

[Π4.1] Συγκριτική Μελέτη Αλγορίθμων Εκτίμησης Ψυχο- Συναισθηματικής Κατάστασης

Επίπεδο Διάχυσης:	<Δημόσιο>
Συμφωνηθείσα Ημερομηνία:	Μήνας <16>, <27/11/2021>
Πραγματική Ημερομηνία:	Μήνας <17>, <1/12/2021>
Ενότητα Εργασίας:	ΕΕ4 - Πολυτροπική Διεπαφή Εγκεφάλου - Υπολογιστή με χρήση αισθητήρων ΕΤ και ΗΕΓ
Υποενότητα:	Ε4.2 - Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας
Τύπος:	Δημοσίευση/Λογισμικό
Στάδιο Έγκρισης:	Final
Έκδοση:	0.3
Πλήθος Σελίδων:	2830
Ονομασία Αρχείου:	NeuroMkt_D4_1_Final.docx

Περίληψη: Αυτό το παραδοτέο αφορά την εκτεταμένη ανασκόπηση των αλγορίθμων αιχμής για την εκτίμηση της ψυχο-συναισθηματικής κατάστασης κατά την παρακολούθηση διαφημιστικών μηνυμάτων. Ο σκοπός του Π4.1 είναι η δημιουργία μίας βιβλιοθήκης αλγορίθμων, βάσει της οποίας θα υλοποιηθεί το Dashboard του NeuroMkt.

Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο αντικατοπτρίζουν μόνο τις απόψεις του δημιουργού και η Ευρωπαϊκή Ένωση/ΕΥΔΕ-ΕΤΑΚ δεν ευθύνεται για τυχόν χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν. Οι πληροφορίες στο παρόν έγγραφο παρέχονται ως έχουν και δεν παρέχεται καμία εγγύηση ότι οι πληροφορίες είναι κατάλληλες για οποιοδήποτε συγκεκριμένο σκοπό. Ο χρήστης χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες με αποκλειστικό κίνδυνο και ευθύνη.

Πνευματική ιδιοκτησία

© Πνευματική ιδιοκτησία 2020 της κοινοπραξίας NeuroMkt που αποτελείται από:

1. Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)
2. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)
3. MMS ΔΙΑΦΗΜΙΣΤΙΚΗ Α.Ε (MMS)
4. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ ΜΑΣΟΥΤΗΣ Α.Ε. ΣΟΥΠΕΡ ΜΑΡΚΕΤ (ΜΑΣΟΥΤΗΣ)

ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ αυστηρά η αναδημοσίευση, ολική, μερική ή περιληπτική αναπαραγωγή, η κατά παράφραση ή διασκευή των κειμένων που περιέχονται στο παρόν έγγραφο με οποιονδήποτε τρόπο (ηλεκτρονικό, μηχανικό, φωτοτυπικό, ηχογράφησης ή άλλο), χωρίς προηγούμενη γραπτή άδεια των μελών της κοινοπραξίας.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΙΧ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧ



ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη • εργασία • αλληλεγγύη

Υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ2ΕΔΚ-03661)

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΓΓΡΑΦΟΥ

Έκδοση	Ημερομηνία	Λόγος Αναθεώρησης	Αναθεωρήθηκε από
v0.1 (Alpha)	27/10/2021	Αρχική έκδοση με τον Πίνακα Περιεχομένων για να διαμοιραστεί στην κοινοπραξία και να εγκριθεί από τον συντονιστή	Κώστας Γεωργιάδης
v0.2 (Beta)	26/11/2021	Ολοκλήρωση προσθήκης περιεχομένου και αποστολή προς εσωτερική αξιολόγηση	Κώστας Γεωργιάδης Φώτης Καλαγάνης
V0.2	30/11/2021	Εσωτερική Αξιολόγηση	Κυριάκος Ρίσκος
v0.3 (Final)	1/12/2021	Ενσωμάτωση σχολίων εσωτερικού αξιολογητή	Κώστας Γεωργιάδης Φώτης Καλαγάνης
v0.3 (Final)	1/12/2021	Τελικός έλεγχος	Σπύρος Νικολόπουλος
v0.3 (Final)	1/12/2021	Έγκριση από τον επιστημονικό υπεύθυνο	Ιωάννης Κομπατσιάρης

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΝΤΩΝ

Φορέας	Όνομα	Στοιχεία Επικοινωνίας
ΕΚΕΤΑ	Κώστας Γεωργιάδης	kostas.georgiadis@iti.gr
ΕΚΕΤΑ	Φώτης Καλαγάνης	fkalaganis@iti.gr
ΑΠΘ	Κυριάκος Ρίσκος	riskoskyriakos@gmail.com

Αυτό το παραδοτέο αφορά την εκτεταμένη ανασκόπηση των αλγορίθμων αιχμής για την εκτίμηση της ψυχο-συναισθηματικής κατάστασης κατά την παρακολούθηση διαφημιστικών μηνυμάτων. Ο σκοπός του Π4.1 είναι η δημιουργία μίας βιβλιοθήκης αλγορίθμων, βάσει της οποίας θα υλοποιηθεί το Dashboard του NeuroMkt (βλέπε Παραδοτέο Π3.1 (NeuroMkt 2021b)). Πιο συγκεκριμένα, το Π4.1 αποτελείται από την παρούσα έκθεση η οποία παρέχει αναλυτική περιγραφή των αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων από συσκευές καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων (Eye Tracker) και από συσκευές Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (Electroencephalogram) με στόχο την κάλυψη των αναγκών των χρηστών όπως αυτές περιγράφονται στο Π1.1 (NeuroMkt 2021a). Επιπρόσθετα, παρέχονται και οι σχετικές υλοποιήσεις των παραπάνω αλγορίθμων με τη μορφή συναρτήσεων, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο σχετικό αποθετήριο του GitHub που έχει δημιουργηθεί στο πλαίσιο του έργου NeuroMkt.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

AI	Attention Index
API	Application Programming Interface
AW	Approach Withdrawal
ET	Eye Tracking
EEG	Electroencephalography
MI	Memorization Index
MW	Mental Workload

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή	7
2	Μετάφραση των λειτουργικών απαιτήσεων σε δείκτες ψυχοσυναισθηματικής κατάστασης	8
3	Εκτίμηση ψυχοσυναισθηματικής κατάστασης	9
3.1	Αλγόριθμοι ανάλυσης δεδομένων ET	9
3.1.1	Fixation and Gaze Points	9
3.1.2	ScanPath	11
3.1.3	Heatmaps	12
3.1.4	Areas of Interest (AOI)	13
3.1.5	Pupil Size/Dilation	15
3.2	Αλγόριθμοι ανάλυσης δεδομένων HEG	15
3.2.1	Δείκτες Συναισθηματικής Κατάστασης	16
3.2.2	Δείκτης AW	18
3.2.3	Δείκτης Μνήμης	19
3.2.4	Δείκτης Νοητικού Φόρτου εργασίας	19
3.2.5	Δείκτης Προσοχής	20
4	Βιβλιοθήκη λογισμικού αλγορίθμων εκτίμησης ψυχοσυναισθηματικής κατάστασης	22
5	Συμπεράσματα	23
	Βιβλιογραφία	24

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μάρκετινγκ στηρίζεται κατά κύριο λόγο στη μελέτη και παρατήρηση των αναγκών και της ψυχολογίας του καταναλωτή. Εξαιτίας όμως της αύξησης της μαζικής παραγωγής των προϊόντων και του υπερκαταναλωτισμού, δημιουργήθηκε η ανάγκη να παρατηρηθούν και να εξεταστούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι προτιμήσεις του καταναλωτή. Η παραπάνω ανάγκη οδήγησε στη χρήση διαφόρων πτυχών της νευροεπιστήμης με στόχο την καλύτερη και πληρέστερη κατανόηση των αναγκών των καταναλωτών αλλά και την αποκρυπτογράφηση των στοιχείων εκείνων που επιδρούν σημαντικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και συνακόλουθα στη διαδικασία της επιλογής και αγοράς συγκεκριμένων προϊόντων.

Η παρούσα μελέτη χωρίζεται σε τρεις θεματικές ενότητες με τον κύριο στόχο της να είναι ο εντοπισμός των αλγορίθμων εκείνων οι οποίοι θα αποτυπώσουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τη ψυχο-συναισθηματική κατάσταση των καταναλωτών και οι οποίοι θα καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες των χρηστών (διαφημιστών). Αναλυτικότερα, πριν από την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των αλγορίθμων, η μελέτη εστιάζει στον εντοπισμό των κατάλληλων αλγορίθμων, δηλαδή των αλγορίθμων εκείνων οι οποίοι είναι ικανοί να καλύψουν την πλειονότητα των αναγκών των χρηστών (διαφημιστών) όπως αυτές αποτυπώνονται στο Παραδοτέο Π1.1 (NeuroMkt 2021a). Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στην Ενότητα 2, όπου καταδεικνύεται η μετάβαση από τις λειτουργικές απαιτήσεις χρηστών (διαφημιστών) σε δείκτες ψυχο-συναισθηματικής κατάστασης.

Στη συνέχεια, έπειτα από σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση παρουσιάζονται αναλυτικά οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ανάλυσης σημάτων ψυχο-συναισθηματικής κατάστασης υπό το πρίσμα του Neuromarketing, με τις Ενότητες 3 και 4 να εστιάζουν στην ανάλυση δεδομένων από συσκευή Eye-Tracking (ET) και από Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (Electroencephalogram; EEG) αντίστοιχα. Αναλυτικότερα, οι ET συσκευές, εντοπίζουν την κίνηση του ματιού η οποία καθρεφτίζει το άμεσο ενδιαφέρον του και κατ' επέκταση την φυσική προτίμηση του σε κάποια στοιχεία, όπως είναι το χρώμα, το σχήμα, το μέγεθος ή το περιβάλλον στο οποίο τοποθετείται ένα αντικείμενο. Από την άλλη μεριά, το EEG, το οποίο λειτουργεί με ειδικούς αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται στην κεφαλή του εθελοντή, ανιχνεύει πιο ειδικές αντιδράσεις. Με τη βοήθειά του, καταγράφεται η εγκεφαλική δραστηριότητα του εθελοντή και τα συναισθήματα που παράγονται όταν έρθει σε επαφή με ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, πληροφορία, διαφήμιση ή δράση.

Τέλος, οι υλοποιήσεις των παραπάνω αλγορίθμων αξιολόγησης ψυχο-συναισθηματικής κατάστασης έχουν εναποτεθεί στο ψηφιακό αποθετήριο GitHub με τη μορφή βιβλιοθήκης η οποία περιλαμβάνει ξεχωριστές συναρτήσεις για κάθε αλγόριθμο.

2 ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΣΕ ΔΕΙΚΤΕΣ ΨΥΧΟΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Με βάση την ανάλυση των συμπερασμάτων από τις συνεντεύξεις και τα ερωτηματολόγια που διεξήχθησαν με το Focus Group και παρουσιάστηκαν στο Παραδοτέο Π1.1 (NeuroMkt 2021a), προέκυψε μια σειρά λειτουργικών απαιτήσεων για το σύστημα του NeuroMkt. Λαμβάνοντας υπόψιν τη σημαντικότητα των λειτουργικών απαιτήσεων όπως καθορίστηκαν από την ανάλυση των ερωτηματολογίων, τις συζητήσεις που έλαβαν χώρα στο Focus Group αλλά και τις απαιτήσεις για τη σχεδίαση μιας χρηστικής εφαρμογής για την αξιολόγηση διαφημιστικών μηνυμάτων, ιεραρχήσαμε και καταλήξαμε στην υλοποίηση μιας σειράς από ειδικές και γενικές λειτουργίες με μεγάλη εφαρμοσιμότητα οριζόντια σε πολλές εφαρμογές. Στον παρακάτω πίνακα χαρτογραφούμε τις βασικότερες λειτουργικές απαιτήσεις και παρέχουμε μια αντιστοίχισή τους σε κατάλληλα διαμορφωμένους αλγορίθμους.

Λειτουργική Απαιτήση	Αλγόριθμος	Χρήση σε Πιλότο
Σημεία που εστιάζει ο χρήστης	Fixation Detection (ET)	Κατά την διάρκεια των πιλοτικών δοκιμών θα πληροφορεί τους διαφημιστές σχετικά με τα στοιχεία της οπτικής σκηνής όπου ο χρήστης εστίασε.
	Attention Index (EEG)	
	Heatmaps (ET)	
Γνωσιακός φόρτος του συμμετέχοντα	Pupil Size Estimation (ET)	Θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το γνωσιακό φόρτο των συμμετεχόντων.
	Mental Workload (EEG)	
Συναισθηματική κατάσταση του συμμετέχοντα	Valence Index (EEG)	Η αποτύπωση της συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη αποτυπώνεται μέσα από 2 δείκτες: 1) ένταση του συναισθήματος, 2) θετικότητα του συναισθήματος.
	Arousal Index (EEG)	
Ύπαρξη κινήτρου και πρόθεση εμπλοκής του συμμετέχοντα	Approach-Withdrawal Index (EEG)	Θα πληροφορεί τους διαφημιστές σχετικά με πιθανή ύπαρξη κινήτρου και πρόθεση εμπλοκής των συμμετεχόντων κάνοντας χρήση ενός κατάλληλου δείκτη.
Χρονική διάρκεια παρατήρησης στοιχείων της οπτικής σκηνής	Dwell Time	Θα παρέχεται πληροφορία στους διαφημιστές σχετικά με τη χρονική διάρκεια που αφιέρωσαν οι χρήστες ανά περιοχή ενδιαφέροντος που ορίζεται από τους ίδιους τους διαφημιστές.
	Areas of Interest	
Στάση απέναντι στο προϊόν	Approach-Withdrawal Index (EEG)	Κατά την διάρκεια των πιλοτικών δοκιμών οι διαφημιστές θα πληροφορούνται σχετικά με την πρόθεση αγοράς κάθε χρήστη.
	Valence Index (EEG)	
	Memorization Index (EEG)	
	Heatmaps (ET)	
Σειρά εξέτασης των στοιχείων της οπτικής σκηνής	Scanpath (ET)	Θα πληροφορεί τους διαφημιστές σχετικά με την πορεία που ακολούθησε το βλέμμα κάθε χρήστη κατά τη διάρκεια παρακολούθησης της οπτικής σκηνής.

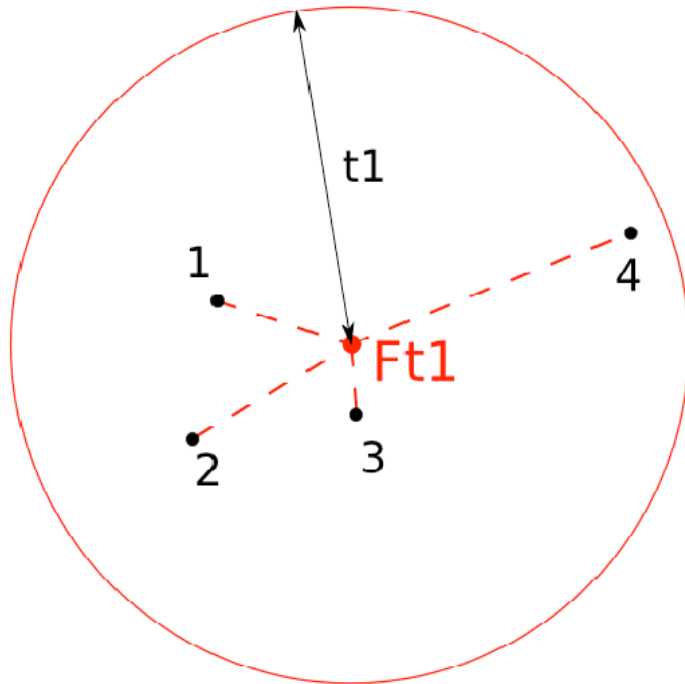
3.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΤ

Η καταγραφή και εν συνεχεία η ανάλυση, των κινήσεων των ματιών αποτελεί έναν αποδοτικό τρόπο για τη μελέτη της ανθρώπινης όρασης και αντίληψης. Καθώς η διαδικασία της οφθαλμικής κίνησης κατά την διάρκεια παρακολούθησης είναι αυτόματη και υποσυνείδητη, το ΕΤ είναι ένα ελκυστικό εργαλείο τόσο για ποιοτική όσο και για ποσοτική έρευνα, καθώς επιτρέπει στους ερευνητές να εντοπίσουν και να αξιολογήσουν μη συνειδητές διαδικασίες που διέπονται από τις προκαταλήψεις και τις προτιμήσεις του ατόμου. Τα δεδομένα που προκύπτουν από ένα σύστημα ΕΤ είναι ικανά να παρέχουν πληροφορίες για ένα ευρύ φάσμα έρευνας, συμπεριλαμβανομένων ψυχολογικών ή αντιληπτικών μελετών, όπως η προτίμηση προϊόντων και άλλα. Ένα ΕΤ σύστημα είναι ένα σχετικά απλό στη χρήση εργαλείο – το δύσκολο κομμάτι όμως έγκειται στην επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων που παρέχει.

3.1.1 FIXATION AND GAZE POINTS

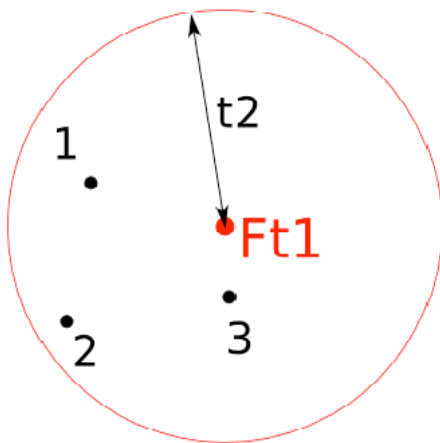
Τα ανθρώπινα μάτια κάνουν διαδοχικές κινήσεις κατά την παρατήρηση/παρακολούθηση μιας οπτικής σκηνής ή προβολής. Η καθήλωση (ο όρος αναφέρεται στα αγγλικά ως fixation) συμβαίνει τη στιγμή που τα μάτια παραμένουν σχετικά ακίνητα για κάποιο χρονικό διάστημα και εστιάζουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο της οπτικής σκηνής (Poole & Ball, 2005). Αυτή η στιγμή χαρακτηρίζεται από τις μικροσκοπικές κινήσεις τρόμου, ολισθήσεων και μικροσακαδικών (Martinez-Conde, Macknik, & Hubel, 2004). Στην πράξη, η βιβλιογραφία έχει αποδείξει ότι τα fixations συμβαίνουν σε διακριτά σημεία με περιορισμένη διάρκεια και διασπορά. Η διαδικασία αναγνώρισης των fixations μεταξύ των διαστημάτων κίνησης των ματιών μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ανάλυση υψηλότερου επιπέδου (Salvucci & Goldberg, 2000). Ένας αλγόριθμος εντοπισμού των fixations συνήθως δίνει ως έξοδο τρία χαρακτηριστικά α) τις συντεταγμένες του fixation, β) τον χρόνο έναρξής του και, γ) τη χρονική διάρκειά του (Salvucci, 2000).

Ο εντοπισμός των fixations στο πλαίσιο του NeuroMkt γίνεται με την χρήση του αλγορίθμου eyeMMV (Filippakourou & Nakos, 2014). Η διαδικασία του εντοπισμού βασίζεται σε τρεις βασικές παραμέτρους, δύο χωρικές παραμέτρους και μία χρονική που αφορά την ελάχιστη διάρκεια των fixations. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η εκτέλεση του αλγορίθμου αυτού οδηγεί στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των κέντρων καθήλωσης και της διάρκειας τους. Ο αλγόριθμος λαμβάνει ως είσοδο καταγραφές από ένα σύστημα ΕΤ (δισδιάστατες χωρικές συντεταγμένες: x , y και χρόνο: t) και τις τιμές τριών παραμέτρων (δύο παραμέτρων ανοχής: $t1$, $t2$ και ένα κατώφλι ελάχιστης διάρκειας). Η εκτέλεση του αλγορίθμου απεικονίζεται στην Εικόνα 1 και περιγράφεται από τα κάτωθι βήματα:

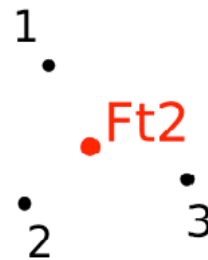


Ft1: fixation center
after t1 criterion

5.



Ft2: fixation center
after t1, t2 criterion



Εικόνα 1. Απεικόνιση της χρήσης των χωρικών παραμέτρων ($t1$, $t2$) για την εκτέλεση του αλγόριθμου εντοπισμού καθήλωσης σε καταγραφή παρακολούθησης ματιών πέντε δειγμάτων (1, 2, 3, 4 και 5). Το Ft2 αντιστοιχεί στο κέντρο της συστάδας καθήλωσης μετά την εφαρμογή των δύο χωρικών παραμέτρων.

Βήμα 1: Ξεκινώντας από το πρώτο δείγμα της καταγραφής, η μέση τιμή των οριζόντιων και κάθετων συντεταγμένων υπολογίζεται διαδοχικά εφόσον η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του μέσου σημείου και του τρέχοντος δείγματος είναι μικρότερη από την τιμή της ανοχής $t1$. Εάν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από την παράμετρο $t1$, τα προηγούμενα δείγματα ομαδοποιούνται και αποτελούν ένα νέο σύμπλεγμα καθήλωσης. Έτσι, επιτυγχάνεται μια πρωταρχική ομαδοποίηση των δειγμάτων σε συστάδες καθήλωσης.

Βήμα 2: Για κάθε σύμπλεγμα, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ του μέσου σημείου του συμπλέγματος και κάθε δείγματος που ανήκει στο σύμπλεγμα. Εάν η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ενός δείγματος και της μέσης τιμής

της συστάδας που ανήκει είναι μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη τιμή της ανοχής t_2 , η εγγραφή δεν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των συντεταγμένων καθήλωσης. Μετά την αφαίρεση των δειγμάτων που δεν πληρούν το κριτήριο ανοχής t_2 , οι συντεταγμένες των καθηλώσεων υπολογίζονται ως το μέσο σημείο κάθε συστάδας με διάρκεια ίση με τη διαφορά των χρόνων μεταξύ του τελευταίου και του πρώτου δείγματος της συστάδας.

Βήμα 3: Μετά την εφαρμογή των χωρικών περιορισμών t_1 και t_2 , αφαιρούνται οι συστάδες καθήλωσης που έχουν διάρκεια μικρότερη από το κατώφλι ελάχιστης διάρκειας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι χωρικές παράμετροι t_1 , t_2 είναι προκαθορισμένες και δίνονται ως είσοδο στον αλγόριθμο. Παρόλα αυτά, η παράμετρος t_2 μπορεί επίσης να εκτιμηθεί μετά τη σύγκριση της τιμής της τυπικής απόκλισης του συμπλέγματος με τις αποστάσεις μεταξύ των δειγμάτων της συστάδας και του μέσου σημείου. Πιο συγκεκριμένα, μετά το κριτήριο ανοχής t_1 , υπολογίζεται το μέσο σημείο της συστάδας ($m_x \pm s_x$, $m_y \pm s_y$), όπου s_x και s_y είναι οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων των οριζόντιων και κάθετων συντεταγμένων στη συστάδα αντίστοιχα. Υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ κάθε σημείου συμπλέγματος και του μέσου σημείου (m_x , m_y). Εάν η απόσταση ενός σημείου συμπλέγματος είναι μεγαλύτερη από το στατιστικό διάστημα των $3s$, όπου $s = (s_x + s_y)^{1/2}$, το σημείο δεν χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του κέντρου καθήλωσης.

3.1.2 SCANPATH

Με τον όρο scanpath αναφερόμαστε στην ακολουθία που περιγράφει τα σημεία καθήλωσης. Οι ακολουθίες αυτές βασίζονται τόσο σε χωρικές όσο και σε χρονικές πληροφορίες – πότε και πού εστίασε κάποιος συμμετέχων. Αυτό επιτρέπει τον προσδιορισμό των στοιχείων μιας εικόνας όπου ο χρήστης δίνει προτεραιότητα κατά την διάρκεια παρακολούθησης της οπτικής σκηνής. Συνήθως το πρώτο σημείο του scanpath βρίσκεται στη μέση της εικόνας λόγω της μεροληψίας της κεντρικής καθήλωσης που διέπει την ανθρώπινη όραση. Τα επόμενα όμως σημεία της ακολουθίας θεωρούνται αντιπροσωπευτικά και αποτελούν ένδειξη για το ποια σημεία της οπτικής σκηνής είναι παρακινητικά για τους συμμετέχοντες.

Η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα σημεία προσοχής είναι ένας κοινώς χρησιμοποιούμενος δείκτης σε έρευνες παρακολούθησης ματιών, καθώς αντικατοπτρίζει το επίπεδο προσοχής ενός ατόμου καθώς και σημεία ενδιαφέροντος στην οθόνη ή το περιβάλλον (δηλαδή στοιχεία που ξεχωρίζουν ως προς τη φωτεινότητα, την απόχρωση, τον κορεσμό κ.λπ.). Η τελευταία καθήλωση είναι συχνά η πιο αξιόπιστη και δηλωτική όταν η έρευνα αφορά τη μελέτη οικονομικών αποφάσεων (επιλογή της επιλογής A έναντι της επιλογής B/C/κ.λπ.) (Takeuchi & Habuchi, 2007). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι και εδώ τα ερευνητικά ευρήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται πάντα με κριτική σκέψη καθώς η συμπεριφορική αντίδραση του ματιού διέπεται από προκατάληψη. Για παράδειγμα, σημαντικό ρόλο παίζει η διαδικασία της ανάγνωσης καθώς στις περισσότερες γλώσσες οι άνθρωποι διαβάζουν από πάνω-αριστερά προς τα κάτω-δεξιά.

Σε αλγοριθμικό επίπεδο, το scanpath βασίζεται αποκλειστικά στον εντοπισμό καθηλώσεων (βλέπε Ενότητα 3.1.1), όπου απλά οι εντοπισμένες καθηλώσεις διατάσσονται με χρονική σειρά. Στην Εικόνα 2 απεικονίζεται ένα ενδεικτικό scanpath. Τα δεδομένα αντιστοιχούν σε πραγματικές καταγραφές οφθαλμικών κινήσεων κατά την διάρκεια παρακολούθησης ενός προωθητικού φυλλαδίου.



Εικόνα 2. Ακολουθία καθιλώσεων κατά την διάρκεια παρακολούθησης ενός προωθητικού φυλλαδίου. Κάθε κύκλος αντιστοιχεί σε ένα σημείο καθιλώσης και ο αριθμός που το συνοδεύει καταδεικνύει την σειρά πραγμάτωσής τους. Το μέγεθος του κάθε κύκλου είναι ενδεικτικό της διάρκειας του σημείου καθιλώσης.

3.1.3 HEATMAPS

Οι χάρτες θερμότητας (ο όρος συναντάται στα αγγλικά ως heatmap) είναι απεικονίσεις που δείχνουν τη χωρική κατανομή των σημείων βλέματος. Συνήθως εμφανίζονται ως επικάλυψη χρωματικής διαβάθμισης στην εικόνα ή το ερέθισμα που παρουσιάζεται. Παραδείγματος χάριν, το κόκκινο, το κίτρινο και το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύουν με φθίνουσα σειρά τον αριθμό των δειγμάτων βλέματος που κατευθύνθηκαν προς μέρη της εικόνας (βλέπε Εικόνα 3).

Η χρήση ενός χάρτη θερμότητας αποτελεί μία απλή μέθοδο για τον εντοπισμό των στοιχείων που προσελκύουν περισσότερη προσοχή από άλλα (Alam & Jianu, 2016). Οι χάρτες θερμότητας είναι ευθέως συγκρίσιμοι μεταξύ διαφορετικών συμμετεχόντων (όπως επίσης και ανάμεσα σε ομάδες συμμετεχόντων). Συνεπώς αποτελεί μια χρήσιμη μέθοδο για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο διαφορετικοί πληθυσμοί αντιλαμβάνονται και αντιδρούν σε ένα οπτικό ερέθισμα.



Εικόνα 3. Heatmap καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων κατά τη διάρκεια θέασης εικόνας με προϊόντα περιποίησης. Το κόκκινο, το κίτρινο και το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύουν με φθίνουσα σειρά τον αριθμό των δειγμάτων βλέμματος που καταγράφηκαν στην περιοχή της οπτικής σκηνής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις τιμές των ιστογραμμάτων εφαρμόζεται συνήθως ένα κατώφλι, κάτω από το οποίο οι υπάρχουσες τιμές αγνοούνται. Αυτό γίνεται ώστε να μην απεικονίζονται οι τιμές που οφείλονται αποκλειστικά σε σακαδικές. Μια συνήθης τιμή που χρησιμοποιείται για το κατώφλι είναι η μέση τιμή του δισδιάστατου ιστογράμματος.

3.1.4 AREAS OF INTEREST (AOI)

Μια περιοχή ενδιαφέροντος (ο αγγλικός όρος είναι Area Of Interest; AOI, ή Region Of Interest; ROI), είναι ένα εργαλείο για την επιλογή υπό-περιοχών ενός εμφανιζόμενου ερεθίσματος και για την εξαγωγή χαρακτηριστικών που αφορούν ειδικά τις περιοχές αυτές (βλέπε Εικόνα 4). Αν και ένα AOI από μόνο του δεν αποτελεί ένα χαρακτηριστικό που αφορά την ψυχοσυναισθηματική κατάσταση του χρήστη, ορίζει μία οπτική περιοχή στην οποία υπολογίζονται άλλες μετρήσεις (Venugopal, Amudha & Jyotsna, 2016).

Για παράδειγμα, όταν οι συμμετέχοντες εκτίθεται σε οπτικό ερέθισμα που απεικονίζει έναν άνθρωπο, μπορεί να σχεδιαστεί ένα AOI που περικλείει το σώμα και ένα το πρόσωπο. Στη συνέχεια, μπορούμε να μελετήσουμε την κάθε περιοχή ξεχωριστά, όπως πόσος χρόνος πέρασε από την έναρξη του ερεθίσματος έως ότου οι συμμετέχοντες κοίταζαν μέσα στη συγκεκριμένη περιοχή, πόσο χρόνο αφιέρωσαν οι συμμετέχοντες κοιτάζοντας στοιχεία που ανήκουν στην περιοχή, πόσες καθηλώσεις πραγματοποιήθηκαν μέσα στην περιοχή, πόσες φορές κάποιος συμμετέχων κοίταξε εκτός της AOI και επανέφερε το βλέμμα του πίσω.



Εικόνα 4. Κατάτμηση εικόνας σε (επικαλυπτόμενες ή μη) περιοχές ενδιαφέροντος για ξεχωριστή μελέτη κάθε περιοχής και σύγκριση των μετρήσεων ανάμεσα σε διάφορες περιοχές ενδιαφέροντος.

Αυτές οι μετρήσεις είναι χρήσιμες κατά την αξιολόγηση δύο ή περισσότερων περιοχών που αποτελούν μέρη του ίδιου οπτικού ερεθίσματος (π.χ. εικόνας, ιστότοπου, βίντεο κ.α.). Παρακάτω περιγράφονται τα πιο κοινά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την μελέτη περιοχών ενδιαφέροντος:

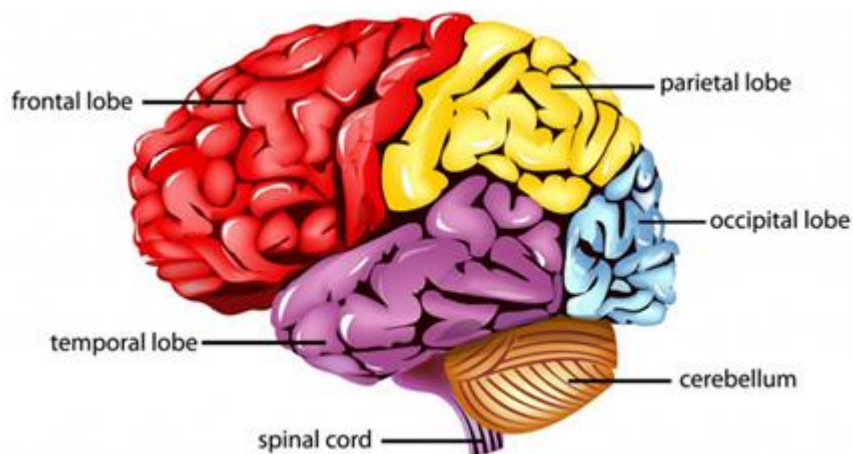
- **Χρόνος Παραμονής:** Ο χρόνος παραμονής (Dwell Time στα αγγλικά) ποσοτικοποιεί το χρόνο που έχουν αφιερώσει οι ερωτηθέντες κοιτάζοντας τα στοιχεία ενός συγκεκριμένου ΑΟΙ (Goldberg et al., 2002). Σε ορισμένες περιπτώσεις, μια σχετική αύξηση του χρόνου παραμονής σε ένα συγκεκριμένο μέρος μιας εικόνας θα μπορούσε να συσχετιστεί με το κίνητρο και την προσοχή. Μια μεγάλη διάρκεια παραμονής σε μια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να υποδηλώνει υψηλό επίπεδο ενδιαφέροντος, ενώ οι μικρότεροι χρόνοι μπορεί να υποδηλώνουν ότι άλλες περιοχές της οπτικής σκηνής μπορεί να εμφανίζουν συγκριτικά μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Ωστόσο, τα συμπεράσματα σχετικά με τη συναισθηματική αντίδραση στην οπτική σκηνή δεν μπορούν να εξαχθούν μόνο κάνοντας χρήση ενός συστήματος ET. Για αυτό το λόγο, συνήθως αυτές οι μετρήσεις συνοδεύονται από ψυχοσυναισθηματικούς δείκτες που προκύπτουν από EEG ή ανάλυση των εκφράσεων του προσώπου.
- **Αναλογία:** Η αναλογία (ο όρος συναντάται στα αγγλικά ως Ratio) περιγράφει το ποσοστό των συμμετεχόντων που έστρεψαν το βλέμμα τους προς ένα συγκεκριμένο ΑΟΙ (Borgys & Plechawska-Wójcik, 2017). Στον τομέα του μάρκετινγκ, η μετρική αυτή χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση μιας διαφήμισης, έτσι ώστε περισσότεροι άνθρωποι να «έλκονται» προς μια συγκεκριμένη περιοχή, όπως το λογότυπο ή την τιμή.
- **Επανεπισκέψεις:** Ο αριθμός των επανεπισκέψεων (ο αγγλικός όρος είναι revisits) παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πόσες φορές ένας συμμετέχων επέστρεψε το βλέμμα του σε ένα συγκεκριμένο ΑΟΙ. Αυτό επιτρέπει στους ερευνητές να εξετάσουν ποιες περιοχές προσέλκυσαν επανειλημμένα τον συμμετέχοντα (ασχέτως της πρόθεσης) (Cho et al., 2019). Ο κάθε συμμετέχων μπορεί να ελκύεται από μια συγκεκριμένη περιοχή μιας οπτικής σκηνής επειδή είναι ευχάριστη, επειδή προκαλεί σύγχυση ή ακόμα και επειδή είναι απογοητευτική. Παρότι η παρακολούθηση ματιών δεν είναι ικανή να αποκαλύψει τα συναισθήματα των συμμετεχόντων κατά την διάρκεια θέασης ενός οπτικού ερεθίσματος, είναι σε θέση να καταδείξει τα στοιχεία της εικόνας που χρήζουν περαιτέρω εξέτασης.

3.1.5 PUPIL SIZE/DILATION

Στον τομέα του μάρκετινγκ, η διαστολή της κόρης του ματιού χρησιμοποιείται ως εργαλείο μέτρησης ερεθισμάτων και συμπεριφοράς ήδη από την δεκαετία του 70. Θεωρείται ο πραγματικός πρόγονος όλων των μετέπειτα τεχνικών του νευρομάρκετινγκ. Οι κόρες των ανθρώπινων ματιών διαστέλλονται όταν το άτομο σκέφτεται κάτι διεξοδικά (σκέψη με το σύστημα 2 - αναλυτικός τρόπος σκέψης όπου κυριαρχεί η λογική (Kahneman, 2011)), νιώθει έντονα συναισθήματα, διεγείρεται ή δείχνει ιδιαίτερο ενδιαφέρεται (Kim & Yang, 2017). Παρόλο που οι πληροφορίες αυτές είναι εξαιρετικά χρήσιμες για την επιστήμη του μάρκετινγκ, η διαστολή της κόρης από μόνη της δεν είναι σε θέση να παρέχει ουσιαστική πληροφορία και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται συνδυαστικά με άλλες μετρήσεις (π.χ. χαρακτηριστικά που πηγάζουν από το EEG). Ένα σημαντικό μειονέκτημα που συνοδεύει τις μετρήσεις διαστολής της κόρης είναι ότι αυτές επηρεάζονται άμεσα από τη φωτεινότητα της οπτικής σκηνής. Μια πιο σκοτεινή σκηνή οδηγεί σε μια πιο διεσταλμένη κόρη, γι' αυτό η διαστολή της κόρης δεν αποτελεί αξιόπιστο χαρακτηριστικό για διαφημίσεις, ιστότοπους ή καταστήματα με μεταβαλλόμενη φωτεινότητα. Στα σύγχρονα συστήματα ET ο υπολογισμός της διαστολής της κόρης αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της καταγραφικής διαδικασίας.

3.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΕΓ

Το EEG είναι μία μέθοδος παρακολούθησης και οπτικής απεικόνισης των φυσιολογικών αποκρίσεων του εγκεφάλου. Τα σήματα τα οποία καταγράφει μία συσκευή EEG αντανακλούν τη μέσο και μακροσκοπική δυναμική του εγκεφάλου. Ως εκ τούτου, η ανάλυση των δεδομένων EEG δύναται να παρέχει μια σειρά από πληροφορίες που σχετίζονται με τις γνωστικές λειτουργίες του εγκεφάλου, όπως τα συναισθήματα, η μνήμη και η αντίληψη, οι οποίες ενεργοποιούν συγκεκριμένες περιοχές του ανθρώπινου εγκεφάλου (βλέπε Εικόνα 5).



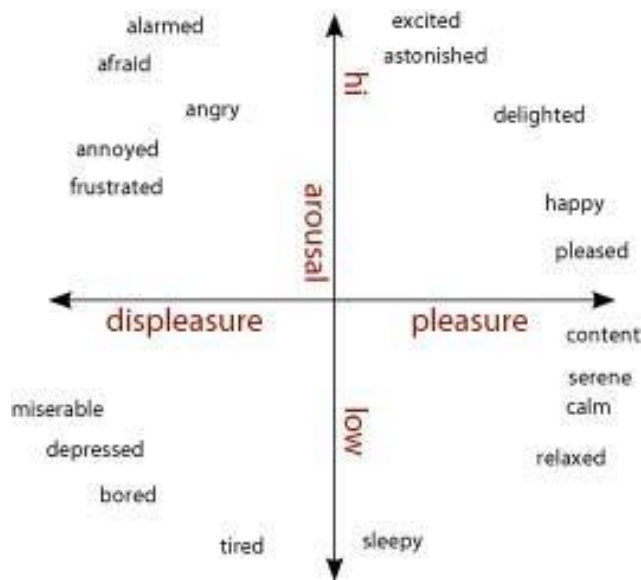
Εικόνα 5. Οι βασικές περιοχές του εγκεφάλου.

Στο πλαίσιο του Neuromarketing, η ανάλυση των ΗΕΓ δεδομένων στοχεύει στην ανάδειξη νευρο-δεικτών (neural indicators) οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά να αποκρυπτογραφήσουν τις προθέσεις του καταναλωτικού κοινού αλλά και να εντοπίσουν τα στοιχεία εκείνα των προϊόντων ή των διαφημιστικών μηνυμάτων τα οποία είναι ελκυστικά για αυτό. Οι νευρο-δείκτες που απαντώνται στη βιβλιογραφία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε αυτούς που σχετίζονται με τη συναισθηματική κατάσταση του ατόμου και σε αυτούς που αποτυπώνουν τις γνωσιακές του λειτουργίες. Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται

αναλυτικά οι αποδοτικότερες αλγοριθμικές υλοποιήσεις για τον υπολογισμό των νευρο-δεικτών που ανήκουν και στις δύο κατηγορίες.

3.2.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τα ανθρώπινα συναισθήματα προκαλούνται είτε από την «εσωτερική» σκέψη του ατόμου ως αποτέλεσμα κάποιας ανάμνησης, είτε από την έκθεση του ατόμου σε κάποιο ερέθισμα (οπτικό, ακουστικό, απτικό κτλ.). Τα συναισθήματα επηρεάζουν σημαντικά διάφορες πτυχές της ζωής ενός ανθρώπου, όπως τις αποφάσεις που παίρνει, πόσο αποτελεσματικά μαθαίνει και πως επικοινωνεί με τους άλλους. Αντίστοιχα, ο όρος συναισθηματική κατάσταση (emotional state) εμπερικλείει τόσο τη ψυχολογική όσο και τη φυσική κατάσταση κατά την οποία τα συναισθήματα αλληλοεπιδρούν με τη συμπεριφορά, με την αξιολόγηση τους να εξελίσσεται υπό ένα κοινό πρίσμα. Από τα παραπάνω μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό ότι τα συναισθήματα αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Για τους λόγους αυτούς, η αναγνώριση συναισθημάτων όπως αυτά αποτυπώνονται μέσω νευρο-απεικονιστικών μεθόδων, όπως το ΗΕΓ, βρίσκεται στο επίκεντρο πληθώρας μελετών που σχετίζονται με το Neuromarketing (π.χ. Aldayel, 2020; Liu, 2013; Naser 2021; Sourina, 2011).



Εικόνα 6 Η αντιστοίχιση των βασικών συναισθημάτων στο μοντέλο Arousal-Valence.

Η αποκωδικοποίηση της συναισθηματικής κατάστασης είναι ευρύτερα γνωστή ως Αναγνώριση Συναισθήματος (Emotion Recognition) και ο στόχος είναι τόσο η αναγνώριση των συναισθημάτων όσο και η κατηγοριοποίηση τους, δηλαδή η αντιστοίχσή τους σε ένα από τα βασικά συναισθήματα (Parrot, 2001). Η συνηθέστερη προσέγγιση για την Αναγνώριση Συναισθήματος κινείται γύρω από δύο βασικούς άξονες, την Πολικότητα και την Ένταση, με του όρους στα αγγλικά να αναφέρονται ως Valence και Arousal, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, ο όρος valence ο οποίος τοποθετείται στον οριζόντιο άξονα, περιγράφει την ποιότητα των συναισθημάτων, με τις τιμές του να κυμαίνονται μεταξύ του «δυσάρεστου» (displeasure) και του «ευχάριστου» (pleasure). Αντίστοιχα, οι τιμές του arousal τοποθετούνται στον κατακόρυφο άξονα και είναι αυτές που αναδεικνύουν ποσοτικά την ένταση των συναισθημάτων και κυμαίνονται από το υψηλό (high) μέχρι το χαμηλό (low) arousal.

Η περιοχή του εγκεφάλου που ενεργοποιείται κυρίως κατά την πρόκληση ενός συναισθήματος είναι η εμπρόσθια, με την πλειονότητα των μελετών να εστιάζει στην ανάλυση σημάτων που καταγράφονται από ηλεκτρόδια τα οποία έχουν τοποθετηθεί σε αυτές τις περιοχές (Aldayel, 2020; Sourina, 2011). Για την Αναγνώριση Συναισθήματος σε πραγματικό χρόνο έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες προσεγγίσεις ως προς την ανάλυση των σημάτων ΗΕΓ. Αρκετές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ΗΕΓ σήματος (π.χ. μέσος όρος, τυπική απόκλιση) (Petrantonakis 2009; Takahashi, 2003), με στόχο την κατηγοριοποίηση των συναισθημάτων. Επιπλέον, υπάρχουν προσεγγίσεις που βασίζονται στη φασματική ενέργεια του σήματος και τις διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ τόσο των διαφορετικών περιοχών του εγκεφάλου (Koelstra 2010) όσο και των διαφορετικών εγκεφαλικών ρυθμών (Liu 2012) αλλά και κάποιες οι οποίες χρησιμοποιούν τη fractal διάσταση (fractal dimension) (Liu, 2013; Sourina 2011). Τέλος, τα τελευταία χρόνια εντοπίζονται αρκετές μελέτες οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνικές βαθιάς μάθησης (deep learning) (Aldayel, 2020; Rasyid, 2019), η αποδοτικότητα των οποίων εξαρτάται άμεσα από το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων.

Συγκρίνοντας τις διάφορες προσεγγίσεις για την αναγνώριση συναισθήματος, αυτή που φαίνεται να είναι η πιο αποδοτική ως προς το δίπολο valence-arousal είναι η fractal διάσταση. Όσον αφορά στον τρόπο υπολογισμού της, η πλέον αποδοτική προσέγγιση αφορά τη χρήση του αλγόριθμου Higuchi (Higuchi, 1988). Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος υπολογίζει τη fractal διάσταση μιας χρονοσειράς $X(1), X(2), \dots, X(N)$ η οποία αποτελείται από N σημεία ως εξής:

$$X_k^m: X(m), X(m+k), \dots, X(m + \lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor \times k) \quad (1)$$

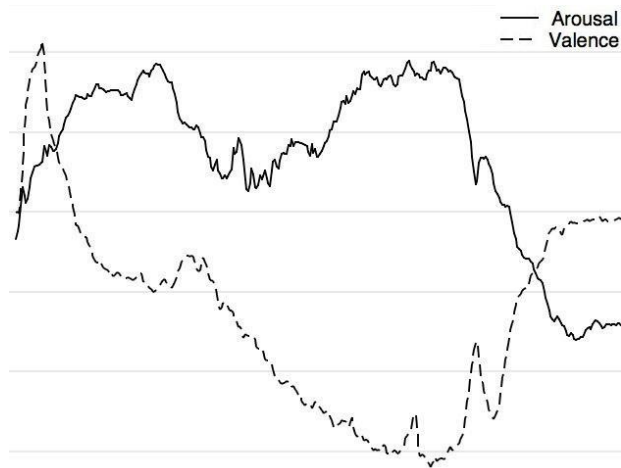
όπου m ($m=1, 2, \dots, k$) είναι ο αρχικός χρόνος με και k το χρονικό διάστημα.

Αντίστοιχα, ένα πλήθος k σετ του $L_m(k)$ υπολογίζεται ως:

$$L_k(t) = \frac{\left\{ \left(\sum_{i=1}^{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor} |X(m+ik) - X(m+(i-1)k)| \right)^{\frac{N-1}{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor k}} \right\}}{k} \quad (2)$$

Όπου $\langle L(k) \rangle$ δηλώνει τη μέση τιμή του $L_m(k)$ με τη σχέση μεταξύ τους να δηλώνεται ως $\langle L(k) \rangle \propto k^{-D}$. Έπειτα, η fractal διάσταση (FD) μπορεί να εξαχθεί εύκολα από τον υπολογισμό της λογαριθμικής διαφοράς μεταξύ των διαφορετικών τιμών του k και του σχετικού $\langle L(k) \rangle$.

Τέλος, οι δείκτες arousal και valence προκύπτουν από τον υπολογισμό της FD για τις χρονοσειρές συγκεκριμένων ηλεκτροδίων. Αναλυτικότερα, για τον υπολογισμό του arousal χρησιμοποιείται η χρονοσειρά κάποιου ηλεκτροδίου από την εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου. Αντίστοιχα, για το valence χρησιμοποιείται το FD από δύο ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται αντιδιαμετρικά στην αριστερή και δεξιά εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου. Στην Εικόνα 7 φαίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της διακύμανσης των τιμών valence και arousal σε πραγματικό χρόνο όπως αυτές έχουν υπολογιστεί με τη χρήση της Εξίσωσης 2 και της σχετικής επιλογής ηλεκτροδίων όπως αυτή παρουσιάστηκε παραπάνω.



Εικόνα 7. Η εξέλιξη στο χρόνο των δεικτών Arousal και Valence.

3.2.2 ΔΕΙΚΤΗΣ AW

Η εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου (προμετωπιαία και μετωπιαία περιοχή) είναι βιβλιογραφικά γνωστό πως συνδέεται με τη στάση του ατόμου απέναντι σε κάποιο ερέθισμα (οπτικό, ακουστικό ή οσφρητικό), καθώς συνδέεται άμεσα με την ικανοποίηση που γεννάται από το συγκεκριμένο ερέθισμα και κατ' επέκταση με τη στάση απέναντι στο προϊόν. Αναλυτικότερα, πρόκειται για ένα ετερόπλευρο φαινόμενο, με την αριστερή προμετωπιαία και μετωπιαία περιοχή να σχετίζεται με την αποδοχή των ερεθισμάτων και τη δεξιά με την απόρριψή τους. Το συγκεκριμένο, φαινόμενο αναφέρεται ως ασυμμετρία της εμπρόσθιας εγκεφαλικής δραστηριότητας, ενώ ο αντίστοιχος νευρο-δείκτης είναι ευρύτερα γνωστός με τον όρο Αποδοχή/Απόρριψη με την αντίστοιχη εκδοχή του στα αγγλικά να είναι Approach/Withdrawal (AW). Από τα παραπάνω μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό γιατί το συγκεκριμένο φαινόμενο βρίσκεται στο επίκεντρο των μελετών οι οποίες ερευνούν το μάρκετινγκ υπό το πρίσμα της Νευροεπιστήμης.

Σε επίπεδο ανάλυσης σήματος EEG ο AW δείκτης υπολογίζεται ως η διαφορά της φασματικής ενέργειας στην άλφα ζώνη συχνοτήτων (alpha frequency band; 8-12 Hz) μεταξύ της δεξιάς και αριστερής εμπρόσθιας περιοχής του εγκεφάλου. Ο υπολογισμός της ενέργειας μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους, ενώ αντίστοιχα και τα ηλεκτρόδια τα οποία χρησιμοποιούνται για να αντληθεί η συγκεκριμένη πληροφορία ποικίλουν και εξαρτώνται από τις συσκευές EEG και το πλήθος των διαθέσιμων ηλεκτροδίων στη συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου. Τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφορετικών εκδοχών για τον υπολογισμό του δείκτη AW. Οι πιο κλασσικές παραλλαγές όσον αφορά τον τρόπο υπολογισμού της φασματικής ενέργειας αφορούν τη χρήση του Pwelch (Vecchiato, 2012), τη χρήση μόνο της περιβάλλουσας (envelope) του σήματος (Flumeri, 2017) και τη χρήση της συνολικής ενέργειας πεδίου για τον υπολογισμό της (Modica, 2018). Αντίστοιχα, υπάρχει σημαντικό πλήθος μελετών το οποίο εστιάζει σε συγκεκριμένα ηλεκτρόδια στην εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου (Shestyuk, 2019), είτε από επιλογή είτε λόγω έλλειψης επιπρόσθετων ηλεκτροδίων στη συγκεκριμένη περιοχή, όπου ουσιαστικά ο υπολογισμός του AW δείκτη ανάγεται σε μία απλή αφαίρεση των ενεργειών μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων από κάθε περιοχή (δηλ. αριστερής και δεξιάς). Τέλος, υπάρχουν μελέτες οι οποίες επεκτείνουν τη διερεύνηση για τον δείκτη AW σε επιπλέον ζώνες συχνοτήτων (Hakim, 2021), αλλά και κάποιες που εστιάζουν μόνο σε ένα από τα ημισφαίρια του εγκεφάλου εξετάζοντας ξεχωριστά το φαινόμενο της αποδοχής και της απόρριψης (Borawski, 2020). Ωστόσο, παρά τις πολλές παραλλαγές για τον υπολογισμό του AW δείκτη, η εκδοχή η οποία φαίνεται να είναι η πιο αποτελεσματική αλλά και αυτή που συναντάται περισσότερο βιβλιογραφικά είναι η παρακάτω:

$$AW = \frac{1}{N_P} \sum_{i \in P} x_{\alpha_i}^2(t) - \frac{1}{N_Q} \sum_{i \in Q} y_{\alpha_i}^2(t) \quad (3)$$

όπου x_{α_i} και y_{α_i} είναι το i -οστό ηλεκτρόδιο στην άλφα ζώνη συχνοτήτων για τη δεξιά (P) και αριστερή (Q) εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου, ενώ t είναι ο χρόνος.

3.2.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ

Η μνήμη είναι μία από τις πλέον βασικές λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου, κατά την οποία η προσλαμβάνουσα πληροφορία επεξεργάζεται, κωδικοποιείται και αποθηκεύεται. Αντίστοιχα, η ανάκληση μνήμης αναφέρεται στη διαδικασία ανάκτησης της συγκεκριμένης πληροφορίας με στόχο την ανάκληση της. Στο πλαίσιο του Neuromarketing οι συγκεκριμένες λειτουργίες (του ανθρώπινου εγκεφάλου) θεωρούνται εξαιρετικά σημαντικές, καθώς όταν οι καταναλωτές θυμούνται ένα προϊόν ή μια διαφήμιση αυξάνεται η πιθανότητα αγοράς του συγκεκριμένου προϊόντος (Nermend, 2018).

Οι διεργασίες της μνήμης και της ανάκλησης μνήμης λαμβάνουν χώρα στην εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου, με το αριστερό ημισφαίριο να δραστηριοποιείται κυρίως κατά τη διαδικασία της κωδικοποίησης και αποθήκευσης ενώ το δεξιό κατά τη διαδικασία της ανάκλησης. Η πλειονότητα των ερευνών που χρησιμοποιούν σήματα EEG για την αξιολόγηση προϊόντων και διαφημιστικών μηνυμάτων εστιάζει την προσοχή της κυρίως στη διεργασία κωδικοποίησης της πληροφορίας. Αυτό συμβαίνει γιατί σε αυτή την περίπτωση οι πειραματικές διαδικασίες είναι πιο σύντομες καθώς δε χρειάζεται η επανάληψη των πειραμάτων, ενώ ταυτόχρονα και εξετάζοντας το θέμα από την πλευρά της Νευροεπιστήμης η διαδικασία της κωδικοποίησης νέας πληροφορίας φαίνεται να συνδέεται άμεσα και σε μεγάλο βαθμό με αυτή της ανάκλησης.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης σήματος EEG για την αποκωδικοποίηση της διαδικασίας της μνήμης χρησιμοποιείται ο δείκτης μνήμης (ή Memorization Index (MI) όπως είναι ο όρος στα αγγλικά), ο οποίος βασίζεται στο γεγονός ότι κατά τη διαδικασία κωδικοποίησης της μνήμης υπάρχει υψηλή ενεργοποίηση στην αριστερά εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου. Πιο συγκεκριμένα ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται, όπως και στην περίπτωση του δείκτη AW, μέσω της φασματικής ενέργειας του σήματος με τη συγκεκριμένη διεργασία ωστόσο να εντοπίζεται στη θήτα ζώνη φάσματος (theta frequency band; 4-8 Hz) και το σχετικό υπολογισμό να περιορίζεται στα ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται μόνο στην αριστερά εμπρόσθια περιοχή (Vecchiato, 2014). Αναλυτικότερα, ο δείκτης μνήμης υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$MI = \frac{1}{N_Q} \sum_{i \in Q} x_{\theta_i}^2(t) \quad (4)$$

όπου x_{θ_i} είναι το i -οστό ηλεκτρόδιο στην άλφα ζώνη συχνοτήτων για την αριστερή (Q) εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου, ενώ t είναι ο χρόνος.

Η παραπάνω εκδοχή υπολογισμού του δείκτη μνήμης είναι η πλέον αποδοτική, ενώ αντίστοιχα και με την περίπτωση του δείκτη AW, έχουν προταθεί διάφορες παραλλαγές για τον υπολογισμό και αυτού του δείκτη. Οι παραλλαγές και πάλι χρησιμοποιούν ως βάση τους τον εντοπισμό των αυξημένων επιπέδων φασματικής ενέργειας στη θήτα ζώνη συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας ωστόσο διαφορετικές προσεγγίσεις ή και ηλεκτρόδια για τον υπολογισμό του δείκτη μνήμης (Norowski 2018; Nermend, 2018).

3.2.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΝΟΗΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η έννοια του νοητικού φόρτου εργασίας (mental workload (MW)) σχετίζεται με την ποσότητα των νοητικών ή φυσικών πόρων που χρειάζεται ένα άτομο προκειμένου να ολοκληρώσει μία συγκεκριμένη εργασία. Η διακύμανση

του νοητικού φόρτου εργασίας έχει άμεση επίπτωση στην καθημερινότητα των ατόμων, καθώς μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα τους αλλά και την ποιότητα της παραγωγικότητας τους. Αυτό έχει τροφοδοτήσει μια σειρά από έρευνες, οι οποίες στοχεύουν στον εντοπισμό του ιδεατού νοητικού φόρτου εργασίας και την αντιμετώπιση φαινομένων «υπερφόρτωσης» των ατόμων τόσο σε εργασιακά όσο και σε μαθητικά περιβάλλοντα, καθώς τέτοια φαινόμενα οδηγούν σε μεγαλύτερο αριθμό λαθών αλλά και στην εμφάνιση ψυχολογικών συμπτωμάτων όπως το άγχος και ο εκνευρισμός.

Εξετάζοντας το νοητικό φόρτο εργασίας υπό το πρίσμα του Neuromarketing, μπορεί κανείς να εντοπίσει παρόμοια μοτίβα, κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και επιλογής καταναλωτικών προϊόντων, καθώς οι καταναλωτές λαμβάνουν σε καθημερινή βάση σημαντική ποσότητα πληροφορίας που σχετίζεται με τα καταναλωτικά αγαθά. Συνεπώς, εκ νέου ο στόχος είναι η εύρεση του ιδεατού νοητικού φόρτου εργασίας που διέπουν τα διαφημιστικά μηνύματα.

Η ανάλυση των διεργασιών που διέπουν το νοητικό φόρτο εργασίας σε επίπεδο εγκεφάλου, έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η προσπάθεια που καταβάλλεται από ένα άτομο τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ανάγκες των απαιτούμενων πόρων, κάτι το οποίο αποτυπώνεται σε δύο διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου στις οποίες παρατηρούνται διαφορετικά φαινόμενα. Αναλυτικότερα, στην εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου εντοπίζεται το φαινόμενο του συγχρονισμού (synchronization) όπου εμφανίζονται αυξημένα επίπεδα φασματικής ενέργειας στην θήτα ζώνη συχνοτήτων (theta frequency band; 4-8 Hz), ενώ στις βρεγματικές περιοχές του εγκεφάλου εντοπίζεται το φαινόμενο του αποσυγχρονισμού (desynchronization) όπου σημειώνεται η μείωση της φασματικής ενέργειας στην άλφα ζώνη συχνοτήτων (alpha frequency band; 8-12 Hz) (Moya, 2020).

Με βάση τα παραπάνω, υπάρχουν ορισμένες μελέτες οι οποίες εστιάζουν αποκλειστικά στην εμπρόσθια περιοχή του εγκεφάλου για τον προσδιορισμό του νοητικού φόρτου εργασίας, σημειώνοντας ότι οι υψηλές τιμές ενέργειας στη θήτα ζώνη στις περιοχές αυτές αποτυπώνουν υψηλά επίπεδα δυσκολίας και νοητικού φόρτου και ως εκ τούτου είναι ενδεικτικές για τον υπολογισμό του δείκτη νοητικού φόρτου εργασίας (Klimesch, 2012; So, 2017). Ωστόσο, η πλειονότητα των μελετών (π.χ. Moya, 2020; Shestyuk, 2019) εξετάζει την ταυτόχρονη εξέλιξη του φαινομένου και στις δύο περιοχές του εγκεφάλου. Σε αυτή την περίπτωση, η ανάλυση των EEG δεδομένων παρέχει περισσότερη και πληρέστερη πληροφορία, καθιστώντας τον δείκτη πιο αντιπροσωπευτικό. Αναλυτικότερα, ο δείκτης του νοητικού φόρτου εργασίας ορίζεται χρησιμοποιώντας το λόγο της ενέργειας της θήτα ζώνης στα εμπρόσθια ηλεκτρόδια προς την ενέργεια της άλφα ζώνης στα βρεγματικά ηλεκτρόδια, όπως φαίνεται και από την παρακάτω εξίσωση:

$$MW = \frac{1}{N_F} \sum_{i \in F} x_{\theta_i}^2(t) / \frac{1}{N_P} \sum_{i \in P} y_{\alpha_i}^2(t) \quad (5)$$

όπου x_{θ_i} και y_{α_i} είναι το i -οστό ηλεκτρόδιο στη θήτα ζώνη συχνοτήτων για την εμπρόσθια περιοχή (F) και στην άλφα ζώνη συχνοτήτων για τη βρεγματική περιοχή (P) του εγκεφάλου αντίστοιχα, ενώ t είναι ο χρόνος.

Τέλος, όπως και στις περιπτώσεις των προηγούμενων δεικτών, έτσι και εδώ το πλήθος των ηλεκτροδίων από τις δύο περιοχές που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη ποικίλει και εξαρτάται από το πλήθος των διαθέσιμων ηλεκτροδίων.

3.2.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΡΟΣΟΧΗΣ

Η προσοχή είναι μία συμπεριφορική νοητική διεργασία κατά την οποία το άτομο εστιάζει σε συγκεκριμένες πτυχές της προσλαμβάνουσας πληροφορίας ή ερεθίσματος αγνοώντας τις υπόλοιπες. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να γίνεται από ένα άτομο είτε συνειδητά είτε υποσυνειδητά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους διαθέσιμους νοητικούς και φυσικούς πόρους. Η συγκεκριμένη διαπίστωση έχει οδηγήσει πολλές μελέτες στην από κοινού

διερεύνηση του δείκτη προσοχής με τον αντίστοιχο του νοητικού φόρτου εργασίας (βλέπε Ενότητα 3.2.4) (π.χ. Moya, 2020).

Η προσοχή είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο για το Neuromarketing, καθώς τα αυξημένα επίπεδα προσοχής κατά την παρακολούθηση ενός διαφημιστικού μηνύματος ή ενός προϊόντος καταδεικνύουν το ενδιαφέρον των καταναλωτών και ως εκ τούτου σηματοδοτούν μια επιτυχημένη διαφημιστική καμπάνια ή έναν επιτυχημένο σχεδιασμό προϊόντος.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης σήματος EEG για την αποκωδικοποίηση της προσοχής χρησιμοποιείται ο δείκτης προσοχής (ή Attention Index (AI) όπως είναι ο όρος στα αγγλικά), ο οποίος βασίζεται στο γεγονός ότι όταν ένα άτομο εστιάζει την προσοχή του σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα ή πληροφορία παρατηρείται η ελάττωση της φασματικής ενέργειας στην άλφα ζώνη συχνοτήτων (alpha frequency band; 8-12 Hz) στις εμπρόσθιες περιοχές του εγκεφάλου (Goto, 2017), με την εξίσωση του δείκτη να διαμορφώνεται ως:

$$AI = \frac{1}{N_F} \sum_{i \in F} x_{\theta_i}^2(t) \quad (6)$$

όπου x_{θ_i} και y_{α_i} είναι το i -οστό ηλεκτρόδιο στη θήτα ζώνη συχνοτήτων για την εμπρόσθια περιοχή (F) και στην άλφα ζώνη συχνοτήτων, ενώ t είναι ο χρόνος.

Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι πιο πρόσφατες μελέτες κατά τον ορισμό του δείκτη προσοχής χρησιμοποιούν και τη φασματική ενέργεια στη θήτα ζώνη συχνοτήτων, είτε συνδυαστικά (Ali, 2022) με τη φασματική ενέργεια στην άλφα ζώνη, είτε ξεχωριστά (Gountas, 2019), χωρίς ωστόσο να παρατηρείται συστηματική βελτίωση από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Εξίσωσης 6.

4 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΨΥΧΟΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι κύριες μέθοδοι που υλοποιούν τους αλγορίθμους ανίχνευσης της ψυχοσυναισθηματικής κατάστασης του χρήστη. Οι αλγόριθμοι αυτοί αφορούν τόσο την εξεργασία δεδομένων που πηγαίνουν από συστήματα ΕΤ όσο και από καταγραφές εγκεφαλικών αποκρίσεων μέσω EEG. Σημειώνεται ότι οι υλοποιήσεις αυτές φιλοξενούνται στο επίσημο αποθετήριο του έργου στο GitHub¹ και είναι δημοσίως διαθέσιμες. Το αποθετήριο θα ενημερώνεται συνεχώς με νέες μεθόδους κατά την διάρκεια του έργου.

distance2p: Συνάρτηση που υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο δισδιάστατων σημείων.

Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
x1	float/double	Τετμημένη του πρώτου σημείου.
y1	float/double	Τεταγμένη του πρώτου σημείου.
x2	float/double	Τετμημένη του δεύτερου σημείου.
y2	float/double	Τεταγμένη του δεύτερου σημείου.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
distance2p	float/double	Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των δύο σημείων.

Πίνακας 1 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που υπολογίζει την Ευκλείδεια απόσταση δύο σημείων.

fixation_detection: Συνάρτηση που υπολογίζει τις καθηλώσεις από ακολουθία παρακολούθησης της οπτικής λειτουργίας.

Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
data	3D array	Ακολουθία στη μορφή (x,y,t), όπου x,y είναι χωρικές συντεταγμένες και t είναι ο χρόνος καταγραφής σε ms.
t1	float/double	Χωρική παράμετρος για την ανίχνευση των καθηλώσεων (βλέπε ενότητα 3.1.1).
t2	float/double	Χωρική παράμετρος για την ανίχνευση των καθηλώσεων (βλέπε ενότητα 3.1.1).
minDur	float/double	Ελάχιστη διάρκεια καθήλωσης σε ms.
maxx	float/double	Μέγιστη τιμή της οριζόντιας διάστασης που δίνει το σύστημα ΕΤ.
maxy	float/double	Μέγιστη τιμή της κάθετης διάστασης που δίνει το σύστημα ΕΤ.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
fixation_list_t2	1D array/vector	Λίστα καθηλώσεων, χρονικά διατεταγμένες κάνοντας χρήση των κριτηρίων t1 και t2 (βλέπε ενότητα 3.1.1).
fixation_list_3s	1D array/vector	Λίστα καθηλώσεων, χρονικά διατεταγμένες κάνοντας χρήση των κριτηρίων t1 και 3s (βλέπε ενότητα 3.1.1).

Πίνακας 2 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που υπολογίζει τα σημεία καθήλωσης από δεδομένα ΕΤ.

wICA_denoise: Συνάρτηση που αφαιρεί τα τεχνουργήματα από ένα πολυκαναλικό EEG κάνοντας χρήση της ICA και του μετασχηματισμού wavelet.

Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
---------	-------	-----------

¹ <https://github.com/NeuroMkt/>

multichannel_trial	2D array	Ακολουθία στη μορφή (#ηλεκτρόδια, #δειγμάτων στο χρόνο) που περιέχει την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.
no_ICs	integer	Το πλήθος των ανεξάρτητων συνιστωσών στις οποίες θα αποσυντεθεί το εγκεφαλογράφημα.
plot_on	binary	Δυαδική μεταβλητή που καταδεικνύει αν το θα πρέπει να εμφανίζονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν την αποσύνθεση και την αποθορυβοποίηση του σήματος.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
EEG_clean	2D array	Ακολουθία στη μορφή (#ηλεκτρόδια, #δειγμάτων στο χρόνο) που περιέχει την αποθορυβοποιημένη καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Πίνακας 3 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που αφαιρεί τα τεχνουργήματα από καταγραφές ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

jadeR: Συνάρτηση που υλοποιεί έναν Blind Source Separation αλγόριθμο βασισμένο στην τεχνική JADE.		
Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
X	3D array	Ακολουθία στη μορφή (#ηλεκτρόδια, #δειγμάτων στο χρόνο) που περιέχει την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.
m	integer	Πλήθος ανεξάρτητων πηγών που θα εντοπίσει ο αλγόριθμος.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
B	2D array	Πίνακας που αν πολλαπλασιαστεί εκ δεξιών με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα το αποσυνθέτει σε m ανεξάρτητες πηγές.

Πίνακας 4 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που αποσυνθέτει ένα πολυκαναλικό σήμα σε ένα σύνολο ανεξάρτητων πηγών.

Higuchi_FD: Συνάρτηση που υπολογίζει την Higuchi Fractal διάσταση ενός σήματος.		
Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
serie	1D array	Ακολουθία στο χρόνο που περιέχει μία καταγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από ένα κανάλι.
Kmax	integer	Μέγιστος αριθμός χρονοσειρών που θα παραχθούν από το αρχικό σήμα.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
HFD	2D array	Η Higuchi Fractal Dimension της αρχικής χρονοσειράς.

Πίνακας 5 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που υπολογίζει Higuchi Fractal διάσταση μιας χρονοσειράς.

AWindexTV: Συνάρτηση που υπολογίζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη εκδοχή του δείκτη approach-withdrawal.		
Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
signal	2D array	Ακολουθία στη μορφή (#ηλεκτρόδια, #δειγμάτων στο χρόνο) που περιέχει την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.
Fs	float/double integer (typically)	Συχνότητα δειγματοληψίας με την οποία καταγράφηκε το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.

left_channel	integer	Μεταβλητή που καταδεικνύει το index του ηλεκτροδίου της αριστερής πλευράς (συνήθως του προ-μετωπιαίου λοβού) για υπολογιστεί ο δείκτης approach-withdrawal.
right_channel	integer	Μεταβλητή που καταδεικνύει το index του ηλεκτροδίου της δεξιάς πλευράς (συνήθως του προ-μετωπιαίου λοβού) για να υπολογιστεί ο δείκτης approach-withdrawal.
window_size	integer	Το μήκος του παραθύρου (εκφρασμένο σε πλήθος δειγμάτων) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη approach-withdrawal.
step_size	integer	Το βήμα (εκφρασμένο σε πλήθος δειγμάτων) ανά το οποίο γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη approach-withdrawal.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
AW_TV	1D array/vector	Χρονοσειρά που περιέχει τη χρονικά μεταβαλλόμενη περιγραφή του δείκτη approach-withdrawal.
index_sample	1D array/vector	Διάνυσμα που περιέχει τους τα κεντρικά indexes του EEG που έχει υπολογιστεί κάθε τιμή του AW_TV. Μπορεί να μετατραπεί σε χρόνο αν διαιρεθεί με το Fs.

Πίνακας 6 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που υπολογίζει υπολογίζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη εκδοχή του δείκτη approach-withdrawal.

MEMORYindexTV: Συνάρτηση που υπολογίζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη εκδοχή του δείκτη memorization.		
Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή
signal	2D array	Ακολουθία στη μορφή (#ηλεκτρόδια, #δειγμάτων στο χρόνο) που περιέχει την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.
Fs	float/double integer (typically)	Συχνότητα δειγματοληψίας με την οποία καταγράφηκε το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.
left_channel	integer	Μεταβλητή που καταδεικνύει το index του ηλεκτροδίου της αριστερής πλευράς (συνήθως του προ-μετωπιαίου λοβού) για να υπολογιστεί ο δείκτης memorization.
window_size	integer	Το μήκος του παραθύρου (εκφρασμένο σε πλήθος δειγμάτων) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη memorization.
step_size	integer	Το βήμα (εκφρασμένο σε πλήθος δειγμάτων) ανά το οποίο γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη memorization.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
MEM_TV	1D array/vector	Χρονοσειρά που περιέχει τη χρονικά μεταβαλλόμενη περιγραφή του δείκτη memorization.
index_sample	1D array/vector	Διάνυσμα που περιέχει τους τα κεντρικά indexes του EEG που έχει υπολογιστεί κάθε τιμή του MEM_TV. Μπορεί να μετατραπεί σε χρόνο αν διαιρεθεί με το Fs.

Πίνακας 7 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που υπολογίζει υπολογίζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη εκδοχή του δείκτη memorization.

WORKLOADindexTV: Συνάρτηση που υπολογίζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη εκδοχή του δείκτη workload.		
Είσοδος	Τύπος	Περιγραφή

signal	2D array	Ακολουθία στη μορφή (#ηλεκτρόδια, #δειγμάτων στο χρόνο) που περιέχει την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος.
Fs	float/double integer (typically)	Συχνότητα δειγματοληψίας με την οποία καταγράφηκε το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.
left_channel	integer	Μεταβλητή που καταδεικνύει το index του ηλεκτροδίου της αριστερής πλευράς (συνήθως του προ-μετωπιαίου λοβού) για να υπολογιστεί ο δείκτης workload.
window_size	integer	Το μήκος του παραθύρου (εκφρασμένο σε πλήθος δειγμάτων) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη workload.
step_size	integer	Το βήμα (εκφρασμένο σε πλήθος δειγμάτων) ανά το οποίο γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη workload.
Έξοδος	Τύπος	Περιγραφή
WORK_TV	1D array/vector	Χρονοσειρά που περιέχει τη χρονικά μεταβαλλόμενη περιγραφή του δείκτη workload.
index_sample	1D array/vector	Διάνυσμα που περιέχει τους τα κεντρικά indexes του EEG που έχει υπολογιστεί κάθε τιμή του WORK_TV. Μπορεί να μετατραπεί σε χρόνο αν διαιρεθεί με το Fs.

Πίνακας 8 Περιγραφή της συνάρτησης (μαζί με τα ορίσματα εισόδου και εξόδου) που υπολογίζει υπολογίζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη εκδοχή του δείκτη *mental workload*.

Το παρόν έγγραφο συνοδεύει το λογισμικό που αφορά την ανάλυση σημάτων ET και EEG. Σκοπός του λογισμικού είναι να παρέχει ένα σύνολο μεθόδων (συναρτήσεων) που οδηγούν στην εξαγωγή κατάλληλων δεικτών ικανών να περιγράψουν την ψυχοσυναισθηματική κατάσταση του καταναλωτή χρήστη. Το λογισμικό αυτό έχει σχεδιαστεί ώστε να αποτελέσει τη βάση για το Dashboard (NeuroMkt 2021b) και έχει αναπτυχθεί με σεβασμό ως προς τις σύγχρονες αρχές προγραμματισμού ώστε να οδηγήσει σε μία κατανοητή, ευέλικτη και συντηρήσιμη εφαρμογή.

Πέρα όμως από την τεχνική περιγραφή του λογισμικού, το παρόν έγγραφο αποτελεί και μια πρώιμη συγκριτική μελέτη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην βιβλιογραφία. Πέρα από τους αλγορίθμους και τους δείκτες που σχετίζονται με τα συστήματα ET που βιβλιογραφικά περιγράφονται με μεγάλη σαφήνεια, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε δείκτες περιγραφής (μέσω EEG) της ψυχοσυναισθηματικής κατάστασης του χρήστη που έχουν ισχυρά θεμέλια στην νευροεπιστήμη και δεν απαιτείται η εκπαίδευση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την λειτουργία τους. Παρόλο που η βιβλιογραφία διέπεται από ένα μεγάλο εύρος τέτοιων δεικτών, η πλειονότητά τους εκμεταλλεύεται χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ενέργεια του σήματος σε συγκεκριμένες φασματικές συνιστώσες και καταγράφονται στον προ-μετωπιαίο λοβό. Συνηθώς οι διαφορές ανάμεσα σε αυτούς τους δείκτες σχετίζονται με τον τρόπο υπολογισμού της ενέργειας του σήματος και στην ακριβή τοποθεσία που εντοπίζεται το ηλεκτρόδιο. Και οι δύο παραπάνω διαφορές, οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα καθώς βασίζονται στις ίδιες νευροεπιστημονικές αρχές και εξετάζουν τα εκάστοτε φαινόμενα από την ίδια σκοπιά.

Κλείνοντας, σημειώνουμε ότι ο κώδικας που υλοποιεί τους αλγορίθμους αυτού του εγγράφου φιλοξενείται στο αποθετήριο του έργου στο GitHub και είναι δημοσίως προσβάσιμος. Το αποθετήριο αυτό θα επικαιροποιείται συνεχώς ώστε να περιλαμβάνει νέες μεθόδους ανάλυσης των φυσιολογικών αποκρίσεων των χρηστών.

Άρθρα και Πρακτικά Συνεδρίων:

- Alam, S. S., & Jianu, R. (2016). Analyzing eye-tracking information in visualization and data space: from where on the screen to what on the screen. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 23(5), 1492-1505.
- Aldayel, M., Ykhlef, M., & Al-Nafjan, A. (2020). Deep learning for EEG-based preference classification in neuromarketing. *Applied Sciences*, 10(4), 1525.
- Ali, A., Soomro, T. A., Memon, F., Khan, M. Y. A., Kumar, P., Keerio, M. U., & Chowdhry, B. S. (2022). EEG Signals Based Choice Classification for Neuromarketing Applications. *A Fusion of Artificial Intelligence and Internet of Things for Emerging Cyber Systems*, 371-394.
- Borawski, M., Biercewicz, K., & Duda, J. (2020). Determination of the Inaccuracies of Calculated EEG Indices. *Sensors*, 20(19), 5715.
- Borys, M., & Plechawska-Wójcik, M. (2017). Eye-tracking metrics in perception and visual attention research. *EJMT*, 3, 11-23.
- Cho, H., Powell, D., Pichon, A., Kuhns, L. M., Garofalo, R., & Schnall, R. (2019). Eye-tracking retrospective think-aloud as a novel approach for a usability evaluation. *International journal of medical informatics*, 129, 366-373.
- Di Flumeri, G., Aricò, P., Borghini, G., Sciaraffa, N., Maglione, A. G., Rossi, D., ... & Herrero, M. T. (2017, July). EEG-based approach-withdrawal index for the pleasantness evaluation during taste experience in realistic settings. In *2017 39th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)* (pp. 3228-3231). IEEE.
- Goldberg, Joseph H., Mark J. Stimson, Marion Lewenstein, Neil Scott, and Anna M. Wichansky. "Eye tracking in web search tasks: design implications." In *Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications*, pp. 51-58. 2002.
- Goto, N., Mushtaq, F., Shee, D., Lim, X. L., Mortazavi, M., Watabe, M., & Schaefer, A. (2017). Neural signals of selective attention are modulated by subjective preferences and buying decisions in a virtual shopping task. *Biological Psychology*, 128, 11-20.
- Hakim, A., Klorfeld, S., Sela, T., Friedman, D., Shabat-Simon, M., & Levy, D. J. (2021). Machines learn neuromarketing: Improving preference prediction from self-reports using multiple EEG measures and machine learning. *International Journal of Research in Marketing*, 38(3), 770-791.
- Higuchi, T. (1988). Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 31(2), 277-283.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.
- Kim, J. H., & Yang, X. (2017). Applying fractal analysis to pupil dilation for measuring complexity in a process monitoring task. *Applied ergonomics*, 65, 61-69.
- Koelstra, S., Yazdani, A., Soleymani, M., Mühl, C., Lee, J. S., Nijholt, A., ... & Patras, I. (2010, August). Single trial classification of EEG and peripheral physiological signals for recognition of emotions induced by music videos. In *International Conference on Brain Informatics* (pp. 89-100). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in cognitive sciences*, 16(12), 606-617.

- Krassanakis, V., Filippakopoulou, V., & Nakos, B. (2014). EyeMMV toolbox: An eye movement post-analysis tool based on a two-step spatial dispersion threshold for fixation identification. *Journal of Eye Movement Research*, 7(1).
- Liu, Y., & Sourina, O. (2012, July). EEG-based dominance level recognition for emotion-enabled interaction. In *2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 1039-1044). IEEE.
- Liu, Y., & Sourina, O. (2013). Real-time fractal-based valence level recognition from EEG. In *Transactions on computational science XVIII* (pp. 101-120). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 229-240.
- Modica, E., Cartocci, G., Rossi, D., Martinez Levy, A. C., Cherubino, P., Maglione, A. G., ... & Babiloni, F. (2018). Neurophysiological responses to different product experiences. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018.
- Moya, I., García-Madariaga, J., & Blasco, M. F. (2020). What Can Neuromarketing Tell Us about Food Packaging?. *Foods*, 9(12), 1856.
- Naser, D. S., & Saha, G. (2021). Influence of music liking on EEG based emotion recognition. *Biomedical Signal Processing and Control*, 64, 102251.
- Nermend, K., & Piwowarski, M. (2018). Cognitive neuroscience techniques in supporting decision making and the analysis of social campaign. *International Journal of Social Sciences & Educational Studies*, 5(1), 122.
- NeuroMkt 2021a (2021), Π1.1 Απαιτήσεις του συστήματος σχετικές με το λογισμικό και τη διεπαφή επικοινωνίας
- NeuroMkt 2021b (2021), Π3.1 Περιγραφή της αρχιτεκτονικής και των τεχνικών προδιαγραφών του λογισμικού διασύνδεσης συσκευών
- Parrott, W. G. (Ed.). (2001). *Emotions in social psychology: Essential readings*. psychology press.
- Petrantonakis, P. C., & Hadjileontiadis, L. J. (2009). Emotion recognition from EEG using higher order crossings. *IEEE Transactions on information Technology in Biomedicine*, 14(2), 186-197.
- Poole, A., & Ball, L. J. (2005). Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects. In C. Ghaoui (Eds.), *Encyclopedia of human computer interaction* (pp. 211-219). Pennsylvania: Idea Group
- Rasyid, M. F. A., & Djamel, E. C. (2019, September). Emotion and attention of neuromarketing using wavelet and recurrent neural networks. In *2019 6th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)* (pp. 49-54). IEEE.
- Salvucci, D. D. (2000). An interactive model-based environment for eye-movement protocol analysis and visualization, In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 57-63.
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye-Tracking Protocols. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 71-78.
- Shestyuk, A. Y., Kasinathan, K., Karapoondinott, V., Knight, R. T., & Gurumoorthy, R. (2019). Individual EEG measures of attention, memory, and motivation predict population level TV viewership and Twitter engagement. *PLoS One*, 14(3), e0214507.
- So, W. K., Wong, S. W., Mak, J. N., & Chan, R. H. (2017). An evaluation of mental workload with frontal EEG. *PloS one*, 12(4), e0174949.

Sourina, O., & Liu, Y. (2011, January). A fractal-based algorithm of emotion recognition from EEG using arousal-valence model. In *International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing* (Vol. 2, pp. 209-214). SCITEPRESS.

Takahashi, K., & Tsukaguchi, A. (2003, October). Remarks on emotion recognition from multi-modal bio-potential signals. In *SMC'03 Conference Proceedings. 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Conference Theme-System Security and Assurance (Cat. No. 03CH37483)* (Vol. 2, pp. 1654-1659). IEEE.

Takeuchi, H., & Habuchi, Y. (2007, March). A quantitative method for analyzing scan path data obtained by eye tracker. In *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining* (pp. 283-286). IEEE.

Vecchiato, G., Maglione, A. G., Scorpecci, A., Malerba, P., Marsella, P., Di Francesco, G., ... & Babiloni, F. (2012, August). EEG frontal asymmetry related to pleasantness of music perception in healthy children and cochlear implanted users. In *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 4740-4743). IEEE.

Vecchiato, G., Maglione, A. G., Cherubino, P., Wasikowska, B., Wawrzyniak, A., Latuszynska, A., ... & Babiloni, F. (2014). Neurophysiological tools to investigate consumer's gender differences during the observation of TV commercials. *Computational and mathematical methods in medicine, 2014*.

Venugopal, D., Amudha, J., & Jyotsna, C. (2016, May). Developing an application using eye tracker. In *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (pp. 1518-1522). IEEE.