



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών

Ανάπτυξη Διεπαφής Εγκεφάλου - Υπολογιστή με την
χρήση Steady State Evoked Potentials (SSVEP)

Διπλωματική Εργασία

του

Χριστόδουλου Θ. Μπενετάτου

Επιβλέπων: Ανδρέας Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2018



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών

Ανάπτυξη Διεπαφής Εγκεφάλου - Υπολογιστή με την χρήση Steady State Evoked Potentials (SSVEP)

του

Χριστόδουλου Θ. Μπενετάτου

Επιβλέπων: Ανδρέας Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 15 Ιουνίου 2018.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Ανδρέας Σταφυλοπάτης
Καθηγητής
Ε.Μ.Π

.....
Γιώργος Στάμου
Αναπληρωτής
Καθηγητής
Ε.Μ.Π

.....
Κωνσταντίνα Νικήτα
Καθηγήτρια
Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2018

(Υπογραφή)

.....
Χριστόδουλου Θ. Μπενετάτου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2018– All rights reserved



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών

Copyright © Χριστόδουλου Θ. Μπενετάτου, 2018.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Περίληψη

Ο βασικός στόχος-κίνητρο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή αλγορίθμου δραστηριότητας από βίντεο σύνθετων ανθρώπινων δράσεων. Η πορεία μας εκκινεί από την παρουσίαση μιας γενικής και αφηρημένης μεθοδολογίας σχεδίασης ενός συστήματος που συνδυάζει πολυτροπική πληροφορία σε ένα ενιαίο σύστημα αναγνώρισης και κατάτμησης δράσεων σε βίντεο. Στη συνέχεια, προβαίνουμε στην υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος εστιάζοντας σε δράσεις λεπτομέρειας και πειραματιζόμενοι με την εξαγωγή και τον συνδυασμό χαρακτηριστικών πολλών καναλιών πληροφορίας, από οπτική (Πυκνές Τροχιές) μέχρι ακουστική (πληροφορίες υποτίτλων) και σημασιολογική (σχέσεις αντικειμένων-δράσεων και δράσεων-τύπων λαβής (grasping types)), με την τελευταία να εξάγεται και μέσω ανάλυσης κειμένου. Εξάγουμε χαρακτηριστικά από ανάλυση με τη μέθοδο Πυκνών Τροχιών, από ανίχνευση αντικειμένων, τόσο οπτικά, μέσα σε μια δυναμική περιοχή ενδιαφέροντος που παρακολουθούμε με χρήση ανιχνευτή ανθρώπων και προσκηνίου, όσο και μέσω υποτίτλων και από την εξαγωγή τύπων λαβής με χρήση ενός εύρωστου ανιχνευτή χεριών και συνελκτικών χαρακτηριστικών με χρήση ResNet. Εκτελούμε σειρά πειραμάτων σχετικά με την κωδικοποίηση και τις μεθόδους ταξινόμησης αυτών των χαρακτηριστικών και καταλήγουμε στο ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι το σχήμα Tf-Idf (ολικής συχνότητας - αντίστροφης συχνότητας κειμένου) ή και η απλή σώρρευση χαρακτηριστικών μπορούν να αντικαταστήσουν τον χ^2 μετασχηματισμό πυρήνων κατά τη σύμμετρη καναλιών διαφορετικής πληροφορίας αυξάνοντας ελαφρά την ακρίβεια αλλά σημαντικά την επίδοση από άποψη ταχύτητας όταν συνδυαστεί με μια γραμμική Μηχανή Διανυσμάτων Στήριξης (SVM). Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει στο σχήμα αυτό να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά από αλγορίθμους κατάτμησης βίντεο. Η προσέγγισή μας στο ζήτημα της κατάτμησης είναι η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους SVM με χρήση πιθανοτήτων και ενός νέου αλγορίθμου δυναμικού προγραμματισμού που είναι αμερόληπτος ως προς το μέγεθος των τελικών τμημάτων. Τελικά, από το αποτέλεσμα της κατάτμησης εξάγουμε τον αλγόριθμο της δραστηριότητας κρατώντας τη χρήσιμη πληροφορία. Το σχήμα που χρησιμοποιούμε μας δίνει επιπλέον την πληροφορία αλληλεπίδρασης με τα αντικείμενα στον τελικό αλγόριθμο.

Λέξεις-Κλειδιά

Αναγνώριση Δράσεων, Κατάτμηση Βίντεο, Πολυτροπική Πληροφορία, Σχήμα Tf-Idf

Abstract

The objective of the current Thesis is the extraction of an algorithm describing a complex human activity performed in an observed video. We start by presenting a generic and abstract methodology for designing a joint video action segmentation and classification system, combining multiple modalities. We further present our implementation of such a system, focusing on fine-grained activities and experimenting on efficiently extracting and combining multiple information channels, from Low-Level Visual information (Dense Trajectories) to sound (subtitles) and semantics (action-object relations and grasping type-action relations), with the last category being supported by text analysis. We extract features using Dense Trajectories, object detection and recognition, both visually, searching inside a dynamic region of interest constructed using a combination of human and foreground detection, and via subtitles and lastly using grasping type information. The last type of information is obtained by applying a robust hand detector and then classifying the hand regions using ResNet deep convolutional features. We perform a sequence of experiments regarding feature encoding and classification and reach to an interesting result, that we are able to replace the χ^2 kernel fusion with Tf-Idf encodings or even feature concatenation, slightly increasing classification metrics but especially increase the speed of the classification progress, when a linear SVM is also used. This fact allows this schema to be efficiently used by video segmentation algorithms. Our approach when it comes to video segmentation is minimizing an SVM loss function using probabilities and a novel dynamic programming algorithm, invariant to final segments' length. Our method also returns object handling information in the total extracted algorithm.

Keywords

Action Segmentation, Video Segmentation, Multiple Modalities, Tf-Idf Encoding

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Πέτρο Μαραγκό, ο οποίος με ενέπνευσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της Όρασης Υπολογιστών.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω να δώσω στην οικογένειά μου για τη στήριξή τους τόσο κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας όσο και σε όλα τα στάδια της ζωής μου.

Ακόμα, πρέπει να ευχαριστήσω τα μέλη και συνεργάτες του εργαστηρίου CVSP Αθανασία Ζλατίντση, Πέτρο Κούτρα, Βασίλη Πιτσικάλη και Ισίδωρο Ροδομαγουλάκη για τη συνεισφορά τους στην περαίωση της εργασίας και τα σχόλιά τους πάνω στο κείμενο και τα πειράματα.

Τέλος, ευχαριστώ τους συναδέλφους Γαρούφη Χ., Λεμονίδη Β., Μπουρίτσα Γ., Νικολουδάκη Ε., Πίσσα Θ. και Χάντφιλντ Τ., με τους οποίους εκπονούσαμε παράλληλα τις διπλωματικές μας εργασίες και είχαμε την ευκαιρία να συζητήσουμε συχνά πολλά ενδιαφέροντα ζητήματα σχετικά με τις εργασίες μας.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	x
Κατάλογος Εικόνων	xiii
Κατάλογος Πινάκων	xv
1 Εισαγωγή	1
1.1 Σημασία Μελέτης Εγκεφάλου και Βιοηλεκτρικών Σημάτων	1
1.2 Σκοπός και Συνεισφορά της Διπλωματικής Εργασίας	2
1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας	2
2 Ηλεκτροεγκεφαλογραφία	5
2.1 Βιοηλεκτρικά Σήματα και Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	5
2.2 Εγκεφαλογράφος	6
2.2.1 Ηλεκτρόδια	6
2.2.2 Ενίσχυση και Επεξεργασία Σημάτων	7
2.2.3 Μονάδα Αποθήκευσης και Απεικόνισης Σημάτων	8
2.3 Σύστημα 10-20	8
Βιβλιογραφία	11

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Τοποθεσίες ηλεκτροδίων με βάση το σύστημα 10-20. Εικόνα από [4]. .	8
2.2	Επέκταση συστήματος 10-20 . Εικόνα από [4].	9

Κατάλογος πινάκων

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Σημασία Μελέτης Εγκεφάλου και Βιοηλεκτρικών Σημάτων

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος, είναι ίσως η πιο περίπλοκη δομή που είναι γνωστή στον άνθρωπο. Περίπου 86 δισεκατομμύρια νευρώνες [2] αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους δημιουργώντας τρισεκατομμύρια συνάψεις. Οι γνωσιακές επιστήμες συνδυάζοντας γνώση από τους τομείς της ψυχολογίας της νευρολογίας καθώς και με την βοήθεια υπολογιστικών μεθόδων, προσπαθούν να προσεγγίσουν την περίπλοκη λειτουργία του εγκεφάλου. Ένας τρόπος να εξερευνηθούν οι λειτουργίες του εγκεφάλου αλληλεπίδραση του εγκεφάλου με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω της δημιουργίας συσκευών οι οποίες ανιχνεύουν την εγκεφαλική δραστηριότητα και την μεταφράζουν σε μηνύματα ή εντολές. Μέσω αυτών των συσκευών, δίνεται η δυνατότητα να ληφθούν συμπεράσματα για την λειτουργία συγκεκριμένων περιοχών του εγκεφάλου, χωρίς απαραίτητα να γνωρίζουμε λεπτομέρειες όσον αφορά τους νευρώνες και το πως αλληλεπιδρούν. Αυτές οι συσκευές ονομάζονται Διεπαφές Εγκεφάλου Υπολογιστή (Brain Computer Interfaces - BCI) και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση στις ερευνητικές ομάδες που κάνουν δημοσιεύσεις σε αυτόν τον τομέα. Εκτός όμως από την χρήση τους για την ερμηνεία της εγκεφαλικής δραστηριότητας, σημαντική είναι η συνεισφορά τους σε άτομα με αναπηρίες, όπου τους προσφέρει μια δίοδο επικοινωνίας με το περιβάλλον, που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί. Τα παραδείγματα είναι πάρα πολλά, μέσω των BCIs, άτομα με αναπηρία είναι ικανά να μετακινήσουν προσθετικά μέλη [], να χρησιμοποιήσουν μηχανές συλλαβισμού, να πλοηγηθούν στο Internet [], ή να κατευθύνουν την αναπηρική τους καρέκλα []. [1]

Παρόλαυτα, το πλήθος των ανθρώπων που κάνουν χρήση τέτοιων διεπαφών είναι ελάχιστο, και αυτό επειδή ακόμα η έρευνα σε αυτόν τον τομέα παραμένει μέσα στα εργαστήρια. Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι που συμβαίνει αυτό. Αρχικά η χρήση τέτοιων διεπαφών σε μη ελεγχόμενα περιβάλλοντα, εισάγει εμπόδια στην διαδικασία, όπως ανεπιθύμητες παρεμβολές στα σήματα και λάθη των χρηστών κατά τη διάρκεια της χρήσης. Κατά δεύτερον, οι εγκεφαλογράφοι που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και επιτυγχάνουν state-of-the-art επιδόσεις, προορίζονται για ιατρικές εφαρμογές, και το κόστος τους είναι υπέρογκο για να αποκτηθούν ατομικά από έναν χρήστη. Κρίνεται συνεπώς απαραίτητη, αρχικά η κατασκευή οικονομικότερων εγκεφαλογράφων, που

στοχεύουν σε χρήστες εκτός των εργαστηρίων, και κατά δεύτερον, η ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων που θα καταστήσουν την επίδοση αυτών των εγκεφαλογράφων συγκρίσιμη με ακριβότερα μοντέλα.

1.2 Σκοπός και Συνεισφορά της Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση μιας διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή βασιζόμενη σε μια κατηγορία οπτικών προκλητών δυναμικών που ονομάζονται Steady State Visual Evoked Potentials. Σε αντίθεση όμως με την πλειοψηφία της έρευνας σε αυτόν τον τομέα, όπου γίνεται χρήση ακριβών εγκεφαλογράφων κατασκευασμένων για ιατρική χρήση, σε αυτή την εργασία γίνεται χρήση ενός low-budget εγκεφαλογράφου, πράγμα που αποτελεί και την βασική πρόκληση της εργασίας. Η όλη πειραματική διαδικασία, το hardware για την δημιουργία των οπτικών ερεθισμάτων, η γραφική διεπαφή για την παρακολούθηση των εγκεφαλικών σημάτων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και ένα σύνολο συναρτήσεων για την επεξεργασία των εγκεφαλικών σημάτων στην προγραμματιστική γλώσσα Python, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν εξολοκλήρου στα πλαίσια της εργασίας. Επιπλέον, δημιουργήσαμε ένα dataset με όλες τις καταγραφές εγκεφαλογραφήματος που έλαβαν μέρος κατά την διάρκεια της εργασίας, ταξινομημένες ανά άτομο, έτσι ώστε όλα αυτά μαζί να αποτελέσουν εφαλτήριο για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Όσον αφορά τους αλγορίθμους που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή πληροφορίας από τα εγκεφαλικά σήματα, δοκιμάστηκαν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην βιβλιογραφία, και είδαμε πως στην offline επεξεργασία των σημάτων, η απόδοση του συστήματος συγκρίνεται με τις state-of-the-art επιδόσεις για low-budget εγκεφαλογράφους, έχοντας όμως πολλά περιθώρια μέχρι να συγκριθεί με τις επιδόσεις πιο ακριβών. Τέλος **ΠΕΣ ΤΙ ΘΑ ΚΑΝΕΙΣ ΜΕ ΤΟ REAL TIME**

1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Η εργασία ακολουθεί την εξής πορεία:

- Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από την εγκεφαλογραφία, τις διεπαφές εγκεφάλου - υπολογιστή, καθώς και τα πιο γνωστά εγκεφαλικά σήματα.
- Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια ανασκόπηση των υπολογιστικών μεθόδων που για την προεπεξεργασία των σημάτων, την εξαγωγή των χαρακτηριστικών, καθώς και στις μεθόδους μηχανικής μάθησης που θα χρησιμοποιηθούν
- Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή της διεπαφής που υλοποιήθηκε. Αρχικά γίνεται μια αναλυτική περιγραφή του εγκεφαλογράφου Emotiv Eroc που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και του υλικού που κατασκευάστηκε για την δημιουργία των οπτικών ερεθισμάτων.
- Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία της καταγραφής των δεδομένων και της offline ανάλυσης τους, οπότε έγινε πειραματισμός με διάφορες μεθόδους

- Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η συνολική διεπαφή πραγματικού χρόνου **ΠΕΣ ΚΑΙ ΤΙ ΑΛΛΟ**
- Στο κεφάλαιο 7 κλείνουμε αυτή την εργασία αξιολογώντας τα αποτελέσματα και προτείνοντας μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.

Κεφάλαιο 2

Ηλεκτροεγκεφαλογραφία

2.1 Βιοηλεκτρικά Σήματα και Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Τα βιοηλεκτρικά σήματα είναι το αποτέλεσμα των ηλεκτροχημικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα εντός και μεταξύ των κυττάρων των νεύρων καθώς και των μυών. Πιο συγκεκριμένα, εάν ένα τέτοιο κύτταρο δεχθεί ερέθισμα ισχυρότερο από ένα κατώφλι συνήθως μεταξύ -55mV και -50mV , τότε θα παράγει ένα δυναμικό δράσης το οποίο θα μεταδοθεί και θα διεγείρει γειτονικά κύτταρα. Αυτή η ομαδική δραστηριότητα των κυττάρων παράγει ηλεκτρικά πεδία ικανά να ανιχνευτούν με την βοήθεια ηλεκτροδίων τα οποία τοποθετούνται στην επιφάνεια του αντίστοιχου οργάνου, είτε στην δερματική επιφάνεια πάνω αυτό το όργανο. Όταν το ζωτικό αυτό όργανο είναι ο εγκέφαλος τότε το βιοηλεκτρικό σήμα ονομάζεται Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ – EEG) και η πρώτη καταγραφή ΗΕΓ, έγινε το 1924 από τον Γερμανό ψυχίατρο Hans Berger.

Η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία, είναι η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας, πριν την εμφάνιση μεθόδων όπως η μαγνητική τομογραφία (MRI) και τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET). Παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως το ότι είναι πολύ οικονομικά προσιτή μέθοδος, συγκρινόμενη με τις άλλες που αναφέρθηκαν, και το γεγονός πως έχει πολύ χρονική ανάλυση (temporal resolution), καθώς ενώ οι μεταβολές δυναμικού του εγκεφάλου συμβαίνουν σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα, οι εγκεφαλογράφοι πλέον κάνουν δειγματοληψία του σήματος με συχνότητες έως και 2048Hz , διατηρώντας σχεδόν όλη την πληροφορία του σήματος. Ωστόσο, όσον αφορά την χωρική ανάλυση (spatial resolution), ισχύει κάτι αντίστοιχο. Τα ηλεκτρικά σήματα από την στιγμή που ξεκινάνε από την πηγή τους, μέχρι να καταλήξουν στα ηλεκτρόδια, διασκορπίζονται κατά την διέλευση τους από το κρανίο. Συνεπώς το σήμα που ανιχνεύεται από ένα ηλεκτρόδιο σε μια συγκεκριμένη περιοχή δεν προέρχεται μόνο από το σημείο του εγκεφάλου που καλύπτει, αλλά και από τα γειτονικά. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί κάνοντας χρήση περισσότερων ηλεκτροδίων, και χρήσης τεχνικών χωρικού φιλτραρίσματος, για την λύση του αντίστροφου προβλήματος, δηλαδή την εύρεση του πραγματικού ηλεκτρικού σήματος που ξεκίνησε από κάθε περιοχή του εγκεφάλου. Ένας άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρόδια που εισχωρούν σε μεγαλύτερο βάθος, πλησιάζοντας την πηγή του σήματος, πριν αυτό αλλοιωθεί

από το κρανίο, προσφέροντας πολύ καλύτερη χωρική ανάλυση. Το εγκεφαλογράφημα που κάνει χρήση τέτοιου τύπου ηλεκτρόδια, ονομάζεται επεμβατικό (invasive EEG).

2.2 Εγκεφαλογράφος

Η συσκευή που χρησιμοποιείται για την καταγραφή του εγκεφαλογραφήματος, ονομάζεται εγκεφαλογράφος, και είναι μια πολύπλοκη συσκευή με διάφορα υποσυστήματα. Από τις αρχές του 20ου αιώνα που δημιουργήθηκε ο πρώτος εγκεφαλογράφος, μέχρι σήμερα, έχουν υπάρξει δραματικές αλλαγές στον τρόπο υλοποίησης τους, με ποιο σημαντική την εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας στην αλυσίδα επεξεργασίας του σήματος. Τα υποσυστήματα που παραθέτονται στην συνέχεια, περιέχονται σε όλους τους σύγχρονους εγκεφαλογράφους, χωρίς να σημαίνει πως δεν υπάρχουν παραλλαγές και επιπλέον υποσυστήματα σε άλλους.

2.2.1 Ηλεκτρόδια

Τα ηλεκτρόδια στην πραγματικότητα, είναι μετατροπείς, οι οποίοι ανιχνεύουν την κατανομή των ιόντων στην επιφάνεια των ιστών που καλύπτουν, μετατρέποντας το ιοντικό ρεύμα σε ρεύμα ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόδια χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα 'υγρά' (wet) και τα 'στεγνά' (dry) και καθένα από αυτά μπορεί να είναι είτε μιας χρήσης, είτε επαναχρησιμοποιούμενο.

- Υγρά (Wet) Ηλεκτρόδια

Σε αυτόν τον τύπο, χρησιμοποιείται αγωγίμο υγρό μεταξύ του δέρματος και του ηλεκτροδίου προκειμένου να επιτευχθεί αντίσταση επαφής περίπου $5k \Omega$, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί καλή ποιότητα σήματος ΗΕΓ με υψηλό λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR). Ο συχνότερος τύπος 'υγρών' ηλεκτροδίων είναι τα αργύρου-χλωριούχου αργύρου (Ag - AgCL), τα οποία αποτελούνται από ένα δίσκο, από καθαρό άργυρο 99.9%, επικαλυμμένα από ένα λεπτό στρώμα χλωριούχου αργύρου. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα λόγω του χαμηλού κόστους τους, της ευκολίας στην χρήση τους, καθώς και το ότι δεν είναι τοξικά. σε μορφή δισκίων η κυπέλλων (βαλε εικονα).

Ένα άλλο είδος υγρών ηλεκτροδίων, χρησιμοποιούνται στον εγκεφαλογράφο Ερος που κατασκευάζεται από την εταιρεία Emotiv, και αποτελούνται από ένα χάλκινο ηλεκτρόδιο, επικαλυμμένο από μια λεπτή στρώση χρυσού. Η επαφή με το δέρμα γίνεται μέσω ενός κυλινδρικού σφουγγαριού (felt pad), το οποίο διαποτίζεται σε αλατούχο διάλυμα (saline) για την ελάττωση της αντίστασης επαφής.

Παρότι η επίδοση των υγρών ηλεκτροδίων είναι πολύ ικανοποιητική, και χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για τις νέες τεχνολογίες ηλεκτροδίων που εμφανίζονται, μια σειρά απο μειονεκτήματα, εμποδίζει την χρήση τους σε περιβάλλοντα εκτός εργαστηρίου. Το πρώτο και βασικότερο είναι η δυσκολία που έχουν στην εφαρμογή τους και η άβολη αίσθηση που έχουν κατά την χρήση τους λόγω του υγρού στοιχείου. Συνήθως, απαιτείται ειδικός καθαρισμός του σημείου επαφής πριν την χρήση, για την επίτευξη καλύτερου σήματος, αλλά και μετά το πέρας της διαδικασίας, για να καθαριστεί το δέρμα από τα υπολείμματα

του αγώγιμου υγρού. Επιπλέον, η επίτευξη της επιθυμητής αντίστασης που αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά. Τέλος, λόγω της πτητικότητας του αγώγιμου υγρού, υπάρχει ένα μικρό περιθώριο λίγων ωρών, πριν να ξαναχρειαστεί να το ανανεώσουμε.

- Στεγνά (Dry) Ηλεκτρόδια

Τα προηγούμενα μειονεκτήματα έρχεται να τα καλύψει μια νέα τεχνολογία ηλεκτροδίων που δεν χρησιμοποιούν κάποιο αγώγιμο υγρό, αλλά εκμεταλλεύονται τις εξελίξεις στον τομέα τεχνολογίας υλικών και των μικρο-συστημάτων (MEMS), προσπαθούν να επιτύχουν ποιότητα σήματος συγκρίσιμη με αυτή των υγρών ηλεκτροδίων. Λόγω της έλειψης αγώγιμου υγρού, η αντίσταση επαφής μεταξύ των ηλεκτροδίων και του δέρματος είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα υγρά ηλεκτρόδια, συνεπώς περιέχουν και έναν χαμηλής ενέργειας ενισχυτή οργανολογίας (instrumental amplifier) με πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου, προκειμένου να υπάρχει όσο το δυνατόν μικρότερη απώλεια σήματος, και γι αυτό το λόγο αναφέρονται και στην βιβλιογραφία και ως ενεργά στεγνά ηλεκτρόδια (active dry electrodes). Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες τέτοιων ηλεκτροδίων ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους και τον τρόπο επαφής τους με το δέρμα. Τα ακιδωτά ηλεκτρόδια αποτελούνται από μια συστοιχία ακίδων που είτε έρχεται σε επαφή με το δέρμα, είτε το τρυπάει για ελάχιστα μικρόμετρα, προκειμένου να διαπεράσει την εξωτερική του στρώση (stratum corneum), η οποία και ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό της αντίστασης επαφής μεταξύ δέρματος και ηλεκτροδίου [3]. Στη δημοσίευση [5] χρησιμοποίησαν πυκνωτικά ηλεκτρόδια που δεν έρχονται σε επαφή με το δέρμα, προκειμένου να αποφύγουν αλλοίωση του σήματος με τα μαλλιά, αυξάνοντας όμως δραματικά την αντίσταση μεταξύ δέρματος και ηλεκτροδίου. Παρότι η έρευνα προς αυτή του είδους τα ηλεκτρόδια φαίνεται ελπιδοφόρα και ικανή να αντιμετωπίσει τα προβλήματα των υγρών ηλεκτροδίων, στην πλειοψηφία των δημοσιεύσεων είτε δεν αναφέρονται λεπτομέρειες σχετικά με την κατασκευή τους, είτε δεν γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις επιδόσεις των υγρών ηλεκτροδίων, συνεπώς υπάρχει ακόμα δρόμος προς αυτήν την κατεύθυνση [3].

2.2.2 Ενίσχυση και Επεξεργασία Σημάτων

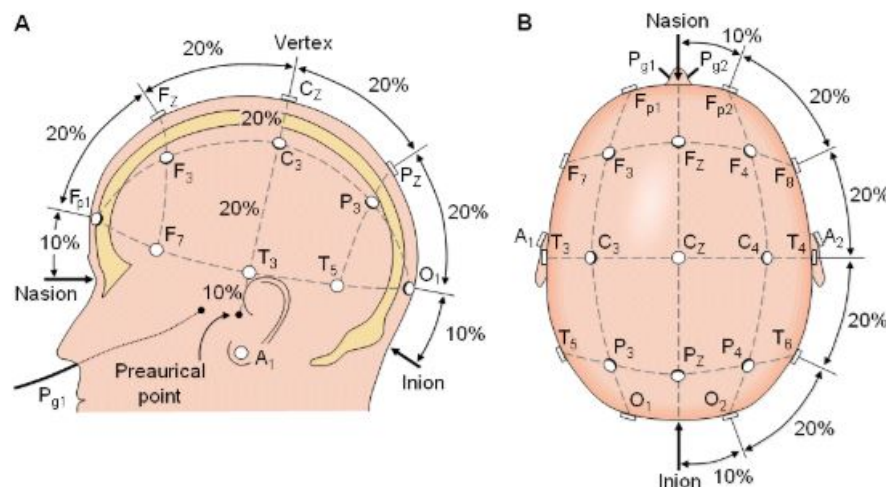
Τα σήματα που λαμβάνονται από τα ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του δέρματος κυμαίνονται μεταξύ 10V και 100V, και πρέπει να ενισχυθούν σημαντικά προκειμένου να γίνει η επεξεργασία τους στα επόμενα στάδια. Το στάδιο της ενίσχυσης περιλαμβάνει αρχικά έναν διαφορικό ενισχυτή με υψηλή απόρριψη κοινού σήματος, και στη συνέχεια δύο ή τρία ξεχωριστά στάδια ενίσχυσής με μεγάλο κέρδος. Επειδή τα σήματα αυτά περιέχουν πολύ θόρυβο σε συχνότητες κοντά στα 0Hz (DC συνιστώσα), καθώς και στα 50Hz ή 60Hz, λόγω των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών από ρεύματα τροφοδοσίας στον χώρο. Συνεπώς το σήμα πρέπει να περάσει από διάφορα στάδια υπερπαρατού και βαθυπαρατού φιλτραρίσματος. Τέλος προκειμένου να σταλθούν τα σήματα στο επόμενο στάδιο της αποθήκευσης και απεικόνισης, γίνεται η χρήση ενός Digital to Analog Converter (DAC). Εδώ φαίνεται και μια από τις χρησιμότητες της ενίσχυσης, καθώς τα DAC δεν μπορούν να λειτουργήσουν με σήματα εισόδου της τάξης των Volt. Τέλος μετά την ψηφιοποίηση του σήματος χρησιμοποιούνται οπτικοί απομονωτές (optical isolator) για λόγους ασφαλείας, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να διαρέψει ρεύμα από τα επόμενα στάδια (π.χ υπολογιστής), προς τον χρήστη του εγκεφαλογράφου.

2.2.3 Μονάδα Αποθήκευσης και Απεικόνισης Σημάτων

Αυτό το στάδιο αποτελείται από μια υπολογιστική μονάδα η οποία αποθηκεύει τα σήματα, και χρησιμοποιεί λογισμικό για την απεικόνιση των σημάτων. Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα χρήσης επιπλέον τεχνικών επεξεργασίας σε αυτό το στάδιο, όπως χρήση ψηφιακών φίλτρων, κατάτμηση του σήματος σε σημεία ενδιαφέροντος κ.α .

2.3 Σύστημα 10-20

Το σύστημα 10-20 χρησιμοποιείται διεθνώς για να περιγράψει και να ορίσει την θέση των ηλεκτροδίων στο κεφάλι. Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος είναι απαραίτητη, προκειμένου να υπάρχει ένα κοινό σημείο αναφοράς μεταξύ των ερευνητών για την αναπαραγωγή και σύγκριση των διαφόρων μεθοδολογιών στην εγκεφαλογραφία. Οι αριθμοί '10' και '20' είναι ποσοστά και συμβολίζουν το 10% και 20% της απόστασης μεταξύ των δύο αυτιών, τα οποία με την σειρά τους ορίζουν την απόσταση από ένα αυτί προς το πλησιέστερο σε αυτό ηλεκτρόδιο και την απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών ηλεκτροδίων αντίστοιχα.



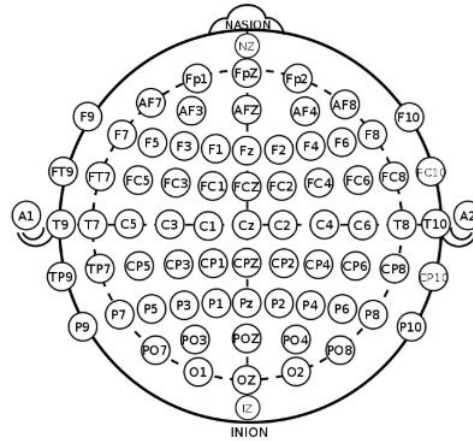
Σχήμα 2.1: Τοποθεσίες ηλεκτροδίων με βάση το σύστημα 10-20.
Εικόνα από [4].

Ανάλογα με την εγκεφαλική περιοχή που καλύπτουν τα ηλεκτρόδια, παίρνουν και το όνομά τους που αποτελείται από ένα γράμμα (η συνδυασμό γραμμάτων) και έναν ζυγό αριθμό για το δεξί ημισφαίριο και περιττό για το αριστερό ημισφαίριο. Η βασική διάταξη που αποτελείται από 19 ηλεκτρόδια, είναι η εξής :

- Προμετωπιαίος φλοιός (Pre-Frontal cortex) : Fp1, Fp2
- Μετωπιαίος λοβός (Frontal lobe) : F3, F4, F7, F8, Fz
- Κροταφικός λοβός (Temporal lobe) : T3, T4, T5, T6
- Βρεγματικός λοβός (Parietal lobe) : P3, P4, Pz

- Ινιακός λοβός (Occipital lobe) : O1, O2
- Κεντρική περιοχή (Central) : C3, C4, Cz

Ο δείκτης z, προσδιορίζει τα ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται πάνω στην διαχωριστική γραμμή μεταξύ των δύο ημισφαιρίων. Το παραπάνω σύστημα μπορεί να επεκταθεί έτσι ώστε να καλύψει καταστάσεις στις οποίες απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτροδίων, ορίζοντας νέες εγκεφαλικές περιοχές μεταξύ αυτών που αναφέρθηκαν, ή και διαφορετικές σχετικές αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων.



Σχήμα 2.2: Επέκταση συστήματος 10-20 .
Εικόνα από [4].

Βιβλιογραφία

- [1] L A Farwell και E Donchin. “Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials”. en. Στο: *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 70.6 (Δεκ. 1988), σσ. 510–523.
- [2] Suzana Herculano-Houzel. “The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain”. Στο: *Frontiers in Human Neuroscience* (2009). ISSN: 16625161. DOI: [10.3389/neuro.09.031.2009](https://doi.org/10.3389/neuro.09.031.2009).
- [3] Miguel Angel Lopez-Gordo, Daniel Sanchez-Morillo και F Pelayo Valle. “Dry EEG electrodes”. Στο: *Sensors* 14.7 (2014), σσ. 12847–12870.
- [4] Jaakko Malmivuo και Robert Plonsey. *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*. 2012. ISBN: 9780199847839. DOI: [10.1093/acprof:oso/9780195058239.001.0001](https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195058239.001.0001). arXiv: [0402594v3](https://arxiv.org/abs/0402594v3) [cond-mat].
- [5] Thomas J Sullivan, Stephen R Deiss και Gert Cauwenberghs. “A low-noise, non-contact EEG/ECG sensor”. Στο: *Biomedical Circuits and Systems Conference, 2007. BIOCAS 2007. IEEE*. IEEE. 2007, σσ. 154–157.

