

ΠΡΟΣ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
(23/07/2025)

ΣΧΟΛΗ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

του μεταδιδακτορικού ερευνητή ΚΟΝΤΟΠΟΔΗ ΛΕΥΤΕΡΗ

στο γνωστικό αντικείμενο:

«Συγκριτική μελέτη αναγνώρισης συναισθήματος από δεδομένα EEG και fNIRS»

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

ΣΚΟΥΡΟΛΙΑΚΟΥ ΚΑΤΕΡΙΝΑ

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μεταδιδακτορικής έρευνας είναι η συγκριτική μελέτη δύο διαφορετικών μεθόδων (EEG και fNIRS) συλλογής δεδομένων για την αναγνώριση του συναισθήματος του εξεταζόμενου ατόμου. Κατά την πειραματική διαδικασία θα συλλεχθούν δεδομένα από 2 διαφορετικές μεθόδους, α) EEG, και β) fNIRS. Στην συνέχεια μέσω κατάλληλων υπολογιστικών μοντέλων θα αναλυθούν τα 2 σύνολα δεδομένων και θα γίνει υπολογισμός της εκτίμησης του συναισθήματος του εξεταζόμενου. Στη συνέχεια θα γίνει συγκριτική μελέτη διασταυρώνοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τις γνωστές συναισθηματικές καταστάσεις του ερεθίσματος. Σκοπός της έρευνας είναι η συγκριτική μελέτη των δύο μεθόδων για την δημιουργία ενός σταθερού και αξιόπιστου συστήματος αναγνώρισης συναισθήματος, με κύριες εφαρμογές στην ψυχιατρική αλλά και στον τομέα επικοινωνίας ανθρώπου – μηχανής (brain – computer interface - BCI), ενώ μελλοντική κατεύθυνση της παρούσας πρότασης μπορεί να αποτελέσει η υλοποίηση ενός πολυτροπικού συστήματος αναγνώρισης συναισθήματος χρησιμοποιώντας συνδυαστικά τις δύο τεχνικές που θα εξεταστούν στην παρούσα μεταδιδακτορική έρευνα.

Πεπραγμένα

Κατά την διάρκεια της παρούσας μεταδιδακτορικής έρευνας, έχουν γίνει διάφορες ενέργειες με σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου, καθώς και την μελέτη των συναισθηματικών του καταστάσεων.

Συγκεκριμένα, έχουν δημοσιευθεί ένα άρθρο σε περιοδικό, δύο άρθρα σε συνέδρια, και μία παρουσίαση σε συνέδριο. Επίσης έχει κατατεθεί μία πρόταση χρηματοδότησης, ενώ υπάρχουν δύο προπτυχιακές και μία μεταπτυχιακή διπλωματική υπό την επίβλεψή μου. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι εργασίες αυτές.

Στο άρθρο που δημοσιεύθηκε από την ομάδα¹ έγινε μελέτη για την εκτίμηση της γνωστικής ανθεκτικότητας των ατόμων με χρήση δεδομένων ΗΕΓ και υπολογιστικές μεθόδους Μηχανικής

¹ Kakkos, Ioannis, et al. "EEG-Based Assessment of Cognitive Resilience via Interpretable Machine Learning Models." *AI6.6* (2025): 112.

Μάθησης (MM). Για τον παραπάνω σκοπό έγιναν καταγραφές ΗΕΓ σε άτομα επίλεκτης μονάδας του στρατού κατά την διάρκεια μιας απαιτητικής περιόδου της εκπαίδευσής τους. Στην συνέχεια τα σήματα διαχωρίστηκαν σε δύο μέρη βάσει της χρονικής περιόδου που ελήφθησαν, στην αρχική στρεσογόνα κατάσταση και στην μεταβατική φάση της ανάρρωσης. Σε κάθε μία από τις δύο παραπάνω φάσεις, εξήχθησαν διάφορα χαρακτηριστικά φασματικής συχνότητας ισχύος στις διάφορες χαρακτηριστικές ζώνες συχνοτήτων (δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμα). Στην συνέχεια τα παραπάνω σήματα χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση διάφορων μοντέλων MM (Decision Tree, Random Forest, AdaBoost, XGBoost) για την ταξινόμηση των καταγραφών στις αντίστοιχες κατηγορίες. Ο XGBoost έδωσε την καλύτερη ακρίβεια (0.95) ενώ ο Shapley Additive Explanations (SHAP) ταυτοποίησε την ζώνη δέλτα και άλφα ως τις κύριες ζώνες που συνεισφέρουν με τον διαχωρισμό.

Στο άρθρο που δημοσιεύθηκε στο συνέδριο SMAP² συντάχθηκε ένα πρωτόκολλο λήψης ΗΕΓ, έγινε λήψη σε 5 άτομα, και στην συνέχεια αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι MM για την ταυτοποίηση των σημάτων στις διαφορετικές νοητικές διεργασίες. Πιο συγκεκριμένα, τα άτομα πήραν μέρος σε τρία διαφορετικά πειράματα, το βασικό που μετρούσαν από το 1 έως το 5 ανά δύο δευτερόλεπτα, την δοκιμασία λεκτικής ευχέρειας (Verbal Fluency Tests) και την δοκιμασία Λογικής με συμπλήρωση τεστ RAPM, ενώ καθ' όλη την διάρκεια γινόταν λήψη των ΗΕΓ τους σημάτων. Στην συνέχεια έγινε στατιστική ανάλυση καθώς και εκπαίδευση διάφορων μοντέλων MM για την κατηγοριοποίηση των παραπάνω σημάτων στις διάφορες κατηγορίες με χρήση μόνο των ηλεκτροδίων από τον προμετωπιαίο λοβό. Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψε ότι οι αλγόριθμοι MM μπόρεσαν να κατηγοριοποιήσουν με ακρίβεια τις εγκεφαλικές καταγραφές στις διάφορες νοητικές κατηγορίες.

Στο άρθρο που δημοσιεύθηκε στο συνέδριο GENEDIS³, αναπτύχθηκε περαιτέρω η μελέτη που είχε προηγουμένως δημοσιευθεί στο SMAP², εξετάζοντας το σύνολο των ΗΕΓ καταγραφών, από τα 20 ηλεκτρόδια που ήταν διαθέσιμα. Ο διαχωρισμός των δύο κλάσεων ως προς την καταγραφή βάσης (baseline) ήταν απόλυτα επιτυχημένος με την χρήση δεδομένων ενός μόνο ηλεκτροδίου, οπότε η έρευνα εστίασε στον διαχωρισμό των δύο άλλων κλάσεων, την Δοκιμασία Λεκτικής Ευχέρειας και την Δοκιμασία Λογικής. Για αυτόν τον διαχωρισμό συνδυάστηκε η πληροφορία από πολλαπλά ηλεκτρόδια. Πιο συγκεκριμένα, τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά για αυτόν τον διαχωρισμό ήταν η ζώνη συχνοτήτων βήτα και θήτα, η μέση ενέργεια Teager, ο αριθμητικός μέσος των μετρήσεων, ο μέσος όρος των μετρήσεων και η μέγιστη τιμή των μετρήσεων, επιτυγχάνοντας ακρίβεια έως και 96% για τον διαχωρισμό των ανά δύο κλάσεων.

Στην έρευνα που δημοσιεύτηκε στο 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιατρικής Φυσικής⁴ έγινε λήψη δεδομένων Λειτουργικής Απεικόνισης Εγγύς Υπερύθρου (fNIRS) σε δύο άτομα που πήραν μέρος σε

² Lefteris, Kontopodis E., et al. "A computational framework for discriminating among different cognitive workloads in EEG signals." 2024 19th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization (SMAP). IEEE, 2024.

³ Kontopodis Eleftherios et al., "Machine Learning framework for automatic cognitive task classification using dry electrode EEG data"accepted, to be published in Advances in Experimental Medicine and Biology (AEMB)

⁴ Christodoulos Serafeim, Veatriki Nikoudi, Ioannis Kakkos, Eleftherios Kontopodis, Ioannis Kalatzis, Aikaterini Skouroliaou, "Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS) neuroimaging of the prefrontal lobe: Acquisition and processing protocols", 2nd Panhellenic Congress of Medical Physics, Athens, 2024, Eugenides Foundation.

τρεις γνωστικές δοκιμασίες, την Βασική Δοκιμασία στην οποία μετρούσαν από το 1 έως το 5, την Δοκιμασία Λεκτικής Ευχέρειας κατά την οποία έγιναν τεστ λεκτικής και την Δοκιμασία Λογικής όπου τα άτομα έλαβαν μέρος σε τεστ που χρησιμοποίησαν λογικούς συνειρμούς για την επίλυση παζλ. Αφού έγινε η λήψη δεδομένων και μετά από κατάλληλη επεξεργασία των σημάτων για αφαίρεση θορύβου κλπ., ακολούθησε στατιστική ανάλυση όπου έγινε εμφανές ότι είναι δυνατή η ταυτοποίηση του τεστ που διενεργούσε το εξεταζόμενο άτομο από τα σήματα που συλλέχθηκαν.

Επίσης έχει κατατεθεί μία πρόταση χρηματοδότησης ερευνητικής εργασίας στην Δράση 1 του Εθνικού Προγράμματος Χρηματοδότησης του Ταμείου Ανάκαμψης & Ανθεκτικότητας «Εμπιστοσύνη στα Αστέρια μας» με τίτλο: «**Προσωποποιώ**» με επιστημονικό υπεύθυνο τον μεταδιδάκτορα Κοντοπόδη Λευτέρη και επιβλέπουσα την καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής του ΠΑ.Δ.Α. Κατερίνα Σκουρολιάκου. Η παραπάνω ερευνητική πρόταση σκοπεύει να υλοποιήσει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα δημιουργίας 3D εικόνων προσώπων σε πραγματικό χρόνο, εξατομικευμένων στις προτιμήσεις του χρήστη, χρησιμοποιώντας ανάδραση ηλεκτροφυσιολογικών σημάτων ΗΕΓ και αξιοποιώντας καινοτόμες τεχνικές μηχανικής μάθησης, μαθηματικής μοντελοποίησης του προσώπου και βέλτιστου ελέγχου του παραπάνω συστήματος. Το σύστημα αυτό ουσιαστικά θα αποτελείται από τρία επιμέρους υποσυστήματα: α) το σύστημα μαθηματικής μοντελοποίησης και ψηφιακής αναπαράστασης του προσώπου, β) το σύστημα εκτίμησης της συναισθηματικής κατάστασης που προκαλεί το απεικονιζόμενο πρόσωπο στο υπό εξέταση άτομο, βασιζόμενο κυρίως σε δεδομένα νευροανάδρασης και γ) το σύστημα βέλτιστης αλλαγής των παραμέτρων του προσώπου με σκοπό την δημιουργία της επιθυμητής συναισθηματικής κατάστασης στο εξεταζόμενο άτομο. Η παραπάνω ερευνητική πρόταση χρηματοδότησης βρίσκεται στο στάδιο αξιολόγησης.

Τέλος έχουν ανατεθεί διπλωματικές εργασίες σε φοιτητές/φοιτήτριες με γνωστικά αντικείμενα κοντά σε αυτό της παρούσας μεταδιδακτορικής διατριβής.

Πιο συγκεκριμένα ο προπτυχιακός φοιτητής Παντελής Πιλίντσι ολοκληρώνει την διπλωματική του εργασία με τίτλο «*Χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος για την μελέτη απόκρισης σε συνθετικά ψηφιακά πρόσωπα*» στην οποία είμαι επιβλέπων, όπου ελήφθησαν καταγραφές ΗΕΓ κατά την διάρκεια παρακολούθησης συνθετικών προσώπων που έχουν προκύψει από κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο⁵. Δεδομένου ότι τα συνθετικά αυτά πρόσωπα δημιουργούνται μέσω μοντέλου και περιγράφονται από ένα διάνυσμα παραμέτρων, σκοπός της παραπάνω εργασίας είναι να αναλύσει τις ΗΕΓ καταγραφές και να ερευνήσει αν υπάρχουν συσχετίσεις όταν διαφορετικά άτομα παρατηρούν το ίδιο πρόσωπο ή όταν το ίδιο άτομο παρατηρεί διαφορετικά πρόσωπα.

Στην διπλωματική εργασία της προπτυχιακής φοιτήτριας Καρακικέ Ελένης με τίτλο «*Στατιστική ανάλυση και χρήση μοντέλων Μηχανικής Μάθησης για την ταξινόμηση διαφορετικών ψυχικών διαταραχών με χρήση δεδομένων Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας*» στην οποία είμαι επιβλέπων, αξιοποιήθηκε μία ανοιχτή βάση δεδομένων με καταγραφές ΗΕΓ σε διάφορες ψυχιατρικές ασθένειες,

⁵ Booth, James, et al. "Large scale 3D morphable models." *International Journal of Computer Vision* 126.2 (2018): 233-254.



όπου μετά από κατάλληλη προεπεξεργασία των σημάτων έλαβε μέρος στατιστική ανάλυση καθώς και ανάλυση με χρήση διάφορων μοντέλων MM για την κατάλληλη ταξινόμηση σε κατηγορίες.

Στην διπλωματική εργασία του μεταπτυχιακού φοιτητή Aymen Saadi με τίτλο «*EEG-based stress estimation, experimental design, data acquisition and computational analysis*» στην οποία είμαι ο επιβλέπων, θα δημιουργηθεί ένα πρωτόκολλο λήψης ΗΕΓ όσο τα άτομα θα εκτίθενται σε ερεθίσματα που προκαλούν στρες καθώς και σε χαλαρωτικά ερεθίσματα, ενώ σε κάθε ένα από αυτά θα συμπληρώνεται και ένα ερωτηματολόγιο καταγραφής της εμπειρίας τους. Τα ερεθίσματα μπορεί να είναι βίντεο, εικόνες και μουσική. Στην συνέχεια με την κατάλληλη επεξεργασία των καταγραφών θα γίνει εκτίμηση των επιπέδων στρες.

Συνοψίζοντας, η παρούσα μεταδιδακτορική έρευνα συμβάλλει ουσιαστικά στην κατανόηση και αξιοποίηση ηλεκτροφυσιολογικών σημάτων για την αναγνώριση συναισθηματικών και γνωστικών καταστάσεων, μέσω της συγκριτικής μελέτης των μεθόδων EEG και fNIRS. Μέσα από δημοσιεύσεις, πειραματικές διαδικασίες, ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων και επίβλεψη διπλωματικών εργασιών, η ερευνητική δραστηριότητα ανέδειξε και θα αναδείξει νέες δυνατότητες στην επεξεργασία βιοσημάτων και έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων αναγνώρισης συναισθήματος και διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή. Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν τη δυνατότητα αξιοποίησης τέτοιων συστημάτων σε εφαρμογές της ψυχιατρικής, της γνωστικής επιστήμης και της προσωποποιημένης τεχνολογίας, ενώ ταυτόχρονα ανοίγουν τον δρόμο για πολυτροπικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης.