



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

## ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

### ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Ημερομηνία:

Αριθμ. Πρωτοκόλλου:

#### ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΠΡΟΟΔΟΥ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΟΣ

(περίοδος αναφοράς 1-12-2021/30-11-2022)

Όνομα/ Επώνυμο: **Μαρία-Νικολέττα Κολιαράκη**

Α.Μ. Υ.Δ.: **ΔΜΒ1907**

Ημερομηνία αποδοχής αίτησης από τη συνέλευση του Τμήματος/ Πράξη Συνέλευσης:

**7-5-20, Πράξη συνέλευσης: 5/7-5-2020**

Ημερομηνία ορισμού 3μελούς συμβουλευτικής επιτροπής & θέματος ΔΔ :

**7-5-20, Πράξη συνέλευσης: 5/7-5-2020**

Προβλεπόμενο έτος ολοκλήρωσης Δ.Δ.:

**2024**

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων: Βεντούρας Ερρίκος-Χαΐμ, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής, ΠΑΔΑ

Μέλος: Ασβεστάς Παντελεήμων, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής, ΠΑΔΑ

Μέλος: Ματσόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, ΕΜΠ

**Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής (ΔΔ):**

«Επεξεργασία Δεδομένων Σακκαδικών Οφθαλμικών Κινήσεων»

#### **1. Περίληψη Αντικειμένου Δ.Δ. (έως 200 λέξεις)**

Οι σακκαδικές οφθαλμικές κινήσεις έχουν μελετηθεί τόσο ως δείκτες των νοητικών διεργασιών όσο και ως προς τη σύνδεσή τους με ψυχοπαθολογικούς παράγοντες. Η παρούσα διατριβή αφορά την μελέτη ακολουθιών σακκαδικών κινήσεων των οφθαλμών, κατά τη διάρκεια ενεργούς οπτικής προσήλωσης, με βάση τα χαρακτηριστικά κάθε μιας, με έμφαση στην μελέτη των χρονικών διαστημάτων που

μεσολαβούν ανάμεσα σε δύο διαδοχικές σακκαδικές (Inter-saccade interval – ISI). Σκοπός είναι να διερευνηθεί η ύπαρξη διακριτών καταστάσεων ISIs με την βοήθεια Κρυφών Μαρκοβιανών Μοντέλων (Hidden Markov Model - HMM). Θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα οφθαλμικών κινήσεων, που προέρχονται από τη βάση δεδομένων του Αιγινήτειου Νοσοκομείου, η οποία περιέχει σήματα διαφόρων οφθαλμικών διαδικασιών σε 940 άτομα (υγιείς μάρτυρες) σε τρία διαφορετικά πειράματα/δοκιμασίες: (Π1) προσήλωση σε έναν οπτικό στόχο, (Π2) προσήλωση σε ένα οπτικό στόχο ενώ εμφανίζονταν περιφερειακά στόχοι «διάσπασης» σε τυχαία χρονικά διαστήματα και (Π3) προσήλωση χωρίς στόχο (σε λευκή οθόνη). Σε επόμενη φάση θα διερευνηθούν τα μοντέλα HMM που αντιπροσωπεύουν βέλτιστα τις υποκείμενες διαδικασίες δημιουργίας σακκαδικών σε ομάδα ασθενών που έπασχαν από σχιζοφρένεια και ασθενών που έπασχαν από ιδεοψυχαναγκαστική διαταραχή (OCD). Επιδιώκεται η διαλεύκανση των υποκείμενων μηχανισμών διαφοροποίησης των καταστάσεων των ISIs, αλλά και άλλων παραμέτρων των σακκαδικών καθώς και του μηχανισμού δημιουργίας τους σε κάθε πείραμα. Επιπλέον, βασιζόμενοι σε μακροσκοπικές παραμέτρους, θα γίνει προσπάθεια αυτόματης αναγνώρισης της κατηγορίας εξεταζόμενου (υγιείς, σχιζοφρενείς, OCD).

## 2. Περιγραφή προόδου<sup>1</sup>

Κατά τη διάρκεια του περασμένου ημερολογιακού έτους (Νοέμβριος 2021 – Νοέμβριος 2022) ασχολήθηκα με τον έλεγχο, την εκσφαλμάτωση και τη βελτίωση του αλγορίθμου για discriminative training («διακριτική εκπαίδευση») Hidden Markov μοντέλων στα δεδομένα υγιών μαρτύρων και την αξιολόγησή τους με βάση τη δυνατότητα αναγνώρισης της δοκιμασίας (Π1, Π2, Π3).

Συγκεκριμένα ασχολήθηκα με:

- α. Έλεγχο του αλγορίθμου για discriminative training με συνθετικά δεδομένα.
- β. Έλεγχο προηγούμενων αποτελεσμάτων Hidden Markov μοντέλων.
- γ. Τροποποίηση αλγορίθμου για τη διαφοροποίηση των στατιστικών παραμέτρων κάθε δοκιμασίας και την καλύτερη σύγκλιση.

### A. Έλεγχος του αλγορίθμου για discriminative training με συνθετικά δεδομένα

Προκειμένου να διαπιστωθούν τα πλεονεκτήματα του αλγορίθμου για discriminative training (extended Baum-Welch – EBW) σε σύγκριση με τον “απλό” Baum-Welch και να αξιολογηθεί η απόδοσή του, δημιουργήθηκαν συνθετικά δεδομένα ISIs με μικτή γκαουσιανή κατανομή, που αποτελείται από δύο γκαουσιανές κατανομές με μέσες τιμές 1,5sec και 7,5sec. Η επιλογή των δύο αυτών τιμών για τα ISIs στηρίχθηκε στο ότι στα πραγματικά μας δεδομένα έχουμε παρατηρήσει την ύπαρξη δύο «καταστάσεων» ISIs, των “μικρής” και “μακράς” διάρκειας ISIs<sup>2</sup>. Τα συνθετικά δεδομένα έχουν το ίδιο αριθμό παρατηρήσεων με τα πραγματικά.

<sup>1</sup> Σύμφωνα με τον Κανονισμό Διδακτορικών Σπουδών του Τμήματος «Ο ΥΔ κάθε έτος, στο διάστημα από το Σεπτέμβριο έως τον Νοέμβριο, παρουσιάζει προφορικά και υποβάλλει εγγράφως αναλυτικό υπόμνημα ενώπιον της ΤΣΕ σχετικά με την πρόοδο της διδακτορικής διατριβής. Αντίγραφο του υπομνήματος, καθώς και σχόλια επ’ αυτού από τον ΕΚ ή/και την ΤΣΕ καταχωρούνται στον ατομικό φάκελο του ΥΔ». Το παρόν υπόμνημα αφορά την περίοδο ενός ημερολογιακού έτους, από τον Νοέμβριο 2021 έως τον Νοέμβριο 2022.

<sup>2</sup> Korda, Alexandra & Koliaraki, Mariniki & Asvestas, Pantelis & Matsopoulos, George & Ventouras, Errikos & Ktonas, Periklis & Smyrnis, Nikolaos. (2016). Discrete states of attention during active visual fixation revealed by Markovian analysis of the time series of intrusive saccades. Neuroscience. 339. 10.1016/j.neuroscience.2016.10.012.

Δημιουργήθηκαν μοντέλα (α) με όλα τα δεδομένα, (β) με τη μέθοδο leave-one-out και (γ) χρησιμοποιώντας τα μισά δεδομένα για εκπαίδευση (train group) και τα άλλα μισά για έλεγχο (test group). Ο αλγόριθμος EBW είχε πολύ καλή απόδοση ταξινόμησης για τα συνθετικά δεδομένα σε όλες τις περιπτώσεις. Παρατηρήθηκε ότι η καλύτερη σύγκλιση επιτυγχάνεται με αρχικοποίηση κοντά στις πραγματικές τιμές των κατανομών.

Καλή ταξινόμηση φάνηκε να πετυχαίνει και ο αλγόριθμος Baum-Welch για τα συνθετικά δεδομένα, με εξαίρεση την περίπτωση χρήσης μίας κατάστασης. Από τα μοντέλα που προέκυψαν με τη μέθοδο Baum-Welch, καλύτερη ταξινόμηση πέτυχε το μοντέλο τριών (κρυφών) καταστάσεων για το task2, το μοντέλο δύο καταστάσεων για το task4, ενώ το task3 διαχωρίζεται καλά σε κάθε περίπτωση από τα άλλα δύο, ανεξαρτήτως αριθμού καταστάσεων.

Το γεγονός ότι με συνθετικά δεδομένα, των οποίων καθορίζουμε τον αριθμό και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των καταστάσεων (μέση τιμή και τυπική απόκλιση των καταστάσεων ISIs, εδώ για δοκιμή δημιουργήσαμε δύο καλά διακριτές καταστάσεις), και ο BW και ο EBW έχουν πολύ ικανοποιητικές επιδόσεις, υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν εγγενή προγραμματιστικά λάθη στους δημόσια διαθέσιμους αλγόριθμους.

#### **B. Έλεγχος προηγούμενων αποτελεσμάτων Hidden Markov μοντέλων**

Δεδομένης της εξαιρετικής απόδοσης των αλγορίθμων εκπαίδευσης Baum-Welch και Extended Baum-Welch με τα συνθετικά δεδομένα, τόσο ως προς τη σύγκλιση όσο και ως προς την ταξινόμηση, σε αντίθεση με ότι έως τώρα είχαμε παρατηρήσει με τα πραγματικά δεδομένα (βλ. προηγούμενη έκθεση προόδου), επανεξετάσαμε τα προηγούμενα αποτελέσματα. Δηλαδή «ξανατρέξαμε» την πλειοψηφία των περιπτώσεων που είχαμε ήδη εξετάσει, ώστε να αποκλείσουμε την ύπαρξη αρχικών λαθών στον υπολογιστικό χειρισμό των αλγορίθμων. Από τον επανέλεγχο των παλαιότερων αποτελεσμάτων δεν εντοπίστηκε καμία σημαντική απόκλιση (ακόμη και λαμβάνοντας υπόψη την τυχαία αρχικοποίηση του Baum-Welch) μεταξύ «παλαιών» και «νέων» αποτελεσμάτων.

#### **Γ. Τροποποίηση αλγορίθμου για τη διαφοροποίηση των στατιστικών παραμέτρων κάθε δοκιμασίας και την καλύτερη σύγκλιση**

Μετά τις παραπάνω διαπιστώσεις έγιναν τροποποιήσεις στον αλγόριθμο που χρησιμοποιούμε για τις δοκιμές του EBW («αλγόριθμός Moerland»<sup>3,4</sup>). Καταρχάς, ο αλγόριθμός του Moerland θεωρεί ότι τα στατιστικά χαρακτηριστικά (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) κάθε διαδικασίας/κατάστασης είναι ίδια (ορθό από την σκοπιά της δικής του ερευνητικής εφαρμογής<sup>5</sup>), αλλά αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση των οφθαλμικών κινήσεων, όπως έχει διαπιστωθεί και σε προηγούμενες μελέτες της κίνησης του βλέμματος σε άλλες γνωσιακές δοκιμασίες. Επομένως, έγιναν παρεμβάσεις στη διαδικασία εκπαίδευσης (training) προκειμένου να πάρουμε

<sup>3</sup> Moerland, T., Chandarr, A., Rudinac, M., & Jonker, P. (2016, February). Knowing what you don't know-novelty detection for action recognition in personal robots. In International Conference on Computer Vision Theory and Applications (Vol. 5, pp. 317-327). SciTePress.

<sup>4</sup> Υπενθυμίζεται ότι ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί την μόνη προς το παρόν (ελεύθερα) διαθέσιμη στο διαδίκτυο υλοποίηση του EBW και για αυτό το λόγο επιλέξαμε να τον χρησιμοποιήσουμε. [<https://github.com/tmoer/Thesis>]

<sup>5</sup> Moerland T. (2015) *Knowing what you don't know Novelty detection for action recognition*. [Master's Thesis, Leiden University] <https://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/science/mi/scripties/mastermoerland.pdf>

διαφορετικές τιμές για τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση κάθε κρυφής κατάστασης για τις τρεις διαφορετικές δοκιμασίες. Στη συνέχεια, με την ελπίδα να επιτευχθεί καλύτερη σύγκλιση, η τυχαία αρχικοποίηση καταστάσεων αντικαταστάθηκε με τις τελικές τιμές που υπολογίστηκαν στα μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν με πραγματικά δεδομένα με Baum-Welch. Από την υλοποίηση του νέου αλγορίθμου δεν έχει ακόμη επιτευχθεί ικανοποιητική σύγκλιση για τις τρεις δοκιμασίες.

### **3. Σύνοψη νέων αποτελεσμάτων (έως 200 λέξεις)**

1. Ολοκληρώθηκε ο έλεγχος του αλγορίθμου EBW & BW με συνθετικά δεδομένα, με μικτή γκαουσιανή κατανομή, με την ίδια μέση τιμή και τυπική απόκλιση για κάθε δοκιμασία. Ο αλγόριθμος είχε πολύ καλή απόδοση τόσο στη σύγκλιση όσο και στην ταξινόμηση.
2. Έγιναν τροποποιήσεις της δημόσια διαθέσιμης υλοποίησης του αλγορίθμου Extended Baum Welch για discriminative training, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των δεδομένων της παρούσας διατριβής. Στην παρούσα φάση βρισκόμαστε στο στάδιο των δοκιμών διαφόρων επιπλέον τροποποιήσεων, δεδομένου ότι δεν έχουμε πετύχει ικανοποιητική ταξινόμηση.

### **4. Δημοσιεύσεις, συμμετοχή σε συνέδρια και ημερίδες**

Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά: -

Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Συνέδρια: -

Υποβληθείσες εργασίες σε Επιστημονικά Περιοδικά: -

Υποβληθείσες Εργασίες σε Επιστημονικά Συνέδρια: -

Άλλες Εργασίες/Ανακοινώσεις/Παρουσιάσεις/ Λοιπό Έργο: -

### **5. Σύντομη αναφορά στον χρονικό προγραμματισμό και πιθανές καθυστερήσεις (έως 200 λέξεις)**

Στο επόμενο έτος 2023, στόχοι της έρευνας είναι:

- (α) Η συνέχιση και ολοκλήρωση της μελέτης των Hidden Markov μοντέλων με discriminative training, ώστε: i) να γίνει διαχωρισμός των διακριτών καταστάσεων και ii) να διαλευκανθεί η διαφοροποίηση του μηχανισμού προσήλωσης στην κάθε δοκιμασία.
- (β) Η προεπεξεργασία των δεδομένων από OCD και σχιζοφρενείς με σκοπό να δοκιμαστεί η αυτόματη αναγνώρισή τους με διάφορους ταξινομητές.

Υπογραφή



Μαρία-Νικολέττα Κολιαράκη