



ΠΡΟΣ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

(19/07/2023)

ΣΧΟΛΗ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΤΑΣΗ

ΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

του ΚΟΝΤΟΠΟΔΗ ΛΕΥΤΕΡΗ

στο γνωστικό αντικείμενο «Συγκριτική μελέτη αναγνώρισης συναισθήματος από δεδομένα EEG και fNIRS»

Προτεινόμενη Καθηγήτρια (επικεφαλής Μεταδιδακτορικής Έρευνας):

ΣΚΟΥΡΟΛΙΑΚΟΥ ΚΑΤΕΡΙΝΑ

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Εισαγωγή

Το **συναίσθημα** έχει χαρακτηριστεί ως βιολογική διεργασία από αρχαίους ακόμα πολιτισμούς. Ο Αριστοτέλης είχε εκφράσει την άποψη ότι η επίδραση του συναισθήματος στην φυσιολογία αντικατοπτρίζεται από τις αλλαγές στην φυσιολογική κατάσταση, όπως η αύξηση του καρδιακού ρυθμού, της θερμοκρασίας του σώματος, ή η έλλειψη όρεξης. Ο William James ήταν ο πρώτος που διατύπωσε την θεωρία της φυσιολογίας του συναισθήματος¹ όπου και υποστήριξε ότι ένα εξωτερικό ερέθισμα θα ενεργοποιήσει κάποια δραστηριότητα στο αυτόνομο νευρικό σύστημα και θα δημιουργήσει μια απόκριση στον εγκέφαλο, όπως για παράδειγμα όταν κάποιος νιώθει χαρούμενος - γελάει, ενώ όταν νιώθει λυπημένος - κλαίει. Δεδομένης αυτής της σύνδεσης ψυχολογίας και φυσιολογίας, η **συναισθηματική υπολογιστική (affective computing)** είναι ένας κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) όπου αναγνωρίζει, ερμηνεύει, επεξεργάζεται και μοντελοποιεί την λειτουργία του εγκεφάλου. Η συναισθηματική κατάσταση του εξεταζόμενου πλέον μπορεί να καταγραφεί με διάφορες τεχνικές, ενώ με την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας η αυτόματη αναγνώριση συναισθήματος έχει εφαρμοστεί ευρέως σε διάφορα πεδία, όπως στην αλληλεπίδραση ανθρώπου – μηχανής², στην ιατρική³ καθώς και στην ψυχολογία⁴. Αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να αναγνωρίσουν ανθρώπινα συναισθήματα και με έτσι να ενδυναμώσουν την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ατόμων αλλά και την επικοινωνία του ανθρώπου με την μηχανή.

¹ James, William. "The principles of psychology. Cosimo." *Inc.: New York, NY, USA* 1 (2007). (MLA)

² Nayak, Satyajit, et al. "A Human–Computer Interaction framework for emotion recognition through time-series thermal video sequences." *Computers & Electrical Engineering* 93 (2021): 107280.

³ Colonnello, Valentina, Katia Mattarozzi, and Paolo M. Russo. "Emotion recognition in medical students: effects of facial appearance and care schema activation." *Medical Education* 53.2 (2019): 195-205.

⁴ Sun, Xiao, Yezhen Song, and Meng Wang. "Toward sensing emotions with deep visual analysis: a long-term psychological modeling approach." *IEEE MultiMedia* 27.4 (2020): 18-27.



Θεωρητικό Υπόβαθρο

Οι επικρατέστερες πηγές δεδομένων για την αυτοματοποιημένη αναγνώριση συναισθήματος, είναι η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (f-MRI), η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG), η μαγνητοεγκεφαλογραφία (MEG), η λειτουργική φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (fNIRS) καθώς και η εκτίμηση από εκφράσεις του προσώπου του χρήστη. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στην χρήση σημάτων EEG και fNIRS, δεδομένου του χαμηλού κόστους, της ευκολίας στην λήψη αλλά και στην μεταφορά του απαιτούμενου εξοπλισμού⁵.

Η **Ηλεκτροεγκεφαλογραφία** είναι μια μη-επεμβατική ηλεκτροφυσιολογική καταγραφή της λειτουργίας του εγκεφάλου καθώς μελετά τα ηλεκτρικά δυναμικά που προκαλούνται από την διέγερση χιλιάδων νευρώνων όταν η εγκεφαλική περιοχή που αυτοί βρίσκονται ενεργοποιηθεί. Οι παλμοί καταγράφονται με ειδικά ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στο κρανίο του εξεταζόμενου, ακολουθεί αποθορυβοποίηση και ενίσχυση, ενώ στην συνέχεια τα σήματα αυτά τα οποία αντιπροσωπεύουν νευρικές ώσεις σε μεγάλη κλίμακα μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κλάσεις ως προς τις χαρακτηριστικές τους συχνότητες, όπως η theta (4-7 Hz), η alpha (8-14 Hz), η beta (15-25 Hz) και η gamma >25 Hz, ζώνες όπου η κάθε μία εμπεριέχει πληροφορία για τις νευρικές διεργασίες που επιτελούνται σε συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές. Αν και η χωρική διακριτική ικανότητα της παραπάνω μεθόδου είναι χαμηλή, τα σήματα της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας έχουν πολύ καλή χρονική διακριτική ικανότητα, και εφαρμόζονται ευρέως σε εφαρμογές αναγνώρισης συναισθήματος και επικοινωνίας ανθρώπου μηχανής.

Η **Λειτουργική Φασματοσκοπία Εγγύς Υπερύθρου (Functional Near-infrared Spectroscopy - fNIRS)**, είναι μία οπτική τεχνική μη-επεμβατικής απεικόνισης του εγκεφάλου για την διερεύνηση των αιμοδυναμικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την λειτουργία του. Συνήθως χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος από 600 έως 1000 nm, ικανή να φτάσει στον φλοιό και να μετρήσει αλλαγές στην συγκέντρωση οξυγονομένης και αποξυγονομένης αιμογλοβίνης, oxygenated hemoglobin – HbR και deoxygenated hemoglobin – HbR αντίστοιχα, ουσίες που συνδέονται με την μεταβολική δραστηριότητα των νευρώνων στα εξώτερα στρώματα του φλοιού. Κατ' αυτό τον τρόπο, η τεχνική fNIRS είναι ικανή να μετρά τις τοπικές αλλαγές των συγκεντρώσεων των HbO και HbR όπου μπορούν να δώσουν πληροφορία για τις αιμοδυναμικές αλλαγές που συνδέονται με την νευρική λειτουργία του εγκεφάλου, ενώ η καλή χωρική διακριτική ικανότητα την καθιστά ιδανική για την μελέτη της παραπάνω λειτουργίας.

Δεδομένου ότι η κάθε μία από τις τρεις παραπάνω μεθόδους καταγραφής αναφέρεται σε διαφορετικές λειτουργίες του εγκεφάλου, αιμοδυναμικές (fNIRS) και ηλεκτροφυσιολογικές (EEG), η **πολυτροπική μέθοδος αναγνώρισης συναισθήματος (multi-modal emotion recognition method)** συλλέγει και αναλύει σήματα προερχόμενα από πολλούς - διαφορετικής αρχής λειτουργίας - αισθητήρες με σκοπό την σύνθεση ενός πληρέστερου συνόλου δεδομένων εισόδου, ενώ μελέτες υβριδικών απεικονίσεων αναφέρουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα⁶.

⁵ Cai, Yujian, Xingguang Li, and Jinsong Li. "Emotion Recognition Using Different Sensors, Emotion Models, Methods and Datasets: A Comprehensive Review." *Sensors* 23.5 (2023): 2455.

⁶ Sun, Yanjia, Hasan Ayaz, and Ali N. Akansu. "Multimodal affective state assessment using fNIRS+ EEG and spontaneous facial expression." *Brain Sciences* 10.2 (2020): 85.



Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μεταδιδακτορικής έρευνας είναι η συγκριτική μελέτη δύο διαφορετικών μεθόδων (EEG και fNIRS) συλλογής δεδομένων για την αναγνώριση συναισθήματος του εξεταζόμενου. **Κατά την πειραματική διαδικασία θα συλλεχθούν δεδομένα από 2 διαφορετικές μεθόδους, 1) EEG, και 2) fNIRS. Στην συνέχεια μέσω κατάλληλων υπολογιστικών μοντέλων θα αναλυθούν τα 2 σύνολα δεδομένων και θα γίνει υπολογισμός της εκτίμησης του συναισθήματος του εξεταζόμενου, από όπου και θα ακολουθήσει συγκριτική μελέτη διασταυρώνοντας τα αποτελέσματα τις 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.

Ερευνητικό πρωτόκολλο

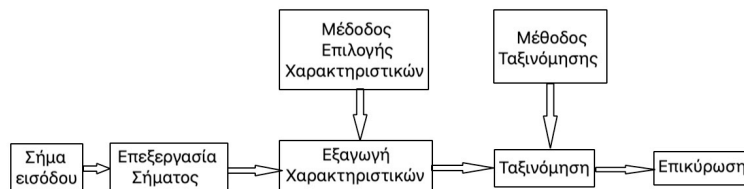
Τα πειράματα που περιγράφονται σε αυτή την πρόταση, θα διεξαχθούν σε ικανό αριθμό συμμετεχόντων, μετά την έγκριση από την Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας της έρευνας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Κάθε εξεταζόμενος θα υπόκειται σε δύο πειραματικές διεργασίες. **Στην πρώτη,** θα παρακολουθήσει μια σειρά από βίντεο με περιεχόμενο διάφορων γνωστών συναισθηματικών καταστάσεων, διάρκειας μερικών δευτερολέπτων το κάθε ένα ώστε ο συμμετέχοντας να μπορεί να αφομοιώσει το συναίσθημα. Στην συνέχεια ο συμμετέχοντας θα κληθεί να απαντήσει σε κάποιες απλές ερωτήσεις (όπως «*κατάφερες να παρακολουθήσεις προσεκτικά το βίντεο;*», «*τι είδες στο βίντεο;*») για την επιβεβαίωση ότι παρακολούθησε και κατανόησε το περιεχόμενο. Επιπλέον, κάθε εξεταζόμενος θα ερωτηθεί να αξιολογήσει τον τρόπο επίδρασης του βίντεο στην συναισθηματική του κατάσταση (θετικά ή αρνητικά). **Στην δεύτερη** πειραματική διαδικασία κάθε εξεταζόμενος θα κληθεί να παρατηρήσει είκοσι εικόνες συναισθήματος από το Nencki Affective Picture System (NAPS)⁷, για πέντε δευτερόλεπτα την κάθε μία, ενώ αντίστοιχα ο συμμετέχοντας θα απαντήσει σε δύο απλές ερωτήσεις όπως και στην προηγούμενη πειραματική διαδικασία. Κάθε εξεταζόμενος θα είναι ενημερωμένος για την πειραματική διαδικασία, ενώ κατά την διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας, θα γίνεται λήψη δεδομένων EEG ή fNIRS. **Η συσκευή για την λήψη δεδομένων εγκεφαλογραφίας είναι η Neuroelectrics enoBio 20, ενώ για την φασματοσκοπία του εγγύς υπέρυθρου είναι η Biopac fNIRS.**

Μεθοδολογία

Για τους σκοπούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα υλοποιηθεί ένα σύστημα αναγνώρισης συναισθήματος το οποίο θα εκπαιδεύεται κάθε φορά από ένα από τα 2 διαφορετικά σετ δεδομένων και στην συνέχεια θα επικυρώνεται η ακρίβειά του συστήματος διασταυρώνοντας τις προβλέψεις με τις αντίστοιχες ετικέτες που είναι σημασμένο το περιεχόμενο που παρουσιάζεται στον εξεταζόμενο. Σε κάθε σύνολο δεδομένων που προέρχεται από αισθητήρα διαφορετικής αρχής λειτουργίας, EEG και fNIRS, θα εφαρμοστούν κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας, αποθρομβοποίησης και συμβατότητας με σκοπό την δημιουργία ενός αξιόπιστου σετ δεδομένων που θα ανταποκριθεί στις ανάγκες της παρούσας έρευνας.

⁷ Marchewka, Artur, et al. "The Nencki Affective Picture System (NAPS): Introduction to a novel, standardized, wide-range, high-quality, realistic picture database." *Behavior research methods* 46 (2014): 596-610.

Στην συνέχεια θα γίνει εξαγωγή των χαρακτηριστικών παραμέτρων, από όπου θα δημιουργηθούν τα δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης ενός αλγόριθμου μηχανικής μάθησης. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα μπλοκ διάγραμμα με τις επιμέρους διαδικασίες για την αναγνώριση συναισθήματος. Μετά την λήψη των σημάτων ακολουθούν μέθοδοι προ-επεξεργασίας σήματος με σκοπό την βελτίωση ποιότητας του σήματος και μείωση του θορύβου, ακολουθεί η εξαγωγή χαρακτηριστικών ενώ στην συνέχεια γίνεται η ταξινόμηση στις διάφορες κατηγορίες.



Σχήμα. Μπλοκ διάγραμμα της μεθοδολογίας

Κατά την **προ-επεξεργασία του σήματος** στα δεδομένα που προέρχονται από φυσιολογικά σήματα θα εφαρμοστούν κατάλληλα φίλτρα αποθρομβοποίησης⁸, καθώς και μετασχηματισμοί κυματιών⁹ για τον χαρακτηρισμό των φυσιολογικών σημάτων.

Κατά την **εξαγωγή χαρακτηριστικών** παράλληλα θα αφαιρεθούν από τα δεδομένα οι πληροφορίες που δεν συμβάλλουν στον τελικό σκοπό, μειώνοντας τις υπολογιστικές απαιτήσεις της μεθόδου και αυξάνοντας την ικανότητα της γενίκευσης του μοντέλου. Για σήματα που περιγράφουν φυσιολογικές λειτουργίες, όπως αυτά στην παρούσα μελέτη, ο γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform - FFT)¹⁰ αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία προσφέροντας νέες μορφές αναπαράστασης των δεδομένων όπως η Φασματική Πυκνότητα Ισχύος (Power Spectral Density - PSD) όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη συνεισφοράς μιας συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων στην συνολική ισχύ του σήματος Άλλες μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών από φυσιολογικά σήματα που μπορούν να διερευνηθούν στα πλαίσια της παρούσας μεταδιδακτορικής διατριβής είναι η Γραμμική Διακριτή Ανάλυση¹¹, οι Προβολές Διατήρησης της Τοπικότητας (Locality Preserving Projections – LPP)¹² καθώς και ο αλγόριθμος Relief-F¹³.

⁸ Jerritta, S., et al. "Emotion recognition from facial EMG signals using higher order statistics and principal component analysis." *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 37.3 (2014): 385-394.

⁹Subasi, Abdulhamit. "EEG signal classification using wavelet feature extraction and a mixture of expert model." *Expert Systems with Applications* 32.4 (2007): 1084-1093.

¹⁰ Khare, Smith K., and Varun Bajaj. "Time–frequency representation and convolutional neural network-based emotion recognition." *IEEE transactions on neural networks and learning systems* 32.7 (2020): 2901-2909.

¹¹ Liu, Zhen-Tao, et al. "Speech emotion recognition based on an improved brain emotion learning model." *Neurocomputing* 309 (2018): 145-156.

¹² He, Xiaofei, and Partha Niyogi. "Locality preserving projections." *Advances in neural information processing systems* 16 (2003).

¹³ Kira, Kenji, and Larry A. Rendell. "A practical approach to feature selection." *Machine learning proceedings 1992*. Morgan Kaufmann, 1992. 249-256.



Κατά την **διαδικασία της ταξινόμησης**, θα οριστούν διάφορα πρότυπα στα δεδομένα εισόδου που μπορούν να αντιστοιχηθούν με διακριτά συναισθήματα, ενώ η ποιότητα του ταξινομητή επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια της τελικής εκτίμησης. Πλέον οι μέθοδοι ταξινόμησης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες, τις συμβατικές μεθόδους ταξινόμησης και τις τεχνικές βαθιάς μάθησης (deep learning). Δεδομένου του μεγάλου όγκου δεδομένων που χρειάζεται για την εκπαίδευση ενός δικτύου βαθιάς μάθησης, η παρούσα μεταδιδακτορική έρευνα θα εστιάσει σε συμβατικές μεθόδους μηχανικής μάθησης. Στις συμβατικές μεθόδους μηχανικής μάθησης υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την αναγνώριση συναισθήματος που έχουν δώσει ακριβή αποτελέσματα, μεταξύ των οποίων είναι οι Μηχανές Διανυσμάτων Στήριξης (Support Vector Machines – SVM)¹⁴ όπου βρίσκουν το υπερεπίπεδο με την μεγαλύτερη απόσταση ώστε να επιτύχουν καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης και η Μίξη Γκαουσιανών Μοντέλων (Gaussian Mixture Models)¹⁵ όπου κατηγοριοποιούν τα δεδομένα συνθέτοντας Γκαουσιανές κατανομές. Για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας θα μελετηθούν οι κατάλληλες τεχνικές για την καλύτερη υλοποίηση του συστήματος αναγνώρισης συναισθήματος.

Οι **κυριότερες φάσεις** του έργου είναι:

1. Υλοποίηση Πειραματικής Διάταξης για:
 - a. Ηλεκτροεγκεφαλογραφία
 - b. Φασματοσκοπία του εγγύς υπερώθρου
2. Συλλογή Δεδομένων για την κάθε μία από τις παραπάνω πηγές πληροφορίας
3. Προ-επεξεργασία δεδομένων για την κάθε μία από τις παραπάνω πηγές πληροφορίας
4. Εξαγωγή χαρακτηριστικών για την κάθε μία από τις παραπάνω πηγές πληροφορίας
5. Ταξινόμηση των διαθέσιμων δεδομένων στις διάφορες συναισθηματικές καταστάσεις
6. Συγκριτική μελέτη των 2 διαφορετικών προσεγγίσεων

Ο αιτών
(Υπογραφή)

Κοντοπόδης Λευτέρης, PhD

¹⁴ Ghimire, Deepak, et al. "Facial expression recognition based on local region specific features and support vector machines." *Multimedia Tools and Applications* 76 (2017): 7803-7821.

¹⁵ Zhang, Chunjong, Mingyong Li, and Di Wu. "Federated Multidomain Learning With Graph Ensemble Autoencoder GMM for Emotion Recognition." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* (2022).