



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

*Χρήση Γενετικών Αλγορίθμων για στάθμιση
πειραματικών δεδομένων
Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από μετρήσεις υπό την
επίδραση σήματος Wi Fi*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεοδώρα - Χρυσοβαλάντω Π. Σκούρου

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

*Χρήση Γενετικών Αλγορίθμων για στάθμιση
πειραματικών δεδομένων
Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από μετρήσεις υπό
την επίδραση σήματος Wi Fi*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεοδώρα - Χρυσοβαλάντω Π. Σκούρου

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φ. Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Copyright © - All rights reserved Θεοδώρα - Χρυσοβαλάντω Π. Σκούρου.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

(Υπογραφή)

.....

Θεοδώρα - Χρυσοβαλάντω Π. Σκούρου

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

© 2012 – All rights reserved

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη στάθμιση των αρχικών παρατηρήσεων που προέρχονται από μετρήσεις ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, με κατάλληλα βάρη, ώστε να γίνει έλεγχος αν η κατανομή τους προσεγγίζει την Κανονική. Συγκεκριμένα, οι παρατηρήσεις προέκυψαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε υγιή άτομα παρουσία ή απουσία ακτινοβολίας από Wi Fi με τη δοκιμασία ερωτο-απαντήσεων Hayling. Η στάθμιση των ερωτήσεων με βάρη είναι ένα πρώτο βήμα επεξεργασίας στη διαδικασία αποθορυβοποίησης, που σκοπό έχει να βελτιώσει το αποτέλεσμα του μέσου όρου των ερωτήσεων. Πιο αναλυτικά, μέσω Γενετικού Αλγόριθμου, υπολογίστηκαν βάρη για κάθε μία από τις τιμές των ερωτήσεων από επιλεγμένες χρονικές στιγμές σήματος και πολλαπλασιάστηκαν στις αρχικές τιμές δίνοντας ένα νέο σήμα, το σταθμισμένο. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας αναλύθηκαν στατιστικά και προέκυψαν τα σχετικά συμπεράσματα. Σε όλες τις περιπτώσεις, διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος που ακολουθήθηκε είχε άριστα αποτελέσματα σε ένα παράθυρο $\pm 5ms$ γύρω από την χρονική στιγμή εξαγωγής των βαρών, όπου η κατανομή των σταθμισμένων δεδομένων προσέγγιζε ικανοποιητικά την Κανονική.

Αρχικά, παρουσιάζεται η δομή των νευρικών κυττάρων δίνοντας έμφαση στη δημιουργία και μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων. Περιγράφεται η λειτουργία του εγκεφαλογράφου και ο τρόπος καταγραφής του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Επίσης, αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά του εγκεφαλικού σήματος, όπως οι φασματικές συνιστώσες (ρυθμοί) καθώς και οι βασικές κορυφώσεις των προκλητών δυναμικών σε σχέση με το χρόνο.

Στη συνέχεια, δίνονται κάποια γενικά στοιχεία της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και παρουσιάζονται τα ασύρματα τοπικά δίκτυα 802.11 (Wi Fi). Αναπτύσσονται τα κύρια στοιχεία της αρχιτεκτονικής τους, οι τοπολογίες στις οποίες εμφανίζονται και τα κυριότερα πρότυπα βάσει των οποίων λειτουργεί το Wi Fi.

Έπειτα, περιγράφονται αναλυτικά οι Γενετικοί Αλγόριθμοι. Αναπτύσσεται η δομή τους και τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτών που τους καθιστούν κατάλληλους στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων. Επιπλέον, αναλύονται τα είδη των στατιστικών μέτρων και παρουσιάζεται η Κανονική Κατανομή καθώς και το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα που θέλει τις ανεξάρτητες παρατηρήσεις να ακολουθούν κατά προσέγγιση την Κανονική Κατανομή.

Ακόμα, γίνεται περιγραφή των πειραματικών διατάξεων που εγκαταστάθηκαν σε κλωβό Faraday για την καταγραφή των εγκεφαλικών ηλεκτρικών σημάτων χωρίς και με την παρουσία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Παρουσιάζεται επίσης η νευροψυχολογική δοκιμασία Hayling στην οποία υποβλήθηκαν οι συμμετέχοντες στο πείραμα.

Όσον αφορά στην επεξεργασία των δεδομένων, παρατίθεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται συνοπτικά μέσω γραφημάτων τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της

παρούσας διπλωματικής όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου.

Λέξεις κλειδιά

Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), Προκλητά δυναμικά, Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, Ασύρματο τοπικό δίκτυο – Wi Fi, Γενετικός Αλγόριθμος, Κανονική Κατανομή, Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, Δοκιμασία συμπλήρωσης προτάσεων Hayling.

Abstract

This thesis aims to balance the initial observations taken from an electroencephalogram with appropriate weights, in order to determine whether the distribution is close to the Normal distribution. To be more precise, the observations were derived with the Hayling Sentence Completion Test from healthy subjects, who either received or not Wi Fi radiation. First step in the denoising process is the weighting of questions, which aims to improve the outcome of the average of the questions. More specifically, with the use of Genetic Algorithm, weights were calculated for each of the values of the questions from selected time instances of the signals and were then multiplied to the initial values, giving a new, weighted signal. After the processing of the experimental data, the results were statistically analyzed and led to the presented results. In all cases, it was found that the method followed had excellent results in a ± 5 ms window around the export time of the weights, where the distribution of weighted data satisfactorily approached the Normal distribution.

More specifically, basic features concerning the structure of the nerve cells, with emphasis on the creation and the transmission of the electrical signals, are initially presented. The function of the electroencephalogram (EEG) and how to record EEG signals are also described, followed by the main characteristics of the brain signals, such as the spectral components (brain rhythms) and the event related potentials waveforms.

Some general aspects of electromagnetic theory and the wireless local area networks 802.11 (Wi Fi) are then presented. The main elements of their architecture, their topologies and the basic standards of the Wi Fi system function are also explicated.

In addition, the Genetic Algorithms are described in detail. Their structure is developed as well as their major advantages which make them suitable for solving difficult problems. Furthermore, the types of the statistical measurements are analyzed and the Normal Distribution and the Central Limit Theorem are presented.

A short description follows of the experimental devices that were installed in a Faraday cage so as to record brain signals with and without the presence of electromagnetic radiation. And of course, the Hayling neuropsychological test the participants were submitted to is described.

Finally, the complete process of gathering and analyzing the brain electrical signals and the results are fully presented using mostly graphs. These are then followed by the resulting conclusions.

Key words

Central Nervous System (CNS), Event Related Potentials (ERPs), Electroencephalogram (EEG), Electromagnetic radiation, Wireless Local Area Network – Wi Fi, Genetic Algorithm, Normal Distribution, Central Limit Theorem, Hayling Sentence Completion Test.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Χ. Καψάλη, υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, για την ανάθεση αυτής και τη δυνατότητα που μου δόθηκε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και την Αργυρώ Μαγκανιώτη, επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας και υποψήφια διδάκτορα, για τη σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θεοδώρα - Χρυσοβαλάντω Π. Σκούρου

Νοέμβριος 2012

Περιεχόμενα

• Περίληψη	7
• Abstract	9
• Ευχαριστίες	11
• Περιεχόμενα	13
• Κατάλογος Σχημάτων	17
• Κατάλογος Πινάκων	21
• Εισαγωγή	23
• Κεφάλαιο 1: Στοιχεία Εγκεφαλικής Νευροφυσιολογίας	27
1.1 Εισαγωγή	28
1.2 Νευρικό Σύστημα	28
1.2.1 Ανατομία του ανθρώπινου εγκεφάλου	29
1.2.2 Νευρικά κύτταρα	31
1.3 Δυναμικά της Μembrάνης	34
1.3.1 Δυναμικό ισορροπίας	36
1.3.2 Δυναμικό ηρεμίας	36
1.3.3 Βαθμωτά δυναμικά και δυναμικά δράσης	38
1.4 Λειτουργία του Ηλεκτροεγκεφαλογράφου	40
1.5 Ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα (EEG σήμα)	42
1.6 Βιοματικά δυναμικά (Event Related Potentials - ERPs)	44
1.6.1 Διάκριση προκλητών δυναμικών	44
1.6.2 Μέθοδοι απομόνωσης των προκλητών δυναμικών από το συνολικό EEG σήμα	46
1.6.3 Στοιχεία των προκλητών δυναμικών	48

• Κεφάλαιο 2: Η/Μ ακτινοβολία & Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wi Fi)	51
2.1 Εισαγωγή	52
2.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κύματα	52
2.2.1 Διάκριση και μηχανισμοί διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	54
2.2.2 Ζώνες συχνοτήτων	56
2.3 Wi Fi: Ασύρματα Δίκτυα 802.11	56
2.3.1 Η Αρχιτεκτονική του ασύρματου δικτύου 802.11	57
2.3.2 Πρότυπα IEEE για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα	60
• Κεφάλαιο 3: Θεωρία Γενετικών Αλγορίθμων & Στατιστικής	65
3.1 Εισαγωγή	66
3.2 Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	66
3.2.1 Δομή των Γενετικών Αλγορίθμων	67
3.2.2 Κύρια χαρακτηριστικά ενός Γενετικού Αλγορίθμου	68
3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης.....	69
3.4 Δυσκολίες στην εφαρμογή των Γενετικών Αλγορίθμων.	71
3.5 Θεωρία Στατιστικής	72
3.5.1 Στατιστικά μέτρα.....	73
3.5.2 Η Κανονική Κατανομή	78
3.5.3 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα	80
• Κεφάλαιο 4: Πειραματική Διαδικασία	83
4.1 Εισαγωγή	84
4.2 Πειραματική διαδικασία.....	84
4.2.1 Πειραματική διάταξη και διαδικασία μέτρησης	84
4.2.2 Συμμετέχοντες.....	86
4.3 Δοκιμασία Hayling.....	86
• Κεφάλαιο 5: Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων & αποτελέσματα	89
5.1 Εισαγωγή	90
5.2 Οργάνωση των μετρήσεων σε αρχεία	90
5.3 Επεξεργασία των δεδομένων.....	90
5.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	93
5.4.1 Διαγράμματα κύρτωσης	93
5.4.2 Διαγράμματα ασυμμετρίας.....	99

• Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	105
6.1 Εισαγωγή.....	106
6.2 Συμπεράσματα - Σχόλια.....	106
• Βιβλιογραφία	109

Κατάλογος Σχημάτων

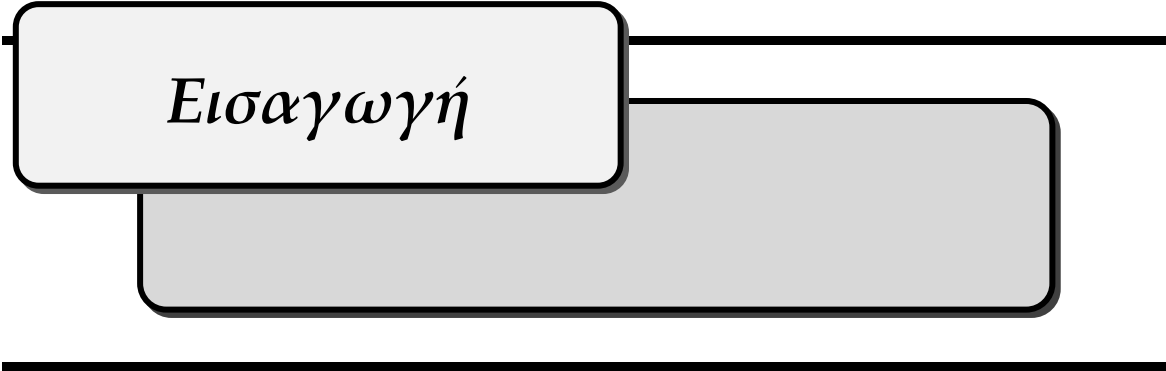
1.1	Το Νευρικό Σύστημα.....	29
1.2	Οι λοβοί του εγκεφάλου.....	30
1.3	Οι κυριότερες περιοχές του εγκεφάλου.....	31
1.4	Τυπική δομή ενός νευρώνα.....	32
1.5	Σύναψη μεταξύ νευρώνων.....	33
1.6	Προσυναπτικοί και μετασυναπτικοί νευρώνες.....	34
1.7	Κυτταρική μεμβράνη.....	35
1.8	Δυναμικό δράσης.....	39
1.9	Τυποποιημένες απαγωγές στην επιφάνεια του κεφαλιού σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20. C κεντρική, F μετωπιαία, Fp πρόσθια μετωπιαία, O ινιακή, P βρεγματική, T κροταφική περιοχή και Z μέση γραμμή. A1, A2 ηλεκτρόδια αναφοράς...42	
1.10	Οι κυματομορφές των ρυθμών.....	43
1.11	Οπτικά ακουστικά προκλητά δυναμικά.....	45
1.12	Ακουστικά προκλητά δυναμικά του κοχλίου. Κύματα I-II-III-IV-V. Οι πηγές των προκλητών δυναμικών είναι: 1. Τα τριχωτά κύτταρα του κοχλίου, 2. Το κοχλιακό νεύρο, 3. Ο κοχλιακός πυρήνας, 4. Ο έξω λημνίσκος, 5. Το κάτω διδύμιο, 6. Το έσω γονατώδες σώμα, 7. Ο πρωτογενής ακουστικός φλοιός.....	45
1.13	Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά βραχέος λανθάνοντος χρόνου όπως καταγράφηκαν από τη διέγερση (St) του μέσου νεύρου στον καρπό.....	46
1.14	Σχηματική αναπαράσταση του πλάτους, του χρονικού σημείου κορύφωσης και του εμβαδού ενός συστατικού του ERP.....	48
1.15	Φυσιολογικά ακουστικά προκλητά δυναμικά όπου διακρίνονται οι κορυφώσεις I, II, III, IV, V, VI.....	49
1.16	Καταγραφή Προκλητών δυναμικών όπου διακρίνονται οι κορυφώσεις P ₅₀ , N ₁₀₀ , N ₂₀₀ , P ₂₀₀ , P ₃₀₀ , N ₄₀₀ και P ₆₀₀	50
2.1	Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα.....	53
2.2	Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	53
2.3	Κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	55
2.4	Βασική αρχιτεκτονική και δομικές μονάδες τοπικού ασύρματου δικτύου.....	58
2.5	Δομημένη τοπολογία τοπικού ασύρματου δικτύου.....	58

2.6	Τυχαία διάταξη τοπικού ασύρματου δικτύου (Ad Hoc δίκτυο).	59
2.7	Μεικτή αρχιτεκτονική ασύρματων τοπικών δικτύων.	59
2.8	Το μοντέλο OSI.	60
3.1	Λεπτόκυρτη, μεσόκυρτη και πλατύκυρτη κατανομή.	78
3.2	Κανονική Κατανομή.	79
3.3	Γραφική απεικόνιση τεσσάρων πληθυσμών.	81
3.4	Κανονική προσέγγιση κατανομών για $n = 4$ και $n = 25$.	81
4.1	Πειραματική διάταξη.	85
5.1	Male 3-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 10.	93
5.2	Male 2-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 24.	94
5.3	Female 1-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 22.	94
5.4	Female 3-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 27.	94
5.5	Male 3-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 2.	95
5.6	Male 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 1.	95
5.7	Male 4-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 16.	95
5.8	Female 2-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 22.	96
5.9	Female 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 30.	96
5.10	Male 1-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 15.	96
5.11	Male 3-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 14.	97
5.12	Female 3-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 9.	97
5.13	Male 1-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα ± 5 msec γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 6.	97
5.14	Female 5-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα ± 5 msec γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 4.	98

5.15 Male 2-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 14.....	98
5.16 Female 3-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 23.....	98
5.17 Male 2-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 24.....	99
5.18 Female 5-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 2.....	99
5.19 Male 1-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 14.....	99
5.20 Male 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 1.....	100
5.21 Male 4-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 16.....	100
5.22 Female 2-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 22.....	100
5.23 Female 3-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 25.....	101
5.24 Female 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 30.....	101
5.25 Male 5-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 4.....	101
5.26 Male 3-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 14.....	102
5.27 Female 2-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 18.....	102
5.28 Male 1-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 21.....	102
5.29 Female 4-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 30.....	103
5.30 Male 4-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 26.....	103
5.31 Female 2-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 18.....	103

Κατάλογος Πινάκων

1.1	Ρυθμοί EEG.	42
2.1	Ζώνες Συχνοτήτων.....	56
2.2	Πρότυπα WLAN της ομάδας IEEE 802.11.	64



Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η αλματώδης ανάπτυξη και η ευρεία χρήση των ασύρματων δικτύων έχει αυξήσει την ανησυχία σχετικά με τις πιθανές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας στον ανθρώπινο οργανισμό και κυρίως στον εγκέφαλο. Για τη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών χρήσιμη πηγή πληροφορίας αποτελεί το εγκεφαλογράφημα, δηλαδή η καταγραφή του εγκεφαλικού σήματος τόσο όταν ο εξεταζόμενος βρίσκεται εν ηρεμία όσο και όταν υποβάλλεται σε ειδικές δοκιμασίες.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, θα πραγματοποιηθεί στάθμιση με κατάλληλα βάρη των εγκεφαλικών σημάτων, που ελήφθησαν παρουσία και μη H/M ακτινοβολίας εκπεμπόμενη από Wi Fi σύστημα, με σκοπό να ελεγχθεί αν η κατανομή τους ακολουθεί την Κανονική. Στηριζόμενοι στο Κεντρικό Οριακό Θεώρημα της θεωρίας Πιθανοτήτων, το οποίο συνδέει την κανονική κατανομή με οποιαδήποτε άλλη κατανομή, υπολογίστηκαν βάρη για κάθε μια τιμή των ερωτήσεων από επιλεγμένες χρονικές στιγμές σήματος, κάνοντας χρήση Γενετικού Αλγορίθμου. Έπειτα, οι αρχικές τιμές μετατράπηκαν σε σταθμισμένες μέσω του πολλαπλασιασμού τους με τα βάρη που προέκυψαν. Έτσι, αφού έγινε η κατάλληλη επεξεργασία τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά και προέκυψαν τα σχετικά συμπεράσματα. Η πορεία της διπλωματικής εργασίας περιγράφεται αναλυτικά στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Στο Κεφάλαιο 1 εξετάζονται ορισμένα γενικά στοιχεία νευροφυσιολογίας. Περιγράφεται αναλυτικά το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα και κυρίως η δομή των νευρικών κυττάρων δίνοντας έμφαση στη δημιουργία και μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων. Αναπτύσσεται ο τρόπος δημιουργίας των δυναμικών στην επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης, αναλύονται τα είδη των δυναμικών και οι μηχανισμοί μετάδοσης μιας αρχικής διέγερσης διαμέσου των νευρικών κυττάρων. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η λειτουργία του εγκεφαλογράφου και ο τρόπος καταγραφής του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος (EEG σήμα). Αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού, όπως οι φασματικές συνιστώσες (ρυθμοί) καθώς και οι βασικές κορυφώσεις των προκλητών δυναμικών σε σχέση με το χρόνο. Επιπλέον, περιγράφονται οι τεχνικές αποθρομβοποίησης των EEG σημάτων με σκοπό την απομόνωση των προκλητών δυναμικών από το συνοδό θόρυβο.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά σε στοιχεία της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και συγκεκριμένα στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αναπτύσσονται οι κατηγορίες ταξινόμησης των H/M κυμάτων και οι μηχανισμοί διάδοσης αυτών. Έπειτα, παρουσιάζονται τα ασύρματα τοπικά δίκτυα 802.11 (Wi Fi). Περιγράφονται τα κύρια στοιχεία της αρχιτεκτονικής τους καθώς και οι τοπολογίες στις οποίες εμφανίζονται. Επίσης, αναλύονται τα κυριότερα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11 βάσει των οποίων λειτουργεί το Wi Fi.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Γ.Α.). Αναπτύσσεται η δομή τους και τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών που τους διαφοροποιούν από τις παραδοσιακές μεθόδους βελτιστοποίησης. Επιπλέον, αναλύονται τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα χρήσης των Γ.Α. που τους καθιστούν κατάλληλους στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων καθώς και οι δυσκολίες που ανακύπτουν και θα μπορούσαν να αναστείλουν την εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας. Στη συνέχεια, γίνεται μια αναφορά στη Θεωρία της Στατιστικής. Αναλύονται τα είδη των στατιστικών μέτρων με εστίαση στους συντελεστές ασυμμετρίας και κύρτωσης του Pearson. Έπειτα, παρουσιάζεται η Κανονική Κατανομή και εξηγείται το σπουδαιότερο θεώρημα της θεωρίας Πιθανοτήτων, το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα.

Στο Κεφάλαιο 4 εξηγούνται τα στάδια υλοποίησης των πειραματικών διατάξεων που εγκαταστάθηκαν σε κλωβό Faraday για την καταγραφή των εγκεφαλικών ηλεκτρικών σημάτων χωρίς και με την παρουσία Η/Μ ακτινοβολίας εκπεμπόμενη από Wi Fi σύστημα. Παρουσιάζεται επίσης η νευροψυχολογική δοκιμασία Hayling στην οποία υποβλήθηκαν δέκα άτομα (πέντε γυναίκες και πέντε άντρες) και διεξήχθη βάσει των πειραματικών διατάξεων που υλοποιήθηκαν.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την στάθμιση των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος που ελήφθη κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας Hayling. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων. Σημειώνεται ότι για την επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν το πρόγραμμα προσομοίωσης Matlab και το πρόγραμμα επεξεργασίας λογιστικών φύλλων Microsoft®Excel 2007.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής τα οποία προέκυψαν από την επεξεργασία των ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου και παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5. Σε όλες τις περιπτώσεις, διαπιστώθηκε ότι με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε η κατανομή των σταθμισμένων δεδομένων προσέγγιζε ικανοποιητικά την Κανονική σε ένα παράθυρο $\pm 5\text{ms}$ γύρω από τη χρονική στιγμή εξαγωγής των βαρών.

Κεφάλαιο 1^ο

Στοιχεία

Εγκεφαλικής Νευροφυσιολογίας

1.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία της εγκεφαλικής νευροφυσιολογίας. Αρχικά, δίνεται μια συνοπτική περιγραφή της ανατομίας του εγκεφάλου, ενώ αναλύεται εκτενέστερα η δομή των νευρικών κυττάρων εστιάζοντας στη δημιουργία και τη μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων. Έπειτα, περιγράφεται ο τρόπος δημιουργίας των δυναμικών στην επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης αναλύοντας τα είδη των δυναμικών αυτών, καθώς και τους μηχανισμούς διάδοσης μιας αρχικής διέγερσης κατά μήκος των μεμβρανών των νευρικών κυττάρων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου και ο τρόπος καταγραφής του εγκεφαλικού σήματος. Επίσης, αναπτύσσονται τα κύρια χαρακτηριστικά του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος όπως οι φασματικές συχνότητες συγκεκριμένων κυματομορφών (ρυθμοί) καθώς και οι κύριες κορυφώσεις (συστατικά) των προκλητών δυναμικών τα οποία αποτελούν σημαντικό σταθμό στην διερεύνηση της βιοηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Τέλος, εξηγούνται οι τεχνικές αποθορυβοποίησης των σημάτων, που καταγράφονται από τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο, για την απομόνωση των προκλητών δυναμικών από ανεπιθύμητες συνιστώσες (θόρυβος).

1.2 Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα σε συνδυασμό με το σύστημα ενδοκρινών αδένων ελέγχει και ρυθμίζει τις λειτουργίες όλων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος καθώς και την μεταξύ τους αρμονική συνεργασία. Αποτελείται από δυο κατηγορίες εξειδικευμένων κυττάρων, τα νευρικά κύτταρα και τα νευρογλοιακά κύτταρα. Κύρια λειτουργία των νευρικών κυττάρων είναι να υποδέχονται αισθητικά ερεθίσματα και να τα μεταφέρουν στα εκτελεστικά όργανα, δηλαδή τους μυς και τους αδένες, ενώ τα νευρογλοιακά κύτταρα, που υπερτερούν των νευρικών σε αναλογία πέντε προς ένα, αποτελούν τον συνδετικό ιστό του νευρικού συστήματος [KSJ04, FGM09].

Το ανθρώπινο νευρικό σύστημα (Σχήμα 1.1), για περιγραφικούς λόγους, χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη:

- Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), που αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό.
- Το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ), το οποίο αποτελείται από τα εγκεφαλικά και τα νωτιαία νεύρα με τα νευρικά γάγγλια τους.

Στο ΚΝΣ, ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός είναι τα κύρια κέντρα όπου γίνεται η διαπλοκή, η συσχέτιση και η ολοκλήρωση των νευρικών πληροφοριών. Εσωτερικά, είναι οργανωμένο σε φαιά και λευκή ουσία και αποτελείται από πολύ μεγάλο αριθμό νευρικών κυττάρων, τα οποία περιβάλλονται και στηρίζονται με ειδικό ιστό που ονομάζεται νευρογλοία [S08].

Το ΠΝΣ συνδέει τα διάφορα μέρη του σώματος με το ΚΝΣ. Τα εγκεφαλικά και τα νωτιαία νεύρα, που αποτελούνται από δέσμες νευρικών ινών ή αξόνων, λαμβάνουν ερεθίσματα και άγουν τις πληροφορίες από και προς το κεντρικό νευρικό σύστημα. Όλα τα νεύρα περιβάλλονται από ινώδη έλυτρα και εκτός από τα θωρακικά αναστομώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας πλέγματα που νευρώνουν αισθητικά και κινητικά το σώμα.

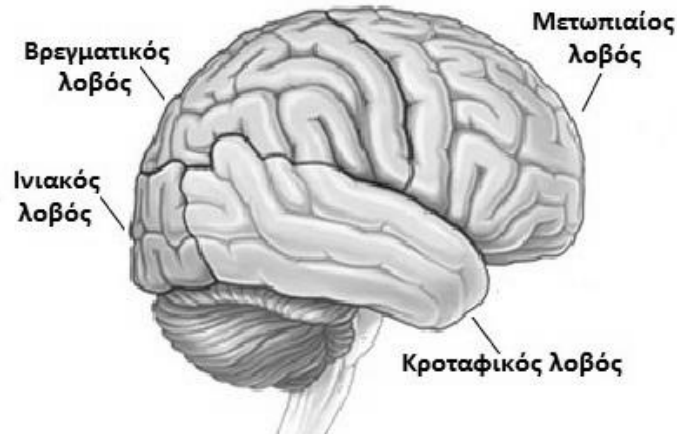


Σχήμα 1.1: Το Νευρικό Σύστημα.

1.2.1 Ανατομία του ανθρώπινου εγκεφάλου

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος βρίσκεται μέσα στο κύτος του κρανίου και επικαλύπτεται από τρεις μεμβράνες, τις μήνιγγες, που περιβάλλονται εξωτερικά από το εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Διαιρείται σε τρία μείζονα μέρη, τον πρόσθιο εγκέφαλο, τον μέσο εγκέφαλο και τον οπίσθιο εγκέφαλο [S08, KSJ04].

Ο πρόσθιος εγκέφαλος χωρίζεται στον διάμεσο εγκέφαλο και στον τελικό. Ο τελικός εγκέφαλος, που συνιστά το μεγαλύτερο μέρος του εγκεφάλου, διακρίνεται σε δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια, συνδεδεμένα με μάζα λευκής ουσίας. Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια αποτελούνται από μία στιβάδα με πολλές άυλακες – τον φλοιό των εγκεφαλικών ημισφαιρίων – και από τρεις βαθύτερες δομές: τα βασικά γάγγλια, τον ιππόκαμπο και την αμυγδαλή. Σε κάθε ημισφαίριο, ο φλοιός διαιρείται σε τέσσερις ανατομικώς διακριτούς λοβούς, τον μετωπιαίο, τον βρεγματικό, τον κροταφικό και τον ινιακό (Σχήμα 1.2), τα ονόματα των οποίων προκύπτουν από το ονόματα των υπερκείμενων οστών του κρανίου. [KSJ04, FGM09, S08]



Σχήμα 1.2: Οι λοβοί του εγκεφάλου.

Στον φλοιό των εγκεφαλικών ημισφαιρίων εντοπίζονται, κατά κύριο λόγο, οι εγκεφαλικές λειτουργίες που σχετίζονται με τις γνωστικές ικανότητες, όπου κάθε λοβός επιτελεί εξειδικευμένη λειτουργία [KSJ04]. Συγκεκριμένα, ο μετωπιαίος λοβός σχετίζεται με τον προγραμματισμό της μελλοντικής δράσης και με τον έλεγχο της κίνησης ενώ ο βρεγματικός λοβός με τη σωματική αισθητικότητα και εικόνα. Αντίστοιχα, ο ινιακός λοβός σχετίζεται με την όραση και ο κροταφικός λοβός με την ακοή και μέσω του υπόκαμπου και της αμυγδαλής με πλευρές της μάθησης, της μνήμης και του συναισθήματος.

Επιπλέον, η οργάνωση του φλοιού των ημισφαιρίων έχει δυο σημαντικά χαρακτηριστικά [KSJ04]. Πρώτον, κάθε ημισφαίριο σχετίζεται με αισθητικές και κινητικές λειτουργίες του αντίθετου ημιμορίου του σώματος. Για παράδειγμα, μια αισθητική πληροφορία που φθάνει στο νωτιαίο μυελό από το αριστερό χέρι φέρεται στη δεξιά πλευρά του νευρικού συστήματος προτού μεταβιβαστεί στο φλοιό των ημισφαιρίων. Δεύτερον, αν και τα ημισφαίρια φαίνονται όμοια, δεν είναι συμμετρικά ούτε ως προς την κατασκευή, ούτε ως προς την λειτουργία.

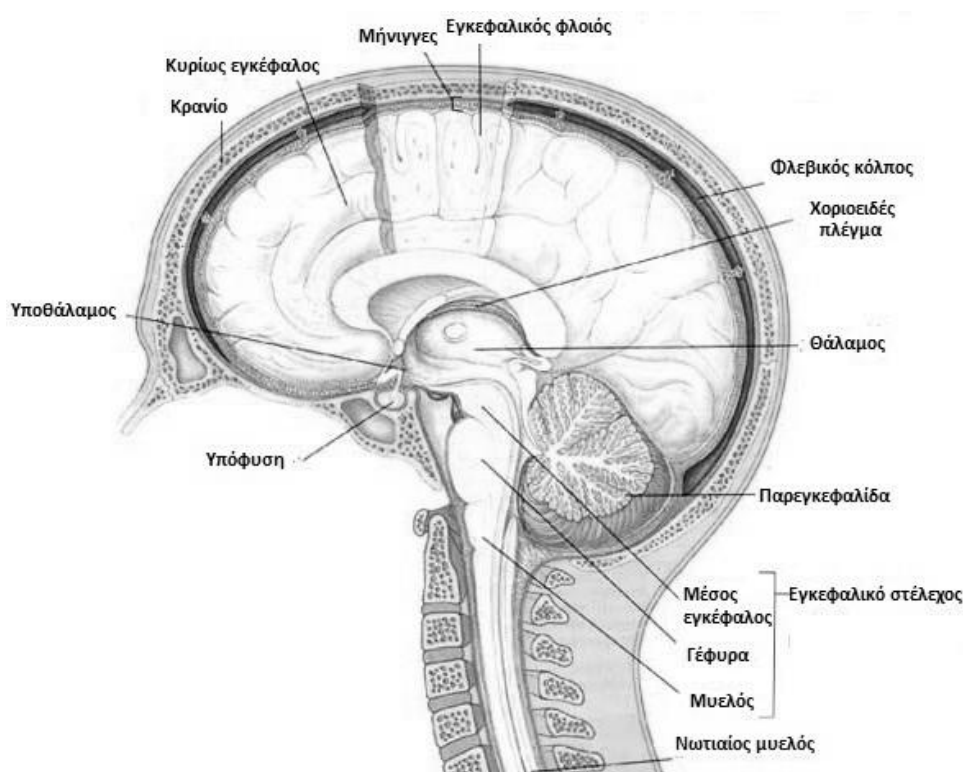
Ο διάμεσος εγκέφαλος είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου κρυμμένος και δεν φαίνεται από την επιφάνεια του εγκεφάλου. Αποτελείται από δύο κύριες δομές, το θάλαμο και τον υποθάλαμο. Ο θάλαμος είναι μια μεγάλη μάζα φαιάς ουσίας και ο ρόλος του είναι ελεγκτικός και υποστηρικτικός. Συγκεκριμένα, αποτελεί το σύνδεσμο κατά τη μεταφορά των περισσότερων αισθητικών πληροφοριών που φτάνουν στο φλοιό των ημισφαιρίων, προερχόμενες από το υπόλοιπο νευρικό σύστημα [KSJ04, FGM09]. Ο υποθάλαμος, από την άλλη, αν και είναι μικρός σε μέγεθος (0,3% του συνολικού εγκεφάλου) αποτελεί πολύ σημαντικό μέρος του ΚΝΣ γιατί ρυθμίζει τις αυτόνομες ενδοκρινικές και σπλαχνικές λειτουργίες καθώς και αρκετές συμπεριφορές που είναι σημαντικές για την ομοιοστάση και την αναπαραγωγή [KSJ04, S08].

Ο οπίσθιος ή ρομβοειδής εγκέφαλος διακρίνεται στον προμήκη μυελό, τη γέφυρα και την παρεγκεφαλίδα. Ο προμήκης μυελός βρίσκεται ακριβώς προς τα άνω του νωτιαίου μυελού με τον οποίο είναι παρόμοιος, τόσο ως προς την οργάνωση, όσο και ως προς την λειτουργία. Περιλαμβάνει κέντρα που είναι υπεύθυνα για αρκετές ζωτικές λειτουργίες, όπως η πέψη, η αναπνοή και ο έλεγχος του καρδιακού ρυθμού. Η παρεγκεφαλίδα, το μεγαλύτερο τμήμα του οπίσθιου εγκεφάλου, βρίσκεται πίσω από τη γέφυρα και τον προμήκη μυελό και περιέχει τα περισσότερα νευρικά κύτταρα από οποιοδήποτε άλλο τμήμα του εγκεφάλου. Αποτελείται από δύο παρεγκεφαλιδικά ημισφαίρια και είναι

σημαντική για τη διατήρηση της στάσης του σώματος, ενώ μετέχει στη λεπτή ρύθμιση της κίνησης των μυών και στην εκμάθηση των κινητικών δεξιοτήτων. Ακόμα, η γέφυρα βρίσκεται πάνω από τον προμήκη μυελό και σχετίζεται με την αναμετάδοση πληροφοριών που αφορούν την κινητικότητα και την αισθητικότητα από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια προς την παρεγκεφαλίδα. [KSJ04, S08]

Ο μέσος εγκέφαλος, που λειτουργεί ως σύνδεσμος του πρόσθιου με τον οπίσθιο εγκέφαλο, ελέγχει πολλές αισθητικές και κινητικές λειτουργίες, περιλαμβανομένων των οφθαλμικών κινήσεων και του συντονισμού των οπτικών και ακουστικών αντανακλαστικών [KSJ04, S08]. Ο ρομβοειδής εγκέφαλος, εξαιρουμένης της παρεγκεφαλίδας, μαζί με το μέσο εγκέφαλο αποτελούν το εγκεφαλικό στέλεχος.

Οι κυριότερες περιοχές του εγκεφάλου παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.3 που ακολουθεί.



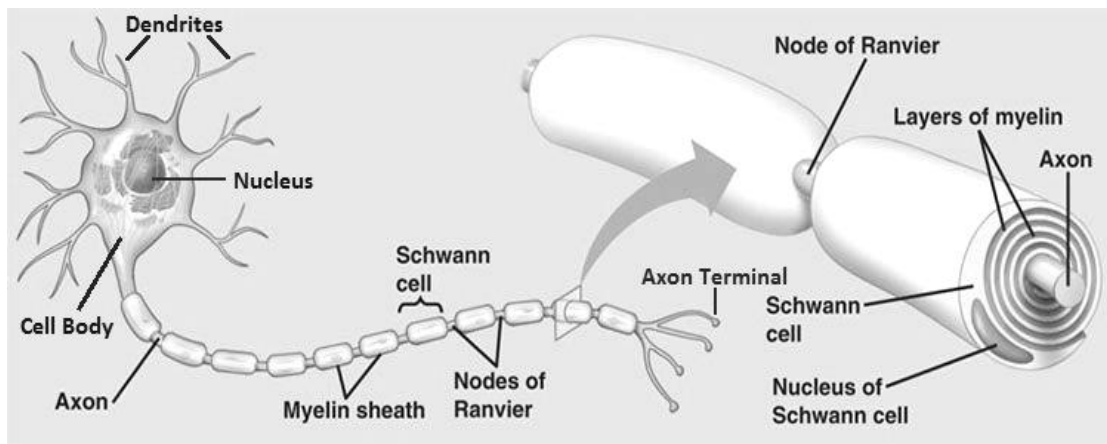
Σχήμα 1.3: Οι κυριότερες περιοχές του εγκεφάλου.

1.2.2 Νευρικά κύτταρα

Όπως έχει αναφερθεί, η βασική δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος είναι τα νευρικά κύτταρα ή αλλιώς νευρώνες. Το νευρικό κύτταρο είναι αυτόνομο και παράγει ηλεκτρικά σήματα που μεταδίδονται από το ένα μέρος του κυττάρου στο άλλο με τη μορφή νευρικής ώσης, ενώ ταυτόχρονα εκκλύει βιοχημικές ουσίες προκειμένου να επικοινωνήσει με άλλα κύτταρα [K03, FGM09, Δ04]. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει έναν εκπληκτικά μεγάλο αριθμό νευρικών κυττάρων, της τάξης του 10^{11} , που μπορούν να ταξινομηθούν σε τουλάχιστον χίλιους διαφορετικούς τύπους [KSJ04]. Ωστόσο, όλα τα νευρικά κύτταρα έχουν την ίδια βασική αρχιτεκτονική.

Ένας τυπικός νευρώνας (Σχήμα 1.4) αποτελείται από τέσσερις μορφολογικά καθοριζόμενες περιοχές: το κυρίως νευρικό κύτταρο - σώμα (cell body), τους δενδρίτες (dendrites), τον άξονα (axon) και τις απολήξεις του άξονα (axon terminals). Οι δενδρίτες και ο άξονας αναφέρονται συχνά ως νευρικές ίνες.

Το κυρίως σώμα είναι το μεταβολικό κέντρο του κυττάρου. Περιέχει τον πυρήνα (nucleus), στον οποίο βρίσκεται η γενετική πληροφορία, όπως επίσης, και το ενδοπλασματικό δίκτυο, που είναι επέκταση του πυρήνα και εκεί συντίθενται οι πρωτεΐνες του κυττάρου [KSJ04]. Το κυρίως σώμα χορηγεί δύο ειδών αποφυάδες, τους δενδρίτες και τον άξονα.



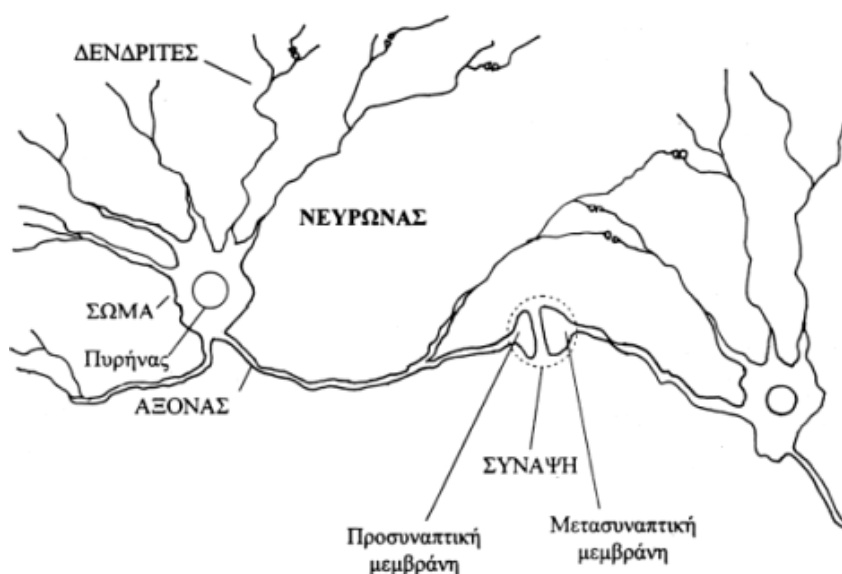
Σχήμα 1.4: Τυπική δομή ενός νευρώνα.

Ο άξονας ή νευρική ίνα αποτελεί μια νηματοειδή προέκταση του κυρίως νευρικού κυττάρου. Το τμήμα του άξονα που βρίσκεται πλησιέστερα στο κυρίως σώμα, μαζί με το μέρος του κυττάρου όπου γίνεται η σύνδεση, ονομάζεται αρχικό τμήμα [Δ04, S09]. Μέσω αυτού άγονται ηλεκτρικά σήματα, που διαδίδονται μακριά από το κύτταρο, κατά μήκος του άξονα. Ο άξονας μπορεί να έχει και άλλες εγκάρσιες διακλαδώσεις, ενώ τόσο στις απολήξεις όσο και στις διακλαδώσεις αυτού υπάρχουν περαιτέρω διακλαδώσεις. Κάθε διακλάδωση καταλήγει σε μια απόληξη του άξονα. Οι απολήξεις αυτές συμμετέχουν στο σχηματισμό της σύναψης, της περιοχής δηλαδή όπου ο νευρώνας έρχεται σε ηλεκτροχημική επαφή με άλλους νευρώνες, και είναι υπεύθυνες για τη μεταβίβαση χημικών σημάτων. Ακόμα, κατά μήκος του άξονα μετακινούνται διάφορα οργανίδια και ουσίες, από το κυρίως σώμα προς τις απολήξεις και αντιστρόφως (αξονική μεταφορά). Έτσι, τα διάφορα χημικά σήματα έχουν τη δυνατότητα να επηρεάζουν τη μορφολογία και τη βιοχημεία του νευρώνα. Με αυτό το τρόπο κινούνται και οι τοξίνες (τετάνου, έρπητα και πολιομυελίτιδας) στο κεντρικό νευρικό σύστημα [Δ04].

Οι άξονες μερικών νευρώνων καλύπτονται από μυελίνη (myelin). Η μυελίνη είναι μια λιπώδης μονωτική μεμβρανική θήκη, που σχηματίζεται από κύτταρα στήριξης περιελισσόμενα γύρω από τον άξονα, και η οποία επιταχύνει τη διέλευση των ηλεκτρικών σημάτων κατά μήκος αυτού [Δ04, KSJ04]. Μεταξύ δύο θηκών μυελίνης (Myelin sheath) παρεμβάλλεται ένα τμήμα άξονα που παραμένει εκτεθειμένο στο εξωκυττάριο υγρό. Το τμήμα αυτό του άξονα ονομάζεται κόμβος του Ranvier (Node of Ranvier) (Σχήμα 1.4). Έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 10% των κυττάρων στο ΚΝΣ είναι νευρώνες. Τα υπόλοιπα κύτταρα είναι νευρογλοιακά, όπως τα ολιγοδενδρογλοιακά που σχηματίζουν τη θήκη μυελίνης.

Οι δενδρίτες, που είναι διακλαδιζόμενες αποφύσεις του κυρίως σώματος του νευρώνα, βρίσκονται σε επαφή μέσω των συνάψεων με τις απολήξεις διαφόρων αξόνων, που προέρχονται από γειτονικούς ή απομακρυσμένους νευρώνες. Μέσω των μετασυναπτικών μεμβρανών, συλλέγουν τα σήματα που εκπέμπονται από τις αξονικές απολήξεις και τα μεταδίδουν στο κυτταρικό σώμα του νευρώνα, στο οποίο ανήκουν.

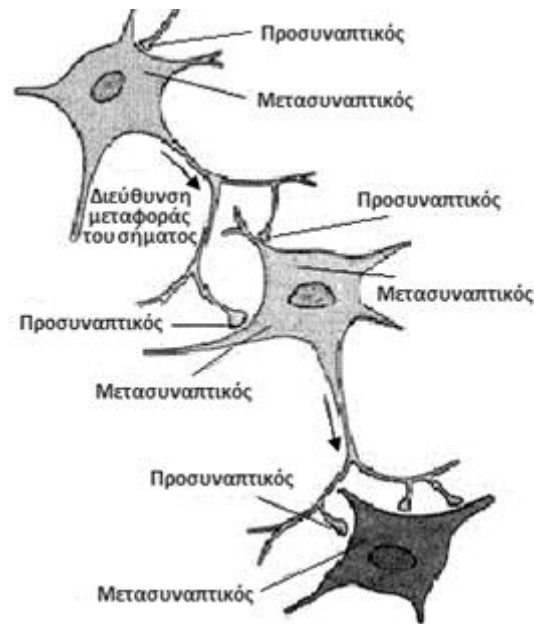
Η σύναψη, όπως προαναφέρθηκε, είναι η εξειδικευμένη σύνδεση μεταξύ δύο νευρώνων, όπου ο ένας μεταβάλλει τη λειτουργία του άλλου (Σχήμα 1.5). Εκεί πραγματοποιείται η μεταβίβαση της δράσης από την προσυναπτική στη μετασυναπτική μεμβράνη, μέσω της λεπτής σχισμής που τις χωρίζει, η οποία ονομάζεται μετασυναπτικό χάσμα [K03]. Στις περισσότερες συνάψεις (χημικές συνάψεις), το σήμα διαδίδεται από τον ένα νευρώνα στον άλλο μέσω χημικών αγγελιοφόρων που ονομάζονται νευροδιαβιβαστές, ενώ η επικοινωνία, δηλαδή η μεταβίβαση της νευρικής ώσης, γίνεται μόνο κατά μια κατεύθυνση [Δ04, S09].



Σχήμα 1.5: Σύναψη μεταξύ νευρώνων.

Οι συνάψεις απαντώνται υπό διάφορους τύπους. Ο συχνότερος τύπος είναι μεταξύ των απολήξεων του άξονα του ενός νευρώνα και του κυτταρικού σώματος ή δενδρίτη του άλλου. Σε άλλες περιπτώσεις, συνάψεις μπορούν να δημιουργηθούν μεταξύ δενδριτών, μεταξύ δενδρίτη και κυτταρικού σώματος ή μεταξύ απολήξεων των δύο αξόνων. Επιπλέον, είναι δυνατό σε μια σύναψη να μετέχουν τρεις νευρώνες ταυτόχρονα, οπότε απολήξεις δύο αξόνων οδεύουν στο ίδιο σημείο ενός δενδρίτη [K03]. Οι περισσότεροι νευρώνες μπορεί να συνάπτονται με 1.000 ή και περισσότερους άλλους νευρώνες ή να δέχονται συναπτικές επαφές μέχρι και από 10.000 άλλους νευρώνες [S09].

Ένας νευρώνας που άγει σήματα προς μια σύναψη ονομάζεται προσυναπτικός, ενώ νευρώνες που λαμβάνουν σήματα από τη σύναψη και τα άγουν μακριά από αυτή ονομάζονται μετασυναπτικοί (Σχήμα 1.6) [Δ04].



Σχήμα 1.6: Προσυναπτικοί και μετασυναπτικοί νευρώνες.

Κατηγορίες Νευρώνων

Οι νευρώνες, ανάλογα με τη λειτουργία που αυτοί επιτελούν, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τους προσαγωγούς, τους απαγωγούς και τους διανευρώνες [Δ04]. Οι προσαγωγοί νευρώνες μεταφέρουν την πληροφορία από τους ιστούς και τα όργανα του κυττάρου στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, οι απαγωγοί μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα από το ΚΝΣ προς τους μύες ή τα κύτταρα αδένων και οι διανευρώνες συνδέουν τους απαγωγούς και προσαγωγούς νευρώνες.

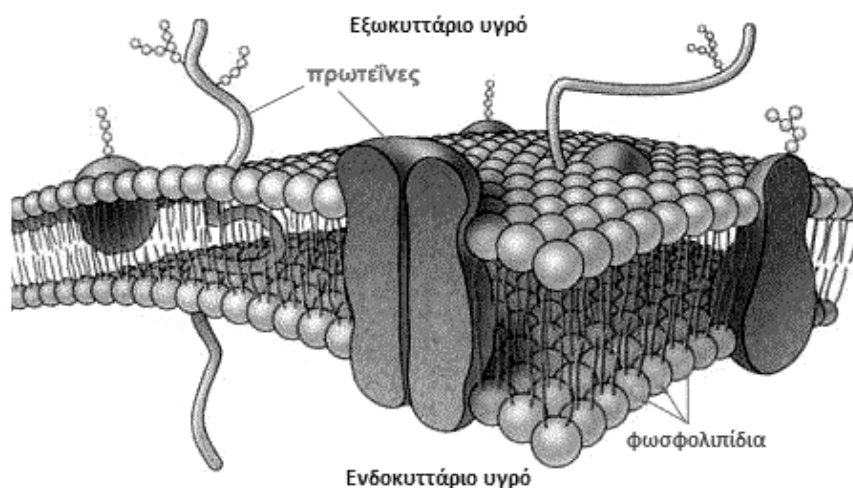
Στα σημεία του κυττάρου που βρίσκονται στη μεγαλύτερη απόσταση από το ΚΝΣ, οι προσαγωγοί νευρώνες έχουν υποδοχείς, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε εξειδικευμένες απολήξεις είτε ξεχωριστά κύτταρα, που όμως συνδέονται στενά με αυτόν. Επιπλέον, οι προσαγωγοί νευρώνες δεν διαθέτουν δένδριτες αλλά μόνο άξονα. Αμέσως μετά το κυτταρικό σώμα, ο άξονας διαιρείται σε δύο σκέλη, εκ των οποίων το ένα καταλήγει στους υποδοχείς (περιφερειακό), ενώ το άλλο (κεντρικό) εισέρχεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα και συνδέεται με άλλους νευρώνες.

Το κυτταρικό σώμα και οι δένδριτες των απαγωγών νευρώνων βρίσκονται μέσα στο ΚΝΣ, αλλά οι άξονες τους εκτείνονται στη περιφέρεια. Οι άξονες των προσαγωγών και απαγωγών νευρώνων, εκτός από το μικρό μέρος που βρίσκεται στον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό, σχηματίζουν τα νεύρα του περιφερειακού συστήματος.

1.3 Δυναμικά της Μεμβράνης

Ολόκληρος ο νευρώνας μαζί με τον άξονα και τους δένδριτες καλύπτεται από την κυτταρική μεμβράνη (Σχήμα 1.7). Η κυτταρική μεμβράνη είναι ουσιαστικά ένα διπλό στρώμα από μόρια φωσφολιπιδίων (διπλοστοιβάδα φωσφολιπιδίων), μέσα στο οποίο υπάρχουν τοποθετημένα εγκαρσίως πολλά διαφορετικά είδη πρωτεϊνικών μορίων. Η μεμβράνη έχει πάχος περίπου 8 – 10nm [Κ04]. Τα φωσφολιπίδια αποτελούνται από μια υδρόφιλη κεφαλή και δύο υδρόφοβες ουρές. Όταν τα φωσφολιπίδια βρεθούν σε ένα

υδατικό μέσο οργανώνονται, έτσι ώστε οι υδρόφοβες ουρές να είναι όσο το δυνατόν μακρύτερα από το υδατικό μέσο και οι υδρόφιλες κεφαλές τοποθετούνται μεταξύ του ύδατος και των υδρόφοβων ουρών. Ένα τέτοιο διμοριακό στρώμα είναι αδιαπέραστο από τα περισσότερα βιολογικά ενεργά μόρια, όπως αμινοξέα και σάκχαρα, και επίσης από ιόντα. Στην πραγματικότητα, όμως, η μεμβράνη είναι ημιπερατή, διότι οι ενσωματωμένες στη διπλοστοιβάδα φωσφολιπιδίων πρωτεΐνες την κάνουν διαπερατή για πολλές ουσίες ενώ κάποιες από αυτές λειτουργούν ως δίοδοι ιόντων. Οι δίοδοι αυτοί, που εμφανίζουν υψηλή διαπερατότητα σε ιόντα καλίου (K^+) και χαμηλότερη σε ιόντα νατρίου (Na^+), έχουν βασική σημασία στη λειτουργία των νευρικών κυττάρων. [K04, S08, KSJ04]



Σχήμα 1.7: Κυτταρική μεμβράνη.

Κατά μήκος της μεμβράνης των κυττάρων διατηρείται μια ηλεκτρική διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της μεμβράνης. Αυτή η διαφορά καλείται δυναμικό μεμβράνης και οφείλεται στην άνιση κατανομή ιόντων μεταξύ των δύο πλευρών της, η οποία κατανομή διατηρείται από τη μεταβολική δραστηριότητα του κυττάρου. Το δυναμικό αυτό δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη τη μεμβράνη.

Σε κατάσταση ηρεμίας, όπου το εσωτερικό των κυττάρων είναι αρνητικά φορτισμένο ως προς το εξωτερικό, η τιμή του δυναμικού μεμβράνης καθορίζεται από δύο παράγοντες [Δ04, KSJ04]:

- Τη διαφορά στη συγκέντρωση ιόντων μεταξύ ενδοκυττάρου και εξωκυττάρου υγρού.
- Τη διαπερατότητα της μεμβράνης στα διάφορα ιόντα.

Στην περίπτωση των νευρικών κυττάρων, η συγκέντρωση ιόντων Na^+ και χλωρίου (Cl^-) είναι υψηλότερη στο εξωκυττάριο υγρό, ενώ στο ενδοκυττάριο υγρό υψηλότερη είναι η συγκέντρωση K^+ . Ακόμα, τα νευρικά κύτταρα διαφέρουν από τα υπόλοιπα ως προς το ότι το δυναμικό της μεμβράνης τους μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά και γρήγορα. Αυτή η αλλαγή μπορεί να χρησιμεύσει ως μηχανισμός μετάδοσης σημάτων [KSJ04].

1.3.1 Δυναμικό ισορροπίας

Το δυναμικό ισορροπίας είναι το δυναμικό που εμφανίζεται στη κυτταρική μεμβράνη όταν ένα συγκεκριμένο ιόν βρίσκεται σε ισορροπία, η τάση δηλαδή στην οποία η ηλεκτρική δύναμη που προκύπτει από το φορτίο ενός ιόντος γίνεται ίση και αντίθετη με τη δύναμη διάχυσης του ιόντος αυτού. Η τιμή του δυναμικού ισορροπίας εξαρτάται από τη βαθμίδα συγκέντρωσης του ιόντος εντός και εκτός της μεμβράνης. Όσο υψηλότερη είναι η βαθμίδα συγκέντρωσης, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το δυναμικό ισορροπίας για το ιόν αυτό, αφού απαιτείται μεγαλύτερη ηλεκτρική δύναμη για να εξισορροπηθεί η αντίστοιχη δύναμη διάχυσης [Δ04].

Στους νευρώνες, το δυναμικό ισορροπίας για το K^+ είναι $-90mV$ (με το εσωτερικό του κυττάρου αρνητικό), ενώ το αντίστοιχο για το Na^+ είναι $+60mV$ (θετικό στο εσωτερικό του κυττάρου) [Δ04]. Επομένως, το δυναμικό ισορροπίας για κάθε ιόν έχει διαφορετική τιμή και κατεύθυνση και υπολογίζεται από την εξίσωση του Nernst. Για το δυναμικό του καλίου έχουμε:

$$V_{eq,K^+} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$$

όπου, V_{eq,K^+} το δυναμικό ισορροπίας σε Volt

R η παγκόσμια σταθερά των αερίων ($8.314 \text{ joules} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

F είναι η σταθερά Faraday ($96.485 \text{ coulombs} \cdot \text{mol}^{-1}$)

z ο αριθμός των στοιχειωδών φορτίων του ιόντος που συμμετέχουν στην αλληλεπίδραση

$[K^+]_o$ η συγκέντρωση του ιόντος σε $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ εκτός του κυττάρου

$[K^+]_i$ η συγκέντρωση του ιόντος σε $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ εντός του κυττάρου

1.3.2 Δυναμικό ηρεμίας

Στην κατάσταση ηρεμίας (ανερέθιστη κατάσταση) το κύτταρο εμφανίζει μια σταθερή διαφορά δυναμικού, που ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας, και προκαλείται κυρίως εξαιτίας της διάχυσης ιόντων K^+ μέσω της μεμβράνης προς το εξωτερικό του κυττάρου. Η διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα K^+ είναι περίπου 50 με 75 φορές μεγαλύτερη της διαπερατότητας από Na^+ καθώς οι δίοδοι καλίου είναι συνεχώς ανοιχτοί και έτσι σε σύντομο χρονικό διάστημα το ενδοκυττάριο υγρό θα έχει περίσσεια θετικού φορτίου και το εξωκυττάριο περίσσεια αρνητικού [Δ04]. Η περίσσεια αρνητικών φορτίων στο εσωτερικό έλκεται ηλεκτρικά από τα θετικά ιόντα στο εξωτερικό, και αντιστρόφως, με αποτέλεσμα τα ιόντα να συγκεντρώνονται σε ένα λεπτό φλοιό στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης αφήνοντας το κύριο όγκο του ενδοκυττάρου και εξωκυττάρου υγρού ηλεκτρικά ουδέτερο. Η τιμή του δυναμικού ηρεμίας κυμαίνεται από -5 έως $-100mV$, ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου, και μπορεί να μεταβληθεί ταχύτατα

από κάποια εξωτερική διέγερση [Δ04]. Στην περίπτωση των νευρικών κυττάρων το δυναμικό ηρεμίας κυμαίνεται από -40 έως -70mV.

Στην τυπική τιμή του δυναμικού ηρεμίας του νευρώνα (-70mV), ούτε τα ιόντα καλίου ούτε τα ιόντα νατρίου βρίσκονται στο δυναμικό ισορροπίας τους, οπότε υπάρχει διάχυση ιόντων νατρίου προς το εσωτερικό και ιόντων καλίου προς το εξωτερικό του κυττάρου. Παρόλη τη συνεχιζόμενη διάχυση ιόντων νατρίου και καλίου οι συγκεντρώσεις τους δεν μεταβάλλονται λόγω των μηχανισμών ενεργού μεταφοράς [Δ04]. Οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν ενέργεια που προέρχεται από το μεταβολισμό του κυττάρου, ώστε να αντλήσουν τα ιόντα νατρίου έξω από το κύτταρο και τα ιόντα καλίου μέσα σε αυτό (αντλία $K^+ - Na^+$). Στην πραγματικότητα, τα δύο αυτά είδη ιόντων μεταφέρονται με το ίδιο ένζυμο, την $Na, K - ATPάση$ [Δ04]. Το ένζυμο αυτό αποτελεί ηλεκτρογόνο ιοντική αντλία γιατί δημιουργεί ανισοκατανομή φορτίου διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης και συμβάλει στη διατήρηση του δυναμικού της. Για κάθε τρία μόρια νατρίου που μεταφέρει προς τα έξω, εισάγει στο κύτταρο δύο μόρια καλίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται πάντοτε μεταφορά περισσότερων θετικών ιόντων προς τα έξω. Η διαρκής άντληση περισσότερων φορτίων από την εσωτερική προς την εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης (3 ιόντων νατρίου προς 2 ιόντα καλίου που εισέρχονται στο κύτταρο), οδηγεί τελικά στη δημιουργία του αρνητικού δυναμικού μεμβράνης μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού του κυττάρου.

Το δυναμικό ηρεμίας μιας μεμβράνης που είναι διαπερατή από περισσότερα του ενός ιοντικά είδη, υπολογίζεται από την εξίσωση των Goldman Hodgkin και Katz:

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{P_{Na^+}[Na^+]_o + P_{K^+}[K^+]_o + P_{Cl^-}[Cl^-]_i}{P_{Na^+}[Na^+]_i + P_{K^+}[K^+]_i + P_{Cl^-}[Cl^-]_o} \right)$$

όπου, V_m είναι το δυναμικό μεμβράνης που μετράται σε Volt

R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων ($8.314 \text{ joules} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία μετρημένη σε βαθμούς Kelvin

F είναι η σταθερά Faraday ($96.485 \text{ coulombs} \cdot \text{mol}^{-1}$)

P_X είναι η σχετική διαπερατότητα του ιόντος X σε αυθαίρετες μονάδες

$[X^{+/-}]_o$ είναι η εξωκυττάρια συγκέντρωση του ιόντος X μετρημένη σε $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$

$[X^{+/-}]_i$ είναι η ενδοκυττάρια συγκέντρωση του ιόντος X μετρημένη σε $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$

Οι δύο καταστάσεις στις οποίες μπορεί να μεταβεί το δυναμικό μιας μεμβράνης, κατά τη μεταβολή του από το δυναμικό ηρεμίας είναι η αποπόλωση και η υπερπόλωση. Έτσι, μια μεμβράνη ονομάζεται αποπολωμένη όταν το δυναμικό της είναι λιγότερο αρνητικό από το δυναμικό ηρεμίας. Κατά σύμβαση, αφορά καταστάσεις όπου αντιστρέφεται η πολικότητα της μεμβράνης, οπότε το εσωτερικό του κυττάρου γίνεται θετικό. Στην περίπτωση όπου το δυναμικό είναι περισσότερο αρνητικό από το δυναμικό ηρεμίας, η μεμβράνη καλείται υπερπολωμένη. Τέλος, η διαδικασία κατά την οποία το δυναμικό της μεμβράνης επιστρέφει στη τιμή ηρεμίας είτε από αποπόλωση είτε από υπερπόλωση ονομάζεται επαναπόλωση.

1.3.3 Βαθμωτά δυναμικά και δυναμικά δράσης

Οι παροδικές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης προκαλούν ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να αλλάξουν τις λειτουργίες του κυττάρου. Οι αλλαγές αυτές είναι ο πιο σημαντικός τρόπος διαχείρισης και μεταφοράς ερεθισμάτων από τα νευρικά κύτταρα [Δ04]. Τα ηλεκτρικά σήματα μπορούν να εμφανιστούν σε δύο μορφές, τα βαθμωτά δυναμικά (graded potentials) και τα δυναμικά δράσης (action potentials).

Βαθμωτά δυναμικά

Τα βαθμωτά είναι μικρές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης που περιορίζονται σε μια μικρή περιοχή αυτής και εξασθενούν μετά από 1 - 2mm από το σημείο διέγερσης. Τα δυναμικά αυτά παράγονται συνήθως από κάποιο ερέθισμα είτε προς την κατεύθυνση της αποπόλωσης είτε προς την κατεύθυνση της υπερπόλωσης. Ονομάζονται βαθμωτά γιατί το εύρος της αλλαγής του δυναμικού μεταβάλλεται και σχετίζεται με το μέγεθος του ερεθίσματος. Ορισμένα χαρακτηριστικά βαθμωτά δυναμικά ανάλογα με τη θέση που δημιουργούνται είναι τα δυναμικά υποδοχέων και τα συναπτικά και τα δυναμικά βηματοδότη [Δ04].

Όταν δημιουργηθεί ένα βαθμωτό δυναμικό, δημιουργείται ροή φορτίου από το σημείο διέγερσης προς γειτονικές περιοχές της μεμβράνης, που βρίσκονται σε δυναμικό ηρεμίας. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ρεύμα στον ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο χώρο, ανάλογο με την τιμή του βαθμωτού δυναμικού. Έστω, για παράδειγμα, μια μικρή περιοχή της μεμβράνης που έχει αποπολωθεί από μια διέγερση και επομένως έχει λιγότερο αρνητικό δυναμικό από τις γειτονικές περιοχές. Μέσα στο κύτταρο, τα θετικά φορτία θα μετακινούνται πέραν της αποπολωμένης περιοχής προς την αρνητική περιοχή της μεμβράνης, που βρίσκεται σε δυναμικό ηρεμίας. Ταυτόχρονα, τα θετικά φορτία που βρίσκονται στο εξωτερικό, θα μετακινούνται από την πιο θετική περιοχή του δυναμικού ηρεμίας, προς τη λιγότερο θετική που μόλις δημιουργήθηκε από την αποπόλωση. Αυτό το θετικό ρεύμα (κίνηση θετικών φορτίων) απομακρύνει τα θετικά φορτία από τις περιοχές που περιβάλλουν τη θέση της αποπόλωσης προς το εξωτερικό της μεμβράνης και προσθέτει θετικά φορτία στην περιοχή που περιβάλλει τη θέση της αποπόλωσης κατά μήκος του εσωτερικού της μεμβράνης. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο διαχωρισμός των φορτίων, στις γειτονικές θέσεις προς τις περιοχές της αποπόλωσης.

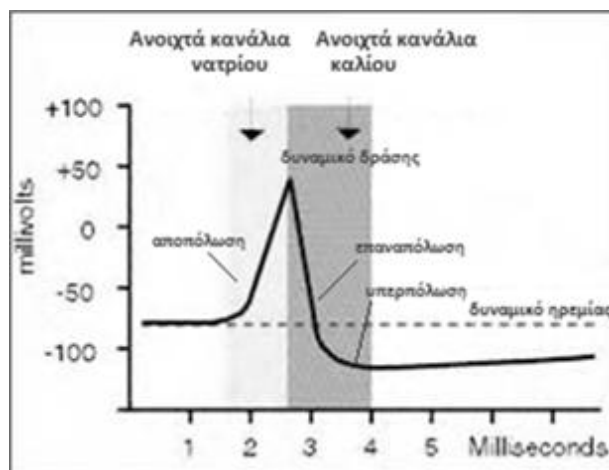
Τα τοπικά ρεύματα φθίνουν όσο μεγαλώνει η απόσταση από τη θέση που δημιουργήθηκε το δυναμικό, για αυτό και τα βαθμωτά δυναμικά λειτουργούν ως σήματα σε μικρές αποστάσεις. Ωστόσο, ορισμένοι νευρώνες επικοινωνούν μόνο δια μέσου βαθμωτών δυναμικών.

Δυναμικά δράσης

Τα δυναμικά δράσης ή ενεργά δυναμικά είναι ταχείες μεταβολές του δυναμικού της μεμβράνης κατά τη διάρκεια του οποίου το δυναμικό μπορεί να μεταβληθεί μέχρι και κατά 100mV, από -70 έως 40mV, και μετά να επαναπολωθεί στη τιμή του δυναμικού ηρεμίας. Μόνο οι νευρώνες, οι μύες και ορισμένα κύτταρα των αδένων έχουν μεμβράνες ικανές να παράγουν δυναμικά δράσης. Αυτές ονομάζονται διεγερσιμες μεμβράνες και η ικανότητα τους να παράγουν δυναμικά δράσης είναι γνωστή ως διεγερσιμότητα. Επιπλέον, και σε αντίθεση με τα βαθμωτά δυναμικά, τα δυναμικά δράσης χρησιμοποιούνται από το νευρικό σύστημα για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.

Στα νευρικά κύτταρα, τα δυναμικά δράσης γεννιούνται στο αρχικό τμήμα αυτών και είναι βραχείας διάρκειας (περίπου 1ms). Προκαλούνται όταν το διαμεμβρανικό δυναμικό αλλάξει από την τιμή ηρεμίας, λόγω μιας παροδικής αλλαγής στη διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα, και περάσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι (συνήθως περίπου -50mV). Τότε συμβαίνει ενεργοποίηση των νευρώνων, αποπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης και εμφάνιση μιας αιχμής δυναμικού στα 30mV , με επακόλουθη επιστροφή στην κατάσταση ηρεμίας αφού συμβεί επαναπόλωση και υπερπόλωση (Σχήμα 1.8). Στην πραγματικότητα, υπάρχει ένας θετικός κύκλος ανάδρασης (αποπόλωση, επαναπόλωση και υπερπόλωση της μεμβράνης) που είναι υπεύθυνος για τη φάση ανύψωσης του δυναμικού δράσης.

Στην κατάσταση ηρεμίας οι ανοιχτές διόδους της μεμβράνης είναι κυρίως εκείνες που είναι διαπερατές σε ιόντα καλίου και χλωρίου. Σχεδόν όλες οι διόδους νατρίου είναι κλειστές και το δυναμικό ηρεμίας προσεγγίζει πολύ περισσότερο το δυναμικό ισορροπίας του νατρίου παρά αυτό του καλίου. Κατά τη διάρκεια του δυναμικού δράσης η διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα νατρίου και καλίου μεταβάλλονται σημαντικά. Η αποπόλωση ανοίγει τις διόδους Na^+ αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα των ιόντων νατρίου προς το ενδοκυττάριο υγρό. Σε αυτό το χρονικό διάστημα τα θετικά φορτία που εισέρχονται στο κύτταρο με τη μορφή ιόντων νατρίου είναι περισσότερα από αυτά που εξέρχονται με τη μορφή ιόντων καλίου και έτσι το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται λιγότερο αρνητικό και τελικά αντιστρέφεται. Η επιστροφή του δυναμικού της μεμβράνης στα επίπεδα ηρεμίας οφείλεται αφενός στο κλείσιμο των διόδων νατρίου και αφετέρου στο άνοιγμα μιας ειδικής ομάδας διόδων καλίου. Το κλείσιμο των διόδων νατρίου θα αποκαθιστούσε από μόνο του το δυναμικό στη στάθμη ηρεμίας αφού η ροή K^+ προς τα έξω θα υπερέβαινε τη ροή Na^+ προς τα μέσα. Όμως, η διαδικασία επιταχύνεται με την ταυτόχρονη αύξηση της διαπερατότητας σε K^+ .



Σχήμα 1.8: Δυναμικό δράσης.

Στους απαγωγούς νευρώνες, η αρχική αποπόλωση στο κατώφλι επιτυγχάνεται μέσω ενός βαθμωτού δυναμικού που παράγεται στους υποδοχείς των περιφερικών άκρων των νευρώνων. Σε άλλους νευρώνες, η αποπόλωση στο κατώφλι προέρχεται είτε εξαιτίας ενός βαθμωτού δυναμικού που δημιουργείται από ένα συναπτικό ερέθισμα στο νευρώνα είτε εξαιτίας αυθόρμητης αλλαγής στο δυναμικό της μεμβράνης, γνωστό ως δυναμικό βηματοδότη (pacemaker potential) που είναι εγγενής ιδιότητα συγκεκριμένων νευρώνων.

Αφού δημιουργηθεί ένα ενεργό δυναμικό δεν διαδίδεται από μόνο του κατά μήκος της μεμβράνης. Αντίθετα, κάθε δυναμικό δράσης ενεργοποιεί, μέσω δημιουργίας ενός τοπικού ρεύματος, ένα άλλο σε γειτονική περιοχή της μεμβράνης. Η τοπική ροή ρεύματος είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να αποπολώσει τη γειτονική περιοχή στο δυναμικό κατωφλίου και να επικρατήσει ο κύκλος θετικής ανάδρασης του νατρίου και έτσι να δημιουργηθεί ένα νέο ενεργό δυναμικό σε αυτή τη θέση.

Το νέο ενεργό δυναμικό είναι θεωρητικά ταυτόσημο με αυτό που το προξένησε και παράγει τοπικά ρεύματα, τα οποία αποπολώνουν την περιοχή γύρω από αυτό και δημιουργούν ένα ακόμα ενεργό δυναμικό στη γειτονική περιοχή γεγονός που συνεχίζεται κατά μήκος της μεμβράνης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται και το ενεργό δυναμικό που φτάνει στο άκρο της μεμβράνης είναι ίδιο σε σχήμα με το αρχικό. Έτσι, τα ενεργά δυναμικά δεν εξασθενούν κατά τη διάδοση όπως συμβαίνει με τα βαθμωτά.

Επίσης, λόγω των τοπικών ρευμάτων, ρέει φορτίο και προς την αρχική θέση διέγερσης από τις νέες διεγερόμενες γειτονικές περιοχές. Όμως, οι περιοχές της μεμβράνης που έχουν μόλις δεχτεί ένα ενεργό δυναμικό είναι ανενεργές και δεν μπορούν να δεχτούν και άλλο. Επομένως, η μόνη διεύθυνση διάδοσης είναι μακριά από τη περιοχή της μεμβράνης, η οποία έχει πρόσφατα υποστεί ενεργό δυναμικό.

Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το ενεργό δυναμικό κατά μήκος μιας μεμβράνης εξαρτάται από τη διάμετρο της ίνας και από το εάν η ίνα έχει θήκη μυελίνης [Δ04, FGM09]. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της ίνας, τόσο γρηγορότερη είναι η διάδοση του ενεργού δυναμικού, καθώς η ίνα χαρακτηρίζεται από μικρότερη αντίσταση σε τοπικά ρεύματα και γειτονικές περιοχές της μεμβράνης αποκτούν ταχύτερα την τιμή κατωφλίου. Επιπλέον, η μυελίνη, η λιπώδης ουσία που περιβάλλει τους άξονες ορισμένων νευρώνων, είναι ένας μονωτής που καθιστά πιο δύσκολη τη ροή του φορτίου ανάμεσα στα τμήματα του ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου υγρού. Τα ενεργά δυναμικά δεν υφίστανται κατά μήκος των τμημάτων με περίβλημα μυελίνης παρά μόνο όταν αυτό διακόπτεται στους κόμβους του Ranvier. Έτσι, το ενεργό δυναμικό, καθώς διαδίδεται κατά μήκος μιας ίνας με περίβλημα μυελίνης, αναπηδά από τον ένα κόμβο στον επόμενο. Αυτή η μέθοδος διάδοσης ονομάζεται διάδοση με άλματα και είναι ταχύτερη εξαιτίας του ότι λιγότερο φορτίο διαρρέει προς τα έξω, μέσω του τμήματος της μεμβράνης που έχει περίβλημα, σε σχέση με τη διάδοση σε ίνες με την ίδια διάμετρο άξονα που δεν διαθέτουν μυελίνη [Δ04]. Συνεπώς, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή φτάνει περισσότερο φορτίο στον κόμβο, που είναι γειτονικός στον ενεργό κόμβο, και υφίσταται ένα ενεργό δυναμικό συντομότερα.

1.4 Λειτουργία του Ηλεκτροεγκεφαλογράφου

Η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου (ΗΕΓ) βασίζεται στην καταγραφή των διαφορών δυναμικού μεταξύ δύο σημείων του εγκεφάλου, οι οποίες παρουσιάζονται στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του ανθρώπινου κρανίου [K03]. Το αποτέλεσμα της καταγραφής είναι γνωστό ως ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) και αναπαριστά τα σήματα που προκύπτουν από την ηλεκτρική δραστηριότητα ενός μεγάλου αριθμού φλοιϊκών πυραμοειδών νευρώνων που διατάσσονται σε ακτινωτές (προσανατολισμένες προς τα έξω) στήλες [FGM09].

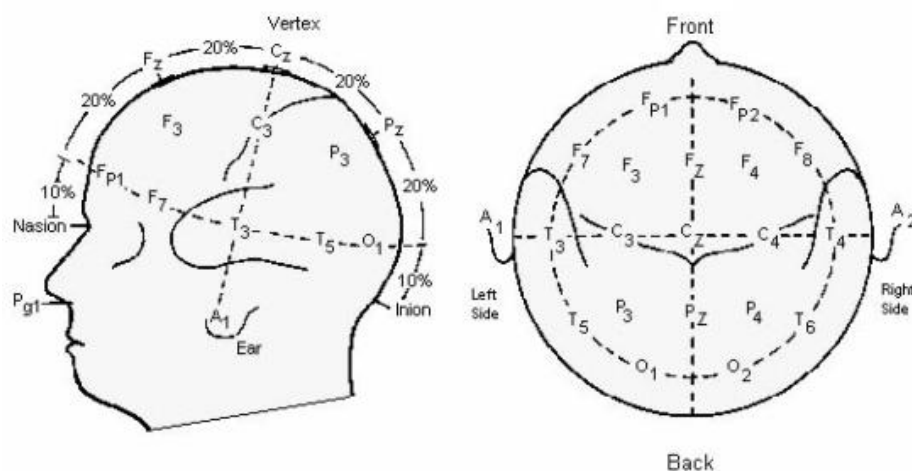
Τα μετρούμενα ηλεκτρικά σήματα είναι αρκετά ασθενή, της τάξεως των 1μV έως 100μV. Έτσι, ανακύπτει η απαίτηση της όσο το δυνατόν καλύτερης ενίσχυσης των υπό εξέταση

σημάτων καθώς και της πυκνότερης κάλυψης του κεφαλιού με απαγωγά ηλεκτρόδια. Υψηλής πυκνότητας συστήματα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα αποτελούνται από 65 ως 256 ηλεκτρόδια [S07].

Το πρώτο στάδιο στην εξαγωγή των σημάτων είναι η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο δέρμα της κεφαλής, αφού πρώτα αφαιρεθούν οι λιπαρές ουσίες από την περιοχή και εφαρμοστεί ένα αγώγιμο υλικό (gel) ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν η αντίσταση επαφής. Το ηλεκτρόδιο έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με το αγώγιμο υλικό και έτσι διεξάγεται κίνηση ιόντων από το δέρμα σε αυτό, μέχρι να επέλθει ισορροπία. Η ισορροπία αυτή εξαρτάται από την ιοντική συγκέντρωση που υπάρχει και στις δύο πλευρές. Τελικά, δημιουργούνται δύο φορτισμένα στρώματα, ένα στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου και ένα πάνω στις υγρές ουσίες γύρω από αυτό, εμφανίζοντας μια διαφορά δυναμικού που εμποδίζει τη συνέχιση της κίνησης των ιόντων, αλλά συγχρόνως είναι ευαίσθητη στις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ιόντων. Όταν υπάρξει ένα εγκεφαλικό σήμα, δηλαδή ροή ιόντων, θα προκαλέσει μεταβολή της ιοντικής συγκέντρωσης και ακολούθως μεταβολή της διαφοράς δυναμικού στο σημείο επαφής μεταξύ του δέρματος και του ηλεκτροδίου. Είναι σημαντικό η διαφορά δυναμικού να επηρεάζεται μόνο από τα ιοντικά ρεύματα που προκαλούνται από εγκεφαλικά σήματα και όχι από παράγοντες, όπως, οι θερμοκρασιακές μεταβολές ή οι μηχανικές μετακινήσεις των ηλεκτροδίων. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ηλεκτροδίων αποτελούμενα από το συνδυασμό ενός μετάλλου με το αντίστοιχο άλας του, ώστε τα ιόντα της περιοχής επαφής του ηλεκτροδίου να έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια κινήσεων. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια που κατασκευάζονται από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) ενώ το αγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται περιέχει κυρίως ανιόντα χλωρίου (Cl⁻). [K03, B02, N07]

Για την επιλογή των θέσεων του κάθε ηλεκτροδίου πάνω στο κεφάλι έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα, με επικρατέστερο το Διεθνές Σύστημα Τοποθέτησης των Ηλεκτροδίων «10-20», όπως αυτό ορίστηκε από τον Jasper (Σχήμα 1.9). Η ονομασία του συστήματος οφείλεται στην επιλογή του 20% της αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών ως την απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια και στην επιλογή του 10% της αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών ως την απόσταση από το αυτί στο κοντινότερο προς αυτό ηλεκτρόδιο. Κατ' αυτό τον τρόπο η διάταξη των ηλεκτροδίων είναι σταθερή και ανταποκρίνεται στα διάφορα μεγέθη του κρανίου. Η θέση του ηλεκτροδίου συμβολίζεται με ένα γράμμα και έναν αριθμό ενώ καθένα από αυτά επιτρέπει την καταγραφή της δραστηριότητας σε μια φλοιϊκή επιφάνεια της τάξης των 6cm² [FGMO9].

Η πραγματική καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος γίνεται από όλες τις θέσεις ταυτόχρονα. Το κάθε σήμα, το οποίο ενισχύεται και φιλτράρεται στον ΗΕΓ, είναι η διαφορά των δυναμικών που παρουσιάζουν κάθε στιγμή δύο ηλεκτρόδια μεταξύ τους και απεικονίζονται ως ξεχωριστή κυματομορφή. Τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται πάνω από εγκεφαλικές περιοχές, οι οποίες ενδεχομένως θα παρουσιάζουν εγκεφαλική δραστηριότητα, λέγεται ότι αντιστοιχούν σε ενεργά σημεία. Αντίθετα, ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε περιοχές που θεωρείται ότι δεν έχουν σχέση με την εγκεφαλική λειτουργία, λέγεται ότι αντιστοιχούν σε ανενεργά σημεία, όπως για παράδειγμα το αυτί. Το ηλεκτρόδιο ανενεργής περιοχής είναι κοινό για όλες τις μετρήσεις και αποτελεί το σημείο αναφοράς, το οποίο δεν θα πρέπει να επηρεάζεται από εγκεφαλικά ρεύματα.



Σχήμα 1.9: Τυποποιημένες απαγωγές στην επιφάνεια του κεφαλιού σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20. C κεντρική, F μετωπιαία, Fp πρόσθια μετωπιαία, O ινιακή, P βρεγματική, T κροταφική περιοχή και Z μέση γραμμή. A1, A2 ηλεκτρόδια αναφοράς.

1.5 Ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα (EEG σήμα)

Τα EEG σήματα είναι συνεχή και χαρακτηρίζονται από ρυθμικότητα χωρίς, βέβαια, να επαναλαμβάνονται ακριβώς από κύκλο σε κύκλο. Από μαθηματικής πλευράς, αποτελούν τιμές μιας στοχαστικής ανέλιξης, δηλαδή μιας συνάρτησης με απρόβλεπτη εξέλιξη στο χρόνο που όμως συμπεριφέρεται με στατιστική ομαλότητα. Ωστόσο, τα στοχαστικά φαινόμενα κατά τη χρονική τους εξέλιξη οφείλουν να διατηρούν μια σταθερή κατανομή φασματικής ισχύος, πράγμα το οποίο δεν φαίνεται να ισχύει με την EEG δραστηριότητα. Η διαπίστωση αυτή αποτελεί σοβαρό εμπόδιο στην μελέτη των EEG σημάτων διότι η EEG δραστηριότητα υπακούει στο Κεντρικό Θεώρημα της στατιστικής, το οποίο ορίζει ότι η συνισταμένη ενός μεγάλου αριθμού επιμέρους διαδικασιών ανεξάρτητα από την κατανομή που ακολουθεί κάθε μία από αυτές, ακολουθεί την κανονική κατανομή [N07].

Σε ένα EEG σήμα περιέχονται συγκεκριμένες κυματομορφές, που καλούνται ρυθμοί, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι οι συχνότητες των αρμονικών από τις οποίες αποτελούνται, δηλαδή το φασματικό τους περιεχόμενο. Οι κυριότεροι ρυθμοί είναι οι άλφα, βήτα, θήτα και δέλτα, οι συχνότητες και τα συνήθη πλάτη των οποίων δίνονται στον Πίνακα 1.1, ενώ οι κυματομορφές αυτών παρουσιάζονται Σχήμα 1.10.

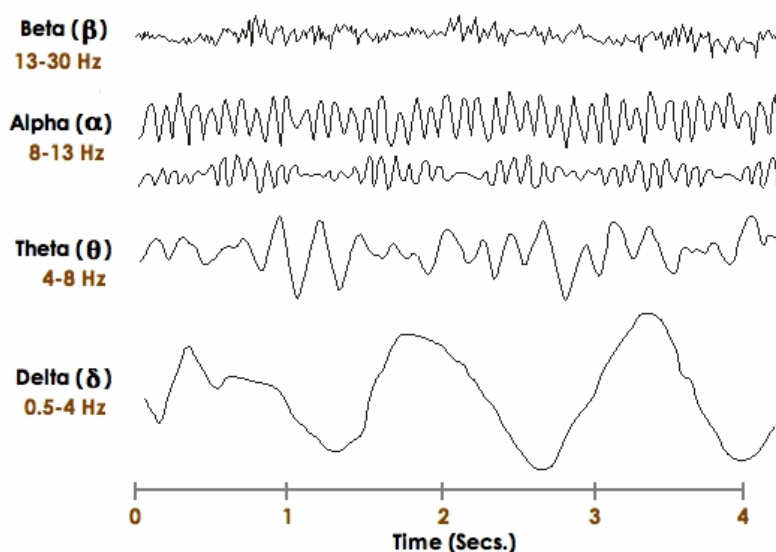
Ρυθμός	Περιοχή Συχνοτήτων (Hz)	Πλάτος (μV)
Δέλτα	0.5 - 3.5	Έως 100 - 200
Θήτα	4 - 7.5	< 30
Άλφα	8 - 12	30 - 50
Αργός Βήτα	13 - 19	< 20
Ταχύς Βήτα	20 - 30	< 20

Πίνακας 1.1: Ρυθμοί EEG.

Η εμφάνιση των ρυθμών έχει συνδυαστεί με διάφορα επίπεδα εγρήγορσης, χαλάρωσης, ύπνου κλπ. Ο ρυθμός άλφα, για παράδειγμα, εμφανίζεται σε περίπου 75% των ενηλίκων. Σε φάση χαλάρωσης και με τους οφθαλμούς κλειστούς παρατηρείται, κυρίως στην βρεγματοϊνιακή περιοχή, ο ρυθμός α με συχνότητα 8-14Hz [FGM09]. Το κλείσιμο των ματιών προκαλεί μείωση του ρυθμού α , ενώ το άνοιγμα αύξηση αυτού. Ακόμα, μείωση της δραστηριότητας α έχει συσχετισθεί με αισθητηριακό ερεθισμό ή πνευματική δραστηριότητα. Ο ρυθμός αυτός πήρε το όνομα α γιατί ήταν ο πρώτος που μελετήθηκε, ήδη από τον H. Berger και υποστηρίζεται ότι αντικατοπτρίζει αυξημένα επίπεδα διεγερσιμότητας στους νευρώνες φλοιϊκών εγκεφαλικών περιοχών που συνδέονται με τη μεταφορά πληροφοριών στα θαλαμο-φλοιϊκά νευρωνικά κυκλώματα που υπηρετούν και εκφράζουν την λειτουργική μνήμη και τα εγγράμματα μνήμης μακράς διάρκειας [K03, N07].

Ο ρυθμός β , ο δεύτερος ο οποίος μελετήθηκε, είναι ο κυρίαρχος ρυθμός που εμφανίζεται κατά τη φάση πλήρους εγρήγορσης ενός φυσιολογικού ατόμου. Καταγράφεται στις πρόσθιες περιοχές του εγκεφάλου με συχνότητα πάνω από 13-30Hz και έχει συσχετισθεί με την κινητοποίηση φλοιο-φλοιϊκών νευρωνικών κυκλωμάτων που ελέγχουν τον συγχρονισμό των μηχανισμών της προσοχής κατά την επιτέλεση της λειτουργίας της «αίσθησης» [FGM09, N07]. Επειδή ο ρυθμός αυτός καταλαμβάνει μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων χωρίζεται σε αργό βήτα και ταχύ βήτα.

Η συχνότητα δέλτα συσχετίζεται με τον ύπνο στον φυσιολογικό άνθρωπο και είναι ο κυριότερος ρυθμός που εμφανίζεται στα νεογέννητα μέχρι το δεύτερο έτος ηλικίας. Αντίθετα, ο ρυθμός θήτα φαίνεται να συνδέεται με μηχανισμούς καταστολής, είτε στην είσοδο σε φάση χαλάρωσης, είτε σε συνδυασμό με τον β ρυθμό σε φάσεις αυξημένης προσοχής και θεωρείται δείκτης της φλοιο-ιπποκάμπειας επικοινωνίας που συναρτάται με τον προσανατολισμό των συντεταγμένων απαντήσεων στις διάφορες φάσεις της εγρήγορσης και «επιφυλακής» [N07]. Τέλος, οι ρυθμοί θ και δ θεωρούνται παθολογικοί και, συνήθως, υποδηλώνουν την οργανική εγκεφαλική βλάβη αν και η εμφάνισή τους δεν αποτελεί πάντα καθοριστικό παράγοντα της οργανικότητας γιατί σε ορισμένες καταστάσεις είναι φυσιολογικό εύρημα.



Σχήμα 2.10: Οι κυματομορφές των ρυθμών.

1.6 Βιοματικά δυναμικά (Event Related Potentials - ERPs)

Τα Βιοματικά Δυναμικά (ERPs) είναι τα δυναμικά που καταγράφονται στη δερματική επιφάνεια του εγκεφάλου και προκαλούνται ως προετοιμασία ή ως απόκριση σε συγκεκριμένο ερέθισμα, που συμβαίνει είτε στον εξωτερικό κόσμο είτε λαμβάνει χώρα ως ψυχολογική διαδικασία. Διακρίνονται σε Προκλητά Δυναμικά – Π.Δ. (Evoked Potentials), όταν το ερέθισμα προέρχεται από τον εξωτερικό κόσμο, και σε Εκπεμπόμενα Δυναμικά (Emitted Potentials), όταν σχετίζονται με μια ψυχολογική διαδικασία.

Τα προκλητά δυναμικά είναι αυτά που μπορούν να μελετηθούν μέσω πειραματικών διαδικασιών και για το λόγο πολλές φορές συγχέονται με τον γενικό όρο ERPs. Η βασική αρχή αυτών συνίσταται στο γεγονός ότι το εξωτερικό αισθητικό ερέθισμα που εφαρμόζεται από ειδικούς διεγέρτες (stimulators), αφού περάσει από υποφλοιώδεις σχηματισμούς, καταλήγει στην αντίστοιχη περιοχή αντίληψης του αισθητικού φλοιού του εγκεφάλου [T08]. Η πορεία του ερεθίσματος αυτού από την περιφέρεια προς το φλοιό καταγράφεται ως κυματομορφή.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των προκλητών δυναμικών σε σχέση με τις άλλες μεθόδους απεικόνισης της νευρωνικής δραστηριότητας είναι ότι οι καταγραφές της συγκεκριμένης δραστηριότητας πραγματοποιούνται σε εύρος χρόνου που κυμαίνεται από χιλιοστά του δευτερολέπτου έως δευτερόλεπτα. Έτσι, παρέχεται μια πλήρη αξιολόγηση πραγματικού χρόνου στη νευρωνική δραστηριότητα που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των γνωστικών διεργασιών [B02].

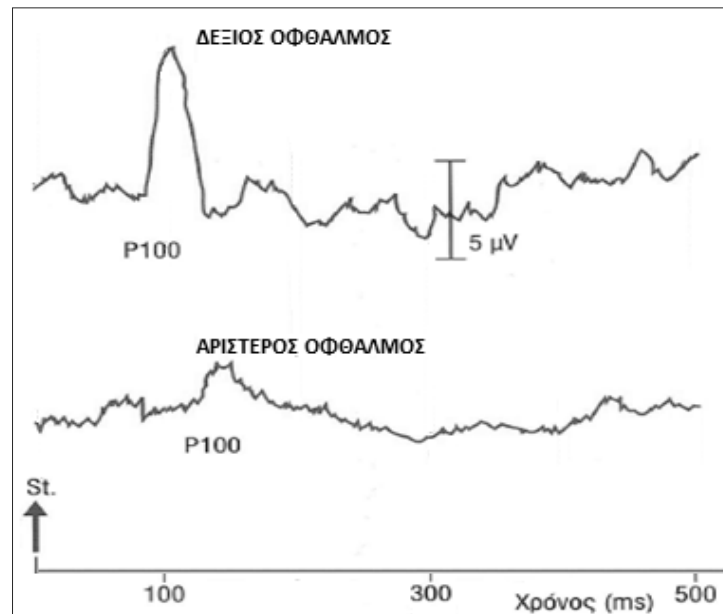
1.6.1 Διάκριση προκλητών δυναμικών

Τα προκλητά δυναμικά διαχωρίζονται σε δύο ομάδες, τα εξωγενή ή αισθητηριακά και τα ενδογενή ή γνωστικά προκλητά δυναμικά. Τα εξωγενή σχετίζονται με τη φύση του εκλυτικού ερεθίσματος (ένταση, συχνότητα κλπ.) καθώς και με την ακεραιότητα των αισθητικών οδών. Τα ενδογενή Π.Δ. εξαρτώνται από την ψυχολογική κατάσταση του ατόμου και τα ψυχολογικά γνωρίσματα του απλού ή σύμπλοκου ερεθίσματος όπως, για παράδειγμα, αν το ερέθισμα είναι γνωστό ή άγνωστο, αν προκαλεί δυσφορία ή ευχαρίστηση κ.τ.λ.

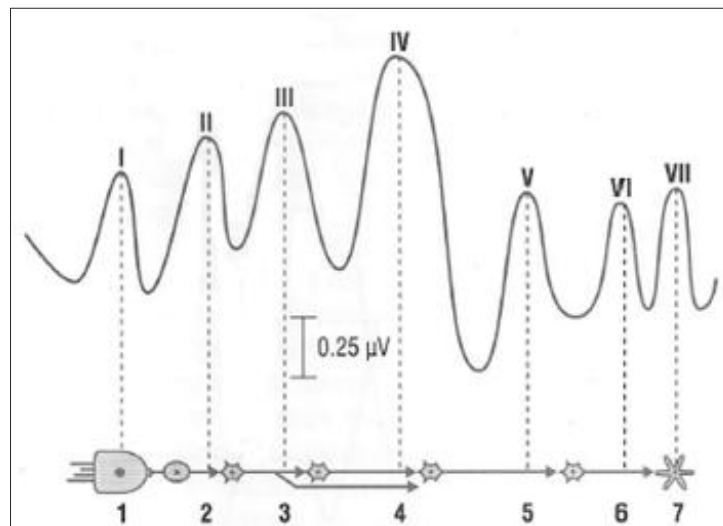
Τα εξωγενή προκλητά δυναμικά, ανάλογα με το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος που τα προκαλεί διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες [K03, FGMO9, T09]:

- Οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials - VEPs): Τα οπτικά Π.Δ. (Σχήμα 1.11) είναι μια σειρά ηλεκτρικών αποκρίσεων που προκαλούνται από οπτικό ερεθισμό, όπως γρήγορα και διάχυτα φωτεινά ερεθίσματα (flash) ή εναλλασσόμενες φωτοσκιάσεις (άσπρο – μαύρο) με τη μορφή τετραγωνιδίων.
- Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Auditory Evoked Potentials – AEPs): Τα ακουστικά Π.Δ. (Σχήμα 1.12). προκαλούνται από ακουστικό ερεθισμό, δηλαδή ήχους, τόνους διαφόρων συχνοτήτων και έντασης, λέξεις και αποτελούν νευροφυσιολογική μέθοδο μελέτης της λειτουργίας της ακοής και της ακεραιότητας της ακουστικής οδού στο εγκεφαλικό στέλεχος.
- Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (Somatosensory Evoked Potentials – SEPs): Τα δυναμικά αυτά (Σχήμα 1.13) αποτελούν μια αντικειμενική μη

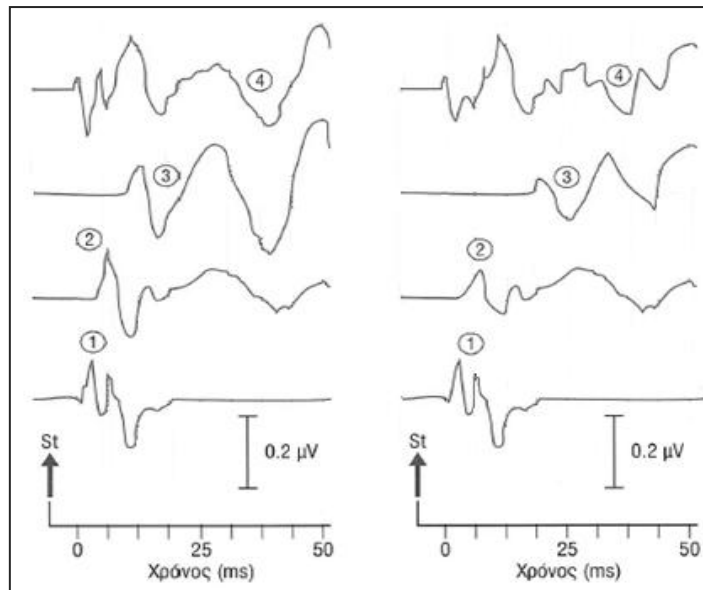
παρεμβατική μέθοδο εκτίμησης των σωματοαισθητικών οδών του ΚΝΣ και του ΠΝΣ. Προκαλούνται όταν ένα ρεύμα μικρής διάρκειας και έντασης ερεθίσει κάποιο συγκεκριμένο περιφερικό νεύρο και καταγράφονται σε επιφανειακά σημεία διατεταγμένα σε σειρά από το σημείο διέγερσης του νεύρου έως τον ετερόπλευρο σωματοαισθητικό φλοιό. Επιπλέον, το ποσοστό και το εύρος της αγωγής της νευρικής ώσης παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση των εμμέλων νευρικών ινών τόσο των περιφερικών νεύρων όσο και των κεντρικών οδών.



Σχήμα 3.11: Οπτικά ακουστικά προκλητά δυναμικά.



Σχήμα 4.12: Ακουστικά προκλητά δυναμικά του κοχλίου. Κύματα I-II-III-IV-V. Οι πηγές των προκλητών δυναμικών είναι: 1. Τα τριχωτά κύτταρα του κοχλίου, 2. Το κοχλιακό νεύρο, 3. Ο κοχλιακός πυρήνας, 4. Ο έξω λημνίσκος, 5. Το κάτω διδύμιο, 6. Το έσω γονατώδες σώμα, 7. Ο πρωτογενής ακουστικός φλοιός.



Σχήμα 5.13: Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά βραχέος λανθάνοντος χρόνου όπως καταγράφηκαν από τη διέγερση (St) του μέσου νεύρου στον καρπό.

Τα ενδογενή προκλητά δυναμικά είναι μια ακολουθία από θετικές και αρνητικές κυματομορφές, οι οποίες δημιουργούνται πάνω από το εγκεφαλικό στέλεχος και παρουσιάζουν μια ευρεία διασπορά στην κεφαλή. Γενικά, θεωρείται ότι αντανακλούν τη δραστηριότητα του θαλάμου και του φλοιού του εγκεφάλου. Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας των προκλητών δυναμικών είναι ότι επηρεάζονται λιγότερο από τα φυσικά χαρακτηριστικά του ερεθίσματος και περισσότερο από την προσοχή του ατόμου που στρέφεται προς το ερέθισμα ή από μια συγκεκριμένη γνωστική διαδικασία που συνδέεται με το ερέθισμα ή την αλλαγή του ερεθίσματος [B02].

Επιπλέον, μια σημαντική παράμετρος βάσει της οποίας μπορούν να διαχωριστούν τα Π.Δ. είναι ο λανθάνων χρόνος (latency), δηλαδή ο χρόνος εμφάνισης αυτών μετά από το εκλυτικό γεγονός. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των ΑΕΡ γίνεται η διάκριση σε πρώιμα (2 - 12msec από τη στιγμή του ερεθίσματος), μέσα (12 - 50msec) και αργά ή ύστερα δυναμικά (50 - 800msec). Όσο αυξάνεται ο λανθάνων χρόνος παρατηρείται μείωση της συχνότητας των κυματομορφών και αύξηση του πλάτους αυτών. Ακόμα, στα πρώιμα δυναμικά σημειώνονται πλάτη της τάξης του 0.1 – 0.5μV και συχνότητας 100 - 1000Hz ενώ στα ύστερα δυναμικά τα πλάτη κυμαίνονται από 1 ως 20μV και οι συχνότητες στο διάστημα 0.1 – 5Hz. Τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στον τόπο έκλυσης των αντίστοιχων δυναμικών. Τέλος ο λανθάνων χρόνος εμφάνισης των ενδογενών δυναμικών βρίσκεται μεταξύ 100 και 500msec.

1.6.2 Μέθοδοι απομόνωσης των προκλητών δυναμικών από το συνολικό EEG σήμα

Η δυσκολία στη μέτρηση των ERPs έγκειται στο χαμηλό εύρος τους (0.1 ως 20 μV), το οποίο τα καθιστά μη ανιχνεύσιμα σε σχέση με τα σήματα που μετρώνται κατά τη διάρκεια μιας κοινής ηλεκτροεγκεφαλογραφικής μέτρησης και έχουν ένα μέσο όρο πλάτους 50μV. Πλεονέκτημα αποτελεί η ρυθμικότητα της απόκρισης σε

επαναλαμβανόμενο ερέθισμα του ίδιου τύπου, η οποία συμβάλει στη μέτρηση των επαρμάτων [FGM09].

Η καταγραφή των προκλητών δυναμικών γίνεται με την ίδια αρχική διάταξη που χρησιμοποιείται στον ΗΕΓ. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων λειτουργούν, εκτός των εγκεφαλικών περιοχών που δέχονται και επεξεργάζονται το ερέθισμα, και όλες οι υπόλοιπες περιοχές που ελέγχουν τη γενικότερη λειτουργία του οργανισμού. Έτσι, το επιθυμητό σήμα είναι «βυθισμένο» μέσα στο συνολικό σήμα που καταγράφεται στον ΗΕΓ. Το τμήμα της διαφοράς δυναμικού που δεν σχετίζεται με το εκλυτικό γεγονός αποτελεί ανεπιθύμητο θόρυβο και αντιστοιχεί στη μέτρηση του EEG αν δεν υπήρχε το ερέθισμα. Η μέτρηση αυτή καλείται «συμβατικό» ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ή απλά EEG [S09]. Αφού το συμβατικό EEG είναι ισχυρότερο του επιθυμητού σήματος των προκλητών δυναμικών, η μέτρηση τους καθίσταται προβληματική. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιούνται οι εξής τεχνικές [K03]:

1. Η μέτρηση των σημάτων γίνεται σε χώρο όσο το δυνατόν καλύτερα προστατευμένο από εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία. Τέτοια πεδία είναι αυτά που δημιουργούνται από διάφορους κινητήρες, γραμμές μεταφοράς κ.α. Στην καλύτερη περίπτωση η μέτρηση γίνεται σε ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένο δωμάτιο (κλωβός Faraday).
2. Εξαγωγή του μέσου όρου: Το προτυποποιημένο πείραμα, κατά τη διάρκεια του οποίου χορηγείται το εκλυτικό γεγονός, επαναλαμβάνεται αρκετές φορές και το συνολικό σήμα ($S(t)$) που μετράται μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα, το επιθυμητό σήμα $ERP(t)$ και το θόρυβο $N(t)$.

Επομένως, είναι $S_i(t) = ERP_i(t) + N_i(t)$, όπου $i = 1$ ως N (N ο αριθμός των επαναλήψεων), και ο μέσος όρος των σημάτων αυτών προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{Mean} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i(t)}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N ERP_i(t)}{N} + \frac{\sum_{i=1}^N N_i(t)}{N}$$

Υποθέτοντας ότι κάθε φορά το ERP αναπαράγεται πανομοιότυπα ενώ ο θόρυβος, που δεν σχετίζεται με το εκλυτικό γεγονός, αποτελεί μια τυχαία ασυσχέτιστη διαδικασία με μηδενική μέση τιμή είναι εφικτό το επιθυμητό σήμα να «αναδυθεί» από το θόρυβο.

Η μέθοδος του μέσου όρου εφαρμόζεται ευρύτατα, παρουσιάζει όμως κάποια μειονεκτήματα καθώς μεταβολές στο επίπεδο της κόπωσης, της προσαρμογής, της εξοικείωσης, του βαθμού ή της κατεύθυνσης της προσοχής τους εξεταζόμενου επηρεάζουν τα ERPs τόσο στην ένταση όσο και στο χρόνο. Έτσι, υπάρχει περιορισμός στον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων του πειράματος και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν ο χρόνος μεταξύ των πειραμάτων είναι μικρός και ο θόρυβος εμφανίζει μεγάλη συσχέτιση. Τότε, ο θόρυβος έχει φασματική κατανομή ισχύος γύρω από κάποιο περιορισμένο εύρος συχνοτήτων, κοντά στις συχνότητες του ERP και λόγω της υψηλής συσχέτισης του θορύβου, με τη διαδικασία εξαγωγής του μέσου όρου, αυτός ενισχύεται αντί να μειωθεί. Για την αποφυγή του ανεπιθύμητου αυτού φαινομένου τα σήματα των αλληπάλληλων πειραμάτων χρονίζονται απεριοδικά.

Ακόμη και αν το πρότυπο του σταθερού σήματος και του ασυσχέτιστου θορύβου ισχύει, προβλήματα μπορεί να προκύψουν όταν το επιθυμητό σήμα διαφέρει ως προς

τη χρονική του εξέλιξη από μέτρηση σε μέτρηση. Τότε το σήμα που υπολογίζεται από το μέσο όρο, έχει απολέσει μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας σχετικά με το προκλητό δυναμικό, ως προς τις κορυφώσεις κυρίως. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται τεχνικές, οι οποίες προσεγγίζουν σε κάθε καμπύλη δυναμικού το χρονικό διάστημα το οποίο καταλαμβάνει το επιθυμητό σήμα. Έπειτα, οι καμπύλες μετατοπίζονται χρονικά ώστε το δυναμικό που μελετάται να συμπίπτει κατά το δυνατόν σε όλες, οπότε ο μέσος όρος θα περιέχει τη μέγιστη δυνατή πληροφορία.

1.6.3 Στοιχεία των προκλητών δυναμικών

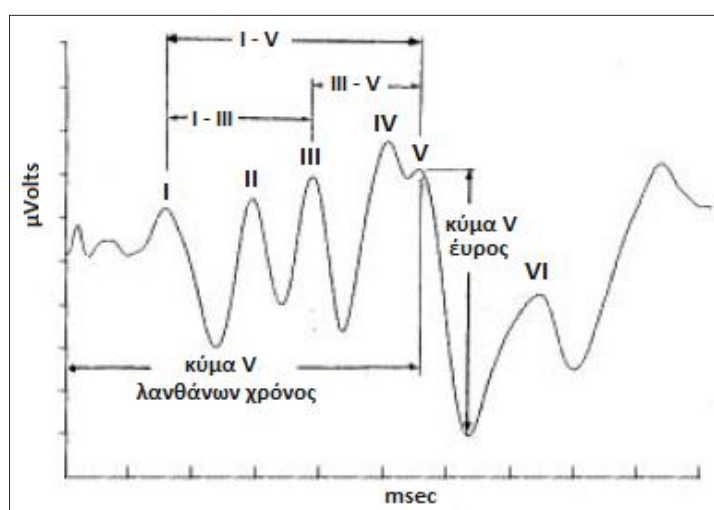
Η μελέτη των κυματομορφών των ERPs διεξάγεται στηριζόμενη στα συστατικά (components) του βιωματικού κύματος δυναμικού. Τα συστατικά είναι μερικές κυματομορφές (τμήματα) του συνολικού σήματος που καθορίζονται βάσει κορυφώσεων (θετικών ή αρνητικών) του πλάτους του δυναμικού, της χρονικής στιγμής όπου παρατηρείται, προσεγγιστικά, η κορύφωση καθώς και του χρονικού εύρους που καταλαμβάνει η μερική κυματομορφή στη συγκεκριμένη κορύφωση. Το πλάτος του συστατικού συνήθως μετράται με αναφορά την ισοηλεκτρική γραμμή (0Volts) ή το επίπεδο του δυναμικού στην έναρξη της διαδικασίας μέτρησης ή κάποια άλλη προγενέστερη κορύφωση ενώ οι χρόνοι, ως συνήθως, εκφράζονται με απαρχή τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα το εκλυτικό ερέθισμα. Ακόμα, το εμβαδόν που περικλείεται από τη γραμμή αναφοράς του δυναμικού και τη μερική κυματομορφή δυναμικού του συστατικού παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως όταν δεν υπάρχει κάποια σαφώς διαχωρισμένη κορύφωση, αλλά ένα μάλλον συνεχές «προφίλ» συγκεκριμένης πολικότητας με οριοθετημένα χρονικά όρια (Σχήμα 1.14). [Κ03]



Σχήμα 6.14: Σχηματική αναπαράσταση του πλάτους, του χρονικού σημείου κορύφωσης και του εμβαδού ενός συστατικού του ERP.

Στην περίπτωση των ακουστικών προκλητών δυναμικών έχουν χαρακτηριστεί οι μερικές κυματομορφές ως εξής [K03]:

1. Για τα πρώιμα δυναμικά, 2-12msec από τη στιγμή που λαμβάνει χώρα το ακουστικό ερέθισμα, εμφανίζονται επτά διαδοχικές κορυφώσεις αριθμούμενες από το I ως το VII (Σχήμα 1.15).
2. Για τα μέσου χρόνου δυναμικά (12-50msec) υπάρχουν τα συστατικά N_o , P_o , N_a , P_a , N_b . Οι κορυφώσεις N_o , P_o λαμβάνουν χώρα πριν τα 20 msec οι δε N_a , P_a , N_b περίπου στα 20, 30 και 40 msec αντίστοιχα.
3. Για τα ύστερα δυναμικά (50msec και πέρα) αναφέρονται τα συστατικά N_{100} , P_{200} , N_{200} , P_{300} , N_{400} , όπου N ή P σημαίνει αρνητική ή θετική κορύφωση και ο δείκτης αναφέρεται στον λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης, κατά προσέγγιση, του μεγίστου, σε msec.



Σχήμα 7.15: Φυσιολογικά ακουστικά προκλητά δυναμικά όπου διακρίνονται οι κορυφώσεις I, II, III, IV, V, VI.

Τα συστατικά που εμφανίζονται πριν από τα 100msec συνήθως ανήκουν στα εξωγενή δυναμικά, για κάθε είδους ερεθισμό που προκαλεί το προκλητό δυναμικό. Αντίθετα, τα ενδογενή δυναμικά συμπίπτουν με τα μετρούμενα δυναμικά πέραν των 70msec και έχουν σχέση με τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των εξωτερικών ερεθισμάτων στο ΚΝΣ.

Στη συνέχεια παρατίθενται αναλυτικά οι σημαντικότερες για την ιατρική έρευνα μερικές κυματομορφές των προκλητών δυναμικών (Σχήμα 1.16) [K03, N07, B02]:

P_{50} : Πρόκειται για τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που παρατηρείται στο χρονικό παράθυρο 20 ως 80msec μετά το εκλυτικό ερέθισμα και θεωρείται δείκτης πρώιμων πτυχών προσοχής.

N_{100} : Αντιστοιχεί στην αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 90 ως 150 msec μετά την εμφάνιση του ερεθίσματος. Οι περισσότερες εργασίες τείνουν στην παραδοχή ότι η κυματομορφή N_{100} παράγεται στον θalamo – φλοιϊκό σύστημα και αντικατοπτρίζει την άμεση κινητοποίηση του ειδικού αισθητικού συστήματος λόγω του γεγονότος.

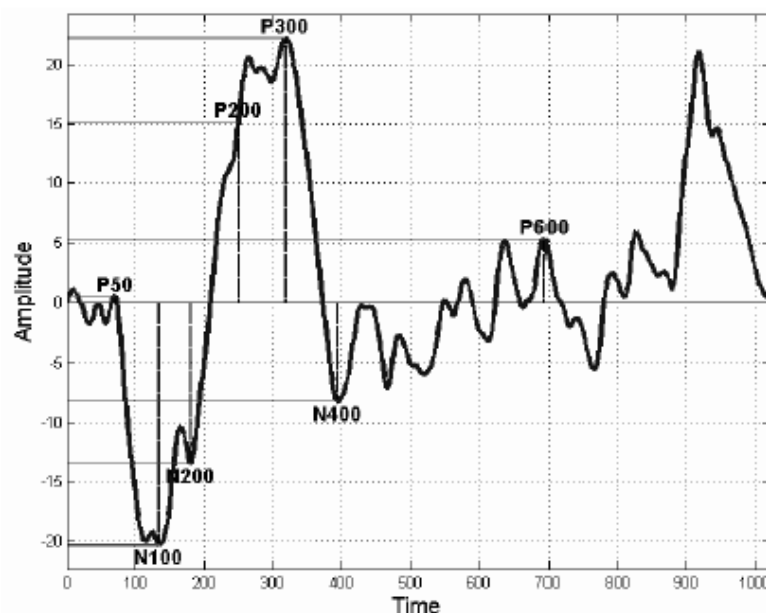
P₂₀₀: Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 140 ως 250 msec μετά το ερέθισμα και αποτελεί ένα μέτρο για την επικέντρωση της προσοχής του ατόμου.

N₂₀₀: Περιγράφει την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού από 180 ως 300msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τις επιδόσεις των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπόκεινται στο φαινόμενο της αντίδρασης του προσανατολισμού σε επίπεδο ΚΝΣ.

P₃₀₀: Πρόκειται για τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 240 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Είναι ένα φλοιώδες μετασυναπτικό προκλητό δυναμικό για τη δημιουργία και τη διαμόρφωση του οποίου ευθύνονται συγκεκριμένες εγκεφαλικές δομές και νευροδιαβιβαστές. Θεωρείται ότι αποτελείται από δύο υποσυστατικά το P_{300a}, που εκφράζει την εκούσια αντίδραση προσανατολισμού, και το P_{300b}, που εμφανίζεται στο χρονικό διάστημα 300 ως 500msec και αποτελεί μέτρο των ελεγχόμενων διαδικασιών επεξεργασίας ερεθισμάτων. Επιπλέον, η κυματομορφή P₃₀₀ φαίνεται να συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την μνήμη και ο λανθάνων χρόνος εμφάνισής της αντανakλά το απαραίτητο χρονικό διάστημα για να πάρει ο εξεταζόμενος μια απόφαση για το ερέθισμα.

N₄₀₀: Αντιστοιχεί στην αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού η οποία συμβαίνει στο διάστημα από 280 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Παρουσιάζεται στο κυρίως στις κεντροβρεγματικές απαγωγές και φανερώνει τη λειτουργία των νευρωνικών κυκλωμάτων που εκφράζουν την «συντακτική» διάσταση της εκάστοτε απάντησης του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. Συμβάλλει στην εξέταση μηχανισμών που σχετίζονται με τη γλώσσα και το εννοιολογικό - συντακτικό της περιεχόμενο. Ακόμα, έχει αποδειχθεί ότι η κυματομορφή N₄₀₀ είναι μεγαλύτερη στο δεξιό ημισφαίριο απ' ότι στο αριστερό.

P₆₀₀: Πρόκειται για τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 500 ως 800 msec μετά το ερέθισμα. Έχει καθιερωθεί ως δείκτης συγχρονισμού σημαντικών και συντακτικών διαστάσεων της απάντησης.



Σχήμα 8.16: Καταγραφή Προκλητών δυναμικών όπου διακρίνονται οι κορυφώσεις P₅₀, N₁₀₀, N₂₀₀, P₂₀₀, P₃₀₀, N₄₀₀ και P₆₀₀.

Κεφάλαιο 2^ο

H/M Ακτινοβολία

& Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wi Fi)

2.1 Εισαγωγή

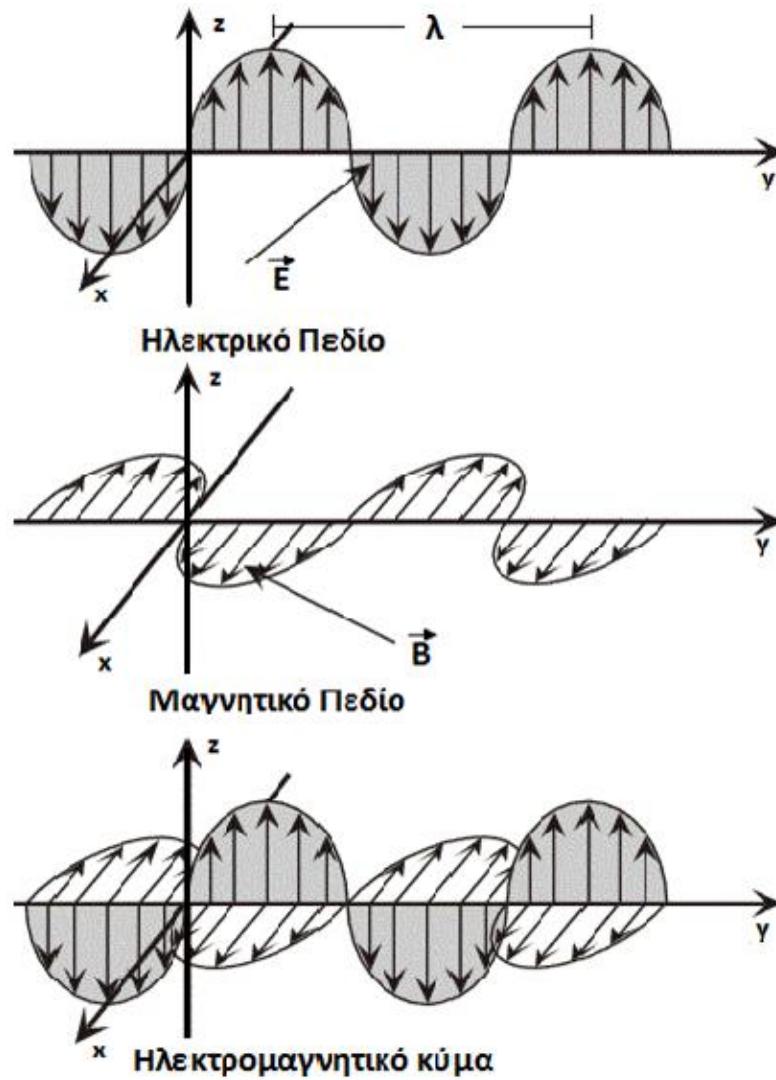
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά σε στοιχεία της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και συγκεκριμένα στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εμφανίζεται στο χώρο υπό τη μορφή κυμάτων. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες ταξινόμησης των ραδιοκυμάτων ανάλογα με το μέσο μετάδοσης, οι μηχανισμοί διάδοσης αυτών καθώς και οι ζώνες συχνοτήτων. Στη συνέχεια, αναλύονται τα IEEE ασύρματα τοπικά δίκτυα 802.11 (WiFi), τα οποία λειτουργούν στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων. Περιγράφονται τα κύρια στοιχεία της αρχιτεκτονικής τους καθώς και οι τοπολογίες στις οποίες εμφανίζονται. Επίσης, αναπτύσσονται τα σημαντικότερα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11 βάσει των οποίων λειτουργεί το WiFi.

2.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κύματα

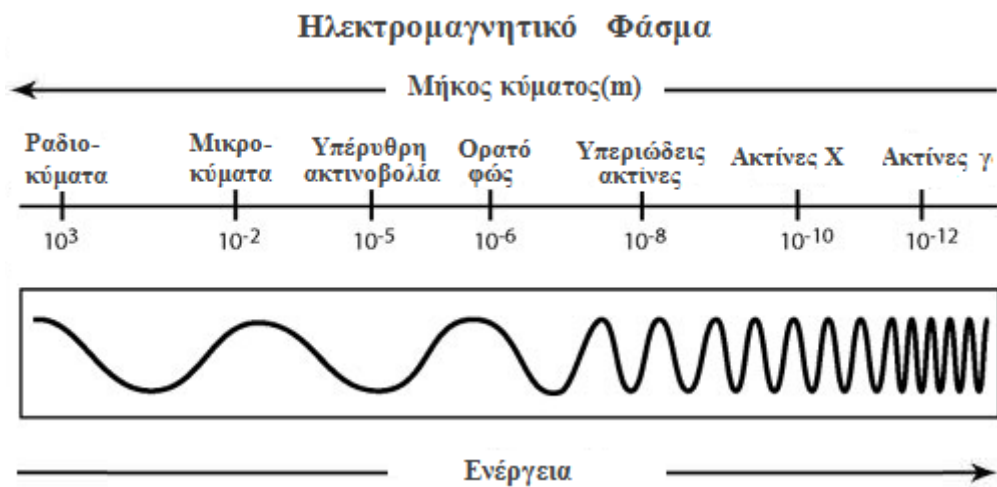
Η θεωρητική θεμελίωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας έγινε το 1873 από τον J. C. Maxwell, ο οποίος ενοποίησε τη θεωρία του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού μέσω μιας ομάδας εξισώσεων γνωστών σαν εξισώσεις Maxwell. Κατά μεγάλο μέρος, οι εξισώσεις αυτές προέκυψαν από πειράματα που εκτελέστηκαν από διάφορους ερευνητές [C01]. Το ηλεκτρικό πεδίο, E , και το μαγνητικό πεδίο, B , είναι διανυσματικά πεδία και σε γενικές γραμμές έχουν πλάτη και διευθύνσεις που μεταβάλλονται με τις τρεις χωρικές συντεταγμένες x , y , z και τη χρονική συντεταγμένη t . Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου είναι το Volt/m και του μαγνητικού το Ampère/m, όπου μαζί με την πυκνότητα ισχύος, που μετράται σε Weber/m², αποτελούν τα τρία φυσικά μεγέθη που περιγράφουν πλήρως την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι εκπομπή στο χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα (electromagnetic waves). Το ηλεκτρομαγνητικό (H/M) κύμα αποτελείται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο, τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους. Η διεύθυνση διάδοσης του κύματος είναι κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζουν οι διευθύνσεις των διανυσμάτων έντασης των δύο συνιστωσών αυτού (Σχήμα 2.1). Ακόμα, ο χώρος στον οποίο διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (Electromagnetic Field – EMF).

Επιπλέον, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων της και αντίστοιχα την ενέργεια που μεταφέρει χωρίζεται σε περιοχές. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθη ακτινοβολία, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα. Όλες οι μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαδίδονται τόσο στον ελεύθερο χώρο, όσο και στην ύλη, ενώ ταξινομημένες κατά αυξανόμενο μήκος κύματος σχηματίζουν το λεγόμενο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Σχήμα 2.2). Ως μήκος κύματος (λ), ορίζεται η απόσταση ανάμεσα σε δύο κορυφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Σχήμα 2.1). Η σχέση μεταξύ συχνότητας και μήκους κύματος είναι: $c = \lambda \cdot f$, όπου $c = 3 \cdot 10^8$ m/sec (ταχύτητα φωτός). Καθώς, λοιπόν, αυξάνει η συχνότητα από την μικροκυματική ακτινοβολία προς την οπτική και την ακτινοβολία γάμμα, το μήκος κύματος γίνεται μικρότερο [Δ04].



Σχήμα 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα.

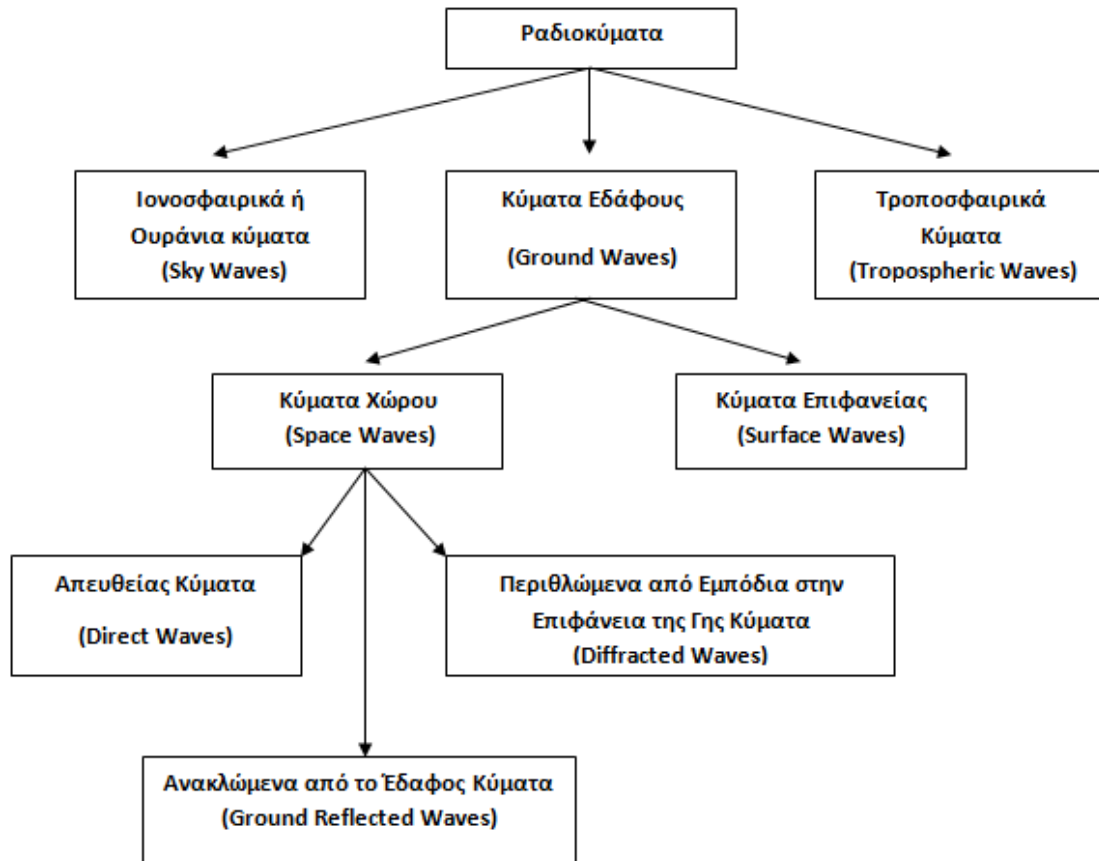


Σχήμα 2.2: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.

2.2.1 Διάκριση και μηχανισμοί διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Τα Η/Μ κύματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τους μηχανισμούς διάδοσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3. Ο κάθε τύπος κύματος είναι άμεσα συσχετισμένος με κάποιο μέσο μετάδοσης και κυρίως τα διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας καθώς και τα διάφορα φυσικά ή τεχνικά εμπόδια στην επιφάνεια της γης [ΚΚΠ08]. Έτσι, έχουμε τις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Κύματα εδάφους** (ground waves) είναι τα κύματα που μεταδίδονται κοντά στο έδαφος και διακρίνονται σε κύματα χώρου (space waves) και κύματα επιφανείας (surface waves ή Norton surface waves). Τα κύματα χώρου με τη σειρά τους διαχωρίζονται περαιτέρω στα απευθείας κύματα (direct waves), τα ανακλώμενα από το έδαφος κύματα (ground reflected waves) και τα περιθλώμενα από την επιφάνεια της γης κύματα (diffracted waves). Τα κύματα επιφανείας διαδίδονται κοντά στην επιφάνεια της γης με απόσβεση που εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους κατά μήκος του οποίου πραγματοποιείται η διάδοση.
- **Τροποσφαιρικά κύματα** (tropospheric waves) είναι τα κύματα που φθάνουν στο δέκτη αφού ανακλαστούν, περιθλαστούν ή σκεδαστούν από την τροπόσφαιρα. Η διάδοσή τους ενδιαφέρει τη ζώνη των 30 ως 300MHz, όπου το κύμα εδάφους καθίσταται αμελητέο. Η ύπαρξη τροποσφαιρικών κυμάτων οφείλεται σε φυσικούς μηχανισμούς διάδοσης, όπως περίθλαση λόγω ανωμαλιών της γήινης επιφάνειας, ομαλή διάθλαση, ανώμαλη ανάκλαση και διάθλαση λόγω αντιστοίχων αλλαγών της διηλεκτρικής σταθεράς στα διάφορα στρώματα της τροπόσφαιρας.
- **Ιονοσφαιρικά κύματα ή ουράνια κύματα** (sky waves ή ionospheric waves) είναι τα κύματα που ανακλώνται ή υπόκεινται σκέδαση από την ιονόσφαιρα. Η διάδοση των ιονοσφαιρικών κυμάτων έχει ιδιαίτερη σημασία στην περιοχή συχνοτήτων 3 έως 30MHz και ερμηνεύεται με βάση την εξάρτηση των διηλεκτρικών ιδιοτήτων της ιονόσφαιρας από την συχνότητα. Πράγματι, σε αυτή την περιοχή συχνοτήτων, όπου το επιφανειακό κύμα εξασθενεί ραγδαία από την απόσταση, είναι δυνατή η εκμετάλλευση των ανακλαστικών ιδιοτήτων της ιονόσφαιρας με αποτέλεσμα την επίτευξη ραδιοζεύξεων σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων. Σημαντικό πρόβλημα των ιονικών ραδιοζεύξεων είναι η αστάθεια των χαρακτηριστικών της ιονόσφαιρας και η αδυναμία πρόβλεψης της ισχύος των ιονοσφαιρικών κυμάτων.



Σχήμα 2.3: Κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Με τον όρο ραδιοκύματα αναφερόμαστε συνήθως σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα στη περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (radiofrequencies – RF), δηλαδή στο διάστημα από 3kHz ως 300GHz. Το τμήμα μεταξύ 300 MHz και 300GHz συνήθως καλείται μικροκύματα (microwaves – MW), ενώ συχνά χρησιμοποιείται και ο όρος χιλιοστομετρικά κύματα (millimeter waves – mmW) για την περιοχή 30 - 300GHz.

Οι μηχανισμοί διάδοσης των ραδιοκυμάτων, εκτός από την απευθείας συνιστώσα, είναι τρεις:

- Η **ανάκλαση (reflection)**, που συμβαίνει όταν ένα εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε μια λεία επιφάνεια με πολύ μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματός του RF σήματος.
- Η **περίθλαση (diffraction)**, που συμβαίνει όταν ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη υπάρχει φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο με μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος, το οποίο προκαλεί την εμφάνιση δευτερευόντων κυμάτων πίσω από το εμπόδιο σύμφωνα με την αρχή του Huygens. Η περίθλαση είναι ένα φαινόμενο που ερμηνεύει τη μεταφορά H/M ενέργειας από τον πομπό στο δέκτη χωρίς την ύπαρξη απευθείας μονοπατιού μεταξύ τους.
- Η **σκέδαση ή διάχυση (diffuse scattering)**, που συμβαίνει όταν ένα σήμα προσκρούει είτε σε μια μεγάλη τραχιά επιφάνεια ή σε επιφάνεια της οποίας οι διαστάσεις είναι της τάξης του μήκους κύματος ή μικρότερες, με αποτέλεσμα η ανακλώμενη ενέργεια να διασκορπίζεται σε όλες τις κατευθύνσεις.

2.2.2 Ζώνες συχνοτήτων

Σημαντικές παράμετροι που καθορίζουν τη σημασία του κάθε τύπου ραδιοκύματος είναι η απόσταση της διάδοσης και η συχνότητα των H/M κυμάτων. Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί, δίνονται οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες, οι ονομασίες τους κατά ITU (International Telecommunication Unit) καθώς και οι συνήθεις εφαρμογές και υπηρεσίες που εξυπηρετούνται μέσω αυτών.

Ζώνη Συχνότητας	Ονομασία	Υπηρεσίες
3-30KHz	Πολύ χαμηλές συχνότητες VLF (Very Low Frequencies)	Συστήματα Πλοήγησης, Sonar
30-300KHz	Χαμηλές συχνότητες LF (Low Frequencies)	Ραδιοφάροι, Βοηθήματα Πλοήγησης
300-3000KHz	Μεσαίες συχνότητες MF (Medium Frequencies)	Ραδιοφωνία AM, Ραδιοεπικοινωνίες Ναυσιπλοΐας
3-30MHz	Υψηλές συχνότητες HF (High Frequencies)	Τηλεφωνία, Τηλεγραφία, Τηλεομοιοτυπία, Ερασιτεχνική ραδιοφωνία, Επικοινωνίες μεταξύ πλοίων – αεροπλάνων και σταθμών εδάφους
30-300MHz	Πολύ υψηλές συχνότητες VHF (Very High Frequencies)	Τηλεόραση, Ραδιοφωνία FM, Συστήματα εναέριας Κυκλοφορίας CBs
300-3000MHz	Εξαιρετικά υψηλές συχνότητες UHF (Ultra High Frequencies)	Τηλεόραση, Δορυφορικές Επικοινωνίες, Συστήματα Radar, Κινητές Επικοινωνίες
3-30GHz	SHF (Semi High Frequencies)	Radar, Μικροκυματικές Επικοινωνίες, Δορυφορικές Ζεύξεις, Κινητές Επικοινωνίες κοινού φέροντος
30-300GHz	EHF (Extremely High Frequencies)	Radar, Πειραματικές επικοινωνίες ευρείας ζώνης, Μελλοντικά εμπορικά συστήματα ευρείας ζώνης

Πίνακας 2.1: Ζώνες Συχνοτήτων.

2.3 Wi Fi: Ασύρματα Δίκτυα 802.11

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network) επιτυγχάνει αμφίδρομη μετάδοση δεδομένων με υψηλές ταχύτητες και σε περιορισμένης έκτασης περιοχές, έχοντας ως φυσικό μέσο μετάδοσης τον αέρα (ασύρματη ζεύξη). Η μετάδοση πραγματοποιείται είτε στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, είτε με υπέρυθρη ακτινοβολία [B07]. Τα ασύρματα LAN είναι ως επί το πλείστον δίκτυα μεταγωγής πακέτου και, μερικές φορές αναφέρονται ως PCS (Personal Communication Services) [Θ08].

Τα WLAN έχουν πλέον διεισδύσει τόσο σε κοινόχρηστους χώρους όσο και σε κατοικίες καθώς εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην εγκατάσταση, λειτουργία και χρήση τους. Η εγκατάσταση είναι γρήγορη κι εύκολη ενώ το συνολικό κόστος λειτουργίας τους μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες πρόσβασης. Παράλληλα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν στους χρήστες τη δυνατότητα πρόσβασης σε ευρυζωνικές υπηρεσίες για το διάστημα που αυτοί παραμένουν σε σημεία περιοχής κάλυψης των εν λόγω δικτύων.

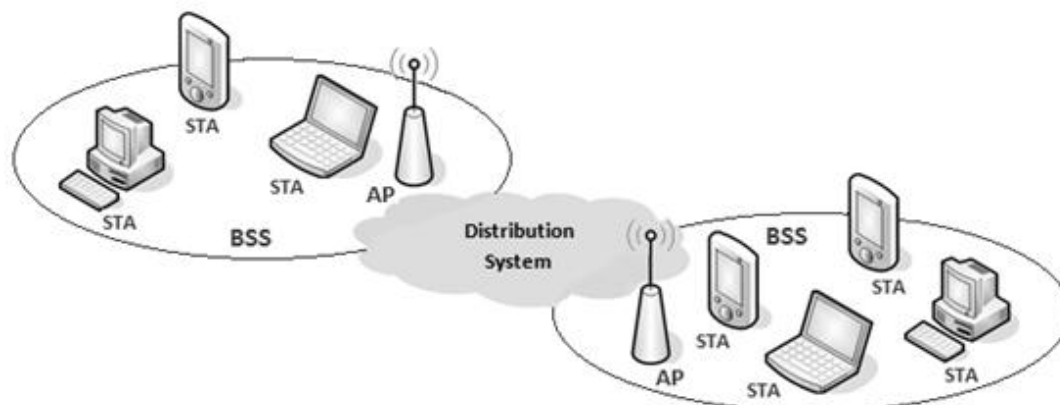
Αν και έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνολογίες και πρότυπα για ασύρματα LAN, μια συγκεκριμένη κατηγορία προτύπων έχει κυριαρχήσει: το ασύρματο LAN IEEE 802.11, γνωστό ως Wi Fi (Wireless Fidelity).

2.3.1 Η Αρχιτεκτονική του ασύρματου δικτύου 802.11

Τα κύρια συστατικά της αρχιτεκτονικής των ασυρμάτων LAN 802.11, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4, είναι [B07, KR03, T03, Θ08]:

- **STAtions – STA (σταθμοί):** Αποκαλούνται τα τερματικά εκείνα που διαθέτουν μηχανισμούς διασύνδεσης με ένα ασύρματο δίκτυο LAN, εφόσον υποστηρίζουν το αντίστοιχο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Έτσι, οι σταθμοί μπορεί να είναι φορητοί υπολογιστές, PDAs, smart phones ή οποιαδήποτε συσκευή ακόμα και σταθερή αρκεί να είναι εξοπλισμένη με μια ασύρματη διασύνδεση δικτύου.
- **Basic Service Set - BSS (Βασικό σύνολο υπηρεσιών):** Αποτελεί το θεμελιώδες δομικό στοιχείο των δικτύων 802.11 και στην ορολογία αυτή ονομάζεται διαφορετικά κυψέλη. Ένα BSS περιέχει έναν ή περισσότερους σταθμούς με δυνατότητα πρόσβασης στο ασύρματο μέσο (STAtions), που επικοινωνούν μέσω του ίδιου καναλιού στην ίδια περιοχή, και ένα κεντρικό σταθμό βάσης (**base station**), γνωστός σαν σημείο πρόσβασης (**access point**, AP).
- **Extended Service Set - ESS (εκτεταμένες ομάδες εξυπηρέτησης):** Πρόκειται για μια ενιαία υποδομή που σχηματίζεται από ένα σύνολο BSSs και ενσύρματων τοπικών δικτύων πρόσβασης (LANs) συνδεδεμένα σε ενιαίο δίκτυο κορμού. Ένα κινητό τερματικό μπορεί να περιφέρεται σε διαφορετικές BSS μιας ESS χωρίς να χάνει τη σύνδεση του με το ενσύρματο δίκτυο κορμού.
- **Distribution System - DS (Σύστημα διανομής):** Είναι το δίκτυο μεταφοράς που διασυνδέει τα σημεία πρόσβασης μεταξύ τους καθώς και με τα υπόλοιπα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Το πρότυπο δεν ορίζει τη μορφή του και έτσι μπορεί να είναι, είτε ένα ενσύρματο δίκτυο (για παράδειγμα Ethernet), είτε κάποιο ασύρματο.
- **Access Point - AP (Σημείο πρόσβασης):** Το AP είναι η μονάδα που συνδέει το ασύρματο δίκτυο 802.11 με την υποδομή του ενσύρματου δικτύου κορμού. Λειτουργεί σαν σταθμός βάσης κάνοντας συγκέντρωση της κίνησης από τους ασύρματους σταθμούς και κατευθύνοντας την προς το υπόλοιπο δίκτυο. Η περιοχή που καλύπτεται από ένα AP καλείται βασική περιοχή εξυπηρέτησης (**Basic Service Area**, BSA) και είναι το αντίστοιχο της κυψέλης των κυψελωτών συστημάτων. Επιπλέον, το AP αναλαμβάνει τη μετάδοση πληροφορίας που

προορίζεται από έναν ασύρματο σταθμό σε κάποιον άλλο, στην ίδια κυψέλη, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών.

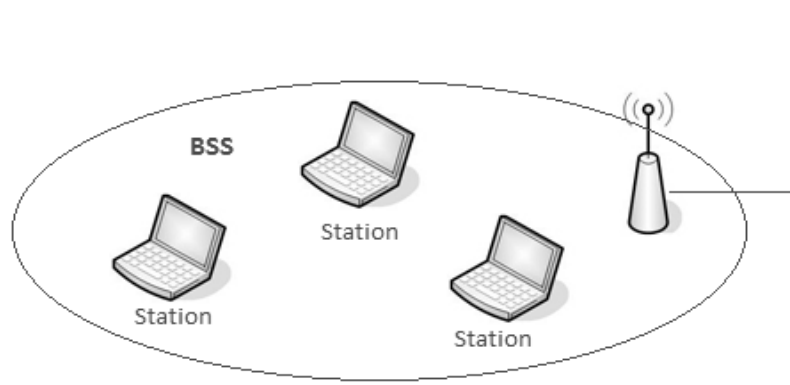


Σχήμα 2.4: Βασική αρχιτεκτονική και δομικές μονάδες τοπικού ασύρματου δικτύου.

Τοπολογία ασύρματων δικτύων

Όσον αφορά την τοπολογία, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα εμφανίζονται με δύο βασικές δομές, τη δομημένη (Infrastructure) και την τυχαία (Ad - hoc).

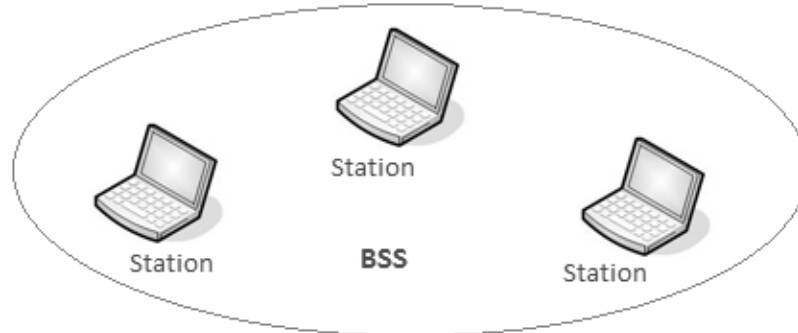
Με τη χρήση Δομημένης Τοπολογίας (**Infrastructure Mode**), πολλαπλά σημεία πρόσβασης συνδέονται με ενσύρματο δίκτυο, αυξάνοντας την κάλυψη και τη χωρητικότητα του δικτύου πρόσβασης (Σχήμα 2.5). Σε αυτή τη διάταξη το ασύρματο δίκτυο έχει κυψελοειδή μορφή, αποτελούμενο από έναν αριθμό βασικών μονάδων εξυπηρέτησης (BSSs). Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένα AP, που παρέχει τη λειτουργία της μεταγωγής στο BSS, και ένας αριθμός από ασύρματους σταθμούς, οι οποίοι συσχετίζονται με το AP πριν να στείλουν ή να δεχτούν δεδομένα επιπέδου δικτύου και γι' αυτό ονομάζονται πελάτες (clients).



Σχήμα 2.5: Δομημένη τοπολογία τοπικού ασύρματου δικτύου.

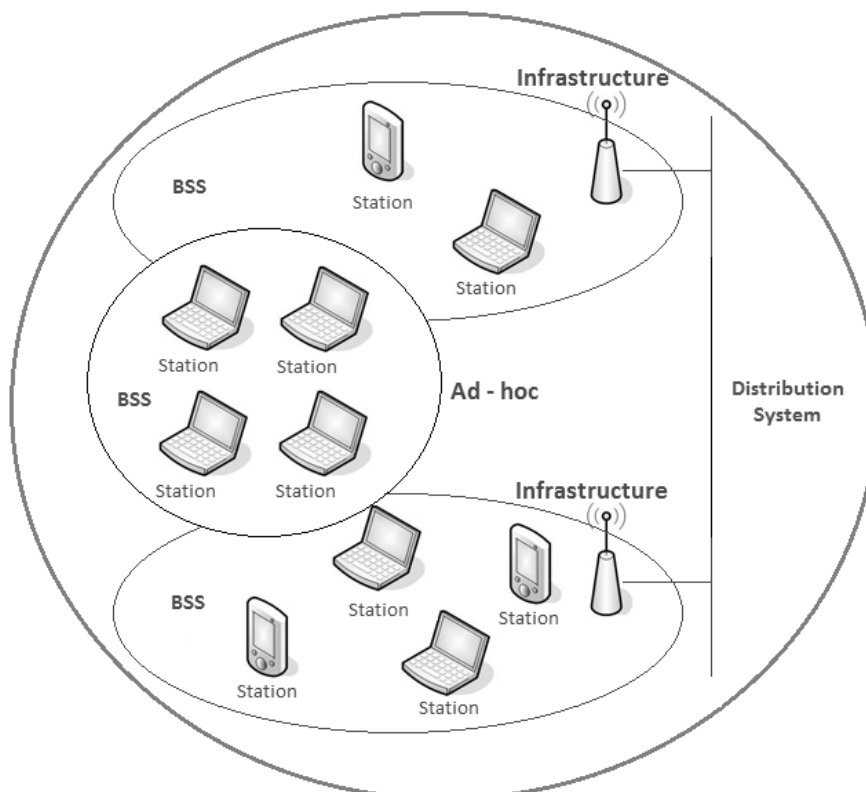
Στη Τυχαία Διάταξη (**Ad - Hoc** δικτύωση) , που καλείται και ως **Independent Basic Service Set (IBSS)**, τα κινητά τερματικά επικοινωνούν μεταξύ τους σε ανεξάρτητη BSS χωρίς σύνδεση προς το ενσύρματο δίκτυο κορμού, δηλαδή χωρίς τη μεσολάβηση σημείων πρόσβασης (Σχήμα 2.6). Οι σταθμοί εδώ, ομαδοποιούνται για να

δημιουργήσουν ένα ad hoc δίκτυο – ένα δίκτυο χωρίς κεντρικό έλεγχο και χωρίς συνδέσεις με τον «έξω κόσμο» [KR03]. Έτσι, το δίκτυο δημιουργείται «πρόχειρα», με κινητές συσκευές, που βρίσκονται η μία κοντά στην άλλη και έχουν την ανάγκη να επικοινωνήσουν αλλά δεν βρίσκουν μία προϋπάρχουσα υποδομή δικτύου στις τοποθεσίες τους. Στην περίπτωση αυτή, μερικές από τις λειτουργίες του AP, που χρειάζονται για τη διατήρηση μιας BSS παρέχονται από ένα κινητό τερματικό, το οποίο ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να «αρχικοποιεί» το δίκτυο και αναλαμβάνει το ρόλο του συντονισμού [Θ08]. Γενικά, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ad hoc δικτύωση, καθώς η επικοινωνία φορητών συσκευών αυξάνεται διαρκώς.



Σχήμα 2.6: Τυχαία διάταξη τοπικού ασύρματου δικτύου (Ad Hoc δίκτυο).

Προφανώς, ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει και οποιονδήποτε συνδυασμό των παραπάνω τοπολογιών (μεικτή αρχιτεκτονική). Ένα τυπικό παράδειγμα αυτής της αρχιτεκτονικής εικονίζεται στο Σχήμα 2.7.

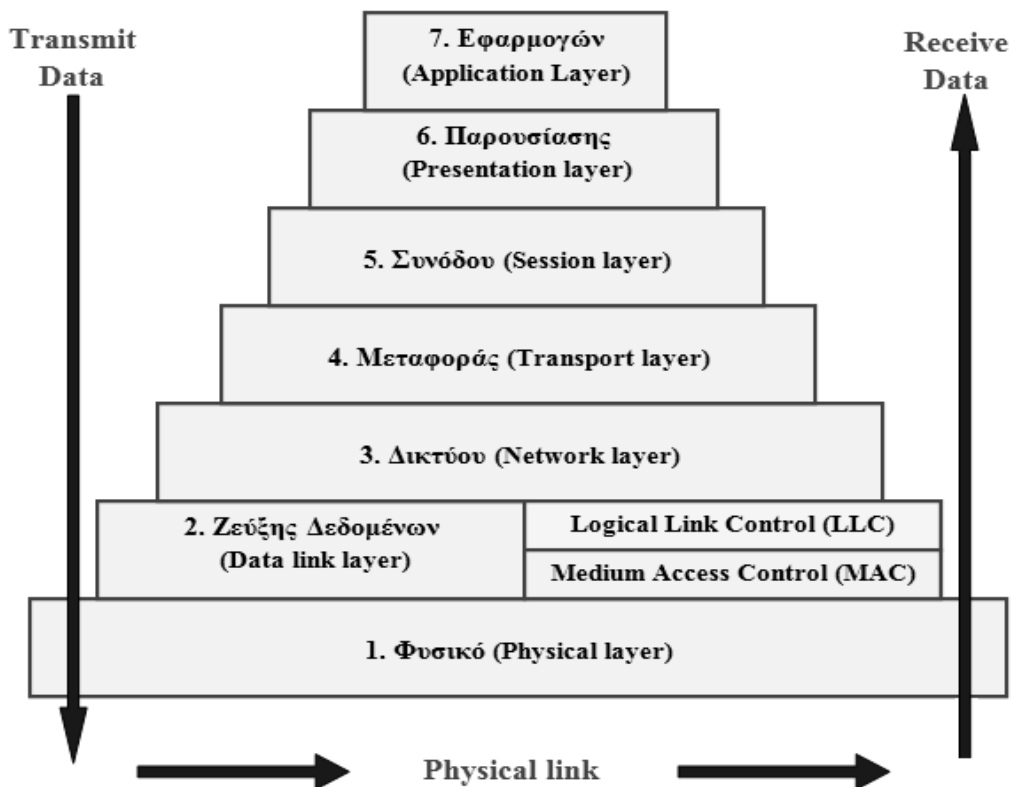


Σχήμα 2.7: Μεικτή αρχιτεκτονική ασύρματων τοπικών δικτύων.

2.3.2 Πρότυπα IEEE για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα

Το πρώτο πρότυπο της IEEE για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα και για ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 1997 με την ονομασία 802.11. Σκοπός του προτεινόμενου προτύπου αποτέλεσε η ανάπτυξη μιας προδιαγραφής για την ασύρματη διασύνδεση σταθερών, φορητών και κινητών σταθμών μέσα σε μια τοπική περιοχή. Το τελικό πρότυπο δημοσιεύθηκε το Νοέμβριο του 1997 και καθορίζει τη λειτουργία των πρωτοκόλλων ικανών να υποστηρίζουν την ασύρματη δικτύωση μιας τοπικής περιοχής. Η κύρια υπηρεσία του 802.11 είναι η μεταφορά των M-SDU (MAC Service Data Unit) μεταξύ ομότιμων στρωμάτων ζεύξης δεδομένων. Παράλληλα περιλαμβάνει βασικές υπηρεσίες όπως διασύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα, συσχέτιση ενός σταθμού με ένα σημείο πρόσβασης, επανασυσχέτιση ενός σταθμού σε περίπτωση μετακίνησης, τερματισμός της συσχέτισης, πιστοποίηση (authentication), ασφάλεια και διαχείριση ισχύος τερματικού σταθμού [B07]. Από τότε μέχρι τώρα έχουν προκύψει αρκετές εκδόσεις του προτύπου IEEE 802.11 με διαφορετικό χαρακτηριστικό γράμμα στο τέλος του ονόματός τους, όπως π.χ. IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g.

Η IEEE 802.11, συνεπώς, είναι μια οικογένεια πρωτοκόλλων που περιγράφει τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων. Στο πρότυπο 802.11 προδιαγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI (Σχήμα 2.8), δηλαδή το φυσικό επίπεδο (Physical) και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (υποεπίπεδο Medium Access Control), γεγονός το οποίο επιτρέπει σε οποιαδήποτε δικτυακή εφαρμογή να τρέχει σε τοπικά δίκτυα που υποστηρίζουν το IEEE 802.11. Όσον αφορά το φυσικό επίπεδο, το πρότυπο 802.11 υποστηρίζει τόσο τη χρήση ραδιοσυχνοτήτων ως μέσο μετάδοσης φάσματος, όπου δεν είναι απαραίτητη η οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, όσο και τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας όπου η οπτική επαφή είναι προϋπόθεση [B07].



Σχήμα 2.8: Το μοντέλο OSI.

Στη συνέχεια, παρατίθενται αναλυτικά το πρωτόκολλο IEEE 802.11 και οι σημαντικότερες παραλλαγές αυτού [B07, Θ08].

- **802.11:** Το αρχικό πρότυπο 802.11 επιτρέπει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων της τάξεως των 1Mbps και 2Mbps. Η μετάδοση σήματος γίνεται είτε στην ISM ζώνη συχνοτήτων (2.4GHz-2.4835GHz), είτε με υπέρυθρη ακτινοβολία μήκους κύματος 850-950 nm. Για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον θόρυβο στενής ζώνης το σήμα κωδικοποιείται με μεθόδους απλωμένου φάσματος. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει την τεχνική εξάπλωσης φάσματος με εναλλαγή συχνότητας και την τεχνική εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας. Για τη μετάδοση σήματος στην ISM ζώνη χρησιμοποιείται (στην περίπτωση της εξάπλωσης φάσματος με εναλλαγή συχνότητας) διαμόρφωση με μετατόπιση συχνότητας (FSK) 2 συχνοτήτων για ρυθμούς 1Mbps και 4 συχνοτήτων για ρυθμούς 2Mbps. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας χρησιμοποιείται δυαδική διαμόρφωση με μετατόπιση φάσης BPSK για ρυθμούς 1Mbps και τετραφασική PSK για ρυθμούς 2Mbps. Για την επικοινωνία μέσω υπέρυθρων χρησιμοποιείται διαμόρφωση θέσης παλμών (**P**ulse **P**osition **M**odulation). Η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς καθορίζεται από τους περιορισμούς που υπάρχουν για τη χρήση της ISM ζώνης συχνοτήτων και περιορίζεται στα 20dBm ενώ η ευαισθησία του δέκτη, ορίζεται από το πρωτόκολλο, ότι πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση των -80dBm για ρυθμό λανθασμένων πλαισίων της τάξης του 3%.

Το 802.11 συνέβαλε καθοριστικά στην ευρεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, καθώς η πιστοποίηση κατέστησε δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών που το υλοποιούσαν. Ωστόσο οι ταχύτητες των 1Mbps και 2Mbps που υποστήριζε ήταν πολύ μικρές συγκρινόμενες με τα 10 και 100Mbps που δίνει πια η ενσύρματη δικτύωση Ethernet. Πολύ γρήγορα, λοιπόν, εμφανίστηκαν παραλλαγές του 802.11 που αύξησαν την ταχύτητα και διόρθωσαν διάφορα εγγενή προβλήματα.

- **802.11a:** Το 802.11a αποτελεί ένα πρωτόκολλο για το φυσικό επίπεδο ενός ασύρματου δικτύου το οποίο καθορίζει την λειτουργία αυτού στην ζώνη των 5GHz. Χρησιμοποιείται διαμόρφωση ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM), με αποτέλεσμα να υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 54Mbps στο δίαυλο.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα για τα WLAN είναι το διαθέσιμο φάσμα. Οι ζώνες ISM ήταν η πρώτη επιλογή λειτουργίας αυτών και τα πρότυπα IEEE 802.11, IEEE 802.11b και IEEE 802.11g λειτουργούν στη συχνότητα ISM 2.4GHz. Ωστόσο, επειδή οι ζώνες αυτές προορίζονται για εμπορική χρήση χωρίς να απαιτείται άδεια λειτουργίας, οι χρήστες των WLAN αντιμετωπίζουν, μερικές φορές, σημαντικές παρεμβολές από άλλα συστήματα επικοινωνίας. Έτσι, το πρότυπο 802.11a λόγω της λειτουργίας του στη ζώνη των 5GHz, όπου υπάρχουν πολύ λιγότερες παρεμβολές από την ζώνη των ISM, και των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που μπορεί να επιτύχει, προσφέρει πολύ καλύτερες επιδόσεις τόσο από το κλασικό 802.11 όσο και από το 802.11b. Δεδομένου, όμως, ότι τα υπόλοιπα πρότυπα IEEE 802.11 χρησιμοποιούν τη ζώνη των 2.4GHz, υπάρχει το πρόβλημα της συμβατότητας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή της ζώνης λειτουργίας επηρεάζει τις απαιτήσεις ισχύος και τη ραδιοκάλυψη με αποτέλεσμα τα δίκτυα IEEE 802.11a

να απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ για να καλύψουν την ίδια πολυσύχναστη περιοχή. Ακόμα, αν χρησιμοποιούν την ίδια ισχύ με άλλα πρότυπα, θα χρειάζονται περισσότερα σημεία πρόσβασης και το κόστος του δικτύου θα είναι ασύμφορο.

- **802.11b:** Στόχος του προτύπου αποτέλεσε η επέκταση του τρόπου κωδικοποίησης εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας του φυσικού επιπέδου του 802.11, ώστε να υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 5.5Mbps και 11Mbps. Για την επίτευξη αυτή τροποποιήθηκε ο τρόπος διαμόρφωσης του σήματος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα (**Complementary Code Keying - CCK**), ενώ για τους ρυθμούς των 1Mbps και 2Mbps, για να κρατηθεί η συμβατότητα με το πρότυπο 802.11 χρησιμοποιήθηκε διαμόρφωση BPSK και QPSK αντίστοιχα. Επιπλέον, για την περαιτέρω βελτίωση της συνολικής απόδοσης στους ρυθμούς 5.5Mbps και 11Mbps χρησιμοποιήθηκε δυαδικός κώδικας συνέλιξης πακέτου (**Packet Binary Convolutional Code**) με κέρδος κωδικοποίησης 3db. Η μετάδοση του σήματος γίνεται στην ISM ζώνη συχνοτήτων.
- **802.11c:** Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη διασφάλιση των σωστών λειτουργιών των γεφυρών (bridges). Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιούνται κυρίως από τους κατασκευαστές σημείων πρόσβασης με σκοπό την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας τους με αντίστοιχες συσκευές άλλων κατασκευαστών.
- **802.11d:** Στόχος του προτύπου αποτέλεσε αποκλειστικά ο καθορισμός των απαιτήσεων του φυσικού επιπέδου καθώς και η καταγραφή του νομικού πλαισίου, που πρέπει να ισχύει για τη χρησιμοποίηση των ραδιοσυχνοτήτων στις διάφορες χώρες, έτσι ώστε τα προϊόντα που κατασκευάζονται να μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από την περιοχή στην οποία ανήκουν.
- **802.11e:** Το συγκεκριμένο πρότυπο έχει σκοπό να παρέχει εγγυήσεις για ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) τις οποίες δεν παρείχε το αρχικό πρωτόκολλο 802.11. Η βελτίωση επιτεύχθηκε με την τροποποίηση του υποεπιπέδου MAC.
- **802.11f:** Η αρχική ομάδα εργασίας του 802.11 δεν προσδιόριζε την επικοινωνία μεταξύ των σημείων πρόσβασης, αλλά την άμεση υποστήριξη υπηρεσίας περιαγωγής (roaming) των χρηστών από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο. Το πρόβλημα που ανέκυψε, όμως, ήταν ότι τα σημεία πρόσβασης από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορεί να μην λειτουργήσουν ομαλά μεταξύ τους, όταν υποστηρίζουν λειτουργίες περιαγωγής. Έτσι, το πρωτόκολλο αυτό είχε σκοπό, τη δημιουργία των προδιαγραφών, οι οποίες θα περιέγραφαν ρητά όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνταν από τα σημεία πρόσβασης για την εξασφάλιση επιτυχούς περιαγωγής και ομαλούς διαλειτουργικότητας.
- **802.11g:** Η παραλλαγή αυτή του 802.11 έχει ως στόχο να προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 54Mbps, όπως και στο πρωτόκολλο 802.11a, διατηρώντας όμως την συμβατότητα με το ευρέως διαδεδομένο πρωτόκολλο 802.11b. Λειτουργεί στην ISM ζώνη συχνοτήτων, όπως το 802.11b, αλλά χρησιμοποιεί OFDM διαμόρφωση, όπως το 802.11a, και εμπρόσθια διόρθωση λαθών για να πετύχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Για λόγους συμβατότητας με το 802.11b υποστηρίζει και συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα (CCK).

Επιπλέον, με τη χρήση δυαδικού κώδικα συνέλιξης πακέτου (PBCC) επιτυγχάνονται ταχύτητες 22Mbps.

- **802.11h:** Αν και το πρωτόκολλο IEEE 802.11 είναι αμερικανικής προελεύσεως, ωστόσο, έχει ευρεία χρήση και στην Ευρώπη. Για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων στα 5GHz βάσει των ευρωπαϊκών κανονισμών, δημιουργήθηκε η προδιαγραφή αυτή, η οποία είναι συμπληρωματική για το υποπίεδο MAC. Συγκεκριμένα, οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί απαιτούν, για τις συσκευές που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz, να έχουν δυνατότητες ελέγχου της εκπεμπόμενης ισχύος (**T**ransmission **P**ower **C**ontrol) και της δυναμικής επιλογής συχνότητας (**D**ynamic **F**requency **S**election), απαιτήσεις οι οποίες προδιαγράφονται στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο.
- **802.11i:** Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφαλείας που εντοπίστηκαν στο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP (**W**ired **E**quivalent **P**rivacy) του 802.11. Ο αλγόριθμος RC4 (Ron's Code 4) που χρησιμοποιείται αποδείχτηκε ανεπαρκής, με αρκετά σφάλματα και παραλήψεις, κάνοντας τα ασύρματα δίκτυα εύκολο στόχο σε διάφορα είδη κακόβουλων επιθέσεων. Με τη νέα προδιαγραφή καθορίζονται πρωτοκολλά για τα κλειδιά κρυπτογράφησης όπως τα TKIP (**T**emporal **K**ey **I**ntegrity **P**rotocol) και AES (**A**dvanced **E**ncryption **S**tandard).
- **802.11j:** Η προδιαγραφή αυτή είναι συμπληρωματική για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων 4.9-5GHz αναφορικά με την εφαρμογή του πρωτοκόλλου στην Ιαπωνία.

Στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των βασικότερων προτύπων της οικογένειας IEEE 802.11.

Πρότυπο	802.11a	802.11b	802.11g
Συχνότητα Λειτουργίας	5Ghz	2.4Ghz	2.4GHz
Αριθμός καναλιών	8	3	3
Ακτίνα κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους	12m(54Mbps) 90m(6Mbps)	30m(11Mbps) 90m(1Mbps)	30m(54Mbps) 90m(1Mbps)
Ακτίνα κάλυψης σε εξωτερικούς χώρους με οπτική επαφή	30m(54Mbps) 300m(6Mbps)	120m(11Mbps) 460m(1Mbps)	120m(54Mbps) 460m(1Mbps)
Ταχύτητα μετάδοσης(Mbps)	6,9,12,18,24,36,48 και 54	1,2,5.5 και 11	6,9,12,18,24,36,48 και 54
Διαμόρφωση	OFDM	DSSS	OFDM
Κύριο πλεονέκτημα	Υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης σε περιοχή συχνοτήτων με μικρό συντονισμό.	Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Μεγαλύτερη εμβέλεια.	Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης στην περιοχή των 2.4GHz.
Κύριο μειονέκτημα	Μικρότερη εμβέλεια από όλα τα πρότυπα 802.11.	Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης για πολλές νέες εφαρμογές.	Περιορισμένος αριθμός WLAN στο ίδιο μέρος, μεγαλύτερη εμβέλεια από το 802.11a.

Πίνακας 2.2: Πρότυπα WLAN της ομάδας IEEE 802.11.

Κεφάλαιο 3^ο

Θεωρία

Γενετικών Αλγορίθμων & Στατιστικής

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα δοθεί μια αναλυτική περιγραφή σε μια κλάση αλγορίθμων αναζήτησης και βελτιστοποίησης, των Γενετικών Αλγορίθμων, καθώς αυτοί αποτελούν θεμελιώδη έννοια της διπλωματικής εργασίας αυτής. Θα παρουσιασθεί η δομή τους και τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών. Επιπλέον, θα δοθούν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που τους καθιστούν ικανότατους στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων, όπως, και κάποια εμπόδια που θα μπορούσαν να αναστείλουν την εξέλιξή τους.

Στη συνέχεια, θα γίνει μια αναφορά στη θεωρία της Στατιστικής, όπου θα αναλυθούν τα είδη των στατιστικών μέτρων και θα παρουσιασθεί η Κανονική Κατανομή. Έπειτα, θα διατυπωθεί το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα το οποίο έχει αποτελέσει τη βάση μιας εκπληκτικής ποσότητας εφαρμοσμένης έρευνας.

3.2 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Υπάρχει μια πληθώρα προβλημάτων για τα οποία, μέχρι στιγμής, δεν έχει αναπτυχθεί ένας ανεκτά γρήγορος αλγόριθμος επίλυσής τους. Πολλά από αυτά τα προβλήματα, που προκύπτουν συχνά σε εφαρμογές, είναι προβλήματα βελτιστοποίησης. Δεδομένου ενός τέτοιου προβλήματος είναι συχνά πιθανό να βρεθεί ένας αποδοτικός αλγόριθμος του οποίου η λύση να είναι σχετικά βέλτιστη. Για κάποια άλλα δύσκολα προβλήματα βελτιστοποίησης, όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθούν πιθανοκρατικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι βέβαια δεν μπορούν να εγγυηθούν το βέλτιστο αποτέλεσμα, αλλά με τυχαία επιλογή αρκετών «μαρτύρων» είναι δυνατό να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό η πιθανότητα λάθους. Μια τέτοια κατηγορία πιθανοκρατικών αλγορίθμων αποτελούν και οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms – GAs).

Πιο συγκεκριμένα, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Γ.Α.), ανήκουν σε μια κατηγορία συστημάτων επίλυσης προβλημάτων ευρύτερα γνωστή με τον όρο Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms). Οι αλγόριθμοι αυτοί διατηρούν έναν πληθυσμό κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων του προβλήματος, και βασίζονται σε διάφορες λειτουργίες της βιολογικής εξέλιξης. Έτσι, περνώντας από γενιά σε γενιά, δημιουργούν συνεχώς νέους πληθυσμούς πιθανών λύσεων εξελίσσοντας τους προηγούμενους πληθυσμούς.

Η βασική ιδέα πίσω από τους Γ.Α. είναι η μίμηση των μηχανισμών που απαντώνται στη φύση. Ως παράδειγμα παρατίθενται οι λαγοί και ο τρόπος που αναπαράγονται και εξελίσσονται από γενιά σε γενιά [M96]. Έστω ένας συγκεκριμένος πληθυσμός λαγών σε δεδομένη χρονική στιγμή. Όπως είναι φυσικό, κάποιοι από αυτούς θα είναι πιο γρήγοροι και πιο εύστροφοι από άλλους. Αυτοί οι λαγοί έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν στο φυσικό τους περιβάλλον, δηλαδή να εξασφαλίσουν τροφή και να αναπαραχθούν, ξεφεύγοντας από τα διάφορα αρπακτικά που τους καταδιώκουν, όπως για παράδειγμα τις αλεπούδες. Φυσικά δεν είναι λίγοι οι αργοί ή λιγότερο έξυπνοι λαγοί που καταφέρνουν να επιβιώσουν απλά και μόνο γιατί είναι τυχεροί. Όλοι αυτοί οι λαγοί, που καταφέρνουν να επιβιώσουν, θα αρχίσουν την παραγωγή της επόμενης γενιάς τους, μιας γενιάς που θα συνδυάζει με διάφορους τρόπους όλα τα χαρακτηριστικά των μελών της προηγούμενης. Έτσι, μερικοί αργοί λαγοί θα αναμειχθούν με κάποιους γρήγορους, κάποιοι γρήγοροι με άλλους γρήγορους, κάποιοι εύστροφοι λαγοί με κάποιους μη εύστροφους και ούτω καθεξής. Το αποτέλεσμα θα είναι η δημιουργία ενός νέου

πληθυσμού από λαγούς που κατά μέσο όρο θα είναι εξυπνότεροι και ταχύτεροι από τους προγόνους τους. Ευτυχώς, όμως, και τα αρπακτικά υφίστανται την ίδια διαδικασία εξέλιξης από γενιά σε γενιά, διαφορετικά οι λαγοί θα γίνονταν υπερβολικά γρήγοροι και έξυπνοι για να μπορούν να τους πιάσουν.

Οι Γ.Α. χρησιμοποιούν μια ορολογία δανεισμένη από το χώρο της φυσικής γενετικής. Αναφέρονται σε άτομα (individuals) ή γενότυπους (genotypes) μέσα σε ένα πληθυσμό. Κάθε άτομο ή γενότυπος αποτελείται από χρωμοσώματα (chromosomes). Στους Γ.Α. αναφερόμαστε συνήθως σε άτομα με ένα μόνο χρωμόσωμα. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από γονίδια (genes) που είναι διατεταγμένα σε γραμμική ακολουθία. Κάθε γονίδιο επηρεάζει την κληρονομικότητα ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Τα γονίδια κάποιων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του ατόμου βρίσκονται και σε συγκεκριμένες θέσεις του χρωματοσώματος, που καλούνται loci. Κάθε χαρακτηριστικό του ατόμου (όπως, για παράδειγμα, το χρώμα μαλλιών) μπορεί να εμφανιστεί με διάφορες μορφές, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το αντίστοιχο γονίδιο που το επηρεάζει. Οι διαφορετικές αυτές καταστάσεις που μπορεί να πάρει το γονίδιο καλούνται alleles (τιμές χαρακτηριστικού γνωρίσματος).

Κάθε γενότυπος αναπαριστά μια πιθανή λύση σε ένα πρόβλημα. Το «αποκωδικοποιημένο» περιεχόμενο ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος καλείται φαινότυπος (phenotype), για παράδειγμα ένας ζωντανός οργανισμός είναι ο φαινότυπος των χρωμοσωμάτων του. Μια διαδικασία εξέλιξης που εφαρμόζεται σε ένα πληθυσμό χρωμοσωμάτων αντιστοιχεί σε ένα εκτενές ψάξιμο σε ένα διάστημα πιθανών λύσεων. Για την επιτυχημένη έκβαση ενός τέτοιου ψαξίματος απαιτείται η εξισορρόπηση δύο αντικρουόμενων διαδικασιών. Συγκεκριμένα, απαιτείται η εκμετάλλευση και η διατήρηση των καλύτερων λύσεων, καθώς και η όσο το δυνατόν καλύτερη εξερεύνηση του διαστήματος.

3.2.1 Δομή των Γενετικών Αλγορίθμων

Οι γενετικοί αλγόριθμοι πραγματοποιούν μια πολυκατευθυνόμενη αναζήτηση σε έναν πληθυσμό πιθανών λύσεων του προβλήματος που εξετάζουν. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αναζήτησης που επεξεργάζονται ένα μόνο σημείο του διαστήματος αναζήτησης, όπως για παράδειγμα οι μέθοδοι αναρρίχησης (Hill-climbing methods) [M96], οι Γ.Α. καταγράφουν και ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ των κατευθύνσεων. Ο πληθυσμός υφίσταται μια προσομοιωμένη γενετική εξέλιξη, όπου σε κάθε γενιά, οι σχετικά "καλές" λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά "κακές" απομακρύνονται. Ο διαχωρισμός και η αποτίμηση των διαφόρων λύσεων γίνεται με την βοήθεια μιας αντικειμενικής συνάρτησης (objective ή fitness function), η οποία παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εξελίσσεται ο πληθυσμός.

Η δομή ενός απλού γενετικού αλγορίθμου είναι η ίδια με τη δομή ενός οποιουδήποτε προγράμματος εξέλιξης [M96, ΓΛ99]. Κατά την διάρκεια της γενιάς t , ο Γ.Α. διατηρεί ένα πληθυσμό $P(t)$ από n πιθανές λύσεις (individuals ή chromosomes), $P(t) = \{x_1^t, \dots, x_n^t\}$. Κάθε λύση x_i^t αποτιμάται και δίνει ένα μέτρο της καταλληλότητας της. Αφού ολοκληρωθεί η αποτίμηση όλων των μελών του πληθυσμού, δημιουργείται ένας νέος πληθυσμός (γενιά $t + 1$) που προκύπτει από την επιλογή των πιο κατάλληλων στοιχείων του πληθυσμού της προηγούμενης γενιάς. Μερικά μέλη από τον καινούργιο αυτό πληθυσμό υφίστανται αλλαγές με την βοήθεια των γενετικών διαδικασιών της

διασταύρωσης και της μετάλλαξης σχηματίζοντας νέες λύσεις. Η διασταύρωση συνδυάζει τα χαρακτηριστικά δύο γονεϊκών χρωμοσωμάτων για να δημιουργήσει δύο νέους απογόνους ανταλλάσσοντας τμήματα από τους γονείς. Για παράδειγμα, έστω ότι δύο γονεϊκά χρωμοσώματα αναπαριστώνται με ένα διάνυσμα 5 διαστάσεων $(a_1, b_1, c_1, d_1, e_1)$ και $(a_2, b_2, c_2, d_2, e_2)$ αντίστοιχα, τότε οι απόγονοι που θα προκύψουν από τη διασταύρωση της δεύτερης γενιάς είναι οι $(a_1, b_1, c_2, d_2, e_2)$ και $(a_2, b_2, c_1, d_1, e_1)$. Γενικά, η διαδικασία της διασταύρωσης ικανοποιεί την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών πιθανών λύσεων.

Η διαδικασία της μετάλλαξης αλλάζει αυθαίρετα ένα ή περισσότερα γονίδια ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος με πιθανότητα ίση με το ρυθμό μετάλλαξης (mutation rate). Έτσι, η μετάλλαξη εξυπηρετεί την εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων στον πληθυσμό, διαφορετικών από τις ήδη υπάρχουσες.

Τελικά, ένας γενετικός αλγόριθμος για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω πέντε συστατικά [M96]:

- Μια γενετική αναπαράσταση των πιθανών λύσεων του προβλήματος.
- Έναν τρόπο δημιουργίας ενός αρχικού πληθυσμού από πιθανές λύσεις (αρχικοποίηση).
- Μια αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης των μελών του πληθυσμού από άποψης καταλληλότητας, που παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος.
- Γενετικούς τελεστές που μεταβάλλουν τη σύνθεση των απογόνων.
- Τιμές για τις διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιεί ο Γ.Α. (μέγεθος πληθυσμού, πιθανότητες εφαρμογής των γενετικών τελεστών, μέγιστος αριθμός γενεών κ.τ.λ.).

3.2.2 Κύρια χαρακτηριστικά ενός Γενετικού Αλγορίθμου

Οι Γ.Α. πλεονεκτούν αισθητά στη λύση προβλημάτων αναζήτησης και βελτιστοποίησης από τις παραδοσιακές μεθόδους διότι διαφέρουν θεμελιωδώς από αυτές. Τα κυριότερα νέα χαρακτηριστικά που τους διαφοροποιούν, αλλά και τους δίνουν υπεροχή είναι, σύμφωνα με τον D. Goldberg, τα εξής [Λ01]:

1. Οι Γ.Α. δουλεύουν με μια κωδικοποίηση ενός συνόλου τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές του προβλήματος:

Οι ΓΑ απαιτούν το σύνολο των φυσικών παραμέτρων της βελτιστοποίησης, να κωδικοποιηθεί σε συμβολοσειρές πεπερασμένου μήκους, κάνοντας χρήση ενός πεπερασμένου αλφάβητου. Για παράδειγμα, αναφέρεται το εξής πρόβλημα βελτιστοποίησης: Έστω ένα μαύρο κουτί με πέντε δυαδικούς διακόπτες (on – off). Για κάθε συνδυασμό των διακοπών παράγεται μία έξοδος. Ζητείται ο συνδυασμός των διακοπών που μεγιστοποιεί την έξοδο. Με τις παραδοσιακές μεθόδους, το μέγιστο θα εντοπιζόταν με «παίξιμο» των διακοπών πηγαίνοντας από συνδυασμό σε συνδυασμό με ψάξιμο στα τυφλά, αφού δεν είναι γνωστός ο τύπος της συνάρτησης. Στο ΓΑ, όμως, η πρώτη ενέργεια είναι η κωδικοποίηση των διακοπών ως συμβολοσειρών πεπερασμένου μήκους. Μια απλή κωδικοποίηση θα μπορούσε να γίνει θεωρώντας μια δυαδική συμβολοσειρά μήκους πέντε, όπου η κάθε θέση αναπαριστά ένα διακόπτη. Το 1 αντιστοιχεί στη θέση on και το 0 στη θέση off. Δηλαδή, η συμβολοσειρά 11110 κωδικοποιεί το συνδυασμό κατά τον οποίο οι πρώτοι τέσσερις διακόπτες είναι on και ο

τελευταίος off. Η κωδικοποίηση δεν είναι απαραίτητο να είναι πάντα δυαδική αλλά μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους, αρκετοί από τους οποίους ίσως και να μην είναι προφανείς. Το στοιχείο της κωδικοποίησης, όμως, είναι εκείνο που επιτρέπει στους ΓΑ να κάνουν παράλληλη επεξεργασία δεδομένων.

2. Οι ΓΑ κάνουν αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτόχρονα και όχι μόνο σε ένα:

Σε πολλές μεθόδους βελτιστοποίησης, η επεξεργασία γίνεται βήμα προς βήμα, πηγαίνοντας προσεκτικά από σημείο σε σημείο του πεδίου ορισμού του προβλήματος. Αυτό, το βήμα προς βήμα, ενέχει αρκετούς κινδύνους, ο κυριότερος από τους οποίους είναι να περιοριστεί η αναζήτηση σε μια περιοχή τοπικού ακρότατου, που δεν είναι ολικό. Οι ΓΑ εξαλείφουν αυτόν τον κίνδυνο ενεργώντας ταυτόχρονα πάνω σε ένα ευρύ σύνολο σημείων (σύνολο από συμβολοσειρές). Έτσι μπορούν να «ανεβαίνουν» πολλούς λόφους (hill-climbing) την ίδια στιγμή, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα να βρουν μια λάθος κορυφή. Γυρίζοντας στο παράδειγμα με το μαύρο κουτί, οι κλασικές μέθοδοι θα ξεκινούσαν το ψάξιμο από ένα συνδυασμό των διακοπών και στη συνέχεια, εφαρμόζοντας κάποιο κανόνα μετάβασης, θα δοκίμαζαν τον επόμενο (ψάξιμο δηλαδή σημείο προς σημείο). Αντίθετα, ένας ΓΑ αρχίζει το ψάξιμό του από ένα πληθυσμό συνδυασμών συμβολοσειρών και κατόπιν παράγει διαδοχικά καινούριους. Ένας αρχικός πληθυσμός θα μπορούσε να είναι, π.χ. 01101, 11000, 01000 και 10011. Έπειτα, «τρέχοντας» ο αλγόριθμος δημιουργεί νέους πληθυσμούς, που σιγά σιγά συγκλίνουν προς την επιθυμητή λύση. Διαλέγοντας έναν πληθυσμό που να καλύπτει αντιπροσωπευτικά ένα μεγάλο εύρος τιμών μπορούν να προκύψουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3. Οι ΓΑ χρησιμοποιούν μόνο την αντικειμενική συνάρτηση και καμία επιπρόσθετη πληροφορία:

Πολλές μέθοδοι αναζήτησης απαιτούν αρκετές βοηθητικές πληροφορίες για τη συνάρτηση που επεξεργάζονται. Τέτοιου είδους πληροφορίες δεν προαπαιτούνται από τους ΓΑ. Το ψάξιμό τους είναι κατά κάποιο τρόπο «τυφλό», με την έννοια ότι αξιοποιούν μόνο όση πληροφορία περιέχεται στην αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό προσδίδει μεγάλη ευελιξία, αλλά από την άλλη προκύπτει το ερώτημα αν συμφέρει να αγνοούνται βοηθητικές πληροφορίες. Γι' αυτό έχουν αναπτυχθεί μορφές ΓΑ που αξιοποιούν και τέτοιες πληροφορίες (Knowledge – Based Genetic Algorithms).

4. Οι ΓΑ χρησιμοποιούν πιθανοθεωρητικούς κανόνες αναζήτησης και όχι ντετερμινιστικούς:

Η χρήση πιθανοθεωρητικών κανόνων αναζήτησης είναι κυρίαρχο γνώρισμα των ΓΑ, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η όλη διαδικασία βασίζεται στην τύχη. Δηλαδή, δεν λαμβάνονται αποφάσεις με το «στρίψιμο ενός νομίσματος». Το στοιχείο της τύχης, που εφαρμόζεται μέσω των γενετικών τελεστών, χρησιμοποιείται ως οδηγός για αναζήτηση σε περιοχές που αναμένεται να δώσουν καλά αποτελέσματα.

3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης

Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση των Γενετικών Αλγορίθμων είναι τα εξής [ΓΛ99]:

1. Μπορούν να επιλύουν δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα. Οι Γ.Α. είναι αλγόριθμοι με μεγάλη αποδοτικότητα. Τόσο η θεωρία, όσο και η πράξη έχουν δείξει ότι προβλήματα που έχουν πολλές και δύσκολα προσδιοριζόμενες

λύσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα από Γ.Α. Για παράδειγμα, συναρτήσεις που παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και καθιστούν ανεπαρκείς άλλες μεθόδους κατά την εύρεση των ακροτάτων τους, για τους Γ.Α. δεν αποτελούν σημεία δυσχέρειας.

2. Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα. Οι Γ.Α. προσφέρουν το σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους με προσθετικό τρόπο στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα, μη απαιτώντας την επανασχεδίαση τους. Μπορούν να συνεργαστούν με τον υπάρχοντα κώδικα, χωρίς μεγάλο κόπο. Αυτό συμβαίνει, διότι χρησιμοποιούν αποκλειστικά πληροφορίες της διαδικασίας ή συνάρτησης που πρόκειται να βελτιστοποιήσουν, δίχως να ενδιαφέρει άμεσα ο ρόλος της μέσα στο σύστημα ή η όλη δομή του συστήματος.
3. Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι. Οι Γ.Α. δεν αντιστέκονται σε αλλαγές, επεκτάσεις και μετεξελίξεις. Σε πολλές εφαρμογές, έχουν αναφερθεί λειτουργίες των Γ.Α. που δεν είναι δανεισμένες από τη φύση ή που έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, πάντα προς όφελος της απόδοσης. Παραλλαγές στο βασικό σχήμα δεν είναι αναγκαίες, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις επιβάλλονται.
4. Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους. Αν και η ισχύς των Γ.Α. είναι μεγάλη, σε μερικές ειδικές περιπτώσεις προβλημάτων, όπου άλλες μέθοδοι συμβαίνει να έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα, λόγω εξειδίκευσης, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός υβριδικού σχήματος Γ.Α. με άλλη μέθοδο. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ευελιξίας των Γ.Α.
5. Εφαρμόζονται σε πολύ περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο. Το χαρακτηριστικό που τους εξασφαλίζει αυτό το πλεονέκτημα είναι η ελευθερία επιλογής των κριτηρίων που καθορίζουν την επιλογή μέσα στο τεχνικό περιβάλλον. Έτσι, Γ.Α. μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οικονομία, στο σχεδιασμό μηχανών, στην επίλυση μαθηματικών εξισώσεων, στην εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων και σε πολλούς άλλους τομείς.
6. Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Ο κύριος λόγος που καθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους δύσκαμπτες και ακατάλληλες για πολλά προβλήματα είναι η απαίτηση ύπαρξης περιορισμών, όπως ύπαρξη παραγώγων, συνέχεια, όχι "θορυβώδεις" συναρτήσεις κ.τ.λ. Τέτοιου είδους ιδιότητες είναι αδιάφορες για τους Γ.Α. πράγμα που τους κάνει κατάλληλους για μεγάλο φάσμα προβλημάτων.
7. Δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας. Η μόνη "επικοινωνία" του Γ.Α. με το περιβάλλον του είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εγγυάται την επιτυχία του, ανεξάρτητα από την σημασία του προβλήματος. Βέβαια, δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν άλυτα προβλήματα για τους Γ.Α. Όπου όμως δεν τα καταφέρνουν, η αιτία είναι η φύση του χώρου που ερευνούν και όχι το πληροφοριακό περιεχόμενο του προβλήματος.
8. Έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού. Οι Γ.Α. σε κάθε τους βήμα επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας, αφού κάθε άτομο θεωρείται αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Έχει υπολογιστεί ότι η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι της τάξεως $O(n^3)$, δηλαδή 10 άτομα αντιπροσωπεύουν περίπου 1000. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι μπορούν να καλύψουν με αποδοτικό ψάξιμο μεγάλους χώρους σε μικρούς χρόνους.

9. Είναι μία μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας. Ο συνδυασμός αυτός σπάνια συναντάται σε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Με το τυχαίο ψάξιμο γίνεται καλή εξερεύνηση του χώρου, αλλά δεν γίνεται εκμετάλλευση της πληροφορίας. Αντίθετα, με το hill-climbing γίνεται καλή εκμετάλλευση της πληροφορίας, αλλά όχι καλή εξερεύνηση. Συνήθως τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά και το επιθυμητό είναι να συνυπάρχουν και τα δύο προς όφελος της όλης διαδικασίας. Οι Γ.Α. επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης, πράγμα που τους κάνει ιδιαίτερα αποδοτικούς και ελκυστικούς.
10. Επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση. Οι Γ.Α. μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα των παράλληλων μηχανών, αφού λόγω της φύσης τους, εύκολα μπορούν να δεχτούν παράλληλη υλοποίηση. Το χαρακτηριστικό αυτό αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοσή τους, ενώ σπάνια συναντάται σε ανταγωνιστικές μεθόδους.

3.4 Δυσκολίες στην εφαρμογή των Γενετικών Αλγορίθμων.

Η τεχνολογία των Γ.Α., αν και δεν αποτελεί πρόσφατη ανακάλυψη, άρχισε να εφαρμόζεται ουσιαστικά τα τελευταία χρόνια γιατί η δυσπιστία με την οποία αντιμετώπιζαν οι επιστήμονες το όλο θέμα έχει αρχίσει πλέον να υποχωρεί. Οι κυριότεροι λόγοι που ίσως θα μπορούσαν να σταθούν εμπόδιο στην εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας, με τα αντίστοιχα αντεπιχειρήματά τους, παρουσιάζονται παρακάτω [Λ01]:

➤ Έλλειψη κατάρτισης στον τομέα της Γενετικής.

Για τους περισσότερους που ασχολούνται με την Επιστήμη των Υπολογιστών, οι έννοιες της Εξέλιξης και της Φυσικής Επιλογής είναι οικείες, ωστόσο δεν αποτελούν και τις πιο γνώριμες. Η Βιολογία δεν έχει άμεση σχέση με τους υπολογιστές, γι' αυτό και οι γνώσεις σχεδόν όλων όσων ασχολούνται με αυτή είναι σε πολύ γενικό επίπεδο. Παρόλα αυτά, για την κατανόηση των Γ.Α. δεν απαιτούνται γνώσεις Γενετικής και Βιολογίας. Εκείνο το οποίο συμβαίνει με τους Γ.Α. είναι ότι μιμούνται με αφαιρετικό τρόπο κάποιες διαδικασίες, που παρατηρούνται στη φύση, χωρίς να ενδιαφέρει σε βαθμό λεπτομέρειας η λειτουργία τους και χωρίς να είναι απαραίτητο το γνωστικό υπόβαθρο που έχουν οι βιολόγοι για να μελετήσουν αυτά τα φαινόμενα.

Οι όροι είναι δανεισμένοι από τη βιολογία με σκοπό την καλύτερη εισαγωγή και κατανόηση του θέματος και όχι την παραπομπή του μελετητή στα άγνωστα πεδία μιας ξένης επιστήμης και, τελικά, τη σύγχυσή του. Θα μπορούσε, ίσως, να παραληφθεί η αναφορά στη Γενετική και να γίνει μια παρουσίαση των Γ.Α. ως «προσωπικές διαδικασίες για αναζήτηση και βελτιστοποίηση», αν και αυτό μάλλον θα έκανε τα πράγματα δυσμενέστερα. Εξάλλου είναι συνηθισμένο φαινόμενο θεωρίες δανεισμένες από άλλες επιστήμες να διατηρούν την αυθεντική τους ορολογία (π.χ. στα Νευρωνικά Δίκτυα: νευρώνες, συνάψεις, κτλ.). Επιπλέον, το μέλλον και η εξέλιξη των Γ.Α. δεν εξαρτώνται σε καμία περίπτωση από τις αντίστοιχες θεωρίες της Βιολογίας. Το αρχικό μοντέλο είναι δανεισμένο από εκεί, όμως, η εφαρμογή του στα Τεχνητά Συστήματα έγινε με πλήθος

διαφοροποιήσεων, προσαρμοσέων και παρεκτροπών με στόχο πάντα τη βελτίωση της απόδοσης.

➤ Το πρόβλημα του Χρόνου.

Στη φύση, όπως είναι γνωστό, η εξέλιξη λειτουργεί με ρυθμούς πολύ αργούς. Χρειάζονται να περάσουν χιλιάδες γενιές, άρα και αρκετός χρόνος, για να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά των ειδών και να διαφοροποιηθούν οι ικανότητες και η συμπεριφορά τους. Θέτεται, έτσι, το ερώτημα πώς ένα μοντέλο αναζήτησης λύσεων είναι δυνατό να έχει καλές επιδόσεις χρόνου, όταν είναι εμπνευσμένο από μια φυσική διαδικασία, που εξελίσσεται με ρυθμούς απίστευτα αργούς.

Η απάντηση είναι απλή. Κατ' αρχήν, ακόμα και στη φύση, η εξέλιξη δεν είναι από μόνη της μια αργή διαδικασία. Εξέλιξη των ειδών συμβαίνει όταν αλλάζει το περιβάλλον τους και πρέπει να προσαρμοστούν στα καινούργια δεδομένα για να επιβιώσουν. Όμως, οι περιβαλλοντικές αλλαγές γίνονται με πολύ αργούς ρυθμούς με αποτέλεσμα η εξέλιξη να ακολουθεί τους ίδιους ρυθμούς. Αν οι αλλαγές του περιβάλλοντος γίνονται με γρηγορότερο τρόπο, τότε επιταχύνεται και η εξέλιξη. Αυτό, άλλωστε, παρατηρείται και στα βιολογικά εργαστήρια, όπου μικροοργανισμοί αλλάζουν τη συμπεριφορά τους αμέσως, όταν τοποθετούνται σε νέες συνθήκες. Επιπλέον, στο πεδίο των υπολογιστών, τα άτομα κωδικοποιούνται συνήθως ως συμβολοσειρές και οι συνθήκες του περιβάλλοντος μοντελοποιούνται με απλές μαθηματικές σχέσεις. Έτσι, το μοντέλο με το οποίο δουλεύει ο υπολογιστής δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο υπολογιστικό φόρτο, συγκρινόμενο πάντα με αντίστοιχες μεθόδους. Το πλήθος των ατόμων, που κάθε φορά εξετάζεται, είναι από λίγες δεκάδες έως μερικές χιλιάδες, δηλαδή αρκετές τάξεις μεθόδους κάτω από το πλήθος των γονιδίων των χρωμοσωμάτων ενός έμβριου όντος. Ο ρυθμός που μπορούν να ζευγαρώνουν τα άτομα στους πιο γρήγορους υπολογιστές μπορεί να φτάσει το ένα εκατομμύριο ανά δευτερόλεπτο. Όσο μεγάλος και αν είναι ο χώρος που καλείται ο αλγόριθμος να ψάξει, η επεξεργασία μερικών μόνο ατόμων αρκεί, γιατί τα άτομα αυτά θεωρούνται αντιπρόσωποι ολόκληρων κλάσεων. Έτσι, λοιπόν, οι ταχύτητες που μπορούν να επιτύχουν οι Γ.Α. είναι πολύ υψηλές ενώ το μήκος της γενιάς, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων που περιλαμβάνει, είναι ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα της εξέλιξης.

3.5 Θεωρία Στατιστικής

Ο συνηθέστερος και γνωστότερος ορισμός της "Στατιστικής" δόθηκε από τον πατέρα της σύγχρονης Στατιστικής Sir R. A. Fisher (1890-1962), σύμφωνα με τον οποίο η στατιστική είναι ένα σύνολο αρχών και μεθοδολογιών για:

- Το σχεδιασμό της διαδικασίας συλλογής δεδομένων (Θεωρία και Τεχνικές Δειγματοληψίας).
- Τη συνοπτική και αποτελεσματική παρουσίαση των παρατηρήσεων (Περιγραφική Στατιστική).

- Την ανάλυση και εξαγωγή βάσιμων συμπερασμάτων για όλο το σύνολο και τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας (Στατιστική Συμπερασματολογία).

3.5.1 Στατιστικά μέτρα

Κάθε πληθυσμός χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιότητες οι οποίες προσδιορίζουν την φυσιογνωμία και την δομή του. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζονται μέσω κάποιων αριθμητικών μεγεθών - μέτρων. Το κύριο πλεονέκτημα των μέτρων αυτών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διενέργεια εκτιμήσεων και τον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων.

Διακρίνονται πέντε είδη στατιστικών μέτρων που αντιστοιχούν σε ισάριθμους τρόπους περιγραφής της κατανομής των δεδομένων και είναι τα εξής [Z03, YK10]:

1. Μέτρα κεντρικής τάσης: Περιγράφουν την τάση που εμφανίζουν τα δεδομένα να περιστρέφονται γύρω από μια κεντρική τιμή. Αλλιώς, εκφράζουν την τυπική ή μέση τιμή τους.
2. Μέτρα θέσης: Αντιστοιχούν σε μέτρα με σκοπό τον εντοπισμό της θέσης της κατανομής κατά μήκος του άξονα των τιμών της.
3. Μέτρα διασποράς: Αποτελούν μια ποσοτική αξιολόγηση της συγκέντρωσης των τιμών μιας μεταβλητής γύρω από την κεντρική τιμή.
4. Μέτρα λοξότητας: Καθορίζουν το είδος της ασυμμετρίας - θετική ή αρνητική (συντελεστής ασυμμετρίας).
5. Μέτρα κύρτωσης: Προσδιορίζουν την κατανομή των τιμών γύρω από την κεντρική τιμή σε σχέση με τις ακραίες τιμές καθορίζοντας μονοκόρυφες καμπύλες με αιχμηρότητα (συντελεστής κύρτωσης).

Μέτρα κεντρικής τάσης

Έστω η τυχαία μεταβλητή X_i ($i = 1 \dots n$), η οποία σε τυχαίο δείγμα μεγέθους n ενός πληθυσμού, έδωσε τα αποτελέσματα x_1, x_2, \dots, x_n .

- **Αριθμητικός μέσος (Mean)**: Ορίζεται ως το άθροισμα των n παρατηρήσεων δια του πλήθους των παρατηρήσεων και ισούται με:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Πιο συγκεκριμένα, αν οι παρατηρήσεις αποτελούν το σύνολο ενός πληθυσμού μεγέθους $n = N$ το μ είναι ο *πληθυσμιακός μέσος*, ενώ εάν $n < N$, δηλαδή οι παρατηρήσεις X_i αποτελούν απλώς ένα δείγμα n του πληθυσμού, τότε έχουμε το *δειγματικό μέσο* που δίνεται από το τύπο:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Στην περίπτωση ομαδοποιημένων παρατηρήσεων (όπου συχνότητες f εμπλέκονται) τότε το άθροισμα του αριθμητή και των δύο μέσων αντικαθίστανται από το τύπο $\sum_{i=1}^N f_i x_i$.

- **Αρμονικός μέσος:**

Ο αρμονικός μέσος n παρατηρήσεων (X_1, \dots, X_n) είναι το αντίστροφο του αριθμητικού μέσου των αντίστροφων τιμών των παρατηρήσεων, δηλαδή

$$H = \frac{N}{\sum_{i=1}^N 1/x_i} \quad \text{για πληθυσμό}$$

$$h = \frac{n}{\sum_{i=1}^n 1/x_i} \quad \text{για δείγμα}$$

- **Σταθμικός μέσος (Weighted Mean):**

Εάν οι τιμές x_1, x_2, \dots, x_n ενός συνόλου δεδομένων έχουν διαφορετική βαρύτητα, το οποίο εκφράζεται με τους λεγόμενους μη μηδενικούς συντελεστές στάθμισης w_1, w_2, \dots, w_n , τότε αντί του αριθμητικού μέσου χρησιμοποιούμε το σταθμισμένο αριθμητικό μέσο ή σταθμικό μέσο. Ο σταθμικός μέσος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{x} = \frac{x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Μέτρα θέσης

- **Επικρατούσα τιμή (Mode):**

Ονομάζεται η τιμή της μεταβλητής που έχει την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Συμβολίζεται με T όταν $n = N$ (επικρατούσα τιμή πληθυσμού) και με τ όταν $n < N$ (επικρατούσα τιμή δείγματος). Η επικρατούσα τιμή δεν ορίζεται μονοσήμαντα εφ' όσον υπάρχουν πολύ-κόρυφες καμπύλες συχνότητων.

- **Διάμεσος (Median):**

Η διάμεσος είναι η κεντρική τιμή όταν διατάξουμε τις n μετρήσεις (X_1, \dots, X_n) σε αύξουσα σειρά. Συμβολίζεται με M όταν $n = N$ (διάμεσος πληθυσμού) και με m όταν $n < N$ (διάμεσος δείγματος).

Όταν το n είναι περιττός αριθμός τότε υπολογίζεται:

$$M = \frac{x_{N+1}}{2}$$

Ενώ όταν είναι άρτιος:

$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{x_{N+1}}{2} + \frac{x_N}{2} \right)$$

- **Τεταρτημόρια (Quartiles):**

Ονομάζονται οι μεταβλητές που χωρίζουν το σύνολο των τιμών της σε 4 ισοπληθείς ομάδες, όταν οι τιμές της μεταβλητής τοποθετούνται σε αύξουσα σειρά και συμβολίζονται με Q_1 , Q_2 , Q_3 .

- Το πρώτο τεταρτημόριο Q_1 είναι η τιμή της μεταβλητής που θα έχει κάτω από αυτή το 25% των παρατηρήσεων.
- Το δεύτερο τεταρτημόριο Q_2 είναι η τιμή της μεταβλητής που θα έχει κάτω από αυτή το 50% των παρατηρήσεων (διάμεσος).
- Το τρίτο τεταρτημόριο Q_3 είναι η τιμή της μεταβλητής που θα έχει κάτω από αυτή το 75% των παρατηρήσεων.

Μέτρα διασποράς

Ένα από τα βασικότερα γνωρίσματα των στατιστικών δεδομένων είναι η μεταβλητότητα, δηλαδή η διαφοροποίηση των τιμών μιας μεταβλητής μεταξύ των στατιστικών μονάδων. Μικρός αριθμός διαφοροποίησης χαρακτηρίζει ομοιογενή δεδομένα. Στην περίπτωση πλήρους ομοιότητας, η μεταβλητότητα είναι 0 και ο αριθμητικός μέσος αποτελεί το πληρέστερο μέτρο περιγραφής.

Οι βασικοί λόγοι χρήσης των μέτρων διασποράς είναι οι ακόλουθοι [Z03]:

- Η μεταβλητότητα αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό ενός συνόλου δεδομένων και επομένως ως μέτρο του βαθμού διασποράς των παρατηρήσεων αποτελεί βασικό περιγραφικό στατιστικό.
- Η μεταβλητότητα είναι βασικό αντικείμενο πολλών στατιστικών μεθόδων. Ακόμη και στην περίπτωση ενός συνόλου η μεταβλητότητα δείχνει την δυνατότητα που έχει ένα μέτρο θέσης ως περιληπτικό στατιστικό να περιγράψει τα δεδομένα.
- Τα μέτρα μεταβλητότητας είναι χρήσιμα για τον εντοπισμό εκτρόπων παρατηρήσεων. Η ύπαρξη ακραίων τιμών επηρεάζει την τιμή του μέσου αλλά και την διασπορά των παρατηρήσεων γύρω από αυτόν.

Τα μέτρα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της μεταβλητότητας μιας κατανομής είναι:

- **Εύρος (Range):**

Ορίζεται από τη διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής.

- **Μέση απόκλιση (Average deviation):**

Ορίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων των τιμών των δεδομένων από τον αριθμητικό τους μέσο και δίνεται από τους τύπους,

$$MAA = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \mu|}{N} \quad \text{για πληθυσμό}$$

$$mma = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad \text{για δείγμα}$$

Η μέση απόκλιση λαμβάνει μεγάλες τιμές στην περίπτωση που οι παρατηρήσεις (x_1, x_2, \dots, x_n) βρίσκονται μακριά από το μέσο τους και μηδενική τιμή όταν οι παρατηρήσεις ισούνται μεταξύ τους ($x_1=x_2=\dots=x_n$).

Αν στον ορισμό της μέσης απόκλισης αντικαταστήσουμε τον αριθμητικό μέσο με τη διάμεσο προκύπτουν οι ακόλουθες εκφράσεις,

$$MAA^* = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - M|}{N} \quad \text{για πληθυσμό}$$

$$mma^* = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - m|}{n} \quad \text{για δείγμα}$$

όπου, σε περίπτωση ασυμμετρίας, η διάμεσος περιγράφει καλύτερα τη κατανομή των δεδομένων από ότι ο μέσος με συνέπεια η mma^* να εκφράζει καλύτερα την κύμανση της κατανομής.

- **Διακύμανση (Variance) ή διασπορά:**

Ορίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών της μεταβλητής από τον αριθμητικό μέσο και συμβολίζεται με σ^2 .

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \quad \text{για πληθυσμό}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{για δείγμα}$$

- **Τυπική απόκλιση (Standard deviation):**

Ονομάζεται η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης και ισούται με,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad \text{για πληθυσμό}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{για δείγμα}$$

Η τυπική απόκλιση ενός δείγματος αποτελεί δείκτη του βαθμού διασποράς των τιμών γύρω από τον αριθμητικό μέσο.

Μεγάλες τιμές των μέτρων δηλώνουν μεγάλη μεταβλητότητα των τιμών του πληθυσμού και συνεπώς μεγάλη απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο. Αν όλες οι τιμές της μεταβλητής είναι ίσες μεταξύ τους θα είναι για όλες τις παρατηρήσεις $(x_i - \mu)^2=0$ και στην περίπτωση αυτή η διακύμανση και η τυπική απόκλιση θα είναι μηδενικές.

Μέτρα Ασυμμετρίας και Κύρτωσης

Πέρα από την θέση και την διασπορά μιας κατανομής σημαντικά είναι και τα μέτρα που αφορούν την μορφή και το σχήμα της κατανομής. Επομένως, πολλές φορές χρειάζεται να καθοριστεί η μορφολογία μιας κατανομής, δηλαδή η ασυμμετρία και η κύρτωσή της. Η ασυμμετρία αναφέρεται στην απόκλιση του διαγράμματος της κατανομής συχνοτήτων

από το διάγραμμα της κανονικής κατανομής ενώ η κυρτότητα στο πόσο πεπλατυσμένο είναι το διάγραμμα την κατανομής συχνοτήτων.

Κατανομές που έχουν μία μόνο κορυφή ονομάζονται μονοκόρυφες. Διαφορετικά, η ύπαρξη δύο επικρατουσών τιμών οδηγεί στον ορισμό των δικόρυφων κατανομών. Ακόμα, η έλλειψη συμμετρίας χαρακτηρίζει τις κατανομές σε θετικά ασυμμετρικές και αρνητικά ασυμμετρικές.

Ακόμα, στην περίπτωση πλήρους συμμετρίας, ο μέσος, η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή συμπίπτουν και βρίσκονται στον άξονα συμμετρίας της κατανομής. Αντίθετα, κατά τη θετική ασυμμετρία, ο μέσος είναι μεγαλύτερος της διαμέσου, και στην περίπτωση αρνητικής ασυμμετρίας, ο μέσος είναι μικρότερος της διαμέσου.

- **Συντελεστής ασυμμετρίας του Pearson**

Αν μ και σ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των τιμών μιας τυχαίας μεταβλητής αντίστοιχα, τότε ορίζουμε ως μέτρο ασυμμετρίας (skewness) τον αριθμό:

$$\beta_1 = \text{skew} = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$$

όπου $\mu_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3$ για απλά δεδομένα.

Είναι φανερό ότι στην περίπτωση πλήρους συμμετρίας, δηλαδή αν οι ισαπέχουσες από τη μέση τιμή μ τιμές x_i παρουσιάζουν την ίδια συχνότητα, τότε οι θετικές και αρνητικές διαφορές $(x_i - \mu)^3$ έχουν άθροισμα 0, οπότε $\mu_3=0$ και $\beta_1=0$.

Αν η καμπύλη παρουσιάζει ουρά προς τα δεξιά (θετική συμμετρία) ή προς τα αριστερά (αρνητική συμμετρία), τότε οι διαφορές $(x_i - \mu)^3$ είναι θετικές ή αρνητικές αντίστοιχα. Επίσης, θα είναι $\mu_3, \beta_1 > 0$ στη θετική συμμετρία και $\mu_3, \beta_1 < 0$ στην αρνητική.

- **Συντελεστής κυρτότητας του Pearson**

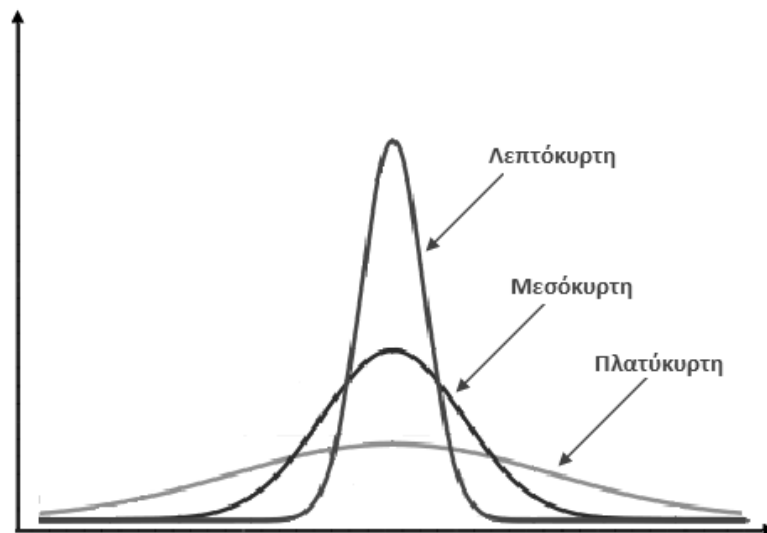
Χαρακτηρίζει το ύψος της κορυφής της κατανομής και δίνει πληροφορίες για την αιχμηρότητα της καμπύλης. Οι κατανομές διακρίνονται σε λεπτόκυρτες, μεσόκυρτες και πλατύκυρτες (Σχήμα 3.1).

Αν μ και σ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των τιμών μιας τυχαίας μεταβλητής αντίστοιχα, τότε ως μέτρο ασυμμετρίας (kurtosis) ορίζεται ο αριθμός:

$$\beta_2 = \text{kurt} = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$$

όπου $\mu_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^4$ για απλά δεδομένα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυρτότητα συνηθίζεται να μετράται με βάση τη διαφορά (β_2-3) . Έτσι, ο συντελεστής β_2 για κανονική κατανομή είναι πάντοτε ίσος με 3, δηλαδή $\beta_2=3$, για λεπτόκυρτες είναι $\beta_2 > 3$ και για πλατύκυρτες είναι $\beta_2 < 3$. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά (β_2-3) , τόσο αιχμηρότερη είναι η καμπύλη της κατανομής των τιμών.



Σχήμα 3.1: Λεπτόκυρτη, μεσόκυρτη και πλατύκυρτη κατανομή.

3.5.2 Η Κανονική Κατανομή

Μια από τις σημαντικότερες συνεχείς κατανομές στη θεωρία των Πιθανοτήτων αλλά και της Στατιστικής είναι η Κανονική Κατανομή (Normal Distribution). Μελετήθηκε αρχικά από τον De Moivre (1667-1754) και από τον Laplace (1749 - 1827) οι οποίοι απέδειξαν ότι η διωνυμική κατανομή $B(n, p)$ προσεγγίζεται, για μεγάλο n , από την κανονική κατανομή. Το 1809 ο Gauss (1777 - 1855) μελετώντας τη θεωρία τυχαίων σφαλμάτων παρατήρησε ότι οι κατανομές των σφαλμάτων αυτών μπορούσαν να προσεγγιστούν ικανοποιητικά από μία συνεχή καμπύλη, η οποία αναφερόταν ως «κανονική καμπύλη των σφαλμάτων» [B03]. Για το λόγο αυτό η κανονική κατανομή ονομάζεται και κατανομή των σφαλμάτων (law of errors) ενώ είναι γνωστή και ως κατανομή Gauss για τη μεγάλη συνεισφορά αυτού στην ανάδειξη των ιδιοτήτων και της σημασίας της. Η χρησιμότητα της κανονικής κατανομής θα γίνει περισσότερο φανερή από το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα που θα αναφερθεί στη συνέχεια.

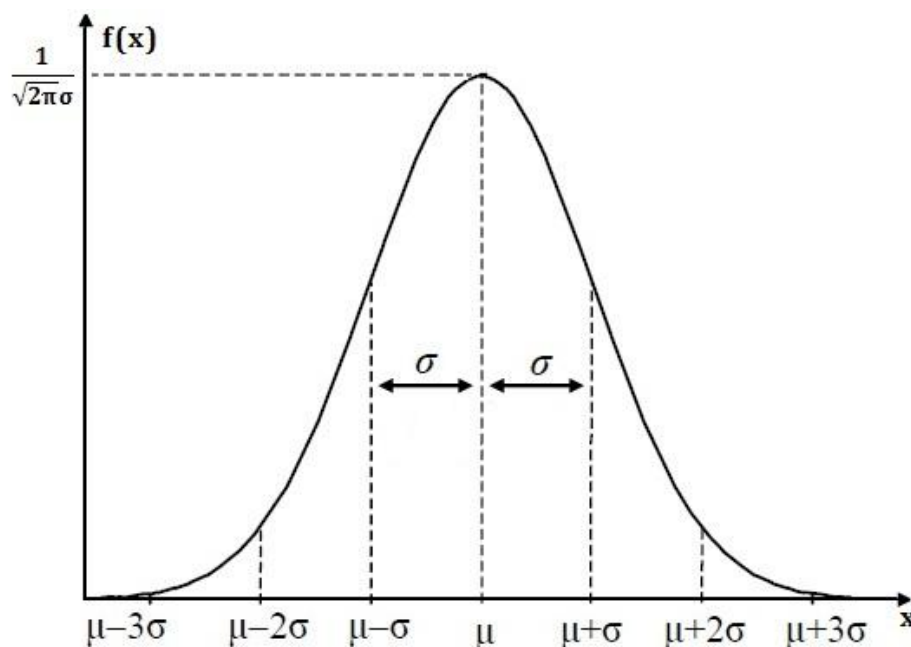
Μερικοί από τους λόγους που εξηγούν την εξέχουσα θέση της κανονικής κατανομής είναι οι εξής [ΔΠΧ03]:

- πολλά πληθυσμιακά χαρακτηριστικά (π.χ. ύψος, βάρος, βαθμολογία σε τεστ κλπ.) περιγράφονται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή.
- τυχαία σφάλματα που εμφανίζονται σε διάφορες μετρήσεις έχουν κανονική κατανομή. Για το λόγο αυτό, η κανονική κατανομή αναφέρεται πολλές φορές και ως κατανομή σφαλμάτων.
- το άθροισμα και ο μέσος όρος μεγάλου αριθμού παρατηρήσεων ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή ανεξάρτητα από το ποια κατανομή ακολουθούν οι αρχικές παρατηρήσεις.
- πολλές κατανομές, τόσο διακριτές όσο και συνεχείς, μπορούν κάτω από ορισμένες συνθήκες να προσεγγισθούν από την κανονική κατανομή.

Μια συνεχής τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί την κανονική κατανομή με παραμέτρους μ , σ^2 ($-\infty < \mu < +\infty$, $\sigma > 0$), και συμβολίζεται $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που δίνεται από τον τύπο:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} (x-\mu)^2\right\}, x \in \mathbb{R}.$$

Η μορφή της κανονικής κατανομής φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Η παράμετρος μ καθορίζει τη θέση της κατανομής πάνω στον άξονα των x , γι' αυτό και ονομάζεται παράμετρος θέσης, ενώ η παράμετρος σ καθορίζει το πόσο απλώνεται η κατανομή πάνω στον άξονα των x και καλείται παράμετρος μεταβλητότητας. Είναι προφανές ότι η συνάρτηση πυκνότητα πιθανότητας έχει κωνοειδή μορφή με κορυφή το σημείο $x = \mu$, και είναι συμμετρική ως προς τον άξονα που διέρχεται από το μ . Στο διάστημα $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ περιέχονται όλες σχεδόν οι πιθανές τιμές της τ.μ. X . Ακόμα, η κανονική κατανομή είναι ασύμπτωτη ως προς τον οριζόντιο άξονα x , ενώ η μέση τιμή, η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή της συμπίπτουν. Επιπλέον, οι συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας ισούνται με μηδέν και τρία αντίστοιχα.



Σχήμα 3.2: Κανονική Κατανομή.

Η ειδική περίπτωση $\mu = 0$, $\sigma = 1$, που συμβολίζεται ως $N(0, 1)$, αντιστοιχεί στην τυπική κανονική κατανομή (standard normal distribution) με σ.π.π. που δίνεται από τη σχέση:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2}\right\}, x \in \mathbb{R}$$

Επιπλέον, μια πολύ σημαντική ιδιότητα της κανονικής κατανομής είναι η εξής [Π09]:

Αν η τ.μ. X ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή και μ και διασπορά σ^2 , δηλαδή $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, τότε η τυχαία μεταβλητή Z

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή, δηλαδή $Z \sim N(0, 1)$. Η μεταβλητή Z λέγεται τυποποιημένη κανονική τυχαία μεταβλητή.

Τέλος, αν η κατανομή ενός δείγματος είναι κανονική με $N(\mu, \sigma^2)$, τότε ισχύει ότι το 68.3% των μεσαίων τιμών βρίσκεται μεταξύ $\mu - \sigma$ και $\mu + \sigma$ (Σχήμα 4.2). Αντίθετα, αν το ποσοστό που περιέχεται στο διάστημα αυτό είναι μικρότερο του 68.3%, τότε η κατανομή είναι πλατύκυρτη, ενώ αν είναι μεγαλύτερο αυτού η κατανομή είναι λεπτόκυρτη.

3.5.3 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα

Το μυστικό που εξηγεί το μεγάλο εύρος εφαρμογών της κανονικής κατανομής, βρίσκεται σε ένα εκπληκτικά ισχυρό θεωρητικό αποτέλεσμα της Θεωρίας Πιθανοτήτων. Πρόκειται για το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Central Limit Theorem), τις βάσεις του οποίου έθεσαν δύο μεγάλοι Μαθηματικοί, ο Abraham De Moivre το 1733 και έναν αιώνα περίπου αργότερα, το 1812, ο Laplace. Συγκεκριμένα, πρώτα αποδείχθηκε το οριακό θεώρημα των De Moivre – Laplace και πολύ αργότερα, την περίοδο 1901-1902, διατυπώθηκε και αποδείχθηκε το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα από τον Ρώσο μαθηματικό Lyapunov.

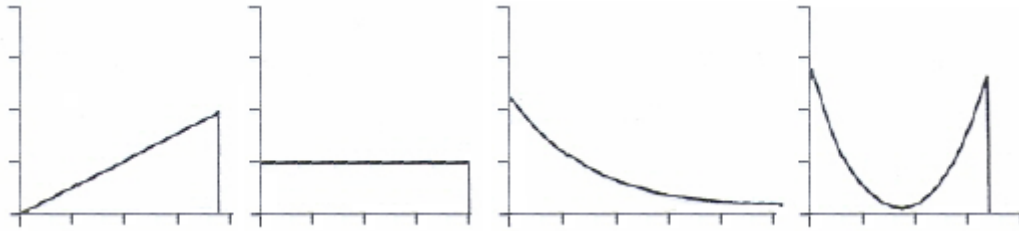
Σύμφωνα, λοιπόν, με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Κ.Ο.Θ.), το άθροισμα και, επομένως η μέση τιμή, μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παρατηρήσεων, ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή, ανεξαρτήτως από το ποια κατανομή ακολουθούν οι παρατηρήσεις.

Είναι γεγονός ότι, σε πολλά φαινόμενα και πειράματα, οι τιμές διαφόρων χαρακτηριστικών (μεταβλητών) είναι απόρροια αθροιστικής επίδρασης πολλών ανεξάρτητων παραγόντων, κανένας εκ των οποίων δεν υπερισχύει των άλλων [Π1]. Για παράδειγμα, ο χρόνος αναμονής σε μια ουρά, προκύπτει ως αποτέλεσμα πολλών παραγόντων, όπως, η ημέρα της εβδομάδας, η ώρα της ημέρας, η αποτελεσματικότητα του υπαλλήλου, το είδος της συναλλαγής που διεκπεραιώνεται, κ.ά. Καθένας από τους παράγοντες αυτούς επιφέρει ένα θετικό ή αρνητικό βαθμό και όλοι μαζί αθροιστικά συντελούν στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος. Το Κ.Ο.Θ, λοιπόν, αναφέρει ότι τέτοια χαρακτηριστικά μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή, συνδέοντας έτσι την κανονική κατανομή με οποιαδήποτε άλλη κατανομή.

Μια πληρέστερη διατύπωση του Κ.Ο.Θ είναι η εξής [Π2]:

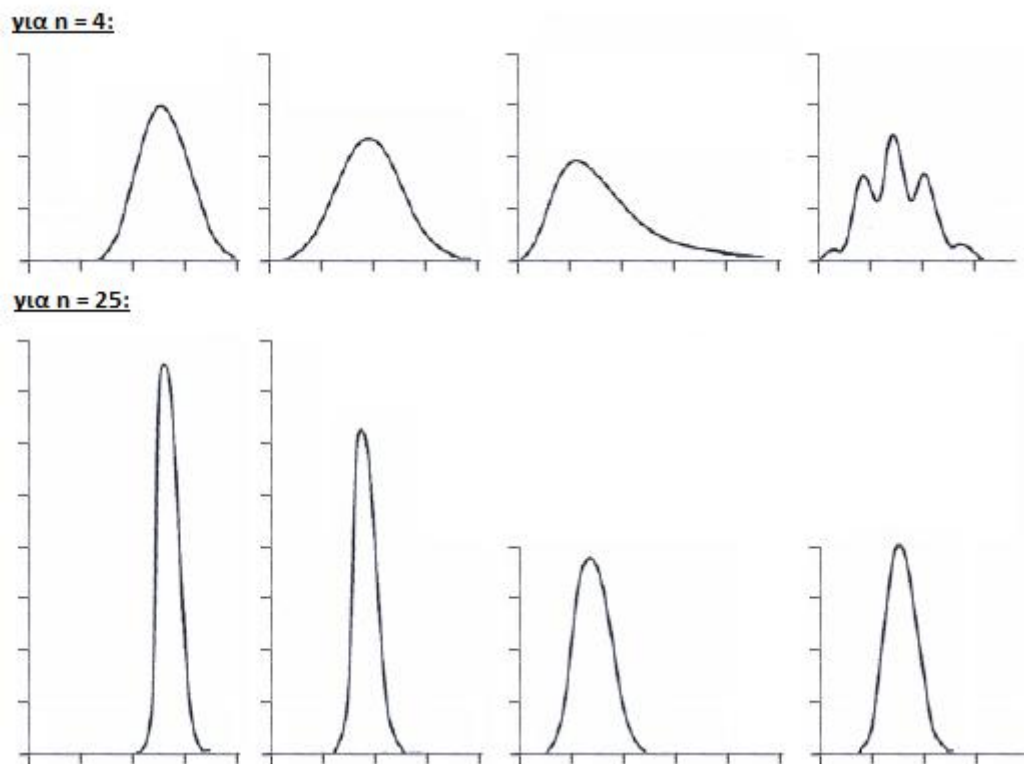
Αν από ένα πληθυσμό που ακολουθεί οποιαδήποτε κατανομή με μέση τιμή μ και διακύμανση σ^2 , επιλεγθεί ένα τυχαίο δείγμα μεγέθους n και υπολογιστούν οι μέσοι όροι τους, τότε για μεγάλα n (θεωρητικά $n \rightarrow \infty$) η κατανομή αυτών των μέσων (των δειγματικών) είναι κατά προσέγγιση κανονική κατανομή με μέση τιμή επίσης μ και διασπορά σ^2 / n .

Έστω, για παράδειγμα, οι παρακάτω κατανομές τεσσάρων πληθυσμών [Π2]:



Σχήμα 3.3: Γραφική απεικόνιση τεσσάρων πληθυσμών.

Εφαρμόζοντας το Κ.Ο.Θ., οι κατανομές των δειγματικών τους μέσων, για δυο διαφορετικά μεγέθη n , θα είναι αντίστοιχα:



Σχήμα 3.4: Κανονική προσέγγιση κατανομών για $n = 4$ και $n = 25$.

Όπως προκύπτει, όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος n των δειγμάτων, τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση της κατανομής των δειγματικών μέσων από την κανονική κατανομή. Στην πράξη, $n \geq 30$ είναι αρκετό για την επίτευξη ικανοποιητικών προσεγγίσεων.

Τέλος, μια ισοδύναμη διατύπωση του Κ.Ο.Θ. είναι και η ακόλουθη [Π2]:

Αν από ένα πληθυσμό που ακολουθεί οποιαδήποτε κατανομή με μέση τιμή μ και διασπορά σ^2 , επιλεγθούν τυχαία δείγματα μεγέθους n και υπολογιστεί το άθροισμα των παρατηρήσεων κάθε δείγματος, τότε για μεγάλα n (θεωρητικά $n \rightarrow \infty$) η κατανομή αυτών των αθροισμάτων είναι κατά προσέγγιση κανονική κατανομή με μέση τιμή επίσης $n\mu$ και διακύμανση $n\sigma^2$. Δηλαδή, αν S_n αντιστοιχεί στην τυχαία μεταβλητή που εκφράζει αυτά τα αθροίσματα, τότε κατά προσέγγιση $S_n \sim N(n\mu, n\sigma^2)$.

Κεφάλαιο 4^ο

Πειραματική

Διαδικασία

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται όλα τα στάδια υλοποίησης των πειραματικών διατάξεων που στήθηκαν σε κλωβό Faraday για την καταγραφή των εγκεφαλικών ηλεκτρικών σημάτων, παρουσία και απουσία Η/Μ ακτινοβολίας εκπεμπόμενη από Wi Fi σύστημα. Αναπτύσσεται, επίσης, η δοκιμασία συμπλήρωσης προτάσεων (Hayling Sentence Completion Test) στην οποία υποβλήθηκαν οι συμμετέχοντες στο πείραμα.

4.2 Πειραματική διαδικασία

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει αρκετή έρευνα σχετικά με την επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων της περιοχής των ραδιοσυχνοτήτων (RF – EMF) στη βιολογική ύλη. Βάσει δημοσιευμένων μελετών, υπάρχουν ενδείξεις ότι η έκθεση σε RF ακτινοβολία επηρεάζει τον ανθρώπινο εγκέφαλο και κατ' επέκταση τη νόηση και τη συμπεριφορά. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι σε άτομα που πραγματοποίησαν ποικίλες δοκιμασίες ενώ είχαν εκτεθεί σε RF ακτινοβολία, εκπεμπόμενη από κινητά τηλέφωνα, η γνωστική λειτουργία και κάποιες πτυχές της φυσιολογίας του εγκεφάλου μπορεί να διαφοροποιηθούν. Ακόμα, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η επίδραση της ακτινοβολίας αυτής έχει άμεση σχέση με το φύλο του ανθρώπου.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετούνται τα ηλεκτρικά εγκεφαλικά σήματα που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας Hayling με ή χωρίς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από Wi Fi.

Η διεξαγωγή των πειραμάτων έλαβε χώρα στο ΕΠΙΨΥ (Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Ψυχικής Υγιεινής) του Αιγινήτειου Νοσοκομείου και για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ελήφθη ένα ικανοποιητικό δείγμα ατόμων ώστε τα αποτελέσματα να είναι όσο το δυνατό πιο αξιόπιστα.

4.2.1 Πειραματική διάταξη και διαδικασία μέτρησης

Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1. Μέρος της διάταξης βρίσκεται μέσα σε κλωβό Faraday, με μόνωση από αλουμίνιο, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται οποιαδήποτε ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις.

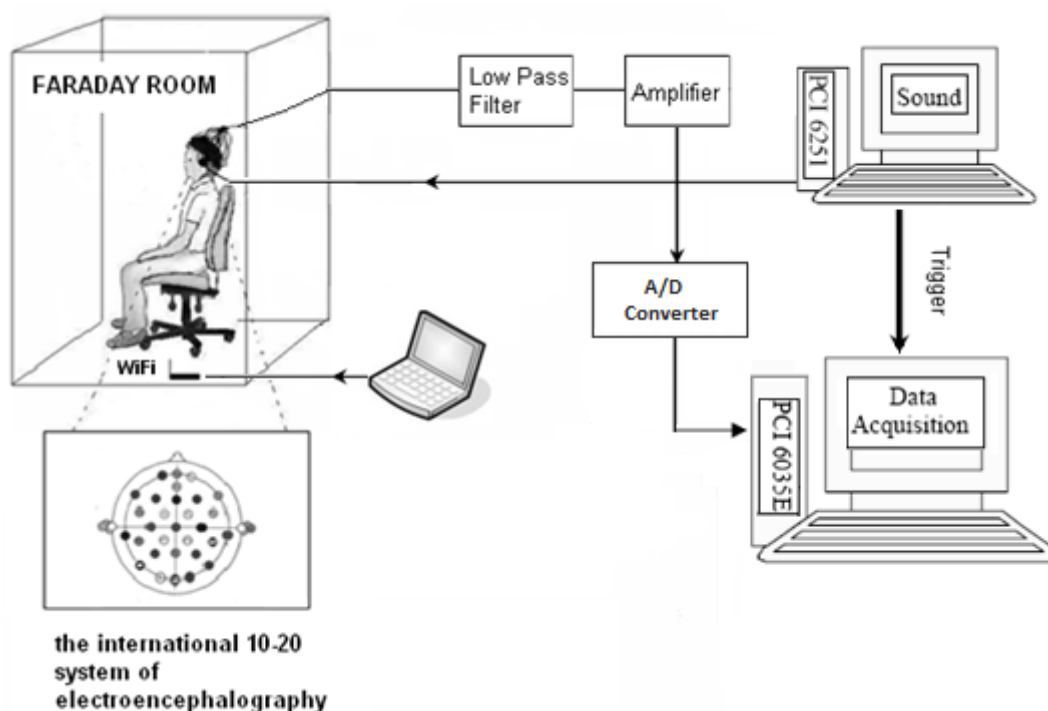
Μέσα στον κλωβό και σε απόσταση 1,5m από τον εξεταζόμενο υπάρχει ένα Wi Fi access point, που δημιουργεί το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και βρίσκεται σε σύνδεση με έναν υπολογιστή. Η κεραία του Wi Fi είναι μια διπολική ομοιοκατευθυντική κεραία και ακτινοβολεί σε συχνότητα 2.4GHz. Ο εξεταζόμενος χρησιμοποιεί έναν ειδικό σκούφο για την καταγραφή του ηλεκτρικού σήματος του εγκεφάλου που αποτελείται από τριάντα δύο προσαρμοσμένα ηλεκτρόδια. Δύο ηλεκτρόδια, που έρχονται σε επαφή με τους λοβούς των αυτιών του και είναι βραχυκυκλωμένα, αποτελούν την γείωση.

Στη συνέχεια και εκτός κλωβού Faraday, τα 32 σήματα εισέρχονται σε ένα βαθυπερατό φίλτρο (low pass filter). Το φίλτρο «κόβει» συχνότητες άνω των 35Hz, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεμβολή από το δίκτυο παροχής ρεύματος. Έπειτα, τα σήματα, αφού υποβληθούν σε ενίσχυση (μέσω ενός ενισχυτή - amplifier), καταλήγουν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι εφοδιασμένος με κάρτα ανάκτησης δεδομένων

(Data Acquisition - DAQ) 32 εισόδων. Μέσω της κάρτας λαμβάνονται τα 32 εγκεφαλικά σήματα τα οποία αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή και οι κυματομορφές τους παρουσιάζονται στην οθόνη του. Η αναπαράσταση και η αποθήκευση των σημάτων γίνεται σε περιβάλλον σχεδιασμένο με το λογισμικό LabView (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench). Το LabView είναι ένα περιβάλλον γραφικού προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για λήψη δεδομένων και έλεγχο οργάνων [N07].

Παράλληλα, υπάρχει ένας δεύτερος υπολογιστής ο οποίος έχει τη δυνατότητα να φιλοξενεί πολλές ηχητικές ψυχιατρικές δοκιμασίες. Ο υπολογιστής αυτός είναι εξοπλισμένος με ειδική κάρτα (PCI 6251) η οποία ελέγχεται μέσω interface προγραμματισμένο σε LabView και όταν τα ηχητικά μηνύματα αναπαράγονται από την κάρτα ήχου στέλνει σήμα σκανδαλισμού (trigger) στον άλλο υπολογιστή να λάβει τα δεδομένα, δηλαδή τα 32 σήματα των ηλεκτροδίων τα οποία αποθηκεύονται και αναπαριστώνται στην οθόνη. Η κάρτα αυτή διαβάζει και δίνει ως είσοδο αρχεία ήχου “.wav” στην κάρτα ήχου ενώ ταυτόχρονα με την έναρξη αναπαραγωγής τους συγχρονίζει το σκανδαλισμό του άλλου υπολογιστή. Η επικοινωνία των δυο υπολογιστών βασίστηκε στο πρωτόκολλο IEEE 488.1. [N07]

Ακόμα, ο εξετάζων έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μέσα από αποθηκευμένα αρχεία ήχου αυτά που επιθυμεί, να σταματήσει και να ξεκινήσει, εύκολα, την αναπαραγωγή τους με χρήση πλήκτρων STOP και START που έχουν δημιουργηθεί γι' αυτό το σκοπό και, επίσης, να δει την κυματομορφή του ηχητικού σήματος στην οθόνη. Τα δεδομένα αποθηκεύονται αυτόματα σε “.txt” αρχεία και κάθε λήψη δεδομένων προσαρτάται στο αντίστοιχο αρχείο ώστε στο τέλος του πειράματος κάθε ατόμου ένα αρχείο να περιέχει όλες τις μετρήσεις.



Σχήμα 4.1: Πειραματική διάταξη.

4.2.2 Συμμετέχοντες

Σε αυτό το πείραμα έλαβαν μέρος δέκα υγιή άτομα, πέντε άντρες και πέντε γυναίκες. Οι εξεταζόμενοι διατηρούσαν μια ομοιογένεια όσον αφορά την ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο, ενώ δεν είχαν κανένα ιστορικό πρόβλημα νευρολογικής ή ψυχιατρικής διαταραχής. Επιπλέον, ελήφθη γραπτή συγκατάθεση από όλους για τη συμμετοχή τους στο πείραμα.

Οι εξεταζόμενοι αξιολογήθηκαν βάση μιας δοκιμασίας συμπλήρωσης προτάσεων (Hayling test) τριών επιπέδων και τριάντα προτάσεων το καθένα. Πραγματοποίησαν τη δοκιμασία δύο φορές, τη μία παρουσία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (Wi Fi AP ανοιχτό) και την άλλη χωρίς (Wi Fi AP κλειστό). Τα δεδομένα από τα 32 ηλεκτρόδια, που αποθηκεύονταν στον υπολογιστή, ήταν εγκεφαλικά σήματα χρονικής διάρκειας 1500msec το καθένα. Η αποθήκευση γινόταν κάθε φορά που ο εξετάζων έδινε εντολή στον εξεταζόμενο να ακούσει ένα ηχητικό μήνυμα χρονικής διάρκειας 100msec.

Κάθε σειρά δεδομένων αποτελούνταν από 1500 τιμές εκ των οποίων οι πρώτες 500 (500sec) αντιστοιχούν στο εγκεφαλικό σήμα (EEG), πριν την έναρξη του ηχητικού μηνύματος, ενώ οι επόμενες 1000 (1000sec) είναι τα προκλητά δυναμικά (ERPs), μετά την έναρξη του μηνύματος.

4.3 Δοκιμασία Hayling

Η δοκιμασία συμπλήρωσης προτάσεων Hayling (Hayling Sentence Completion Test (HSCT)) δημιουργήθηκε από τους Burgess και Shallice το 1997. Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία ζητάτε να ολοκληρωθεί μια σειρά προτάσεων από τις οποίες λείπει η τελευταία λέξη. Αποτελείται από δύο μέρη.

Στο Α' μέρος (Hayling A) ο εξεταζόμενος καλείται να συμπληρώσει την κάθε πρόταση που ακούει με μια λέξη που να συνδέεται άμεσα με την υπόλοιπη πρόταση έτσι ώστε να προκύπτει ένα λογικό νόημα. Για παράδειγμα, στην πρόταση «*Αυτός ταχυδρόμησε το γράμμα χωρίς...*» η απάντηση «*γραμματόσημο*» είναι αναμενόμενη με 99% πιθανότητα σύμφωνα με τα όσα βρήκαν οι Bloom και Fishler [N07]. Αρχικά, πραγματοποιούνται δύο δοκιμές και αφού δοθούν ικανοποιητικές απαντήσεις τότε ξεκινά η δοκιμασία. Ο εξεταστής σημειώνει την απάντηση και τον χρόνο στον οποίο αυτή εδόθη. Αν ο εξεταζόμενος δεν απαντήσει σε 60 δευτερόλεπτα τότε προχωρά στην επόμενη ερώτηση. Στόχος του Α' μέρους είναι η αξιολόγηση της ικανότητας της συγκέντρωσης, της λεκτικής κίνησης, της ταχύτητας επεξεργασίας καθώς και της στρατηγικής που ακολουθεί ο εξεταζόμενος [SSRF10].

Στο Β' μέρος (Hayling B) του test ο εξεταζόμενος ακούει πάλι μια σειρά προτάσεων στις οποίες λείπει η τελευταία λέξη και καλείται να συμπληρώσει την κάθε πρόταση ούτως ώστε να μην προκύπτει κανένα λογικό νόημα. Η διαδικασία είναι ίδια όπως και στο Α' μέρος. Στη δοκιμή αυτή αξιολογούνται περισσότερο σύνθετες λειτουργίες για την ολοκλήρωση της, όπως η λεκτική αναστολή και η ανάπτυξη εναλλακτικών στρατηγικών κυρίως συντακτικού και λεξιλογίου.

Ακόμα, για τις ανάγκες των πειραμάτων του Εργαστηρίου Ψυχοφυσιολογίας, η δοκιμασία Hayling συμπληρώθηκε με ένα Γ' μέρος (Hayling C) το οποίο αποτελείται

από μια σειρά ολοκληρωμένων προτάσεων, όπου μετά την αναπαραγωγή της καθεμίας, ο εξεταζόμενος θα πρέπει να επαναλάβει την τελευταία λέξη.

Οι δύο συνθήκες δοκιμής (μέρη A και B) του τεστ Hayling επιτρέπουν τη συγκριτική αξιολόγηση της λειτουργίας δύο συστατικών των εκτελεστικών λειτουργιών, της λεκτικής κίνησης και αναστολής. Αυτή η ιδιαιτερότητα δημιουργεί ένα πολύτιμο κλινικό εργαλείο για τον εντοπισμό των τροποποιήσεων που είναι ενδεχομένως χρήσιμες για τη διάγνωση και θεραπεία ατόμων με λεκτική δυσλειτουργία. Η θεωρία του Επιβλέποντος Συστήματος Προσοχής (Supervisory Attentional System theory), που αναπτύχθηκε από τους Norman και Shallice (1986), είναι η πιο αποδεκτή θεωρία για την εξήγηση των γνωστικών διαδικασιών που διέπουν την επίλυση των δοκιμών Hayling A και B [SSRF10].

Ενημερωτικά, οι Norman και Shallice (1986) έκαναν μια διάκριση ανάμεσα στην αυτόματη και ελεγχόμενη μεθοδολογία που ακολουθείται κατά τη διάρκεια των καθημερινών γνωστικών εργασιών και στην επίλυση προβλημάτων. Η θεωρία του Επιβλέποντος Συστήματος Προσοχής αυτών, αποτελεί ένα θεωρητικό μοντέλο των γνωστικών ενεργειών που ακολουθεί ένα άτομο για να ανταποκριθεί σε νέες καταστάσεις. Συγκεκριμένα, αντιπροσωπεύει το σύνολο των ενεργειών που σχετίζονται με τη δημιουργία στρατηγικής για την επίτευξη του στόχου και την αξιολόγηση των επιδόσεων που απαιτούνται κατά την εκτέλεση σύνθετων γνωστικών εργασιών. Ακόμα, το σύστημα αυτό διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην επίλυση προβλημάτων σε καταστάσεις κατά τις οποίες οι γνώριμες τακτικές ή ο διαδοχικός συλλογισμός είναι ανεπαρκής ή ακατάλληλος και όταν οι νέες τακτικές πρέπει να σχεδιάζονται και να παρακολουθούνται για την επίτευξη ικανοποιητικής απόδοσης στην υλοποίηση μιας εργασίας. [SSRF10]

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η δοκιμασία Hayling αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας ενός ατόμου να αναπτύσσει στρατηγικές με σκοπό την ανταπόκριση στις απαιτήσεις ενός έργου. Σύμφωνα με τους Burgess και Shallice, η αδυναμία κάποιου να δημιουργήσει τις απαιτούμενες στρατηγικές μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλές επιδόσεις στην δοκιμασία αυτή και ταυτόχρονα να συμβάλλει σε σφάλματα.

Τέλος, το τεστ Hayling έχει εφαρμοστεί διεθνώς σε διάφορες ομάδες ηλικίας, κυρίως όμως στους ενήλικες, κατά την αξιολόγηση των εκτελεστικών λειτουργιών για νευρολογικά σύνδρομα, όπως οι κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις, και για ψυχιατρικά σύνδρομα, όπως η σχιζοφρένεια. Λόγω του ότι η δοκιμασία αυτή είναι θεωρητικά και πειραματικά καλά θεμελιωμένη, έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες νευροαπεικόνισης που αναζητούν μια βαθύτερη κατανόηση των νευρωνικών συσχετισμών κατά τη διάρκεια λεκτικών διαδικασιών. [SSRF10]

Κεφάλαιο 5^ο

Επεξεργασία

πειραματικών δεδομένων & αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των ηλεκτρικών εγκεφαλικών σημάτων που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Έπειτα, θα παρουσιαστούν με τη μορφή γραφημάτων, που δημιουργήθηκαν σε πρόγραμμα επεξεργασίας λογιστικών φύλλων Excel, μερικά από τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης για κάθε μία από τις δοκιμές Hayling (A, B, C), για κάθε άτομο και για κάθε κατάσταση (παρουσία και μη Η/Μ ακτινοβολίας).

5.2 Οργάνωση των μετρήσεων σε αρχεία

Τα δεδομένα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος που προέκυψαν βάσει της πειραματικής διαδικασίας, όπως αυτή περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 4), συγκεντρώθηκαν σε αρχεία Excel. Συγκεκριμένα, για κάθε άτομο (πέντε άντρες και πέντε γυναίκες) και για κάθε μία από τις τρεις δοκιμές Hayling δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικές κατηγορίες αρχείων, μια παρουσία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Wi Fi ανοιχτό) και μια απουσία αυτής (Wi Fi κλειστό). Επίσης, κάθε αρχείο Excel αποτελούταν από τριάντα δύο λογιστικά φύλλα, ένα για καθένα από τα τριάντα δύο ηλεκτρόδια, αντίστοιχα. Κάθε λογιστικό φύλλο αποτελούταν από ένα πίνακα διαστάσεων 1500x30 (1500 γραμμών και 30 στηλών), όπου η κάθε γραμμή αντιστοιχούσε σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή και κάθε στήλη σε μία συγκεκριμένη ερώτηση. Έτσι, κάθε φύλλο περιείχε ένα εγκεφαλικό σήμα (σε μV) χρονικής διάρκειας 1500ms για κάθε μία από τις τριάντα ερωτήσεις, όπως αυτό μετρήθηκε από το συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο.

5.3 Επεξεργασία των δεδομένων

Το θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η στάθμιση των αρχικών παρατηρήσεων των εγκεφαλικών σημάτων με βάρη από επιλεγμένες χρονικές στιγμές σήματος, κάνοντας χρήση Γενετικού Αλγορίθμου. Από τη διαδικασία αυτή θα προκύψουν τα τελικά δεδομένα προς μελέτη και αξιολόγηση, με απώτερο σκοπό να γίνει έλεγχος αν η κατανομή τους προσεγγίζει την Κανονική. Η στάθμιση των ερωτήσεων με κατάλληλα βάρη είναι ένα πρώτο βήμα επεξεργασίας στη διαδικασία αποθρομβοποίησης, που στόχο έχει να βελτιώσει το αποτέλεσμα του μέσου όρου των ερωτήσεων.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε περιβάλλον Matlab. Το περιβάλλον αυτό, διαθέτει μια ειδική εφαρμογή που ονομάζεται Optimization Toolbox και περιέχει ευρέως χρησιμοποιούμενους αλγορίθμους βελτιστοποίησης. Ένας από αυτούς είναι και ο Γενετικός Αλγόριθμος.

Η βασική ιδέα στάθμισης των εγκεφαλικών σημάτων μέσω Γενετικού Αλγορίθμου (Γ.Α.) στηρίχτηκε στην εφαρμογή του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος, που θέλει τις ανεξάρτητες παρατηρήσεις να ακολουθούν κατά προσέγγιση κανονική κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, το πρόβλημα που είχε να επιλύσει ο Γ.Α. (υλοποιημένο με κώδικα σε περιβάλλον Matlab) ήταν η εξαγωγή βαρών για κάθε μία από τις τιμές των ερωτήσεων μια τυχαίας χρονικής στιγμής του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος που καταγράφηκε από ένα ηλεκτρόδιο, έτσι ώστε να βελτιωθεί η κανονικότητα της κατανομής τους. Στη συνέχεια, τα βάρη πολλαπλασιάστηκαν με το συνολικό αρχικό σήμα δίνοντας ένα νέο

σήμα, το σταθμισμένο. Επαναλαμβάνεται ότι στόχος ήταν το σταθμισμένο αυτό σήμα να προσεγγίσει την κανονική κατανομή. Κριτήριο για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε ήταν η σύγκλιση των συντελεστών ασυμμετρίας και κυρτότητας με τις τιμές αυτών στην περίπτωση της κανονικής, δηλαδή όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μηδέν και τρία, αντίστοιχα.

Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία είχε ως όρους την ασυμμετρία, την κύρτωση και το άθροισμα των βαρών. Οι τύποι για τον υπολογισμό αυτών των μεγεθών τροποποιήθηκαν κατάλληλα ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση των βαρών. Πιο συγκεκριμένα, για τα σταθμισμένα με βάρη δεδομένα εφαρμόστηκαν οι παρακάτω εξισώσεις:

- **Σταθμισμένος μέσος όρος**

$$\bar{x}_{\text{weighted}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

- **Τυπική απόκλιση**

$$\sigma_{\text{weighted}} = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{\text{weighted}})^2}$$

- **Ασυμμετρία**

$$skew_{\text{weighted}} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{\text{weighted}})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{\text{weighted}})^2} \right\}^3}$$

- **Κύρτωση**

$$kurt_{\text{weighted}} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{\text{weighted}})^4}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{\text{weighted}})^2} \right\}^4}$$

,όπου w_i αναπαριστά την τιμή του βάρους για κάθε μία από τις τριάντα ερωτήσεις, x_i τη παρατήρηση για την ερώτηση i και $M = \sum_{i=1}^n w_i$ το άθροισμα των βαρών.

Όπως έχει αναφερθεί, στη Κανονική Κατανομή οι συντελεστές ασυμμετρίας και κύρτωσης ισούνται με μηδέν και τρία αντίστοιχα. Προς αυτή την κατεύθυνση, η μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης που επιλέχτηκε ήταν τέτοια, ώστε η τιμή της να ελαχιστοποιείται όταν γίνεται ίση με το μηδέν, δηλαδή όταν η ασυμμετρία και η κύρτωση των ερωτήσεων γίνει μηδέν και τρία και το άθροισμα των ερωτήσεων γίνει τριάντα.

Στην παρούσα έκθεση επιλέξαμε για την εξαγωγή των βαρών και απομονώσαμε από κάθε λογιστικό φύλλο τις χρονικές στιγμές 200ms, 850ms, 1000ms και 1200ms. Επιπλέον, καθορίσαμε στο Optimization Toolbox τα απαραίτητα στοιχεία του προβλήματος που είχε να επιλύσει ο Γενετικός Αλγόριθμος. Για την ακρίβεια, θέσαμε τον αριθμό των μεταβλητών του προβλήματος (number of variables) ίσο με τριάντα, όσες δηλαδή και οι ερωτήσεις κάθε φύλλου του Excel. Εν συνεχεία, επιλέξαμε τα όρια (bounds) μεταξύ των οποίων θα κυμαίνονται οι πιθανές λύσεις του προβλήματος ίσα με 0.1 και 30 για το κατώτατο και το ανώτατο όριο αντίστοιχα. Ακόμα, καθορίσαμε τις τιμές δύο βασικών χαρακτηριστικών του Γ.Α., του μεγέθους του πληθυσμού (population size) και του μεγίστου αριθμού επαναλήψεων - γενεών (generations) που αυτός θα εκτελεστεί ίσες με 100 και 200 αντίστοιχα, ενώ σε περιπτώσεις που ο αριθμός των γενεών δεν ήταν επαρκής, τον αυξήσαμε κατάλληλα. Έπειτα, εκτελέσαμε τον Γενετικό Αλγόριθμο για τις χρονοσειρές αυτές όπου με επιλογή όσο το δυνατόν χαμηλότερης τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης να εξυπηρετείται ο προαναφερθέν στόχος. Μετά από επιτυχημένη εκτέλεση του αλγορίθμου καταγράφονταν οι προκύπτουσες τιμές των βαρών. Ωστόσο δεν ήταν λίγες οι φορές που παρά της πολλές επαναλήψεις του Γ.Α., δεν ήταν δυνατή η επίτευξη χαμηλής τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τιμές της τάξης του 10^2 . Σε αυτή την περίπτωση καταγράφονταν τα βάρη στην περίπτωση της μικρότερης δυνατής τιμής της συνάρτησης.

Τα βάρη που προέκυψαν από το γενετικό αλγόριθμο, εφαρμόστηκαν στα αρχικά δεδομένα, με χρήση άλλου κώδικα επίσης σε περιβάλλον Matlab. Όμως, για τα βάρη που σημειώθηκαν από τις χρονικές στιγμές 850ms και 1200ms χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος αυτών. Με το δεύτερο κώδικα δημιουργήθηκαν για κάθε άτομο και για κάθε κατηγορία των δοκιμών επτά νέα αρχεία σε Excel. Τα τρία από αυτά, αντιστοιχούσαν στα αρχικά δεδομένα πολλαπλασιασμένα με τα βάρη από καθεμία εκ των 200ms, 1000ms και του μέσου όρου των 850ms και 1200ms χρονοσειρών. Τα υπόλοιπα τέσσερα αρχεία Excel παρουσίαζαν την κύρτωση (kurtosis) και την ασυμμετρία (skewness) κάθε χρονικής στιγμής για τα αρχικά δεδομένα και για τα σταθμισμένα εκ των επιλεγθέντων χρονοσειρών. Σημειώνεται ότι από την επεξεργασία αφαιρέθηκαν τα ηλεκτρόδια τρία και δεκαεπτά σε κάθε άτομο και κάθε κατάσταση, τα οποία αντιστοιχούσαν στα μάτια.

5.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Βάσει των αποτελεσμάτων της παραπάνω ανάλυσης, δημιουργήθηκαν σε πρόγραμμα επεξεργασίας λογιστικών φύλλων Excel τα συγκριτικά διαγράμματα ασυμμετρίας και κύρτωσης των αρχικών δεδομένων και αυτών που προέκυψαν από τον πολλαπλασιασμό με τα βάρη των χρονικών στιγμών 200ms, 1000ms και του μέσου όρου των 850ms και 1200ms. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διαπιστωθεί αν, με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε, τα σταθμισμένα δεδομένα προσέγγιζαν καλύτερα την Κανονική Κατανομή σε σχέση με τα αρχικά εγκεφαλικά σήματα.

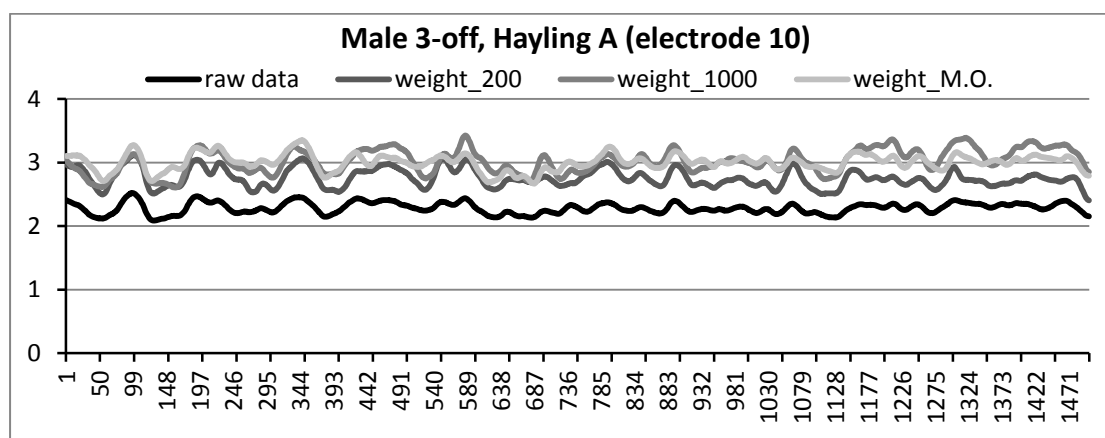
Στην συνέχεια, παραθέτονται, επιλεκτικά, κάποια από αυτά τα διαγράμματα κύρτωσης και ασυμμετρίας για κάθε μια από τις δοκιμές Hayling και για τις δυο καταστάσεις (ακτινοβολήση και μη), ανδρών και γυναικών, όπου

- raw data: αντιστοιχεί στα αρχικά δεδομένα των ηλεκτρικών εγκεφαλικών σημάτων.
- weight_200/1000/M.O.: αναφέρονται στα σταθμισμένα δεδομένα, δηλαδή σε αυτά που προέκυψαν από τον πολλαπλασιασμό με τα βάρη των χρονοσειρών 200ms, 1000ms και του μέσου όρου των 850ms και 1200ms, αντίστοιχα.
- male/female –on/off: άντρες/γυναίκες με ή χωρίς ακτινοβολήση από Wi Fi σύστημα, αντίστοιχα.

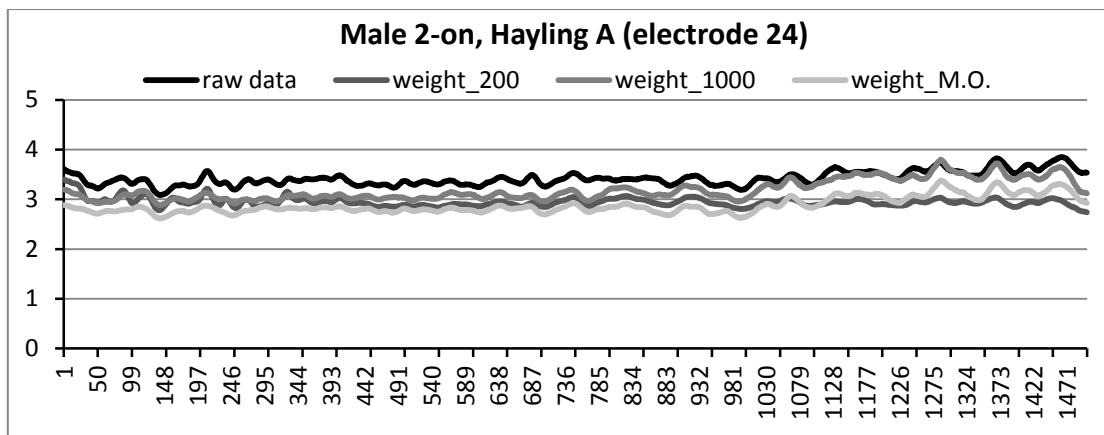
Τέλος, ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

5.4.1 Διαγράμματα κύρτωσης

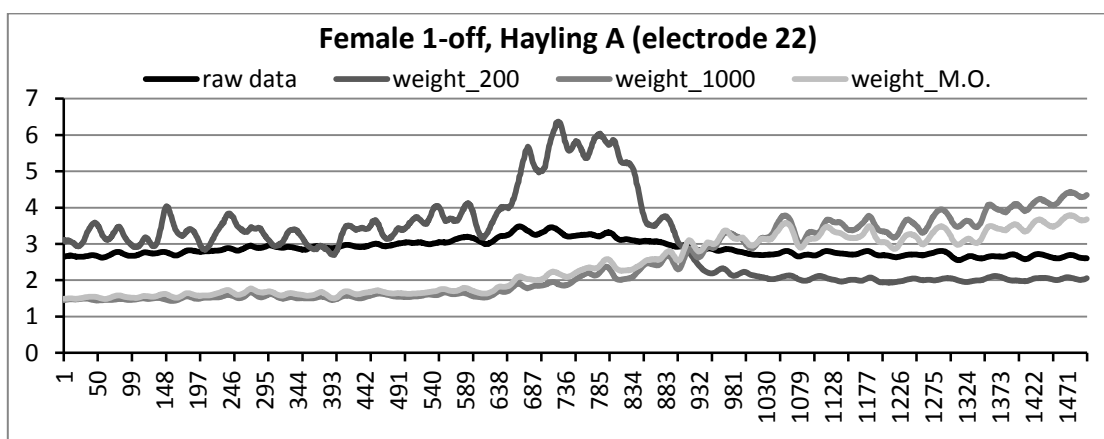
Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα κύρτωσης των αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων ενός τυχαία επιλεγμένου ατόμου και ηλεκτροδίου:



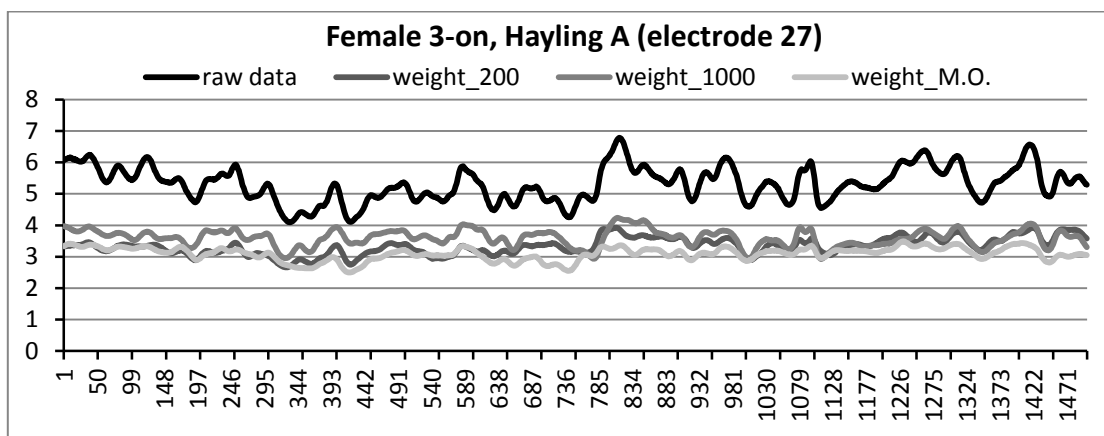
Σχήμα 5.1: Male 3-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 10.



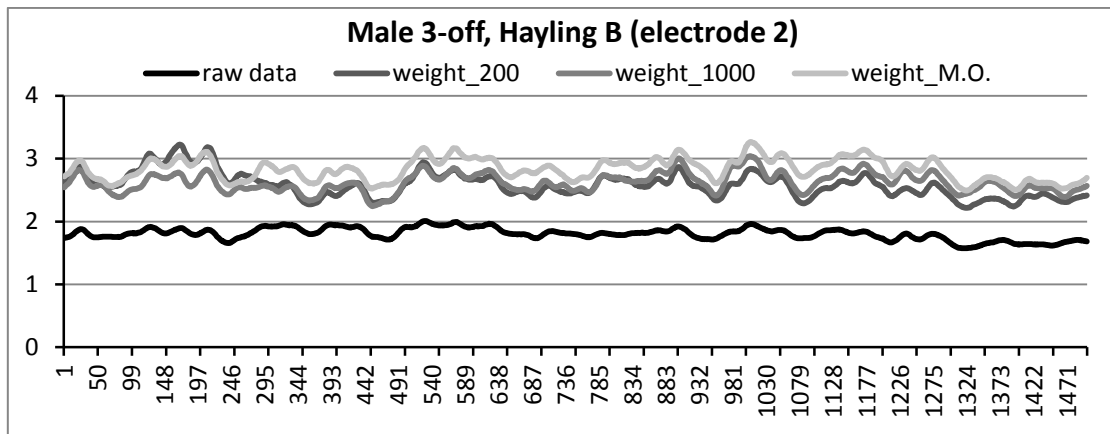
Σχήμα 5.2: Male 2-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 24.



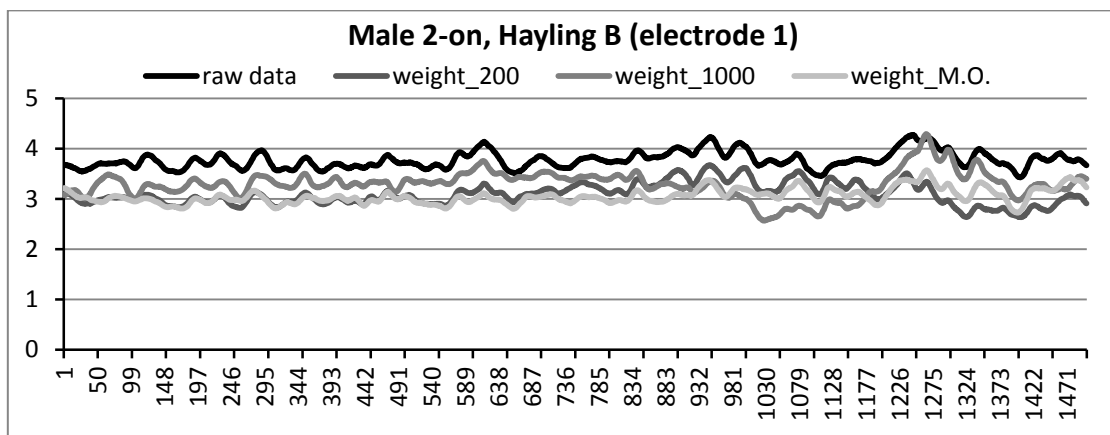
Σχήμα 5.3: Female 1-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 22.



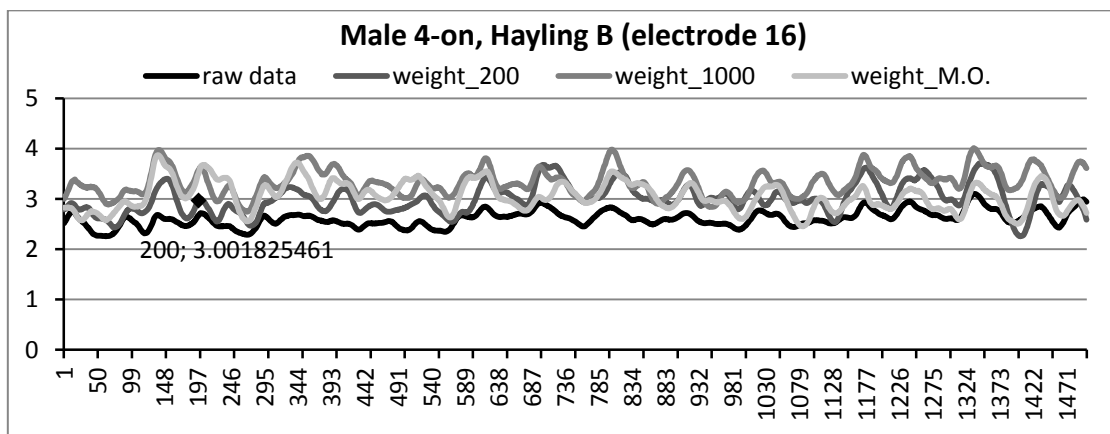
Σχήμα 5.4: Female 3-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 27.



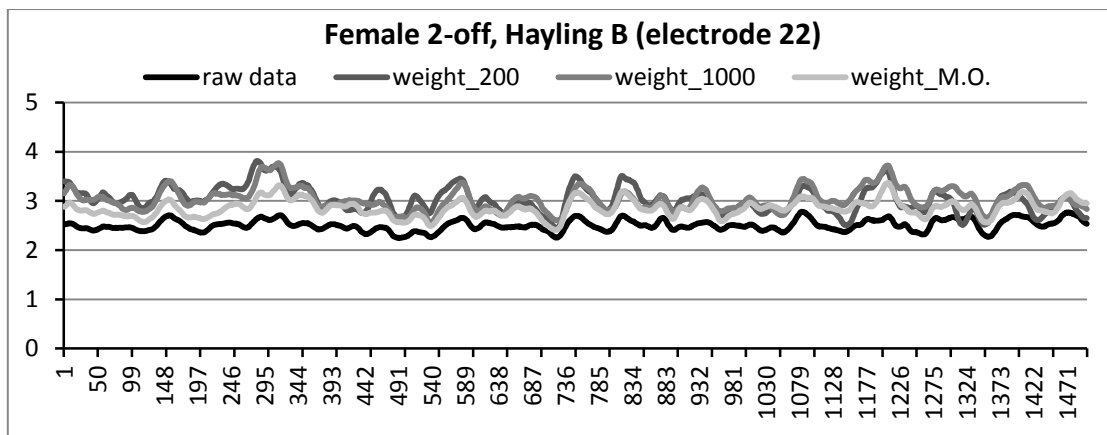
Σχήμα 5.5: Male 3-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 2.



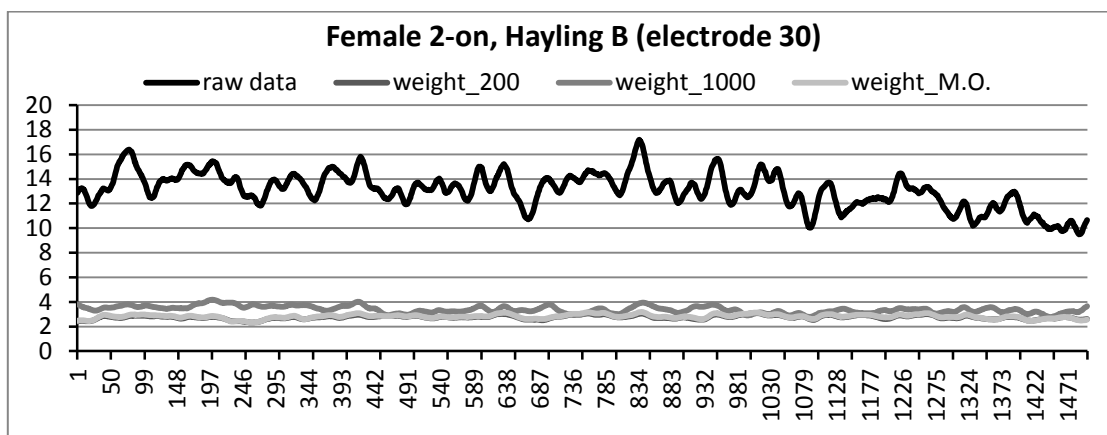
Σχήμα 5.6: Male 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 1.



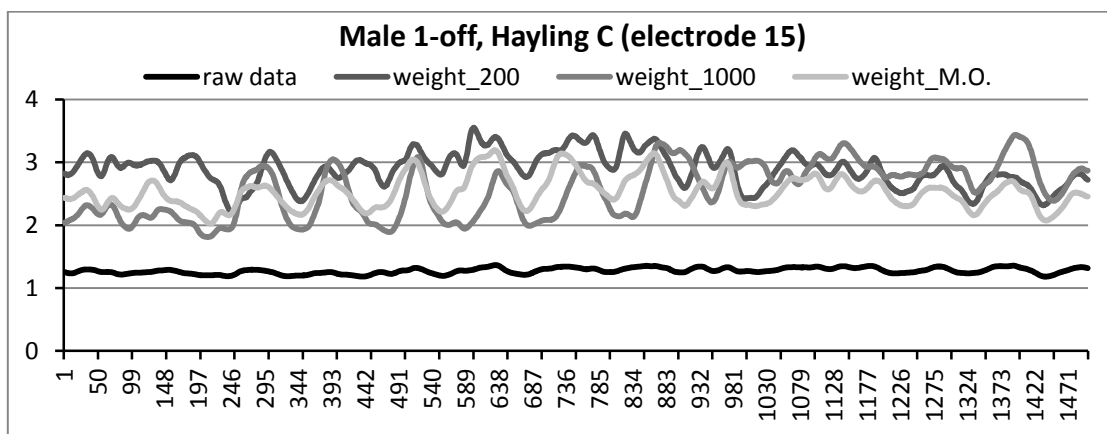
Σχήμα 5.7: Male 4-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 16.



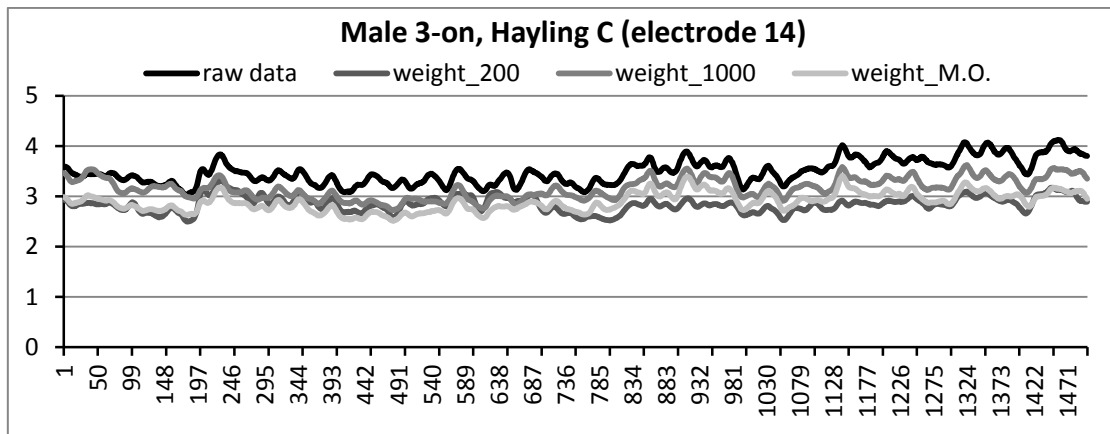
Σχήμα 5.8: Female 2-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 22.



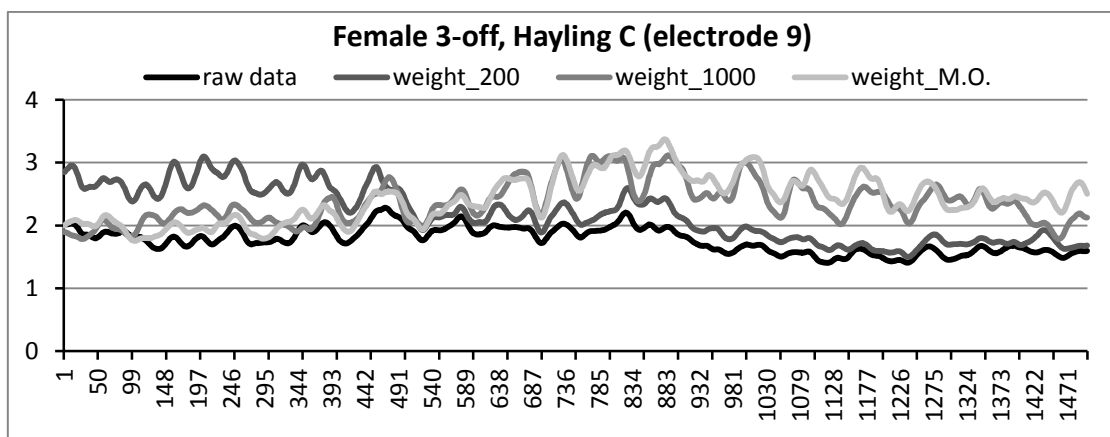
Σχήμα 5.9: Female 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 30.



Σχήμα 5.10: Male 1-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 15.

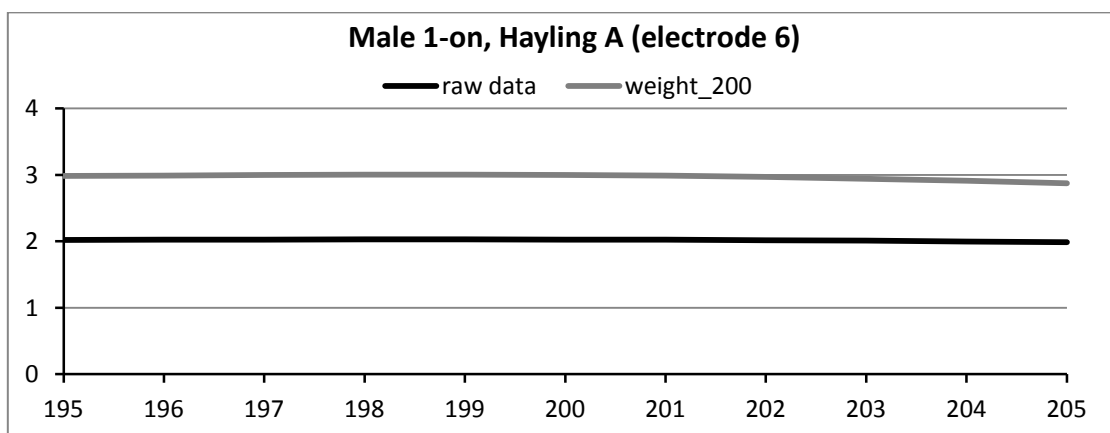


Σχήμα 5.11: Male 3-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 14.

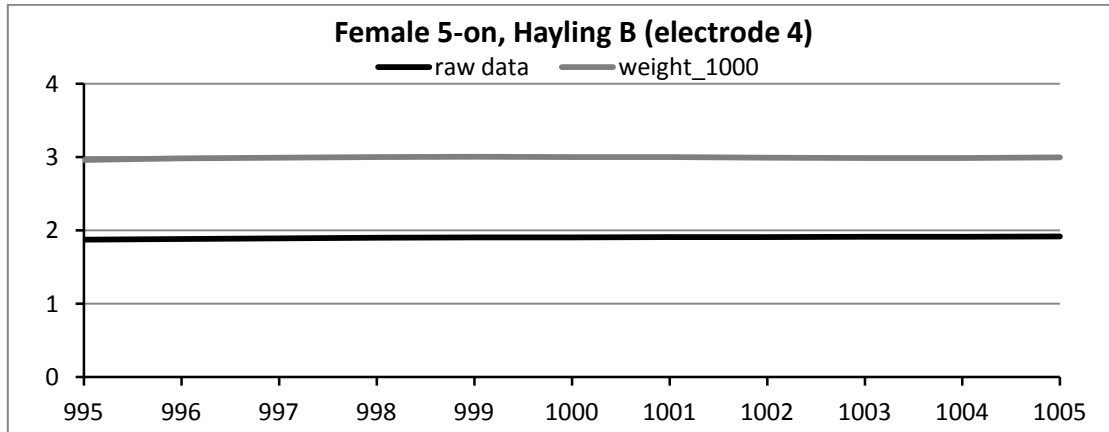


Σχήμα 5.12: Female 3-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 9.

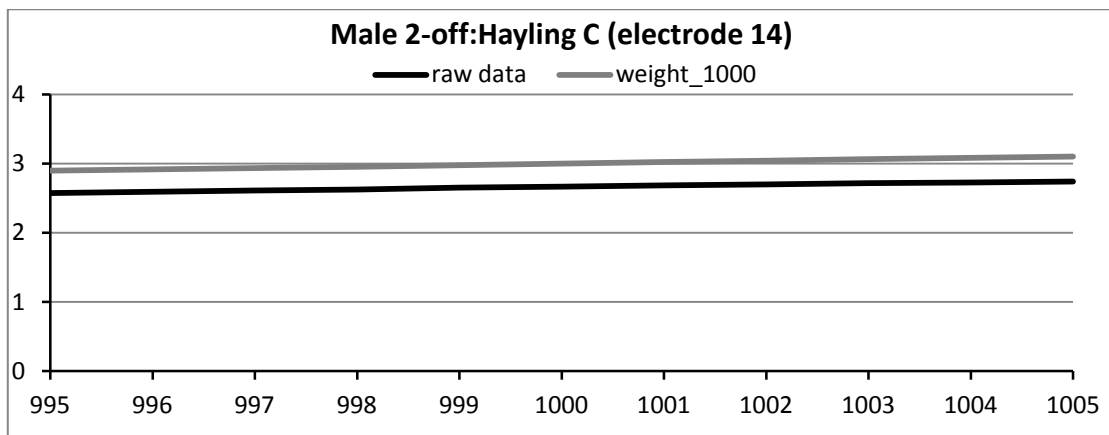
Ακολουθούν, ενδεικτικά, μερικά διαγράμματα κύρτωσης που απεικονίζουν τα αρχικά και τα σταθμισμένα δεδομένα σε ένα παράθυρο $\pm 5\text{msec}$ γύρω από την αντίστοιχη χρονική στιγμή εξαγωγής των βαρών.



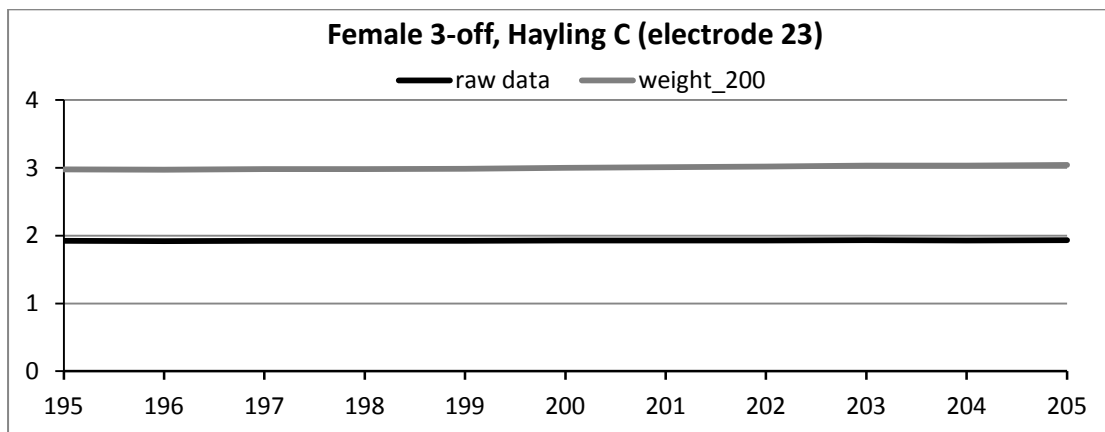
Σχήμα 5.13: Male 1-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 6.



Σχήμα 5.14: Female 5-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 4.



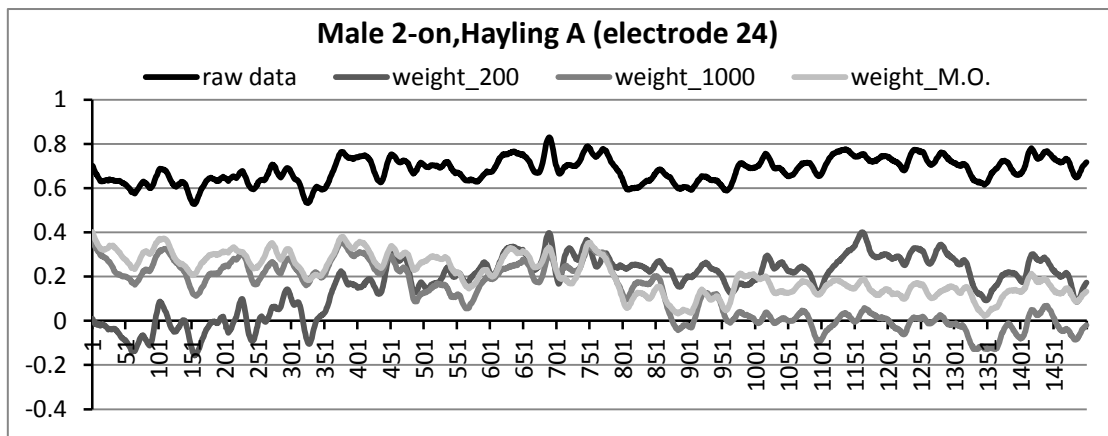
Σχήμα 5.15: Male 2-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 14.



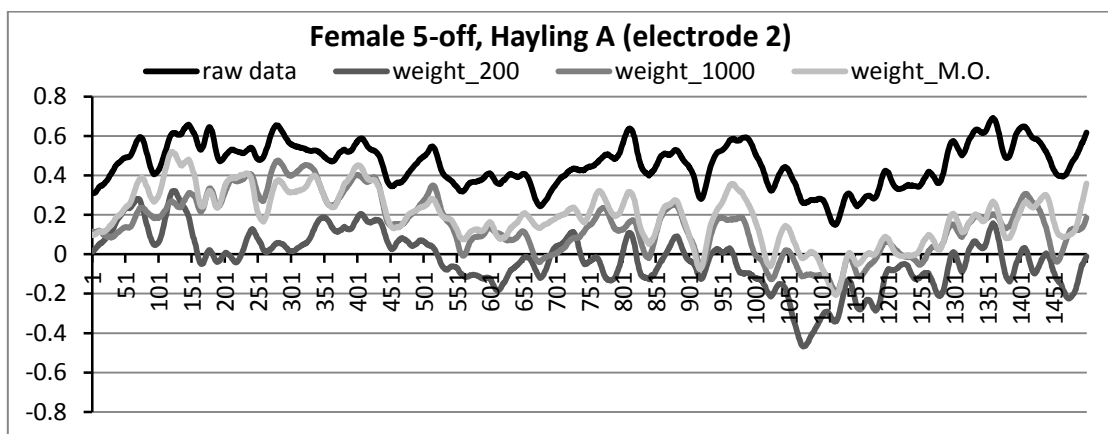
Σχήμα 5.16: Female 3-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 23.

5.4.2 Διαγράμματα ασυμμετρίας

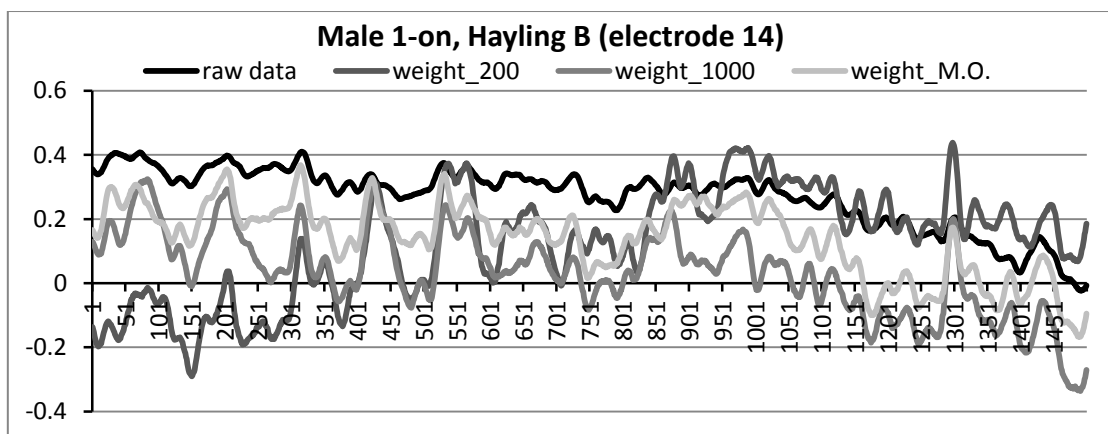
Ακολουθεί η ενδεικτική αναπαράσταση της ασυμμετρίας των δεδομένων σε συγκριτικά διαγράμματα τυχαία επιλεγμένων ατόμων και ηλεκτροδίων.



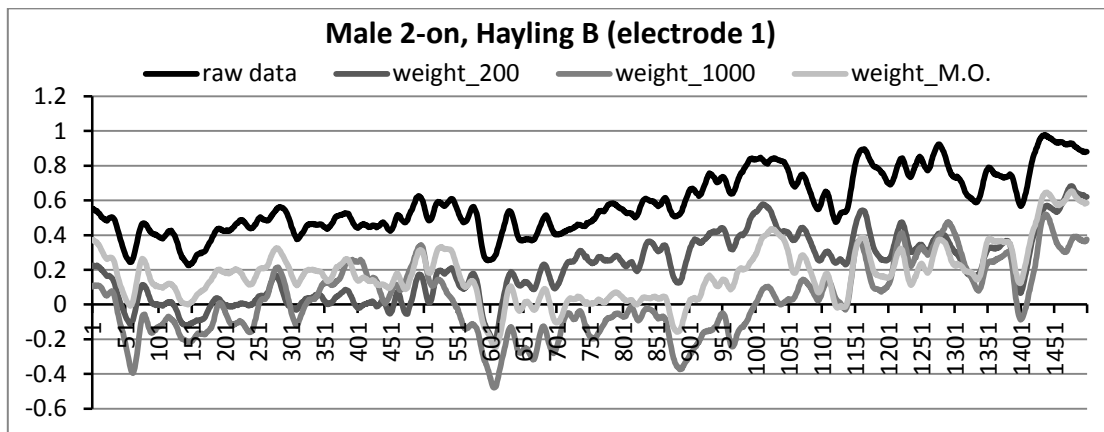
Σχήμα 5.17: Male 2-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 24.



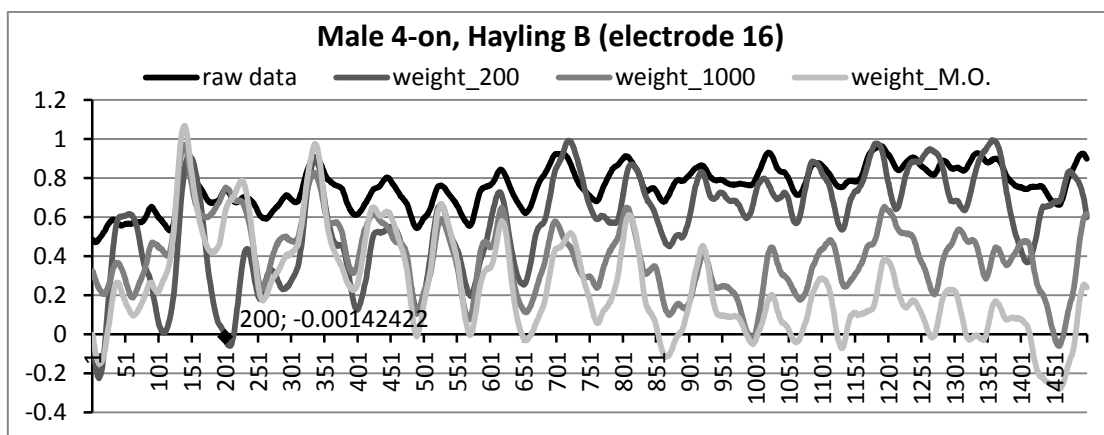
Σχήμα 5.18: Female 5-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 2.



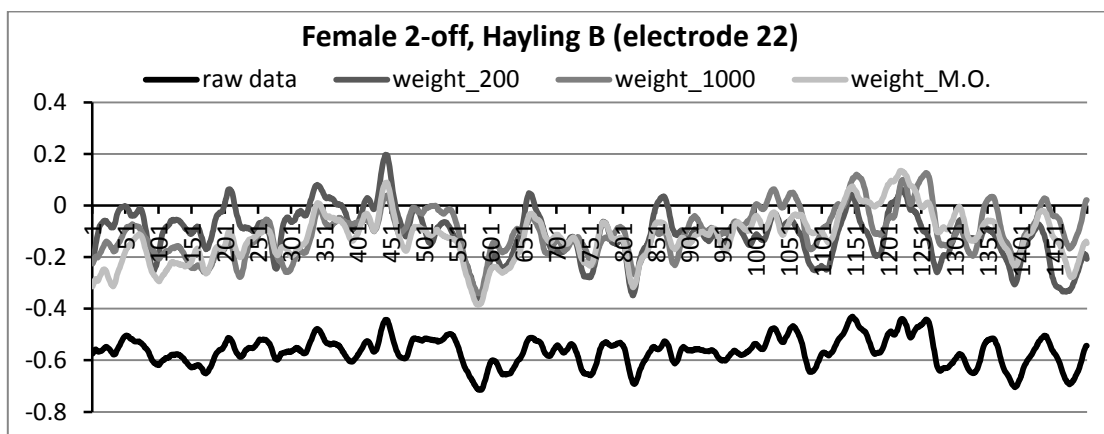
Σχήμα 5.19: Male 1-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 14.



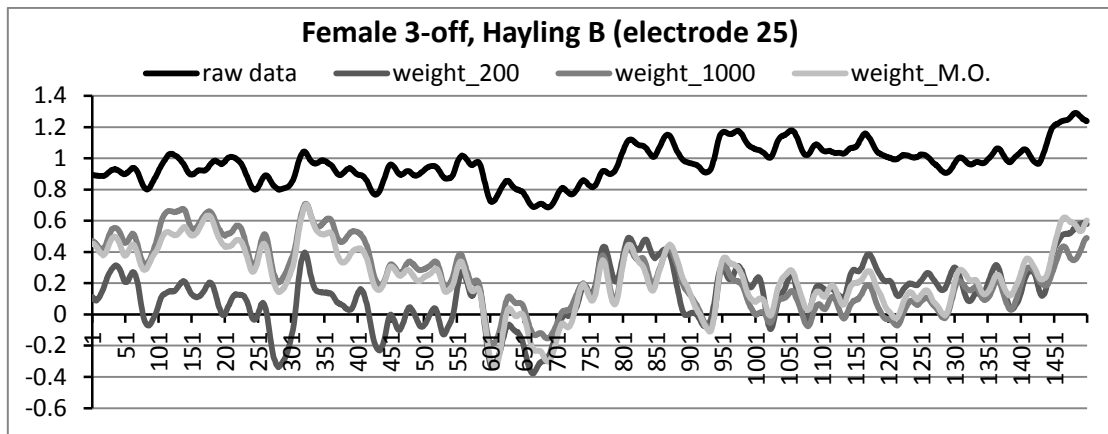
Σχήμα 5.20: Male 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 1.



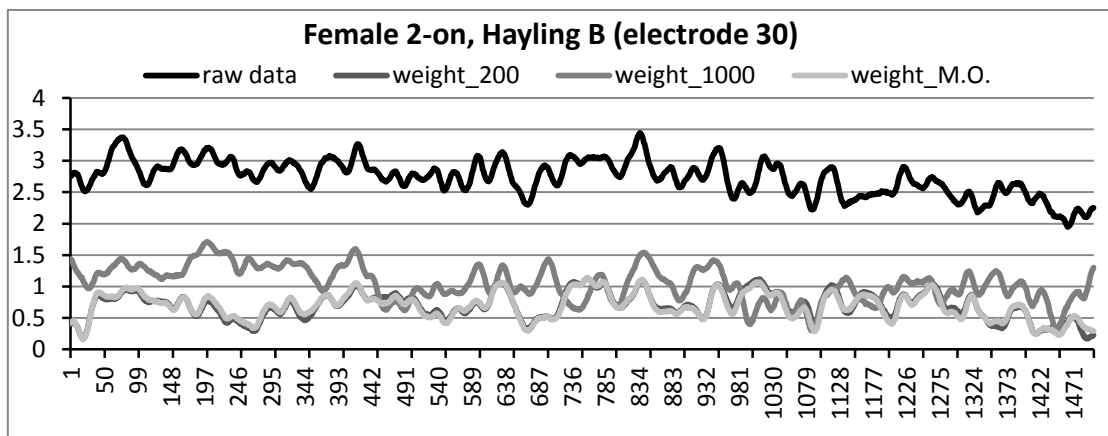
Σχήμα 5.21: Male 4-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 16.



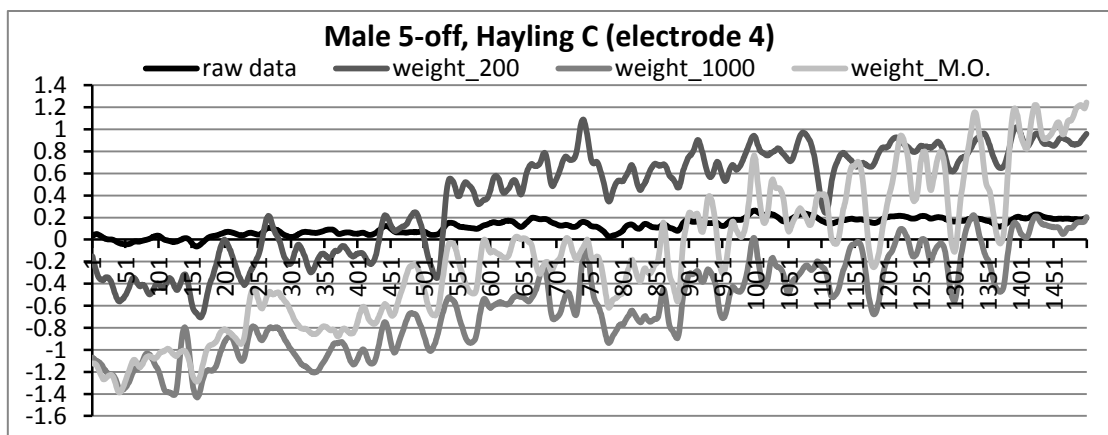
Σχήμα 5.22: Female 2-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 22.



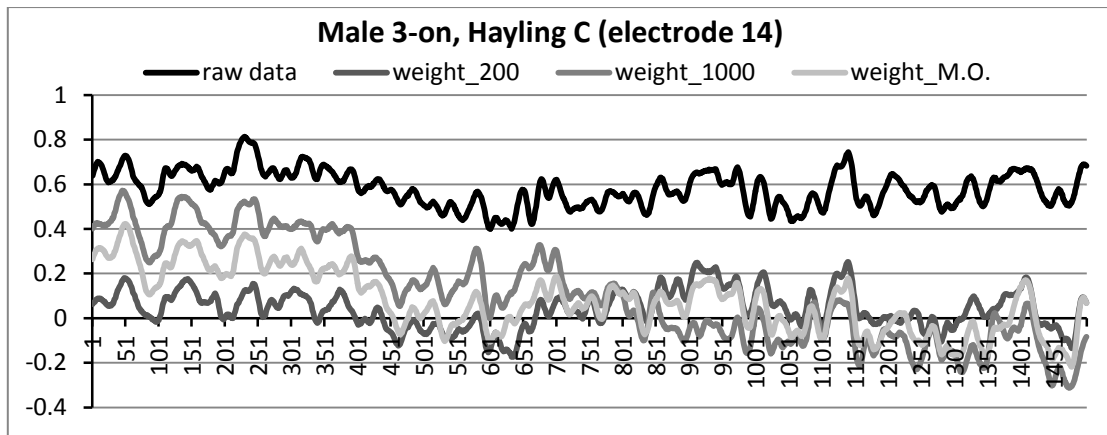
Σχήμα 5.23: Female 3-off, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 25.



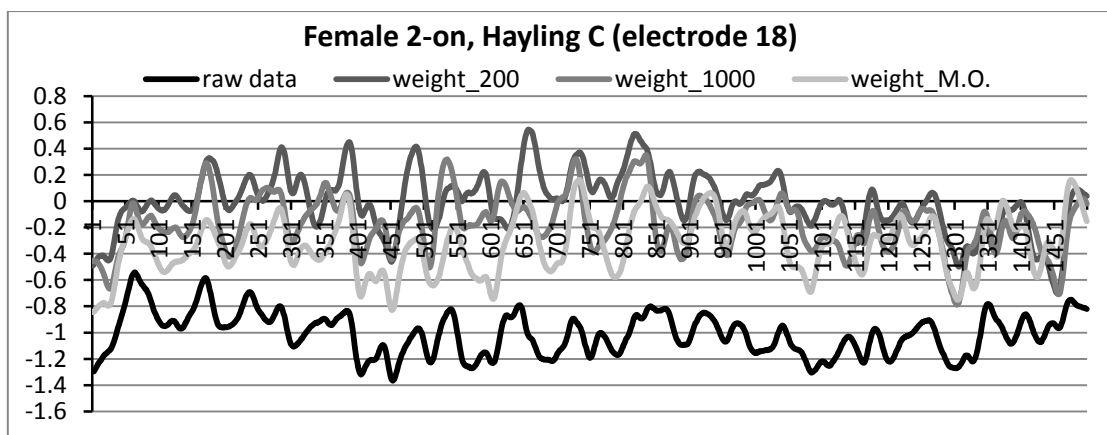
Σχήμα 5.24: Female 2-on, Hayling B: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 30.



Σχήμα 5.25: Male 5-off, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 4.

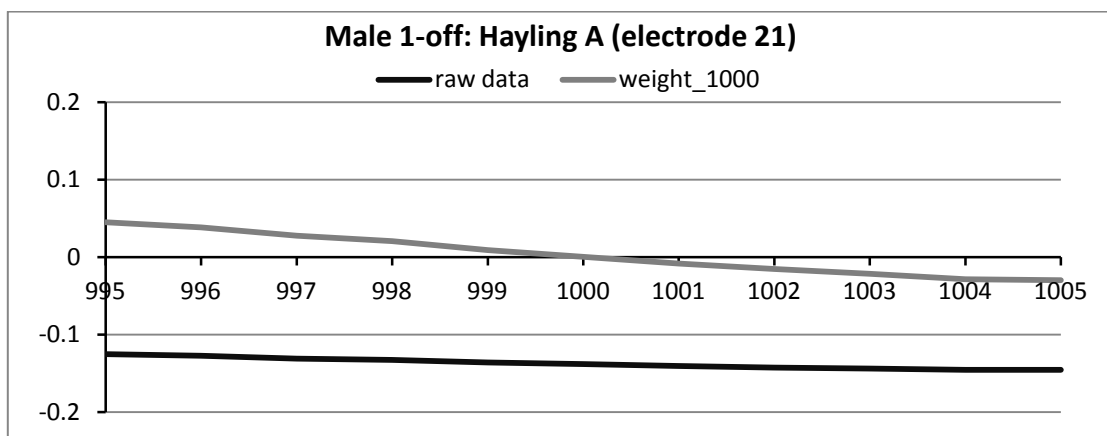


Σχήμα 5.26: Male 3-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 14.

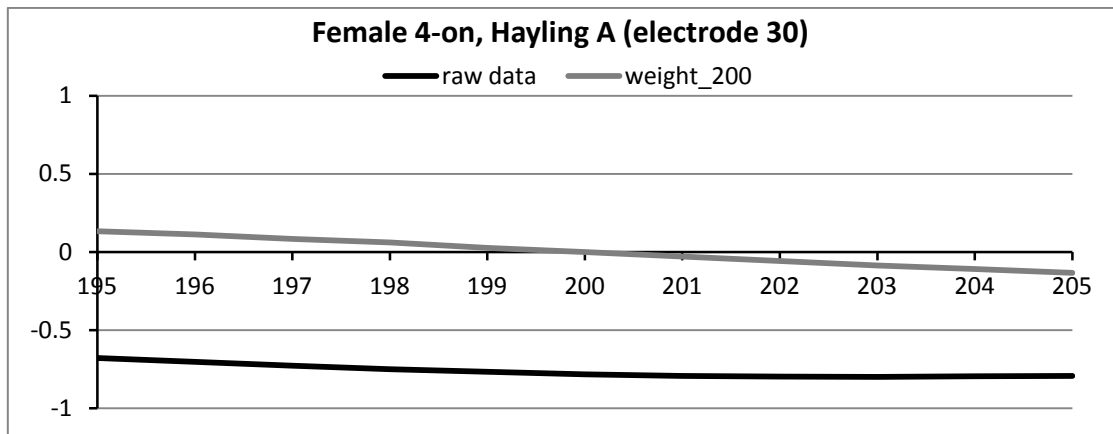


Σχήμα 5.27: Female 2-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για το ηλεκτρόδιο 18.

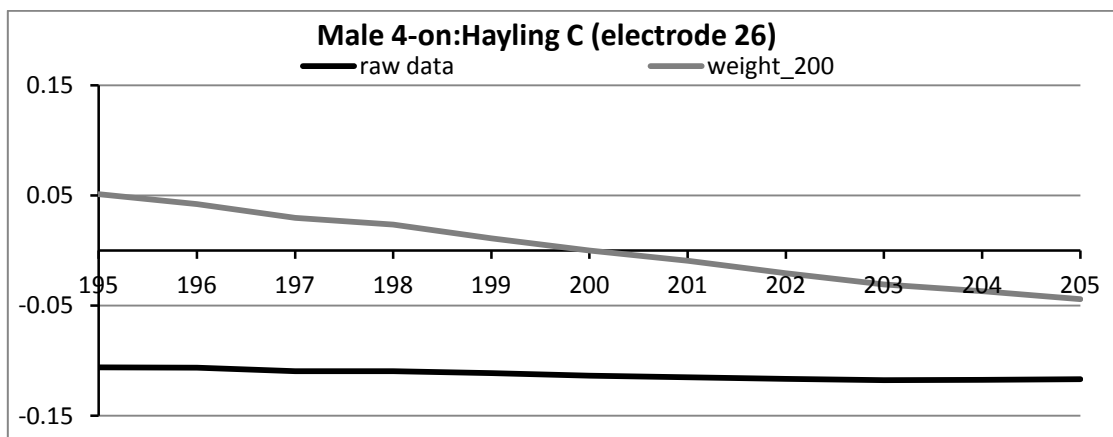
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποια από τα συγκριτικά διαγράμματα ασυμμετρίας των αρχικών δεδομένων και των σταθμισμένων σε ένα διάστημα $[+5\text{msec}, -5\text{msec}]$ γύρω από τη χρονική στιγμή που εξήχθησαν τα αντίστοιχα βάρη.



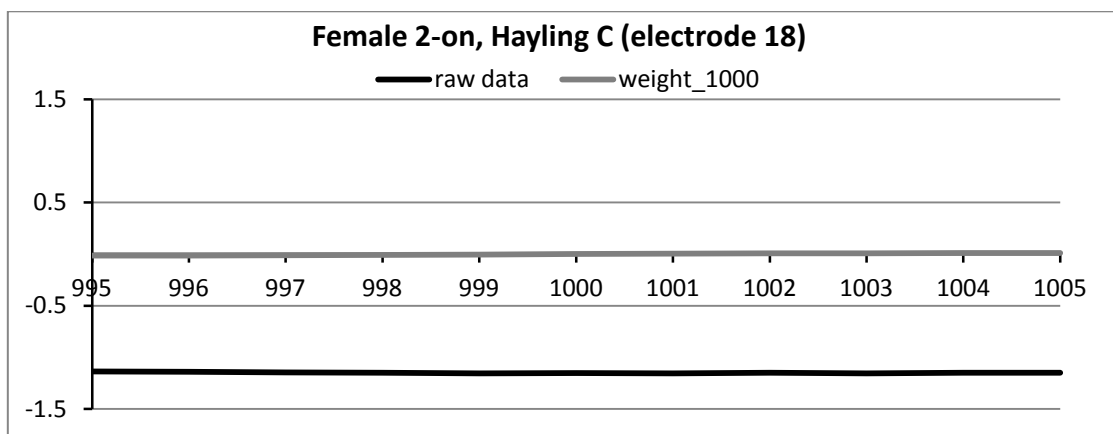
Σχήμα 5.28: Male 1-off, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 21.



Σχήμα 5.29: Female 4-on, Hayling A: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 30.



Σχήμα 5.30: Male 4-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 200msec, για το ηλεκτρόδιο 26.



Σχήμα 5.31: Female 2-on, Hayling C: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας σε ένα διάστημα $\pm 5\text{msec}$ γύρω από τη χρονική στιγμή 1000msec, για το ηλεκτρόδιο 18.

Κεφάλαιο 6^ο

Συμπεράσματα

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα πιο σημαντικά συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

6.2 Συμπεράσματα - Σχόλια

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η στάθμιση μέσω Γενετικού Αλγορίθμου των δεδομένων του εγκεφαλογραφήματος, που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας Hayling με ή χωρίς ακτινοβολήση, έτσι ώστε αυτά να προσεγγίσουν την Κανονική Κατανομή. Στηριζόμενοι στο Κεντρικό Οριακό Θεώρημα σύμφωνα με το οποίο το άθροισμα μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παρατηρήσεων ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή, αναμένεται η κατανομή των τιμών των ερωτήσεων στα σταθμισμένα σήματα να προσεγγίζει την κανονική. Προς αυτή την κατεύθυνση, στόχος της πειραματικής διαδικασίας ήταν η μελέτη των στατιστικών συντελεστών και συγκεκριμένα της ασυμμετρίας και της κύρτωσης και η προσέγγιση αυτών με τα αντίστοιχα μεγέθη της κανονικής κατανομής.

Βάσει των γραφημάτων που εξήχθησαν από την επεξεργασία των δεδομένων των εγκεφαλικών σημάτων (βλ. Κεφάλαιο 5) προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Ο Γενετικός Αλγόριθμος βελτίωσε την ασυμμετρία και κύρτωση των χρονικών στιγμών από τις οποίες έγινε η εξαγωγή των βαρών. Συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις όπου η ασυμμετρία και η κύρτωση των αρχικών δεδομένων (raw data) απέκλιναν αρκετά από τις τιμές μηδέν και τρία αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι στα σταθμισμένα δεδομένα, οι τιμές της ασυμμετρίας και κύρτωσης στις χρονικές στιγμές από τις οποίες προήλθαν τα βάρη ήταν σχεδόν οι επιθυμητές. Ενδεικτικό παράδειγμα αυτού του πορίσματος διακρίνεται στα Σχήματα 5.7 και 5.21, που αντιστοιχούν στην κύρτωση και ασυμμετρία για το ίδιο άτομο και ηλεκτρόδιο. Για να γίνει πιο κατανοητή η σημασία αυτού του πορίσματος έχουν σημειωθεί στο σταθμισμένο με τα βάρη της χρονοσειράς 200msec σήμα οι τιμές των μεγεθών που μελετήθηκαν για αυτή τη χρονική στιγμή.
- Ο Γενετικός διόρθωσε την ασυμμετρία και την κύρτωση στο συνολικό σήμα. Παρατηρήθηκε ότι σε εγκεφαλικά σήματα όπου η ασυμμετρία αλλά και η κύρτωση απείχαν από τις επιθυμητές τιμές, με εφαρμογή του Γενετικού Αλγορίθμου υπήρξε συνολική βελτίωση. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αυτού απεικονίζεται στο Σχήματα 5.9 και 5.24, όπου οι τιμές κύρτωσης και ασυμμετρίας των raw data για το ίδιο άτομο είχαν πολύ υψηλές τιμές και μετά την επεξεργασία προσέγγισαν τις επιθυμητές. Το ίδιο πόρισμα παρατηρείται και στα Σχήματα 5.2 και 5.17, 5.6 και 5.20, 5.8 και 5.22, 5.11 και 5.26.

Ακόμα, διαπιστώθηκαν περιπτώσεις όπου ο Γενετικός βελτίωνε με τα βάρη που εξήγαγε είτε την ασυμμετρία είτε την κύρτωση. Στα Σχήματα 5.18, 5.19, 5.23, 5.27 παρατηρείται βελτίωση μόνο της ασυμμετρίας, ενώ στα Σχήματα 5.1, 5.4, 5.5, 5.10 ο Γενετικός φτιάχνει μόνο την κύρτωση.

- Τα βάρη που προκύπτουν από την επεξεργασία ανακατασκευάζουν το αρχικό εγκεφαλικό σήμα σε ένα παράθυρο $\pm 5ms$, περίπου, γύρω από τις χρονικές στιγμές από όπου προήλθαν τα βάρη. Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν,

διαπιστώθηκε ότι σε ένα διάστημα [-5msec, +5msec] περίπου γύρω από τις επιλεγμένες χρονοσειρές, τα σταθμισμένα σήματα που προέκυψαν είχαν ασυμμετρία και κύρτωση σχεδόν μηδέν και τρία, αντίστοιχα. Συνεπώς, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε δίνει άριστα αποτελέσματα σε αυτά τα παράθυρα.

- Άτομα που είχαν σχετικά καλές τιμές στα raw data, με την εφαρμογή του Γενετικού Αλγορίθμου αυτές μεταβάλλονταν. Παρατηρήθηκε ότι σε άτομα που η ασυμμετρία και η κύρτωση των αρχικών δεδομένων, που καταγράφηκαν από τα ηλεκτρόδια, ήταν πολύ κοντά στις επιθυμητές τιμές μετά την επεξεργασία απέκλιναν από το αναμενόμενο. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 5.3 η κύρτωση των raw data είναι σχεδόν τρία και με την εφαρμογή του Γενετικού αποκλίνει, ενώ στο Σχήμα 5.25 η ασυμμετρία των raw data είναι περίπου μηδέν, σε αντίθεση με τα σταθμισμένα.
- Απαιτούνται βάρη από περισσότερες χρονικές στιγμές. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία του εγκεφαλικού σήματος επιλέγοντας την εξαγωγή βαρών από τέσσερις χρονικές στιγμές δεν ήταν επαρκής για την εκτίμηση μιας γενικής εικόνας. Προφανώς απαιτείται ο υπολογισμός βαρών από περισσότερες χρονοσειρές. Ίσως, η επιλογή χρονικών στιγμών ανά διαστήματα των 10msec από το συνολικό εγκεφαλικό σήμα να δώσει πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, θα λέγαμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις η μέθοδος που ακολουθήθηκε λειτούργησε επαρκώς σε ένα παράθυρο $\pm 5ms$ γύρω από την χρονική στιγμή εξαγωγής των βαρών. Σε αυτό το διάστημα παρατηρήθηκε ότι η κατανομή των σταθμισμένων δεδομένων προσέγγιζε με ικανοποιητικό την Κανονική.

Βιβλιογραφία

- [K03] Κουτσούρης Δ., “Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων”, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2003.
- [Δ04] Γιόβα Δ., “Εισαγωγή στη Βιοϊατρική και Κυτταρική Μηχανική” Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2004.
- [S08] Snell S. R., “Κλινική Νευροανατομική”, Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσας, 6^η Έκδοση, 2008.
- [KSJ04] Kandel R. E., Schwartz H. J., Jessell M. T., “Βασικές Αρχές Νευροεπιστημών I”, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, 4^η Έκδοση, 2004.
- [FGM09] FitzGerald M. J. T., Gruener G., Mtui E., “Κλινική Νευροανατομία και Νευροεπιστήμες”, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, 5^η Έκδοση, 2009.
- [N07] Νάνου Δ. Ε. (2007), Διδακτορική Διατριβή: “Ανάπτυξη μεθοδολογίας μελέτης και αξιολόγησης της επίδρασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου”, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- [T08] Τριανταφύλλου Π. (2008), Διδακτορική Διατριβή: “Νευροφυσιολογικός έλεγχος (οπτικά, ακουστικά και σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά) σε παιδιά με συγγενή υποθυρεοειδισμό: συσχέτιση με κλινικοεργαστηριακές παραμέτρους”, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- [S07] Srinivasan N., “Cognitive neuroscience of creativity: EEG based approaches”, Methods, vol.42, pp.109-116, 2007.
- [B02] Βαλλιανάτου Ν. Γ., “Ηλεκτροφυσιολογικές προσεγγίσεις στην κλινική νευροψυχολογία: Τα προκλητά δυναμικά”, Ψυχολογία: Το Περιοδικό της Ελληνικής Ψυχολογικής Εταιρείας, pp.316-135, 2002.
- [ΚΠ08] Καψάλης Χ., Κωττής Π. “Κεραίες-Ασύρματες Ζεύξεις”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008.
- [C01] Collin E. R., “Μικροκύματα”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2^η Έκδοση, 2001.
- [O97] Ουζούνoglou Κ. Ν., “Εισαγωγή στα Μικροκύματα”, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2^η Έκδοση, 1997.
- [ΚΚΠ08] Κανάτας Α., Κωνσταντίνου Φ., Πάντος Γ. “Συστήματα κινητών επικοινωνιών”, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2008.
- [B07] Βενιέρης Στ. Ι., “Δίκτυα Ευρείας Ζώνης”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2^η Έκδοση, 2007.

- [**KR03**] Kurose F. J. , & Ross W. K, “Δικτύωση Υπολογιστών”, Εκδόσεις Γκιούρδας, 4^η Έκδοση, 2008.
- [**T03**] Tanenbaum S. A., “Δίκτυα Υπολογιστών”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 4^η Αμερικανική Έκδοση, 2003.
- [**Θ08**] Θεολόγου Ε. Μ., “Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008.
- [**ΚΝΠ04**] Κουτσούρης Δ., Νικήτα Κ., Παυλόπουλος Σ., “Ιατρικά απεικονιστικά συστήματα”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
- [**M96**] Michalewicz Z., “Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs”, Springer - Verlag, 3^η Edition, 1996.
- [**ΓΛ99**] Γεωργόπουλος Φ. Ε., Λυκοθανάσης Δ. Σ., “Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1999.
- [**Λ01**] Λυκοθανάσης Δ. Σ., “Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001.
- [**ΚΣ99**] Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., “Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική”, Εκδόσεις Συμμεών, 4^η Έκδοση, 1999.
- [**TK10**] Τσίπος Κ. Στ., Κωνσταντινίδης Κ. Θ., “Βασικές Αρχές Βιοστατικής - Εφαρμογές με χρήση του SPSS”, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2010.
<http://utopia.duth.gr/~tconstan/bioStatGP.pdf>
- [**ΔΠΧ03**] Δαμιανού Χ., Παπαδάτος Ν. Χαραλαμπίδης Α. Χ., “Εισαγωγή στις Πιθανότητες και τη Στατιστική”, Τμήμα Μαθηματικών Πανεπιστημίου Αθηνών, 2003.
<http://web.cc.uoa.gr/~nrapadat/BOOKS/PithStatOpen.pdf>
- [**Φ09**] Φουσκάκης Ε. Κ., “Περιγραφική Στατιστική”, Τμήμα Μαθηματικών Πανεπιστημίου Πατρών, 2009.
<http://www.math.ntua.gr/~fouskakis/descriptive.pdf>
- [**Π1**] Παπαδόπουλος Γ., Διδακτικές Σημειώσεις “Η Κανονική Κατανομή”, Τμήμα Μαθηματικών Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
<http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/normal010-2.pdf>
- [**Π2**] Παπαδόπουλος Γ., Διδακτικές Σημειώσεις “Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα”, Τμήμα Μαθηματικών Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
<http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/clth-10-1.pdf>
- [**B03**] Boutsikas M.V., “Σημειώσεις Στατιστικής ΙΙΙ: Η κανονική κατανομή”, Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης Πανεπιστημίου Πειραιώς, 2003.
http://utopia.duth.gr/~aproto/S2%20Protopapas/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%20%CE%99%CE%99%CE%99/Ch1_normal_distribution_v3.pdf
- [**Π09**] Παρσόπουλος Ε. Κ., “Μαθηματικά ΙΙ: Συνοπτικές Σημειώσεις στην Θεωρία Πιθανοτήτων”, Τμήμα Μαθηματικών Πανεπιστημίου Πατρών, 2009.

<http://www.scribd.com/doc/57048755/14/%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%B5%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%C2%B5%CE%AD%CF%82>

[Z03] Ζημεράς Στ., “Στατιστικά Πακέτα Γ”, Σάμος Τμήμα Στατιστικής και Αναλογιστικής Επιστήμης Πανεπιστημίου Αιγαίου, 2003.

http://www.actuar.aegean.gr/notes/lecture_notes1.pdf

[MPH10] Maganioti E. A., Papageorgiou C. C., Hountala D. C., Kyprianou A. M, Rabavilas D. A., Papadimitriou N. G., Kapsalis N.C. “*WiFi Electromagnetic fields exert gender related alteration on EEG*”, Bodrum 2010.

[SSRF10] Siqueira L., Scherer L. C, Reppold T. C., Fonseca R., “*Hayling Test – adult version: applicability in the assessment of executive functions in children*”, Psychology & Neuroscience, vol. 3, no. 2, pp.189-194, 2010.

