
- * Bonnes compétences en lecture / expression orale en anglais et en français (pour interagir avec les patients).

Comment candidater ?

Merci d'envoyer votre candidature (CV, lettre de motivation et le nom et email d'une ou deux personnes pouvant fournir une lettre de recommandation) à Laurent Bougrain (laurent.bougrain@loria.fr), Stéphanie Fleck (stephanie.fleck@univ-lorraine.fr) et Anatole Lécuyer (anatole.lecuyer@inria.fr) avant le 30/11/2020.

Références bibliographiques

- [1] Haute autorité de santé (2012) Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. Recommandation de bonnes pratiques.
- [2] L. Avanzino, A. Giannini, A. Tacchino, E. Pelosin, P. Ruggeri, and M. Bove (2009) Motor imagery influences the execution of repetitive finger opposition movements, *Neuroscience Letters*, vol. 466, no. 1, pp.11–15
- [3] C. Neuper and G. Pfurtscheller (1999) *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Event-related desynchronization*. Elsevier, ch. Motor imagery and ERD, pp. 303–325.

- [4] J. Wolpaw et E. W. Wolpaw (2012) Ed., Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice. Oxford university press
- [5] Williamson, J., Murray-Smith, R., Blankertz, B., Krauledat, M., & Müller, K.-R. (2009). Designing for uncertain, asymmetric control: Interaction design for brain-computer interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(10), 827-841.
- [6] C. Neuper, G. Pfurtscheller (2010) Brain-Computer Interfaces Neurofeedback Training for BCI Control. *Frontiers Collection*, 65-78.
- [7] F. Cincotti et al. (2012) EEG-based Brain-Computer Interface to support post-stroke motor rehabilitation of the upper limb, 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, San Diego, CA, , pp. 4112-4115.
- [8] T. Corbet, R. Leeb, A. Biasiucci, H. Zhang, S. Perdikis, J.d.R. Millán (2016) BCI-NMES therapy enhances effective connectivity in the damaged hemisphere in stroke patients. *International Brain-Computer Interface Meeting 2016*
- [9] Gomez-Rodriguez M1, Peters J, Hill J, Schölkopf B, Gharabaghi A and M. Grosse-Wentrup (2011) Closing the sensorimotor loop: haptic feedback facilitates decoding of motor imagery. *J Neural Eng.* Jun;8(3)
- [10] S. Rimbart, N. Gayraud, L. Bougrain, M. Clerc, S. Fleck (2019) Can a Subjective Questionnaire Be Used as Brain-Computer Interface Performance Predictor? *Frontiers in Human Neuroscience*, *Frontiers*, 12, pp.11.
- [11] S. Rimbart, L. Bougrain, S. Fleck (2020) Learning How to Generate Kinesthetic Motor Imagery Using a BCI-based Learning Environment: a Comparative Study Based on Guided or Trial-and-Error Approaches. *Systems Man and Cybernetics*, Toronto, Canada.
- [12] S. Rimbart, S. Fleck, J. Nex, and L. Bougrain (2016) Nécessité d'un protocole d'apprentissage progressif pour la maîtrise d'une imagination motrice après un AVC. In *Proceedings of the 28eme conférence francophone sur l'Interaction Homme- Machine*, (2016)
- [13] S. Rimbart, L. Bougrain, R. Orhand, J. Nex, S. Gaborit, and S. Fleck (2017) Grasp-it: une interface cerveau-ordinateur pour l'amélioration de l'apprentissage d'une tâche d'imagination motrice kinesthésique. In *Proceedings of the 29eme conférence francophone sur l'Interaction Homme- Machine*.