



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΠΜΣ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ (ΗΕΓ) ΜΕ
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ OpenViBE**

Άννα Μαρία Γιάννη

Επιβλέπων: Αλέξανδρος Τζάλλας

Καθηγητής Εφαρμογών

Άρτα, Φεβρουάριος, 2018



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΠΜΣ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ (ΗΕΓ) ΜΕ
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ OpenViBE**

Άννα Μαρία Γιάννη

Επιβλέπων: Αλέξανδρος Τζάλλας

Καθηγητής Εφαρμογών

Άρτα, Φεβρουάριος, 2018

**DIGITAL SIGNAL PROCESSING OF
ELECTROENCHEPHALOGRAPHIC (EEG) REGORDINGS
USING THE SOFTWARE PLATFORM OpenViBE**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 2018

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

2. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

3. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

τίτλος, βαθμίδα

© Γιάννη, Άννα - Μαρία, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Γιάννη, Άννα - Μαρία

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ να εκφράσω όλο μου το σεβασμό και την ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα καθηγητή μου Αλέξανδρο Τζάλλα , ο οποίος με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Γιαννακέα για την βοήθειά του και τις χρήσιμες υποδείξεις του, καθώς και όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε., για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε μία μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάλυση καταγραφών ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων με χρήση του λογισμικού OpenVibe και την επεξεργασία των σημάτων με το λογισμικό WEKA, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου ταξινομητή των σημάτων. Αρχικά αναλύονται οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά του εγκεφάλου και του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και στη συνέχεια παρουσιάζονται βασικές παθήσεις που ανιχνεύονται με τη χρήση των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων, καθώς επίσης και έξυπνες εφαρμογές που ανιχνεύουν την επιληψία. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα και η υλοποίηση του σεναρίου, καθώς και τα δύο λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων. Έπειτα ακολουθεί η ερμηνεία των τεσσάρων ταξινομητών που χρησιμοποιήθηκαν. Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, την αναφορά στον βέλτιστο ταξινομητή των δεδομένων και στη διατύπωση συμπερασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: ανάλυση σήματος, OpenVIBE, WEKA, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, εγkéφαλος

ABSTRACT

In the present thesis, a methodological approach was developed for the analysis of electroencephalographic (EEG) recordings using OpenViBE software platform and the WEKA software in order to find the optimal signal classifier. Initially, the functions and characteristics of the brain and electroencephalography are analyzed, followed by basic diseases detected by the use of electroencephalographs, as well as smart applications that detect epilepsy. The data and the implementation of the OpenViBE scenario, as well as the two software used to process the data, are presented below. Then follows the interpretation of the four classifiers used. The thesis ends with the presentation of the results, the reference to the optimal data classifier and the conclusions.

Keywords: signal processing, OpenViBE, WEKA, electroencephalography, brain

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
ABSTRACT	ix
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xiii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xvi
1. Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και εγκεφαλικές παθήσεις..	1
1.1 Ο ανθρώπινος εγκέφαλος	1
1.1.1 Η φυσιολογία του εγκεφάλου	1
1.1.2 Λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου	5
1.1.3 Η κυτταρική δομή του εγκεφάλου	6
1.1.4 Η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου	8
1.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (HEΓ).....	9
1.2.1 Καταγραφή του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος	11
1.2.2 Ρυθμοί του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος	14
1.3 Διάγνωση νευρολογικών παθήσεων με το HEΓ	17
1.3.1 Επιληψία σε ενήλικες και παιδιά	17
1.3.2 Ναρκοληψία	18
1.3.3 Σκλήρυνση κατά πλάκας	19
2. Ψηφιακή Ανάλυση του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος	22
2.1 Εισαγωγή στην αυτόματη ανάλυση του HEΓ	22
2.2 Συστήματα διεπαφής ανθρώπου-υπολογιστή (Brain Computer Interface- BCI)	23
2.2.1 Κατηγοριοποίηση BCI	24
2.2.1.1 Εξαρτώμενα και μη εξαρτώμενα	24
2.2.1.2 Σύγχρονα και ασύγχρονα	25
2.2.1.3 Επεμβατικά και μη επεμβατικά	25
2.2.1.4 Εξωγενή και ενδογενή.....	26
2.2.2 Πρότυπα εκπαίδευσης του συστήματος BCI με τη χρήση HEΓ]	26
2.3 Έξυπνες εφαρμογές στην ανίχνευση επιληψίας	28
3. Μεθοδολογία Ανάλυσης του HEΓ	33
3.1 Επιλογή Βάσης Δεδομένων	33
3.2 Ανάλυση σήματος με χρήση του λογισμικού OpenViBE	34
3.2.1 Περιγραφή του περιβάλλοντος OpenViBE	35
3.2.2 Δημιουργία σεναρίου στο OpenViBE	39
3.2.3 Επεξεργασία δεδομένων στο OpenViBE.....	41
3.3 Κατηγοριοποίηση δεδομένων με χρήση του περιβάλλοντος WEKA	41
3.3.1 Αλγόριθμοι ταξινόμησης στο WEKA	44
3.3.1.1 Αλγόριθμος NaiveBayes	44
3.3.1.2 Αλγόριθμος Multilayer Perceptron	44
3.3.1.3 Αλγόριθμος SMO	45
3.3.1.4 Αλγόριθμος J48	45
3.3.2 Εκπαίδευση μοντέλου ταξινόμησης	46
3.3.3 Πίνακας Σύγχυσης (Confusion Matrix)	46
4. Αποτελέσματα μεθοδολογίας	49

5. Συμπεράσματα και Μελλοντικοί Στόχοι	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
Αποτελέσματα ταξινομητών	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1	Χαρακτηριστικά εγκεφαλικών ημισφαιρίων	3
Πίνακας 1.2	Οι λειτουργίες των εγκεφαλικών λοβών	4
Πίνακας 1.3	Οι κυριότεροι ρυθμοί του εγκεφαλογραφήματος	14
Πίνακας 1.4	Φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ..	15
Πίνακας 3.1	Πίνακας σύγχυσης	47
Πίνακας 4.1	Πίνακας αποτελεσμάτων	50

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Τα μέρη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος	1
Εικόνα 1.2 Οι μήνιγγες του ανθρώπινου εγκεφάλου	2
Εικόνα 1.3 Τα υποσυστήματα του ανθρώπινου εγκεφάλου	2
Εικόνα 1.4 Τα ημισφαίρια του ανθρώπινου εγκεφάλου	4
Εικόνα 1.5 Το ΚΝΣ (απεικόνιση με πράσινο χρώμα) και το ΠΝΣ (απεικόνιση με μπλε χρώμα)	5
Εικόνα 1.6 Τα υποκυτταρικά διαμερίσματα του νευρικού κυττάρου: το σώμα, οι δένδριτες και ο άξονας	6
Εικόνα 1.7 Οι νευρικές συνάψεις	7
Εικόνα 1.8 Χημική δομή φωσφολιπιδίου	8
Εικόνα 1.9 Richard Caton	9
Εικόνα 1.10 Hans Berger	10
Εικόνα 1.11 Ηλεκτρόδιο	11
Εικόνα 1.12 Το Διεθνές Σύστημα 10-20	12
Εικόνα 1.13 Απεικόνιση λειτουργίας ενός επιφανειακού ΗΕΓ	13
Εικόνα 1.14 Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Οι κάθετες γραμμές οριοθετούν το ένα δευτερόλεπτο	13
Εικόνα 1.15 Οι κυματομορφές των ρυθμών άλφα, βήτα, θήτα και δέλτα	16
Εικόνα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας που ακολουθείται για την ανάλυση του σήματος	23
Εικόνα 2.2 Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος BCI	25
Εικόνα 2.3 Σύστημα BCI βασιζόμενο στο πρότυπο P300	27
Εικόνα 2.4 (Α) Παράδειγμα γραμμής/στήλης (RC). (Β) Παράδειγμα μονού χαρακτήρα (SC)	27
Εικόνα 2.5 Η εφαρμογή «Epilepsy society»	29
Εικόνα 2.6 Application «Epilepsy society»	29
Εικόνα 2.7 Application «My epilepsy diary»	30
Εικόνα 2.8 Η εφαρμογή «Creatinine clearance fast»	31
Εικόνα 3.1 Απεικόνιση αρχικού παραθύρου OpenViBE	35
Εικόνα 3.2 Δημιουργία νέου σεναρίου στο OpenViBE	36
Εικόνα 3.3 Αποθήκευση σεναρίου στο OpenViBE	36
Εικόνα 3.4 Αναζήτηση κουτιών σχεδίασης	37

Εικόνα 3.5 Έναρξη και παύση λειτουργίας σεναρίου	38
Εικόνα 3.6 Περιοχή εμφάνισης μηνυμάτων	38
Εικόνα 3.7 Απεικόνιση τμήματος σεναρίου της κατηγορίας F	39
Εικόνα 3.8 Απεικόνιση τμήματος σεναρίου	40
Εικόνα 3.9 Απεικόνιση παραθύρου του "Explorer" στο περιβάλλον Weka	42
Εικόνα 4.1 Διάγραμμα αποτελεσμάτων από τους 4 ταξινομητές. (α) Με τη μπλε γραμμή απεικονίζεται ο J48, (β) με τη γαλάζια ο MLP, (γ) με την πορτοκαλί ο Naïve Bayes και (δ) με την κίτρινη γραμμή ο SMO.....	52

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΚΝΣ	Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΠΝΣ	Περιφερικό Νευρικό Σύστημα
ΗΕΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
BCI	Brain Computer Interface
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis
MLP	Multilayer Perceptron
SVM	Support Vector Machines

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ψηφιακή επεξεργασία ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος με στόχο την αναγνώριση παθολογικών καταστάσεων είναι ένα πολύ διαδεδομένο πεδίο έρευνας τα τελευταία χρόνια. Το OpenVibe είναι μια πλατφόρμα λογισμικού η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχεδιασμό και χρήση συστημάτων διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Η πλατφόρμα παρέχει τη δυνατότητα λήψης, ψηφιακής επεξεργασίας και ανάλυσης σήματος σε πραγματικό χρόνο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε μία μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάλυση καταγραφών ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων με χρήση του λογισμικού OpenVibe και την επεξεργασία των σημάτων με το λογισμικό WEKA, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου ταξινομητή των σημάτων.

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από πέντε συνολικά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στον ανθρώπινο εγκέφαλο, το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και σε παθήσεις που διαγιγνώσκονται με τη χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην ψηφιακή ανάλυση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, στα συστήματα διεπαφής ανθρώπου-υπολογιστή και σε ορισμένες έξυπνες εφαρμογές στην ανίχνευση της επιληψίας. Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία ανάλυσης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και πιο συγκεκριμένα η επιλογή της βάσης δεδομένων και τα δύο περιβάλλοντα που χρησιμοποιήθηκαν (OpenViBE, WEKA). Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας και η σύγκριση μεταξύ τους. Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται στο πέμπτο κεφάλαιο με την παρουσίαση των συμπερασμάτων καθώς επίσης και ορισμένων μελλοντικών στόχων.

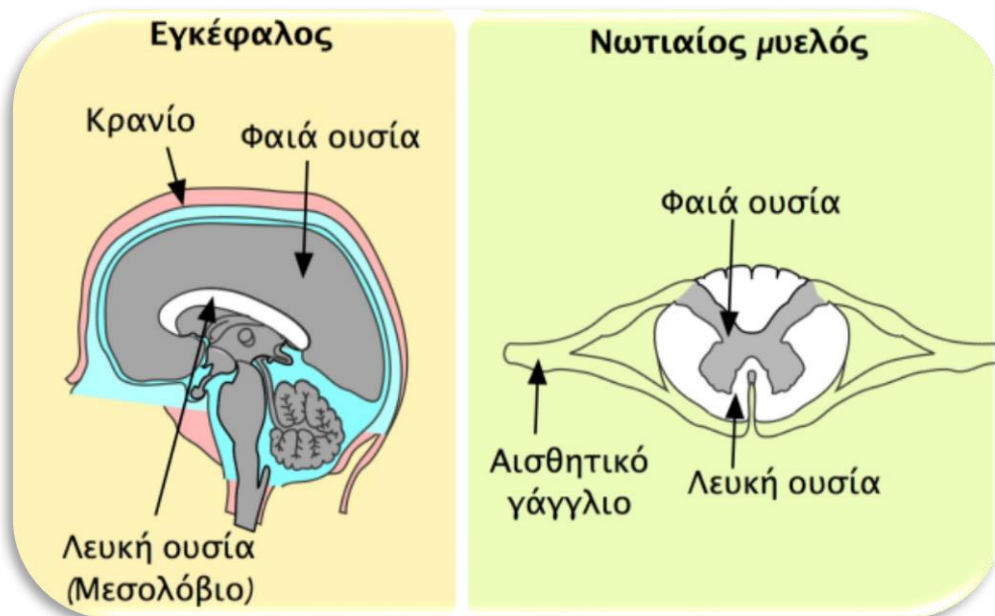
1. Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και Εγκεφαλικές παθήσεις

1.1 Ο ανθρώπινος εγκέφαλος

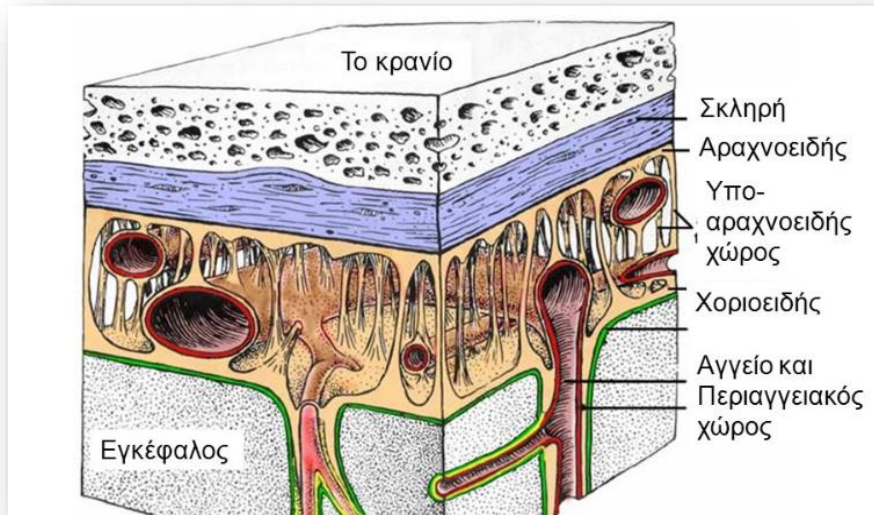
1.1.1 Η φυσιολογία του εγκεφάλου

Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) χωρίζεται σε δύο μέρη: τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό (Εικόνα 1.1: Τα μέρη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος). Τα δύο αυτά τμήματα διαφέρουν μεταξύ τους λόγω της θέσης της λευκής και φαιάς ουσίας. Πιο συγκεκριμένα στον εγκέφαλο, η φαιά ουσία (εγκεφαλικός φλοιός) βρίσκεται εξωτερικά και η λευκή ουσία (το μεσολόβιο) εσωτερικά. Αντίθετα, στο νωτιαίο μυελό, η φαιά ουσία βρίσκεται εσωτερικά και η λευκή ουσία εξωτερικά [1].

Το μεγαλύτερο τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος είναι ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Ο εγκέφαλος βρίσκεται εντός του εγκεφαλικού κρανίου και περιβάλλεται από τρεις προστατευτικούς υμένες, οι οποίοι ονομάζονται «μήνιγγες» (Εικόνα 1.2: Οι μήνιγγες του ανθρώπινου εγκεφάλου).

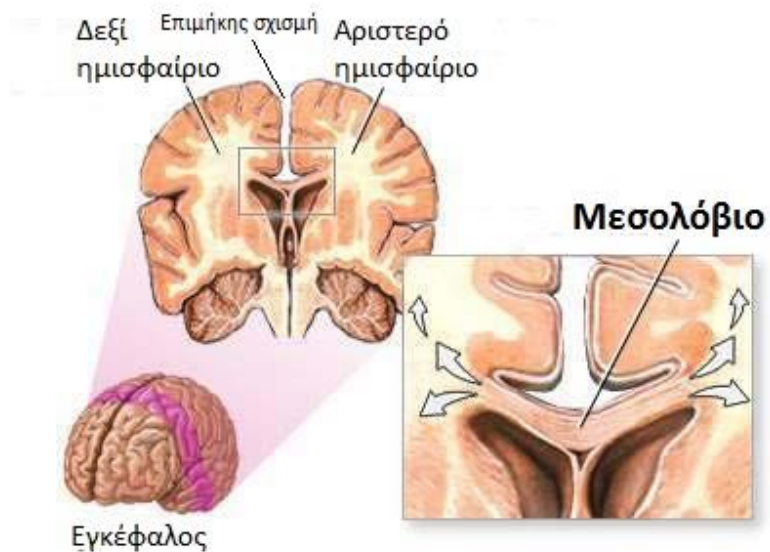


Εικόνα 1.1: Τα μέρη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος



Εικόνα 1.2: Οι μήνιγγες του ανθρώπινου εγκεφάλου

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από νευρώνες, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μιας ηλεκτρο-χημικής οδού. Περιέχει υποσυστήματα και μέσω της επιμήκου σχισμής χωρίζεται σε αριστερό και δεξιό ημισφαίριο. Η σύνδεση των δύο ημισφαιρίων πραγματοποιείται μέσω του μεσολόβιου (Εικόνα 1.3: Τα υποσυστήματα του ανθρώπινου εγκεφάλου).



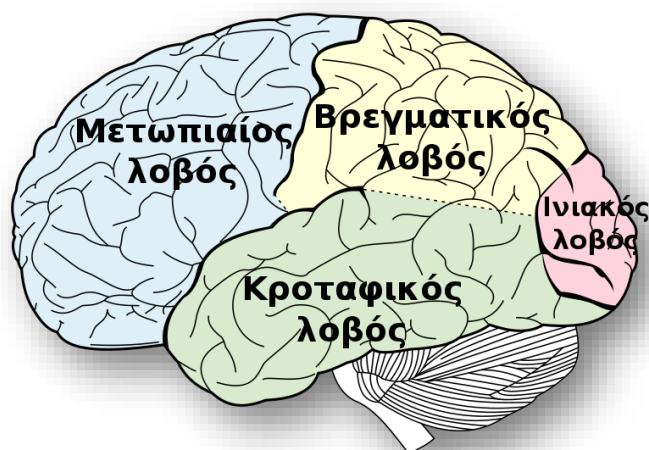
Εικόνα 1.3: Τα υποσυστήματα του ανθρώπινου εγκεφάλου

Το αριστερό ημισφαίριο είναι υπεύθυνο για την αντίληψη και το λόγο, ενώ το δεξιό ημισφαίριο για τις οπτικο-χωρικές πληροφορίες όπως για παράδειγμα την όραση και τους υπολογισμούς των χώρων). Τα ευρήματα που έχουν παρατηρηθεί από μελέτες υποστηρίζουν την ύπαρξη ημισφαιρικών διαφορών. Τα χαρακτηριστικά που αποδίδονται συχνότερα στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια, μπορούν να διακριθούν σε πέντε κύριες ομάδες που δημιουργούν ένα τύπο ιεραρχίας (Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά εγκεφαλικών ημισφαιρίων).

<i>Αριστερό ημισφαίριο</i>	<i>Δεξί ημισφαίριο</i>
λεκτικό	μη λεκτικό, οπτικοχωρικό
διαδοχικό, χρονικό, ψηφιακό	ταυτόχρονο, χωρικό, αναλογικό
λογικό, αναλυτικό	ολιστικό, συνθετικό
ορθολογιστικό	διαισθητικό
δυτική σκέψη	ανατολική σκέψη

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά εγκεφαλικών ημισφαιρίων

Σύμφωνα με την άποψη ότι το κάθε ημισφαίριο είναι εξειδικευμένο για διαφορετικό τρόπο σκέψης, έχει επικρατήσει η έννοια της «ημισφαιρικότητας», κατά την οποία, το άτομο στηρίζεται ως επι το πλείστον σε ένα εκ των δύο ημισφαιρίων [2]. Κάθε ημισφαίριο καλύπτεται από ένα φλοιό, με τη φαιά ουσία κάτω από αυτό. Ο φλοιός περιέχει το σώμα των νευρικών κυττάρων, ενώ η φαιά ουσία περιέχει τις συνδέσεις (συνάψεις). Ο φλοιός του κάθε ημισφαιρίου χωρίζεται σε τέσσερις λειτουργικές περιοχές: το μετωπιαίο, το βρεγματικό, τον κροταφικό και τον ινιακό λοβό (Εικόνα 1.4: Τα ημισφαίρια του ανθρώπινου εγκεφάλου) [3].



Εικόνα 1.4: Τα ημισφαίρια του ανθρώπινου εγκεφάλου

Όλες αυτές οι συνειρμικές περιοχές, καταλαμβάνουν περισσότερο από το 50% της επιφάνειας του εγκεφαλικού φλοιού. Παρακάτω απεικονίζονται οι κύριες λειτουργίες των συνειρμικών περιοχών (Πίνακας 1.2: Οι λειτουργίες των εγκεφαλικών λοβών) [4].

<i>ΛΟΒΟΣ</i>	<i>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ</i>
Μετωπιαίος	Υπεύθυνος για τις κινήσεις των σκελετικών μυών, τις ανώτερες πνευματικές και νοητικές διεργασίες, το σχεδιασμό και τη λύση σύνθετων προβλημάτων, την εκτίμηση συμπεριφοράς.
Βρεγματικός	Υπεύθυνος για τις αισθήσεις της αφής, της γεύσης, της πίεσης, του πόνου, της θερμοκρασίας. Επίσης, πραγματοποιεί λειτουργίες για την κατανόηση, τη χρήση του λόγου και την έκφραση των σκέψεων - συναισθημάτων.
Κροταφικός	Υπεύθυνος για την ακοή, την όσφρηση. Επίσης, είναι υπεύθυνος για την ερμηνεία αισθητικών εμπειριών και τη μνήμη των ήχων.
Ινιακός	Υπεύθυνος για την όραση και των ερεθισμάτων.

Πίνακας 1.2: Οι λειτουργίες των εγκεφαλικών λοβών

1.1.2 Λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν λειτουργεί απομονωμένος, αλλά είναι μέρος του ανθρώπινου νευρικού συστήματος. Το νευρικό σύστημα διαιρείται στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) και στο Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) (Εικόνα 1.5: Το ΚΝΣ (απεικόνιση με πράσινο χρώμα) και το ΠΝΣ (απεικόνιση με μπλε χρώμα)). Τα νεύρα δημιουργούν το ΠΝΣ και εκτείνονται εξωτερικά του κρανίου και της σπονδυλικής στήλης. Το ΠΝΣ έχει δύο βασικές λειτουργίες: αισθητήριους και κινητικούς. Πιο αναλυτικά, το ΠΝΣ δέχεται και μεταφέρει αισθητικές πληροφορίες στο ΚΝΣ, τόσο από το εξωτερικό περιβάλλον όσο και από το υπόλοιπο σώμα. Παράλληλα, ελέγχει και ασκεί κινητικά ερεθίσματα μακριά από το ΚΝΣ προς τους μύς, τους αδένες και άλλα όργανα προς τα διάφορα σημεία του σώματος [5].



Εικόνα 1.5: Το ΚΝΣ (απεικόνιση με πράσινο χρώμα) και το ΠΝΣ (απεικόνιση με μπλε χρώμα)

Οι λειτουργίες του ΚΝΣ είναι περισσότερο περίπλοκες από του ΠΝΣ. Το ΚΝΣ προσλαμβάνει, αποθηκεύει και αναλύει τα αισθητήρια ερεθίσματα που φτάνουν σ' αυτό από το ΠΝΣ δημιουργώντας κινητικά ερεθίσματα που μέσω του ΠΝΣ κατευθύνονται προς διάφορα όργανα του σώματος. Πιο συγκεκριμένα, ο νωτιαίος μυελός αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον εγκέφαλο και το ΠΝΣ και αναλαμβάνει τρεις βασικές λειτουργίες:

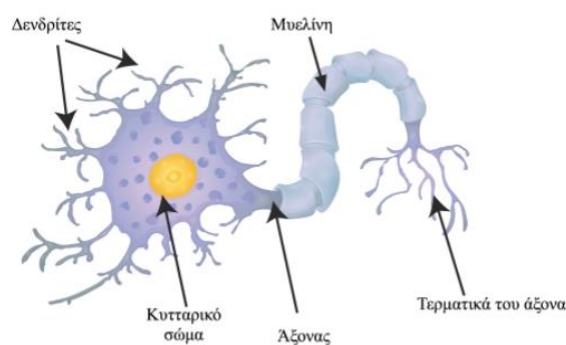
- Προσλαμβάνει ερεθίσματα και πληροφορίες που προέρχονται από τα αισθητήρια νεύρα του ΠΝΣ και τα μεταφέρει στο ΚΝΣ
- Επεξεργάζεται τα ερεθίσματα και τις πληροφορίες που προσλαμβάνει στο ΚΝΣ
- Απαντά στα ερεθίσματα που δέχεται μέσω των κινήσεων που πραγματοποιούνται. Δηλαδή, ρυθμίζει και ελέγχει μια απόκριση/ απάντηση στα ερεθίσματα που δέχεται μέσω της φυγόκεντρου μοίρας του ΠΝΣ

Τέλος, στο ΚΝΣ αποδίδονται οι απλές και άμεσες αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τις αντανακλαστικές μας αντιδράσεις, όπως για παράδειγμα όταν τραβάμε το χέρι μας μακριά από μια θερμή πηγή. Γενικότερα, στον ανθρώπινο εγκέφαλο συντελούνται διαδικασίες πολύπλοκες και σύνθετες, όπως είναι η σκέψη, η αντίληψη, η ομιλία, η μνήμη, τα συναισθήματα.

1.1.3 Η κυτταρική δομή του εγκεφάλου

Όπως προαναφέρθηκε, ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελεί μέρος του ανθρώπινου νευρικού συστήματος. Το νευρικό σύστημα του ανθρώπου αποτελείται από εκατό δισεκατομμύρια νευρικά κύτταρα και αποτελεί τη βασική δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες βασικές διαφορές στη μορφολογία τους από τα υπόλοιπα κύτταρα του σώματος. Τα νευρικά κύτταρα, περιλαμβάνουν πολλές ίνες με αρκετά μεγάλο μήκος. Λόγω του μεγάλου μήκους των ινών, υπάρχει περίπτωση το σώμα ενός νευρικού κυττάρου να βρίσκεται σε μια περιοχή του νευρικού συστήματος και ο άξονάς του, που είναι υπεύθυνος να μεταδίδει το σήμα, να βρίσκεται σε μια διαφορετική και απομακρυσμένη περιοχή [1].

Ένα νευρικό κύτταρο αποτελείται από τους δενδρίτες και τον άξονα (Εικόνα 1.6: Τα υποκυτταρικά διαμερίσματα του νευρικού κυττάρου: το σώμα, οι δενδρίτες και ο άξονας).

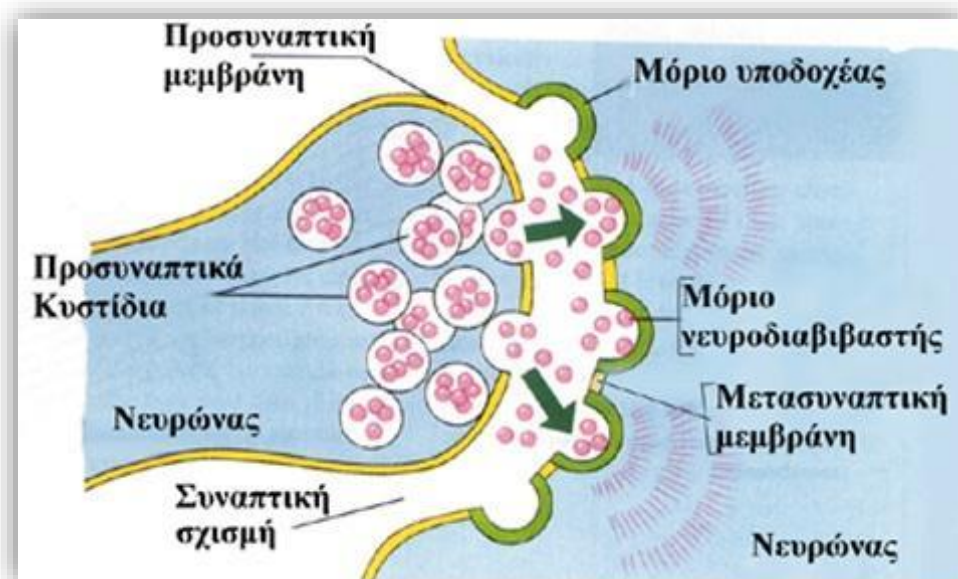


Εικόνα 1.6: Τα υποκυτταρικά διαμερίσματα του νευρικού κυττάρου: το σώμα, οι δενδρίτες και ο άξονας

Οι πιο σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο δενδρίτη και στον άξονα είναι οι εξής:

- Οι δενδρίτες που αναπτύσσονται από το κυτταρικό σώμα. μπορεί να είναι ένας ή και δεκάδες. Αντίθετα, μόνο ένας άξονας αναπτύσσεται από το κυτταρικό σώμα.
- Οι δενδρίτες αποτελούν την είσοδο των ερεθισμάτων στο νευρικό κύτταρο, ενώ ο άξονας αποτελεί την έξοδο των ερεθισμάτων.
- Οι δενδρίτες έχουν μεγαλύτερη διάμετρο σε σχέση με τους άξονες.
- Οι δενδρίτες έχουν προεξοχές στην κυτταρική τους μεμβράνη που ονομάζονται «άκανθες», ενώ οι άξονες είναι λείοι.
- Τέλος, οι δενδρίτες έχουν δυναμικά με βαθμίδες. ενώ αντίθετα ο άξονας έχει δυναμικά ενέργειας.

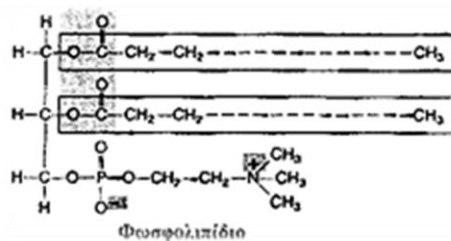
Τα νευρικά κύτταρα επικοινωνούν μεταξύ τους με τις «συνάψεις» (Εικόνα 1.7: Οι νευρικές συνάψεις), όπου το τερματικό του άξονα ενός νευρικού κυττάρου, έρχεται σε επαφή με τον δενδρίτη ενός άλλου νευρικού κυττάρου. Το νευρικό κύτταρο που επικοινωνεί με τη σύναψη μέσω του άξονα, ονομάζεται «προσυναπτικός νευρώνας». Ο προσυναπτικός νευρώνας έχει μια ουσία που ονομάζεται «νευροδιαβιβαστής» και δρα στον «μετασυναπτικό νευρώνα» του δενδρίτη του άλλου νευρικού κυττάρου. Οι νευρικές συνάψεις εντοπίζονται κυρίως στους δενδρίτες του μετασυναπτικού νευρώνα, αλλά υπάρχει πιθανότητα να εντοπιστούν στο κυτταρικό σώμα αλλά και στον άξονα [1].



Εικόνα 1.7: Οι νευρικές συνάψεις

1.1.4 Η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου

Ο νευρώνας, καλύπτεται από την κυτταρική μεμβράνη μαζί με τον άξονα και τους δενδρίτες. Η κυτταρική αυτή μεμβράνη έχει ένα διπλό (διμοριακό) στρώμα από μόρια λιπιδίων, μέσα στο οποίο υπάρχουν τοποθετημένα διαφορετικά είδη πρωτεϊνικών μορίων. Το πάχος της μεμβράνης είναι περίπου 8-10 nm, ενώ τα λιπίδια του στρώματος είναι κυρίως φωσφολιπίδια. Τα φωσφολιπίδια, αποτελούνται από μια υδρόφιλη κεφαλή, η οποία είναι συνδεδεμένη σε δύο υδρογονανθρακικές αλυσίδες που αποτελούν το υδρόφοβο τμήμα (ουρά) του μορίου (Εικόνα 1.8: Χημική δομή φωσφολιπιδίου) [6].

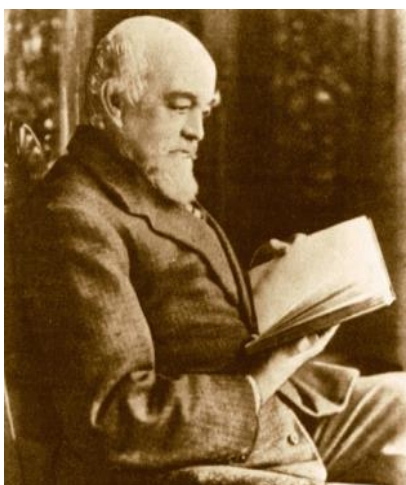


Εικόνα 1.8: Χημική δομή φωσφολιπιδίου

Μόλις βρεθούν τα φωσφολιπίδια σ' ένα υδάτινο μέσο, τοποθετούνται σε διπολικά στρώματα με σκοπό οι υδροφοβικές ουρές να είναι μακριά από το υδάτινο μέσο, ενώ οι υδρόφιλες κεφαλές οργανώνονται μεταξύ του ύδατος και των υδρόφοβων ουρών. Το στρώμα που δημιουργείται γίνεται αδιαπέραστο από το μεγαλύτερο μέρος των μορίων, σε αντίθεση με τη μεμβράνη που γίνεται ημιπερατή. Οι πρωτεΐνες που είναι ενσωματωμένες στο στρώμα, επιτρέπουν τη διέλευση στοιχείων στο διμοριακό στρώμα, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη λειτουργική δραστηριότητα της ζωντανής μεμβράνης. Βέβαια, μερικές από τις πρωτεΐνες, λειτουργούν και ως δίοδοι ιόντων, προσφέροντας ένα κατάλληλο περιβάλλον για να διέρχονται από μέσα τους τα ιόντα μαζί με τα μόρια νερού. Οι δίοδοι αυτοί, βοηθούν στη λειτουργία των νευρικών κυττάρων και διαχωρίζονται σε δίοδους ελεγχόμενες από τάση, όπου οι δίοδοι ανοίγουν και κλείνουν ανάλογα με την τάση που τους επιβάλλεται διαμεμβρανικά, σε χημικά ελεγχόμενες δίοδους όπου ανοίγουν ή κλείνουν ανάλογα με την παρουσία χημικών ουσιών και τέλος, σε μη ελεγχόμενες δίοδους, όπου δεν ελέγχεται το άνοιγμα – κλείσιμο των διόδων εξαιτίας των εξωτερικών συνθηκών.

Κατά μήκος της μεμβράνης των κυττάρων, διατηρείται μια διαφορά δυναμικού ώστε το εσωτερικό του κυττάρου, να βρίσκεται σε αρνητικό δυναμικό ως προς τον εξωτερικό χώρο. Στην περίπτωση των νευρικών και μυϊκών κυττάρων, το δυναμικό αυτό είναι της τάξης των λίγων δεκάδων mV (περίπου 70 mV) και οφείλεται κυρίως στην άνιση κατανομή ιόντων μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης. Τα δυναμικά τα οποία μετριοούνται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του κεφαλιού, οφείλονται ουσιαστικά σε ρεύματα ιόντων που συμμετέχουν στην εγκεφαλική διεργασία. Τα ρεύματα αυτά διαχέονται στην περιοχή από τα σημεία δημιουργίας τους έως την εξωτερική δερματική επιφάνεια, διότι ο εγκεφαλικός ιστός, οι μήνιγγες, το κρανίο και το δέρμα άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα [6].

1.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα



Εικόνα 1.9: Richard Caton

Ο Richard Caton (Εικόνα 1.9: Richard Caton) ήταν ο πρώτος επιστήμονας που εστίασε τις μελέτες του στην ηλεκτρική φύση του εγκεφάλου. Τον Ιούλιο του 1875, στην πρώτη του έκθεση στο Εδιμβούργο, η οποία συνοψίζεται το ίδιο έτος στο *British Medical Journal*, ανέφερε ότι είχε χρησιμοποιήσει ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο για να παρατηρήσει τα ηλεκτρικά ερεθίσματα στην επιφάνεια ζωντανών εγκεφάλων σε πειραματόζωα. Συγκεκριμένα, τοποθέτησε γυμνά μονοπολικά ηλεκτρόδια το ένα επί του εγκεφαλικού φλοιού και το άλλο στην επιφάνεια του κρανίου, όπου οι μετρήσεις έδειξαν ορισμένες μεταβολές του ρεύματος. Πιο αναλυτικά, το ρεύμα αυξανόταν κατά τη διάρκεια του ύπνου, ενισχύονταν με την έναρξη διαδικασίας θανάτωσης του πειραματόζωου, ενώ μετά τον εγκεφαλικό θάνατο η ένταση γινόταν ολοένα και πιο αδύναμη μέχρι που μηδενιζόταν [7].

Στη συνέχεια, ο Γερμανός ψυχίατρος Hans Berger (Εικόνα 1.10: Hans Berger) επηρεάστηκε από την έρευνα του Caton και μετά από μελέτη περίπου σαράντα χρόνων παρουσίασε το 1929 τα αποτελέσματα του πρώτου ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEΓ) σε ζωντανό ανθρώπινο εγκέφαλο. Οι ηλεκτροφυσιολόγοι Edgar Douglas Adrian και BHC Matthews επιβεβαίωσαν τις βασικές παρατηρήσεις του Berger το 1934, όπου τελικά το 1937 αναγνωρίστηκε η σπουδαιότητα της έρευνάς του. Έπειτα, το 1938 το HEΓ είχε πλέον αναγνώριση από ερευνητές στο πεδίο έρευνας της κλινικής νευροφυσιολογίας και ψυχοφυσιολογίας, υιοθετώντας το σαν εργαλείο στη διάγνωση δυσλειτουργιών του εγκεφάλου όπως η επιληψία, στις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αγγλία και τη Γαλλία [5].



Εικόνα 1.10: Hans Berger

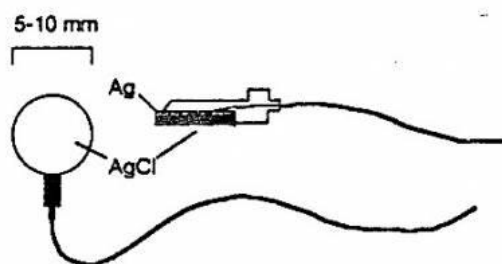
Το HEΓ ήταν το πρώτο εργαλείο που προσέφερε μία απεικόνιση για τον ανθρώπινο εγκέφαλο, ενώ είναι η μόνη διαθέσιμη τεχνολογία με επαρκή χρονική ανάλυση ικανή να ακολουθήσει τις δυναμικές αλλαγές που πραγματοποιούνται στο φλοιό του εγκεφάλου.

Η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου καταγράφεται με το HEΓ. Ο εγκέφαλος παράγει ποσότητες ηλεκτρισμού, οι οποίες ανιχνεύονται με την εφαρμογή ηλεκτροδίων στο κρανίο. Οι ηλεκτρικές ώσεις που συλλαμβάνονται από τα ηλεκτρόδια μεταβιβάζονται, στον ηλεκτροεγκεφαλογράφο ο οποίος τις μεγεθύνει και τις καταγράφει σ' ένα χαρτί [8]. Το HEΓ πραγματοποιείται με τη βοήθεια νευρολόγου, προκειμένου να διαγνώσει την επιληψία και να εντοπίσει ανατομικά προβλήματα όπως όγκους στον εγκέφαλο, ανωμαλίες στον ύπνο (ναρκοληψία), καθώς επίσης και συμπτώματα όπως: η απώλεια συνείδησης, οι σπασμοί, ο πονοκέφαλος και η ζάλη. Παράλληλα, βοηθά στη διάγνωση βλαβών του εγκεφάλου, που επηρεάζουν την ηλεκτρική του λειτουργία. Με αυτό το τρόπο μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί εάν υπάρχει νευρολογική διαταραχή.

1.2.1 Καταγραφή του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

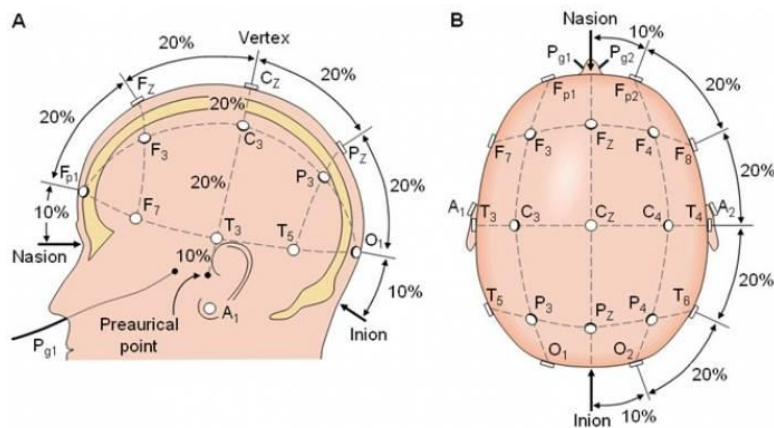
Το HEΓ καταγράφει την εγκεφαλική δραστηριότητα του εγκεφάλου με την τοποθέτηση διαφόρων ηλεκτροδίων είτε στην εσωτερική δομή του εγκεφάλου (ενδοκρανιακό HEΓ –

intracranial EEG) είτε συνήθως στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του ανθρώπινου κρανίου (επιφανειακό ΗΕΓ – scalp EEG), με την βοήθεια αισθητήρων (Εικόνα 1.11: Ηλεκτρόδιο). Στην πραγματικότητα μετατρέπεται το ρεύμα ιόντων στον ανθρώπινο οργανισμό σε ρεύμα ηλεκτρονίων μέσα στα καλώδια, τα οποία στη συνέχεια οδηγούν το ρεύμα αυτό στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Τα ηλεκτρόδια του ΗΕΓ είναι μεταλλικοί δίσκοι μικρής διαμέτρου, οι οποίοι τοποθετούνται πάνω στο κρανίο είτε με τη χρήση μιας κολλώδους ουσίας είτε με τη χρήση ενός μικρού δακτυλιδίου, το οποίο από τη μία πλευρά εφαρμόζει στο δέρμα και από την άλλη στο ηλεκτρόδιο.



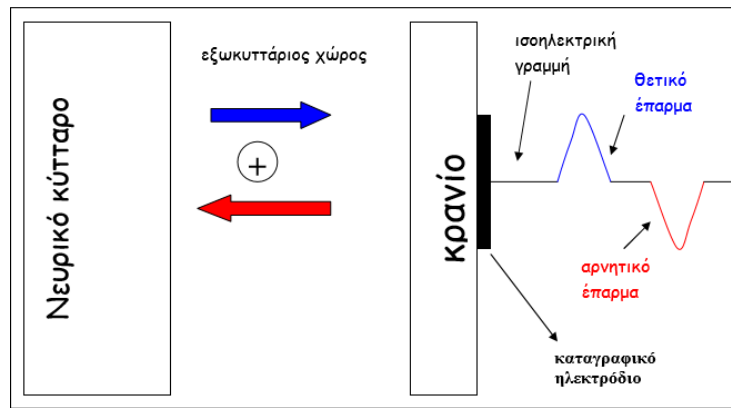
Εικόνα 1.11: Ηλεκτρόδιο

Η τοποθέτηση του κάθε ηλεκτροδίου στο κεφάλι δε γίνεται τυχαία και έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα, εκ των οποίων το πιο δημοφιλέστερο σε χρήση είναι το Διεθνές Σύστημα 10-20. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε 10-20 για δύο λόγους. Ο αριθμός «20» συμβολίζει την επιλογή του 20% της μεταξύ τους απόστασης των δύο αυτιών και της απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια. Ενώ ο αριθμός «10» συμβολίζει το 10% της απόστασης των δύο αυτιών, έως την απόσταση του κοντινότερου ως προς το αντί ηλεκτρόδιο. Βέβαια, τα ηλεκτρόδια μπορούν επίσης να τοποθετηθούν είτε κοντά στα μάτια είτε μέσα στο κρανίο (ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια). Οι θέσεις που τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια, προσαρμόζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του κρανίου του εξεταζόμενου. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων πάνω στο κεφάλι σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 απεικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 1.12: Το Διεθνές Σύστημα 10-20) [5].



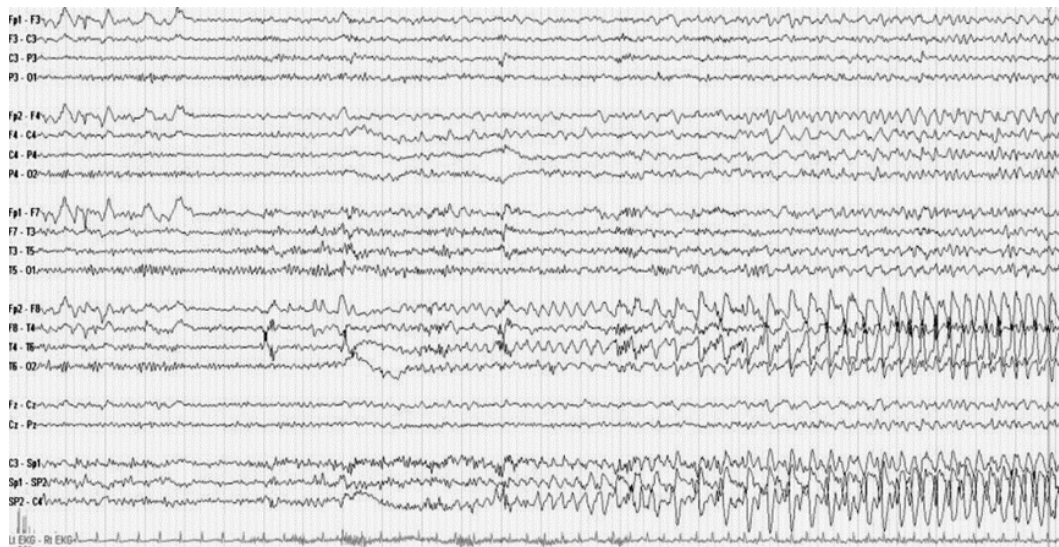
Εικόνα 1.12: Το Διεθνές Σύστημα 10-20

Όπως γίνεται αντιληπτό το ΗΕΓ, καταγράφει μεταβολές στον αριθμό των φορτίων που έχει ο εξωκυττάριος χώρος του φλοιού. Συγκεκριμένα, όταν τα νευρικά κύτταρα του φλοιού είναι ενεργά, κινούνται φορτία προς ή από τον εξωκυττάριο χώρο και επομένως αλλάζει ο αριθμός των φορτίων του εξωκυττάριου χώρου, άρα και το δυναμικό του. Η απεικόνιση του ΗΕΓ επιτυγχάνεται με μία γραμμή, η οποία μπορεί να είναι ευθεία-οριζόντια (ισοηλεκτρική γραμμή) ή να έχει γραμμές που αποκλίνουν από αυτό το επίπεδο (επάρματα). Όταν η απεικόνιση επιτυγχάνεται με ισοηλεκτρική γραμμή το δυναμικό του εξωκυττάριου χώρου δεν μεταβάλλεται, άρα δεν υπάρχει και διέλευση ρεύματος και τα νευρικά κύτταρα βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας. Ενώ, όταν η απεικόνιση επιτυγχάνεται με επάρματα σημαίνει ότι το ρεύμα διαπέρασε τη μεμβράνη των κυττάρων και δε βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Τα επάρματα μπορεί να είναι είτε θετικά, δηλαδή πάνω από την ισοηλεκτρική γραμμή, είτε αρνητικά, δηλαδή κάτω από την ισοηλεκτρική γραμμή. Ανάλογα με το αν τα επάρματα είναι θετικά ή αρνητικά, κινούνται προς ή από το ηλεκτρόδιο καταγραφής (Εικόνα 1.13: Απεικόνιση λειτουργίας ενός επιφανειακού ΗΕΓ) [9].



Εικόνα 1.13: Απεικόνιση λειτουργίας ενός επιφανειακού ΗΕΓ

Το κάθε σήμα που εμφανίζεται στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, αντιπροσωπεύει ένα κανάλι. Το κάθε κανάλι αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των δυναμικών που παρουσιάζουν δύο ηλεκτρόδια μεταξύ τους. Στην Εικόνα 1.14, δίνεται η απεικόνιση ενός τυπικού ΗΕΓ. Τα ηλεκτρόδια που τελειώνουν σε άρτιο αριθμό είναι τοποθετημένα στο δεξί ημισφαίριο και αντίστοιχα τα ηλεκτρόδια με περιττό αριθμό βρίσκονται στο αριστερό ημισφαίριο.



Εικόνα 1.14: Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Οι κάθετες γραμμές οριοθετούν το ένα δευτερόλεπτο.

1.2.2 Ρυθμοί του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Η χρήση του ΗΕΓ επιτρέπει τη διάκριση και τη μελέτη καταγραφών δυναμικού ως συνάρτηση του χρόνου, όπως επίσης και την ύπαρξη ή μη συγκεκριμένων κυματομορφών που ονομάζονται ρυθμοί. Οι ρυθμοί διακρίνονται από τη συχνότητα και το πλάτος του ΗΕΓ στο οποίο εντοπίζονται. Οι βασικοί ρυθμοί είναι οι άλφα, βήτα, θήτα και δέλτα, οι συχνότητες και τα συνήθη πλάτη των ρυθμών δίνονται στον παρακάτω πίνακα. (Πίνακας 1.3: Οι κυριότεροι ρυθμοί του εγκεφαλογραφήματος).

Ρυθμός	Περιοχή Συχνοτήτων	Πλάτος (σε 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 1.3: Οι κυριότεροι ρυθμοί του εγκεφαλογραφήματος

Το ΗΕΓ χρησιμοποιείται ευρύτατα στην Νευρολογία, καθώς αποτελεί μια μέθοδο οικονομική, ανώδυνη και απλή στην εφαρμογή της. Το ΗΕΓ παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για διάφορες εγκεφαλοπάθειες (π.χ. νόσο Jacobs - Kreutzfeldt, Alzheimer), τόσο για τη βαρύτητα της νόσου, όσο και για την ολοκληρωμένη διάγνωση και πρόγνωση. Ακόμη, το ΗΕΓ είναι η πλέον κύρια διαγνωστική μέθοδος για την περίπτωση της επιληψίας, όπου στο ΗΕΓ εμφανίζονται «αιχμές» και «βραχέα κύματα» (Spikes and Short Waves - SSW) υψηλής συχνότητας, με διάρκεια από 20-70msec και 70-200msec αντιστοίχως. Οι συγκεκριμένες ανωμαλίες εντοπίζονται στις μέρες μας με μεγαλύτερη ευκολία, με τη χρήση ψηφιακών τεχνικών επεξεργασίας. Τέλος το ΗΕΓ μελετάται και στις περιπτώσεις κρανιοεγκεφαλικών κακώσεων, κώματος όπως επίσης και στη μελέτη του ύπνου [6].

Η μελέτη ενός ΗΕΓ βασίζεται στις κυματομορφές που δημιουργούνται από τις διαφορές δυναμικού που καταγράφονται ως συνάρτηση του χρόνου. Οι κυματομορφές που δημιουργούνται ονομάζονται «ρυθμοί» και κύριο χαρακτηριστικό τους είναι οι συχνότητες των αρμονικών από τις οποίες αποτελούνται. Ανάλογα λοιπόν με τη συχνότητα, διακρίνονται σε ρυθμούς με κυριότερους τους: άλφα, βήτα, γάμμα, δέλτα και θήτα. Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται κυριότεροι τύποι των ρυθμών που προαναφέρθηκαν (Πίνακας 1.4: Φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ).

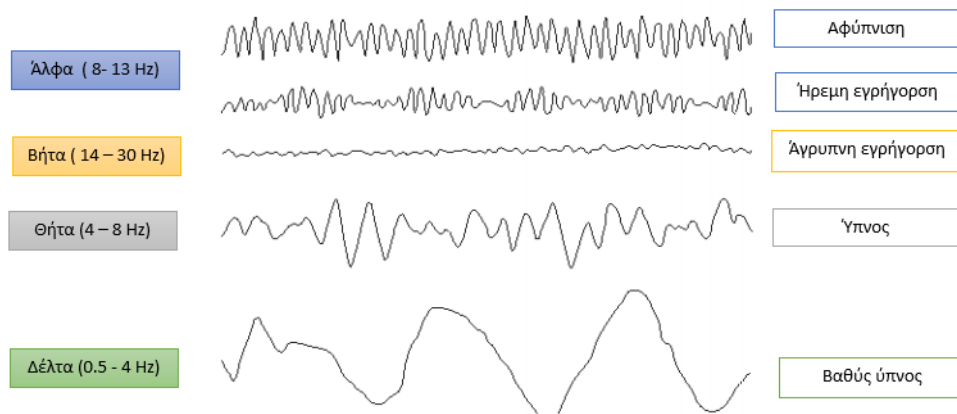
Τύπος	Συχνότητα (Hz)	Φυσιολογικά	Παθολογικά
Δέλτα	Μέχρι 4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Σε ενήλικες και μικρά παιδιά κατά τη διάρκεια βαθύ ύπνου ➤ Σε δραστηριότητες που απαιτούν συγκέντρωση 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Αλλοιώσεις στα κύτταρα του φλοιού ➤ Αδυναμία συγκέντρωσης ➤ Υδροκεφαλισμός
Θήτα	4 - 8	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μικρά παιδιά ➤ Σε φάσης χαλάρωσης για ενήλικες 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Αδυναμία εστίασης ➤ Ειδικές περιπτώσεις υδροκεφαλισμού
Άλφα	8 - 13	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Σε φάσεις χαλάρωσης ➤ Με κλειστά μάτια 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Κώμα
Βήτα	13 - 30	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Πλήρης εγρήγορση ➤ Άγχος ➤ Μεγάλη συγκέντρωση 	
Γάμμα	30 -70	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ανώτερη πνευματική δραστηριότητα 	

Πίνακας 1.4: Φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, διαπιστώνεται ότι ο ρυθμός άλφα εμφανίζεται στο 75% των ενηλίκων όταν κλείνουν τα μάτια ή σε κάποια φάση χαλάρωσης. Ο ρυθμός βήτα, εμφανίζεται όταν ο ανθρώπινος εγκέφαλος βρίσκεται σε εγρήγορση ή όταν υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση ή όταν κυριεύεται από το άγχος. Επίσης, ο ρυθμός γάμμα εντοπίζεται σε ανθρώπους με ανώτερη πνευματική δραστηριότητα, ενώ ο ρυθμός δέλτα συσχετίζεται με τον ύπνο στον άνθρωπο και σε δραστηριότητες που απαιτούν συγκέντρωση. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο αριθμός δέλτα είναι ο κυριότερος ρυθμός στα

νεογέννητα έως το δεύτερο έτος της ηλικίας τους. Τέλος, ο ρυθμός θήτα εντοπίζεται σε ενήλικες κατά τη διάρκεια χαλάρωσης και σε μικρά παιδιά.

Η ηλεκτρική δραστηριότητα του φλοιού του εγκεφάλου είναι διαφορετική όταν ο άνθρωπος κοιμάται και όταν είναι ξύπνιος ή ακόμα κατά τη διάρκεια μιας επιληπτικής κρίσης. Παρακάτω απεικονίζονται κάποιες κυματομορφές των ρυθμών σε ορισμένες καταστάσεις (Εικόνα 1.15: Οι κυματομορφές των ρυθμών άλφα, βήτα, θήτα και δέλτα).



Εικόνα 1.15: Οι κυματομορφές των ρυθμών άλφα, βήτα, θήτα και δέλτα

Όταν σε έναν εξεταζόμενο έχουν τοποθετήσει ηλεκτρόδια στο δεξί και αριστερό ημισφαίριο και έχει τα μάτια του κλειστά, τότε καταγράφεται δυναμικό 8-13 Hz. Αυτή η κατάσταση χαρακτηρίζεται από την κυματομορφή του ρυθμού άλφα. Όταν όμως ανοίξουν τα μάτια του εξεταζόμενου, ο ρυθμός άλφα διακόπτεται. Το ίδιο συμβαίνει και όταν ένας άνθρωπος προσπαθεί να επιλύσει ένα πρόβλημα δυσκολίας. Τότε ο ρυθμός άλφα σταματά και εμφανίζεται ο ρυθμός βήτα (14-30 Hz). Οι ρυθμοί βήτα, θήτα και δέλτα αλλάζουν ανάλογα με την κατάσταση του ατόμου. Όταν το άτομο βρίσκεται σε εγρήγορση, τότε επικρατεί ο ρυθμός βήτα. Όταν το άτομο κοιμάται εμφανίζεται ο ρυθμός θήτα (4-8 Hz) και όταν βρίσκεται σε κατάσταση βαθύ ύπνου τότε ο ρυθμός αλλάζει στον δέλτα (0.5 – 4Hz). Όπως απεικονίζεται και στην παραπάνω εικόνα, όσο ηρεμεί ο εγκέφαλος του ανθρώπου, τόσο μεγαλώνει το πλάτος και μειώνεται η συχνότητα του ρυθμού.

1.3 Διάγνωση νευρολογικών παθήσεων με το ΗΕΓ

1.3.1 Επιληψία σε ενήλικες και παιδιά

Η επιληψία είναι μια νευρολογική διαταραχή του εγκεφάλου, κατά την οποία διαταράσσεται η ηλεκτρική δραστηριότητα των κυττάρων του εγκεφάλου. Η διαταραχή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε εκδήλωση σπασμών, μη φυσιολογικής συμπεριφοράς ή απώλεια συνείδησης [10]. Εάν εντοπιστεί η αιτία της επιληψίας, τότε η επιληψία ονομάζεται «συμπτωματική», ενώ σε αντίθετη περίπτωση «ιδιοπαθής». Η ιδιοπαθής επιληψία, ανιχνεύεται κυρίως στο 65% των επιληπτικών σπασμών. Οι πιο γνωστές αιτίες επιληψίας είναι:

- Οι εγκεφαλικές διαταραχές κατά τον τοκετό
- Οι εγκεφαλικές κακώσεις, οι όγκοι στον εγκέφαλο, τα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια.
- Ο αλκοολισμός.

Τα συμπτώματα στην επιληψία διαφέρουν σε κάθε άτομο. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα άτομα έχουν συνεχής συσπάσεις στα χέρια και στα πόδια, ενώ άλλα άτομα έχουν ένα κενό βλέμμα. Περίπου το 10% των ανθρώπων έχει μία κρίση επιληψίας στη διάρκεια της ζωής του, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο άνθρωπος είναι επιληπτικός. Για να χαρακτηριστεί ένα άτομο ως επιληπτικός ασθενής, θα πρέπει να έχει τουλάχιστον δύο επιληπτικές κρίσεις και να υπάρχει και σχετική διάγνωση. Η θεραπεία πραγματοποιείται είτε με την παροχή φαρμάκων, είτε με χειρουργική επέμβαση.

Σύμφωνα με την έρευνα του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου της Κοπεγχάγης που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό «Neurology», τα παιδιά των οποίων οι μητέρες είχαν ρευματοειδή αρθρίτιδα κατά τη στιγμή της γέννας, είχαν 90% πιθανότητες να εμφανίσουν επιληψία στα επόμενα χρόνια, ενώ το 26% για τα παιδιά των οποίων οι μητέρες διαγνώστηκαν με ρευματοειδή αρθρίτιδα μετά τον τοκετό. Επίσης, στην έρευνα που διεξήχθη από την επιστημονική ομάδα του Νοσοκομείου «Great Ormond Street» και του Πανεπιστημίου του Λονδίνου, διαπιστώθηκε ότι τα παιδιά που είχαν εκτεθεί σε αντιβιοτικά κατά τη διάρκεια της κηλίσεως της μητέρας, δεν κινδύνευαν να εκδηλώσουν επιληψία. Σημαντικό όμως εύρημα της έρευνας αυτής, ήταν ότι από τις 150 εγκύους του

δείγματος που πήρε μακρολίδη αντί για πενικιλίνη, υπήρχε ένα παιδί που γεννιόταν με εγκεφαλική παράλυση ή επιληψία.

Όπως διευκρινίζει ο Καπετανάκης (2012), «η επιληψία στα παιδιά έχει σημαντικές διαφορές από την επιληψία στους ενήλικες. Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία είναι ότι ένα παιδί αποτελεί μια οντότητα σε συνεχή μεταβολή τόσο όσον αφορά την σωματική αλλά και την ψυχική του πρόοδο και ανάπτυξη. Σε κάθε περίπτωση, την ανάπτυξη ενός παιδιού με επιληψία, επηρεάζει το είδος της επιληψίας, ο τρόπος με τον οποίο ένα παιδί με επιληψία αντιμετωπίζεται από τον περίγυρο του, η δράση και οι παρενέργειες της φαρμακευτικής αγωγής που ακολουθεί και το πώς και κατά πόσο αυτή η αγωγή ή η επιληψία επηρεάζει τη δυναμική της εκμάθησης του παιδιού».

Τα είδη της επιληψίας που εμφανίζουν τα παιδιά, εξαρτώνται από παράγοντες όπως: την ωρίμανση, την ευαισθησία και τις λειτουργίες του κεντρικού νευρικού συστήματος. Για παράδειγμα, η Νηπιακή Μυοκλονική Επιληψία συναντάται στην νηπιακή ηλικία (3-5 ετών), ενώ η Καλοήθης Παιδική Επιληψία συναντάται στην παιδική ηλικία (6-12 ετών). Βέβαια, υπάρχουν ορισμένοι σπασμοί που δεν έχουν άμεση σχέση με την επιληψία, αλλά σχετίζονται με την συναισθηματική φόρτιση του παιδιού [11]. Η αντιμετώπιση της επιληψίας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των αντιεπιληπτικών φαρμάκων στη σωστή δόση. Στην περίπτωση όμως που οι κρίσεις δεν μπορούν να ελεγχθούν, χρειάζεται μελέτη για το ακριβές αίτιο παρουσίασης της επιληψίας ώστε να πραγματοποιηθεί συμπληρωματική θεραπεία, όπως την κετογονική δίαιτα ή τη χειρουργική αντιμετώπιση.

1.3.2 Ναρκοληψία

Η ναρκοληψία οφείλεται στην ανεπάρκεια του εγκεφάλου να ρυθμίζει τους κύκλους κατά τους οποίους ο ασθενής κοιμάται ή είναι ξύπνιος [12]. Οι ασθενείς με ναρκοληψία αισθάνονται την ανάγκη να κοιμηθούν και μάλιστα υπάρχει περίπτωση να αποκοιμηθεί είτε από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά, είτε για παραπάνω από μια ώρα. Τα πρώτα συμπτώματα της ναρκοληψίας, εμφανίζονται μεταξύ 10 και 25 ετών, ενώ σε μικρότερο ποσοστό ατόμων, τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στις ηλικίες μεταξύ 35 και 45 ετών. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η ναρκοληψία δε μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε ηλικία [13].

Τα ακριβή αίτια της ναρκοληψίας δεν είναι γνωστά, αλλά έχει παρατηρηθεί πως ορισμένοι ασθενείς εμφανίζουν χαμηλά επίπεδα μίας ορμόνης που παράγεται στον εγκέφαλο, η οποία ονομάζεται υποκρετίνη [12]. Στις περισσότερες περιπτώσεις ασθενών, η ναρκοληψία δεν έχει αποδειχθεί ως κληρονομικός παράγοντας [13]. Τα κύρια συμπτώματα εμφάνισης της ναρκοληψίας είναι:

- Υπερβολική υπνηλία: Πρόκειται για το συχνότερο σύμπτωμα της ναρκοληψίας, όπου οι ασθενείς έχουν υπερβολική τάση για ύπνο στη διάρκεια της ημέρας, επηρεάζοντας με αυτό το τρόπο την καθημερινότητά τους.
- Παραισθήσεις: Έντονες παραισθήσεις οπτικές ή ακουστικές, που εκδηλώνονται κατά την έναρξη του ύπνου ή κατά την αφύπνιση.
- Επεισόδια ολικής παράλυσης: Σύντομα επεισόδια ολικής παράλυσης που συμβαίνουν στην αρχή ή στο τέλος του ύπνου.
- Καταπληξία: Απότομη απώλεια του μυϊκού τόνου για λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα, με αποτέλεσμα την ακινησία του ασθενούς [12].

Οι ασθενείς με υποψία ναρκοληψίας, θα πρέπει να επισκέπτονται ειδικευμένο γιατρό για την άμεση διάγνωσή του. Ο γιατρός προκειμένου να κάνει σωστή διάγνωση, θα πάρει το ιστορικό του ασθενή και στη συνέχεια θα ζητήσει από τον ασθενή εξειδικευμένες εξετάσεις όπως είναι η πλήρη μελέτη του ύπνου, η πραγματοποίηση ενός ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και ορισμένα τεστ για την εκτίμηση της υπνηλίας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί, ότι δεν έχει βρεθεί κάποια θεραπεία για τη ναρκοληψία, αλλά υπάρχουν φάρμακα για την αντιμετώπιση των συμπτωμάτων της υπνηλίας, της μυϊκής παράλυσης και των ψευδαισθήσεων [12].

1.3.3 Σκλήρυνση κατά πλάκας

Η Σκλήρυνση Κατά Πλάκας προσβάλλει τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό του ανθρώπου. Η σκλήρυνση κατά πλάκας, εμφανίζεται κυρίως σε άτομα ηλικίας 20-40 ετών [14]. Συγκεκριμένα, προκαλείται βλάβη στην επικάλυψη μυελίνης γύρω από τις νευρικές ίνες στο κεντρικό νευρικό σύστημα του ασθενούς και παρεμβαίνει μέσω των νευρικών ινών στην μετάδοση των νευρικών σημάτων μεταξύ του εγκεφάλου, του νωτιαίου μυελού και του υπόλοιπου σώματος. Αυτά τα νευρικά σήματα, προκαλούν τα συμπτώματα της σκλήρυνσης κατά πλάκας, τα οποία διαφέρουν σε κάθε ασθενή [15].

Τα συμπτώματα της ασθένειας διαφέρουν ανάλογα με το μέρος του κεντρικού νευρικού συστήματος που επηρεάζεται. Τα πιο συνηθισμένα συμπτώματα της σκλήρυνσης κατά πλάκας παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μείωση της όρασης: Δημιουργείται μία φλεγμονή του οπτικού νεύρου, η οποία προκαλεί θολώσεις στα μάτια, δυσκολία διάκρισης των χρωμάτων, πόνο ή ακόμα και τύφλωση.
- Μούδιασμα και αδυναμία: Η καταστροφή των νευρών, οδηγεί στην αδυναμία των άκρων, το μούδιασμα, την απώλεια ισορροπίας και τους μυϊκούς σπασμούς.
- Αστάθεια και ζάλη: Ένα ποσοστό των ασθενών πολύ συχνά αισθάνονται λιποθυμία, ζάλη ή σαν να «γυρίζει» ο κόσμος γύρω τους (ίλιγγος).
- Προβλήματα ομιλίας: Ένα μικρό ποσοστό ασθενών εμφανίζουν δυσκολία στην άρθρωση του λόγου και αυτό συμβαίνει, λόγω της βλάβης που προκύπτει στα νεύρα που μεταφέρουν τα σήματα ομιλίας από τον εγκέφαλο.
- Νοητική κατάποση: Ένα ελάχιστο ποσοστό των ασθενών αντιμετωπίζει σύγχυση, έλλειψη συγκέντρωσης και προβλήματα μνήμης.
- Ακράτεια: Απώλεια ελέγχου της κύστης [15, 16].

Για να θεωρηθεί ένα άτομο ως ασθενής με σκλήρυνση κατά πλάκας, θα πρέπει τα παραπάνω συμπτώματα να έχουν διάρκεια πάνω από 24 ώρες. Η διάγνωση της σκλήρυνσης κατά πλάκας πραγματοποιείται με μαγνητική τομογραφία εγκεφάλου και νωτιαίου μυελού, τη μελέτη του εγκεφαλονωτιαίου υγρού καθώς και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Η αντιμετώπιση της νόσου γίνεται με τη χρήση ανοσοτροποποιητικών φαρμάκων (ιντερφερόνες, οξική γλατιραμέρη κλπ.) [14].

Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι το εγκεφαλογράφημα παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη και τη διάγνωση μιας νευρολογικής νόσου. Ωστόσο, η οπτική ανάλυση του εγκεφαλογραφήματος από έναν έμπειρο νευρολόγο, έχει σοβαρά μειονεκτήματα και ελοχεύει κινδύνους, κυρίως σε πολύωρες καταγραφές που απαιτούνται για την αυθόρμητη εκδήλωση μιας ασθένειας (όπως η επιληψία). Επιπλέον, είναι πιθανή η απόκλιση των εκτιμήσεων των νευρολόγων, λόγω της υποκειμενικότητας στην ανάλυση των διαφόρων παθολογικών μορφών.

Οι παραπάνω λόγοι και η δυσκολία των παραπάνω ασθενειών οδήγησε τα τελευταία χρόνια στη μελέτη και ανάπτυξη καινοτόμων λογισμικών και εφαρμογών που

βασίζονται σε αυτοματοποιημένες μεθόδους, για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την αντιμετώπιση ορισμένων δύσκολων στην αντιμετώπιση και απειλητικών για τη ζωή του ατόμου, νευρολογικών παθήσεων. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για την ανίχνευση παθολογικών ευρημάτων στο ΗΕΓ, όπως είναι οι επιληπτικές αιχμές, και βοηθούν το έργο του νευρολόγου καθοδηγώντας τον στη διάγνωση της πάθησης.

Ολοκληρώνοντας το πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο για τις λειτουργίες του εγκεφάλου και τον καθοριστικό ρόλο του ΗΕΓ στη διάγνωση νευρολογικών παθήσεων, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσέγγιση της αυτόματης ανάλυσης του ΗΕΓ, αναλύονται τα συστήματα διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή και ορισμένες έξυπνες εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια σε έξυπνα κινητά, κυρίως για την πάθηση της επιληψίας.

2. Ψηφιακή Ανάλυση του Ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος

2.1 Εισαγωγή στην αυτόματη ανάλυση του ΗΕΓ

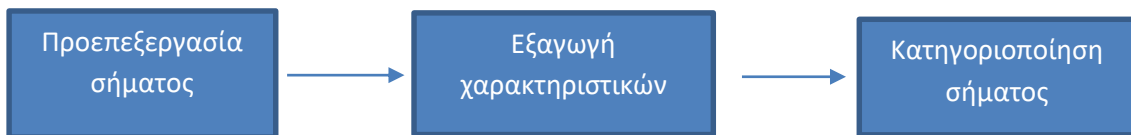
Λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα της επιληψίας, η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση επικεντρώθηκε στις μελέτες που έχουν προταθεί για ανάλυση ΗΕΓ σημάτων στοχεύοντας στην ανίχνευση των παθολογικών ευρημάτων

Κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετήθηκαν αρκετές μεθοδολογίες ανάλυσης σήματος, [17] οι περισσότερες από τις οποίες καταλήγουν σε μια προσέγγιση αναγνώρισης προτύπων. Σύμφωνα με αυτή την διαδικασία, το σήμα αρχικά προεξεργάζεται με σκοπό να γίνουν εμφανείς οι ρυθμοί του εγκεφαλογράφηματος. Η επεξεργασία γίνεται συνήθως με τον Μετασχηματισμό Fourier [18, 19], το Διακριτό Μετασχηματισμό Κυματιδίων (Wavelet) [20-22], το Μετασχηματισμό Hilbert-Huang [23, 24] ανάμεσα σε άλλες μεθοδολογικές προσεγγίσεις.

Στη συνέχεια, αφότου καταμηθεί το σήμα σε συγκεκριμένες συχνότητες, το επόμενο στάδιο είναι η εξαγωγή ορισμένων χαρακτηριστικών από τα τμήματα του σήματος που έχουν προκύψει. Κατά την εξαγωγή των χαρακτηριστικών αναδεικνύονται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του σήματος με βάση τις οποίες γίνεται στο επόμενο στάδιο η κατηγοριοποίηση. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να επηρεάζονται από το χρόνο ή τη συχνότητα του σήματος ή και τα δύο μεγέθη. [22]

Στο τελευταίο στάδιο γίνεται η κατηγοριοποίηση του σήματος ανάλογα με το εκάστοτε πρόβλημα ανάλυσης. Τα χαρακτηριστικά που έχουν υπολογιστεί από το προηγούμενο βήμα, χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση ενός ταξινομητή ο οποίος είναι συνήθως ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης (όπως νευρωνικά δίκτυα, μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, δέντρα απόφασης, μπεϋζιανοί κατηγοριοποιητές, ο ταξινομητής k πλησιέστερων γειτόνων). Μετά την εκπαίδευση γίνεται η κατηγοριοποίηση στις εκάστοτε κλάσεις.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας που ακολουθείται για την ανάλυση του σήματος) φαίνεται σε αναπαράσταση η διαδικασία ανάλυσης του σήματος που ακολουθείται στις περισσότερες επιστημονικές μελέτες.



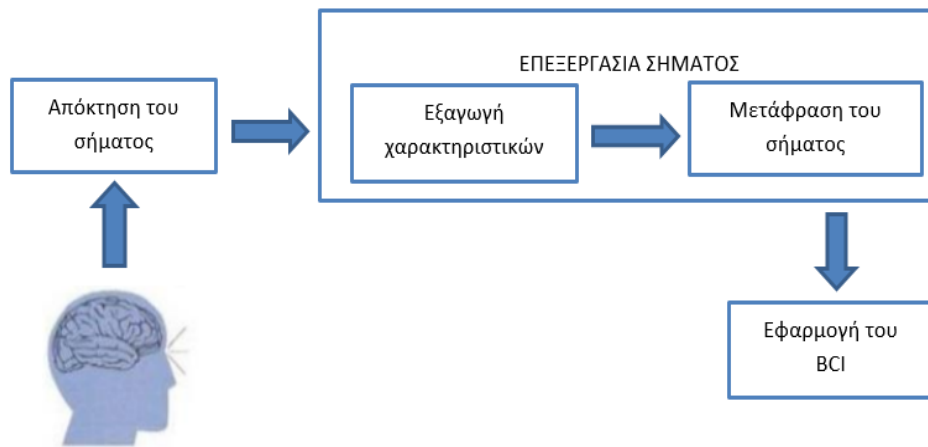
Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας που ακολουθείται για την ανάλυση του σήματος

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω βρίσκει ερευνητική απήχηση τις τελευταίες δεκαετίες στην ψηφιακή ανάλυση του εγκεφαλογραφήματος. Μελέτες και βελτιστοποιήσεις των μεθοδολογικών προσεγγίσεων στα εργαστήρια των ερευνητών, οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων ηλεκτρονικών συστημάτων, που είναι πιο φιλικά στο χρήστη και προσφέρουν άμεση επικοινωνία του υπολογιστή με τον εγκέφαλο του χρήστη χωρίς την παραμικρή κίνηση από τον τελευταίο. Τα συγκεκριμένα συστήματα ονομάζονται συστήματα διεπαφής ανθρώπου-υπολογιστή (Brain Computer Interface – BCI) και κερδίζουν συνεχώς έδαφος στην ανάλυση σήματος μέσω του υπολογιστή.

2.2 Συστήματα διεπαφής ανθρώπου – υπολογιστή (Brain Computer Interface – BCI)

Όταν ο Hans Berger παρουσίασε την τεχνική ηλεκτροεγκεφαλογραφίας για πρώτη φορά το 1929, υπήρξε ένα από τα βασικά εργαλεία που οι γιατροί χρησιμοποίησαν για να διερευνήσουν πώς λειτουργεί ο εγκέφαλος. Υπήρξαν εικασίες σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων για την αποκωδικοποίησή του, έτσι ώστε οι άνθρωποι να μπορούν να χρησιμοποιήσουν την εγκεφαλική τους δραστηριότητα για τον άμεσο έλεγχο των συσκευών.

Αυτός αποτελεί και τον ορισμό της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain Computer Interface, BCI), ως σύστημα επικοινωνίας που παρακολουθεί τη δραστηριότητα του εγκεφάλου και μεταφράζει ορισμένα χαρακτηριστικά, που αντιστοιχούν στις προθέσεις των χρηστών, σε εντολές που λειτουργούν μια συσκευή (Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος BCI) [25]. Με πιο απλά λόγια, ένα σύστημα BCI παρέχει έναν επιπλέον τρόπο επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης στο άτομο, χρησιμοποιώντας την εγκεφαλική του δραστηριότητα και όχι τους μύες και τα νεύρα του υπόλοιπου σώματός του [26].



Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος BCI

2.2.1 Κατηγοριοποίηση BCI

Τα συστήματα BCI μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης ενός συστήματος BCI με βάση τους στόχους σχεδιασμού του κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες συστημάτων BCI: εξαρτώμενα και μη εξαρτώμενα, εξωγενή και ενδογενή, σύγχρονα και ασύγχρονα και τέλος επεμβατικά και μη επεμβατικά συστήματα [26].

2.2.1.1 Εξαρτώμενα και μη εξαρτώμενα

Όταν τα συστήματα BCI λειτουργούν συμπληρωματικά για τη χρήση τους στην παραγωγή εγκεφαλικών σημάτων, ονομάζονται εξαρτώμενα συστήματα. Ένα παράδειγμα εξαρτώμενου συστήματος BCI περιγράφεται παρακάτω. Έστω ότι ένας χρήστης παρατηρεί μία οθόνη στην οποία εμφανίζεται ένας πίνακας με γράμματα, όπου κάθε στιγμή ένα από αυτά αναβοσβήνει. Όταν ο χρήστης κοιτάζει επίμονα ένα γράμμα που αναβοσβήνει, καταγράφονται τα δυναμικά στον οπτικό φλοιό του εγκεφάλου όλων των γραμμάτων του πίνακα. Το γράμμα με το μεγαλύτερο δυναμικό, είναι αυτό που ο χρήστης παρατηρούσε κάθε φορά. Στο παράδειγμα αυτό, η καταγραφή του δυναμικού αποτελεί ένα σήμα, το οποίο εξαρτάται από την κατεύθυνση του βλέμματος. Δηλαδή τους εξοφθάλμιους μύες και τα κρανιακά νεύρα [26]. Αντίθετα, ένα μη εξαρτώμενο σύστημα BCI δε λειτουργεί συμπληρωματικά και δε συμμετέχει στη παραγωγή σημάτων. Για

παράδειγμα, κάνοντας χρήση του συστήματος P300, τα εγκεφαλικά σήματα που καταγράφονται προέρχονται αποκλειστικά και μόνο από την πρόθεση και την απόφαση του χρήστη.

Τα μη εξαρτώμενα συστήματα BCI συγκριτικά με τα εξαρτώμενα συστήματα έχουν μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, εξαιτίας της άμεσης επικοινωνίας που υπάρχει με τον εγκέφαλο. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, τα εξαρτώμενα συστήματα απαιτούν λιγότερη δεξιοτήτα και εξοικείωση από τον χρήστη [25, 26].

2.2.1.2 Σύγχρονα και ασύγχρονα

Η ανάλυση των εγκεφαλικών σημάτων στα σύγχρονα συστήματα BCI, πραγματοποιείται σε προκαθορισμένες χρονικές περιόδους. Στις χρονικές περιόδους που απομένουν, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χαλαρώσει και να κινηθεί. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού, είναι η σχεδίαση και η αξιολόγηση του σήματος, λόγω της δυνατότητας ελέγχου της καταγραφής του σήματος [26]. Αντίθετα τα σύγχρονα συστήματα BCI, αναλύουν κάθε καταγραφή με στόχο την ύπαρξη ενός φυσικού μοντέλου. Απουσιάζει ο προκαθορισμένος χρόνος καταγραφής του σήματος, δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη για μεγαλύτερο έλεγχο του σήματος. Γενικότερα, ένα ασύγχρονο σύστημα BCI είναι πιο περίπλοκο, αφού θα πρέπει να προβλεφθεί τρόπος για την απόρριψη των μη αποδεκτών σημάτων εισόδου [20].

2.2.1.3 Επεμβατικά και μη επεμβατικά

Ανάλογα με τη μέθοδο εξαγωγής των εγκεφαλικών σημάτων, ένα σύστημα BCI χαρακτηρίζεται ως επεμβατικό ή μη επεμβατικό. Στα επεμβατικά συστήματα, τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται εσωτερικά του κρανίου με επεμβατικές ή μη χειρουργικές μεθόδους. Στην περίπτωση των επεμβατικών μεθόδων, τα ηλεκτρόδια εμφυτεύονται ενδοκρανιακά πάνω στον φλοιό του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα η ποιότητα του εγκεφαλικού σήματος να είναι υψηλή. Όσο αναφορά τις μη επεμβατικές μεθόδους, τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στους μίningες, χωρίς κάποια μορφή επέμβασης στον εγκέφαλο.

Γενικότερα, τα μη επεμβατικά συστήματα είναι πιο εύχρηστα, ασφαλή και οικονομικά. Είναι δύσκολο να υπάρξουν στο μέλλον μη επεμβατικές μέθοδοι για καταγραφή εγκεφαλικών σημάτων, με ανώτερη ανάλυση από την σημερινή. Πολλοί

ερευνητές ισχυρίζονται, ότι η αποκατάσταση κίνησης ελευθερίας είναι δυνατή μόνο με επεμβατικές μεθόδους [26].

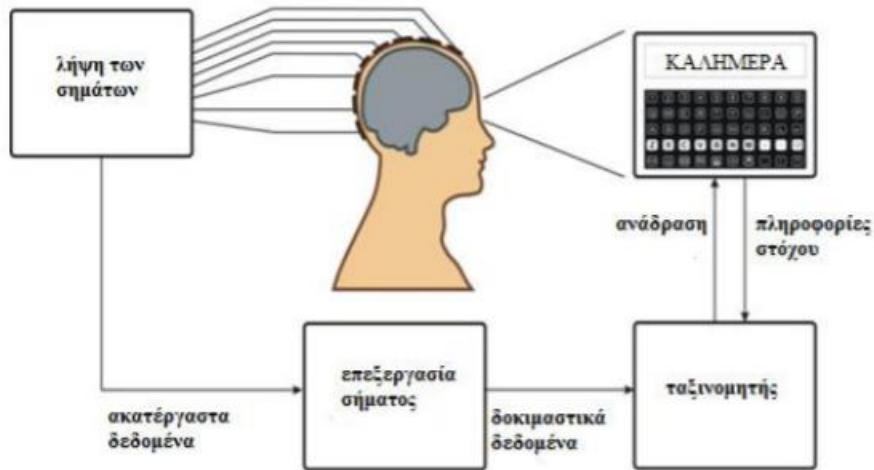
2.2.1.4 Εξωγενή και ενδογενή

Τα συστήματα BCI των οποίων τα εγκεφαλικά σήματα εισόδου βασίζονται σε εξωτερικά ερεθίσματα, ονομάζονται εξωγενή. Για παράδειγμα, εγκεφαλικά σήματα που προκαλούνται από ακουστικά, οπτικά και σωματικά ερεθίσματα. Αντίθετα, τα ενδογενή συστήματα BCI βασίζονται στους ρυθμούς των εγκεφαλικών σημάτων. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης χρειάζεται να εξασκηθεί στην ικανότητα ελέγχου και παραγωγής συγκεκριμένων μοτίβων εγκεφαλικών σημάτων, όπως για παράδειγμα η κίνηση των άκρων. Προκειμένου να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια στα ενδογενή συστήματα, χρειάζεται περισσότερο πλήθος ηλεκτροδίων, άρα η σχεδίαση είναι πιο πολύπλοκη.

2.2.2 Πρότυπα εκπαίδευσης του συστήματος BCI με χρήση ΗΕΓ

Προκειμένου να λειτουργήσει σωστά ένα σύστημα BCI θα πρέπει πριν γίνει η εφαρμογή του, να εκπαιδευτεί με τη χρήση ΗΕΓ σημάτων. Η λήψη των σημάτων αυτών, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε πολλές και διαφορετικές καταστάσεις ενός εθελοντή. Για παράδειγμα, όταν ο εθελοντής βρίσκεται σε διάρκεια ξεκούρασης με κλειστά ή ανοιχτά μάτια [27], είτε ανοιχτά και κλειστά μάτια κατά τη διάρκεια ξεκούρασης στο σκοτάδι [28], είτε όταν το άτομο κινεί τα μάτια του κατά τη διάρκεια του ύπνου, την κινητικότητα του σώματός του, είτε όταν ονειρεύεται [29]. Όλα τα πρότυπα εκπαίδευσης BCI χρησιμοποιούν καταστάσεις ηρεμίας ή επίλυσης κάποιου προβλήματος, όπως για παράδειγμα το άκουσμα της μουσικής, η κίνηση των ματιών, η επιρροή του φωτός στα μάτια κ.ά.

Ένα από τα πιο γνωστά πρότυπα εκπαίδευσης συστημάτων BCI είναι το P300 (Εικόνα 2.3: Σύστημα BCI βασιζόμενο στο πρότυπο P300). Τα συστήματα που βασίζονται στο P300, χρησιμεύουν στο συλλαβισμό διάφορων χαρακτήρων που απεικονίζονται σε μία οθόνη ενός υπολογιστή.



Εικόνα 2.3: Σύστημα BCI βασισμένο στο πρότυπο P300

Υπάρχουν δυο ειδών απεικόνιση: το γραμμής/στήλης (RC) που αναβοσβήνει ολόκληρη η γραμμή ή η στήλη που ζητείται να συλλαβιστούν οι χαρακτήρες της και του μονού χαρακτήρα (SC) στο οποίο αναβοσβήνει ο κάθε χαρακτήρας ξεχωριστά (Εικόνα 2.4: (A) Παράδειγμα γραμμής/στήλης (RC). (B) Παράδειγμα μονού χαρακτήρα (SC)). Τα συστήματα BCI που βασίζεται η λειτουργία τους στο P300 χρησιμοποιούν σαν επιπλέον συστατικό κατά τη λήψη του ΗΕΓ, οποιοδήποτε αναπάντεχο συμβάν που θα προκληθεί από το P300. Συνήθως η βασική χρήση αυτών των συστημάτων είναι ως μηχανές συλλαβισμού.



Εικόνα 2.4 : (A) Παράδειγμα γραμμής/στήλης (RC). (B) Παράδειγμα μονού χαρακτήρα (SC).

Εκτός από τα συστήματα διεπαφής ανθρώπου - υπολογιστή, τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη των έξυπνων κινητών τηλεφώνων, έχουν αναπτυχθεί πληθώρα έξυπνων εφαρμογών που στοχεύουν στην καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση μια νευρολογικής νόσου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες έξυπνες εφαρμογές που έχουν προταθεί για την ανίχνευση της επιληψίας.

2.3 Έξυπνες εφαρμογές στην ανίχνευση της επιληψίας

Το έτος 2015, πεντακόσια εκατομμύρια χρήστες κινητών τηλεφώνων σε όλο το κόσμο χρησιμοποιούν μία τουλάχιστον εφαρμογή υγειονομικής περίθαλψης ενώ από τον Μάρτιο του 2014 στην Ινδία, ο αριθμός των κινητών τηλεφώνων έφτασε στα 904.540.000 με μηνιαία αύξηση ένα εκατομμύριο [30]. Ειδικότερα τα κινητά τηλέφωνα έχουν εξελιχθεί σε «έξυπνα τηλέφωνα» με λειτουργικό σύστημα όπως Android, iOS , Windows που παρέχουν εκτός από πλοήγηση στο διαδίκτυο, πληθώρα εφαρμογές και κονσόλες παιχνιδιών. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που αναπτύχθηκαν με σκοπό τη διαχείριση κρίσεων των επιληπτικών ατόμων και τη καλύτερη παρακολούθησή τους από τους φροντιστές τους. Οι εφαρμογές αυτές, μέσα από τη διαχείριση των εργαλείων που παρέχουν, έχουν τη δυνατότητα να πληροφορούν τους φροντιστές για ανεπιθύμητες ενέργειες (όπως πτώση κατά την επιληψία του ασθενούς), τον εντοπισμό του ασθενούς με τη χρήση gps, την καταγραφή των κρίσεων σε ημερολόγιο, την υπενθύμιση λήψης φαρμάκων και πολλές άλλες δυνατότητες.

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί ορισμένες εφαρμογές κινητών τηλεφώνων για επιληπτικούς ασθενείς–φροντιστές καθώς και για επαγγελματίες υγείας – ιατροί. Έχουν κατασκευαστεί εφαρμογές για τους ασθενείς-φροντιστές όπως είναι: «Epilepsy society» (Εικόνα 2.5: Η εφαρμογή «Epilepsy society») και «My epilepsy diary» (Εικόνα 2.6: Η εφαρμογή «My epilepsy diary»), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ημερολόγια καταγραφής των επιληπτικών κρίσεων των ασθενών καταγράφοντας το χρόνο διάρκειας της επιληπτικής κρίσης, το είδος της κρίσης και τη δοσολογία ή χρονοδιάγραμμα λήψης των φαρμάκων του ασθενή. Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αποσταλούν στον θεράποντα ιατρό μέσω μηνύματος ή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, βοηθώντας κατ’ αυτό το τρόπο στη σωστή διάγνωση του τύπου της επιληπτικής κρίσης και στη σωστή φαρμακευτική θεραπεία [30].



Εικόνα 2.5: Η εφαρμογή «Epilepsy society»



Εικόνα 2.6: Η εφαρμογή «My epilepsy diary»

Επίσης, οι εφαρμογές «Dosecaste Medication Reminder» ή «Medication log» ή «Personal medication record» μπορούν να καταγράψουν λεπτομέρειες σχετικά με τη δόση και τη λήψη των φαρμάκων των επιληπτικών ασθενών. Πιο αναλυτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη καταγραφή της συχνότητας και της δοσολογίας της λήψης ενός

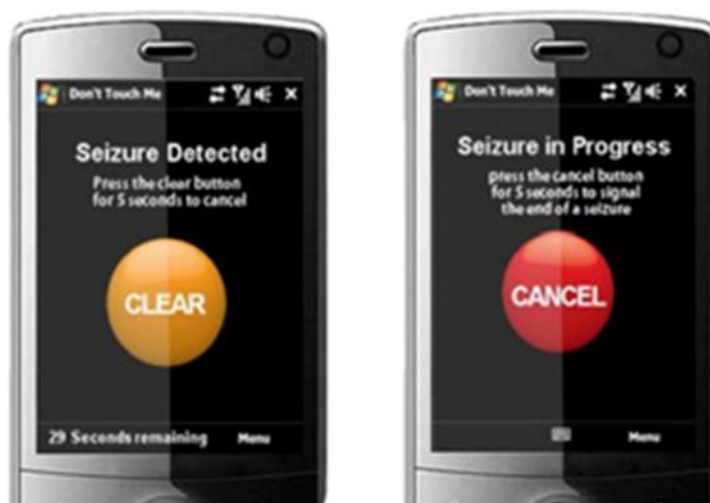
φαρμάκου, ενώ παράλληλα καταγράφεται οποιαδήποτε αλλεργική αντίδραση. Επίσης, οι εφαρμογές αυτές έχουν την ικανότητα να ειδοποιούν τους ασθενείς και τους φροντιστές για την λήψη των φαρμάκων ενώ παράλληλα μπορεί να καταγραφεί βίντεο απεικόνισης της επιληπτικής κρίσης (πχ: θυμός, επιθετικότητα, ξεσπάσματα) με πλήρη περιγραφή της ώρας, της διάρκειας και του τόπου [30].

Μία από τις εφαρμογές που αφορούν τους επαγγελματίες υγείας - ιατρούς είναι η εφαρμογή «Medication guide», ή «Generic drugs encyclopedia» ή «Pocket drug reference» που χρησιμοποιούνται για πληροφορίες σχετικά με ένα συγκεκριμένο φάρμακο ή ακόμη και για την επιλογή ενός κατάλληλου φαρμάκου σε μια συγκεκριμένη επιληπτική κρίση. Ομοίως και η εφαρμογή: «Drug interaction» ή «Drug interactions (AeZ)» είναι αρμόδια για την καταγραφή αλληλεπιδράσεων φαρμάκων για την αποφυγή τυχόν παρενεργειών. Παράλληλα, έχει δημιουργηθεί η εφαρμογή «Creatinine clearance calc» ή αλλιώς «Creatinine clearance fast» (Εικόνα 2.7: Η εφαρμογή «Creatinine clearance fast») για ασθενείς με νεφρική δυσλειτουργία όπου θα πρέπει να συνυπολογίζεται η κρεατινίνη σε συνδυασμό με τη δοσολογία λήψης φαρμάκου της επιληψίας. Ομοίως, σε περιπτώσεις επιληπτικών με άλλα νοσήματα όπως είναι η υπέρταση, ο σακχαρώδης διαβήτης, το γλαύκωμα, η καρδιακή ανεπάρκεια κ.ά. , η χρήση τέτοιου είδους εφαρμογών βοηθούν τους ιατρούς στην ενημέρωση λήψης των φαρμάκων και στην αλληλεπίδρασή τους με άλλα φάρμακα [30].



Εικόνα 2.7: Η εφαρμογή «Creatinine clearance fast»

Τέλος, η εφαρμογή «Epdetect» (Εικόνα 2.8: Η εφαρμογή «Epdetect») και τα «έξυπνα ρολόγια», χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση επιληπτικών κρίσεων. Τέτοιου είδους εφαρμογές/ συσκευές έχουν ενσωματωμένο έναν αισθητήρα και gps για την ανίχνευση της επιληψίας και της τοποθεσίας. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή «Epdetect» χρησιμοποιεί τη ψηφιακή επεξεργασία σήματος για την ανίχνευση επιληπτικών κρίσεων και όσες κινήσεις της συχνότητας 2-5 Hz διαρκούν τουλάχιστον 10sec θεωρούνται δυνητικές επιληπτικές κρίσεις και ενημερώνονται οι φροντιστές. Οποιαδήποτε κίνηση δεν συμπίπτει με τη συχνότητα και τη διάρκεια που προαναφέρθηκε αγνοείται, αυξάνοντας κατ' αυτό το τρόπο την αξιοπιστία της εφαρμογής.



Εικόνα 2.8 : Η εφαρμογή «Epdetect»

Ομοίως και τα «έξυπνα ρολόγια», που φοριούνται από τον ασθενή και περιέχει μια μονάδα gps, ένα επιταχυνσιόμετρο και έναν αισθητήρα ανίχνευσης κίνησης. Οποιαδήποτε επιληπτική κρίση καταγράφεται αναγράφοντας την ώρα, τη διάρκεια και τη θέση του ασθενή, ενώ μπορούν τα δεδομένα να αποσταλούν μέσω Bluetooth στους φροντιστές. Το ρολόι αυτό διαθέτει κουμπιά στο πλάι που επιτρέπουν στους χρήστες να ακυρώσουν μία λανθασμένη ειδοποίηση επιληπτικής κρίσης. Πλέον, έχουν δημιουργηθεί συσκευές, όπως η «Affectiva's Q Sensor» που χρησιμοποιούν τις αλλαγές στην αντίδραση του δέρματος ως ανίχνευση κίνησης που εντοπίζει μία επιληπτική κρίση. Τέτοιου είδους συσκευές είναι πολύ σημαντικές, αφού μέσα από το βαθμό αγωγιμότητας στο δέρμα μπορεί να εκτιμηθεί η βαρύτητα της επιληπτικής κρίσης [31].

Ύστερα από την ανάλυση των συστημάτων διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή και μερικών έξυπνων εφαρμογών για τη διαχείριση και την ανίχνευση των επιληπτικών κρίσεων, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία ανάπτυξης με τη χρήση του εργαλείου OpenViBE και της πλατφόρμας Weka.

3. Μεθοδολογία Ανάλυσης του ΗΕΓ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των εγκεφαλογραφικών δεδομένων προκειμένου να εξαχθούν τα χαρακτηριστικά στο περιβάλλον OpenViBE. Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών, πραγματοποιήθηκε με τη διαδικασία τη παραθυριοποίησης, κατά την οποία κάθε σήμα των 23.6 δευτερολέπτων χωρίστηκε σε εποχές του 1 δευτερολέπτου με 0,5 δευτερόλεπτα επικάλυψη. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν ορισμένα στατιστικά και συχνοτικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για να εκπαιδευτεί το τελικό μοντέλο ταξινόμησης. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης υλοποιήθηκαν στο περιβάλλον Weka και αποτελούν τους πιο διαδεδομένους και ακριβείς ταξινομητές στη βιβλιογραφία. Κατά την πειραματική διαδικασία το μέγεθος του παραθύρου αυξανόταν διαδοχικά ανά μονάδα χρόνου (με επικάλυψη 0,5sec), ελέγχοντας έτσι το βαθμό επιρροής του μεγέθους του παραθύρου στο τελικό μοντέλο ταξινόμησης.

3.1 Επιλογή Βάσης Δεδομένων

Το σύνολο των εγκεφαλικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου της Βόννης της Γερμανίας και συγκεκριμένα από το Κέντρο Επιληψίας [32]. Πληθώρα επιστημονικών ερευνών έχει χρησιμοποιήσει τα συγκεκριμένα εγκεφαλικά σήματα και ενδεικτικά αναφέρονται οι μελέτες [25-30]. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων έχει δημιουργηθεί από φυσιολογικά άτομα και άτομα που πάσχουν από επιληψία και συγκεκριμένα από 5 ασθενείς και 5 υγιείς ανθρώπους. Τα σήματα που επεξεργάστηκαν, χωρίζονται σε πέντε ομάδες (Z, O, N, F, S) ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονταν τα άτομα κατά τη διάρκεια της καταγραφής ή/και την περιοχή του εγκεφάλου. Κάθε ομάδα αποτελείται από εκατό σήματα. Τα σήματα, έχουν χρονική διάρκεια $t = 23,6$ sec με ρυθμό δειγματοληψίας 173,61 Hz και έχουν ληφθεί από επιφανειακά (Z, O) και ενδοκρανιακά (N, F, S) εγκεφαλογραφήματα. Πιο αναλυτικά:

- Ομάδα Z: Αποτελείται από φυσιολογικά επιφανειακά εγκεφαλογραφήματα που λήφθηκαν από 5 άτομα με τα μάτια ανοιχτά.

- Ομάδα O: Αποτελείται από φυσιολογικά επιφανειακά εγκεφαλογραφήματα που λήφθηκαν από 5 άτομα με τα μάτια κλειστά.
- Ομάδα N: Αποτελείται από ενδοκρανιακά εγκεφαλογραφήματα που λήφθηκαν από 5 επιληπτικούς ασθενείς απουσία κρίσης. Η περιοχή του εγκεφάλου από την οποία λαμβάνεται η καταγραφή είναι ο ιππόκαμπος του αντίθετου ημισφαιρίου του εγκεφάλου και δεν είναι επιληπτική.
- Ομάδα F: Αποτελείται από ενδοκρανιακά εγκεφαλογραφήματα που λήφθηκαν από 5 επιληπτικούς ασθενείς απουσία κρίσης. Η περιοχή του εγκεφάλου από την οποία λαμβάνεται η καταγραφή είναι επιληπτική.
- Ομάδα S: Αποτελείται από ενδοκρανιακά εγκεφαλογραφήματα που λήφθηκαν από 5 επιληπτικούς ασθενείς από επιληπτική περιοχή κατά τη διάρκεια κρίσης.

3.2 Ανάλυση σήματος με χρήση του λογισμικό OpenViBE

Το OpenViBE [33] είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, το οποίο έχει δημιουργηθεί για την ανάπτυξη συστημάτων BCI. Διατίθεται δωρεάν από το Γαλλικό Εθνικό Ινστιτούτο Inria που έχει ως βασικό του αντικείμενο μελέτης την επιστήμη των υπολογιστών και τα εφαρμοσμένα μαθηματικά.

Αποτελεί μια πλατφόρμα λογισμικού αφιερωμένη στο σχεδιασμό, τη δοκιμή και τη χρήση διασυνδέσεων εγκεφάλου-υπολογιστή. Το πακέτο περιλαμβάνει ένα εργαλείο σχεδίασης για τη δημιουργία και την εκτέλεση προσαρμοσμένων εφαρμογών και πολλά προ-ρυθμισμένα αντικείμενα προς επίδειξη που είναι έτοιμα για χρήση. Αποτελεί ένα λογισμικό για νευροεπιστήμονες, όπου τα σήματα του εγκεφάλου μπορούν να επεξεργαστούν σε πραγματικό χρόνο. Το OpenVibe, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση, το φιλτράρισμα, την επεξεργασία, την ταξινόμηση και την οπτικοποίηση των σημάτων του εγκεφάλου σε πραγματικό χρόνο.

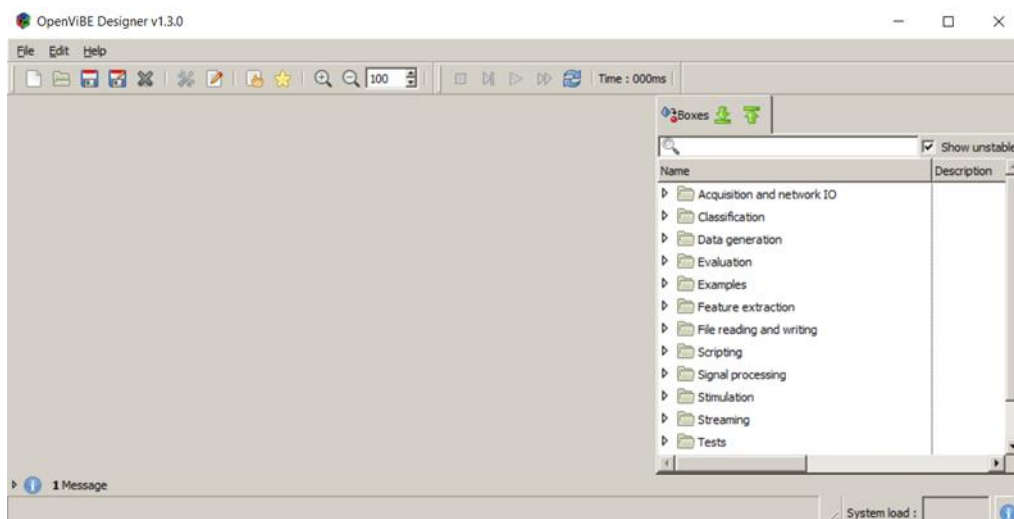
Το περιβάλλον του OpenVibe είναι εύκολο στη χρήση για τη δημιουργία σεναρίων BCI και την αποθήκευσή τους για μελλοντική χρήση, πρόσβαση και χειρισμό. Βέβαια το κύριο πεδίο εφαρμογής του είναι για ιατρικούς σκοπούς και κυρίως για άτομα με ειδικές ανάγκες και ανθρώπους με επιληψία. Παρ' όλα αυτά, έχει χρησιμοποιηθεί και στο πεδίο των εφαρμογών για βιντεοπαιχνίδια και εικονική πραγματικότητα.

Στον καμβά σχεδίασης του προγράμματος, εμπεριέχεται ένα σύνολο από κουτιά (boxes) που θα συνδεθούν μεταξύ τους, για ένα μεγαλύτερο σκοπό. Το κουτί, αποτελεί το κυριότερο στοιχείο του προγράμματος και αυτό γιατί το κάθε κουτί εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη εργασία, όπως για παράδειγμα το φιλτράρισμα των σημάτων. Επίσης, για να υλοποιηθεί μια ακολουθία από διαδικασίες θα πρέπει να υπάρξει και η κατάλληλη σύνδεση των διάφορων κουτιών μεταξύ τους. Σημαντικό επίσης αντικείμενο είναι οι ενότητες, οι οποίες χρησιμεύουν για το διαχωρισμό του ρόλου του κάθε κουτιού.

Η λήψη των δεδομένων, πραγματοποιείται είτε μέσω ενός αρχείου, είτε με τη χρήση μιας συσκευής ΗΕΓ, είτε μέσω κάποιου διαδικτυακού αποθηκευτικού χώρου.

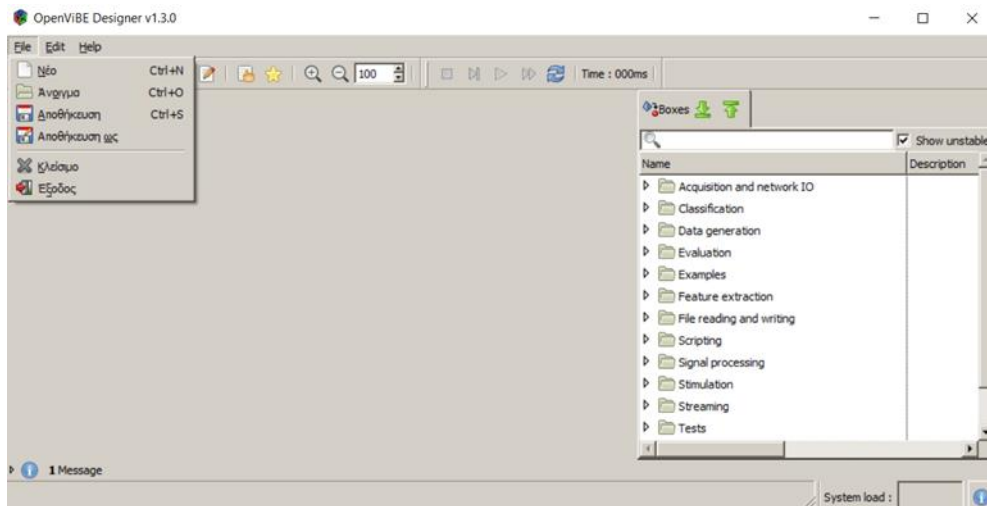
3.2.1 Περιγραφή του περιβάλλοντος OpenViBE

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα σενάριο θα πρέπει αρχικά ο χρήστης να ανοίξει στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή το παράθυρο «OpenVibe designer», ώστε να σχεδιαστεί το σενάριο (Εικόνα 3.1: Απεικόνιση αρχικού παραθύρου OpenViBE).



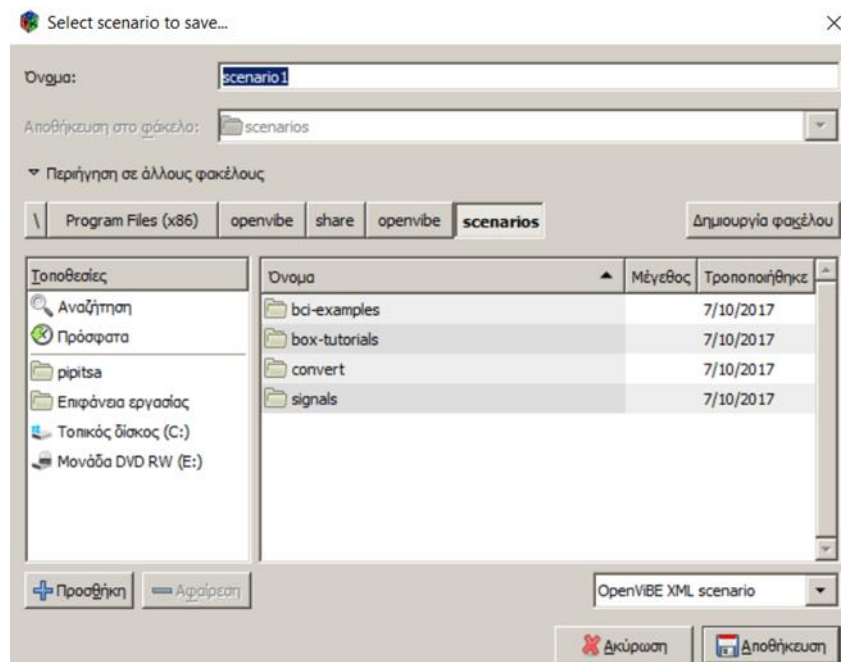
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση αρχικού παραθύρου OpenViBE

Για τη δημιουργία ενός καινούριου σεναρίου θα πρέπει ο χρήστης να επιλέξει από την γραμμή εργαλείων την επιλογή «File» και στη συνέχεια την επιλογή «Νέο» (Εικόνα 3.2: Δημιουργία νέου σεναρίου στο OpenViBE).



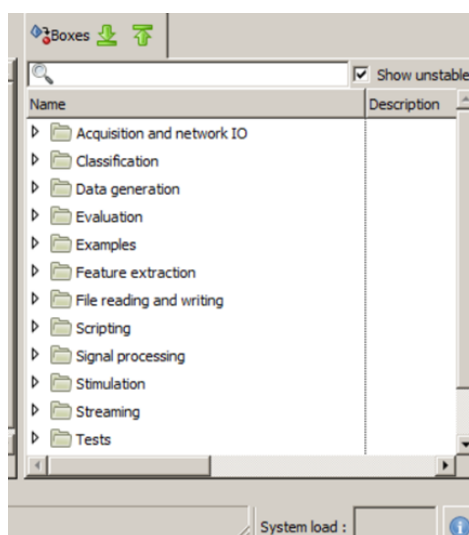
Εικόνα 3.2: Δημιουργία νέου σεναρίου στο OpenViBE

Στη συνέχεια ο χρήστης εφόσον έχει σχεδιάσει το σενάριο που επιθυμεί, θα πρέπει να ονομάσει το σενάριο και να το αποθηκεύσει. Για να γίνει αυτή η διαδικασία, θα πρέπει να επιλέξει από την γραμμή εργαλείων «File», να ονομάσει το σενάριο, να επιλέξει το μονοπάτι που θα αποθηκευτεί και στο τέλος να επιλέξει την επιλογή «Αποθήκευση» (Εικόνα 3.3: Αποθήκευση σεναρίου στο OpenViBE).



Εικόνα 3.3: Αποθήκευση σεναρίου στο OpenViBE

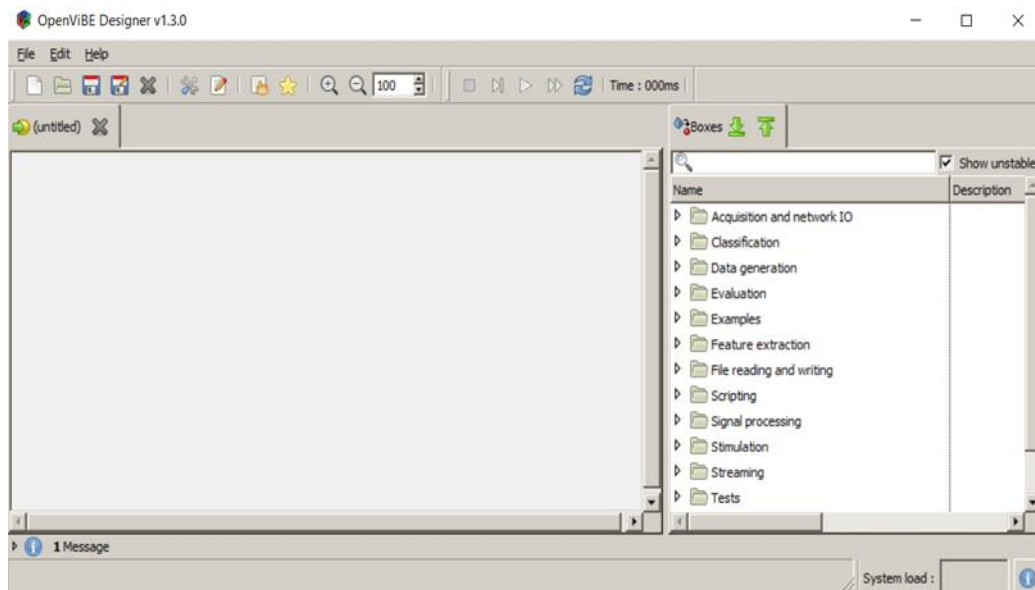
Η σχεδίαση του σεναρίου, γίνεται με την επιλογή «κουτιών» που βρίσκονται στη δεξιά στήλη του αρχικού παραθύρου του «OpenVibe designer» (Εικόνα 3.4: Αναζήτηση κουτιών σχεδίασης). Κάθε «κουτί» μπορεί να βρεθεί μέσω της αναζήτησης που υπάρχει, αρκεί ο χρήστης να γνωρίζει εκ των προτέρων το σχήμα που χρειάζεται να σχεδιαστεί. Η στήλη αυτή, χωρίζεται σε καταλόγους και υπο-καταλόγους, όπου υπάρχει ποικιλία «κουτιών» για ανάλογη χρήση. Για την μεταφορά των «κουτιών» από τον κατάλογο στο φύλλο εργασίας, αρκεί ο χρήστης να επιλέξει με τον κέρσορα το «κουτί» που επιθυμεί και να το «σύρει» στο φύλλο εργασίας.



Εικόνα 3.4: Αναζήτηση κουτιών σχεδίασης

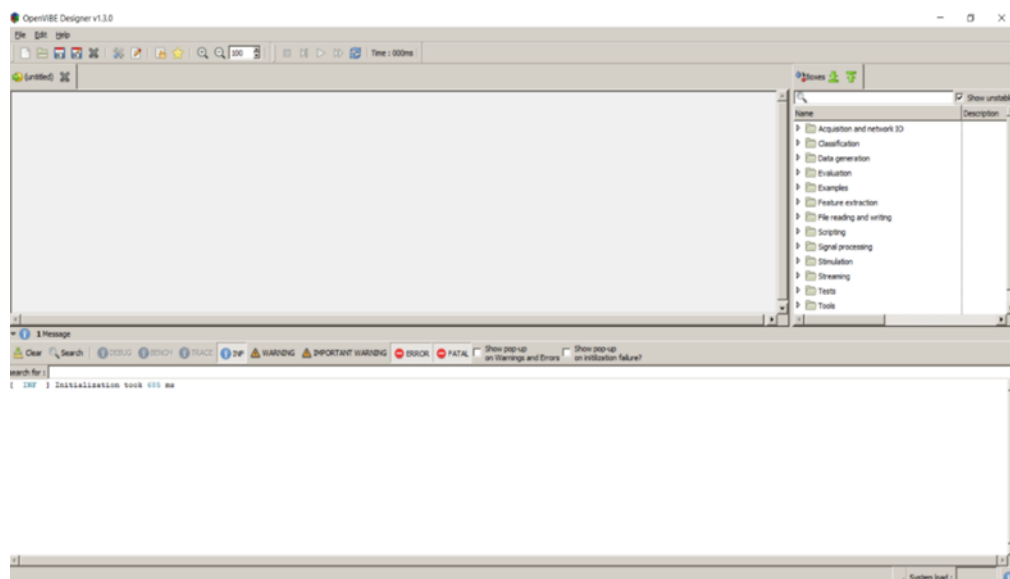
Εφόσον έχει γίνει η επιλογή των «κουτιών» από το χρήστη, θα πρέπει να ενωθούν τα κουτιά μεταξύ τους ώστε να λειτουργήσει το σενάριο. Αυτό πραγματοποιείται εφόσον ο χρήστης τραβήξει τις αντίστοιχες γραμμές από την έξοδο του ενός «κουτιού» στην είσοδο του άλλου. Θα πρέπει να αναφερθεί, πως η έξοδος ενός «κουτιού» μπορεί να συνδεθεί με παραπάνω από μία εισόδους ενώ η είσοδος ενός «κουτιού» δεν μπορεί να συνδεθεί με πάνω από μία εξόδους. Ωστόσο, μερικά «κουτιά» μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να έχουν περισσότερες εισόδους. Εφόσον το σενάριο έχει σχεδιαστεί από το χρήστη και έχει κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις, θα πρέπει να επιλέξει το κουμπί «start» που βρίσκεται στη γραμμή εργαλείων ώστε να απεικονιστούν οι γραφικές παραστάσεις.

Προκειμένου να γίνει παύση λειτουργίας του σεναρίου υπάρχει η επιλογή «stop» που βρίσκεται στη γραμμή εργαλείων (Εικόνα 3.5: Έναρξη και παύση λειτουργίας σεναρίου).



Εικόνα 3.5: Έναρξη και παύση λειτουργίας σεναρίου

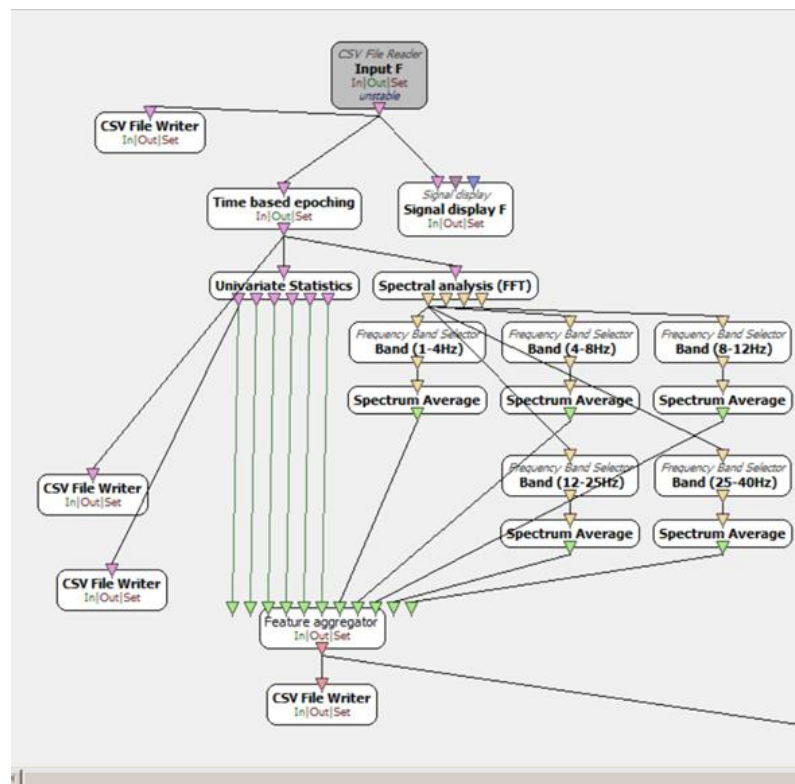
Επίσης, στο κάτω μέρος του αρχικού παραθύρου βρίσκεται η περιοχή «Message» στην οποία ο χρήστης μπορεί να δει μηνύματα λάθους ή προειδοποιητικά μηνύματα που αφορούν τη σωστή λειτουργία του σεναρίου (Εικόνα 3.6: Περιοχή εμφάνισης μηνυμάτων).



Εικόνα 3.6: Περιοχή εμφάνισης μηνυμάτων

3.2.2 Δημιουργία σεναρίου στο OpenViBE

Προκειμένου να διαχωριστούν τα σήματα και να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή χαρακτηριστικών για τις πέντε περιπτώσεις (Z, O, N, F, S) δημιουργήθηκε ένα σενάριο. Στο σενάριο αυτό δημιουργήθηκαν πέντε στήλες, όπου η κάθε μία στήλη αντιπροσώπευε μία από τις πέντε κατηγορίες σημάτων (Εικόνα 3.7: Απεικόνιση τμήματος σεναρίου της κατηγορίας F).



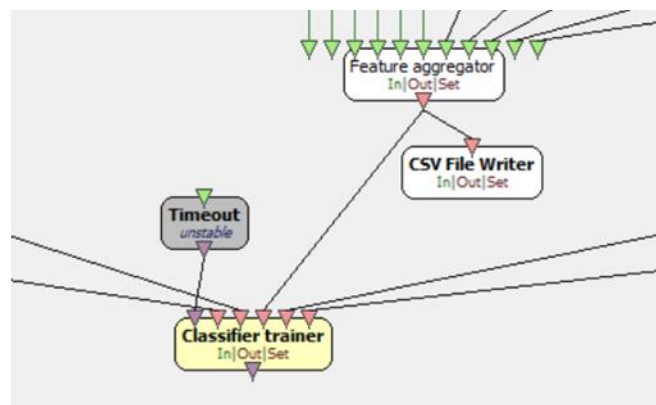
Εικόνα 3.7: Απεικόνιση τμήματος σεναρίου της κατηγορίας F

Αρχικά, γίνεται η χρήση του κουτιού «CSV file reader» το οποίο χρησιμεύει για την τροφοδοσία των σημάτων. Στη συνέχεια το σήμα οδηγείται στο κουτί «Signal display» για την απεικόνιση του σήματος εισόδου και στο κουτί «Time based epoching» που χρησιμεύει για την παραθυριοποίηση του σήματος, σε εποχές 1 δευτερόλεπτο με επικάλυψη 0.5 δευτερόλεπτα. Έπειτα το σήμα οδηγείται στα κουτιά: «Univariate Statistics» και «Spectral Analysis». Μέσα από τη χρήση του κουτιού «Univariate Statistics» πραγματοποιείται ο υπολογισμός της μέσης τιμής, της διακύμανσης, του εύρους

και της διαμέσου κάθε δείγματος που εισέρχεται ώστε να εξάγει το σήμα που προκύπτει. Ενώ το κουτί: «Spectral Analysis», χρησιμεύει για την φασματική ανάλυση του σήματος.

Στη συνέχεια, το σήμα που προκύπτει από το κουτί: «Univariate Statistics» οδηγείται στο κουτί: «Feature Aggregator», καθώς επίσης και το σήμα που προκύπτει από το κουτί: «Spectral Analysis» καταλήγει στο κουτί: «Feature Aggregator», αφού όμως πρώτα διαχωριστεί σε πέντε εύρη ζώνης με τη χρήση κουτιών «Frequency Band Selector». Τα πέντε κουτιά «Frequency band selector» που χρησιμοποιούνται, έχουν ως σκοπό την επιλογή διέλευσης του εύρους ζώνης που θα οριστεί, τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με τα κουτιά «Spectrum Average» που υπολογίζουν την πραγματική μέση τιμή του φάσματος για κάθε εύρος συχνότητας. Επίσης το κουτί: «Feature Aggregator» που οδηγούνται στη συνέχεια τα σήματα, χρησιμεύουν για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών τους. Στη συνέχεια, το σήμα οδηγείται στο κουτί «CSV file Writer», ώστε να αποθηκευτεί μετά την επεξεργασία που έχει υποστεί σε σχέση με το αρχικό.

Στο τέλος, η κάθε κατηγορία σήματος καταλήγει σ'ένα κουτί «Classifier trainer» το οποίο χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του σεναρίου, ταξινομώντας τα σήματα με βάση τα χαρακτηριστικά που έχουν εξαχθεί ώστε να βρεθεί το ποσοστό λάθους, ανάλογα πάντα με τον αλγόριθμο που θα επιλεγεί από το χρήστη και τις ρυθμίσεις που θα εισαχθούν στο κουτί «Classifier trainer» (Εικόνα 3.8: Απεικόνιση τμήματος σεναρίου). Τέλος, στο κουτί «Classifier trainer» συνδέεται ένα κουτί «Timeout» που διεγείρει το κουτί «Classifier trainer» μετά από ένα χρονικό διάστημα που θα του οριστεί να διακοπεί η λειτουργία του σεναρίου.



Εικόνα 3.8: Απεικόνιση τμήματος σεναρίου

3.2.3 Επεξεργασία δεδομένων στο OpenViBE

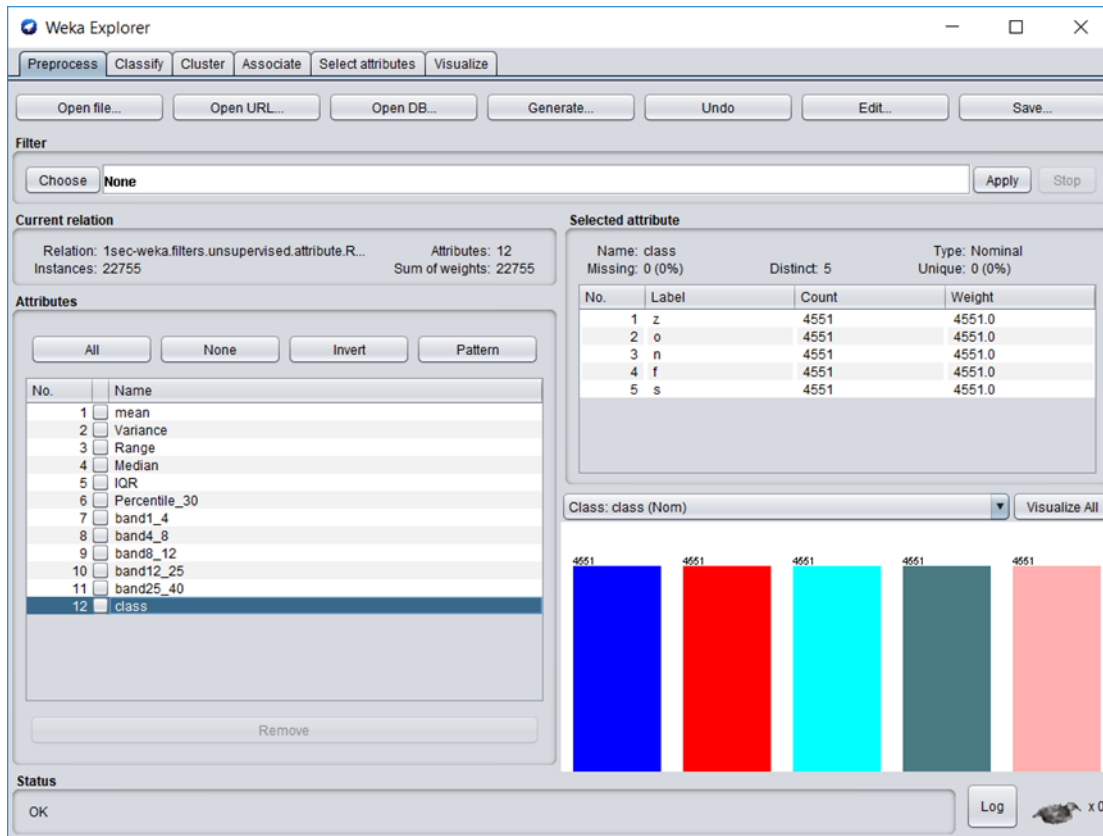
Μετά την υλοποίηση του σεναρίου, εισήχθησαν τα δεδομένα της κάθε κατηγορίας στο κουτί «Csv File Reader» και δόθηκε το αντίστοιχο μονοπάτι για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Στο κουτί «Time based epoching» τροποποιήθηκε η διάρκεια του σήματος από 1 έως 24 sec (epoch 1 duration : 1-24 sec). Η τροποποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε για κάθε κατηγορία ξεχωριστά, ενώ η επικάλυψη αυξάνονταν 0.5 sec ανά μονάδα χρόνου, με αρχική τιμή: epoch 1 intervals = 0.5 sec. Στη συνέχεια στο κουτί «Csv File Writer» της κάθε κατηγορίας, δόθηκε το μονοπάτι αποθήκευσης των αποτελεσμάτων και επιλέχθηκε από τη γραμμή εργαλείων η επιλογή «start». Έπειτα, τα αποτελέσματα αποθηκεύτηκαν στο αντίστοιχο μονοπάτι που ορίστηκε εξ αρχής και συγχωνεύτηκαν σε 24 αρχεία τύπου «.xlsx». Κάθε αρχείο «.xlsx» περιείχε όλες τις κατηγορίες για την ίδια χρονική διάρκεια, από 1 έως 24 sec.

3.3 Κατηγοριοποίηση δεδομένων με χρήση του περιβάλλοντος Weka

Το WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) είναι μια συλλογή από αλγορίθμους μηχανικής μάθησης [34]. Παρέχει δυνατότητα για:

- Προεπεξεργασία των δεδομένων (τα εργαλεία για την προεπεξεργασία στο περιβάλλον του WEKA ονομάζονται filters).
- Δημιουργία «μοντέλων» από τα δεδομένα με κάποια διαδικασία εκπαίδευσης
- Χρησιμοποίηση στατιστικών μεγεθών για την αξιολόγηση των διαφόρων αλγορίθμων μάθησης.
- Απεικόνιση τόσο των αρχικών δεδομένων όσο και των αποτελεσμάτων μετά τη διαδικασία της εκπαίδευσης.
- Κατηγοριοποίηση των δεδομένων που έχουν δοθεί προς επεξεργασία

Τα παραπάνω πραγματοποιούνται στο γραφικό περιβάλλον «Explorer», ενώ υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης από τη γραμμή εντολών. Στην εικόνα 3.9 (Εικόνα 3.9: Απεικόνιση παραθύρου του "Explorer" στο περιβάλλον Weka) δίνεται ένα στιγμιότυπο από το γραφικό περιβάλλον «Explorer» του Weka.



Εικόνα 3.9 Απεικόνιση παραθύρου του "Explorer" στο περιβάλλον Weka

Τα βασικά αρχεία τα οποία δέχεται σαν είσοδο το WEKA έχουν την κατάληξη .arff (Attribute -Relation File Format) και πρόκειται για ένα αρχείο κειμένου χαρακτήρων ASCII (ASCII text file) το οποίο περιγράφει/περιέχει μια σειρά από παραδείγματα (instances) τα οποία «περιγράφονται» από χαρακτηριστικά (attributes). Οι γραμμές που ξεκινάνε με % είναι σχόλια και δεν λαμβάνονται υπόψη όταν φορτώνεται το αρχείο. Μετά από τα σχόλια ακολουθεί η δήλωση του ονόματος, που περιγράφει το αρχείο η οποία δεν μπορεί να παραλειφθεί. Η γραμμή αυτής της δήλωσης ξεκινάει με: @relation +όνομα αρχείου. Μετά από αυτή τη γραμμή ακολουθεί η δήλωση όλων των χαρακτηριστικών που περιγράφουν το συγκεκριμένο σύνολο παραδειγμάτων. Η δήλωση αυτή γίνεται ως εξής: @attribute + <attribute-name> + <datatype>. Όπου <attribute-name> είναι το όνομα του χαρακτηριστικού, το οποίο πρέπει να ξεκινάει με γράμμα. Σε περίπτωση που ένα χαρακτηριστικό περιγράφεται με δύο ή περισσότερες λέξεις που χωρίζονται με κενό, τότε θα πρέπει όλες αυτές να περικλείονται σε εισαγωγικά (" "). Ενώ το όρισμα <datatype> καθορίζει τον τύπο του χαρακτηριστικού. Το Weka υποστηρίζει τέσσερις διαφορετικούς τύπους:

- Αριθμητικά δεδομένα (numeric)
- Δεδομένα που ορίζουν κατηγορία (ονομαστικά) (<nominal-specification>)
- Αλφαριθμητικά (string)
- Ημερομηνίες με συγκεκριμένο format (date[<date-format>])

Οι λέξεις κλειδιά numeric, string, date μπορούν να γραφούν είτε με κεφαλαία είτε με πεζά.

Αριθμητικών χαρακτηριστικών - Numeric attributes : Τα αριθμητικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι είτε πραγματικοί είτε ακέραιοι αριθμοί, στο παράδειγμα μας τέτοια είναι τα χαρακτηριστικά της μέσης τιμής και διακύμανσης.

«Ονομαστικά» χαρακτηριστικά - Nominal attributes: Τα χαρακτηριστικά που παίρνουν «ονομαστικές» τιμές ορίζονται χρησιμοποιώντας αγκύλες εντός των οποίων γράφονται όλες οι δυνατές «τιμές»: {<nominal-name1>, <nominal-name2>, <nominal-name3>, ... }

@attribute outlook {sunny, overcast, rainy}

Χαρακτηριστικά αλφαριθμητικών - String attributes: Τα χαρακτηριστικά αλφαριθμητικών επιτρέπουν τη δημιουργία αυθαίρετων αλφαριθμητικών δομών κάτι το οποίο είναι στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για. text-mining applications. Ο ορισμός ενός τέτοιου χαρακτηριστικού έχει την παρακάτω μορφή

@attribute LCC string

Ημερομηνίες - Date attributes: Ο καθορισμός χαρακτηριστικών που παίρνουν ως τιμή ημερομηνίες γίνεται με την παρακάτω μορφή:

@attribute <name> date, όπου <name> είναι το όνομα του χαρακτηριστικού και <date> είναι η ημερομηνία σύμφωνα με το παρακάτω format: "yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss" (ISO-8601).

Π.χ. 2005-11-23-T11:50:25

Μετά από τη δήλωση των χαρακτηριστικών ακολουθεί η δήλωση ότι θα ακολουθήσουν τα δεδομένα. Η γραμμή : @data, που δηλώνει ότι θα ακολουθήσουν τα δεδομένα.

3.3.1 Αλγόριθμοι ταξινόμησης στο Weka

Τα αρχεία που εξήχθησαν από το OpenVibe, ανοίχτηκαν με τη βοήθεια του Notepad++ και στη συνέχεια αντιγράφηκαν σε αρχείο τύπου «.xlsx». Σε κάθε αρχείο .xlsx προστέθηκε μία επιπλέον στήλη που αφορούσε την κατηγορία των δεδομένων. Εφόσον είχε ολοκληρωθεί για κάθε αρχείο η διαδικασία αντιγραφής και επικόλλησης, μετατράπηκαν όλα τα αρχεία σε αρχεία τύπου «.arff» και προστέθηκε ο κατάλληλος κώδικας ώστε να μπορούν εισαχθούν στο Weka. Στο Weka εισήχθησαν συνολικά 24 αρχεία τύπου «.arff», όπου για κάθε αρχείο επιλέχθηκαν τέσσερις ταξινομητές για την επεξεργασία των δεδομένων. Οι ταξινομητές αυτοί ήταν: Naïve Bayes, Multilayer Perceptron, SMO και J48. Παρακάτω, ακολουθεί μία περιγραφή για κάθε αλγόριθμο ξεχωριστά.

3.3.1.1 Αλγόριθμος NaiveBayes

Ο αλγόριθμος «NaiveBayes» πήρε την ονομασία του από το θεώρημα Bayes στη θεωρία πιθανοτήτων, όπου σχετίζεται η τρέχουσα πιθανότητα με την αρχική πιθανότητα. Με βάση τον ταξινομητή NaiveBayes, όλα τα χαρακτηριστικά ενός προβλήματος συμβάλλουν στην πιθανότητα μιας απόφασης. Ο αλγόριθμος αυτός εκπαιδεύεται σε επιτηρούμενο περιβάλλον μάθησης και σε σύνθετες καταστάσεις του πραγματικού κόσμου. Εξαιτίας των ανεξάρτητων μεταβλητών, θα πρέπει να προσδιορίζονται μόνο οι διακυμάνσεις των μεταβλητών για κάθε κλάση και όχι ολόκληρη η μήτρα συνδιακύμανσης [35].

3.3.1.2 Αλγόριθμος Multilayer Perceptron

Το Πολυεπίπεδο Perceptron ή αλλιώς Multilayer Perceptron (MLP) είναι ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο με πολλαπλά στρώματα, το οποίο αποτελείται από μη γραμμικούς νευρώνες. Εάν οι νευρώνες του MLP είχαν γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης, τότε το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο θα υλοποιούσε μία γραμμική απεικόνιση. Το MLP, διαθέτει ένα κρυφό επίπεδο με μη γραμμικούς νευρώνες, το οποίο μπορεί να επιλύσει μη γραμμικά προβλήματα. Το πλήθος των κρυφών επιπέδων, εξαρτάται από το πρόβλημα που πρόκειται να επιλυθεί. Γενικότερα, το MLP όταν έχει ένα μόνο κρυφό επίπεδο, προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια μία συνάρτηση.

Τα MLP έχουν χρησιμοποιηθεί σε δύσκολα προβλήματα μάθησης με επίβλεψη και σε ταξινομήσεις συναρτήσεων. Εκπαιδεύονται κάνοντας χρήση τον αλγόριθμο

οπισθοδιάδοσης του σφάλματος, ο οποίος χρησιμοποιεί τη μέθοδο βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, η εκπαίδευση των MLP αποτελείται από δύο περάσματα στα επίπεδα. Το πρώτο πέρασμα γίνεται από την είσοδο προς την έξοδο και το δεύτερο πέρασμα από την έξοδο προς την είσοδο. Με αυτό το τρόπο, το MLP μπορεί να επιλύσει προβλήματα που δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμα [36].

3.3.1.3 Αλγόριθμος SMO

Ο αλγόριθμος Support Vector Machines – SMO (Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης) εφευρέθηκε από τον John Platt το 1998. Ο SMO αλγόριθμος, χρησιμοποιείται σε μηχανές εκπαίδευσης διανυσμάτων. Βασικό χαρακτηριστικό του αλγόριθμου αυτού, είναι ότι διαχωρίζει ένα πρόβλημα σε επιμέρους προβλήματα [35].

3.3.1.4 Αλγόριθμος J48

Ο αλγόριθμος J48 αποτελεί υλοποίηση ανοικτού κώδικα σε Java, βασίζεται στα δέντρα απόφασης [35] και αποτελεί επέκταση του αλγορίθμου ID3. Ο J48 (ή αλλιώς C4.5) δημιουργεί δέντρα απόφασης μέσα από ένα σύνολο εκπαίδευσης δεδομένων, χρησιμοποιώντας την έννοια της εντροπίας πληροφοριών.

Η ύπαρξη της σχέσης ανάμεσα σε εντροπία και πληροφορία ορίστηκε από τον Shannon. Σύμφωνα λοιπόν με τον Shannon, η εντροπία της πληροφορίας αποτελεί το μέτρο της ποσότητας της πληροφορίας που περιέχεται σ' ένα μήνυμα. Δηλαδή, το πλήθος των πιθανών “μεταφράσεων” που περιέχει ένα μήνυμα [37].

Ο αλγόριθμος J48 κατασκευάστηκε από τον Ross Quinlan και αναφέρεται συχνά ως στατιστικός ταξινομητής, επειδή χρησιμοποιείται συχνά για ταξινόμηση. Στον αλγόριθμο J48, τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι ένα σύνολο $S = s_1, s_2, \dots$ από ήδη ταξινομημένα δείγματα. Κάθε δείγμα $S_i = x_1, x_2, \dots$ είναι ένα διάνυσμα όπου τα x_1, x_2, \dots αντιπροσωπεύουν τις ιδιότητες ή τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του δείγματος. Στα δεδομένα εκπαίδευσης του αλγορίθμου J48, ένα διάνυσμα $C = c_1, c_2, \dots$ αντιπροσωπεύει την κατηγορία στην οποία ανήκει κάθε δείγμα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι κάθε χαρακτηριστικό των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λάβει μια απόφαση, η οποία χωρίζει τα δεδομένα σε μικρότερα υποσύνολα. Ο αλγόριθμος J48, εξετάζει το κέρδος των πληροφοριών (information gain) που προκύπτει από την επιλογή ενός χαρακτηριστικού για το διαχωρισμό των δεδομένων. Το χαρακτηριστικό με το υψηλότερο κέρδος πληροφοριών, είναι αυτό που χρησιμοποιείται για να ληφθεί μια απόφαση [38].

3.3.2 Εκπαίδευση μοντέλου ταξινόμησης

Μετά την επιλογή του κατηγοριοποιητή σειρά έχει η επιλογή του τρόπου εκπαίδευσης του ταξινομητή. Για την εκπαίδευση και τη δομική του μοντέλου, συνήθως επιλέγεται ένας από τους 2 πιο διαδεδομένους τρόπους: training-testing ή k-fold cross-validation.

Η επιλογή του training-testing έχει ως εξής: Το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε δύο υποσύνολα (σύμφωνα με επιλογή του αναλυτή). Από αυτά, ένα σύνολο χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του μοντέλου (training set) και ένα για τη δοκιμή (test set). Ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται κάνοντας χρήση τα δεδομένα του training set και στην πορεία δοκιμάζεται, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του test set.

Κατά την επιλογή k-fold cross-validation το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε k (συνήθίζεται k=10) ισόποσα τμήματα. Στην πρώτη επανάληψη τα k-1 τμήματα χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ταξινομητή (training set) και το ένα τμήμα για τον έλεγχο (test set). Στην επόμενη επανάληψη, ένα νέο τμήμα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του ταξινομητή και τα υπόλοιπα k-1 τμήματα για την εκπαίδευση του. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται k φορές έτσι ώστε όλα τα τμήματα του συνόλου δεδομένων να χρησιμοποιηθούν μία φορά ως testing set και k-1 φορές ως training set. Στο τέλος, το Weka τρέχει τον ταξινομητή μια ακόμη φορά (k+1) για όλο το σύνολο δεδομένων και προκύπτει ο τελικός ταξινομητής. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε ο τρόπος 10-fold cross-validation.

3.3.3 Πίνακας Σύγχυσης (Confusion Matrix)

Ο πίνακας σύγχυσης αποτυπώνει το σύνολο των σωστών και λανθασμένων προβλέψεων που γίνονται για το μοντέλο ταξινόμησης που υλοποιείται σε σχέση με τα πραγματικά αποτελέσματα στα δεδομένα. Οι βέλτιστες λύσεις του μοντέλου εκφράζονται με μηδενικά, περιμετρικά από την κύρια διαγώνιο του πίνακα σύγχυσης. Ενώ, τα στοιχεία που έχουν ταξινομηθεί εμφανίζονται στην κύρια διαγώνιο του πίνακα σύγχυσης. Αυτό συμβαίνει είτε τα στοιχεία είναι αληθώς θετικά (True Positive-TP) είτε είναι αληθώς αρνητικά (True Negative-TN). Τα ψευδώς αρνητικά (False Negative-FN) και ψευδώς θετικά (False Positive-FP) στοιχεία, αντιπροσωπεύουν τις εσφαλμένες ταξινομήσεις για

τον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος. Παρακάτω, απεικονίζεται ένας πίνακας σύγκρισης ενός προβλήματος με δύο κατηγορίες (Πίνακας 3.1: Πίνακας Σύγκρισης).

	Predicted Negative	Predicted Positive
Actual Negative	TN	FP
Actual Positive	FN	TP

Πίνακας 3.1: Πίνακας Σύγκρισης

- TN: είναι ο αριθμός των αρνητικών παραδειγμάτων που έχουν ταξινομηθεί σωστά (True Negatives)
- FP: είναι ο αριθμός των αρνητικών παραδειγμάτων που έχουν από ταξινομηθεί εσφαλμένα ως θετικά (False Positives)
- FN: είναι ο αριθμός των θετικών παραδειγμάτων που έχουν ταξινομηθεί εσφαλμένα ως αρνητικά (False Negatives)
- TP: είναι ο αριθμός των θετικών παραδειγμάτων που έχουν ταξινομηθεί σωστά ως θετικά (True Positives).

Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες τιμές υπολογίζονται οι παρακάτω στατιστικές μετρήσεις οι οποίες είναι σημαντικές καθορίζουν τα αποτελέσματα του μοντέλου ταξινόμησης:

True Positive Rate – TPR ή Recall ή Sensitivity (αληθώς θετικά): $\frac{TP}{TP + FN}$

True Negative Rate – TNR ή Specificity (αληθώς αρνητικά): $\frac{TN}{TN + FP}$

Accuracy (ακρίβεια): $\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$

Precision (πιστότητα): $\frac{TP}{TP + FP}$

False Positive Rate – FPR (ψευδώς θετικά): $\frac{FP}{FP + TN}$

F-measure: $2 \times \text{Recall} \times \text{Precision} / (\text{Recall} + \text{Precision}) : \frac{2*TP}{2*TP+FP+FN}$

4. Αποτελέσματα μεθοδολογίας

Τα δεδομένα που εξήχθησαν από το OpenVibe, εισήχθησαν στο Weka με σκοπό την επεξεργασία τους, κάνοντας χρήση τους τέσσερις ταξινομητές: Naïve Bayes, Multilayer Perceptron (MLP), Smo και J48. Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, τα δεδομένα που εξήχθησαν από το OpenVibe αφορούσαν στοιχεία με χρονική διάρκεια από 1 έως 24 sec (epoch) και η επικάλυψη αυξάνονταν 0.5 sec ανά μονάδα χρόνου, με αρχική τιμή: epoch 1 intervals = 0.5 sec. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας με τα ακόλουθα ποσοστά ταξινομητών (Πίνακας 4.1: Πίνακας αποτελεσμάτων).

Epoch (sec)	Overlapping (sec)	Correctly Classified instances (%)			
		Naïve Bayes	MLP	SVM	J48
1	0.5	59.11%	72.41%	67.51%	85.95%
2	1.0	63.67%	75.56%	70.35%	79.06%
3	1.5	66.37%	78.02%	70.46%	82.05%
4	2.0	67.47%	78.73%	70.11%	83.50%
5	2.5	68.97%	79.47%	68.87%	83.60%
6	3.0	70.32%	81.72%	70.00%	84.87%
7	3.5	70.23%	81.10%	69.21%	85.45%
8	4.0	70.03%	80.17%	68.55%	85.17%
9	4.5	71.90%	80.91%	68.45%	85.19%
10	5.0	72.11%	77.75%	63.63%	83.83%
11	5.5	72.08%	83.15%	68.10%	85.48%
12	6.0	73.33%	81.95%	68.46%	85.39%
13	6.5	73.52%	81.03%	67.44%	83.72%
14	7.0	74.01%	81.23%	67.83%	84.25%
15	7.5	75.29%	81.98%	68.34%	82.71%

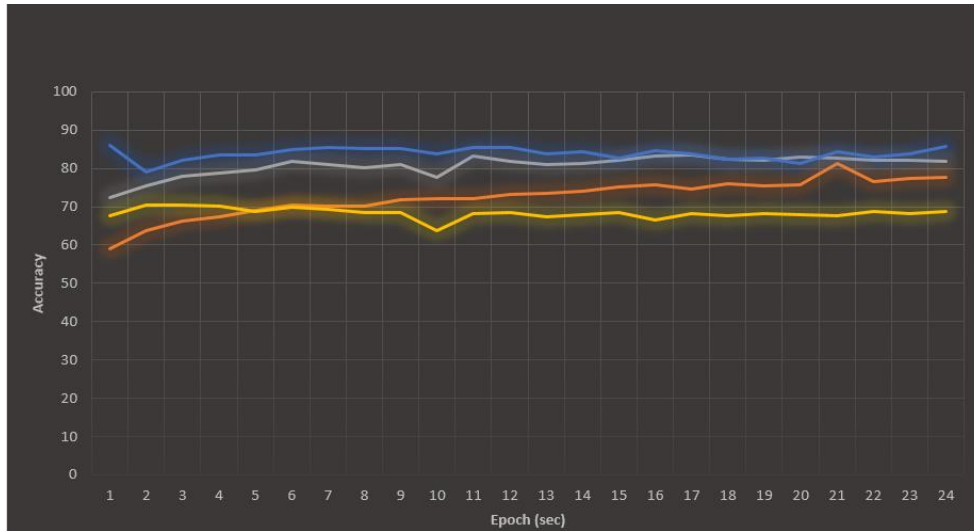
16	8.0	75.61%	83.35%	66.57%	84.51%
17	8.5	74.58%	83.53%	68.19%	83.75%
18	9.0	75.85%	82.39%	67.72%	82.31%
19	9.5	75.37%	82.18%	68.31%	82.60%
20	10.5	75.57%	83.00%	67.87%	81.23%
21	11.0	81.23%	82.79%	67.62%	84.46%
22	11.5	76.48%	82.04%	68.87%	82.82%
23	12.0	77.34%	82.24%	68.16%	83.77%
24	13.0	77.55%	81.70%	68.82%	85.63%

Πίνακας 4.1: Πίνακας αποτελεσμάτων

Αρχικά, με χρονική διάρκεια 1sec και επικάλυψη 0.5sec παρατηρείται ότι ο βέλτιστος ταξινομητής είναι ο J48 με ποσοστό 85.95% και ακολουθούν ο MLP με ποσοστό 72.41%, ο SMO με ποσοστό 67.51% και ο Naïve Bayes με ποσοστό 59.11%. Για τη χρονική διάρκεια 2 sec και επικάλυψη 1sec, ο βέλτιστος ταξινομητής είναι ο J48 με ποσοστό 79.06%, ενώ ακολουθούν οι ταξινομητές MLP (75.56%), SMO (70.35%) και Naïve Bayes (63.67%). Στη συνέχεια, για τη χρονική στιγμή 3sec και επικάλυψη 1.5sec, παρατηρείται ότι ο ταξινομητής με το χαμηλότερο ποσοστό είναι ο Naïve Bayes (66.37%) και με βέλτιστο ο J48 (82.05%). Για τη χρονική διάρκεια των 4sec και με επικάλυψη 2sec ο βέλτιστος ταξινομητής είναι ο J48 με ποσοστό 83.50%, ενώ ο ταξινομητής με το χαμηλότερο ποσοστό είναι ο Naïve Bayes με ποσοστό 67.47%. Έπειτα, για τη χρονική στιγμή των 5sec ο βέλτιστος ταξινομητής είναι ο J48 με ποσοστό 83.60%. Για τη χρονική διάρκεια των 6sec, παρατηρείται μικρή διαφορά όσο αναφορά τον ταξινομητή με το χαμηλότερο ποσοστό, αφού οι ταξινομητές Naïve Bayes και SMO είχαν απόκλιση 0.32%, ενώ ο ταξινομητής με το υψηλότερο ποσοστό είναι ο J48 με ποσοστό 84.87%. Για τα επόμενα 3 sec ο υψηλότερος ταξινομητής είναι ο J48%, όπου το ποσοστό είναι σταθερό περίπου στο 85%. Όμως, για τις ίδιες χρονικές στιγμές ο ταξινομητής με το χαμηλότερο ποσοστό είναι ο SMO με ποσοστό περίπου στο 68%. Για τις επόμενες χρονικές διάρκειες από 10sec έως 13sec, ο ταξινομητής με το χαμηλότερο ποσοστό είναι ο SMO και με το υψηλότερο ποσοστό ο J48. Για τις ίδιες χρονικές στιγμές, ο ταξινομητής Naïve Bayes έχει ποσοστό που κυμαίνεται από 72 – 73%, ενώ ο MLP έχει ποσοστά από 77 – 83%. Στα

επόμενα 3sec (από epoch: 14 έως 16sec) ο βέλτιστος ταξινομητής είναι ο J48, όπου φτάνει σε ποσοστό το 84%. Στη χρονική διάρκεια των 17sec παρατηρείται μικρή απόκλιση μεταξύ των ταξινομητών MLP και J48, αφού και οι δύο ταξινομητές έχουν πολύ υψηλά ποσοστά με βέλτιστο τον J48 (83.75%). Στη χρονική διάρκεια των 18sec ο ταξινομητής με το χαμηλότερο ποσοστό είναι ο SMO, όπου συνεχίζει να έχει χαμηλά ποσοστά μέχρι και τη χρονική στιγμή των 24sec. Αντίθετα, ο ταξινομητής με τα υψηλότερα ποσοστά για τις χρονικές στιγμές από 18 έως 24sec είναι ο J48, με ποσοστά από 81 έως 85%.

Προκειμένου να απεικονιστούν καλύτερα οι ταξινομητές, σχεδιάστηκε ένα διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζονται όλα τα αποτελέσματα των ταξινομητών σε ποσοστό % , για τις χρονικές διάρκειες από Epoch= 1 έως 24sec. Συγκεκριμένα, με την μπλε γραμμή απεικονίζεται ο ταξινομητής J48, με την γαλάζια γραμμή ο MLP ταξινομητής, με την πορτοκαλί γραμμή ο Naïve Bayes και τέλος, με την κίτρινη γραμμή ο ταξινομητής SMO (Εικόνα 4.1 Διάγραμμα αποτελεσμάτων από τους 4 ταξινομητές. (α) Με τη μπλε γραμμή απεικονίζεται ο J48, (β) με τη γαλάζια ο MLP, (γ) με την πορτοκαλί ο Naïve Bayes και (δ) με την κίτρινη γραμμή ο SMO). Όπως απεικονίζεται και από το διάγραμμα, ο ταξινομητής με την βέλτιστη απόδοση είναι ο J48, με χαμηλότερο ποσοστό το 79% και με υψηλότερο το 85.95%. Ακολουθεί ο ταξινομητής MLP, με υψηλότερο ποσοστό 83.53% και με χαμηλότερο ποσοστό 72.41%. Στη συνέχεια, ενώ ο ταξινομητής SMO ξεκινάει με υψηλότερο ποσοστό (70.35%) σε σχέση με τον Naïve Bayes (63.67%), στην πορεία τα ποσοστά μειώνονται καταλήγοντας με ποσοστό 68% . Αναλυτικά τα αποτελέσματα και οι πίνακες σύγκρισης για τον κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης και τα διαδοχικά παράθυρα, παρουσιάζονται στο Παράρτημα.



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα αποτελεσμάτων από τους 4 ταξινομητές. (α) Με τη μπλε γραμμή απεικονίζεται ο J48, (β) με τη γαλάζια ο MLP, (γ) με την πορτοκαλί ο Naïve Bayes και (δ) με την κίτρινη γραμμή ο SMO

5. Συμπεράσματα και Μελλοντικοί Στόχοι

Μέσα από την υλοποίηση του σεναρίου που παρουσιάστηκε στην διπλωματική εργασία με τη χρήση του λογισμικού OpenVibe και την χρήση των δεδομένων επιληψίας που παρήχθησαν από το επιληπτικό τμήμα του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου της Βόννης, δόθηκε η δυνατότητα επεξεργασίας των δεδομένων με το λογισμικό WEKA. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 24 αρχεία όπου το καθένα περιλάμβανε τις πέντε κατηγορίες (Z, O, N, F, S) για χρονική διάρκεια 1 έως 24sec και επικάλυψη από 0.5sec έως 12sec. Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο WEKA ώστε να επιχειρήσουμε να τα ταξινομήσουμε, με την βοήθεια τεσσάρων ταξινομητών. Η ταξινόμηση των δεδομένων έδειξε ότι ο βέλτιστος ταξινομητής είναι ο αλγόριθμος J48, ενώ ο αλγόριθμος με τα χαμηλότερα ποσοστά είναι ο SMO. Παρατηρώντας τις τιμές από τον συγκεντρωτικό πίνακα κατάταξης (Πίνακας 8.1: Πίνακας αποτελεσμάτων) παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές για κάθε ταξινομητή είναι ανοδικές όσο αυξάνεται η χρονική διάρκεια. Επίσης, στα ποσοστά των ταξινομητών υπάρχει μία σταθερότητα και οι τιμές δεν έχουν μεγάλες αυξομειώσεις. Για παράδειγμα, ο αλγόριθμος Naïve Bayes έχει χαμηλότερο ποσοστό 59% και υψηλότερο ποσοστό 81%, με τις ενδιάμεσες τιμές να αυξάνονται από 1% έως 3%. Επίσης, η χαμηλότερη τιμή του αλγόριθμου MLP είναι 72% και η υψηλότερη τιμή 83%, ενώ οι ενδιάμεσες τιμές αυξομειώνονται έως 3%. Ο ταξινομητής SMO έχει το υψηλότερο ποσοστό στο 70% και το χαμηλότερο ποσοστό στο 67%. Τέλος, όσο αναφορά τον ταξινομητή J48 αποδείχθη ότι είναι ο βέλτιστος ταξινομητής των δεδομένων με το υψηλότερο ποσοστό 85% και το χαμηλότερο ποσοστό 79%.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, συμπεραίνεται ότι το μέγεθος του παραθύρου δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα του μοντέλο ταξινόμησης και πως ο αλγόριθμος J48 των δέντρων απόφασης υπερτερεί των υπολοίπων ταξινομητών που ελέγχθηκαν. Στην ενδεχόμενη επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσαν να δοκιμαστούν και επιπλέον ταξινομητές για να ελεγχθεί η ευρωστία του Δέντρων Απόφασης στην κατηγοριοποίηση του σήματος. Επιπλέον, το πρόβλημα της ταξινόμησης θα μπορούσε να ελεγχθεί σε νέα βάση δεδομένων, με περισσότερες καταγραφές μεγαλύτερης διάρκειας. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να δοκιμαστούν ακόμη μεγαλύτερα χρονικά παράθυρα και να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τον

ορθό τρόπο επιλογής του παραθύρου και κατ' επέκταση της ανάλυσης του σήματος σε οποιαδήποτε νευρολογική πάθηση, όπως είναι η επιληψία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα ταξινόμητών

- Για 1 sec:

Naïve Bayes:

```
Time taken to test model on training data: 0.45 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      13452          59.1167 %
Incorrectly Classified Instances    9303           40.8833 %
Kappa statistic                    0.489
Mean absolute error                 0.1655
Root mean squared error             0.3684
Relative absolute error             51.7187 %
Root relative squared error         92.0881 %
Total Number of Instances          22755

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,116   0,055   0,344     0,116   0,174     0,097   0,695    0,316    f
                0,525   0,133   0,496     0,525   0,510     0,383   0,840    0,507    n
                0,606   0,056   0,731     0,606   0,663     0,592   0,888    0,759    o
                0,838   0,015   0,935     0,838   0,884     0,859   0,992    0,958    s
                0,871   0,252   0,463     0,871   0,605     0,511   0,900    0,679    z
Weighted Avg.   0,591   0,102   0,594     0,591   0,567     0,488   0,863    0,644

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
529 2068 319 205 1430 | a = f
265 2388 348 5 1545 | b = n
60 68 2759 54 1610 | c = o
673 6 56 3814 2 | d = s
10 286 293 0 3962 | e = z
```

Multilayer Perceptron:

```
Time taken to test model on training data: 0.36 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      16478          72.4149 %
Incorrectly Classified Instances    6277           27.5851 %
Kappa statistic                    0.6552
Mean absolute error                 0.1367
Root mean squared error             0.2652
Relative absolute error             42.71 %
Root relative squared error         66.3066 %
Total Number of Instances          22755

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,264   0,041   0,619     0,264   0,371     0,320   0,873    0,576    f
                0,804   0,178   0,530     0,804   0,639     0,545   0,877    0,555    n
                0,809   0,046   0,814     0,809   0,812     0,765   0,969    0,892    o
                0,951   0,009   0,963     0,951   0,957     0,946   0,995    0,974    s
                0,792   0,071   0,736     0,792   0,763     0,702   0,953    0,821    z
Weighted Avg.   0,724   0,069   0,733     0,724   0,708     0,656   0,933    0,763

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
1203 2922 82 104 240 | a = f
422 3659 126 55 289 | b = n
80 23 3684 5 759 | c = o
164 26 28 4327 6 | d = s
73 269 604 0 3605 | e = z
```

SMO:

Time taken to test model on training data: 0.14 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	15364	67.5192 %
Incorrectly Classified Instances	7391	32.4808 %
Kappa statistic	0.594	
Mean absolute error	0.2575	
Root mean squared error	0.3425	
Relative absolute error	80.4708 %	
Root relative squared error	85.6255 %	
Total Number of Instances	22755	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,173	0,029	0,600	0,173	0,269	0,247	0,816	0,436	f
	0,785	0,204	0,491	0,785	0,604	0,499	0,837	0,460	n
	0,688	0,048	0,783	0,688	0,732	0,673	0,881	0,648	o
	0,933	0,009	0,963	0,933	0,948	0,935	0,991	0,949	s
	0,797	0,117	0,630	0,797	0,704	0,626	0,890	0,580	z
Weighted Avg.	0,675	0,081	0,693	0,675	0,651	0,596	0,883	0,615	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
789	3055	157	127	423	a = f
228	3573	218	34	498	b = n
87	129	3129	2	1204	c = o
165	35	101	4248	2	d = s
47	490	389	0	3625	e = z

J48:

Time taken to test model on training data: 0.05 seconds

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	19558	85.9503 %
Incorrectly Classified Instances	3197	14.0497 %
Kappa statistic	0.8244	
Mean absolute error	0.0798	
Root mean squared error	0.1998	
Relative absolute error	24.9511 %	
Root relative squared error	49.9511 %	
Total Number of Instances	22755	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,720	0,051	0,780	0,720	0,749	0,690	0,958	0,851	f
	0,782	0,068	0,741	0,782	0,761	0,700	0,957	0,833	n
	0,903	0,022	0,912	0,903	0,908	0,885	0,990	0,957	o
	0,993	0,004	0,984	0,993	0,989	0,986	1,000	0,998	s
	0,899	0,031	0,880	0,899	0,889	0,862	0,985	0,934	z
Weighted Avg.	0,860	0,035	0,859	0,860	0,859	0,824	0,978	0,914	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
3275	1138	21	40	77	a = f
824	3560	37	23	107	b = n
27	32	4110	9	373	c = o
19	5	5	4520	2	d = s
54	70	333	1	4093	e = z

- Γρα 2 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      7243          63.6747 %
Incorrectly Classified Instances    4132          36.3253 %
Kappa statistic                    0.5459
Mean absolute error                 0.1481
Root mean squared error             0.3511
Relative absolute error             46.2658 %
Root relative squared error         87.7794 %
Total Number of Instances          11375

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,145   0,057   0,388     0,145   0,211     0,133   0,743    0,375    f
                0,651   0,157   0,509     0,651   0,571     0,453   0,864    0,546    N
                0,659   0,034   0,829     0,659   0,734     0,684   0,930    0,840    o
                0,843   0,014   0,940     0,843   0,889     0,864   0,993    0,958    s
                0,886   0,192   0,536     0,886   0,668     0,590   0,925    0,748    z
Weighted Avg.   0,637   0,091   0,640     0,637   0,615     0,545   0,891    0,693

=== Confusion Matrix ===

  a   b   c   d   e  <-- classified as
330 1259  93  101 492 |  a = f
153 1482 100   2  538 |  b = N
 19  20 1499  20  717 |  c = o
349   3   6 1917   0 |  d = s
  0  150  110   0 2015 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      8595          75.5604 %
Incorrectly Classified Instances    2780          24.4396 %
Kappa statistic                    0.6945
Mean absolute error                 0.1236
Root mean squared error             0.2513
Relative absolute error             38.6242 %
Root relative squared error         62.8258 %
Total Number of Instances          11375

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,485   0,088   0,579     0,485   0,528     0,425   0,888    0,632    f
                0,655   0,126   0,565     0,655   0,607     0,502   0,894    0,605    N
                0,819   0,023   0,900     0,819   0,857     0,825   0,977    0,932    o
                0,969   0,008   0,969     0,969   0,969     0,962   0,997    0,992    s
                0,850   0,061   0,778     0,850   0,812     0,764   0,962    0,841    z
Weighted Avg.   0,756   0,061   0,758     0,756   0,755     0,695   0,944    0,800

=== Confusion Matrix ===

  a   b   c   d   e  <-- classified as
1103 1031  19   35   87 |  a = f
 624 1491  15   31  114 |  b = N
  47   9 1863   4  352 |  c = o
  48  18   4 2205   0 |  d = s
  82  90  170   0 1933 |  e = z

```

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	8003	70.356 %
Incorrectly Classified Instances	3372	29.644 %
Kappa statistic	0.6295	
Mean absolute error	0.2558	
Root mean squared error	0.3399	
Relative absolute error	79.9428 %	
Root relative squared error	84.9786 %	
Total Number of Instances	11375	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,255	0,028	0,698	0,255	0,373	0,349	0,836	0,479	f
	0,746	0,155	0,545	0,746	0,630	0,530	0,858	0,500	N
	0,695	0,037	0,824	0,695	0,754	0,703	0,905	0,687	o
	0,944	0,008	0,966	0,944	0,955	0,944	0,992	0,955	s
	0,878	0,142	0,607	0,878	0,718	0,650	0,894	0,577	z
Weighted Avg.	0,704	0,074	0,728	0,704	0,686	0,635	0,897	0,639	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
579	1226	73	57	340	a = f
167	1697	95	19	297	b = N
15	23	1582	0	655	c = o
51	21	56	2147	0	d = s
18	145	114	0	1998	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	8994	79.0681 %
Incorrectly Classified Instances	2381	20.9319 %
Kappa statistic	0.7384	
Mean absolute error	0.0948	
Root mean squared error	0.261	
Relative absolute error	29.6118 %	
Root relative squared error	65.2592 %	
Total Number of Instances	11375	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,574	0,072	0,666	0,574	0,616	0,532	0,854	0,605	f
	0,734	0,100	0,648	0,734	0,688	0,606	0,876	0,609	N
	0,845	0,032	0,870	0,845	0,857	0,822	0,948	0,829	o
	0,961	0,009	0,963	0,961	0,962	0,953	0,982	0,950	s
	0,840	0,049	0,810	0,840	0,825	0,780	0,925	0,749	z
Weighted Avg.	0,791	0,052	0,791	0,791	0,790	0,738	0,917	0,748	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
1305	798	35	60	77	a = f
481	1670	23	20	81	b = N
39	20	1922	4	290	c = o
56	25	7	2187	0	d = s
78	64	223	0	1910	e = z

- Για 3 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      5031          66.372 %
Incorrectly Classified Instances    2549          33.628 %
Kappa statistic                    0.5797
Mean absolute error                 0.1374
Root mean squared error             0.3389
Relative absolute error             42.9523 %
Root relative squared error        84.7251 %
Total Number of Instances          7580

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,161   0,050   0,448     0,161   0,237     0,172    0,769    0,411    f
          0,720   0,167   0,519     0,720   0,603     0,494    0,874    0,556    n
          0,676   0,029   0,853     0,676   0,755     0,709    0,946    0,867    o
          0,873   0,013   0,945     0,873   0,908     0,887    0,994    0,961    s
          0,888   0,162   0,578     0,888   0,700     0,629    0,936    0,782    z
Weighted Avg.  0,664   0,084   0,669     0,664   0,641     0,578    0,904    0,716

=== Confusion Matrix ===

  a   b   c   d   e  <-- classified as
244 896  53  64 259 |   a = f
101 1092 49  3 271 |   b = n
 14  14 1025 10 453 |   c = o
186  2  4 1324  0 |   d = s
 0 100  70  0 1346 |   e = z

```

Multilayer Perceptron:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      5914          78.0211 %
Incorrectly Classified Instances    1666          21.9789 %
Kappa statistic                    0.7253
Mean absolute error                 0.1149
Root mean squared error             0.241
Relative absolute error             35.8983 %
Root relative squared error        60.2481 %
Total Number of Instances          7580

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,427   0,047   0,692     0,427   0,528     0,461    0,904    0,685    f
          0,806   0,149   0,575     0,806   0,671     0,585    0,905    0,622    n
          0,838   0,023   0,903     0,838   0,869     0,839    0,981    0,944    o
          0,970   0,005   0,981     0,970   0,975     0,969    0,995    0,991    s
          0,860   0,051   0,808     0,860   0,833     0,791    0,971    0,869    z
Weighted Avg.  0,780   0,055   0,792     0,780   0,775     0,729    0,951    0,822

=== Confusion Matrix ===

  a   b   c   d   e  <-- classified as
647 807  11  14  37 |   a = f
209 1222  9  15  61 |   b = n
 27  7 1271  0 211 |   c = o
 21  18  7 1470  0 |   d = s
 31  71  110  0 1304 |   e = z

```

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	5341	70.4617 %
Incorrectly Classified Instances	2239	29.5383 %
Kappa statistic	0.6308	
Mean absolute error	0.2556	
Root mean squared error	0.3396	
Relative absolute error	79.8615 %	
Root relative squared error	84.8961 %	
Total Number of Instances	7580	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,239	0,016	0,787	0,239	0,366	0,373	0,832	0,491	f
	0,751	0,144	0,565	0,751	0,645	0,549	0,868	0,519	n
	0,651	0,027	0,857	0,651	0,740	0,695	0,904	0,688	o
	0,954	0,008	0,967	0,954	0,960	0,951	0,993	0,959	s
	0,928	0,173	0,572	0,928	0,708	0,645	0,893	0,557	z
Weighted Avg.	0,705	0,074	0,750	0,705	0,684	0,643	0,898	0,643	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
362	789	36	36	293	a = f
65	1139	49	13	250	b = n
4	17	987	0	508	c = o
27	12	31	1446	0	d = s
2	58	49	0	1407	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	6220	82.058 %
Incorrectly Classified Instances	1360	17.942 %
Kappa statistic	0.7757	
Mean absolute error	0.0813	
Root mean squared error	0.2398	
Relative absolute error	25.4041 %	
Root relative squared error	59.9447 %	
Total Number of Instances	7580	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,559	0,051	0,732	0,559	0,634	0,565	0,886	0,656	f
	0,803	0,105	0,656	0,803	0,722	0,649	0,887	0,644	n
	0,864	0,022	0,908	0,864	0,885	0,858	0,950	0,869	o
	0,972	0,009	0,966	0,972	0,969	0,961	0,988	0,966	s
	0,904	0,037	0,859	0,904	0,881	0,851	0,947	0,803	z
Weighted Avg.	0,821	0,045	0,824	0,821	0,818	0,777	0,931	0,788	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
848	583	24	29	32	a = f
234	1217	11	17	37	b = n
27	17	1310	6	156	c = o
19	15	8	1474	0	d = s
31	24	90	0	1371	e = z

- Για 4 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      3836           67.4758 %
Incorrectly Classified Instances    1849           32.5242 %
Kappa statistic                     0.5934
Mean absolute error                  0.1336
Root mean squared error              0.3349
Relative absolute error              41.7356 %
Root relative squared error          83.7195 %
Total Number of Instances          5685

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,168   0,053   0,440     0,168   0,243     0,173   0,770    0,413    f
                0,756   0,173   0,522     0,756   0,618     0,514   0,880    0,572    n
                0,694   0,026   0,868     0,694   0,771     0,729   0,953    0,882    o
                0,866   0,011   0,953     0,866   0,907     0,887   0,994    0,963    s
                0,889   0,143   0,609     0,889   0,723     0,657   0,944    0,803    z
Weighted Avg.   0,675   0,081   0,678     0,675   0,652     0,592   0,908    0,726

=== Confusion Matrix ===

  a   b   c   d   e  <-- classified as
191 706  30  46 164 |  a = f
 79 860  35   0 163 |  b = n
 14   9 789   3 322 |  c = o
150   1   1 985   0 |  d = s
  0  72  54   0 1011 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      4476           78.7335 %
Incorrectly Classified Instances    1209           21.2665 %
Kappa statistic                     0.7342
Mean absolute error                  0.1083
Root mean squared error              0.2351
Relative absolute error              33.8298 %
Root relative squared error          58.7747 %
Total Number of Instances          5685

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,559   0,085   0,621     0,559   0,589     0,493   0,906    0,695    f
                0,674   0,105   0,615     0,674   0,643     0,550   0,913    0,641    n
                0,858   0,022   0,905     0,858   0,881     0,853   0,985    0,954    o
                0,978   0,007   0,970     0,978   0,974     0,968   0,998    0,994    s
                0,867   0,045   0,827     0,867   0,847     0,808   0,977    0,913    z
Weighted Avg.   0,787   0,053   0,788     0,787   0,787     0,734   0,956    0,840

=== Confusion Matrix ===

  a   b   c   d   e  <-- classified as
636 444   7  19  31 |  a = f
311 766   2  15  43 |  b = n
 27   2 976   0 132 |  c = o
 16   9   0 1112  0 |  d = s
 34  24  93   0 986 |  e = z

```

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	3986	70.1143 %
Incorrectly Classified Instances	1699	29.8857 %
Kappa statistic	0.6264	
Mean absolute error	0.2557	
Root mean squared error	0.3398	
Relative absolute error	79.901 %	
Root relative squared error	84.959 %	
Total Number of Instances	5685	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,242	0,018	0,775	0,242	0,369	0,371	0,828	0,487	f
	0,737	0,136	0,576	0,737	0,646	0,551	0,870	0,524	n
	0,645	0,027	0,854	0,645	0,735	0,690	0,905	0,684	o
	0,950	0,008	0,968	0,950	0,959	0,949	0,994	0,960	s
	0,932	0,185	0,558	0,932	0,698	0,634	0,889	0,544	z
Weighted Avg.	0,701	0,075	0,746	0,701	0,681	0,639	0,897	0,640	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
275	565	20	28	249	a = f
48	838	45	8	198	b = n
4	7	733	0	393	c = o
26	9	22	1080	0	d = s
2	37	38	0	1060	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	4747	83.5004 %
Incorrectly Classified Instances	938	16.4996 %
Kappa statistic	0.7938	
Mean absolute error	0.0766	
Root mean squared error	0.2294	
Relative absolute error	23.9297 %	
Root relative squared error	57.3515 %	
Total Number of Instances	5685	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,595	0,045	0,769	0,595	0,671	0,608	0,900	0,702	f
	0,836	0,096	0,686	0,836	0,754	0,690	0,909	0,697	n
	0,879	0,022	0,908	0,879	0,893	0,867	0,962	0,852	o
	0,970	0,009	0,966	0,970	0,968	0,960	0,986	0,963	s
	0,895	0,035	0,864	0,895	0,879	0,849	0,952	0,837	z
Weighted Avg.	0,835	0,041	0,839	0,835	0,833	0,795	0,942	0,810	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
676	400	9	26	26	a = f
149	951	7	11	19	b = n
12	9	999	2	115	c = o
23	9	2	1103	0	d = s
19	17	83	0	1018	e = z

- Για 5 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      3135          68.9769 %
Incorrectly Classified Instances    1410          31.0231 %
Kappa statistic                    0.6122
Mean absolute error                 0.1278
Root mean squared error             0.328
Relative absolute error             39.9221 %
Root relative squared error         82.0106 %
Total Number of Instances          4545

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,167   0,046   0,474      0,167   0,247      0,189    0,787    0,441    f
                0,794   0,176   0,530      0,794   0,636      0,540    0,884    0,574    n
                0,707   0,028   0,864      0,707   0,778      0,735    0,955    0,890    o
                0,888   0,012   0,949      0,888   0,918      0,899    0,994    0,962    s
                0,892   0,126   0,639      0,892   0,745      0,683    0,950    0,815    z
Weighted Avg.   0,690   0,078   0,691      0,690   0,665      0,609    0,914    0,736

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
152 582 23 38 114 | a = f
 57 722 32 1 97 | b = n
 10 5 643 4 247 | c = o
102 0 0 807 0 | d = s
 0 52 46 0 811 | e = z

```

Multilayer Perceptron:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      3612          79.4719 %
Incorrectly Classified Instances     933          20.5281 %
Kappa statistic                    0.7434
Mean absolute error                 0.1072
Root mean squared error             0.2344
Relative absolute error             33.514 %
Root relative squared error         58.5979 %
Total Number of Instances          4545

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,491   0,056   0,687      0,491   0,573      0,497    0,910    0,712    f
                0,748   0,116   0,618      0,748   0,677      0,591    0,917    0,657    n
                0,880   0,031   0,878      0,880   0,879      0,849    0,983    0,949    o
                0,979   0,006   0,978      0,979   0,979      0,973    0,994    0,990    s
                0,876   0,049   0,816      0,876   0,845      0,805    0,976    0,889    z
Weighted Avg.   0,795   0,051   0,796      0,795   0,790      0,743    0,956    0,839

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
446 398 14 9 42 | a = f
171 680 2 11 45 | b = n
 15 2 800 0 92 | c = o
 9 7 3 890 0 | d = s
 8 13 92 0 796 | e = z

```

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	3176	69.879 %
Incorrectly Classified Instances	1369	30.121 %
Kappa statistic	0.6235	
Mean absolute error	0.256	
Root mean squared error	0.3403	
Relative absolute error	80.0027 %	
Root relative squared error	85.0755 %	
Total Number of Instances	4545	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,239	0,017	0,775	0,239	0,365	0,368	0,820	0,482	f
	0,719	0,123	0,594	0,719	0,651	0,557	0,873	0,535	n
	0,631	0,022	0,876	0,631	0,734	0,694	0,905	0,693	o
	0,952	0,007	0,971	0,952	0,961	0,952	0,994	0,963	s
	0,953	0,207	0,535	0,953	0,685	0,623	0,885	0,527	z
Weighted Avg.	0,699	0,075	0,750	0,699	0,679	0,639	0,895	0,640	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
217	415	18	20	239	a = f
40	654	22	6	187	b = n
3	6	574	0	326	c = o
20	5	19	865	0	d = s
0	21	22	0	866	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	3800	83.6084 %
Incorrectly Classified Instances	745	16.3916 %
Kappa statistic	0.7951	
Mean absolute error	0.0724	
Root mean squared error	0.2301	
Relative absolute error	22.6364 %	
Root relative squared error	57.5258 %	
Total Number of Instances	4545	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,595	0,050	0,747	0,595	0,663	0,596	0,891	0,687	f
	0,810	0,094	0,682	0,810	0,740	0,672	0,899	0,690	n
	0,900	0,023	0,906	0,900	0,903	0,879	0,966	0,870	o
	0,974	0,009	0,964	0,974	0,969	0,961	0,988	0,963	s
	0,902	0,028	0,890	0,902	0,896	0,870	0,957	0,869	z
Weighted Avg.	0,836	0,041	0,838	0,836	0,834	0,796	0,940	0,816	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
541	319	15	17	17	a = f
144	736	5	8	16	b = n
14	5	818	5	67	c = o
12	6	5	885	1	d = s
13	13	60	3	820	e = z

- Για 6 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2586	70.3291 %
Incorrectly Classified Instances	1091	29.6709 %
Kappa statistic	0.6286	
Mean absolute error	0.1218	
Root mean squared error	0.3204	
Relative absolute error	38.1084 %	
Root relative squared error	80.1283 %	
Total Number of Instances	3677	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,160	0,046	0,475	0,160	0,239	0,181	0,790	0,448	f
	0,799	0,188	0,524	0,799	0,633	0,533	0,880	0,584	n
	0,780	0,027	0,859	0,780	0,817	0,782	0,970	0,913	o
	0,888	0,012	0,952	0,888	0,919	0,899	0,994	0,965	s
	0,901	0,100	0,701	0,901	0,788	0,734	0,964	0,874	z
Weighted Avg.	0,703	0,076	0,698	0,703	0,675	0,621	0,918	0,752	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
121	505	16	33	82	a = f
45	605	33	1	73	b = n
7	0	506	0	136	c = o
82	0	3	672	0	d = s
0	44	31	0	682	e = z

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	3005	81.7242 %
Incorrectly Classified Instances	672	18.2758 %
Kappa statistic	0.7713	
Mean absolute error	0.0972	
Root mean squared error	0.222	
Relative absolute error	30.4048 %	
Root relative squared error	55.5117 %	
Total Number of Instances	3677	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,577	0,071	0,680	0,577	0,624	0,539	0,915	0,722	f
	0,717	0,104	0,642	0,717	0,677	0,589	0,916	0,664	n
	0,898	0,016	0,925	0,898	0,912	0,893	0,992	0,971	o
	0,982	0,008	0,970	0,982	0,976	0,969	0,997	0,990	s
	0,923	0,032	0,883	0,923	0,903	0,877	0,989	0,956	z
Weighted Avg.	0,817	0,047	0,817	0,817	0,816	0,770	0,961	0,857	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
437	286	2	13	19	a = f
179	543	5	7	23	b = n
10	2	583	3	51	c = o
5	5	4	743	0	d = s
12	10	36	0	699	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2574	70.0027 %
Incorrectly Classified Instances	1103	29.9973 %
Kappa statistic	0.6239	
Mean absolute error	0.2559	
Root mean squared error	0.3403	
Relative absolute error	80.0492 %	
Root relative squared error	85.1065 %	
Total Number of Instances	3677	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,239	0,017	0,784	0,239	0,366	0,370	0,814	0,487	f
	0,712	0,129	0,588	0,712	0,644	0,544	0,862	0,522	n
	0,609	0,013	0,912	0,609	0,730	0,705	0,909	0,696	o
	0,952	0,008	0,968	0,952	0,960	0,950	0,994	0,961	s
	0,975	0,210	0,546	0,975	0,700	0,642	0,888	0,542	z
Weighted Avg.	0,700	0,077	0,755	0,700	0,679	0,640	0,893	0,640	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
181	354	2	18	202	a = f
29	539	18	6	165	b = n
2	6	395	0	246	c = o
19	4	13	721	0	d = s
0	14	5	0	738	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	3121	84.879 %
Incorrectly Classified Instances	556	15.121 %
Kappa statistic	0.8108	
Mean absolute error	0.0686	
Root mean squared error	0.2173	
Relative absolute error	21.4484 %	
Root relative squared error	54.3462 %	
Total Number of Instances	3677	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,572	0,046	0,765	0,572	0,655	0,590	0,899	0,704	f
	0,860	0,106	0,678	0,860	0,758	0,694	0,913	0,720	n
	0,928	0,011	0,947	0,928	0,937	0,924	0,979	0,940	o
	0,960	0,010	0,960	0,960	0,960	0,950	0,984	0,950	s
	0,935	0,017	0,934	0,935	0,935	0,918	0,970	0,900	z
Weighted Avg.	0,849	0,039	0,854	0,849	0,846	0,812	0,948	0,840	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
433	283	11	20	10	a = f
88	651	1	8	9	b = n
11	3	602	2	31	c = o
18	11	1	727	0	d = s
16	12	21	0	708	e = z

- Για 7 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2279	70.2311 %
Incorrectly Classified Instances	966	29.7689 %
Kappa statistic	0.6279	
Mean absolute error	0.1224	
Root mean squared error	0.321	
Relative absolute error	38.2449 %	
Root relative squared error	80.2581 %	
Total Number of Instances	3245	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,173	0,044	0,496	0,173	0,256	0,202	0,797	0,456	f
	0,820	0,184	0,527	0,820	0,642	0,550	0,886	0,579	n
	0,735	0,025	0,880	0,735	0,801	0,761	0,962	0,905	o
	0,897	0,012	0,951	0,897	0,923	0,905	0,995	0,965	s
	0,888	0,108	0,673	0,888	0,765	0,708	0,957	0,836	z
Weighted Avg.	0,702	0,074	0,705	0,702	0,677	0,625	0,920	0,748	

=== Confusion Matrix ===

```

a  b  c  d  e  <-- classified as
112 430 14 29 64 | a = f
40 532 21 1 55 | b = n
7 4 477 0 161 | c = o
67 0 0 582 0 | d = s
0 43 30 0 576 | e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2632	81.1094 %
Incorrectly Classified Instances	613	18.8906 %
Kappa statistic	0.7639	
Mean absolute error	0.1	
Root mean squared error	0.2254	
Relative absolute error	31.2535 %	
Root relative squared error	56.3404 %	
Total Number of Instances	3245	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,502	0,056	0,692	0,502	0,582	0,507	0,915	0,717	f
	0,781	0,121	0,618	0,781	0,690	0,607	0,922	0,679	n
	0,895	0,017	0,930	0,895	0,912	0,891	0,989	0,966	o
	0,983	0,006	0,977	0,983	0,980	0,975	0,998	0,994	s
	0,894	0,037	0,859	0,894	0,876	0,845	0,983	0,923	z
Weighted Avg.	0,811	0,047	0,815	0,811	0,808	0,765	0,961	0,856	

=== Confusion Matrix ===

```

a  b  c  d  e  <-- classified as
326 298 2 7 16 | a = f
114 507 1 6 21 | b = n
8 0 581 2 58 | c = o
7 4 0 638 0 | d = s
16 12 41 0 580 | e = z

```

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2246	69.2142 %
Incorrectly Classified Instances	999	30.7858 %
Kappa statistic	0.6152	
Mean absolute error	0.2564	
Root mean squared error	0.3409	
Relative absolute error	80.1117 %	
Root relative squared error	85.2229 %	
Total Number of Instances	3245	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,231	0,015	0,794	0,231	0,358	0,369	0,816	0,486	f
	0,704	0,121	0,592	0,704	0,643	0,548	0,869	0,527	n
	0,604	0,020	0,881	0,604	0,717	0,679	0,900	0,683	o
	0,951	0,007	0,970	0,951	0,960	0,951	0,994	0,963	s
	0,971	0,221	0,524	0,971	0,680	0,621	0,883	0,519	z
Weighted Avg.	0,692	0,077	0,752	0,692	0,672	0,633	0,892	0,636	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
150	298	9	15	177	a = f
21	457	22	4	145	b = n
1	5	392	0	251	c = o
17	3	12	617	0	d = s
0	9	10	0	630	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2773	85.4545 %
Incorrectly Classified Instances	472	14.5455 %
Kappa statistic	0.8182	
Mean absolute error	0.0651	
Root mean squared error	0.2184	
Relative absolute error	20.3332 %	
Root relative squared error	54.5996 %	
Total Number of Instances	3245	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,684	0,062	0,733	0,684	0,708	0,638	0,903	0,715	f
	0,772	0,071	0,731	0,772	0,751	0,687	0,914	0,714	n
	0,915	0,017	0,930	0,915	0,922	0,903	0,964	0,896	o
	0,974	0,009	0,965	0,974	0,969	0,962	0,988	0,965	s
	0,928	0,022	0,912	0,928	0,920	0,900	0,965	0,866	z
Weighted Avg.	0,855	0,036	0,854	0,855	0,854	0,818	0,947	0,831	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
444	174	6	19	6	a = f
137	501	1	3	7	b = n
6	3	594	1	45	c = o
13	1	3	632	0	d = s
6	6	35	0	602	e = z

- Για 8 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1989	70.0352 %
Incorrectly Classified Instances	851	29.9648 %
Kappa statistic	0.6254	
Mean absolute error	0.1212	
Root mean squared error	0.3202	
Relative absolute error	37.8879 %	
Root relative squared error	80.0519 %	
Total Number of Instances	2840	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,169	0,048	0,468	0,169	0,248	0,187	0,793	0,452	f
	0,812	0,188	0,519	0,812	0,633	0,538	0,886	0,579	n
	0,738	0,021	0,899	0,738	0,810	0,774	0,966	0,914	o
	0,891	0,012	0,948	0,891	0,918	0,899	0,995	0,965	s
	0,893	0,105	0,680	0,893	0,772	0,716	0,961	0,849	z
Weighted Avg.	0,700	0,075	0,703	0,700	0,676	0,623	0,920	0,752	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
96	390	5	27	50	a = f
39	461	18	1	49	b = n
8	1	419	0	140	c = o
62	0	0	506	0	d = s
0	37	24	0	507	e = z

Multilayer Perceptron:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      2277          80.1761 %
Incorrectly Classified Instances    563           19.8239 %
Kappa statistic                    0.7522
Mean absolute error                 0.1026
Root mean squared error             0.2305
Relative absolute error             32.053 %
Root relative squared error         57.6209 %
Total Number of Instances          2840

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,424   0,032   0,768     0,424   0,546     0,500    0,915    0,727    f
                0,873   0,146   0,600     0,873   0,711     0,641    0,919    0,681    n
                0,868   0,024   0,901     0,868   0,884     0,856    0,982    0,947    o
                0,977   0,006   0,977     0,977   0,977     0,971    0,995    0,992    s
                0,866   0,040   0,842     0,866   0,854     0,817    0,977    0,909    z
Weighted Avg.   0,802   0,050   0,818     0,802   0,795     0,757    0,958    0,851

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
241 306  3  7  11 | a = f
 47 496  3  6  16 | b = n
 10  0 493  0  65 | c = o
  8  3  2 555  0 | d = s
  8 22 46  0 492 | e = z

```

SMO:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1947          68.5563 %
Incorrectly Classified Instances    893           31.4437 %
Kappa statistic                    0.607
Mean absolute error                 0.2567
Root mean squared error             0.3413
Relative absolute error             80.2068 %
Root relative squared error         85.3281 %
Total Number of Instances          2840

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,215   0,019   0,739     0,215   0,333     0,335    0,813    0,471    f
                0,688   0,129   0,572     0,688   0,625     0,524    0,865    0,512    n
                0,607   0,017   0,901     0,607   0,726     0,692    0,902    0,696    o
                0,942   0,007   0,973     0,942   0,957     0,947    0,994    0,965    s
                0,975   0,222   0,523     0,975   0,681     0,623    0,883    0,519    z
Weighted Avg.   0,686   0,079   0,742     0,686   0,664     0,624    0,892    0,633

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
122 277  6  13 150 | a = f
 23 391 16  2 136 | b = n
  0  4 345  0 219 | c = o
 20  4  9 535  0 | d = s
  0  7  7  0 554 | e = z

```

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      2419           85.1761 %
Incorrectly Classified Instances    421            14.8239 %
Kappa statistic                     0.8147
Mean absolute error                 0.0684
Root mean squared error            0.2232
Relative absolute error             21.3743 %
Root relative squared error        55.8124 %
Total Number of Instances          2840

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,627   0,051   0,756     0,627   0,685     0,620   0,891    0,667    f
                0,833   0,085   0,709     0,833   0,766     0,705   0,907    0,704    n
                0,919   0,018   0,927     0,919   0,923     0,904   0,960    0,870    o
                0,961   0,008   0,966     0,961   0,964     0,955   0,986    0,958    s
                0,919   0,023   0,909     0,919   0,914     0,893   0,960    0,870    z
Weighted Avg.   0,852   0,037   0,854     0,852   0,850     0,815   0,941    0,814

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
356 182  4  17  9 |  a = f
 82 473  2  2  9 |  b = n
  9  3 522  0 34 |  c = o
 17  5  0 546  0 |  d = s
  7  4  35  0 522 |  e = z

```

- Για 9 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1812           71.9048 %
Incorrectly Classified Instances    708            28.0952 %
Kappa statistic                     0.6488
Mean absolute error                 0.1172
Root mean squared error            0.3161
Relative absolute error             36.6097 %
Root relative squared error        79.0134 %
Total Number of Instances          2520

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,169   0,040   0,512     0,169   0,254     0,207   0,802    0,470    f
                0,855   0,187   0,533     0,855   0,657     0,573   0,888    0,573    n
                0,750   0,017   0,915     0,750   0,824     0,792   0,967    0,916    o
                0,913   0,011   0,952     0,913   0,932     0,916   0,995    0,968    s
                0,909   0,095   0,705     0,909   0,794     0,744   0,963    0,861    z
Weighted Avg.   0,719   0,070   0,724     0,719   0,692     0,646   0,923    0,758

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
85 349  7  23  40 |  a = f
31 431 11  0  31 |  b = n
 5  0 378  0 121 |  c = o
44  0  0 460  0 |  d = s
 1  28 17  0 458 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	2039	80.9127 %
Incorrectly Classified Instances	481	19.0873 %
Kappa statistic	0.7614	
Mean absolute error	0.0986	
Root mean squared error	0.2237	
Relative absolute error	30.8011 %	
Root relative squared error	55.9257 %	
Total Number of Instances	2520	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,518	0,061	0,681	0,518	0,589	0,510	0,918	0,733	f
	0,760	0,122	0,610	0,760	0,677	0,590	0,919	0,654	n
	0,869	0,011	0,950	0,869	0,908	0,887	0,991	0,972	o
	0,988	0,004	0,982	0,988	0,985	0,981	0,996	0,995	s
	0,911	0,041	0,848	0,911	0,878	0,848	0,983	0,909	z
Weighted Avg.	0,809	0,048	0,814	0,809	0,807	0,763	0,961	0,853	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
261	229	1	3	10	a = f
97	383	0	6	18	b = n
12	0	438	0	54	c = o
3	3	0	498	0	d = s
10	13	22	0	459	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1725	68.4524 %
Incorrectly Classified Instances	795	31.5476 %
Kappa statistic	0.6057	
Mean absolute error	0.2569	
Root mean squared error	0.3417	
Relative absolute error	80.2924 %	
Root relative squared error	85.4369 %	
Total Number of Instances	2520	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,204	0,015	0,769	0,204	0,323	0,337	0,813	0,469	f
	0,698	0,134	0,565	0,698	0,625	0,523	0,860	0,505	n
	0,593	0,018	0,893	0,593	0,713	0,678	0,899	0,684	o
	0,950	0,008	0,968	0,950	0,959	0,949	0,993	0,960	s
	0,976	0,219	0,527	0,976	0,685	0,627	0,884	0,523	z
Weighted Avg.	0,685	0,079	0,744	0,685	0,661	0,623	0,890	0,628	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
103	259	5	13	124	a = f
17	352	17	3	115	b = n
0	3	299	0	202	c = o
14	3	8	479	0	d = s
0	6	6	0	492	e = z

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      2147          85.1984 %
Incorrectly Classified Instances    373           14.8016 %
Kappa statistic                    0.815
Mean absolute error                 0.0684
Root mean squared error             0.2238
Relative absolute error              21.3632 %
Root relative squared error         55.9517 %
Total Number of Instances          2520

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,627   0,050   0,758     0,627   0,686     0,621   0,895    0,693    f
                0,806   0,086   0,701     0,806   0,750     0,684   0,905    0,668    n
                0,921   0,016   0,934     0,921   0,927     0,909   0,968    0,914    o
                0,970   0,009   0,963     0,970   0,966     0,958   0,985    0,959    s
                0,937   0,023   0,909     0,937   0,923     0,903   0,971    0,883    z
Weighted Avg.   0,852   0,037   0,853     0,852   0,850     0,815   0,945    0,823

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
316 162  5  15  6 | a = f
 84 406  2  4  8 | b = n
  3  4 464  0 33 | c = o
 11  3  1 489  0 | d = s
  3  4  25  0 472 | e = z

```

- Για 10 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1637          72.1145 %
Incorrectly Classified Instances    633           27.8855 %
Kappa statistic                    0.6514
Mean absolute error                 0.1155
Root mean squared error             0.313
Relative absolute error              36.0786 %
Root relative squared error         78.2507 %
Total Number of Instances          2270

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,181   0,039   0,536     0,181   0,270     0,226   0,805    0,481    f
                0,846   0,186   0,533     0,846   0,654     0,567   0,889    0,598    n
                0,758   0,020   0,905     0,758   0,825     0,791   0,968    0,921    o
                0,912   0,012   0,950     0,912   0,930     0,914   0,995    0,969    s
                0,910   0,092   0,712     0,910   0,799     0,750   0,965    0,867    z
Weighted Avg.   0,721   0,070   0,727     0,721   0,696     0,649   0,925    0,767

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
 82 311  4  21 36 | a = f
 26 384 15  1 28 | b = n
  5  2 344  0 103 | c = o
 40  0  0 414  0 | d = s
  0 24  17  0 413 | e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1765	77.7533 %
Incorrectly Classified Instances	505	22.2467 %
Kappa statistic	0.7219	
Mean absolute error	0.1068	
Root mean squared error	0.2411	
Relative absolute error	33.3796 %	
Root relative squared error	60.2647 %	
Total Number of Instances	2270	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,443	0,041	0,728	0,443	0,551	0,491	0,917	0,725	f
	0,797	0,132	0,601	0,797	0,686	0,603	0,920	0,676	n
	0,892	0,049	0,820	0,892	0,854	0,817	0,984	0,946	o
	0,980	0,007	0,972	0,980	0,976	0,970	0,998	0,995	s
	0,775	0,048	0,800	0,775	0,787	0,736	0,965	0,874	z
Weighted Avg.	0,778	0,056	0,784	0,778	0,771	0,723	0,957	0,843	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
201	220	4	6	23	a = f
58	362	2	7	25	b = n
8	1	405	0	40	c = o
3	4	2	445	0	d = s
6	15	81	0	352	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1558	68.6344 %
Incorrectly Classified Instances	712	31.3656 %
Kappa statistic	0.6079	
Mean absolute error	0.2572	
Root mean squared error	0.3422	
Relative absolute error	80.3852 %	
Root relative squared error	85.5499 %	
Total Number of Instances	2270	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,200	0,015	0,771	0,200	0,318	0,334	0,805	0,465	f
	0,692	0,129	0,573	0,692	0,627	0,526	0,862	0,509	n
	0,606	0,014	0,917	0,606	0,729	0,699	0,899	0,704	o
	0,956	0,008	0,969	0,956	0,962	0,953	0,993	0,962	s
	0,978	0,227	0,519	0,978	0,678	0,620	0,881	0,515	z
Weighted Avg.	0,686	0,078	0,750	0,686	0,663	0,626	0,888	0,631	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
91	225	3	13	122	a = f
14	314	11	1	114	b = n
0	3	275	0	176	c = o
13	2	5	434	0	d = s
0	4	6	0	444	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1903	83.8326 %
Incorrectly Classified Instances	367	16.1674 %
Kappa statistic	0.7979	
Mean absolute error	0.0726	
Root mean squared error	0.2291	
Relative absolute error	22.6944 %	
Root relative squared error	57.2663 %	
Total Number of Instances	2270	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,606	0,063	0,705	0,606	0,652	0,575	0,885	0,649	f
	0,784	0,093	0,678	0,784	0,727	0,656	0,904	0,678	n
	0,923	0,017	0,933	0,923	0,928	0,910	0,973	0,907	o
	0,969	0,008	0,967	0,969	0,968	0,960	0,984	0,962	s
	0,910	0,021	0,916	0,910	0,913	0,891	0,962	0,863	z
Weighted Avg.	0,838	0,040	0,840	0,838	0,838	0,798	0,942	0,812	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
275	154	6	12	7	a = f
88	356	1	3	6	b = n
8	2	419	0	25	c = o
10	3	1	440	0	d = s
9	10	22	0	413	e = z

- Για 11 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1485	72.0874 %
Incorrectly Classified Instances	575	27.9126 %
Kappa statistic	0.6511	
Mean absolute error	0.1144	
Root mean squared error	0.3125	
Relative absolute error	35.7347 %	
Root relative squared error	78.1307 %	
Total Number of Instances	2060	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,182	0,040	0,532	0,182	0,271	0,225	0,806	0,473	f
	0,845	0,186	0,531	0,845	0,652	0,566	0,889	0,584	n
	0,757	0,017	0,918	0,757	0,830	0,798	0,971	0,926	o
	0,915	0,012	0,952	0,915	0,933	0,917	0,995	0,967	s
	0,905	0,094	0,706	0,905	0,794	0,743	0,966	0,869	z
Weighted Avg.	0,721	0,070	0,728	0,721	0,696	0,650	0,925	0,764	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
75	283	2	18	34	a = f
27	348	10	1	26	b = n
4	1	312	0	95	c = o
35	0	0	377	0	d = s
0	23	16	0	373	e = z

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1713	83.1553 %
Incorrectly Classified Instances	347	16.8447 %
Kappa statistic	0.7894	
Mean absolute error	0.0941	
Root mean squared error	0.2184	
Relative absolute error	29.4063 %	
Root relative squared error	54.5983 %	
Total Number of Instances	2060	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,544	0,043	0,759	0,544	0,634	0,572	0,923	0,749	f
	0,835	0,112	0,652	0,835	0,732	0,663	0,930	0,703	n
	0,910	0,018	0,928	0,910	0,919	0,899	0,992	0,974	o
	0,981	0,005	0,981	0,981	0,981	0,976	0,998	0,995	s
	0,888	0,033	0,869	0,888	0,879	0,848	0,984	0,931	z
Weighted Avg.	0,832	0,042	0,838	0,832	0,829	0,791	0,966	0,870	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
224	169	0	5	14	a = f
54	344	0	3	11	b = n
7	0	375	0	30	c = o
3	4	1	404	0	d = s
7	11	28	0	366	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1403	68.1068 %
Incorrectly Classified Instances	657	31.8932 %
Kappa statistic	0.6013	
Mean absolute error	0.2572	
Root mean squared error	0.3421	
Relative absolute error	80.3639 %	
Root relative squared error	85.5349 %	
Total Number of Instances	2060	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,194	0,018	0,734	0,194	0,307	0,316	0,807	0,458	f
	0,689	0,130	0,569	0,689	0,623	0,522	0,862	0,506	n
	0,587	0,012	0,927	0,587	0,719	0,692	0,901	0,703	o
	0,949	0,007	0,970	0,949	0,960	0,950	0,994	0,964	s
	0,985	0,232	0,515	0,985	0,677	0,620	0,881	0,513	z
Weighted Avg.	0,681	0,080	0,743	0,681	0,657	0,620	0,889	0,629	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
80	209	1	11	111	a = f
13	284	9	1	105	b = n
1	3	242	0	166	c = o
15	1	5	391	0	d = s
0	2	4	0	406	e = z

J48:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances    1761           85.4854 %
Incorrectly Classified Instances   299           14.5146 %
Kappa statistic                   0.8186
Mean absolute error               0.0665
Root mean squared error          0.2189
Relative absolute error           20.7767 %
Root relative squared error       54.7296 %
Total Number of Instances        2060

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,595   0,042   0,778     0,595   0,674     0,614   0,893    0,687    f
          0,847   0,097   0,686     0,847   0,758     0,696   0,898    0,663    n
          0,925   0,013   0,945     0,925   0,935     0,919   0,974    0,937    o
          0,968   0,007   0,971     0,968   0,970     0,962   0,985    0,954    s
          0,939   0,021   0,917     0,939   0,928     0,910   0,968    0,886    z
Weighted Avg.  0,855   0,036   0,859     0,855   0,853     0,820   0,944    0,826

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
245 149  4  10  4 |  a = f
 53 349  3  2  5 |  b = n
  2  3 381  0  26 |  c = o
  9  2  2 399  0 |  d = s
  6  6  13  0 387 |  e = z
```

- Για 12 sec:

Naïve Bayes:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances    1386           73.3333 %
Incorrectly Classified Instances   504           26.6667 %
Kappa statistic                   0.6667
Mean absolute error               0.1111
Root mean squared error          0.3086
Relative absolute error           34.7077 %
Root relative squared error       77.1475 %
Total Number of Instances        1890

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,180   0,039   0,535     0,180   0,269     0,225   0,808    0,486    f
          0,873   0,188   0,537     0,873   0,665     0,584   0,892    0,595    n
          0,772   0,015   0,927     0,772   0,843     0,813   0,971    0,929    o
          0,915   0,012   0,951     0,915   0,933     0,916   0,995    0,971    s
          0,926   0,079   0,746     0,926   0,826     0,785   0,969    0,876    z
Weighted Avg.  0,733   0,067   0,739     0,733   0,707     0,665   0,927    0,771

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
68 266  3  18  23 |  a = f
24 330 10  0  14 |  b = n
 3  1 292  0  82 |  c = o
32  0  0 346  0 |  d = s
 0  18 10  0 350 |  e = z
```

Multilayer Perceptron:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1549           81.9577 %
Incorrectly Classified Instances    341            18.0423 %
Kappa statistic                    0.7745
Mean absolute error                0.0985
Root mean squared error            0.2214
Relative absolute error            30.7731 %
Root relative squared error        55.3589 %
Total Number of Instances          1890

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,590  0,062  0,706     0,590  0,643     0,566   0,923    0,748    f
                0,757  0,106  0,640     0,757  0,693     0,612   0,923    0,660    n
                0,902  0,019  0,922     0,902  0,912     0,890   0,990    0,972    o
                0,963  0,005  0,981     0,963  0,972     0,965   0,995    0,991    s
                0,886  0,034  0,868     0,886  0,877     0,846   0,986    0,943    z
Weighted Avg.   0,820  0,045  0,823     0,820  0,819     0,776   0,963    0,863

=== Confusion Matrix ===

 a  b  c  d  e  <-- classified as
223 146 0  4  5 | a = f
 72 286 0  3 17 | b = n
  7  1 341 0 29 | c = o
  8  4  2 364 0 | d = s
  6 10 27  0 335 | e = z

```

SMO:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1294           68.4656 %
Incorrectly Classified Instances    596            31.5344 %
Kappa statistic                    0.6058
Mean absolute error                0.2573
Root mean squared error            0.3423
Relative absolute error            80.4098 %
Root relative squared error        85.5821 %
Total Number of Instances          1890

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,196  0,013  0,796     0,196  0,314     0,339   0,806    0,470    f
                0,698  0,130  0,573     0,698  0,629     0,529   0,863    0,511    n
                0,593  0,013  0,918     0,593  0,720     0,691   0,895    0,698    o
                0,947  0,006  0,975     0,947  0,961     0,952   0,993    0,968    s
                0,989  0,232  0,516     0,989  0,678     0,623   0,882    0,514    z
Weighted Avg.   0,685  0,079  0,756     0,685  0,661     0,627   0,888    0,632

=== Confusion Matrix ===

 a  b  c  d  e  <-- classified as
 74 190  1  8 105 | a = f
  9 264  9  1 95 | b = n
  0  3 224  0 151 | c = o
 10  2  8 358  0 | d = s
  0  2  2  0 374 | e = z

```

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1614          85.3968 %
Incorrectly Classified Instances    276           14.6032 %
Kappa statistic                    0.8175
Mean absolute error                 0.0645
Root mean squared error            0.2183
Relative absolute error             20.1426 %
Root relative squared error        54.5686 %
Total Number of Instances          1890

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,653   0,062   0,726     0,653   0,688     0,616   0,902    0,716    f
                0,770   0,079   0,708     0,770   0,738     0,670   0,909    0,700    n
                0,942   0,016   0,937     0,942   0,939     0,924   0,971    0,928    o
                0,966   0,008   0,968     0,966   0,967     0,959   0,981    0,945    s
                0,939   0,018   0,929     0,939   0,934     0,918   0,971    0,887    z
Weighted Avg.   0,854   0,037   0,854     0,854   0,853     0,817   0,947    0,835

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
247 111  7  8  5 |  a = f
 78 291  0  4  5 |  b = n
  1  4 356  0 17 |  c = o
 11  2  0 365  0 |  d = s
  3  3 17  0 355 |  e = z

```

- Για 13 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1283          73.5244 %
Incorrectly Classified Instances    462           26.4756 %
Kappa statistic                    0.6691
Mean absolute error                 0.1102
Root mean squared error            0.3072
Relative absolute error            34.4444 %
Root relative squared error        76.7908 %
Total Number of Instances          1745

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,192   0,039   0,549     0,192   0,285     0,239   0,813    0,495    f
                0,877   0,185   0,543     0,877   0,670     0,592   0,891    0,592    n
                0,768   0,014   0,934     0,768   0,843     0,814   0,973    0,933    o
                0,917   0,011   0,955     0,917   0,936     0,920   0,996    0,972    s
                0,923   0,082   0,737     0,923   0,819     0,776   0,969    0,879    z
Weighted Avg.   0,735   0,066   0,744     0,735   0,711     0,668   0,928    0,774

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
67 243  0 15 24 |  a = f
20 306  8  0 15 |  b = n
  5  0 268  0 76 |  c = o
29  0  0 320  0 |  d = s
 1 15 11  0 322 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1414	81.0315 %
Incorrectly Classified Instances	331	18.9685 %
Kappa statistic	0.7629	
Mean absolute error	0.0991	
Root mean squared error	0.2264	
Relative absolute error	30.959 %	
Root relative squared error	56.5924 %	
Total Number of Instances	1745	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,587	0,074	0,666	0,587	0,624	0,539	0,916	0,728	f
	0,696	0,100	0,634	0,696	0,664	0,576	0,919	0,662	n
	0,865	0,011	0,953	0,865	0,907	0,887	0,992	0,973	o
	0,966	0,004	0,983	0,966	0,974	0,968	0,998	0,996	s
	0,937	0,048	0,830	0,937	0,880	0,850	0,984	0,932	z
Weighted Avg.	0,810	0,047	0,813	0,810	0,810	0,764	0,962	0,858	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
205	132	1	3	8	a = f
87	243	0	3	16	b = n
4	0	302	0	43	c = o
8	1	3	337	0	d = s
4	7	11	0	327	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1177	67.4499 %
Incorrectly Classified Instances	568	32.5501 %
Kappa statistic	0.5931	
Mean absolute error	0.2578	
Root mean squared error	0.3431	
Relative absolute error	80.5658 %	
Root relative squared error	85.7696 %	
Total Number of Instances	1745	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,178	0,013	0,775	0,178	0,289	0,315	0,802	0,457	f
	0,676	0,132	0,562	0,676	0,614	0,509	0,857	0,498	n
	0,585	0,014	0,911	0,585	0,712	0,682	0,897	0,695	o
	0,951	0,008	0,968	0,951	0,960	0,950	0,995	0,964	s
	0,983	0,240	0,506	0,983	0,668	0,610	0,876	0,503	z
Weighted Avg.	0,674	0,081	0,744	0,674	0,648	0,613	0,885	0,623	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
62	178	1	10	98	a = f
8	236	10	1	94	b = n
1	1	204	0	143	c = o
9	3	5	332	0	d = s
0	2	4	0	343	e = z

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1461           83.7249 %
Incorrectly Classified Instances    284            16.2751 %
Kappa statistic                    0.7966
Mean absolute error                 0.0712
Root mean squared error             0.2336
Relative absolute error             22.2601 %
Root relative squared error        58.3963 %
Total Number of Instances          1745

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,593   0,067   0,688     0,593   0,637     0,557   0,864    0,637    f
                0,748   0,092   0,669     0,748   0,706     0,629   0,880    0,635    n
                0,940   0,018   0,929     0,940   0,934     0,918   0,966    0,876    o
                0,946   0,010   0,959     0,946   0,952     0,941   0,972    0,928    s
                0,960   0,016   0,938     0,960   0,949     0,936   0,976    0,905    z
Weighted Avg.   0,837   0,041   0,837     0,837   0,836     0,796   0,932    0,796

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
207 123  5 12  2 |  a = f
 80 261  2  2  4 |  b = n
  3  2 328  0 16 |  c = o
 11  3  5 330  0 |  d = s
  0  1 13  0 335 |  e = z

```

- Για 14 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1199           74.0123 %
Incorrectly Classified Instances    421            25.9877 %
Kappa statistic                    0.6752
Mean absolute error                 0.1085
Root mean squared error             0.3049
Relative absolute error             33.8923 %
Root relative squared error        76.2203 %
Total Number of Instances          1620

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,191   0,035   0,574     0,191   0,287     0,250   0,821    0,511    f
                0,886   0,187   0,543     0,886   0,673     0,596   0,894    0,603    n
                0,781   0,015   0,930     0,781   0,849     0,820   0,975    0,935    o
                0,929   0,011   0,956     0,929   0,942     0,928   0,995    0,969    s
                0,914   0,077   0,747     0,914   0,822     0,779   0,972    0,885    z
Weighted Avg.   0,740   0,065   0,750     0,740   0,715     0,675   0,931    0,781

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
 62 224  1 14 23 |  a = f
 21 287  8  0  8 |  b = n
  2  0 253  0 69 |  c = o
 23  0  0 301  0 |  d = s
  0 18 10  0 296 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1316	81.2346 %
Incorrectly Classified Instances	304	18.7654 %
Kappa statistic	0.7654	
Mean absolute error	0.097	
Root mean squared error	0.2227	
Relative absolute error	30.3104 %	
Root relative squared error	55.678 %	
Total Number of Instances	1620	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,531	0,058	0,696	0,531	0,602	0,526	0,916	0,738	f
	0,725	0,106	0,632	0,725	0,675	0,589	0,925	0,672	n
	0,889	0,010	0,957	0,889	0,922	0,904	0,994	0,980	o
	0,975	0,004	0,984	0,975	0,980	0,975	0,998	0,993	s
	0,941	0,057	0,805	0,941	0,868	0,836	0,985	0,937	z
Weighted Avg.	0,812	0,047	0,815	0,812	0,809	0,766	0,964	0,864	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
172	130	1	2	19	a = f
61	235	2	3	23	b = n
3	1	288	0	32	c = o
7	0	1	316	0	d = s
4	6	9	0	305	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1099	67.8395 %
Incorrectly Classified Instances	521	32.1605 %
Kappa statistic	0.598	
Mean absolute error	0.2577	
Root mean squared error	0.3429	
Relative absolute error	80.5319 %	
Root relative squared error	85.7163 %	
Total Number of Instances	1620	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,201	0,015	0,774	0,201	0,319	0,335	0,808	0,472	f
	0,694	0,129	0,574	0,694	0,628	0,528	0,863	0,508	n
	0,571	0,015	0,907	0,571	0,701	0,671	0,894	0,685	o
	0,941	0,006	0,974	0,941	0,958	0,947	0,994	0,968	s
	0,985	0,238	0,509	0,985	0,671	0,613	0,878	0,506	z
Weighted Avg.	0,678	0,080	0,748	0,678	0,655	0,619	0,887	0,628	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
65	162	1	8	88	a = f
10	225	6	0	83	b = n
0	2	185	0	137	c = o
9	2	8	305	0	d = s
0	1	4	0	319	e = z

J48:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1365           84.2593 %
Incorrectly Classified Instances    255           15.7407 %
Kappa statistic                    0.8032
Mean absolute error                 0.0724
Root mean squared error            0.2268
Relative absolute error            22.6214 %
Root relative squared error        56.6919 %
Total Number of Instances          1620

=== Detailed Accuracy By Class ===

      TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
      0,534   0,046   0,742     0,534   0,621     0,556   0,879    0,640    f
      0,846   0,106   0,665     0,846   0,745     0,679   0,888    0,672    n
      0,935   0,014   0,944     0,935   0,940     0,925   0,963    0,899    o
      0,951   0,010   0,960     0,951   0,955     0,944   0,981    0,952    s
      0,948   0,020   0,922     0,948   0,935     0,918   0,975    0,890    z
Weighted Avg.   0,843   0,039   0,847     0,843   0,839     0,804   0,937    0,810

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
173 132  3  11  5 |  a = f
 42 274  2  2  4 |  b = n
  3  1 303  0 17 |  c = o
 13  2  1 308  0 |  d = s
  2  3  12  0 307 |  e = z
```

- Για 15 sec:

Naïve Bayes:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1137           75.298 %
Incorrectly Classified Instances    373           24.702 %
Kappa statistic                    0.6912
Mean absolute error                 0.1044
Root mean squared error            0.3
Relative absolute error            32.6103 %
Root relative squared error        74.9966 %
Total Number of Instances          1510

=== Detailed Accuracy By Class ===

      TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
      0,192   0,031   0,604     0,192   0,291     0,263   0,816    0,505    f
      0,911   0,183   0,554     0,911   0,689     0,620   0,895    0,601    n
      0,801   0,012   0,942     0,801   0,866     0,840   0,976    0,941    o
      0,937   0,012   0,950     0,937   0,943     0,929   0,995    0,968    s
      0,924   0,070   0,769     0,924   0,839     0,800   0,974    0,895    z
Weighted Avg.   0,753   0,062   0,764     0,753   0,726     0,690   0,931    0,782

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
 58 208  1  14  21 |  a = f
 16 275  5  1  5 |  b = n
  2  0 242  0  58 |  c = o
 19  0  0 283  0 |  d = s
  1 13  9  0 279 |  e = z
```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1238	81.9868 %
Incorrectly Classified Instances	272	18.0132 %
Kappa statistic	0.7748	
Mean absolute error	0.0953	
Root mean squared error	0.22	
Relative absolute error	29.7889 %	
Root relative squared error	54.9997 %	
Total Number of Instances	1510	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,563	0,063	0,691	0,563	0,620	0,542	0,918	0,742	f
	0,725	0,107	0,629	0,725	0,674	0,587	0,921	0,658	n
	0,914	0,013	0,945	0,914	0,929	0,912	0,993	0,980	o
	0,980	0,005	0,980	0,980	0,980	0,975	0,999	0,998	s
	0,917	0,037	0,860	0,917	0,888	0,859	0,985	0,934	z
Weighted Avg.	0,820	0,045	0,821	0,820	0,818	0,775	0,963	0,862	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
170	118	2	3	9	a = f
66	219	0	3	14	b = n
4	0	276	0	22	c = o
3	2	1	296	0	d = s
3	9	13	0	277	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1032	68.3444 %
Incorrectly Classified Instances	478	31.6556 %
Kappa statistic	0.6043	
Mean absolute error	0.2577	
Root mean squared error	0.343	
Relative absolute error	80.5377 %	
Root relative squared error	85.7414 %	
Total Number of Instances	1510	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,202	0,017	0,753	0,202	0,319	0,329	0,797	0,461	f
	0,699	0,132	0,570	0,699	0,628	0,527	0,863	0,508	n
	0,589	0,012	0,922	0,589	0,719	0,691	0,897	0,705	o
	0,947	0,007	0,969	0,947	0,958	0,948	0,994	0,964	s
	0,980	0,228	0,518	0,980	0,678	0,621	0,881	0,515	z
Weighted Avg.	0,683	0,079	0,747	0,683	0,660	0,623	0,886	0,630	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
61	153	1	9	78	a = f
10	211	6	0	75	b = n
1	1	178	0	122	c = o
9	2	5	286	0	d = s
0	3	3	0	296	e = z

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1249           82.7152 %
Incorrectly Classified Instances    261           17.2848 %
Kappa statistic                    0.7839
Mean absolute error                0.0798
Root mean squared error            0.2408
Relative absolute error            24.9334 %
Root relative squared error        60.1895 %
Total Number of Instances          1510

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,556   0,067   0,675     0,556   0,610     0,527   0,863    0,590    f
                0,765   0,106   0,643     0,765   0,699     0,619   0,859    0,572    n
                0,927   0,014   0,943     0,927   0,935     0,919   0,967    0,892    o
                0,950   0,011   0,957     0,950   0,953     0,942   0,974    0,940    s
                0,937   0,018   0,928     0,937   0,932     0,915   0,963    0,889    z
Weighted Avg.   0,827   0,043   0,829     0,827   0,826     0,785   0,925    0,777

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
168 120  2  9  3 |  a = f
 63 231  2  3  3 |  b = n
  4  1 280  1 16 |  c = o
  9  3  3 287  0 |  d = s
  5  4 10  0 283 |  e = z

```

- Για 16 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1113           75.6114 %
Incorrectly Classified Instances    359           24.3886 %
Kappa statistic                    0.695
Mean absolute error                0.1034
Root mean squared error            0.298
Relative absolute error            32.312 %
Root relative squared error        74.5026 %
Total Number of Instances          1472

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,201   0,037   0,564     0,201   0,297     0,256   0,809    0,488    f
                0,887   0,173   0,549     0,887   0,678     0,608   0,898    0,611    n
                0,805   0,014   0,938     0,805   0,866     0,839   0,976    0,943    o
                0,930   0,010   0,959     0,930   0,945     0,931   0,996    0,974    s
                0,930   0,069   0,776     0,930   0,846     0,808   0,975    0,904    z
Weighted Avg.   0,756   0,060   0,763     0,756   0,733     0,695   0,933    0,790

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
 57 197  0 12 17 |  a = f
 18 251  7  0  7 |  b = n
  2  0 243  0 57 |  c = o
 21  0  0 281  0 |  d = s
  3  9  9  0 281 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1227	83.356 %
Incorrectly Classified Instances	245	16.644 %
Kappa statistic	0.7919	
Mean absolute error	0.0913	
Root mean squared error	0.2131	
Relative absolute error	28.5359 %	
Root relative squared error	53.2821 %	
Total Number of Instances	1472	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,583	0,059	0,702	0,583	0,637	0,564	0,929	0,764	f
	0,763	0,098	0,649	0,763	0,701	0,626	0,933	0,674	n
	0,944	0,021	0,919	0,944	0,931	0,913	0,993	0,980	o
	0,970	0,003	0,987	0,970	0,978	0,973	0,998	0,996	s
	0,887	0,025	0,902	0,887	0,895	0,868	0,986	0,950	z
Weighted Avg.	0,834	0,040	0,836	0,834	0,833	0,794	0,969	0,877	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
165	106	2	3	7	a = f
57	216	0	1	9	b = n
4	0	285	0	13	c = o
2	4	3	293	0	d = s
7	7	20	0	268	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	980	66.5761 %
Incorrectly Classified Instances	492	33.4239 %
Kappa statistic	0.5812	
Mean absolute error	0.258	
Root mean squared error	0.3433	
Relative absolute error	80.6412 %	
Root relative squared error	85.8425 %	
Total Number of Instances	1472	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,187	0,016	0,736	0,187	0,299	0,313	0,804	0,447	f
	0,597	0,109	0,565	0,597	0,581	0,478	0,856	0,485	n
	0,579	0,015	0,907	0,579	0,707	0,675	0,902	0,699	o
	0,947	0,009	0,966	0,947	0,957	0,946	0,993	0,961	s
	0,983	0,269	0,485	0,983	0,650	0,585	0,861	0,483	z
Weighted Avg.	0,666	0,084	0,734	0,666	0,644	0,605	0,885	0,619	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
53	126	1	10	93	a = f
9	169	8	0	97	b = n
1	1	175	0	125	c = o
9	1	6	286	0	d = s
0	2	3	0	297	e = z

J48:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1244           84.5109 %
Incorrectly Classified Instances    228            15.4891 %
Kappa statistic                    0.8063
Mean absolute error                 0.0707
Root mean squared error             0.2238
Relative absolute error             22.1063 %
Root relative squared error        55.9667 %
Total Number of Instances          1472

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,576   0,043   0,762     0,576   0,656     0,596   0,903    0,697    f
          0,813   0,099   0,661     0,813   0,729     0,662   0,896    0,658    n
          0,927   0,017   0,933     0,927   0,930     0,912   0,975    0,925    o
          0,954   0,013   0,950     0,954   0,952     0,940   0,979    0,955    s
          0,937   0,021   0,922     0,937   0,929     0,911   0,972    0,888    z
Weighted Avg.   0,845   0,038   0,849     0,845   0,843     0,809   0,946    0,828

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
163 104  3  11  2 | a = f
 41 230  4  3  5 | b = n
  1  3 280  1  17 | c = o
  8  4  2 288  0 | d = s
  1  7  11  0 283 | e = z
```

- Για 17 sec:

Naïve Bayes:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      992           74.5865 %
Incorrectly Classified Instances    338            25.4135 %
Kappa statistic                    0.6823
Mean absolute error                 0.1041
Root mean squared error             0.2999
Relative absolute error             32.5348 %
Root relative squared error        74.9771 %
Total Number of Instances          1330

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,195   0,033   0,598     0,195   0,295     0,263   0,815    0,504    f
          0,891   0,186   0,545     0,891   0,676     0,601   0,895    0,600    n
          0,797   0,015   0,930     0,797   0,858     0,830   0,980    0,947    o
          0,936   0,013   0,947     0,936   0,941     0,927   0,996    0,973    s
          0,910   0,070   0,763     0,910   0,830     0,788   0,977    0,912    z
Weighted Avg.   0,746   0,064   0,757     0,746   0,720     0,682   0,932    0,787

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
 52 183  0  13  18 | a = f
 15 237  7  1  6  | b = n
  3  0 212  0  51 | c = o
 17  0  0 249  0 | d = s
  0  15  9  0 242 | e = z
```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1111	83.5338 %
Incorrectly Classified Instances	219	16.4662 %
Kappa statistic	0.7942	
Mean absolute error	0.0921	
Root mean squared error	0.2123	
Relative absolute error	28.7682 %	
Root relative squared error	53.0846 %	
Total Number of Instances	1330	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,560	0,050	0,738	0,560	0,637	0,569	0,928	0,779	f
	0,805	0,110	0,647	0,805	0,717	0,643	0,931	0,687	n
	0,914	0,014	0,942	0,914	0,927	0,910	0,994	0,980	o
	0,985	0,003	0,989	0,985	0,987	0,984	1,000	0,999	s
	0,914	0,029	0,887	0,914	0,900	0,875	0,988	0,946	z
Weighted Avg.	0,835	0,041	0,840	0,835	0,834	0,796	0,968	0,878	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
149	110	1	2	4	a = f
42	214	1	1	8	b = n
4	0	243	0	19	c = o
1	2	1	262	0	d = s
6	5	12	0	243	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	907	68.1955 %
Incorrectly Classified Instances	423	31.8045 %
Kappa statistic	0.6024	
Mean absolute error	0.258	
Root mean squared error	0.3434	
Relative absolute error	80.6101 %	
Root relative squared error	85.8387 %	
Total Number of Instances	1330	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,199	0,018	0,736	0,199	0,314	0,321	0,796	0,455	f
	0,684	0,130	0,569	0,684	0,621	0,519	0,859	0,500	n
	0,594	0,012	0,924	0,594	0,723	0,695	0,893	0,705	o
	0,951	0,008	0,966	0,951	0,958	0,948	0,993	0,960	s
	0,981	0,229	0,517	0,981	0,677	0,620	0,881	0,514	z
Weighted Avg.	0,682	0,080	0,742	0,682	0,659	0,621	0,884	0,627	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
53	136	0	9	68	a = f
10	182	4	0	70	b = n
1	1	158	0	106	c = o
8	0	5	253	0	d = s
0	1	4	0	261	e = z

J48:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1114          83.7594 %
Incorrectly Classified Instances     216          16.2406 %
Kappa statistic                     0.797
Mean absolute error                  0.0733
Root mean squared error              0.2283
Relative absolute error              22.9202 %
Root relative squared error          57.0802 %
Total Number of Instances           1330

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,508   0,042   0,750     0,508   0,605     0,544   0,879    0,663    f
          0,831   0,118   0,637     0,831   0,721     0,649   0,880    0,622    n
          0,944   0,015   0,940     0,944   0,942     0,927   0,979    0,937    o
          0,962   0,011   0,955     0,962   0,959     0,948   0,981    0,954    s
          0,944   0,016   0,937     0,944   0,940     0,925   0,981    0,927    z
Weighted Avg.   0,838   0,041   0,844     0,838   0,833     0,799   0,940    0,821

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
135 116  4  9  2 | a = f
 37 221  2  2  4 | b = n
  0  3 251  1 11 | c = o
  8  2  0 256  0 | d = s
  0  5  10  0 251 | e = z
```

- Για 18 sec:

Naïve Bayes:

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances      952          75.8566 %
Incorrectly Classified Instances     303          24.1434 %
Kappa statistic                     0.6982
Mean absolute error                  0.1002
Root mean squared error              0.2944
Relative absolute error              31.2973 %
Root relative squared error          73.6053 %
Total Number of Instances           1255

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,199   0,028   0,641     0,199   0,304     0,284   0,824    0,525    f
          0,892   0,186   0,545     0,892   0,677     0,602   0,896    0,601    n
          0,821   0,013   0,941     0,821   0,877     0,851   0,981    0,951    o
          0,956   0,012   0,952     0,956   0,954     0,943   0,996    0,968    s
          0,924   0,063   0,786     0,924   0,850     0,813   0,978    0,921    z
Weighted Avg.   0,759   0,060   0,773     0,759   0,732     0,699   0,935    0,793

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
 50 176  0 12 13 | a = f
 15 224  5  0  7 | b = n
  2  0 206  0 43 | c = o
 11  0  0 240  0 | d = s
  0 11  8  0 232 | e = z
```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	1034	82.3904 %
Incorrectly Classified Instances	221	17.6096 %
Kappa statistic	0.7799	
Mean absolute error	0.0945	
Root mean squared error	0.22	
Relative absolute error	29.5417 %	
Root relative squared error	55.0093 %	
Total Number of Instances	1255	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,510	0,045	0,740	0,510	0,604	0,540	0,920	0,740	f
	0,797	0,121	0,623	0,797	0,699	0,620	0,921	0,647	n
	0,924	0,015	0,939	0,924	0,932	0,915	0,995	0,982	o
	0,972	0,005	0,980	0,972	0,976	0,970	0,998	0,996	s
	0,916	0,035	0,868	0,916	0,891	0,864	0,987	0,939	z
Weighted Avg.	0,824	0,044	0,830	0,824	0,820	0,782	0,964	0,861	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
128	113	2	3	5	a = f
38	200	0	2	11	b = n
0	0	232	0	19	c = o
5	1	1	244	0	d = s
2	7	12	0	230	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	850	67.7291 %
Incorrectly Classified Instances	405	32.2709 %
Kappa statistic	0.5966	
Mean absolute error	0.2581	
Root mean squared error	0.3436	
Relative absolute error	80.667 %	
Root relative squared error	85.9024 %	
Total Number of Instances	1255	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,179	0,010	0,818	0,179	0,294	0,331	0,802	0,467	f
	0,705	0,133	0,569	0,705	0,630	0,530	0,863	0,509	n
	0,566	0,010	0,934	0,566	0,705	0,681	0,893	0,698	o
	0,972	0,011	0,957	0,972	0,964	0,955	0,992	0,953	s
	0,964	0,239	0,502	0,964	0,660	0,596	0,869	0,495	z
Weighted Avg.	0,677	0,081	0,756	0,677	0,651	0,619	0,884	0,624	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
45	125	0	11	70	a = f
6	177	4	0	64	b = n
1	2	142	0	106	c = o
3	2	2	244	0	d = s
0	5	4	0	242	e = z

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      1033           82.3108 %
Incorrectly Classified Instances     222           17.6892 %
Kappa statistic                     0.7789
Mean absolute error                 0.0809
Root mean squared error             0.2369
Relative absolute error             25.2768 %
Root relative squared error         59.2266 %
Total Number of Instances          1255

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,446   0,045   0,713     0,446   0,549     0,485   0,867    0,615    f
          0,857   0,137   0,609     0,857   0,712     0,640   0,875    0,565    n
          0,932   0,012   0,951     0,932   0,942     0,927   0,965    0,902    o
          0,948   0,013   0,948     0,948   0,948     0,935   0,972    0,938    s
          0,932   0,014   0,944     0,932   0,938     0,922   0,973    0,925    z
Weighted Avg.   0,823   0,044   0,833     0,823   0,818     0,782   0,930    0,789

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
112 127  1  8  3 | a = f
 30 215  1  3  2 | b = n
  3  3 234  2  9 | c = o
  8  3  2 238  0 | d = s
  4  5  8  0 234 | e = z

```

- Για 19 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      897           75.3782 %
Incorrectly Classified Instances     293           24.6218 %
Kappa statistic                     0.6922
Mean absolute error                 0.1014
Root mean squared error             0.2986
Relative absolute error             31.6974 %
Root relative squared error         74.6384 %
Total Number of Instances          1190

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,210   0,029   0,641     0,210   0,316     0,292   0,823    0,527    f
          0,903   0,189   0,544     0,903   0,679     0,607   0,895    0,606    n
          0,794   0,015   0,931     0,794   0,857     0,829   0,981    0,949    o
          0,950   0,011   0,958     0,950   0,954     0,942   0,996    0,971    s
          0,912   0,064   0,781     0,912   0,841     0,801   0,979    0,922    z
Weighted Avg.   0,754   0,062   0,771     0,754   0,730     0,694   0,935    0,795

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  <-- classified as
50 168  1 10  9 | a = f
14 215  4  0  5 | b = n
  2  0 189  0 47 | c = o
12  0  0 226  0 | d = s
  0 12  9  0 217 | e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	978	82.1849 %
Incorrectly Classified Instances	212	17.8151 %
Kappa statistic	0.7773	
Mean absolute error	0.0947	
Root mean squared error	0.2182	
Relative absolute error	29.6035 %	
Root relative squared error	54.5569 %	
Total Number of Instances	1190	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,563	0,059	0,705	0,563	0,626	0,551	0,928	0,754	f
	0,744	0,112	0,623	0,744	0,678	0,592	0,921	0,666	n
	0,933	0,017	0,933	0,933	0,933	0,916	0,994	0,981	o
	0,975	0,003	0,987	0,975	0,981	0,976	0,996	0,991	s
	0,895	0,032	0,877	0,895	0,886	0,857	0,986	0,941	z
Weighted Avg.	0,822	0,045	0,825	0,822	0,821	0,778	0,965	0,867	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
134	95	1	1	7	a = f
50	177	0	2	9	b = n
2	0	222	0	14	c = o
3	3	0	232	0	d = s
1	9	15	0	213	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	813	68.3193 %
Incorrectly Classified Instances	377	31.6807 %
Kappa statistic	0.604	
Mean absolute error	0.2582	
Root mean squared error	0.3438	
Relative absolute error	80.6926 %	
Root relative squared error	85.9407 %	
Total Number of Instances	1190	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,206	0,017	0,754	0,206	0,323	0,333	0,792	0,456	f
	0,697	0,133	0,567	0,697	0,625	0,524	0,861	0,502	n
	0,588	0,012	0,927	0,588	0,720	0,693	0,894	0,704	o
	0,941	0,006	0,974	0,941	0,957	0,947	0,994	0,967	s
	0,983	0,228	0,519	0,983	0,679	0,623	0,881	0,515	z
Weighted Avg.	0,683	0,079	0,748	0,683	0,661	0,624	0,884	0,629	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
49	122	0	6	61	a = f
9	166	4	0	59	b = n
0	1	140	0	97	c = o
7	1	6	224	0	d = s
0	3	1	0	234	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	983	82.605 %
Incorrectly Classified Instances	207	17.395 %
Kappa statistic	0.7826	
Mean absolute error	0.0781	
Root mean squared error	0.2303	
Relative absolute error	24.4145 %	
Root relative squared error	57.5773 %	
Total Number of Instances	1190	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,487	0,060	0,671	0,487	0,564	0,485	0,858	0,620	f
	0,790	0,122	0,618	0,790	0,694	0,613	0,879	0,579	n
	0,941	0,012	0,953	0,941	0,947	0,934	0,979	0,939	o
	0,966	0,009	0,962	0,966	0,964	0,955	0,982	0,952	s
	0,945	0,015	0,941	0,945	0,943	0,929	0,968	0,905	z
Weighted Avg.	0,826	0,043	0,829	0,826	0,823	0,783	0,933	0,799	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
116	108	1	8	5	a = f
46	188	2	1	1	b = n
5	1	224	0	8	c = o
4	4	0	230	0	d = s
2	3	8	0	225	e = z

- Για 20 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	854	75.5752 %
Incorrectly Classified Instances	276	24.4248 %
Kappa statistic	0.6947	
Mean absolute error	0.0987	
Root mean squared error	0.2943	
Relative absolute error	30.83 %	
Root relative squared error	73.579 %	
Total Number of Instances	1130	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,199	0,028	0,643	0,199	0,304	0,285	0,824	0,528	f
	0,898	0,194	0,537	0,898	0,672	0,597	0,898	0,614	n
	0,823	0,012	0,944	0,823	0,879	0,855	0,983	0,954	o
	0,956	0,012	0,952	0,956	0,954	0,942	0,996	0,971	s
	0,903	0,060	0,791	0,903	0,843	0,803	0,980	0,922	z
Weighted Avg.	0,756	0,061	0,773	0,756	0,730	0,696	0,936	0,798	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
45	160	0	11	10	a = f
13	203	4	0	6	b = n
2	0	186	0	38	c = o
10	0	0	216	0	d = s
0	15	7	0	204	e = z

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	938	83.0088 %
Incorrectly Classified Instances	192	16.9912 %
Kappa statistic	0.7876	
Mean absolute error	0.0888	
Root mean squared error	0.2119	
Relative absolute error	27.757 %	
Root relative squared error	52.9867 %	
Total Number of Instances	1130	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,566	0,055	0,719	0,566	0,634	0,561	0,926	0,779	f
	0,783	0,110	0,641	0,783	0,705	0,627	0,937	0,709	n
	0,898	0,012	0,949	0,898	0,923	0,905	0,991	0,974	o
	0,978	0,003	0,987	0,978	0,982	0,978	0,998	0,996	s
	0,925	0,032	0,878	0,925	0,901	0,876	0,989	0,954	z
Weighted Avg.	0,830	0,042	0,835	0,830	0,829	0,789	0,969	0,882	

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	e	<-- classified as
128	91	1	1	5	5	a = f
41	177	0	1	7	7	b = n
4	1	203	1	17	17	c = o
3	1	1	221	0	221	d = s
2	6	9	0	209	209	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	767	67.8761 %
Incorrectly Classified Instances	363	32.1239 %
Kappa statistic	0.5985	
Mean absolute error	0.2581	
Root mean squared error	0.3435	
Relative absolute error	80.6405 %	
Root relative squared error	85.8766 %	
Total Number of Instances	1130	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,195	0,019	0,721	0,195	0,307	0,311	0,794	0,454	f
	0,712	0,148	0,546	0,712	0,618	0,514	0,856	0,489	n
	0,566	0,008	0,948	0,566	0,709	0,689	0,892	0,707	o
	0,965	0,008	0,969	0,965	0,967	0,958	0,996	0,967	s
	0,956	0,219	0,522	0,956	0,675	0,612	0,880	0,513	z
Weighted Avg.	0,679	0,080	0,741	0,679	0,655	0,617	0,883	0,626	

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	e	<-- classified as
44	126	0	7	49	49	a = f
9	161	3	0	53	53	b = n
1	1	128	0	96	96	c = o
7	0	1	218	0	218	d = s
0	7	3	0	216	216	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	918	81.2389 %
Incorrectly Classified Instances	212	18.7611 %
Kappa statistic	0.7655	
Mean absolute error	0.0843	
Root mean squared error	0.2453	
Relative absolute error	26.3295 %	
Root relative squared error	61.3169 %	
Total Number of Instances	1130	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,478	0,062	0,659	0,478	0,554	0,472	0,854	0,589	f
	0,770	0,131	0,596	0,770	0,672	0,584	0,858	0,536	n
	0,907	0,010	0,958	0,907	0,932	0,916	0,960	0,910	o
	0,960	0,011	0,956	0,960	0,958	0,948	0,983	0,956	s
	0,947	0,021	0,918	0,947	0,932	0,915	0,971	0,868	z
Weighted Avg.	0,812	0,047	0,817	0,812	0,810	0,767	0,925	0,772	

=== Confusion Matrix ===

```
  a  b  c  d  e  <-- classified as
108 106  2  8  2 | a = f
 45 174  2  1  4 | b = n
  3  4 205  1 13 | c = o
  7  2  0 217  0 | d = s
  1  6  5  0 214 | e = z
```

- Για 21 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	918	81.2389 %
Incorrectly Classified Instances	212	18.7611 %
Kappa statistic	0.7655	
Mean absolute error	0.0843	
Root mean squared error	0.2453	
Relative absolute error	26.3295 %	
Root relative squared error	61.3169 %	
Total Number of Instances	1130	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,478	0,062	0,659	0,478	0,554	0,472	0,854	0,589	f
	0,770	0,131	0,596	0,770	0,672	0,584	0,858	0,536	n
	0,907	0,010	0,958	0,907	0,932	0,916	0,960	0,910	o
	0,960	0,011	0,956	0,960	0,958	0,948	0,983	0,956	s
	0,947	0,021	0,918	0,947	0,932	0,915	0,971	0,868	z
Weighted Avg.	0,812	0,047	0,817	0,812	0,810	0,767	0,925	0,772	

=== Confusion Matrix ===

```
  a  b  c  d  e  <-- classified as
108 106  2  8  2 | a = f
 45 174  2  1  4 | b = n
  3  4 205  1 13 | c = o
  7  2  0 217  0 | d = s
  1  6  5  0 214 | e = z
```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	890	82.7907 %
Incorrectly Classified Instances	185	17.2093 %
Kappa statistic	0.7849	
Mean absolute error	0.09	
Root mean squared error	0.2118	
Relative absolute error	28.117 %	
Root relative squared error	52.9506 %	
Total Number of Instances	1075	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,526	0,050	0,724	0,526	0,609	0,540	0,928	0,767	f
	0,781	0,112	0,636	0,781	0,701	0,622	0,934	0,720	n
	0,926	0,016	0,934	0,926	0,930	0,913	0,994	0,981	o
	0,977	0,003	0,986	0,977	0,981	0,977	0,999	0,997	s
	0,930	0,034	0,873	0,930	0,901	0,876	0,990	0,956	z
Weighted Avg.	0,828	0,043	0,831	0,828	0,825	0,786	0,969	0,884	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
113	93	1	2	6	a = f
38	168	0	1	8	b = n
1	0	199	0	15	c = o
2	1	2	210	0	d = s
2	2	11	0	200	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	727	67.6279 %
Incorrectly Classified Instances	348	32.3721 %
Kappa statistic	0.5953	
Mean absolute error	0.2581	
Root mean squared error	0.3435	
Relative absolute error	80.65 %	
Root relative squared error	85.8826 %	
Total Number of Instances	1075	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,186	0,013	0,784	0,186	0,301	0,326	0,800	0,466	f
	0,688	0,147	0,540	0,688	0,605	0,497	0,852	0,484	n
	0,581	0,014	0,912	0,581	0,710	0,681	0,890	0,692	o
	0,963	0,008	0,967	0,963	0,965	0,956	0,995	0,965	s
	0,963	0,223	0,519	0,963	0,674	0,612	0,877	0,512	z
Weighted Avg.	0,676	0,081	0,745	0,676	0,651	0,615	0,883	0,624	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
40	116	0	7	52	a = f
6	148	7	0	54	b = n
0	4	125	0	86	c = o
5	0	3	207	0	d = s
0	6	2	0	207	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	908	84.4651 %
Incorrectly Classified Instances	167	15.5349 %
Kappa statistic	0.8058	
Mean absolute error	0.071	
Root mean squared error	0.22	
Relative absolute error	22.1739 %	
Root relative squared error	54.9996 %	
Total Number of Instances	1075	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,526	0,050	0,724	0,526	0,609	0,540	0,873	0,662	f
	0,819	0,113	0,645	0,819	0,721	0,649	0,893	0,633	n
	0,949	0,013	0,949	0,949	0,949	0,936	0,971	0,888	o
	0,967	0,006	0,977	0,967	0,972	0,965	0,990	0,967	s
	0,963	0,013	0,950	0,963	0,956	0,945	0,978	0,942	z
Weighted Avg.	0,845	0,039	0,849	0,845	0,841	0,807	0,941	0,818	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
113	93	3	4	2	a = f
32	176	3	1	3	b = n
4	1	204	0	6	c = o
7	0	0	208	0	d = s
0	3	5	0	207	e = z

- Για 22 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	784	76.4878 %
Incorrectly Classified Instances	241	23.5122 %
Kappa statistic	0.7061	
Mean absolute error	0.0975	
Root mean squared error	0.2918	
Relative absolute error	30.4726 %	
Root relative squared error	72.9567 %	
Total Number of Instances	1025	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,210	0,029	0,642	0,210	0,316	0,292	0,821	0,522	f
	0,907	0,188	0,547	0,907	0,683	0,611	0,897	0,598	n
	0,829	0,010	0,955	0,829	0,888	0,865	0,985	0,959	o
	0,961	0,011	0,956	0,961	0,959	0,948	0,996	0,969	s
	0,917	0,056	0,803	0,917	0,856	0,820	0,982	0,932	z
Weighted Avg.	0,765	0,059	0,781	0,765	0,740	0,707	0,936	0,796	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
43	144	0	9	9	a = f
14	186	1	0	4	b = n
2	0	170	0	33	c = o
8	0	0	197	0	d = s
0	10	7	0	188	e = z

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	841	82.0488 %
Incorrectly Classified Instances	184	17.9512 %
Kappa statistic	0.7756	
Mean absolute error	0.0915	
Root mean squared error	0.2174	
Relative absolute error	28.6058 %	
Root relative squared error	54.3549 %	
Total Number of Instances	1025	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,522	0,049	0,728	0,522	0,608	0,540	0,928	0,755	f
	0,761	0,109	0,637	0,761	0,693	0,612	0,929	0,695	n
	0,912	0,021	0,917	0,912	0,914	0,893	0,992	0,978	o
	0,980	0,005	0,980	0,980	0,980	0,976	0,996	0,995	s
	0,927	0,041	0,848	0,927	0,886	0,857	0,988	0,944	z
Weighted Avg.	0,820	0,045	0,822	0,820	0,816	0,776	0,967	0,873	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
107	85	4	2	7	a = f
36	156	0	2	11	b = n
2	0	187	0	16	c = o
2	1	1	201	0	d = s
0	3	12	0	190	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	706	68.878 %
Incorrectly Classified Instances	319	31.122 %
Kappa statistic	0.611	
Mean absolute error	0.2585	
Root mean squared error	0.3441	
Relative absolute error	80.7792 %	
Root relative squared error	86.036 %	
Total Number of Instances	1025	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,185	0,017	0,731	0,185	0,296	0,307	0,779	0,428	f
	0,688	0,132	0,566	0,688	0,621	0,519	0,856	0,497	n
	0,634	0,009	0,949	0,634	0,760	0,735	0,890	0,736	o
	0,971	0,007	0,971	0,971	0,971	0,963	0,994	0,966	s
	0,966	0,224	0,518	0,966	0,675	0,613	0,878	0,512	z
Weighted Avg.	0,689	0,078	0,747	0,689	0,664	0,628	0,879	0,628	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
38	103	0	6	58	a = f
9	141	3	0	52	b = n
0	1	130	0	74	c = o
5	0	1	199	0	d = s
0	4	3	0	198	e = z

J48:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      849           82.8293 %
Incorrectly Classified Instances    176           17.1707 %
Kappa statistic                     0.7854
Mean absolute error                 0.0776
Root mean squared error             0.2331
Relative absolute error             24.2613 %
Root relative squared error         58.2826 %
Total Number of Instances          1025

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,498   0,060   0,675     0,498   0,573     0,494   0,859    0,595    f
                0,751   0,117   0,616     0,751   0,677     0,591   0,854    0,543    n
                0,937   0,011   0,955     0,937   0,946     0,933   0,976    0,926    o
                0,976   0,011   0,957     0,976   0,966     0,958   0,985    0,960    s
                0,980   0,016   0,939     0,980   0,959     0,949   0,982    0,923    z
Weighted Avg.   0,828   0,043   0,829     0,828   0,824     0,785   0,931    0,790

=== Confusion Matrix ===

 a  b  c  d  e  <-- classified as
102 92  4  5  2 |  a = f
 41 154 4  1  5 |  b = n
  3  1 192  3  6 |  c = o
  3  2  0 200  0 |  d = s
  2  1  1  0 201 |  e = z

```

- Για 23 sec:

Naïve Bayes:

```

=== Summary ===

Correctly Classified Instances      758           77.3469 %
Incorrectly Classified Instances    222           22.6531 %
Kappa statistic                     0.7168
Mean absolute error                 0.094
Root mean squared error             0.2883
Relative absolute error             29.3683 %
Root relative squared error         72.082 %
Total Number of Instances          980

=== Detailed Accuracy By Class ===

                TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                0,224   0,026   0,688     0,224   0,338     0,322   0,825    0,539    f
                0,908   0,180   0,558     0,908   0,691     0,622   0,898    0,609    n
                0,847   0,015   0,933     0,847   0,888     0,863   0,985    0,958    o
                0,964   0,011   0,955     0,964   0,959     0,949   0,996    0,974    s
                0,923   0,051   0,819     0,923   0,868     0,835   0,984    0,936    z
Weighted Avg.   0,773   0,057   0,790     0,773   0,749     0,718   0,938    0,803

=== Confusion Matrix ===

 a  b  c  d  e  <-- classified as
 44 134  0  9  9 |  a = f
 11 178  4  0  3 |  b = n
  2  0 166  0 28 |  c = o
  7  0  0 189  0 |  d = s
  0  7  8  0 181 |  e = z

```

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	806	82.2449 %
Incorrectly Classified Instances	174	17.7551 %
Kappa statistic	0.7781	
Mean absolute error	0.0913	
Root mean squared error	0.22	
Relative absolute error	28.5334 %	
Root relative squared error	55.0087 %	
Total Number of Instances	980	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,541	0,046	0,746	0,541	0,627	0,562	0,930	0,778	f
	0,791	0,115	0,633	0,791	0,703	0,624	0,929	0,709	n
	0,944	0,026	0,902	0,944	0,923	0,903	0,995	0,979	o
	0,985	0,004	0,985	0,985	0,985	0,981	0,999	0,997	s
	0,852	0,032	0,870	0,852	0,861	0,827	0,978	0,921	z
Weighted Avg.	0,822	0,044	0,827	0,822	0,820	0,779	0,966	0,877	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
106	81	1	2	6	a = f
29	155	1	1	10	b = n
2	0	185	0	9	c = o
1	2	0	193	0	d = s
4	7	18	0	167	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	668	68.1633 %
Incorrectly Classified Instances	312	31.8367 %
Kappa statistic	0.602	
Mean absolute error	0.2587	
Root mean squared error	0.3445	
Relative absolute error	80.8404 %	
Root relative squared error	86.115 %	
Total Number of Instances	980	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,199	0,014	0,780	0,199	0,317	0,336	0,786	0,451	f
	0,699	0,134	0,566	0,699	0,626	0,524	0,854	0,496	n
	0,597	0,008	0,951	0,597	0,734	0,711	0,896	0,726	o
	0,964	0,008	0,969	0,964	0,967	0,958	0,996	0,967	s
	0,949	0,235	0,503	0,949	0,657	0,589	0,865	0,493	z
Weighted Avg.	0,682	0,080	0,754	0,682	0,660	0,624	0,879	0,626	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
39	96	0	6	55	a = f
6	137	2	0	51	b = n
0	1	117	0	78	c = o
5	0	2	189	0	d = s
0	8	2	0	186	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	821	83.7755 %
Incorrectly Classified Instances	159	16.2245 %
Kappa statistic	0.7972	
Mean absolute error	0.0732	
Root mean squared error	0.2261	
Relative absolute error	22.8714 %	
Root relative squared error	56.5141 %	
Total Number of Instances	980	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,526	0,046	0,741	0,526	0,615	0,550	0,893	0,659	f
	0,811	0,119	0,631	0,811	0,710	0,634	0,883	0,611	n
	0,923	0,017	0,933	0,923	0,928	0,910	0,961	0,920	o
	0,990	0,011	0,956	0,990	0,972	0,966	0,993	0,958	s
	0,939	0,010	0,958	0,939	0,948	0,936	0,976	0,910	z
Weighted Avg.	0,838	0,041	0,844	0,838	0,835	0,799	0,941	0,812	

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	e	<-- classified as
103	84	2	7	0	0	a = f
32	159	3	1	1	0	b = n
2	5	181	1	7	0	c = o
1	1	0	194	0	0	d = s
1	3	8	0	184	0	e = z

- Για 24 sec:

Naïve Bayes:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	729	77.5532 %
Incorrectly Classified Instances	211	22.4468 %
Kappa statistic	0.7194	
Mean absolute error	0.0933	
Root mean squared error	0.2867	
Relative absolute error	29.1711 %	
Root relative squared error	71.6858 %	
Total Number of Instances	940	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,229	0,025	0,694	0,229	0,344	0,328	0,826	0,538	f
	0,915	0,181	0,558	0,915	0,694	0,626	0,900	0,635	n
	0,840	0,012	0,946	0,840	0,890	0,867	0,987	0,963	o
	0,968	0,009	0,963	0,968	0,966	0,957	0,996	0,974	s
	0,926	0,053	0,813	0,926	0,866	0,832	0,985	0,944	z
Weighted Avg.	0,776	0,056	0,795	0,776	0,752	0,722	0,939	0,811	

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	e	<-- classified as
43	128	0	7	10	0	a = f
11	172	3	0	2	0	b = n
2	0	158	0	28	0	c = o
6	0	0	182	0	0	d = s
0	8	6	0	174	0	e = z

Multilayer Perceptron:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	768	81.7021 %
Incorrectly Classified Instances	172	18.2979 %
Kappa statistic	0.7713	
Mean absolute error	0.0929	
Root mean squared error	0.2193	
Relative absolute error	29.0439 %	
Root relative squared error	54.8333 %	
Total Number of Instances	940	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,633	0,065	0,708	0,633	0,669	0,593	0,935	0,782	f
	0,723	0,101	0,642	0,723	0,680	0,596	0,932	0,687	n
	0,899	0,021	0,914	0,899	0,906	0,883	0,992	0,975	o
	0,973	0,003	0,989	0,973	0,981	0,977	0,997	0,995	s
	0,856	0,039	0,847	0,856	0,852	0,815	0,985	0,937	z
Weighted Avg.	0,817	0,046	0,820	0,817	0,818	0,773	0,968	0,875	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
119	64	0	2	3	a = f
43	136	0	0	9	b = n
2	0	169	0	17	c = o
2	2	1	183	0	d = s
2	10	15	0	161	e = z

SMO:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	647	68.8298 %
Incorrectly Classified Instances	293	31.1702 %
Kappa statistic	0.6104	
Mean absolute error	0.2586	
Root mean squared error	0.3444	
Relative absolute error	80.8235 %	
Root relative squared error	86.0917 %	
Total Number of Instances	940	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,191	0,016	0,750	0,191	0,305	0,319	0,780	0,437	f
	0,718	0,149	0,547	0,718	0,621	0,517	0,859	0,492	n
	0,612	0,011	0,935	0,612	0,740	0,713	0,887	0,718	o
	0,968	0,005	0,978	0,968	0,973	0,967	0,997	0,976	s
	0,952	0,209	0,533	0,952	0,683	0,620	0,879	0,522	z
Weighted Avg.	0,688	0,078	0,749	0,688	0,664	0,627	0,880	0,629	

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	e	<-- classified as
36	105	0	4	43	a = f
8	135	2	0	43	b = n
1	1	115	0	71	c = o
3	0	3	182	0	d = s
0	6	3	0	179	e = z

J48:

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	805	85.6383 %
Incorrectly Classified Instances	135	14.3617 %
Kappa statistic	0.8205	
Mean absolute error	0.0695	
Root mean squared error	0.2176	
Relative absolute error	21.7102 %	
Root relative squared error	54.4108 %	
Total Number of Instances	940	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,537	0,037	0,783	0,537	0,637	0,581	0,880	0,672	f
	0,899	0,105	0,681	0,899	0,775	0,721	0,916	0,688	n
	0,941	0,015	0,941	0,941	0,941	0,927	0,970	0,907	o
	0,968	0,008	0,968	0,968	0,968	0,960	0,984	0,944	s
	0,936	0,015	0,941	0,936	0,939	0,923	0,968	0,863	z
Weighted Avg.	0,856	0,036	0,863	0,856	0,852	0,822	0,944	0,815	

=== Confusion Matrix ===

	a	b	c	d	e	<-- classified as
101	78	1	5	3		a = f
15	169	2	1	1		b = n
4	0	177	0	7		c = o
6	0	0	182	0		d = s
3	1	8	0	176		e = z

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σιδηροπούλου, Κ. (2015). *Βασικές αρχές λειτουργίας του νευρικού συστήματος. Από τη νευροφυσιολογία στη συμπεριφορά*. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. Ανακτήθηκε από: <https://kallipos.gr>
- [2] Βλάχος, Φ., Ανδρέου, Γ. (2009). *Εγκεφαλική ασυμμετρία και εκπαίδευση. Το Βήμα των κοινωνικών επιστημών*. Τόμος ΙΔ, Τεύχος 54 - Άνοιξη 2009. Ανακτήθηκε από: <http://ojs.lib.uth.gr/>
- [3] Τσιντώνη, Α. (2012). *Προγνωστικοί παράγοντες του μεταδιασεισικού συνδρόμου μετά από ήπια κρανιοεγκεφαλική κάκωση* [Μεταπτυχιακή εργασία]. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα. Ανακτήθηκε από το Ιδρυματικό αποθετήριο του Πανεπιστημίου Πατρών: <http://nemertes.lis.upatras.gr>
- [4] Ρουμπάνης, Γ., Οικονομίδης, Α. (2013). *Δομή και λειτουργία του νευρικού συστήματος*. [Εργασία, Γ' τάξη Γυμνασίου, Υπεύθυνος καθηγητής: Κεραμάρης Κων/νος,]. Κερατέα. Ανακτήθηκε από το Ιστολόγιο του Γυμνασίου Κερατέας: <http://blogs.sch.gr>
- [5] Κούκου, Ε. (2014). *Δισδιάστατες κατανομές στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία*. [Διπλωματική εργασία]. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Ηράκλειο.
- [6] Κουτσούρης, Δ., Παυλόπουλος, Σ., Πρέντζα, Α. (2003). *Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- [7] EduMed (2002). *EEG – ElectroEncephaloGraph*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.edumed.org.br/cursos/neurociencia/cdrom/Biblioteca/EEGHistory.htm>
- [8] Κυριαζοπούλου-Ντάτσιου, Ε. (χ.χ). *Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)*. ΠΛΑΤΩΝ [Πρότυπο Διαγνωστικό Κέντρο Ελλάδος]. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.platonae.gr>
- [9] Ρήγας, Π. (2009). *Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα*. [Συμπληρωματικά Φυλλάδια Διδασκαλίας, Εργαστήριο Φυσιολογίας ΙΙ]. Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.teiath.gr>
- [10] Θερμόπουλος, Μ. (2016). *Επιληψία: Αίτια, συμπτώματα, παράγοντες κινδύνου και σωστή αντιμετώπιση*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.iatropedia.gr>
- [11] Καπετανάκης, Μ. (2012). *Η επιληψία στα παιδιά*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://paidoneurologos.gr/>
- [12] Ζαχαριάδης, Α. (2017). *Ναρκοληψία*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.pneumonologiko-kentro.com.cy>
- [13] Medlook (2000). *Ναρκοληψία: Συμπτώματα, αιτίες, αντιμετώπιση*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.medlook.net>
- [14] Δώρης, Σ. (χ.χ). *Σκλήρυνση κατά πλάκας*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://nevrologos.gr/sklirinsi-kata-plakas/>
- [15] AlfaVita (2017). *Τα «αθώα» πρώτα συμπτώματα στην Σκλήρυνση Κατά Πλάκας – Μην τα αγνοήσετε*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.alfavita.gr/arhron>

- [16] Θερμόπουλος, Μ. (2017). *Σκλήρυνση Κατά Πλάκας: Προσοχή στα «απλά» πρώιμα συμπτώματα*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://www.iatropedia.gr/ygeia>
- [17] Tzallas, A. T., Tsipouras, M. G., Tsalikakis, D. G., Karvounis, E. C., Astrakas, L., Konitsiotis, S., & Tzaphlidou, M. (2012). Automated epileptic seizure detection methods: a review study. In *Epilepsy-histological, electroencephalographic and psychological aspects*. InTech.
- [18] Tzallas, A. T., Tsipouras, M. G., & Fotiadis, D. I. (2009). Epileptic seizure detection in EEGs using time–frequency analysis. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 13(5), 703-710.
- [19] Polat, K., & Güneş, S. (2007). Classification of epileptiform EEG using a hybrid system based on decision tree classifier and fast Fourier transform. *Applied Mathematics and Computation*, 187(2), 1017-1026.
- [20] Subasi, A. (2007). EEG signal classification using wavelet feature extraction and a mixture of expert model. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1084-1093.
- [21] Acharya, U. R., Sree, S. V., Ang, P. C. A., Yanti, R., & Suri, J. S. (2012). Application of non-linear and wavelet based features for the automated identification of epileptic EEG signals. *International journal of neural systems*, 22(02), 1250002.
- [22] Kumar, Y., Dewal, M. L., & Anand, R. S. (2014). Epileptic seizures detection in EEG using DWT-based ApEn and artificial neural network. *Signal, Image and Video Processing*, 8(7), 1323-1334.
- [23] Li, S., Zhou, W., Yuan, Q., Geng, S., & Cai, D. (2013). Feature extraction and recognition of ictal EEG using EMD and SVM. *Computers in biology and medicine*, 43(7), 807-816.
- [24] Pachori, R. B., & Bajaj, V. (2011). Analysis of normal and epileptic seizure EEG signals using empirical mode decomposition. *Computer methods and programs in biomedicine*, 104(3), 373-381
- [25] Hornero, R., Corralejo, R. (2012). *Brain Computer Interface (BCI) systems applied to cognitive training and home automation control to offset the effects of ageing*. [Ομάδα Βιοϊατρικής Μηχανικής. Πανεπιστήμιο Valladolid]. Edition: March 2012, Page 1, No 08. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: http://www.fgcsic.es/lychnos/en_en/articles/Brain-Computer-Interface
- [26] Νικολάου, Χ. (2017). *Αναγνώριση κίνησης χεριού από εγκεφαλικά σήματα με χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης*. [Διπλωματική Εργασία]. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα: Τηλεπικοινωνιών και Τεχνολογίας Πληροφορίας. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/10586/1/thesis_chairetis.pdf
- [27] Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., Magee C. A., Rushby, J.A. (2007). *EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions*. *Clin. Neurophysiol.* 118, 2765–2773.doi:10.1016/j.clinph.2007.07.028.
- [28] Boytsova, Y. A., Danko ,S. G. (2010). *EEG differences between resting states with eyes open and closed in darkness*. *Hum. Physiol.* 56, 138–141.doi: 10.1134/S0362119710030199.

- [29] Dement, W., Kleitman, N. *Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming*. *Electroencephalography Clin. Neurophysiol.* 1957. vol. 9 p. 673-690.
- [30] Narasimhan, L., Somasundaram, A., Balasubramanian, S., Kesavamurthy, B., & Mehndiratta, M. (2015, Μάρτιος 11). Application of mobile phones in epilepsy care. *International Journal of Epilepsy*, 2 (1), 28-37. Ανακτήθηκε από: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213632015000044> .
- [31] Comstock, J. (2013). *Mobile epilepsy sensors: student-led, stopped, or stalled*. Ανακτήθηκε από: <http://www.mobihealthnews.com/22450/mobile-epilepsy-sensors-student-led-stopped-or-stalled> .
- [32] Andrzejak, R. G., Lehnertz, K., Mormann, F., Rieke, C., David, P., & Elger, C. E. (2001). *Indications of nonlinear deterministic and finite-dimensional structures in time series of brain electrical activity: Dependence on recording region and brain state*. *Physical Review E*, 64(6), 061907.
- [33] Y. Renard, F. Lotte, G. Gibert, M. Congedo, E. Maby, V. Delannoy, O. Bertrand, A. Lécuyer, “*OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments*”, *Presence : teleoperators and virtual environments*, vol. 19, no 1, 2010
- [34] Eibe Frank, Mark A. Hall, and Ian H. Witten (2016). *The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques"*, Morgan Kaufmann, Fourth Edition, 2016.
- [35] Μακρή, Α. (2013). *Σύγκριση Μεθόδων Πρόβλεψης Ψήφου στις ηλεκτρονικές πλατφόρμες συμβούλων ψήφων*, [Πτυχιακή Εργασία]. Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου ,Τμήμα Επικοινωνίας και Σπουδών Διαδικτύου, Λεμεσός, 2013. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://ktisis.cut.ac.cy/bitstream>
- [36] Κυρίτσης, Κ. (2012). *Νευρωνικά Δίκτυα και Μηχανές Διανυσματικής Υποστήριξης. Neural Networks and Support Vector Machines*, [Διπλωματική Εργασία]. Μ.Π.Σ. Μαθηματικά και Σύγχρονες Εφαρμογές στα «Υπολογιστικά Μαθηματικά και Υπολογιστική Νοημοσύνη». Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μαθηματικών. Πάτρα, 2012. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/8010/1/Master%20Thesis%20Kyritsis%20Konstantinos.pdf>
- [37] Τσελεντής, Χ. (2008). *Εισαγωγή στη θεωρία της πληροφορίας και εντροπία*. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: http://christselentis.blogspot.gr/2008/08/blog-post_13.html
- [38] Τζετζούμης, Ε. (2012). *Σύγκριση μεθόδων δημιουργίας έμπειρων συστημάτων με κανόνες για προβλήματα κατηγοριοποίησης από σύνολα δεδομένων*, [Διπλωματική Εργασία]. Πανεπιστήμιο Πατρών, Διατμηματικό ΠΜΣ «Μαθηματικά των υπολογιστών & των αποφάσεων», Τμήματα Μαθηματικών- Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής. Πάτρα, 2012. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://nemertes.lis.upatras.gr/>