

[Π3.1] Περιγραφή της αρχιτεκτονικής και των τεχνικών προδιαγραφών του λογισμικού διασύνδεσης συσκευών

Επίπεδο Διάχυσης: <Δημόσιο | Εμπιστευτικό>

Συμφωνηθείσα Ημερομηνία: Μήνας 6, 27/01/2021

Πραγματική Ημερομηνία: Μήνας 6, 31/01/2021

Ενότητα Εργασίας: ΕΕ3 Λογισμικό Διασύνδεσης Συσκευών

Υποενότητα: Ε3.1 Μελέτη προδιαγραφών και Αρχιτεκτονική Διασύνδεσης

Τύπος: Έκθεση

Στάδιο Έγκρισης: final

Έκδοση: v1.0

Πλήθος Σελίδων: 39

Όνομασία Αρχείου: NeuroMkt D3.1 v1.0

Περίληψη: Ο σκοπός αυτού του εγγράφου είναι να περιγράψει την αρχιτεκτονική του NeuroMkt που καλύπτει όλο το φάσμα των εμπλεκόμενων εξαρτημάτων, που κυμαίνονται από το λειτουργικό σύστημα και το επίπεδο αισθητήρων, μέχρι το Middleware, το SDK Ανάλυσης Σημάτων και τις εφαρμογές τελικού χρήστη. Συγκεκριμένα, το έγγραφο καθορίζει τις υιοθετούμενες τεχνολογίες, το περιβάλλον προγραμματισμού, το εύρος των λειτουργιών που θα παρέχει το NeuroMkt, καθώς και τις διεπαφές που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων επιπέδων. Στο τέλος, παρουσιάζεται μια σύνοψη της αρχιτεκτονικής του NeuroMkt, που περιγράφει πώς όλα τα επιμέρους τμήματα συνδυάζονται ώστε να διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών που βασίζονται στις, σχετιζόμενες με την φυσιολογία, αποκρίσεις του χρήστη.

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. & ΤΕ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΟΦΡΟΝΤΙΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ



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 (ΕΠΙΔΕΚ) (κωδικός έργου: Τ2ΕΔΚ-03661)

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΓΓΡΑΦΟΥ

Έκδοση	Ημερομηνία	Λόγος Αναθεώρησης	Αναθεωρήθηκε από
v0.1 (alpha)	20/11/2020	Αρχική έκδοση με τον Πίνακα Περιεχομένων για να διαμοιραστεί στην κοινοπραξία και να εγκριθεί από τον συντονιστή	Φώτης Καλαγάνης
v0.2 (beta)	04/01/2021	Ολοκλήρωση προσθήκης περιεχομένου και αποστολή προς εσωτερική αξιολόγηση	Φώτης Καλαγάνης
v0.2 (review)	14/01/2021	Εσωτερική αξιολόγηση	Κυριάκος Ρίσκος
v1.0 (final)	15/01/2021	Αναθεώρηση μετά την εσωτερική αξιολόγηση	Φώτης Καλαγάνης
v1.0 (final)	22/01/2021	Αναθεώρηση/Επικύρωση	Σπύρος Νικολόπουλος
v1.0 (final)	27/01/2021	Έγκριση από τον επιστημονικό υπεύθυνο	Ιωάννης Κομπατσιάρης

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΝΤΩΝ

Φορέας	Όνομα	Στοιχεία Επικοινωνίας
ΕΚΕΤΑ	Φώτης Καλαγάνης	fkalaganis@iti.gr
ΑΠΘ	Κυριάκος Ρίσκος (Αξιολόγηση)	riskoskyriakos@gmail.com
ΕΚΕΤΑ	Σπύρος Νικολόπουλος	nikolopo@iti.gr
ΕΚΕΤΑ	Ιωάννης Κομπατσιάρης	ikom@iti.gr

ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΣΗΜΕΙΑ

Αυτή η έκθεση παρουσιάζει το αποτέλεσμα των προσπαθειών που κατανέμονται στην E3.1 της EE3, που ασχολείται με την αρχιτεκτονική του NeuroMkt. Το έγγραφο καλύπτει το πλήρες φάσμα των συστατικών στοιχείων που συνθέτουν την αρχιτεκτονική και θα είναι απαραίτητα για την ικανοποίηση των τεχνικών στόχων του έργου.

Από την άποψη αυτή, η ενότητα 2 εξετάζει τις εκτιμήσεις που έχουν να κάνουν με το προτιμώμενο λειτουργικό σύστημα, τη γλώσσα προγραμματισμού και τις προδιαγραφές της πλατφόρμας υπολογιστών. Η ενότητα 3 περιγράφει τις βασικές λειτουργίες των SDK που συνοδεύουν τις συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν ενώ η ενότητα 4 αφορά το ενδιάμεσο λογισμικό του NeuroMkt, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο συγχρονισμό μεταξύ ετερογενών σημάτων. Η Ενότητα 5 περιγράφει τις επιλογές που είναι διαθέσιμες ώστε να αποτελέσουν την βάση του SDK Ανάλυσης Σημάτων του NeuroMkt. Η Ενότητα 6 περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή της εφαρμογής για τους τελικούς χρήστες-διαφημιστές και προβλέπει αμφίδρομη επικοινωνία με τα υπόλοιπα τμήματα της αρχιτεκτονικής ώστε να καλύψει μελλοντικές ενδεχόμενες ανάγκες. Τέλος, η Ενότητα 7 παρουσιάζει την επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του NeuroMkt και περιγράφει πώς όλα τα επιμέρους επίπεδα μπορούν να συνθέσουν μαζί ένα κοινό πλαίσιο.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

API Application Programming Interface

ET Eye Tracker

EEG Electroencephalography

HR Heart Rate

GSR Galvanic Skin Response

BCI Brain-Computer Interface

SDK Software Development Kit

TCP Transmission Control Protocol

TTL Transistor-Transistor Logic

UDP User Datagram Protocol

LSL Lab Streaming Layer

LAN Local Area Network

A/D Analog to Digital

D/A Digital to Analog

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή.....	7
2	Βασικοί Παράγοντες του Συστήματος.....	10
2.1	Λειτουργικό Σύστημα.....	10
2.2	Γλώσσα Προγραμματισμού.....	10
2.3	Προδιαγραφές Υπολογιστικού Συστήματος.....	11
3	SDK Συσκευών Παρακολούθησης Φυσιολογίας.....	14
3.1	Συσκευές Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	14
3.2	Συσκευές Παρακολούθησης Οφθαλμικών Αποκρίσεων.....	16
4	Ενδιάμεσο Λογισμικό (Middleware).....	18
4.1	Βιομηχανικά Πρότυπα.....	19
4.2	Lab Streaming Layer.....	20
4.3	Διεπαφή Αισθητήρων.....	23
4.4	Μεταφορά Δεδομένων.....	23
4.5	Συγχρονισμός Σημάτων.....	24
4.5.1	Συγχρονισμός Υλικού.....	25
4.5.2	Συγχρονισμός Λογισμικού.....	26
4.5.3	Πιθανοί Κίνδυνοι στο Συγχρονισμό.....	27
4.5.4	Συγχρονισμός με το LSL.....	28
4.6	Διεπαφή Δημιουργίας Δεικτών και Γεγονότων.....	29
5	SDK Ανάλυσης Σημάτων.....	31
5.1	Βιομηχανικά Πρότυπα.....	31
5.2	NeuroMkt ToolBox.....	32
6	Dashboard.....	34
6.1	Αμφίδρομη Επικοινωνία.....	35
7	Επισκόπηση.....	36
	Βιβλιογραφία.....	37
	Άρθρα και Πρακτικά Συνεδρίων:.....	37
	Ιστότοποι και λοιπά Έγγραφα:.....	38

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

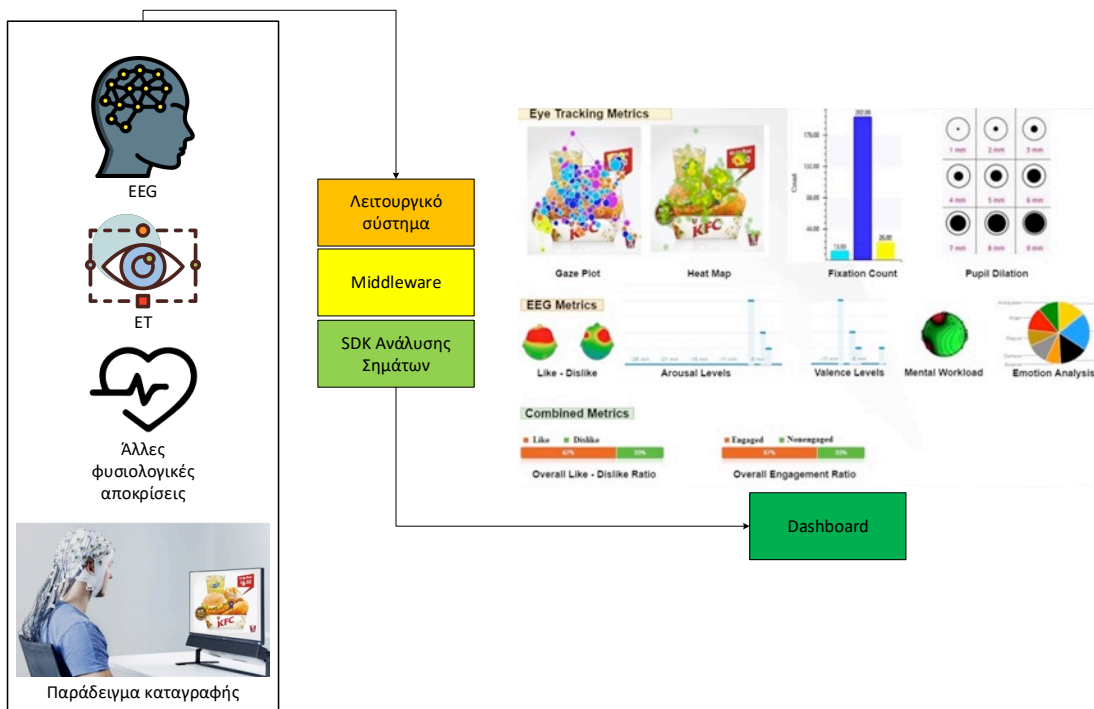
Ο απώτερος στόχος του NeuroMkt, όπως ορίζεται στο φυσικό αντικείμενο του έργου, είναι η ανάπτυξη μιας πολύτροπης διεπαφής που θα προάγει την αξιολόγηση διαφημιστικών μηνυμάτων κάνοντας χρήση συσκευών παρακολούθησης και καταγραφής της ανθρώπινης φυσιολογίας (π.χ. EEG και ET). Η επίτευξη του ανωτέρω στόχου διέρχεται μέσα από την πραγμάτωση των τεσσάρων παρακάτω τεχνολογικών στόχων που σχετίζονται με τον σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική λογισμικού του συστήματος:

Στόχος 1 – Ακριβής μέτρηση, καταγραφή και διαμοιρασμός, στην απαιτούμενη κλίμακα, των αποκρίσεων των ματιών, των ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου και πιθανών άλλων φυσιολογικών¹ αποκρίσεων σε πραγματικό χρόνο.

Στόχος 2 – Ανάπτυξη αξιόπιστων αλγορίθμων για την εξαγωγή πληροφορίας και απόδοση ερμηνείας στις φυσιολογικές μετρήσεις με σκοπό να παρουσιαστούν με κατανοητό τρόπο στους τελικούς χρήστες (π.χ. διαφημιστές).

Στόχος 3 – Υλοποίηση ενός ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) που θα εδράζεται πάνω στο λειτουργικό σύστημα και θα περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία που θα καθιστούν εφικτή την εξαγωγή πληροφορίας και την απόδοση σημασιολογικής ερμηνείας στις καταγραφές.

Στόχος 4 – Σχεδιασμός, ανάπτυξη και αξιολόγηση μιας πρωτότυπης διεπαφής που θα βασίζεται στο middleware του NeuroMkt και θα επιτρέπει την αξιολόγηση διαφημιστικών μηνυμάτων εκμεταλλευόμενη τις φυσιολογικές καταγραφές.



Εικόνα 1 Η βασική ιδέα που περικλείει το NeuroMkt το οποίο θα επιτρέψει την αντικειμενική αξιολόγηση διαφημιστικών μηνυμάτων κάνοντας χρήση των φυσιολογικών αποκρίσεων των ανθρώπων που τα παρακολουθούν.

¹ Ο όρος αναφέρεται στις σχετιζόμενες με την φυσιολογία αποκρίσεις.

Σκοπός του παρόντος εγγράφου αποτελεί ο προσδιορισμός της αρχιτεκτονικής του λογισμικού που θα πραγματοποιήσει τους παραπάνω τεχνολογικούς στόχους.

Αυτό που γίνεται εμφανές από την Εικόνα 1 και τους τεχνολογικούς στόχους που τέθηκαν παραπάνω, είναι ότι η αρχιτεκτονική του NeuroMkt πρέπει να οργανωθεί σε επίπεδα (layers). Πράγματι, ο Στόχος 1 απαιτεί ένα layer για τους αισθητήρες καταγραφής της ανθρώπινης φυσιολογίας που θα αποκτήσει και θα καταγράψει το σήμα από τις συσκευές αισθητήρων. Ο Στόχος 2 απαιτεί ένα layer αλληλεπίδρασης αλγορίθμων και μεθόδων που θα συνθέσουν ένα SDK το οποίο θα πραγματοποιεί την πολύτροπη διεπαφή, χρησιμοποιώντας τις αποκρίσεις των ματιών και τις νοητικές διεργασίες. Ο Στόχος 3 απαιτεί ένα layer ενδιάμεσου λογισμικού που θα πραγματοποιεί την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών αισθητήρων και του SDK με διαφανή τρόπο. Τέλος, ο Στόχος 4 απαιτεί ένα επίπεδο εφαρμογής (dashboard) που περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία που θα πρέπει να επικοινωνηθούν με κατανοητό τρόπο στον τελικό χρήστη – διαφημιστή προκειμένου να προαχθεί η αξιολόγηση διαφημιστικών μηνυμάτων. Στο παρόν έγγραφο περιγράφεται με λεπτομέρεια κάθε ένα από τα επίπεδα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 2 και παρατίθενται οι λεπτομέρειες που θα είναι απαραίτητες για την εφαρμογή του συστήματος NeuroMkt.



Εικόνα 2 Τα διακριτά layers της αρχιτεκτονικής του λογισμικού του NeuroMkt.

Εκτός από αυτόν τον προκαταρκτικό προσδιορισμό των επιπέδων, το παρόν έγγραφο απαριθμεί επίσης ένα σύνολο απαιτήσεων για ορισμένα από αυτά. Δεδομένου ότι τα επίπεδα των αισθητήρων και το Dashboard εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τεχνικές και τις λειτουργικές απαιτήσεις (που ανανεώνονται δυναμικά κατά την διάρκεια του έργου) δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στο middleware και το SDK ανάλυσης σημάτων. Στη συνέχεια, συνοψίζουμε τους στόχους και τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί για αυτά τα επίπεδα.

Middleware: Ο στόχος ενός Middleware είναι να βρίσκεται ανάμεσα στο API του λειτουργικού συστήματος και στο περιβάλλον προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, όπως αυτό ενός SDK. Έτσι, στο πλαίσιο ενός BCI, στόχος

του είναι να διευκολύνει, αφενός, την ενσωμάτωση των πρόσθετων αισθητήρων (δηλαδή ET, EEG και άλλων βιοσημάτων) και, αφετέρου, την εκτέλεση αλγορίθμων που επεξεργάζονται τα ληφθέντα σήματα. Αναφορικά με το middleware υπήρξαν τρεις βασικές προδιαγραφές που συντέλεσαν καθοριστικά στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του: α) ανεξαρτησία υλικού, δηλαδή, η υποστήριξη ενός μεγάλου καταλόγου υπαρχόντων αισθητήρων (π.χ. EEG, ET, GSR κ.α.) διατηρώντας ταυτόχρονα το κόστος για την ενσωμάτωση νέων συσκευών χαμηλό, β) υποστήριξη πολλαπλών πλατφορμών, με την έννοια ότι είναι σε θέση να υποστηρίξει όλα τα μεγάλα λειτουργικά συστήματα (π.χ. Windows, Apple OS και Linux), γ) ακριβής συγχρονισμός αισθητήρων, δηλαδή να είναι σε θέση να λαμβάνει σήματα από πολλούς και διαφορετικούς αισθητήρες και να τα δεικτοδοτεί χρονικά με υψηλή ακρίβεια.

SDK Ανάλυσης Σημάτων: Ο στόχος του SDK Ανάλυσης Σημάτων έχει τεθεί στην υλοποίηση των απαραίτητων αλγορίθμων και μεθόδων για τη μετάφραση των ληφθέντων σημάτων σε βιοδείκτες που καταδεικνύουν νοητικές διεργασίες για τη διεπαφή ανθρώπου-υπολογιστή που θα προάγει την αξιολόγηση των διαφημιστικών μηνυμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, οι απαιτήσεις που αποτελούν οδηγό για τις αποφάσεις μας είναι: α) διαφάνεια, όσον αφορά την επικοινωνία με το middleware, β) πλουραλισμός, όσον αφορά τις υποστηριζόμενες μεθόδους και διαδικασίες, γ) επεκτασιμότητα, όσον αφορά την προσθήκη περισσότερων μεθόδων και διαδικασιών, και δ) ευχρηστία, η οποία επιτρέπει ακόμη και σε μη ειδικούς να «προγραμματίσουν» τη δική τους διαδικασία ανάλυσης.

Παρουσιάζοντας την αρχιτεκτονική του λογισμικού του NeuroMkt, καθορίζουμε όλα τα διαφορετικά στοιχεία που εμπλέκονται, από τις συσκευές αισθητήρων και το middleware, μέχρι το SDK ανάλυσης Σημάτων και την επικοινωνία μέσω του Dashboard με τον τελικό χρήστη – διαφημιστή. Τα θεμελιώδη στοιχεία που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την αρχιτεκτονική είναι: α) τα layers - επίπεδα, β) τα modules - ενότητες και γ) τα interfaces - διεπαφές. Τα layers χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν τα μέρη του συστήματος που εξυπηρετούν διαφορετικό σκοπό. Τα modules χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις βασικές λειτουργίες που εκτελούνται σε κάθε layer και τα interfaces χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τον τρόπο ροής των πληροφοριών από το ένα layer στο άλλο. Σε όλο το έγγραφο παρέχονται λεπτομερείς περιγραφές για καθένα από τα modules και interfaces του συστήματος.

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι κατά την διαδικασία διαμόρφωσης της αρχιτεκτονικής λογισμικού του NeuroMkt υπήρχε η πρόθεση να εκμεταλλευτούμε στον μέγιστο δυνατό βαθμό τις υπάρχουσες τεχνολογικές εξελίξεις στο πεδίο των BCIs. Από αυτή την άποψη, η βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα LabStreamingLayer [SCCN, 2020] έχει επιλεγεί ώστε να διαδραματίσει ουσιαστικό ρόλο στην εφαρμογή του συστήματος NeuroMkt.

2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στην Ενότητα 1, έχει τεθεί ο φιλόδοξος στόχος να υλοποιηθεί μια αρχιτεκτονική για το λογισμικό του NeuroMkt ανεξάρτητη από την πλατφόρμα λειτουργίας του. Παρόλο που αυτός ο στόχος συνοδεύεται από πλεονεκτήματα τα οποία εξασφαλίζουν την ευρύτερη δυνατή αποδοχή και επιτυχία του συστήματος, θέτει εξαιρετικά υψηλές προκλήσεις στην υλοποίηση του έργου.

Ο τομέας του μάρκετινγκ είναι ένας τομέας που σχετίζεται με πολλά και διαφορετικά επαγγέλματα καθώς ένα διαφημιστικό μήνυμα χρειάζεται μια ευρεία γκάμα ειδικοτήτων κατά την δημιουργία του (γραφίστες, διαφημιστές, επικοινωνιολόγους κτλ.). Όπως είναι αναμενόμενο, διαφορετικό λειτουργικό σύστημα επικρατεί σε κάθε μία από τις ειδικότητες που εμπλέκονται στην δημιουργία ενός διαφημιστικού μηνύματος. Συνεπώς, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προταθεί ένα και μόνο λειτουργικό σύστημα ως προαπαιτούμενο για την υποστήριξη του συστήματος του NeuroMkt.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα διαφορετικά λειτουργικά συστήματα προσφέρουν ριζικά διαφορετικά παραδείγματα αλληλεπίδρασης στο επίπεδο της τελικής εφαρμογής (dashboard), γεγονός που αυξάνει την προσπάθεια που απαιτείται για την υλοποίηση. Έτσι, ενώ η προτεινόμενη αρχιτεκτονική θα είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να επιτρέπει την εύκολη μεταφορά σε πρόσθετα λειτουργικά συστήματα, καθώς αυτά γίνονται βιώσιμες επιλογές από την πλευρά των αισθητήρων, η αρχική προσπάθεια θα επικεντρωθεί στην λειτουργία του συστήματος με βάση το λειτουργικό σύστημα που προσφέρει τη μεγαλύτερη κάλυψη αναφορικά τόσο με την βάση χρηστών όσο και με την διαθεσιμότητα και υποστήριξη των αισθητήρων, δηλαδή, τα Microsoft Windows.

2.2 ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ





Στην προσπάθεια να προσδιοριστεί η καταλληλότερη γλώσσα προγραμματισμού για την εφαρμογή του NeuroMkt, τέθηκαν τέσσερα κύρια κριτήρια που θα οδηγήσουν στην λήψη απόφασης για την επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού:

1. Ευκολία ενοποίησης με τα SDK των αισθητήρων που θα αποτελέσουν μέρος του συστήματος.
2. Καλή απόδοση και χαμηλή κατανάλωση πόρων, για να επιτρέπεται η αλληλεπίδραση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και ο συγχρονισμός των σημάτων με ακρίβεια.
3. Διαδεδομένη γνώση και χρήση της γλώσσας προγραμματισμού στην κοινότητα των προγραμματιστών εφαρμογών BCI, για τη διεύρυνση της δυνητικής κοινότητας προγραμματιστών και αξιοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων υφιστάμενων βιβλιοθηκών και εργαλείων (δίνοντας βαρύτητα στον τομέα της επεξεργασίας σήματος).
4. Ευκολία μεταφοράς σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα για την εξασφάλιση της μελλοντικής χρήσης και επέκτασης του συστήματος.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα 4 κριτήρια, ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις επικρατέστερες πιθανές γλώσσες προγραμματισμού του ενδιάμεσου λογισμικού. Λαμβάνοντας υπόψιν όχι μόνο τις συσκευές (Wearable Sensing DSI24, TobiiPro Glasses 3 και PupilLabs Pupil Core) που επιλέχθηκαν [Π1.1] αλλά και μία ευρύτερη γκάμα συσκευών, καθώς επίσης και τις γλώσσες προγραμματισμού που υποστηρίζουν μέσω των επίσημων SDK και APIs που προσφέρουν [Prietz, P, 2020; TobiiPro 2020; PupilLabs 2020] η γλώσσα Matlab κρίνεται ως η καταλληλότερη από τις επικρατέστερες επιλογές. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η δημοφιλία του MatLab στον τομέα των νευρο-επιστημών αναμένεται να ευνοήσει σημαντικά την ανάπτυξη του συστήματος όχι μόνο λόγω της πληθώρας των διαθέσιμων βιβλιοθηκών που υπάρχουν αλλά και στην ευρύτερη αποδοχή των αποτελεσμάτων του

έργου από την αναφερθείσα επιστημονική κοινότητα παρέχοντας ευκαιρίες για περαιτέρω ανάπτυξη ακόμα και μετά τη λήξη του.

Πίνακας 1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των επικρατέστερων υποψήφιων γλωσσών προγραμματισμού για το λογισμικό του NeuroMkt.

Γλώσσα Προγραμματισμού	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα
	Υποστηρίζεται σε όλες τις πλατφόρμες λειτουργικού συστήματος και παράγει τον κώδικα, σε γλώσσα μηχανής. Ταυτόχρονα παρέχει πρόσβαση σε κατώτερου επιπέδου λειτουργίες των αισθητήρων (π.χ. στα προγράμματα οδήγησης διαφόρων συσκευών). Παρότι ο κώδικας μπορεί να μεταγλωττιστεί για εκτέλεση σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα χρειάζεται εξειδικευμένες γνώσεις. Τέλος σημειώνεται ότι είναι ιδιαίτερα δύσκολη σε εφαρμογές προηγμένης επεξεργασίας σήματος.
	Υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού, ιδιαίτερα φιλική σε αρχάριους χρήστες. Υποστηρίζεται μόνο σε λειτουργικά συστήματα Windows. Τέλος, υστερεί σημαντικά στην ύπαρξη βιβλιοθηκών στο κομμάτι της προηγμένης επεξεργασίας σήματος.
	Υποστηρίζεται εγγενώς σε όλα τα μεγάλα λειτουργικά συστήματα (Windows, macOS, Linux) και συνοδεύεται από τεράστια ποικιλία διαθέσιμων βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα για όλους τους τομείς. Λόγω της δομής και των διαφορετικών διαθέσιμων εκδόσεων ο κώδικας είναι δύσκολο να συντηρηθεί χωρίς ισχυρή πειθαρχία και αφοσίωση από όλους τους προγραμματιστές
	Υποστηρίζεται σε όλα τα μεγάλα λειτουργικά συστήματα (Windows, macOS, Linux) και συνοδεύεται από τεράστια ποικιλία διαθέσιμων βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα. Είναι με διαφορά η πιο διαδεδομένη γλώσσα στην νευροεπιστημονική κοινότητα και ενσωματώνει εγγενώς τεχνολογίες αιχμής στον τομέα της προηγμένης επεξεργασίας σήματος και της μηχανικής μάθησης. Υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα σε εξειδικευμένα στον τομέα της επεξεργασίας εγκεφαλογραφημάτων, εργαλεία ανοιχτού κώδικα. Παρότι χρειάζεται πληρωμή, το παραχθέν εκτελέσιμο αρχείο μπορεί να διαμοιραστεί χωρίς επιπλέον κόστος.

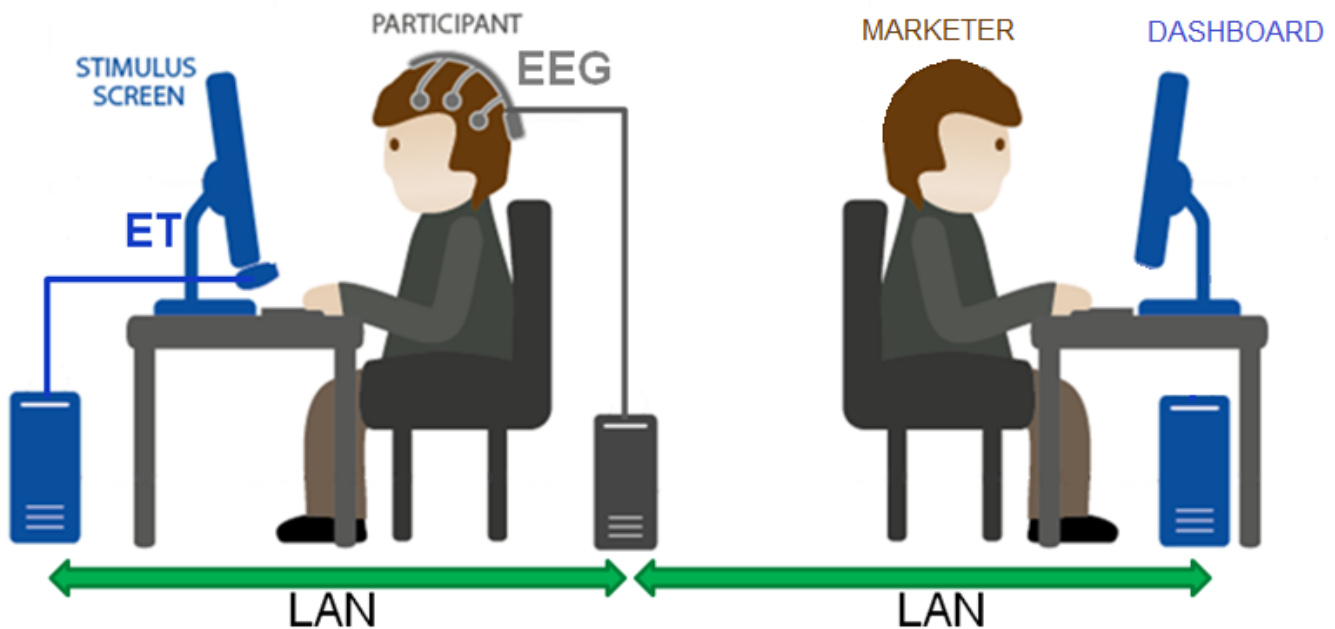
2.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Δεδομένων των αναγκών που διέπουν το σύστημα στο οποίο στοχεύει το NeuroMkt, πρέπει να ληφθεί επίσης υπόψιν το γεγονός ότι ο ET και το EEG είναι αισθητήρες που μπορούν να απαιτήσουν σημαντική ποσότητα επεξεργασίας. Πράγματι, όλα τα σύγχρονα συστήματα παρακολούθησης ματιών βασίζονται σε μία ή περισσότερες κάμερες υπέρυθρων που καταγράφουν ροές βίντεο σε πραγματικό χρόνο από τα μάτια του χρήστη-συμμετέχοντα. Αυτές οι ροές βίντεο συνήθως μεταφέρονται σε κεντρικό υπολογιστή μέσω σύνδεσης υψηλής ταχύτητας (USB 2.0 ή 3.0, Firewire, GigE ή CamLink) στην οποία εκτελείται το λογισμικό ανίχνευσης και παρακολούθησης ματιών. Αυτό το λογισμικό αποτελείται από ένα σύνολο πολύπλοκων και συνήθως ιδιόκτητων (δηλαδή ανήκουν στην εταιρία που παράγει τον ET) αλγορίθμων μηχανικής όρασης που εκτελούνται, στην μεγάλη τους πλειοψηφία, στον κεντρικό υπολογιστή - παρόλο που υπάρχουν μερικές συσκευές ET οι οποίες προσφέρουν ενσωματωμένες δυνατότητες επεξεργασίας στην ίδια τη συσκευή.

Ομοίως, τα συστήματα εγγραφής EEG καταγράφουν την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου μέσω ενός συνόλου ηλεκτροδίων τοποθετημένων σε διαφορετικά σημεία στο τριχωτό της κεφαλής. Αυτή η δραστηριότητα εν

συνεχεία ενισχύεται μέσω ενός ενισχυτή που δημιουργεί, αυτό που συνήθως αναφέρεται ως ακατέργαστα δεδομένα, δηλαδή, σήματα δειγμάτων πλήρους εύρους ζώνης. Ωστόσο, προκειμένου αυτά τα σήματα να καταστούν χρησιμοποιήσιμα σε ένα σύστημα BCI, χρησιμοποιείται μια συγκεκριμένη ακολουθία βημάτων προεπεξεργασίας όπως αποθορυβοποίηση, αφαίρεση σημάτων μη-εγκεφαλικής προέλευσης, φιλτράρισμα σε συγκεκριμένο εύρος ζώνης και φασματική ανάλυση. Εάν θεωρήσουμε ότι σε ένα σύστημα BCI οι περισσότερες από αυτές τις λειτουργίες θα πρέπει να εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο στα πολυδιάστατα εγκεφαλικά σήματα (συνήθως περιλαμβάνουν από 8 έως 256 ηλεκτρόδια), γίνεται εμφανές ότι οι αλγόριθμοι που είναι απαραίτητοι για την εξαγωγή υψηλού επιπέδου διανοητικής λειτουργίας μπορεί να απαιτήσουν σημαντική ποσότητα υπολογιστικών πόρων.

Από την άλλη πλευρά, αισθητήρες που καταγράφουν ένα μόνο κανάλι (όπως το GSR και το HR που ενδεχομένως να συντελέσουν συμπληρωματικό ρόλο στα EEG και ET στο πλαίσιο του NeuroMkt) με αργά εξελισσόμενα σήματα, δεν απαιτούν επεξεργασία πολύπλοκων αλγορίθμων. Με βάση την επιλεγμένη συστοιχία αισθητήρων για το NeuroMkt (ένα EEG, έναν ET και ενδεχομένως ακόμα έναν μονοκάναλο αισθητήρα) μία συνήθης διάταξη που χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση της πιθανής απώλειας δεδομένων θα ήταν μια εγκατάσταση διπλού υπολογιστή για την καταγραφή (βλ. Εικόνα 3, αριστερά), με έναν υπολογιστή αφιερωμένο στην επεξεργασία ροών βίντεο που προέρχονται από τον ET και τον άλλο υπολογιστή που εκτελεί την επεξεργασία σήματος που σχετίζεται με το πολυκάναλο EEG. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συμπληρωματικός αισθητήρας μπορεί να συνδεθεί σε οποιονδήποτε υπολογιστή λόγω της χαμηλής χρήσης υπολογιστικών πόρων. Τέλος, σε περίπτωση που απαιτείται η μετάδοση και οπτικοποίηση των διανοητικών λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο στους τελικούς χρήστες (διαφημιστές), κρίνεται αναγκαία η αξιοποίηση ενός ακόμα υπολογιστικού συστήματος που θα φιλοξενεί το dashboard.



Εικόνα 3 Εγκατάσταση «διπλού υπολογιστή», με ένα σύστημα παρακολούθησης ματιών συνδεδεμένο σε έναν υπολογιστή και το EEG συνδεδεμένο με τον δεύτερο υπολογιστή. Οι δύο υπολογιστές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός τοπικού δικτύου. Ο τρίτος υπολογιστής φιλοξενεί το dashboard, επικοινωνεί με τους προηγούμενους δύο μέσω τοπικού δικτύου και είναι απαραίτητος μόνο όταν χρειάζεται ταυτόχρονη καταγραφή, μετάδοση και οπτικοποίηση.

Μια τέτοια εγκατάσταση διπλού υπολογιστή διασφαλίζει ότι το φορτίο της ταυτόχρονης επεξεργασίας ET και EEG δεν υπερβαίνει (προσωρινά) τις δυνατότητες του συστήματος. Αυτή η υπέρβαση μπορεί να συμβεί για διάφορους

λόγους, όπως η μη ντετερμινιστική φύση του υπολογιστικού φορτίου που προέρχεται από τους αισθητήρες, η διαχείριση πόρων (CPU, μνήμης κ.λπ.) στα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα κ.α. Μια υψηλή προσωρινής αιχμή στο φορτίο επεξεργασίας, οδηγεί σε αδυναμία επεξεργασίας των δεδομένων του αισθητήρα εντός της αναμενόμενης χρονοθυρίδας, με αποτέλεσμα την απώλειά τους.

Καθώς μια τέτοια εγκατάσταση διπλού υπολογιστή για καταγραφή, ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες προσωρινής απώλειας δεδομένων, τελικά αποτελεί μια δημοφιλής ρύθμιση για επιστημονική έρευνα που συνδυάζει ET και EEG, αλλά έχει επίσης ορισμένα σοβαρά μειονεκτήματα:

- Το συνολικό κόστος του συστήματος είναι σημαντικά υψηλότερο όταν χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστοί υπολογιστές και ενώ αυτό είναι αποδεκτό σε εργαστηριακό περιβάλλον, θα αποτελούσε υψηλότερο εμπόδιο στην ευρεία υιοθέτηση του συστήματος NeuroMkt.
- Ο συγχρονισμός δεδομένων μεταξύ των δύο συστημάτων γίνεται πιο δύσκολος καθώς κάθε υπολογιστής έχει το δικό του ρολόι και είναι γνωστό ότι σε καταναμημένα συστήματα τα διαφορετικά ρολόγια σε ένα δίκτυο υπολογιστή έχουν διαφορετικά offsets και τείνουν να απομακρύνονται [Tanenbaum & Van Steen, 2007].
- Η ανάγκη για (αξιόπιστη) σύνδεση LAN μεταξύ των υπολογιστών, ιδανικά μέσω καλωδίου και δρομολογητή αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ασύρματα δίκτυα έχουν απρόβλεπτες καθυστερήσεις που μπορεί να επηρεαστούν από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως πηγές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών στο ίδιο φάσμα, άλλα ασύρματα δίκτυα ενεργά στον ίδιο χώρο κ.λπ.

Καθώς ο στόχος του NeuroMkt είναι να υλοποιήσει ένα BCI σύστημα για την αξιολόγηση των διαφημιστικών μηνυμάτων, η προσωρινή απώλεια δεδομένων δεν αποτελεί μείζον ζήτημα, καθώς η μόνη πρακτική συνέπεια που απορρέει είναι η στιγμιαία διακοπή της υπηρεσίας που προσφέρει η συσκευή. Εφόσον μια τέτοια διακοπή είναι σύντομη σε διάρκεια και σποραδική, δεν επηρεάζει αρνητικά (σε μεγάλο βαθμό) τη χρηστικότητα του συστήματος. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα της διάταξης διπλού υπολογιστή, είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιείται ένας μόνο υπολογιστής για την επεξεργασία των δεδομένων που παρέχονται από όλους τους αισθητήρες και τους αντίστοιχους αλγόριθμους επεξεργασίας και ανάλυσης.

Οι αρχικές προδιαγραφές ενός τέτοιου υπολογιστικού συστήματος, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, είναι συντηρητικά "high end" με σκοπό να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία όλων των αισθητήρων χωρίς πάρα πολλές διακοπές. Σημειώνεται ότι στην παρούσα φάση είναι πρακτικώς αδύνατο να καθοριστούν με ακρίβεια οι ελάχιστες απαιτήσεις του συστήματος, ωστόσο κάτι τέτοιο θα διαμορφωθεί επαρκώς, σε μεταγενέστερο στάδιο του έργου.

Πίνακας 2 Οι προτεινόμενες αρχικές προδιαγραφές για το υπολογιστικό σύστημα που θα φιλοξενεί το λογισμικό του NeuroMkt.

Χαρακτηριστικό	Ελάχιστες Προδιαγραφές	Προτεινόμενες Προδιαγραφές
CPU	AMD Ryzen 5 1600 / Intel Core i5 (7 th generation)	AMD Ryzen 5 3600/ Intel Core i5 (10 th generation)
GPU	GTX 1060	RTX 2060
RAM	16GB	32GB
Συνδεσιμότητα	USB3.0 interface	USB3.0 interface, LPT interface

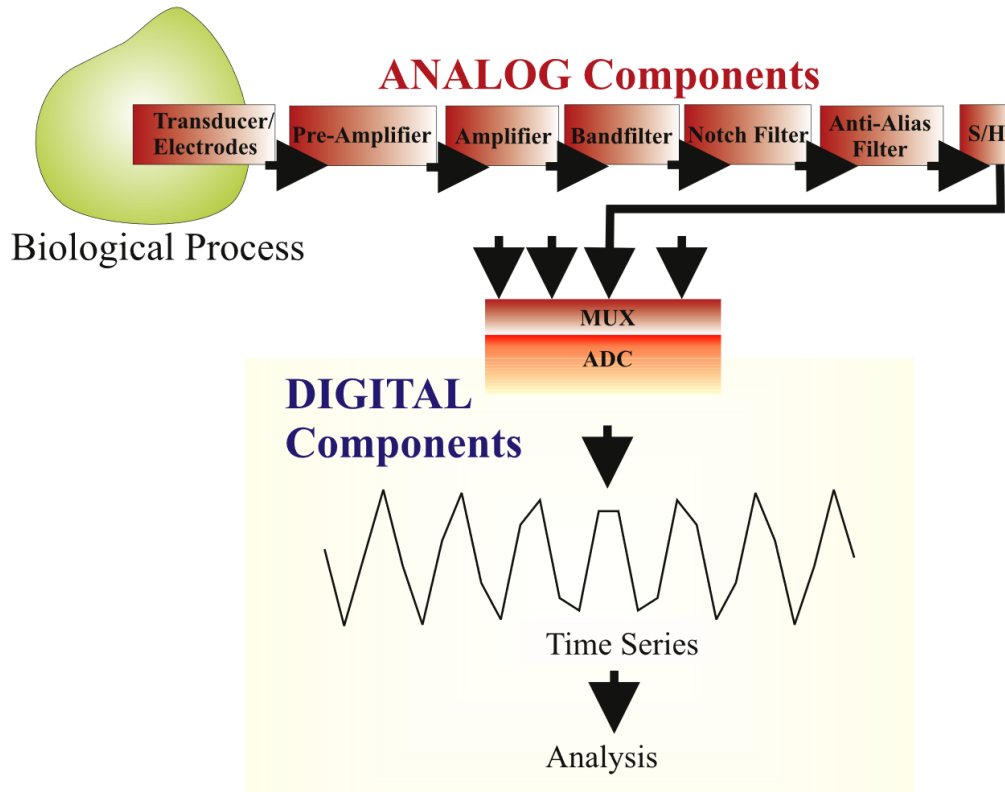
3 SDK ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

Τα SDK των αισθητήρων, αν και δεν αποτελούν σαφές κομμάτι της αρχιτεκτονικής του συστήματος του NeuroMkt, είναι το μέσο επικοινωνίας ανάμεσα στον υπολογιστή και τον αισθητήρα και αποτελεί την βάση για να στηθεί η αρχιτεκτονική του συστήματος. Πρόκειται ουσιαστικά για λογισμικό που παρέχεται από τον κατασκευαστή του εκάστοτε αισθητήρα και επιτρέπει την συλλογή και διάθεση των δεδομένων. Ταυτόχρονα τα SDK αισθητήρων ενσωματώνουν ένα σύνολο λειτουργιών που είναι απαραίτητα ώστε να μετατρέψουν τα δεδομένα που καταγράφουν οι αισθητήρες σε ποιοτικότερα και (ενδεχομένως) σημασιολογικά ανώτερα σήματα. Τέλος, τονίζουμε ότι το SDK είναι το λογισμικό που επικοινωνεί ευθέως με το firmware του αισθητήρα και ορίζει την διαθεσιμότητα των δεδομένων (π.χ. ποια δεδομένα παρέχονται στον χρήστη-προγραμματιστή και ποια αποκρύπτονται) και την αμφίδρομη επικοινωνία (αλλαγή συχνότητας δειγματοληψίας, αλλαγή ψηφιακής ανάλυσης, κ.α.). Στις δύο επόμενες ενότητες αναλύουμε τις διαδικασίες συλλογής δεδομένων για ET και EEG και παρουσιάζουμε ενδεικτικές λειτουργίες των SDK που συνήθως συνοδεύουν αυτούς τους αισθητήρες.

3.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

Τα περισσότερα συστήματα συλλογής/καταγραφής *φυσιολογικών* δεδομένων μπορούν να υποδιαιρεθούν σε αναλογικά και ψηφιακά στοιχεία (Εικόνα 4). Το αναλογικό τμήμα της ακολουθίας ρυθμίζει το σήμα (μέσω ενίσχυσης, φιλτραρίσματος, κ.λπ.) πριν από τη μετατροπή A/D. Η παρατήρηση μιας *φυσιολογικής* διαδικασίας αρχίζει συνήθως με τη σύνδεση ενός μορφοτροπέα (transducer) ή ηλεκτροδίου για τη λήψη ενός σήματος. Το επόμενο στάδιο σε μια τυπική ακολουθία συλλογής είναι η ενίσχυση. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ενίσχυση πραγματοποιείται σε δύο βήματα χρησιμοποιώντας έναν ξεχωριστό προ-ενισχυτή και έναν ενισχυτή. Μετά την ενίσχυση, το σήμα συνήθως φιλτράρεται για την εξάλειψη των ανεπιθύμητων συχνοτήτων (π.χ. φάσμα δικτύου στα 50 ή 60Hz) κάνοντας χρήση ζωνοφρακτικών φίλτρων ή μέσω απόρριψης συγκεκριμένων φασματικών συνιστωσών. Ένα κρίσιμο βήμα περιλαμβάνει την εξασθένηση των πολύ υψηλών συχνοτήτων ώστε τα σήματα να μπορέσουν να ψηφιοποιηθούν από τον μετατροπέα A/D. Αυτή η λειτουργία εκτελείται από ένα antialiasing φίλτρο. Τέλος, το κύκλωμα δειγματοληψίας και κράτησης (S/H) δειγματοληπτεί στο αναλογικό σήμα και το διατηρεί σε σταθερή τιμή κατά τη διαδικασία της A/D μετατροπής.

Σε ένα γενικό πλαίσιο, η διαδικασία συλλογής δεδομένων από έναν ηλεκτροεγκεφαλογράφο ακολουθεί την διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, σε μία τυπική συλλογή δεδομένων EEG, η καταγραφή επιτυγχάνεται με τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής με αγωγήμη γέλη ή πάστα, συνήθως μετά την κατάλληλη προετοιμασία της περιοχής του τριχωτού (π.χ. ελαφριά τριβή για μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης λόγω νεκρών κυττάρων του δέρματος). Πολλά συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ηλεκτρόδια, καθένα από τα οποία είναι συνδεδεμένο σε ένα μεμονωμένο καλώδιο. Ορισμένα συστήματα χρησιμοποιούν καπάκια ή δίκτυα στα οποία είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόδια. Αυτό είναι ιδιαίτερα κοινό όταν απαιτούνται συστοιχίες ηλεκτροδίων υψηλής πυκνότητας.



Εικόνα 4. Διάγραμμα μιας ακολουθίας για την συλλογή/καταγραφή φυσιολογικών δεδομένων. Τα στοιχεία μέχρι τον αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα (ADC) είναι αναλογικές συσκευές, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία είναι οι ψηφιακές συσκευές. MUX, πολυπλέκτης; S / H, μονάδα συγκράτησης δείγματος. Πηγή: [Van Drongelen, 2018]

Οι θέσεις και τα ονόματα των ηλεκτροδίων καθορίζονται από το Διεθνές σύστημα 10-20 [Towle et al., 1993] για τις περισσότερες κλινικές και ερευνητικές εφαρμογές (εκτός εάν χρησιμοποιούνται συστοιχίες υψηλής πυκνότητας). Αυτό το σύστημα διασφαλίζει ότι η ονομασία και το τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι συνεπής μεταξύ διαφορετικών πειραματικών δοκιμών. Στις περισσότερες κλινικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται 19 ηλεκτρόδια καταγραφής (πέρα από τα ηλεκτρόδια που αφορούν τη γείωση και την αναφορά συστήματος) [Lesser, 1986]. Πρόσθετα ηλεκτρόδια μπορούν να προστεθούν όταν μια κλινική ή ερευνητική εφαρμογή απαιτεί αυξημένη χωρική ανάλυση για μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου. Οι συστοιχίες υψηλής πυκνότητας (συνήθως μέσω καλύμματος ή διχτού) μπορούν να περιέχουν έως και 256 ηλεκτρόδια κατανεμημένα ομοιόμορφα γύρω από το τριχωτό της κεφαλής.

Κάθε ηλεκτρόδιο συνδέεται με μία είσοδο διαφορικού ενισχυτή (ένας ενισχυτής ανά ζεύγος ηλεκτροδίων). Ένα κοινό ηλεκτρόδιο αναφοράς συστήματος συνδέεται με την άλλη είσοδο κάθε διαφορικού ενισχυτή. Αυτοί οι ενισχυτές ενισχύουν την τάση μεταξύ του ενεργού ηλεκτροδίου και της αναφοράς (συνήθως 1.000-1.000.000 φορές ή αύξηση τάσης κατά 60-100 dB). Στη συνέχεια, το ενισχυμένο σήμα ψηφιοποιείται μέσω ενός μετατροπέα A/D, αφού περάσει μέσα από ένα antialiasing φίλτρο. Συνήθως η συχνότητα δειγματοληψίας για την μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι στα 128-512 Hz.

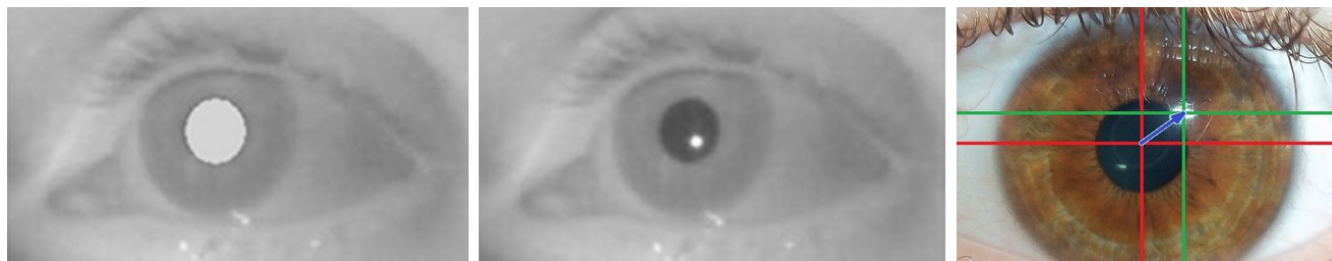
Μέσω των διαθέσιμων SDK των αισθητήρων, το ψηφιακό σήμα EEG είτε αποθηκεύεται ηλεκτρονικά είτε μεταδίδεται σε άλλα προγράμματα (φυσικά μέσω ενός κατάλληλου πρωτοκόλλου). Ένα τυπικό SDK δίνει τη δυνατότητα για μεταβολή της συχνότητας δειγματοληψίας, του φιλτραρίσματος, της προβολής των δεδομένων κ.α. Πέρα όμως από τα παραπάνω, τα σύγχρονα SDK παρέχουν και επιπλέον δυνατότητες, μέσω των αλγορίθμων που ενσωματώνουν, για εξαγωγή χαρακτηριστικών όπως επίπεδα ενέργειας ανά εύρος συχνοτήτων, εγκεφαλική

ασυμμετρία κ.α. Στο πλαίσιο του NeuroMkt, το SDK είναι το λογισμικό που καθορίζει σε ποια δεδομένα έχει πρόσβαση το σύστημα και σε τι μορφή παρέχονται αυτά τα δεδομένα. Συνεπώς, από την πλευρά της αρχιτεκτονικής του συστήματος, το SDK του αισθητήρα θεωρείται ως μέρος της συσκευής καθώς είναι το στοιχείο αυτό το οποίο «παράγει» τα δεδομένα και τα διαθέτει στο σύστημα που θα αναπτυχθεί.

3.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ

Η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία παρακολούθησης οφθαλμών βασίζεται στην χρήση βίντεο. Μια κάμερα εστιάζει σε ένα ή και στα δύο μάτια και καταγράφει την κίνηση των ματιών καθώς ο θεατής παρακολουθεί κάποιου είδους ερέθισμα. Οι περισσότεροι σύγχρονοι ET βασίζονται στο κέντρο της κόρης του ματιού και χρησιμοποιούν υπέρυθρο φως για τη δημιουργία αντανάκλασεων του κερατοειδούς. Το διάνυσμα που σχηματίζεται μεταξύ του κέντρου των κορών και των αντανάκλασεων του κερατοειδούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του σημείου προσοχής σε κάποια επιφάνεια ή την κατεύθυνση του βλέμματος. Συνήθως απαιτείται μια απλή διαδικασία βαθμονόμησης προτού χρησιμοποιηθεί ο ET [Witzner Hansen & Qiang, 2010].

Χρησιμοποιούνται δύο γενικοί τύποι υπέρυθρων ή σχεδόν υπέρυθρων (αναφέρεται και ως ενεργό φως) τεχνικών παρακολούθησης των ματιών: α) φωτεινή-κόρη και β) σκοτεινή-κόρη όπου η διαφορά τους βασίζεται στην τοποθεσία της πηγής φωτισμού. Εάν ο φωτισμός είναι ομοαξονικός με την οπτική διαδρομή, τότε το μάτι ενεργεί ως αναδρομικός ανακλαστήρας καθώς το φως αντανάκλα τον αμφιβληστροειδή δημιουργώντας μια φωτεινή φαινόμενη κόρη (παρόμοιο φαινόμενο με τα «κόκκινα μάτια» που εμφανίζονται στις φωτογραφίες). Εάν η πηγή φωτισμού είναι μετατοπισμένη εκτός της οπτικής διαδρομής, τότε η κόρη εμφανίζεται σκοτεινή μιας και αντανάκλαση από τον αμφιβληστροειδή απομακρύνεται από την κάμερα [Gneo et al., 2012].



Εικόνα 5. Εικόνα από ET με τεχνολογία (Αριστερά) Φωτεινής-κόρης και (Μέση) Σκοτεινής-κόρης. (Δεξιά) Απεικόνιση εικόνας από ET με τεχνολογία παθητικού (ορατού) φωτός όπου το κόκκινο σταυρόνημα δείχνει το κέντρο της κόρης και το πράσινο την αντανάκλαση του φωτός. Το μπλε διάνυσμα απεικονίζει την διαφορά των δύο προηγούμενων.

Η παρακολούθηση φωτεινής-κόρης δημιουργεί μεγαλύτερη αντίθεση ίριδας/κόρης επιτρέποντας πιο αξιόπιστη παρακολούθηση των ματιών με όλη τη χρώση της ίριδας και μειώνει σημαντικά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις βλεφαρίδες και άλλα στοιχεία χαμηλής φωτεινότητας [Hansen & Ji, 2009]. Επιτρέπει επίσης την παρακολούθηση σε ποικίλες συνθήκες φωτισμού (π.χ. από ολικό σκοτάδι έως πολύ φωτεινό περιβάλλον).

Μια άλλη, λιγότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι γνωστή ως τεχνολογία παθητικού φωτός. Καθώς η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ορατό φως ενδέχεται να προκαλέσει αντιπερισπασμούς στους συμμετέχοντες [Gneo et al., 2012]. Οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζονται στην τεχνολογία παθητικού φωτός είναι [Sigut & Sidha, 2011]: α) η αντίθεση της κόρης είναι μικρότερη από ό, τι στις μεθόδους ενεργού φωτισμού, επομένως, το κέντρο της ίριδας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του διανύσματος (αυτός ο υπολογισμός προϋποθέτει την ανίχνευση του ορίου της ίριδας και του λευκού σκληρού χιτώνα) και β) λόγω της απόφραξης των βλεφάρων αδυνατεί να ανιχνεύσει αξιόπιστα τις κάθετες κινήσεις.

Στην περίπτωση του ET το SDK που συνοδεύει τον εκάστοτε αισθητήρα είναι εκείνο που καθορίζει σε ποια από τα δεδομένα που καταγράφονται και υπολογίζονται έχει ο χρήστης-προγραμματιστής πρόσβαση. Συνήθως στους ET που απευθύνονται σε ερευνητικό κοινό δίνεται πρόσβαση τόσο στην εικονοσειρά που καταγράφεται όσο και στα διανύσματα που υπολογίστηκαν. Σε ένα πιο γενικό πλαίσιο, τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν τις συντεταγμένες οθόνης όπου κοιτούσαν τα μάτια του συμμετέχοντα, τη διάμετρο της κόρης του ματιού και άλλες πληροφορίες που έχουν εξαχθεί από τις εικονοσειρές. Όπως και στην περίπτωση του EEG, από την σκοπιά της αρχιτεκτονικής του συστήματος, το SDK του αισθητήρα θεωρείται ως το ακροτελεύτιο μέρος της συσκευής καθώς είναι το στοιχείο αυτό το οποίο «παράγει» τα δεδομένα και τα διαθέτει στο σύστημα του NeuroMkt.

4 ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (MIDDLEWARE)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, το middleware του NeuroMkt βασίζεται πάνω στο επίπεδο των αισθητήρων με σκοπό να κάνει διαφανή τόσο τη διαδικασία καταγραφής των σημάτων και της παρεμβολής δειγμάτων όσο και τον συγχρονισμό των σημάτων που πηγάζουν από διαφορετικούς αισθητήρες. Επιπλέον, μέσω του SDK ανάλυσης σημάτων, στόχος μας είναι να κάνουμε επίσης διαφανή τη διαδικασία διασύνδεσης με τις κλήσεις λειτουργιών του Dashboard για πρόσβαση στους βιο-δείκτες ώστε να υποβοηθηθεί η αξιολόγηση διαφημιστικών μηνυμάτων. Για να επιτευχθεί αυτό, το middleware του NeuroMkt θα βασιστεί στο SDK που προσφέρεται από τον εκάστοτε αισθητήρα για την καταγραφή των *φυσιολογικών* σημάτων. Στη συνέχεια, το middleware του NeuroMkt θα φροντίσει να συγχρονίσει τα διαφορετικά σήματα με βάση την κοινή χρονική επισημείωσή τους και να προωθήσει τα συγχρονισμένα σήματα στο SDK ανάλυσης σημάτων. Αυτό το SDK θα ενσωματώσει τις απαραίτητες λειτουργίες για την επεξεργασία του σήματος ώστε να το μεταφράσει σε κατάλληλες μετρικές που θα προάγουν την αξιολόγηση των διαφημιστικών μηνυμάτων. Καταλήγοντας, ο τελευταίος στόχος που έχει τεθεί για το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του NeuroMkt αφορά την επεκτασιμότητα του middleware και του SDK ανάλυσης σημάτων ώστε να μπορούν στο μέλλον, με μικρές σχετικά τροποποιήσεις, να υποστηρίξουν εναλλακτικές προτάσεις όσον αφορά τους αισθητήρες, όπως επίσης και να ενσωματώσουν επιπλέον μεθόδους ανάλυσης και βιο-δεικτών.



Εικόνα 6 Ο ρόλος του middleware στη στοίβα αρχιτεκτονικής του NeuroMkt.

Συγκεκριμένα, ο ρόλος του middleware, ως επιμέρους στοιχείο του λογισμικού, είναι να παρέχει ένα επίπεδο συσσώρευσης που συλλέγει και επεξεργάζεται τα σήματα από τους αισθητήρες, να παρέχει μηχανισμούς συγχρονισμού προκειμένου όλα τα σήματα να ανήκουν σε μία μόνο, κοινή, χρονική κλίμακα και στη συνέχεια να μεταβιβάζει τα δεδομένα του αισθητήρα στο υψηλότερο στρώμα.

Στην κορυφή του middleware βρίσκεται ένα άλλο επίπεδο, που ονομάζεται SDK Ανάλυσης Σημάτων, το οποίο λαμβάνει τα δεδομένα του αισθητήρα, τα μεταδίδει στους εξειδικευμένους αλγόριθμους επεξεργασίας σημάτων που αποδίδουν ερμηνεία στα ακατέργαστα δεδομένα αισθητήρα και μεταβιβάζει αυτήν την πληροφορία με την δική της πλέον χρονική επισημείωση στο το επίπεδο εφαρμογής (dashboard). Υπό αυτήν την έννοια, το SDK Ανάλυσης Σημάτων διαδραματίζει επίσης το ρόλο του διαμεσολαβητή μεταξύ του Dashboard (τελικός χρήστης - διαφημιστής) και του middleware. Συνεπώς θα μπορούσαμε να κάνουμε λόγο και για ένα γενικευμένο middleware που περιλαμβάνει τόσο το middleware των αισθητήρων όσο και το SDK ανάλυσης σημάτων. Παρόλα αυτά, η ενότητα αυτή εστιάζει στο middleware που αφορά τους αισθητήρες, το οποίο θα αποτελέσει τη βάση πάνω στην οποία θα δημιουργηθούν τα υψηλότερα επίπεδα ανάλυσης σημάτων και εφαρμογής.

4.1 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Ως φυσικό επακόλουθο, το πρώτο βήμα για τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του ενδιάμεσου λογισμικού και της υλοποίησής του ήταν η αναζήτηση υφιστάμενων λύσεων για την αντιμετώπιση ορισμένων από τις προκλήσεις που θέτει το NeuroMkt με την πρόθεση να ενσωματωθούν, να επεκταθούν και να προσαρμοστούν στο σύστημα του NeuroMkt. Καθώς η από κοινού καταγραφή και συνεπώς ο συγχρονισμός των ET και EEG είναι ήδη πολύ συνηθισμένες πρακτικές στον τομέα των νευροεπιστημών, εντοπίσαμε μια σειρά έτοιμων λύσεων που παρέχουν τις βασικές λειτουργίες της απόκτησης δεδομένων, του συγχρονισμού, της χρονικής επισημείωσης και της μεταφοράς δεδομένων.

Καθώς υπάρχουν σημαντικές διαφορετικές τεχνικές, οι οποίες απορρέουν από διαφορετικές απαιτήσεις, ειδικά στον τομέα του συγχρονισμού, ο Πίνακας 3 περιγράφει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα για ορισμένες από τις ήδη υπάρχουσες λύσεις.

Πίνακας 3 Υπάρχουσες λύσεις που μπορούν να αποτελέσουν την βάση για το ενδιάμεσο λογισμικό (middleware) του NeuroMkt.

Υπάρχον Λογισμικό	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα
Brain Vision Analyzer [BVA, 2020]	Εμπορικά διαθέσιμο λογισμικό από την Brain Products GmbH. Υποστηρίζει τον συγχρονισμό χρονοσειρών EEG και ET κάνοντας χρήση κοινών TTL δεικτών. Παρόλα αυτά ο συγχρονισμός πραγματοποιείται αποκλειστικά σε δεύτερο χρόνο στο τέλος του πειράματος πράγμα που αποτελεί σημαντικό περιοριστικό παράγοντα.
EYE-EEG [Dimigen, Sommer, Hohlfeld, et al., 2011]	Μια παρόμοια λύση, ανοιχτού λογισμικού, με την ανωτέρω είναι το EYE-EEG. Το EYE-EEG είναι ένα plug-in για το EEGLab (εργαλείο αποκλειστικά για το Matlab που αφορά την ανάλυση EEG σημάτων). Ο συγχρονισμός και εδώ πραγματοποιείται αποκλειστικά σε δεύτερο χρόνο κάνοντας χρήση ίδιων τεχνικών. Να σημειωθεί ότι για να μπορέσει να γίνει η επεξεργασία των καταγεγραμμένων σημάτων στο EEGLab, στην αρχή απαιτείται μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και μη-αυτοματοποιημένη διαδικασία που αφορά τη μορφοποίηση των δεδομένων.
Acqknowledge [BioPac, 2020]	Μια ευρέως διαδεδομένη εμπορική λύση από την BIOPAC που βοηθά στην καταγραφή, στον συγχρονισμό και στην ανάλυση EEG σημάτων. Επίσης, προσφέρει μία τεράστια γκάμα υλοποιημένων αλγορίθμων για την επεξεργασία εγκεφαλικών σημάτων. Παρόλα αυτά, και εδώ ο συγχρονισμός των σημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί αποκλειστικά σε μεταγενέστερο χρόνο.
VRPN [VRPN, 2020]	Ένα ενδιάμεσο λογισμικό σχεδιασμένο να προσφέρει διαφανείς διεπαφές για μεταφορά δεδομένων από μια πληθώρα αισθητήρων (π.χ. συνδεδεμένων σε διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα) μέσω δικτύου. Λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο, υποστηρίζει

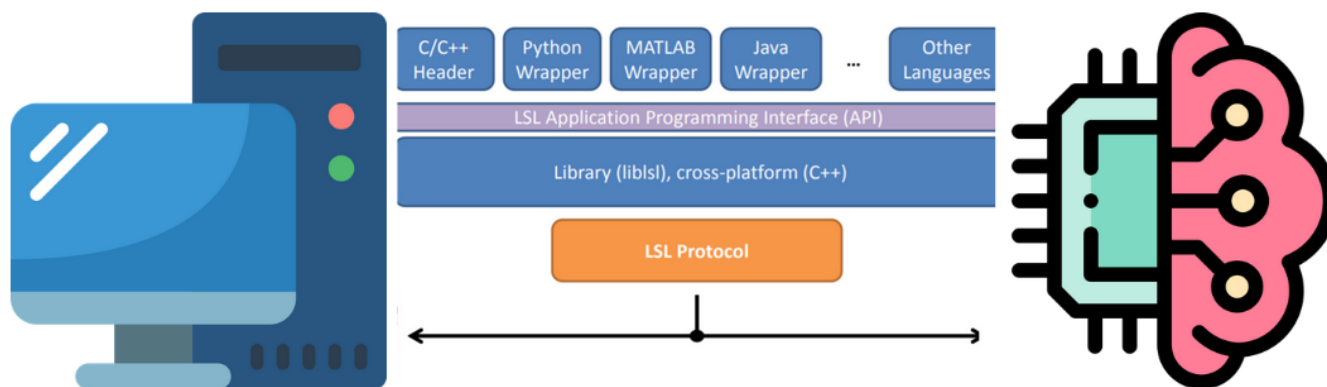
	<p>όλα τα διαδεδομένα λειτουργικά συστήματα υπολογιστών (Windows, macOS, Linux) ενώ παρέχεται και η δυνατότητα υποστήριξης νέων αισθητήρων μέσα από την ανάπτυξη καινούριων plug-ins. Παρόλα αυτά, όπως διαφαίνεται και από το όνομά του, έχει αναπτυχθεί ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες της βιομηχανίας VR για αυτό και παρέχει κατά κύριο λόγο άμεση υποστήριξη μόνο σε motion trackers (π.χ. Microsoft Kinect, 3D Mice, OptiTrack, κ.α.).</p>
<p>LabStreamingLayer [SCCN, 2020]</p>	<p>Ενδιάμεσο λογισμικό ανοιχτού κώδικα που αναπτύχθηκε ειδικά με σκοπό να παρέχει μια ενοποιημένη συλλογή μετρήσεων από ετερογενείς αισθητήρες και απευθύνεται σε ερευνητικό ακροατήριο. Υποστηρίζει όλα τα διαδεδομένα λειτουργικά συστήματα υπολογιστών (Windows, macOS, Linux) και προσφέρεται wrapper για τις πιο κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C ++, Python, Java, C #, Matlab). Επιπλέον μπορεί να λειτουργήσει τόσο σε πραγματικό όσο και σε μεταγενέστερο χρόνο (π.χ. πρωθύστερες καταγραφές δεδομένων), μπορεί να μεταφέρει απρόσκοπτα δεδομένα σε ένα δίκτυο υπολογιστών, παρέχει μέσα χρονικής επισημείωσης και συγχρονισμού δεδομένων αισθητήρων και υποστηρίζει ήδη μέσω υλοποιημένων προγραμμάτων μεγάλο αριθμό αισθητήρων EEG, ET και άλλων αισθητήρων παρακολούθησης της ανθρώπινης φυσιολογίας.</p>

Δεδομένου ότι το LabStreamingLayer προσφέρει ήδη ένα σημαντικό μέρος της απαιτούμενης λειτουργικότητας που έχει προδιαγραφεί για το middleware του NeuroMkt, κρίνεται ως το πλέον καταλληλότερο ώστε να αποτελέσει τον θεμέλιο λίθο της αρχιτεκτονικής μας και να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή σημάτων από τους αισθητήρες, τη μεταφορά δεδομένων και το συγχρονισμό.

4.2 LAB STREAMING LAYER

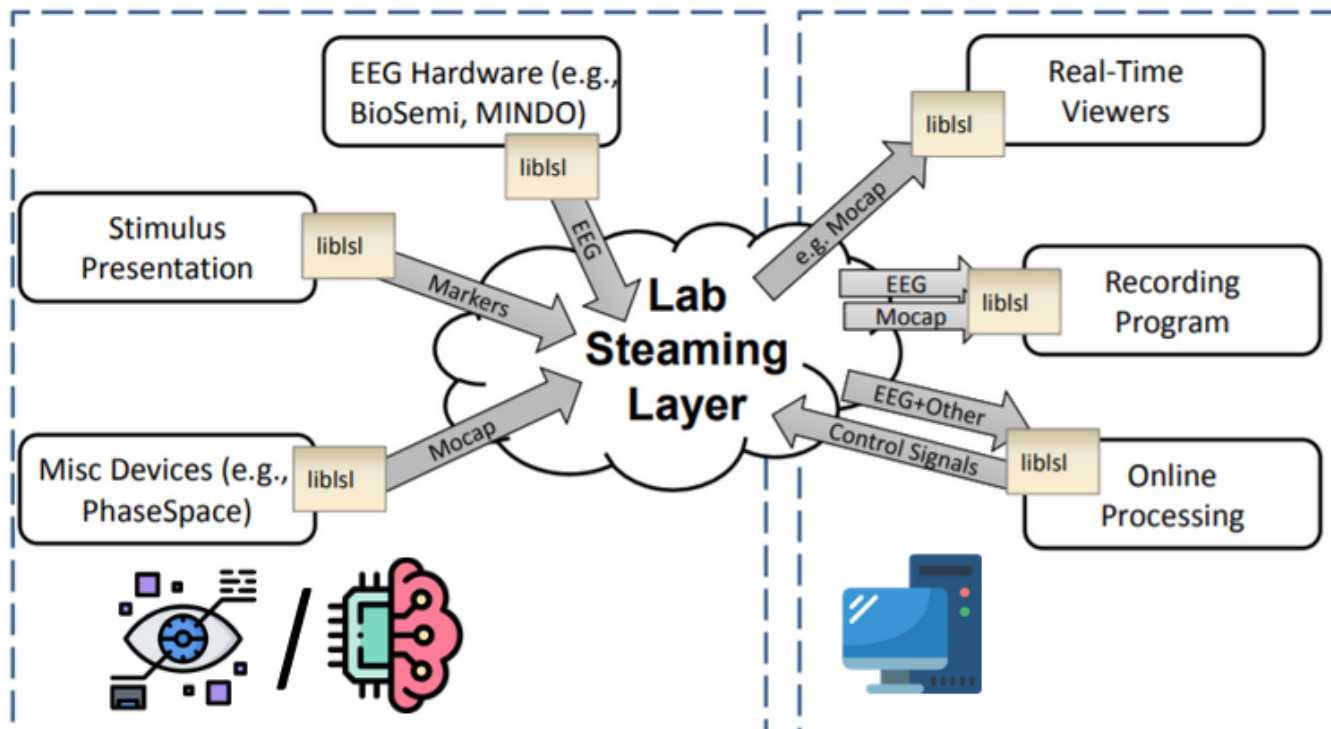
Το Lab Streaming Layer (LSL) είναι ένα σύστημα για την ενοποιημένη συλλογή χρονοσειρών σε ερευνητικά πειράματα που χειρίζεται τη δικτύωση, τον συγχρονισμό, την πρόσβαση στα δεδομένα σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο καθώς επίσης και την συλλογή, προβολή και εγγραφή των δεδομένων στον δίσκο. Το LSL συνθέτει μια ολόκληρη διανομή λογισμικού που αποτελείται από δύο κύρια συστατικά:

α) Την βασική βιβλιοθήκη μεταφοράς (liblsl) και τις διεπαφές γλώσσας (C, C ++, Python, Java, C #, MATLAB), όπως φαίνεται στην Εικόνα 7. Αυτή η βιβλιοθήκη που αποτελεί την καρδιά του LSL είναι γενικής χρήσης, υποστηρίζει όλα τα διαδεδομένα λειτουργικά συστήματα υπολογιστών (Windows, macOS, Linux) και ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί για το ενδιάμεσο λογισμικό του NeuroMkt.



Εικόνα 7 Βασική βιβλιοθήκη μεταφοράς δεδομένων του LSL.

β) Μια σειρά εργαλείων που έχουν δημιουργηθεί πάνω στη βιβλιοθήκη του LSL και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, ένα πρόγραμμα εγγραφής, οπτικοποίηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διαμοιρασμό των διαθέσιμων δεδομένων από τη συσκευή καταγραφής (π.χ. ήχος, EEG, ET, ανίχνευση κίνησης κ.α.) στο δίκτυο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Αυτό το πακέτο εργαλείων καθιστά εμφανή την δυνατότητα επέκτασης του LSL με νέα προγράμματα οδήγησης (π.χ. για την υποστήριξη νέων αισθητήρων) ή την επικοινωνία με εργαλεία τρίτων (π.χ. SDK για επεξεργασία ή προβολή των σημάτων) και ικανοποιεί την απαίτηση υιοθέτησης μιας αρθρωτής και επεκτάσιμης αρχιτεκτονικής.



Εικόνα 8. Απεικόνιση του LSL από την πλευρά της μεταφοράς των δεδομένων στο δίκτυο. Πηγή: [SCCN, 2020].

Το LSL αναπτύχθηκε αρχικά για να διευκολύνει πειράματα πολύτροπης καταγραφής των αποκρίσεων των ανθρώπων, συμπεριλαμβανομένης και της εγκεφαλικής δραστηριότητας (κυρίως EEG), της υπόλοιπης φυσιολογίας (EOG, EMG, καρδιακού ρυθμού, αναπνοής, αγωγιμότητας δέρματος κ.λπ.), των συμπεριφορικών δεδομένων (λήψη κίνησης, παρακολούθηση ματιών, αλληλεπίδραση αφής, εκφράσεις του προσώπου, κ.λπ.) όπως επίσης και αντίστοιχων ερεθισμάτων. Επομένως, υποστηρίζει ήδη μια εκτεταμένη λίστα συσκευών, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5, πράγμα που θα συντελέσει καταλυτικά στην μελλοντική προσπάθεια του NeuroMkt για αξιοποίηση συσκευών πέραν από αυτές που επιλέχθηκαν στο [Π1.2].

Πίνακας 4. Λίστα με τις (επίσημα) υποστηριζόμενες συσκευές από το ενδιάμεσο λογισμικό LSL. Πηγή: [SCCN, 2020].

Συσκευές EEG που υποστηρίζονται επίσημα (τα un-tested συστήματα σημειώνονται με “u”)
ABM B-Alert X4/X10/X24 wireless (u)
BioSemi Active II Mk1 and Mk2
Blackrock Cerebus/NSP (timestamps only)
Cognionics dry/wireless

EGI AmpServer
Enobio dry/wireless (u)
g.Tec g.USBamp (προβληματικό σε ψηλές συχνότητες δειγματοληψίας)
g.Tec g.NEEDaccess (περιλαμβάνει τα g.USBamp, g.HIamp, g.Nautilus)
MINDO dry/wireless
Neuroscan Synamp II and Synamp Wireless (u)
Wearable Sensing
ABM B-Alert X4/X10/X24 wireless (u)
BioSemi Active II Mk1 and Mk2
Blackrock Cerebus/NSP (μόνο για χρονική επισήμανση)
Συσκευές EEG που υποστηρίζονται μέσω τρίτου λογισμικού (τα un-tested συστήματα σημειώνονται με “u”)
ANT eego sports
Bittium NeurOne Tesla
Brain Products actiCHamp/actiCHamp Plus
Brain Products BrainAmp series
Brain Products LiveAmp
BrainVision RDA client
Cognionics (όλες οι συσκευές)
EB Neuro BE Plus LTM
mBrainTrain SMARTING
neuroelectrics (Enobio, StarStim) μέσω του προγράμματος NIC2.
Mentalab Explore
OpenBCI (όλες οι συσκευές)
Starcats HackEEG Shield για Arduino
Συσκευές Eye Tracking (τα un-tested συστήματα σημειώνονται με “u”)
Eye Tribe Tracker Pro
SMI iViewX
SMI Eye Tracking Glasses
SR Research Eyelink (μόνο οι βασικές λειτουργίες)
Tobii Eye trackers: <ul style="list-style-type: none"> • Tobii Pro • Tobii StreamEngine (εμπορικοί αισθητήρες) • Tobii other (παλαιότερη έκδοση) (u)
Custom 2-camera eye trackers (χρειάζεται υλοποίηση)
Pupil-Labs
Συσκευές Αλληλεπίδρασης
Input devices (πληκτρολόγια, ποντίκια, trackballs, presenters, etc.)

DirectX-compatible joysticks, wheels

Gamepads (e.g. Xbox Controller) - cross-platform
--

Στη συνέχεια, παρέχονται περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο το LSL: α) διασυνδέεται με τους αισθητήρες μέσω των διεπαφών, β) επιτυγχάνει τη μεταφορά των δεδομένων με αξιόπιστο τρόπο, γ) εκτελεί τον συγχρονισμό ετερογενών σημάτων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και δ) επικοινωνεί με το περιβάλλον του χρήστη μέσω συμβάντων.

4.3 ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Η διεπαφή αισθητήρων βρίσκεται στη βάση του ενδιάμεσου λογισμικού και έχει ως στόχο να παρέχει μια αφηρημένη διεπαφή για τους κύριους τύπους αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στο έργο (για αρχή ET και EEG). Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του ενδιάμεσου λογισμικού με το SDK κάθε αισθητήρα με σκοπό την συλλογή δεδομένων αισθητήρα, την παροχή λειτουργιών διαμόρφωσης και όπου απαιτείται άμεση είσοδος από τον χρήστη παρέχει μια διεπαφή χρήστη.

Προς αυτή την κατεύθυνση, το LSL ορίζει τις δικές του αφαιρετικές διεπαφές αισθητήρων βασισμένο σε τρεις οντότητες α) **Stream Outlets** β) **Resolvable functions** και γ) **Stream Inlets** που αναλύονται παρακάτω.

Stream Outlet: Είναι μια χρονοσειρά (πολυκάναλη ή μονοκάναλη) που διαμοιράζεται στο δίκτυο που ορίζεται από το LSL. Τα δεδομένα, ένα-ένα, προωθούνται σε ένα Stream Outlet όπου συσσωρεύονται και σχηματίζουν μεγαλύτερους όγκους δεδομένων που αναφέρονται ως chunks και υπακούν στους συνήθεις τύπους δεδομένων (integer, float, double και string). Στα Stream Outlets μπορούν να επισυναφθούν και μετά-δεδομένα υπό την μορφή XML τα οποία μπορούν να χρησιμεύσουν ως header προκειμένου να παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες.

Resolve functions: Πρόκειται για συναρτήσεις που αναλαμβάνουν τον εντοπισμό και τη διαχείριση των Streams (Outlets και Inlets) του δικτύου. Οι λειτουργίες του εντοπισμού και της διαχείρισης βασίζονται σε ερωτήματα περιεχομένου (content-based queries) που μπορεί να αφορούν το όνομα και το περιεχόμενο των Streams ή ακόμα και πεδία των μετά-δεδομένων που τα συνοδεύουν. Οι δυνατότητες εντοπισμού των Streams δεν εξαρτώνται από εξωτερικές υπηρεσίες και έχουν υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να απλοποιούν δραστικά τη συλλογή δεδομένων μέσω του δικτύου.

Stream Inlets: Αφορούν την συλλογή χρονοσειρών από τα συνδεδεμένα Stream Outlets. Ουσιαστικά εξυπηρετούν την διαδικασία συλλογής δειγμάτων από τον πάροχο με σωστή (χρονολογική) σειρά, διασφαλίζοντας αξιόπιστη μετάδοση, προαιρετική μετατροπή του τύπου των δεδομένων και προαιρετική ανάκτηση αστοχίας. Εκτός από τα δείγματα, μπορούν να ληφθούν τα μετά-δεδομένα που τα συνοδεύουν.

Για να συνδεθεί ένας αισθητήρας στο LSL, πρέπει να εφαρμοστεί ένα κατάλληλο περιτύλιγμα (σε μία από τις γλώσσες που υποστηρίζονται από το LSL, βλ. Ενότητα 3.2) που δημιουργεί ένα αντικείμενο εξόδου ροής, καθορίζει τον αριθμό και τον τύπο των καναλιών δεδομένων που υποστηρίζει ο αισθητήρας και ωθεί τα δείγματα που δημιουργούνται από τον αισθητήρα μέσω της εξόδου ροής, καθιστώντας τα διαθέσιμα σε "πελάτες" στο δίκτυο LSL.

4.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο ρόλος του ενδιάμεσου λογισμικού σε ένα δίκτυο ετερογενών αισθητήρων και υπολογιστών είναι να παρέχει ένα επίπεδο για τη συλλογή των δεδομένων που δημιουργούνται (σ.σ. στους υπολογιστές όπου είναι άμεσα συνδεδεμένοι οι αισθητήρες) και να μεταφέρονται στους υπολογιστές στους οποίους εκτελούνται οι εφαρμογές

χρήστη - τόσο αποτελεσματικά όσο το δυνατόν περισσότερο, διασφαλίζοντας ότι δεν θα χαθούν δεδομένα κάπου στο δρόμο.

Το LSL προσφέρει λειτουργίες μεταφοράς δεδομένων μέσω ενός δικτύου με απόλυτα διαφανή τρόπο. Τα Stream Outlets και Inlets μπορούν να δημιουργηθούν σε οποιονδήποτε υπολογιστή του τοπικού δικτύου χωρίς να χρειάζεται να καθοριστούν οι διευθύνσεις διακομιστή και τα πρωτόκολλα δικτύου. Τα δεδομένα θα μεταδοθούν από ένα Outlet σε ένα Inlet με τον ίδιο ακριβώς τρόπο είτε και τα δύο μέρη βρίσκονται στον ίδιο υπολογιστή είτε σε δύο διαφορετικούς υπολογιστές που συνδέονται από ένα δίκτυο.

Το LSL χρησιμοποιεί διάφορους μηχανισμούς για να εξασφαλίσει τη μέγιστη αξιοπιστία ακόμη και σε περίπτωση προσωρινών βλαβών δικτύου:

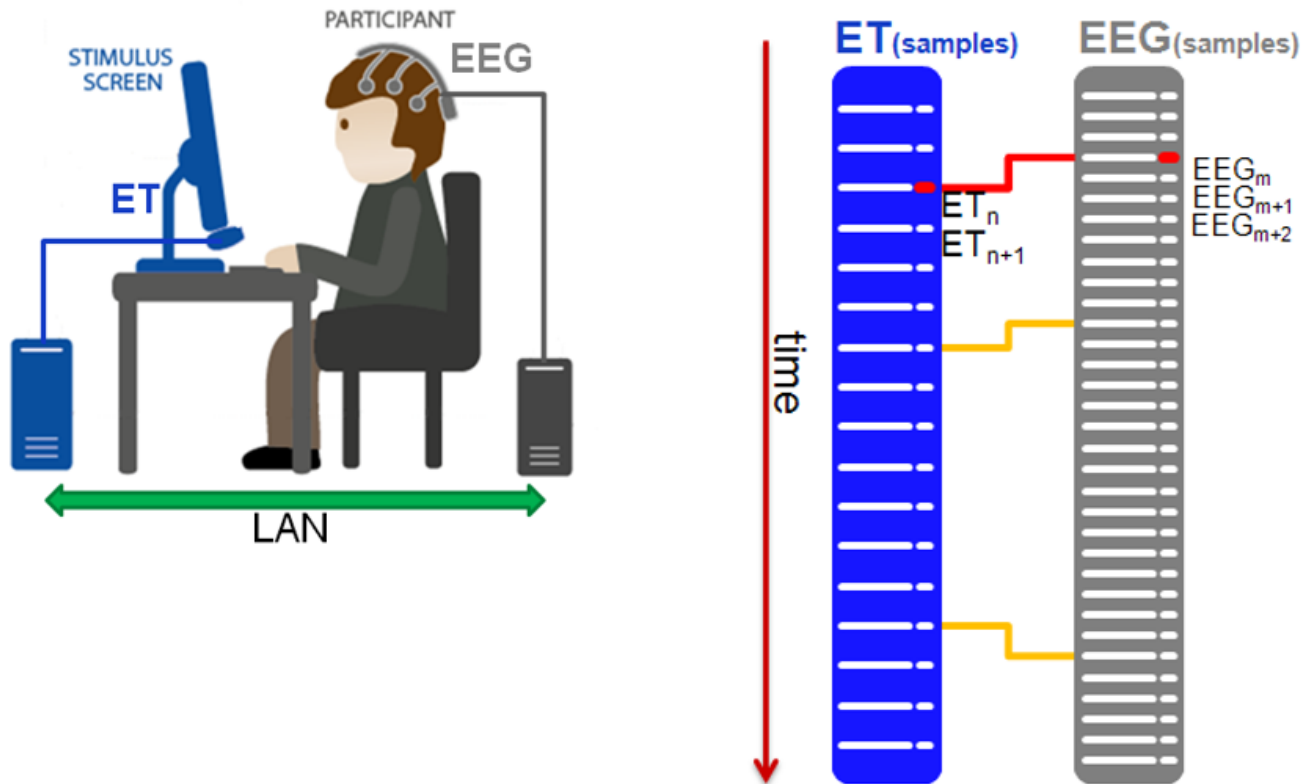
- Παρόλο που το UDP είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό και χρησιμοποιείται για ανακάλυψη των Streams του δικτύου, τα δείγματα δεδομένων προωθούνται μόνο με χρήση του TCP το οποίο είναι ένα πρωτόκολλο που διασφαλίζει τη σωστή και εγγυημένη μεταφορά των δεδομένων.
- Τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στην προσωρινή μνήμη τόσο από την πλευρά του αποστολέα όσο και του παραλήπτη, έτσι ώστε να παρέχεται αντίγραφο αυτών σε περίπτωση διακοπόμενης αποτυχίας δικτύου.
- Παρέχει αυτόματη ανάκτηση αστοχίας ακόμη και σε περίπτωση διακοπής εφαρμογής ή υπολογιστή.

4.5 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

Σε ένα σύστημα που περιλαμβάνει ένα σύνολο ετερογενών αισθητήρων, όπου ενδεχομένως κάθε αισθητήρας είναι συνδεδεμένος σε ένα διαφορετικό υπολογιστικό σύστημα, είναι απαραίτητο να συγχρονιστούν όλα τα δεδομένα αισθητήρων σε έναν κοινό χρονικό άξονα ώστε να ομογενοποιηθούν τα δεδομένα και να ανιχνευθούν τα συμβάντα. Όπως ήδη αναφέρθηκε, σε αυτό το σενάριο θα πρέπει γενικά να εξεταστεί ένας αριθμός παραγόντων:

- Συχνότητα δειγματοληψίας αισθητήρα: Κάθε ένας αισθητήρας διέπεται από διαφορετική συχνότητα δειγματοληψίας, ανάλογα με το φάσμα συχνοτήτων του μετρούμενου σήματος. Ενδεικτικά, οι τυπικές τιμές συχνότητας δειγματοληψίας είναι 30Hz για έναν ET και 250Hz για έναν EEG.
- Clock offset: Η χρονική κλίμακα κάθε αισθητήρα, σε ένα γενικό σενάριο, θα έχει διαφορετικό σημείο έναρξης.
- Clock drift: Ακόμη και αν το Clock offset ήταν συγχρονισμένο, πολλές γεννήτριες ρολογιού σε ένα καταναμημένο σύστημα τείνουν να απομακρύνονται μεταξύ τους ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, της τεχνολογίας γεννήτριας ρολογιού και άλλων περιβαλλοντικών μεταβλητών.

Η Εικόνα 9 παρουσιάζει ένα σύστημα δύο αισθητήρων συνδεδεμένων σε ξεχωριστά υπολογιστικά συστήματα που οδηγεί σε αποσυγχρονισμένες καταγραφές.

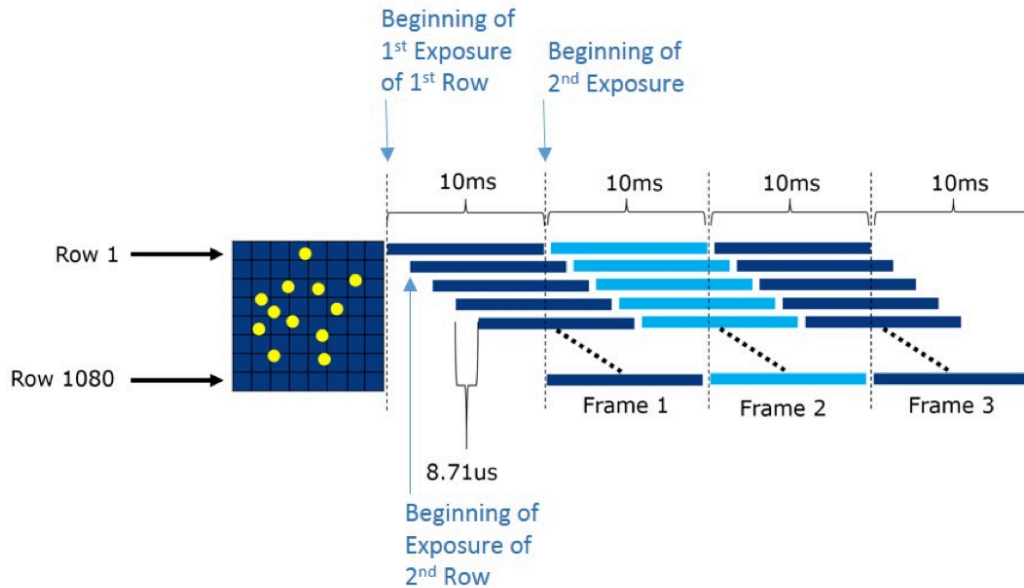


Εικόνα 9. (Αριστερά) Σύστημα που συνδυάζει δύο αισθητήρες, έναν ET και έναν EEG. (Δεξιά) Αναπαράσταση δύο χρονοσειρών (μπλε για τον ET και γκρι για το EEG) με διαφορετικές συχνότητες δειγματοληψίας και offsets. Αν οι δύο χρονοσειρές ήταν συγχρονισμένες το δείγμα ET_n θα αντιστοιχούσε στο δείγμα EEG_m .

4.5.1 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ

Από μια θεωρητική σκοπιά, ο ευκολότερος και ακριβέστερος τρόπος συγχρονισμού ενός συνόλου αισθητήρων είναι η χρήση συγχρονισμού υλικού. Στην ιδανική περίπτωση, αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση μιας γεννήτριας ρολογιού για ταυτόχρονη ενεργοποίηση της λήψης σήματος όλων των αισθητήρων. Αυτή η προσέγγιση ωστόσο δεν είναι πρακτικά εφικτή, διότι θα απαιτούσε ήδη όλους τους αισθητήρες να έχουν σχεδιαστεί για να δέχονται ένα συγκεκριμένο εξωτερικό σήμα ρολογιού ή να σχεδιαστούν εξ αρχής συγκεκριμένοι αισθητήρες υποστηρίζοντας αυτόν τον συγκεκριμένο σκοπό. Πέρα από αυτό, συντρέχουν και άλλοι πρακτικοί περιορισμοί:

- Συστήματα βασισμένα σε κάμερα που χρησιμοποιούν αισθητήρες CMOS, όπως για παράδειγμα ένας ET δεν μπορούν να λειτουργήσουν με το μέγιστο ρυθμό καρτέ όταν η λήψη εικόνας ενεργοποιείται από εξωτερικό σήμα. Μια τέτοια λειτουργία θα απέτρεπε την επικαλυπτόμενη λήψη εικόνας μεταξύ διαδοχικών πλαισίων πράγμα που συμβαίνει όταν οι κάμερες έχουν το δικό τους ρολόι και υποστηρίζουν λειτουργία ελεύθερης εκτέλεσης (βλέπε Εικόνα 10).
- Ακόμη και με μια κοινή πηγή ρολογιού, εάν οι γραμμές μετάδοσης είναι αρκετά μεγάλες και έχουν διαφορετικά μήκη, ο χρονισμός αποκλίνει στον προορισμό. Αυτή η απόκλιση είναι συνάρτηση του μήκους γραμμής, του υλικού, της θερμοκρασίας και άλλων παραγόντων που επηρεάζουν την ταχύτητα κίνησης των ηλεκτρονίων στο μέσο.
- Προς το παρόν κανένα σύστημα εμπορικού ET δεν επιτρέπει την άμεση ενεργοποίηση της λήψης εικόνας από ένα εξωτερικό σήμα.



Εικόνα 10. Λήψη εικόνων (λειτουργία ελεύθερης εκτέλεσης) σε αισθητήρα CMOS με δυνατότητα rolling shutter. Η καταγραφή γίνεται όχι με λήψη στιγμιότυπου ολόκληρης της σκηνής σε μια στιγμή, αλλά με γρήγορη σάρωση σε όλη τη σκηνή οριζόντια (ή και κάθετα). Δεδομένου ότι ο χρόνος απόκτησης συνεχόμενων πλαισίων σε μια αλληλουχία μπορεί να επικαλύπτεται μερικώς, ο υψηλότερος επιτεύξιμος ρυθμός καρέ είναι υψηλότερος από αυτήν στην λήψη εικόνων ολόκληρης της σκηνής. Πηγή: [qImaging, 2014]

4.5.2 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

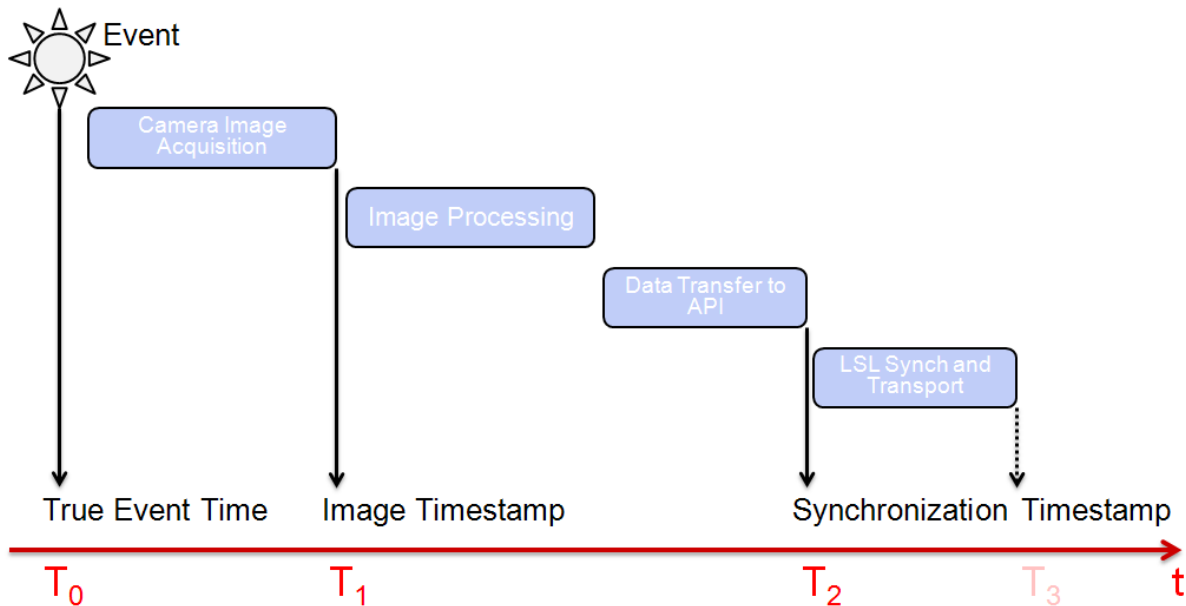
Η απλούστερη μορφή συγχρονισμού μέσω λογισμικού είναι η σύνδεση όλων των αισθητήρων σε έναν μόνο υπολογιστή, με τον υπολογιστή να δημιουργεί μια χρονική σήμανση χρησιμοποιώντας το δικό του κεντρικό ρολόι κάθε φορά που καταγράφει ένα νέο δείγμα. Εάν, ωστόσο, οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο υπολογιστών, είναι γενικά αδύνατο να διατηρηθούν όλα τα «φυσικά ρολόγια» των διαφορετικών υπολογιστών στην ίδια συχνότητα [Tanenbaum & Maarten, 2002], επομένως οι χρονικές σημάνσεις θα αποκλίνουν.

Ένας εύκολος τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος υπό το πρίσμα σύνδεσης στο Διαδίκτυο είναι να ενημερώνονται περιοδικά όλα τα ρολόγια χρησιμοποιώντας διακομιστές ώρας, συνήθως σε μορφή UTC η οποία ορίζεται ως ο μέσος ηλιακός χρόνος σε 0° γεωγραφικού μήκους [Jiang, 2011]. Χρησιμοποιώντας αυτήν τη μέθοδο, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ακρίβεια συγχρονισμού της τάξης ενός δευτερολέπτου, υπό την προϋπόθεση ότι ο συγχρονισμός με τους διακομιστές UTC πραγματοποιείται σε τακτική βάση.

Εάν απαιτείται υψηλότερη ακρίβεια συγχρονισμού, ένα παλιό αλλά ταυτόχρονα αξιόλογο πρότυπο είναι το πρωτόκολλο ώρας δικτύου (NTP) [Mills, 2010]. Το NTP είναι τυποποιημένο, σχεδιασμένο για να λειτουργεί σε αναξιόπιστα δίκτυα λανθάνοντος χρόνου με δυνατότητα να συγχρονίσει όλα τα ρολόγια υπολογιστών σε ένα δίκτυο με ακρίβεια που αγγίζει μικρότερη τάξη από αυτή ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου. Παρότι η ανάλυση της λειτουργίας αυτού του πρωτοκόλλου είναι πέραν του σκοπού του παρόντος εγγράφου, αξίζει να τονιστεί ότι βασίζεται σε έναν υπολογιστή-πελάτη που στέλνει μηνύματα και μετρά την απόκλιση του ρολογιού και τον χρόνο επιστροφής στους συνδεδεμένους διακομιστές.

4.5.3 ΠΙΘΑΝΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ

Ακόμα και υπό την υπόθεση ότι διαθέτουμε τέλεια συγχρονισμένα ρολόγια και λαμβάνοντας υπόψιν την απαιτούμενη ακρίβεια συγχρονισμού (π.χ. $<1\text{ms}$), ενδέχεται να υπάρχουν επιπλέον καθυστερήσεις που πρέπει να υπολογίζονται και - όταν είναι δυνατόν - να αντισταθμίζονται. Συγκεκριμένα, οι αισθητήρες που βασίζονται στην τεχνολογία καταγραφής εικόνων (όπως ο ET) διέπονται μια αλληλουχία εσωτερικών λανθανόντων χρόνων από τη στιγμή που συμβαίνει ένα συμβάν (π.χ. κίνηση ματιού) έως τη στιγμή που αυτό το συμβάν αντικατοπτρίζεται στα διαθέσιμα δεδομένα μέσω του API της συσκευής.



Εικόνα 11. Σχηματική απεικόνιση των λανθανόντων χρόνων κατά την διάρκεια λήψης ενός δείγματος από έναν αισθητήρα.

Κοιτάζοντας την Εικόνα 11, υπάρχει ένας πρώτος λανθάνων χρόνος μεταξύ του χρόνου που πραγματικά έλαβε χώρα το συμβάν (T_0) έως τη στιγμή που μια εικόνα αποκτήθηκε και στάλθηκε στην CPU επεξεργασίας (T_1) όπου μπορεί να λάβει μια χρονική επισημείωση. Ο χρόνος αυτός περιλαμβάνει τον χρόνο έκθεσης του αισθητήρα εικόνας στο φως και τον χρόνο μεταφοράς της εικόνας από την κάμερα στην CPU. Συνήθως σχετίζεται με τη συχνότητα δειγματοληψίας της συσκευής (π.χ. σε μια συσκευή ET με συχνότητα δειγματοληψίας 250 Hz, μπορεί να χρειαστούν 4-5 ms για τη λήψη και μεταφορά μιας εικόνας).

Μετά από αυτό, η εικόνα επεξεργάζεται από την CPU. Σε αυτή την περίπτωση ο λανθάνων χρόνος εξαρτάται από μία πληθώρα παραγόντων, όπως η ταχύτητα της CPU, το μέγεθος της εικόνας, η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων επεξεργασίας κ.λπ. Αυτή η εισαγόμενη χρονοκαθυστέρηση είναι συνήθως της τάξης μεγέθους μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου. Τέλος, τα επεξεργασμένα δεδομένα καθίστανται διαθέσιμα μέσω του API (T_2). Σε περίπτωση που γίνεται χρήση ενός ενδιάμεσου λογισμικού συγχρονισμού, όπως το LSL, η χρονική επισημείωση που λαμβάνουν τα δεδομένα θεωρείται ότι αντιστοιχεί στη στιγμή που συνέβη το συμβάν (T_0), αλλά στην πραγματικότητα έχει προστεθεί μία εσωτερική χρονική καθυστέρηση ($T_2 - T_0$), η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι 10ms ή περισσότερο. Ορισμένα συστήματα ET παρέχουν μέσω του API τους για κάθε δείγμα τη χρονική επισημείωση (T_1) που δεικτοδοτεί την λήψη της αντίστοιχης εικόνας. Αυτό, παρότι μειώνει τον λανθάνοντα χρόνο, δεν τον εξαλείφει πλήρως.

Ένα επιπλέον πρόβλημα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν όταν οι χρονικές επισημειώσεις δημιουργούνται από έναν υπολογιστή είναι το jitter (θόρυβος). Ακόμα και αν η διαδικασία απόκτησης σημάτων καθοδηγείται από μια

ισόχρονη γεννήτρια ρολογιού (η οποία είναι επίσης απλώς μια γενίκευση, καθώς γνωρίζουμε ότι όλες οι γεννήτριες ρολογιού θα μετακινηθούν λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών, ιδίως της θερμοκρασίας), η παράδοση και η χρονική σήμανση των δειγμάτων σε έναν υπολογιστή θα επηρεάζεται από μια σειρά γεγονότων μη ντετερμινιστικής φύσης που εξαρτάται από τον φόρτο των πόρων του υπολογιστή, τον διάυλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων στη μνήμη, την ίδια τη μνήμη κ.λπ.

Το αποτέλεσμα είναι να εισάγεται θόρυβος στις χρονικές επισημειώσεις που προστίθενται από τον ίδιο τον υπολογιστή και που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ωστόσο, εάν είναι γνωστό ότι η χρονική επισημείωση των δειγμάτων έγινε από ισόχρονη γεννήτρια τότε η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών σημείων παραμένει μονίμως σταθερή. Στη συνέχεια, είναι δυνατό, σε δεύτερο χρόνο, οι χρονικές επισημειώσεις να διορθωθούν ώστε να μειωθεί το jitter.

Τέλος, οι αισθητήρες που βασίζονται σε τεχνολογία κάμερας και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου διέπονται από περιστασιακή απώλεια δειγμάτων. Κύρια αιτία αποτελεί η προσωρινή έλλειψη διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων, έτσι ώστε ένα πλαίσιο εικόνας να αδυνατεί να παραδοθεί ή να υποβληθεί σε επεξεργασία εγκαίρως (δηλαδή εντός του εκχωρημένου χρονικού διαστήματος που καθορίζεται από το ρυθμό δειγματοληψίας της συσκευής). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αντίστοιχο δείγμα δεδομένων (καρέ-πλαίσιο) να απορρίπτεται προκειμένου να αποτραπούν μελλοντικές χρονικές καθυστερήσεις στα επόμενα δείγματα.

4.5.4 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟ LSL

Το LSL ενσωματώνει δυνατότητα για συγχρονισμό μέσω λογισμικού χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο παρόμοιο με τον αλγόριθμο του NTP. Για κάθε δείγμα που μεταδίδεται μέσω ενός LSL Steam Outlet, είναι δυνατό να καθοριστεί είτε ένας καινούριος τρόπος χρονικής επισημείωσης, εάν ο χρήστης/προγραμματιστής θέλει να χρησιμοποιήσει τα δικά του μέσα συγχρονισμού, είτε να γίνει αυτόματη χρονική επισημείωση μέσω των λειτουργιών του LSL.

Σε περίπτωση εσωτερικών λανθανόντων χρόνων του αισθητήρα, όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, εάν είναι γνωστοί, είναι δυνατό να προσδιοριστούν σε μια κεφαλίδα που είναι προσαρτημένη στο Stream Outlet [LSL, 2020] όπως στο τμήμα κώδικα που ακολουθεί.

```
<desc>
<synchronization>      # information about synchronization requirements
<offset_mean>          # mean offset (seconds). This value should be subtracted
from XDF timestamps before comparing streams. For local LSL generated events,
this value is defined to be zero.
<offset_rms>           # root-mean-square offset (seconds). Note that it is very
rare for offset distributions to be Gaussian.
<offset_median>        # median offset (seconds).
<offset_5_centile>     # 95% of offsets are greater than this value (seconds)
<offset_95_centile>    # 95% of offsets are less than this value (seconds)
<can_drop_samples>     # whether the stream can have dropped samples
(true/false). Typically true for video cameras and video displays and false
otherwise.
</synchronization>
</desc>
```

Πιο συγκεκριμένα, η παράμετρος `offset_mean` αφαιρείται από τη χρονική επισημείωση κάθε δείγματος. Εάν τα δεδομένα καταγράφονται ώστε να επεξεργαστούν σε δεύτερο χρόνο χρησιμοποιώντας την παρεχόμενη μορφή XDF, το LSL προσφέρει ένα ετοιμοπαράδοτο πρόγραμμα ανάγνωσης αρχείων XDF, το οποίο στη συνέχεια αναλαμβάνει τη διόρθωση της απόκλισης ρολογιού, την συμπλήρωση απορριφθέντων δειγμάτων, την αλλαγή της δειγματοληψίας των σημάτων και την διόρθωση του jitter. Εάν ωστόσο τα Streams μεταφέρονται μέσω ενός δικτύου, όπως ενδέχεται να συμβεί στην περίπτωση του NeuroMkt, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι χρονικές

επισημειώσεις ενός συγκεκριμένου Stream παραδίδονται αυτούσιες, δηλαδή χρησιμοποιώντας το ρολόι του υπολογιστή που τις δημιούργησε αρχικά.

Το LSL παρέχει έναν πολύ απλό τρόπο διόρθωσης της απόκλισης ρολογιού μεταξύ του υπολογιστή-αποστολέα και του υπολογιστή που λαμβάνει τα δεδομένα. Υποθέτοντας ότι ο δέκτης των δεδομένων έχει δημιουργήσει ένα αντικείμενο Stream Inlet για ένα συγκεκριμένο Stream δεδομένων αισθητήρα (ας το πούμε eegInlet), η τρέχουσα μετατόπιση χρόνου μεταξύ των ρολογιών του αποστολέα και του υπολογιστή του δέκτη, καθορίζεται αυτόματα από το LSL χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο παρόμοιο με το NTP, και επιστρέφεται απλώς καλώντας τη συνάρτηση:

```
// the time_correction() function returns the current clock offset for a given stream
double eegStreamClockOffset = eegInlet.time_correction();
```

Αρκεί λοιπόν να προστεθεί αυτή η αντιστάθμιση στα ληφθέντα δείγματα χρονικών επισημειώσεων ώστε να συγχρονιστούν με το ρολόι του υπολογιστή του δέκτη, σε ένα μόνο βήμα. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι αντισταθμίσεις ρολογιού δεν παραμένουν σταθερές καθώς τα φυσικά ρολόγια τείνουν να αποκλίνουν με την πάροδο του χρόνου. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να καλείται περιοδικά η συνάρτηση time_correction() για κάθε δείγμα ώστε να διατηρείται ο συγχρονισμός των δεδομένων.

Παρόλο που το προτεινόμενο σύστημα αφορά τη χρήση ενός μόνο υπολογιστή (όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα) και συνεπώς ελαχιστοποιεί την πιθανότητα αποσυγχρονισμένων σημάτων, κρίνεται σημαντικό για την αρχιτεκτονική του συστήματος του NeuroMkt να καλύψει όλους τους διαφορετικούς τύπους διαμόρφωσης του συστήματος ώστε να διασφαλιστεί η επεκτασιμότητά του.

4.6 ΔΙΕΠΑΦΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η αρχιτεκτονική λογισμικού του NeuroMkt αποτελείται από διαφορετικά επίπεδα και οντότητες. Ωστόσο, για να λειτουργούν αρμονικά αυτά τα επίπεδα, είναι σημαντικό να υπάρχει κοινή συνειδητοποίηση των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε οποιοδήποτε από τα διαφορετικά επίπεδα. Για παράδειγμα, το επίπεδο που αφορά το SDK ανάλυσης σημάτων πρέπει να γνωρίζει ότι τα σήματα EEG και ET έχουν καταστεί διαθέσιμα στο σύστημα έτσι ώστε να εκτελέσει τους απαραίτητους αλγορίθμους προκειμένου να εξαχθεί η απαιτούμενη πληροφορία που θα είναι ικανή να παρέχει σημασιολογική ερμηνεία των αποκρίσεων του χρήστη-συμμετέχοντα. Παρέχοντας μια τέτοια πληροφορία, το SDK ανάλυσης σημάτων θα μπορούσε να ξεκινήσει τους αλγορίθμους επεξεργασίας, οι οποίοι συνήθως βρίσκονται σε κατάσταση αδράνειας για εξοικονόμηση υπολογιστικών πόρων. Ομοίως, το επίπεδο εφαρμογής (dashboard) πρέπει να γνωρίζει ότι το SDK βρίσκεται επί του παρόντος σε κατάσταση επεξεργασίας σημάτων ώστε να αναμένει την έξοδο των αντίστοιχων αλγορίθμων προκειμένου να προσαρμόσει τη διεπαφή χρήστη-διαφημιστή και να παρέχει τις απαιτούμενες πληροφορίες με έναν εύκολα αντιληπτό τρόπο.

Τα παραπάνω αποτελούν δύο μόνο παραδείγματα μιας αφηρημένης απαίτησης για επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων που μπορούν να εκφραστούν ως εξής: "Όταν ένα συγκεκριμένο συμβάν λαμβάνει χώρα σε κάποιο από τα επίπεδα, τα υπόλοιπα επίπεδα πρέπει να ενημερώνονται προκειμένου να προσαρμόσουν τη λειτουργικότητά τους ανάλογα". Μένοντας σε ότι αφορά το ενδιάμεσο λογισμικό, σημειώνουμε ότι υπάρχουν δύο τύποι συμβάντων που πρέπει να αντιμετωπιστούν από αυτά τα επίπεδα:

α) Ο πρώτος έχει να κάνει με το γεγονός ότι αυτή τη στιγμή ένα Stream σήματος (EEG, ET ή κάποιο άλλο) εξυπηρετείται από το middleware και μπορεί να αποκτηθεί από τα άλλα επίπεδα της αρχιτεκτονικής. Προκειμένου να κοινοποιηθεί αυτό το γεγονός, το ενδιάμεσο λογισμικό δημιουργεί ένα συμβάν (event) που καταδεικνύει την

ύπαρξη του Stream στο τοπικό δίκτυο ώστε και τα υπόλοιπα επίπεδα να μπορέσουν να αποκτήσουν πρόσβαση στα απαραίτητα δεδομένα.

β) Ο δεύτερος σχετίζεται με την ανάγκη του middleware να γνωρίζει το σημείο έναρξης και λήξης ενός συμβάντος που λαμβάνει χώρα σε ένα άλλο επίπεδο (συνήθως το επίπεδο εφαρμογής – π.χ. το διαφημιστικό μήνυμα προβλήθηκε στον συμμετέχοντα), έτσι ώστε να δεικτοδοτούνται καταλλήλως τα τμήματα των χρονοσειρών που αντιστοιχούν σε αυτό το γεγονός. Για τη λήψη και τη μετάδοση αυτού του είδους των δεικτών, το ενδιάμεσο λογισμικό βασίζεται στη διεπαφή δημιουργίας συμβάντων, τύπου συμβολοσειράς, που είναι σε θέση να μεταφέρει συμβολοσειρές με μεταβλητό ρυθμό δειγματοληψίας (σε αντίθεση με τα Streams σημάτων όπου η δειγματοληψία πρέπει να είναι ομοιόμορφη).

Το LSL, στο οποίο βασίζεται το ενδιάμεσο λογισμικό του NeuroMkt, προσφέρει έτοιμες μεθόδους για την δημιουργία και διαχείριση και των δύο παραπάνω τύπων συμβάντων.

5 SDK ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέρεται στην εισαγωγή, οι απαιτήσεις που έχουν τεθεί ώστε να συντελούν καθοριστικά στην διαμόρφωση του SDK ανάλυσης σημάτων είναι: α) διαφάνεια, όσον αφορά την επικοινωνία με το ενδιάμεσο λογισμικό, β) πλουραλισμός, αναφορικά με την ποικιλία των υποστηριζόμενων μεθόδων και αλγορίθμων, γ) επεκτασιμότητα, όσον αφορά την προσθήκη νέων μεθόδων και διαδικασιών, και δ) ευχρηστία, σχετικά με τη χρήση και επέκταση από μη ειδικούς. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση μερικών από τα πιο πολλά υποσχόμενα πλαίσια ανοιχτού κώδικα για την ανάπτυξη εφαρμογών BCI.

5.1 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Συγκρίνοντας τα ήδη υπάρχοντα λογισμικά, η πρόθεσή μας ήταν να αξιολογήσουμε την καταλληλότητα κάθε λύσης με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 5) συνοψίζει τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης και παρουσιάζεται ως μια ανανεωμένη εκδοχή συγκριτικά με το [Kothe, 2013]. Καθώς η Matlab προκρίθηκε ως η καταλληλότερη επιλογή γλώσσας προγραμματισμού για την ανάπτυξη του NeuroMkt σε πρωταρχικό στάδιο, ο Πίνακας 5 περιέχει πρότυπα που συνάδουν με αυτή την επιλογή.

Πίνακας 5. Σύγκριση έτοιμων εργαλείων που χρησιμοποιούνται ευρέως στις Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή.

Όνομα	Διαφάνεια	Πλουραλισμός Λειτουργιών	Ευχρηστία	Επεκτασιμότητα	Επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο
BioSig [Biosig, 2020]	Δεν υποστηρίζει σύνδεση με συσκευές σε πραγματικό χρόνο	Μεγάλο εύρος λειτουργιών για επεξεργασία χρονοσειρών και στατιστική ανάλυση	Σχετικά δύσχρηστο	Περίπλοκος κώδικας, δεν έχει αρθρωτό χαρακτήρα (MATLAB toolbox)	Ανάλυση μόνο σε δεύτερο χρόνο
MAMEM [Nikolopoulos et al., 2017]	Δεν υποστηρίζει σύνδεση με συσκευές σε πραγματικό χρόνο, υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης με ενδιάμεσο λογισμικό όπως το LSL	Έλλειψη προηγμένων αλγορίθμων ανάλυσης σημάτων και μηχανικής μάθησης	Σχετικά εύχρηστο	Αρθρωτή δομή	Υποστηρίζει συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
BCILAB [SCCN, 2017]	Υποστηρίζει μικρό αριθμό συσκευών (~5), υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης με ενδιάμεσο λογισμικό όπως το LSL	Μεγάλη συλλογή αλγορίθμων επεξεργασίας σημάτων και μηχανικής μάθησης για BCIs	Σχετικά εύκολο στη χρήση (συνοδεύεται από αναλυτική τεκμηρίωση)	MATLAB-based, βασίζεται σε πολύπλοκο framework, χρειάζεται εξειδίκευση για να επεκταθεί	Υποστηρίζει συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

FieldTrip [Oostenveld et al., 2011]	Δεν υποστηρίζει σύνδεση με συσκευές σε πραγματικό χρόνο	Πολύ μεγάλη συλλογή αλγορίθμων για επεξεργασία και απεικόνιση νευροφυσιολογικών δεδομένων	Σχετικά εύκολο στη χρήση (συνοδεύεται από αναλυτική τεκμηρίωση)	MATLAB-based, αρθρωτή δομή λογισμικού, χρειάζεται εξειδίκευση για να επεκταθεί	Ανάλυση μόνο σε δεύτερο χρόνο
BrainStorm [Tadel et al., 2011]	Δεν υποστηρίζει σύνδεση με συσκευές σε πραγματικό χρόνο	Πολύ μεγάλη συλλογή αλγορίθμων για επεξεργασία και απεικόνιση νευροφυσιολογικών δεδομένων	Σχετικά εύκολο στη χρήση (συνοδεύεται από αναλυτική τεκμηρίωση)	Περίπλοκος κώδικας, δεν έχει αρθρωτό χαρακτήρα	Ανάλυση μόνο σε δεύτερο χρόνο
BBCI [Blankertz et al., 2016]	Υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης με ενδιάμεσο λογισμικό όπως το LSL	Μεγάλη συλλογή αλγορίθμων επεξεργασίας σημάτων και μηχανικής μάθησης για BCIs	Σχετικά εύκολο στη χρήση (συνοδεύεται από τεκμηρίωση)	Σχετικά αρθρωτή δομή, χρειάζεται εξειδίκευση για να επεκταθεί	Υπάρχει δυνατότητα για συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Προκειμένου να καταλήξουμε στο καταλληλότερο λογισμικό που θα αποτελέσει τη βάση του SDK Ανάλυσης Σημάτων του NeuroMkt, εξετάσαμε μόνο τις λύσεις που παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 5), καθώς θεωρούνται ως τα πιο ώριμα και καλά διατηρημένα λογισμικά. Παρά το εκτεταμένο σύνολο μεθόδων για στατιστική ανάλυση και επεξεργασία χρονοσειρών, τα BioSig και BrainStorm θεωρήθηκαν ακατάλληλα για τους σκοπούς του NeuroMkt λόγω της έλλειψης διαφάνειας στο κομμάτι επικοινωνίας με το ενδιάμεσο λογισμικό καθώς και την έλλειψη υποστήριξης για ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Από την άλλη πλευρά, η απόφασή μας να μην βασιστούμε την επιλογή του MAMEM οφείλεται κυρίως στην έλλειψη υποστήριξης για προηγμένους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος. Πέρα από τις λύσεις που απορρίφθηκαν παραπάνω, στην επόμενη ενότητα παρουσιάζεται η χρήση των υπολοίπων (BCILAB, BBCI και FieldTrip), στο πλαίσιο του NeuroMkt.

5.2 NEUROMKT TOOLBOX

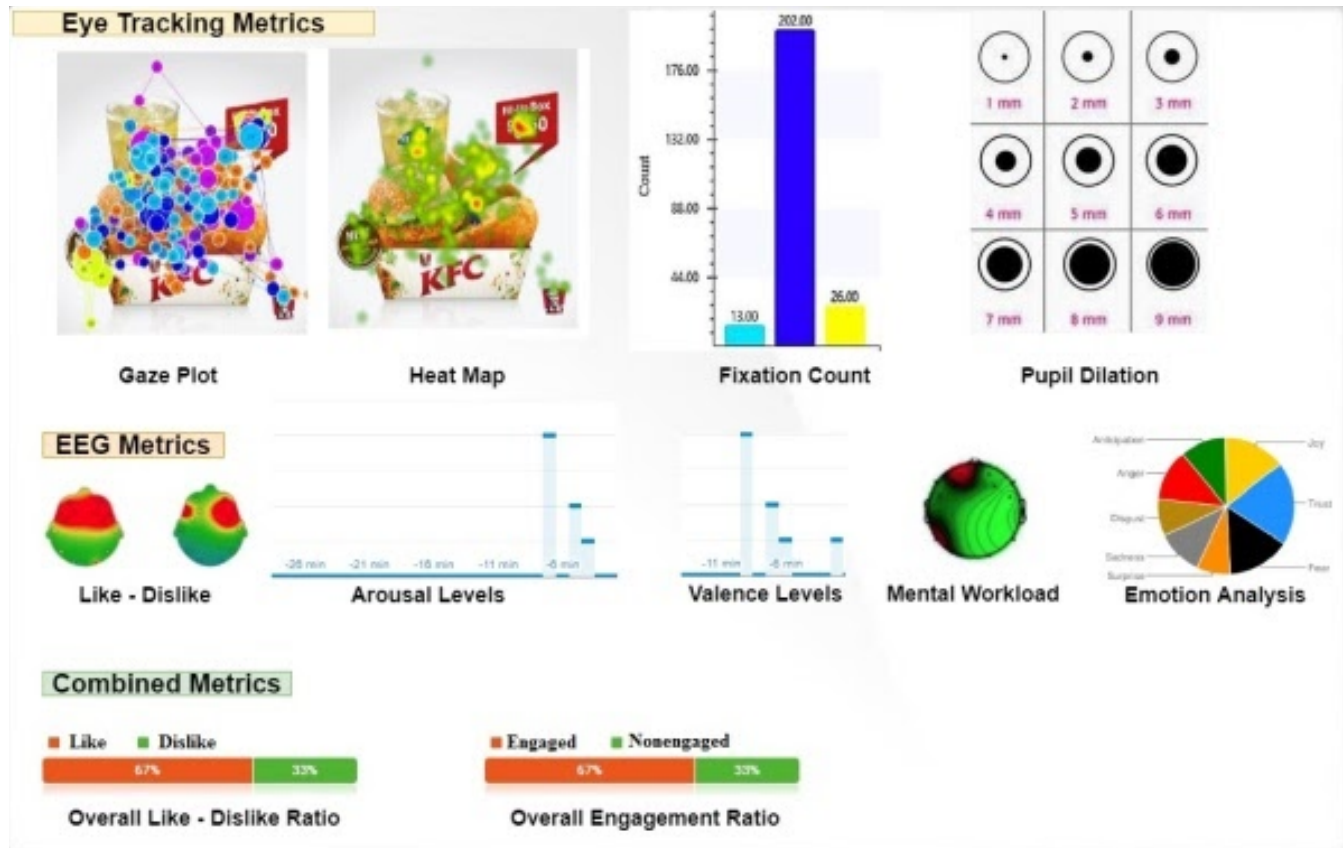
Στην καρδιά του SDK Ανάλυσης Σημάτων βρίσκεται το NeuroMkt Toolbox. Ουσιαστικά πρόκειται για το σύνολο των αλγορίθμων και των μεθόδων που δρουν πάνω στις *φυσιολογικές* αποκρίσεις του χρήστη-συμμετέχοντα, όπως αυτές καταγράφονται από τους αντίστοιχους αισθητήρες, και εξάγουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι σε θέση να υποβοηθήσουν την αξιολόγηση των διαφημιστικών μηνυμάτων. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το SDK Ανάλυσης Σημάτων θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως μέρος του γενικευμένου ενδιάμεσου λογισμικού. Συνεπώς, το LSL παίζει και σε αυτό εδώ το επίπεδο σημαντικό ρόλο ώστε να μπορέσουν τα εξαχθέντα χαρακτηριστικά (π.χ. βιοδείκτες) να μεταδοθούν στα ανώτερα στρώματα με ακριβή χρονική επισημείωση.

Καθώς η αξιολόγηση των διαφημιστικών μηνυμάτων είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία (απαιτείται ένα ευρύ φάσμα εξαχθέντων βιοδεικτών), το NeuroMkt θα εκμεταλλευτεί μια πληθώρα έτοιμων λύσεων προκειμένου να εξυπηρετήσει τους σκοπούς του. Κάθε ένα από τα εργαλεία που προκρίθηκαν (BCILAB, BBCI και FieldTrip) παρέχει – πέρα από τις κοινές λειτουργίες – διαφορετικές λειτουργίες και μεθόδους επεξεργασίας. Συνεπώς, στο πλαίσιο του έργου, η ερευνητική ομάδα θα ενσωματώσει στο NeuroMkt Toolbox όλες εκείνες τις απαραίτητες λειτουργίες που θα εξυπηρετούν τους αντικειμενικούς στόχους της. Η ενσωμάτωση θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μειωθούν οι απαιτούμενες μετατροπές που χρειάζονται ώστε να λειτουργήσουν τα διαφορετικά αυτά εργαλεία

αρμονικά μεταξύ τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο βάρος θα δοθεί στην ανάπτυξη επιπρόσθετων αλγορίθμων εσωτερικά, προκειμένου να εξυπηρετηθούν άμεσα και με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι ανάγκες του έργου (με τρόπο φυσικά ώστε να συνάδουν με τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί).

6 DASHBOARD

Το Dashboard ουσιαστικά αποτελεί την εφαρμογή η οποία απεικονίζει τα βιομετρικά χαρακτηριστικά, όπως αυτά εξήχθησαν από τους αλγορίθμους του SDK Ανάλυσης Σημάτων, στον τελικό χρήστη-διαφημιστή, προκειμένου να τον βοηθήσουν να αξιολογήσει τα διαφημιστικά μηνύματα. Η Εικόνα 12 απεικονίζει μια ενδεικτική μορφή του Dashboard.



Εικόνα 12. Ενδεικτικό παράδειγμα του Dashboard που θα απεικονίζει στοιχεία της ψυχοσυναισθηματικής κατάστασης των χρηστών-συμμετεχόντων στον χρήστη-διαφημιστή.

Κατά την πρωτότυπη εφαρμογή που θα αναπτυχθεί στο πλαίσιο του NeuroMkt, το Dashboard αποτελεί όχι μόνο το τελευταίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής αλλά και το καταληκτικό σημείο των σημάτων και των δεικτών όλων των υπολοίπων επιπέδων. Καθώς ο αντικειμενικός σκοπός, όπως έχει διατυπωθεί στο φυσικό αντικείμενο της πρότασης, αφορά μόνο την αξιολόγηση ενός διαφημιστικού μηνύματος δεν υπάρχει λόγος αμφίδρομης επικοινωνίας του dashboard με τα κατώτερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής. Παρόλα αυτά, το όραμα του NeuroMkt περιλαμβάνει λειτουργίες πέρα από αυτές που έχουν προβλεφθεί, όπως η αυτόματη διαμόρφωση (κάνοντας χρήση των φυσιολογικών αποκρίσεων του χρήστη-συμμετέχοντα ή/και των υποδείξεων του χρήστη-διαφημιστή) του διαφημιστικού μηνύματος προσαρμοσμένο στον εκάστοτε χρήστη-συμμετέχοντα. Συνεπώς, αν και αφορά ένα μακροπρόθεσμο πλάνο που κινείται πέρα από τα όρια και τους αντικειμενικούς σκοπούς της πρότασης, πρέπει να υπάρξει πρόβλεψη στην αρχιτεκτονική για αμφίδρομη επικοινωνία του dashboard με τα προηγούμενα στρώματα ώστε να διασφαλιστεί η μελλοντική προοπτική του έργου.

6.1 ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Η επικοινωνία μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αλλά οι περισσότεροι βασίζονται στο εκάστοτε λειτουργικό σύστημα ή απαιτούν την εκτέλεση των διαφορετικών διεργασιών στον ίδιο υπολογιστή (Πίνακας 6). Σκοπός μας είναι να έχουμε μια ευέλικτη αρχιτεκτονική και για αυτόν τον λόγο προτείνεται η υιοθέτηση των sockets καθώς θέτουν τους λιγότερους δυνατούς περιορισμούς.

Πίνακας 6. Μέθοδοι επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών διεργασιών.

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Επικοινωνία με Αρχεία [Postel & Reynolds, 1985]	<ol style="list-style-type: none">Δεν εξαρτάται από το λειτουργικό σύστημα.Μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του δικτύου.	<ol style="list-style-type: none">Αργό επειδή απαιτούνται εγγραφές σε δίσκο.Απαιτείται η δημιουργία ενός server για διακομιδή αρχείων.
Διαμοιρασμός Μνήμης	Εξαιρετικά γρήγορη μέθοδος.	<ol style="list-style-type: none">Υποστηρίζει μόνο τοπικές εφαρμογές.Οι διαφορετικές εφαρμογές πρέπει να τρέχουν στον ίδιο υπολογιστή.
Σήματα Συστήματος	Εύκολα υλοποιήσιμο.	<ol style="list-style-type: none">Διατίθενται μόνο προκαθορισμένοι τύποι μηνυμάτων.Υποστηρίζει μόνο τοπικές εφαρμογές
Sockets [Rai, 2013]	<ol style="list-style-type: none">Δεν εξαρτάται από το λειτουργικό σύστημα.Μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του δικτύου.Υποστηρίζονται από πληθώρα γλωσσών προγραμματισμού.	Εισάγει μία μικρή χρονική καθυστέρηση.

Τα μηνύματα που θα μεταδοθούν για αυτό το σκοπό θα συμμορφώνονται με ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων κοινό για όλους τους πελάτες (clients) που ανήκουν στην αρχιτεκτονική. Θα είναι μια συμβολοσειρά με μορφή JSON, η οποία μπορεί να αναλυθεί για τη λήψη των δεδομένων. Όταν ένας πελάτης συνδέεται με το διακομιστή, ένα αναγνωριστικό εκχωρείται αυτόματα σε αυτόν. Ο διακομιστής θα διατηρήσει μια λίστα με όλα τα συνδεδεμένα αναγνωριστικά πελάτη και θα τη μεταδίδει κατόπιν αιτήσεως όταν ένας πελάτης τη ζητήσει. Κάθε φορά που ένας πελάτης θέλει να στείλει ένα μήνυμα σε άλλο πελάτη, θα πρέπει να πάρει τη λίστα των συνδεδεμένων πελατών από το διακομιστή.

7 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Σε αυτό το έγγραφο περιγράψαμε την προτεινόμενη αρχιτεκτονική του NeuroMkt, προσδιορίζοντας όλα τα διαφορετικά στοιχεία που εμπλέκονται, από τις συσκευές αισθητήρων και το ενδιάμεσο λογισμικό, μέχρι το SDK ανάλυσης σημάτων και την επικοινωνία με την εφαρμογή τελικού χρήστη (dashboard). Τα λογικά στοιχεία που συνθέτουν την αρχιτεκτονική του NeuroMkt είναι τα *Layers*, τα *Modules* και τα *Interfaces*. Τα επίπεδα χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν τα μέρη του συστήματος που εξυπηρετούν διαφορετικό σκοπό. Τα modules χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις βασικές λειτουργίες που εκτελούνται σε κάθε επίπεδο και τα interfaces χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τον τρόπο ροής των πληροφοριών από το ένα στρώμα στο άλλο.

Το πρώτο layer είναι το layer αισθητήρων που εξυπηρετεί το ρόλο της καταγραφής του σήματος από τις συσκευές αισθητήρων για να το ωθήσει στην αρχιτεκτονική μας. Εκτός από το υλικό μέρος (EEG recorder, Eye-tracker και άλλα), μεταξύ των modules του layer αυτού ταξινομούμε επίσης τα προγράμματα οδήγησης (ένα για κάθε συσκευή υλικού) που είναι απαραίτητα για τη διάθεση των παραγόμενων σημάτων για το middleware του NeuroMkt. Αυτά τα προγράμματα οδήγησης έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας το SDK κάθε συσκευής έτσι ώστε να παρέχουν τα σήματα σε μια δομή και μορφή κατάλληλη για το middleware του NeuroMkt.

Το δεύτερο επίπεδο είναι το middleware. Ο ρόλος αυτού του επιπέδου είναι να λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ των συσκευών αισθητήρων και της υπόλοιπης αρχιτεκτονικής του NeuroMkt. Με άλλα λόγια, εφ' όσον μια νέα συσκευή αισθητήρα πληροί τις προδιαγραφές εισόδου του ενδιάμεσου λογισμικού, το υπόλοιπο σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί απρόσκοπτα. Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική, το λογισμικό LabStreamingLayer έχει επιλεγεί για να χρησιμεύσει ως ενδιάμεσο λογισμικό NeuroMkt. Το middleware αποτελείται από τρία modules (μονάδες): α) την Απόκτηση Σήματος, β) την Χρονική Επισημείωση και γ) τον Συγχρονισμό. Η Απόκτηση Σήματος είναι η μονάδα που είναι υπεύθυνη για τη λήψη σημάτων από το επίπεδο αισθητήρων. Ο ρόλος της Χρονικής Επισημείωσης είναι η προσθήκη χρονικών δεικτοδοτήσεων στα ληφθέντα σήματα. Τέλος, το πιο σημαντικό module του middleware είναι το module συγχρονισμού που φροντίζει για το συγχρονισμό των (αρχικά αποσυγχρονισμένων) σημάτων με βάση τις χρονικές τους δεικτοδοτήσεις. Ως αποτέλεσμα, τα σήματα μπορούν να προωθηθούν περαιτέρω στην αρχιτεκτονική του NeuroMkt σε συγχρονισμένη λειτουργία.

Το τρίτο επίπεδο στην αρχιτεκτονική μας είναι το SDK Ανάλυσης Σημάτων. Ο ρόλος αυτού του επιπέδου είναι τριπλός: α) επικοινωνεί με διαφάνεια με το middleware, έτσι ώστε να λαμβάνει τα συγχρονισμένα σήματα, β) εφαρμόζει μια εκτενή λίστα διαδικασιών και μεθόδων για τη μετάφραση των φυσιολογικών αποκρίσεων σε κατάλληλους βιοδείκτες, και γ) επικοινωνεί αυτούς τους βιοδείκτες στο dashboard.

Το τελευταίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής του NeuroMkt είναι το Dashboard το οποίο απεικονίζει με ένα εύληπτο τρόπο όλους εκείνους τους βιοδείκτες που είναι ικανοί να υποβοηθήσουν τους χρήστες-διαφημιστές στην αξιολόγηση των διαφημιστικών μηνυμάτων. Σημειώνεται ότι, αν και στην παρούσα φάση του έργου δεν κρίνεται αναγκαίο, έχει υπάρξει πρόβλεψη για αμφίδρομη επικοινωνία του Dashboard με όλα τα υπόλοιπα επίπεδα της εφαρμογής μέσω sockets.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΡΘΡΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ:

- Dimigen, O., Sommer, W., Hohlfeld, A., Jacobs, A. M., & Kliegl, R. (2011). Coregistration of eye movements and EEG in natural reading: analyses and review. *Journal of experimental psychology: General*, 140(4), 552.
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J. M. (2011). FieldTrip: open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011.
- Blankertz, B., Acqualagna, L., Dähne, S., Haufe, S., Schultze-Kraft, M., Sturm, I., ... & Müller, K. R. (2016). The Berlin brain-computer interface: progress beyond communication and control. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 530.
- Nikolopoulos, S., Petrantonakis, P. C., Georgiadis, K., Kalaganis, F., Liaros, G., Lazarou, I., ... & Kumar, C. (2017). A multimodal dataset for authoring and editing multimedia content: The MAMEM project. *Data in brief*, 15, 1048-1056.
- Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: a user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011.
- Tanenbaum, A. S., & Van Steen, M. (2007). *Distributed systems: principles and paradigms*. Prentice-Hall.
- Mills, D. L. (2017). *Computer network time synchronization: the network time protocol on earth and in space*. CRC press.
- Jiang, Z., & Lewandowski, W. (2011). Use of GLONASS for UTC time transfer. *Metrologia*, 49(1), 57.
- Van Drongelen, W. (2018). *Signal processing for neuroscientists*. Academic press.
- Towle, V. L., Bolaños, J., Suarez, D., Tan, K., Grzeszczuk, R., Levin, D. N., ... & Spire, J. P. (1993). The spatial location of EEG electrodes: locating the best-fitting sphere relative to cortical anatomy. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 86(1), 1-6.
- Lesser, R. P. (1986). Guideline seven: a proposal for standard montages to be used in clinical EEG. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 3(3 SUPPL. 1), 26-33.
- Hansen, D. W., & Ji, Q. (2009). In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(3), 478-500.
- Gneo, M., Schmid, M., Conforto, S., & D'Alessio, T. (2012). A free geometry model-independent neural eye-gaze tracking system. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1), 82.
- Hansen, D. W., & Ji, Q. (2009). In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(3), 478-500.
- Sigut, J., & Sidha, S. A. (2010). Iris center corneal reflection method for gaze tracking using visible light. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(2), 411-419.
- Rai, R. (2013). *Socket. IO Real-time Web Application Development*. Packt Publishing Ltd.
- Postel, J., & Reynolds, J. K. (1985). RFC0959: File Transfer Protocol.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ ΚΑΙ ΛΟΙΠΑ ΈΓΓΡΑΦΑ:

Prietz, P. (2020), *Pupil, the open-source eye-tracking platform*, GitHub, <https://github.com/pupil-labs/pupil-helpers>, Last visited on 10-12-2020.

TobiiPro. (2020), *Tobii Pro Matlab/Octave SDK*, Tobii, <http://developer.tobii.com/matlab.html> , Last visited on 10-12-2020.

WearableSensing. (2020), *Wearable Sensing DSI-24 DSI-streamer import for Matlab*, WearableSensing, <https://wearablesensing.com/support/downloadables/>, Last visited on 10-12-2020.

SCCN (2020), *Lab Streaming Layer*, GitHub, <https://github.com/sccn/labstreaminglayer/>, Last visited on 11-12-2020.

BVA - Brain Vision Analyzer (2020). *Brain Vision professional Analyzer*, Brain Products GmbH, <https://www.brainproducts.com/productdetails.php?id=17>, Last visited on 15-12-2020.

BioPac (2020), *BioPac Acqknowledge Software*, BioPac, <http://www.biopac.com/product/acqknowledge-software/>, Last visited on 15-12-2020.

VRPN (2020), *Virtual Reality Peripheral Network - Official Repo*, GitHub, <https://github.com/vrpn/vrpn/wiki>, Last visited on 15-12-2020.

qImaging (2014), *Rolling Shutter vs Global Shutter*, qImaging, <https://www.tecnicaenlaboratorios.com/Qimaging/brochures/RollingvsGlobalShutter.pdf>, Last visited on 17-12-2020.

Kothe, C. A. (2013), *Available Tools for Brain Computer Interfaces*, SCCN, University of California San Diego, https://www.youtube.com/watch?v=rpA7uGa5nDM&index=7&list=PLbbCsk7MUIGcO_IzMbyymWU2UezVHNaMq, Last visited on 18-12-2020.

BioSig (2020), *The BioSig Project*, SourceForge, <http://biosig.sourceforge.net/>, Last visited on 21-12-2020.

SCCN (2017), *MATLAB Toolbox for Brain-Computer Interface Research*, GitHub, <https://github.com/sccn/BCILAB>, Last visited on 21-12-2020.

LSL (2020), *Lab Streaming Layer's Documentation*, LSL, <https://labstreaminglayer.readthedocs.io/>, Last visited on 21-12-2020.