



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Παρακολούθηση συναισθηματικής κατάστασης χρήστη και ενημέρωση κοινωνικών δικτύων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαρούλα Χ. Σαρακινιώτη

Επιβλέπων : Στέφανος Δ. Κόλλιας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Παρακολούθηση συναισθηματικής κατάστασης χρήστη και ενημέρωση κοινωνικών δικτύων

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαρούλα Χ. Σαρακινιώτη

**Επιβλέπων :** Στέφανος Δ. Κόλλιας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2012.

.....

Στέφανος Κόλλιας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ανδρέας- Γεώργιος  
Σταφυλοπάτης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Γεώργιος Στάμου  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

.....  
Χαρούλα Χ. Σαρακινιώτη

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

Copyright © Χαρούλα Χ. Σαρακινιώτη, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης ενός ατόμου από τα βιολογικά σήματα του οργανισμού του και η ενημέρωση ενός μέσου κοινωνικής δικτύωσης για την κατάσταση αυτή.

Η αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης πραγματοποιείται μέσω των βιολογικών σημάτων ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ecg), ηλεκτρομυογραφήματος (emg), αλλαγής ρυθμού αναπνοής (rsp) και αγωγιμότητας δέρματος (sc). Τα συναισθήματα τα οποία αναγνωρίζονται είναι η χαρά (joy), ο θυμός (anger) και η λύπη (sadness). Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία αναγνώρισης υλοποιείται με τη βοήθεια ενός νευρωνικού δικτύου εμπρόσθιας τροφοδότησης, το οποίο εκπαιδεύεται με τη μέθοδο της οπίσθιας διάδοσης (back propagation).

Η ενημέρωση του μέσου κοινωνικής δικτύωσης πραγματοποιείται στηριζόμενη στην ιδέα του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού. Αναλυτικότερα, η υλοποίηση της ενημέρωσης του μέσου κοινωνικής δικτύωσης διακρίνεται σε δυο μέρη: την απόκτηση πρόσβασης, από τη γλώσσα προγραμματισμού, στο περιεχόμενο του αρχείου, όπου είναι αποθηκευμένο το συναίσθημα και την ενημέρωση του μέσου κοινωνικής δικτύωσης με το περιεχόμενο αυτό. Η πρόσβαση στο αρχείο υλοποιείται μέσω της δημιουργίας ενός αντικειμένου το οποίο είναι επιφορτισμένο με τη λειτουργία αυτή. Σαν παράδειγμα χρήσης παρουσιάζεται η ενημέρωση του twitter.

Στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας γίνεται εκτενής αναφορά στην έννοια του συναισθήματος, στα βιολογικά σήματα του οργανισμού και στο συσχετισμό τους με τα συναισθήματα, στα νευρωνικά δίκτυα και στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Επιπλέον, παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος δημιουργίας και τα χαρακτηριστικά της βάσης δεδομένων, η οποία αποτελεί το σύνολο των βιολογικών σημάτων που χρησιμοποιούνται κατά την εκπόνηση της εργασίας.

### Λέξεις Κλειδιά

Αλληλεπίδραση ανθρώπου - μηχανής, αναγνώριση συναισθηματικής κατάστασης, συναισθήματα, βιοσήματα, ecg, emg, rsp, sc, μέσα κοινωνικής δικτύωσης, νευρωνικό δίκτυο, αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης, twitter



# Abstract

The objective of this diploma thesis is the emotional state recognition of a person using biological signals and the respective status update of a social network.

The emotional state recognition is implemented through the biological signals of electrocardiogram (ecg), electromyogram (emg), respiration change (rsp) and skin conductivity (sc). The recognized emotions are these of joy, anger and sadness. Specifically, the recognition process is materialized utilizing a feed forward neural network trained with the back propagation method.

The update of a social network is implemented based on the idea of object-oriented programming. Analytically, the update of a social network consists of two parts: the access to the file content, where the emotion is stored, and the update of the social network. Twitter status update is the example presented in this thesis.

The theoretical background of the thesis includes information about the meaning of emotion, the biological signals and their correlation with the emotions, the neural network and the social media. Moreover, the creation and the features of the database, that includes the used biological signals, are described.

## Key Words

Human - machine interaction, emotional state recognition, emotions, biosignals, ecg, emg, rsp, sc, social networks, neural network, back propagation algorithm, twitter





## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Στέφανο Κόλλια, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη διδάκτορα μηχανικό Αμαρυλλίδα Ραουζαίου και τη Σαρλίν Χονδρού για την καθοδήγηση τους και για τις καίριες υποδείξεις και συμβουλές τους, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, οι οποίες ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωσή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησης μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.



# Περιεχόμενα

<b>1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο</b> .....	19
Εισαγωγή .....	19
1.1. Η εξάπλωση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης.....	19
1.2. Αναγνώριση συναισθηματικής κατάστασης στην επικοινωνία ανθρώπου – υπολογιστή.....	19
1.3. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	22
1.4. Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	22
<b>2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο</b> .....	25
Θεωρητικό υπόβαθρο.....	25
2.1. Συναισθήματα.....	25
2.1.1. Ορισμός συναισθήματος.....	25
2.1.2. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα συναισθήματος.....	25
2.1.3. Κατηγοριοποίηση συναισθημάτων.....	26
2.1.4. Ορισμός βασικών συναισθημάτων.....	27
2.2. Βιοσήματα.....	28
2.2.1. Γενικά.....	28
2.2.2. Χαρακτηριστικά βιοσήματα.....	29
2.3. Συσχετισμός βιολογικών σημάτων με τα συναισθήματα.....	30
2.3.1. Το αυτόνομο νευρικό σύστημα .....	30
2.3.2. Θεωρίες συναισθημάτων.....	30
2.3.2.1. Θεωρίες συσχετισμού της δραστηριοποίησης του αυτόνομου νευρικού συστήματος με το συναίσθημα.....	30
2.3.2.2. Χαρακτηριστικές θεωρίες συναισθημάτων.....	31
2.3.3. Συσχετισμός ANS και συναισθήματος.....	31
2.4. Νευρωνικά Δίκτυα.....	36
2.4.1. Το νευρικό σύστημα και η ιδέα του νευρώνα.....	36

2.4.2 Το νευρωνικό δίκτυο.....	37
2.4.2.1. Ορισμός νευρωνικού δικτύου.....	37
2.4.2.2. Πλεονεκτήματα νευρωνικών δικτύων.....	38
2.4.2.3. Βασικό μοντέλο τεχνητού νευρωνικού δικτύου.....	39
2.4.2.4. Είδη νευρωνικών δικτύων.....	39
2.4.3 Χρήση νευρωνικών δικτύων στην αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης.....	43
2.5. Μέσα κοινωνικής δικτύωσης.....	44
2.5.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης.....	44
2.5.2. Επιδράσεις της χρήσης των μέσων κοινωνικής δικτύωσης.....	45
<b>3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο</b> .....	<b>47</b>
Η βάση δεδομένων του aubt.....	47
3.1 Γενικά στοιχεία.....	47
3.2 Δημιουργία βάσης δεδομένων.....	47
3.2.1. Επιλογή συναισθημάτων.....	47
3.2.2. Πρόκληση συναισθημάτων.....	48
3.2.3. Μέτρηση βιοσημάτων.....	49
3.2.4. Περιγραφή πειράματος.....	54
3.2.5. Περιγραφή του σώματος δεδομένων.....	55
<b>4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο</b> .....	<b>57</b>
Περιγραφή εκτέλεσης της εφαρμογής.....	57
4.1 Συνοπτική περιγραφή.....	57
4.2 Τα στάδια της εφαρμογής.....	58
4.2.1 Πρώτο Μέρος Εφαρμογής.....	58
4.2.1.1.Επιλογή βάσης δεδομένων και προεπεξεργασία των δεδομένων.....	58
4.2.1.2. Επιλογή νευρωνικού δικτύου προς εξέταση.....	60
4.2.1.3. Δημιουργία νευρωνικού δικτύου και προσδιορισμός παραμέτρων...	60

4.2.1.4. Επιλογή παραμέτρων για εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου.....	63
4.2.1.5. Μέθοδος αξιολόγησης νευρωνικού δικτύου.....	63
4.2.1.6. Αξιολόγηση νευρωνικού δικτύου στο στάδιο ελέγχου.....	65
4.2.1.7. Επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και επαναξιολόγηση.....	68
4.2.1.8. Αξιολόγηση νευρωνικού δικτύου στο στάδιο εκπαίδευσης.....	72
4.2.1.9. Επιλογή νευρωνικού δικτύου.....	73
4.2.1.10. Εισαγωγή βιολογικών σημάτων στο νευρωνικό δίκτυο και εμφάνιση του αντίστοιχου συναισθήματος.....	73
4.2.1.11. Αποθήκευση της εξόδου του νευρωνικού για περαιτέρω επεξεργασία .....	77
4.2.2 Δεύτερο Μέρος Εφαρμογής .....	79
4.2.2.1. Ενημέρωση του twitter με το επιθυμητό συναίσθημα.....	79
4.2.2.2. Εμφάνιση αποτελέσματος- συναισθήματος στο twitter.....	81
<b>5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο</b> .....	83
Αποτελέσματα και περιορισμοί.....	83
5.1 Αποτελέσματα της εργασίας .....	83
5.2 Περιορισμοί της χρησιμοποιούμενης μεθόδου.....	84
<b>6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο</b> .....	87
Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	87
6.1 Συμπεράσματα της εργασίας.....	87
6.2 Μελλοντικές εφαρμογές και επεκτάσεις.....	87
Βιβλιογραφία.....	89
Παράρτημα.....	93



## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Μέσα κοινωνικής δικτύωσης.....	19
Εικόνα 1.2: Γνωστικά πεδία στα οποία υπάγεται η αλληλεπίδραση ανθρώπου μηχανής.....	20
Εικόνα 2.1: Τροχός συναισθημάτων του Plutchik.....	27
Εικόνα 2.2: Βασικά Συναισθήματα.....	28
Εικόνα 2.3: Τρόπος μέτρησης βιοσημάτων.....	29
Εικόνα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση του νευρικού συστήματος.....	36
Εικόνα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού νευρώνα.....	37
Εικόνα 2.6: Βασικό μοντέλο τεχνητού νευρώνα.....	39
Εικόνα 2.7: Νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης.....	40
Εικόνα 2.8: Αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης.....	41
Εικόνα 2.9: Δομή ενός νευρωνικού δικτύου RBF.....	42
Εικόνα 2.10: Αυτο-οργανούμενοι χάρτες: a) Μοντέλο Kohonen b) Μοντέλο Willshaw και von der Malsburg.....	42
Εικόνα 2.11: Αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο Elman.....	43
Εικόνα 2.12: Μέσα κοινωνικής δικτύωσης.....	44
Εικόνα 3.1: Μοντέλο συναισθημάτων.....	48
Εικόνα 3.2: Παράδειγμα συλλογής δεδομένων από αισθητήρες στη χαρά (πάνω) και στη λύπη (κάτω).....	49
Εικόνα 3.3: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την εγγραφή του σήματος SC.....	50
Εικόνα 3.4: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος SC.....	50
Εικόνα 3.5: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την εγγραφή του σήματος EMG.....	51
Εικόνα 3.6: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος EMG.....	52
Εικόνα 3.7: Τοποθέτηση ειδικής ζώνης για την εγγραφή του σήματος RSP.....	52
Εικόνα 3.8: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος RSP.....	53
Εικόνα 3.9: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την εγγραφή του σήματος ECG.....	54

Εικόνα 3.10: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος ECG.....	54
Εικόνα 3.11: Σχηματικό διάγραμμα του πειράματος καταγραφής σώματος δεδομένων.....	55
Εικόνα 4.1: Η μορφή της βάσης του aubt για μια ημέρα.(s1=χαρά s2=θυμός s3=λύπη s4=ευχαρίστηση).....	58
Εικόνα 4.2: Γραφική παράσταση και σύμβολο της tansig.....	61
Εικόνα 4.3: Γραφική παράσταση και σύμβολο της logsig.....	61
Εικόνα 4.4: Γραφική παράσταση και σύμβολο της purelin.....	62
Εικόνα 4.5:Στιγμιότυπο εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου με συνάρτηση εκπαίδευσης trainrp, αριθμό νευρώνων 10 και αριθμό εποχών 100.....	67
Εικόνα 4.6: Πίνακας με τα στρογγυλοποιημένα αποτελέσματα του πίνακα εξόδου του νευρωνικού .....	75
Εικόνα 4.7: Πίνακας που περιέχει τα συναισθήματα- αποκρίσεις του νευρωνικού δικτύου.....	76
Εικόνα 4.8: Απομόνωση και εμφάνιση επικρατούντος συναισθήματος.....	76
Εικόνα 4.9: Περιεχόμενο του excel αρχείου που δημιουργείται με την εντολή xlswrite, όταν αυτό ανοίγεται στο περιβάλλον Matlab.....	78
Εικόνα 4.10: Περιεχόμενο του excel αρχείου που δημιουργείται με την εντολή xlswrite, όταν αυτό ανοίγεται με το excel.....	78
Εικόνα 4.11: Twitter Web Intent για τη σύνθεση μηνύματος (tweet).....	81
Εικόνα 4.12: Δημοσίευση μηνύματος- συναισθήματος μετά από σύνδεση.....	82
Εικόνα 4.13: Δημοσίευση μηνύματος- συναισθήματος πατώντας tweet.....	82



## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Επισκόπηση της απόκρισης του αυτόνομου νευρικού συστήματος για κάθε συναίσθημα.....	34
Πίνακας 2.2: Συντομογραφίες και πλήρη ονόματα μετρήσεων του ANS.....	35
Πίνακας 4.1: Μορφή πίνακα εισόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.....	59
Πίνακας 4.2: Μορφή πίνακα εξόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.....	59
Πίνακας 4.3: Τιμές του accuracy σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 50.....	65
Πίνακας 4.4: Τιμές του accuracy σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 100.....	66
Πίνακας 4.5 Τιμές του accuracy σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 500.....	66
Πίνακας 4.6: Μορφή πίνακα εισόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου μετά την τροποποίηση.....	68
Πίνακας 4.7: Μορφή πίνακα εξόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου μετά την τροποποίηση.....	68
Πίνακας 4.8: Τιμές του accuracy και του recall σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 200 ύστερα από τροποποίηση των δεδομένων εισόδου.....	69
Πίνακας 4.9: Τιμές του accuracy και του recall σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 200 ύστερα από τροποποίηση των δεδομένων εισόδου και δειγματοληψία...	70
Πίνακας 4.10: Τιμές του accuracy και του recall σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 300 ύστερα από τροποποίηση των δεδομένων εισόδου και δειγματοληψία...	71
Πίνακας 4.11: Τιμές του accuracy και του recall στην αξιολόγηση νευρωνικού δικτύου στο στάδιο εκπαίδευσης.....	72
Πίνακας 4.12: Μορφή πίνακα εισόδου του νευρωνικού δικτύου για καθένα από τα τρία συναισθήματα για μια ημέρα.....	73
Πίνακας 5.1: Παρουσίαση αποκρίσεων του νευρωνικού δικτύου.....	83



# 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

## Εισαγωγή

### 1.1. Η εξάπλωση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης

Στις μέρες μας παρατηρείται μια ραγδαία εξάπλωση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, δηλαδή των διαδραστικών ιστοτόπων μέσω των οποίων τα άτομα μπορούν να μοιράζονται, να ανταλλάσσουν πληροφορίες, να ενημερώνονται, να συζητούν. Η ευρεία χρήση των μέσων αυτών οδηγεί στην εμφάνιση μιας νέου είδους επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων, όπου κυρίαρχο ρόλο έχει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Πλέον, ο άνθρωπος καλείται, μέσω του υπολογιστή, να αναπτύξει διαπροσωπικές σχέσεις, να εκφράσει τις απόψεις του και να εξωτερικεύσει τα συναισθήματά του.



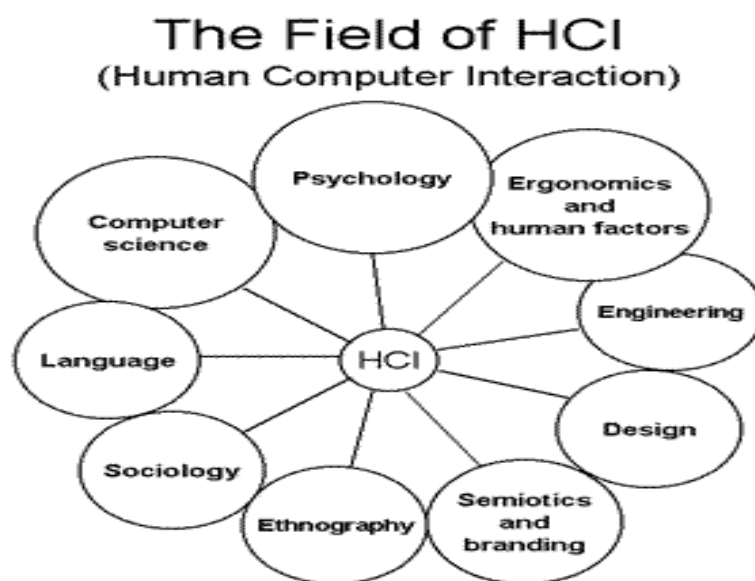
**Εικόνα 1.1:** Μέσα κοινωνικής δικτύωσης

Με τα νέα αυτά δεδομένα, εμφανίζεται η ανάγκη αλλαγής της σχέσης ανθρώπου υπολογιστή, ώστε ο πρώτος να έχει τη δυνατότητα να εκφράζεται και να εξωτερικεύει τις σκέψεις του και τα συναισθήματά του χωρίς δισταγμό. Επιπλέον, δίνεται ώθηση για όσο το δυνατό μεγαλύτερη ανάπτυξη όσον αφορά τις δυνατότητες που παρέχει ο υπολογιστής στο χρήστη για την έκφραση των συναισθημάτων του.

### 1.2 Αναγνώριση συναισθηματικής κατάστασης στην επικοινωνία ανθρώπου – υπολογιστή

Η αλληλεπίδραση ανθρώπου - μηχανής είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών, ο οποίος πραγματεύεται τη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή. Μπορεί να θεωρηθεί ως το σημείο

τομής μεταξύ της πληροφορικής, της γνωστικής ψυχολογίας, της κοινωνικής ψυχολογίας, της γλωσσολογίας και του βιομηχανικού σχεδιασμού [1].



**Εικόνα1.2:** Γνωστικά πεδία στα οποία υπάγεται η αλληλεπίδραση ανθρώπου μηχανής

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η ραγδαία εξάπλωση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, σε συνδυασμό με την ανάγκη εξέλιξης του ορθολογικού τρόπου χρήσης του υπολογιστή, δημιουργούν την ανάγκη ανάπτυξης μιας νέας πιο φυσικής αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή, η οποία θα εμφανίζει ομοιότητες με τη διαπροσωπική επικοινωνία μεταξύ των ατόμων. Αυτού του είδους η επικοινωνία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός είδους εμπιστοσύνης μεταξύ του χρήστη και του υπολογιστή, ο οποίος σταματά να είναι απλώς ένα εργαλείο εργασίας και γίνεται ένας βοηθός του χρήστη που καλύπτει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις ανάγκες του [2].

Η δημιουργία μιας τέτοιου είδους σχέσης μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δυνατότητας ανίχνευσης της συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη, η οποία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βήματα για την ανάπτυξη της συναισθηματικής ευφυΐας στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου – μηχανής.

Τα συναισθήματα παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στην διαπροσωπική επικοινωνία και η ικανότητα εκτίμησης της συναισθηματικής κατάστασης των ατόμων τα οποία συναναστρεφόμαστε παίζει σημαντικό ρόλο στη φυσική επικοινωνία. Η φωνή, οι εκφράσεις του προσώπου, η στάση του σώματος, οι χειρονομίες μπορούν να μας δώσουν μια ιδέα για τη συναισθηματική κατάσταση του συνομιλητή μας. Παρόμοια, γίνονται προσπάθειες ώστε να αποκτήσει ο υπολογιστής πρόσβαση σε τέτοιου είδους πληροφορίες και να μπορέσει να τις επεξεργαστεί, ώστε να μπορεί να αντιλαμβάνεται τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη.

Ορισμένες κλασσικές μέθοδοι αναγνώρισης συναισθήματος από τον υπολογιστή είναι οι εκφράσεις του προσώπου και η αναγνώριση της φωνής. Στην παρούσα

διπλωματική γίνεται αναφορά στη μέθοδο αναγνώρισης συναισθήματος μέσω των φυσιολογικών αποκρίσεων του οργανισμού, η οποία δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες αλλά και πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραπάνω μεθόδους.

### **Δυσκολίες και περιορισμοί μεθόδου**

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι εξαιτίας των οποίων είναι δύσκολο να αντιστοιχιστούν με μοναδικό τρόπο οι αντιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού με μια συναισθηματική κατάσταση. Καταρχάς, η αντίδραση ενός ατόμου σε ένα συναίσθημα μπορεί να είναι διαφορετικής έντασης ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, για παράδειγμα είναι διαφορετικό να είναι κάποιος μόνος τη μέρα ή τη νύχτα σε ένα δάσος. Επίσης, η ένταση με την οποία βιώνουμε ένα συναίσθημα είναι διαφορετική αν το έχουμε αισθανθεί ξανά στο παρελθόν, για παράδειγμα αντιδρούμε πιο αδύναμα στις σκηνές μιας ταινίας που έχουμε δει ξανά. Ακολουθώντας, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι φυσιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού δεν συνδέονται πάντα με τη συναισθηματική κατάσταση, λόγω χάρη μπορούμε να έχουμε φυσιολογικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια σωματικής άσκησης. Επιπλέον, κάθε άτομο έχει ξεχωριστές αντιδράσεις στα ίδια συναισθήματα. Βέβαια, έχουν γίνει προσπάθειες δημιουργίας γενικών κανόνων για κάθε συναίσθημα ωστόσο, πάντα υπάρχουν αποκλίσεις. Τέλος, θα πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη οι εξωτερικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις φυσιολογικές αποκρίσεις όπως η ηλικία, η καλή φυσική κατάσταση και το πολιτιστικό περιβάλλον [2].

### **Πλεονεκτήματα έναντι συμβατικών μεθόδων**

Παρακάτω αναλύουμε τα πλεονεκτήματα αναγνώρισης της συναισθηματικής κατάστασης μέσω φυσιολογικών σημάτων σε σχέση με την αναγνώριση μέσω των εκφράσεων του προσώπου και της φωνής. Αρχικά, όσον αφορά την αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης μέσω φυσιολογικών σημάτων, μπορούμε να συλλέγουμε πληροφορίες για τις συναισθηματικές αλλαγές των χρηστών συνδέοντας τους με αισθητήρες. Με τον τρόπο αυτό, τα σήματα που λαμβάνουμε είναι συνεχή. Επιπλέον, οι μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιούνται στο φυσικό περιβάλλον μέσω κινητών αισθητήρων που έχουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ρούχα και κοσμήματα. Τέλος, οι φυσιολογικές αντιδράσεις δεν επηρεάζονται από τις προσπάθειες των ατόμων να παραπλανήσουν με στόχο να κρύψουν τα πραγματικά τους συναισθήματα καθώς ελέγχονται απευθείας από το ανθρώπινο αυτόνομο νευρικό σύστημα. Πολλές φορές ο ρόλος των φυσιολογικών αντιδράσεων υποτιμάται στη διαπροσωπική επικοινωνία. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου οι φυσιολογικές αντιδράσεις υποδεικνύουν το υπάρχον συναίσθημα όπως για παράδειγμα η γρήγορη ακανόνιστη αναπνοή που μπορεί να υποδηλώνει άγχος και το υγρό χέρι σε μια χειραψία που μπορεί να προδίδει ενθουσιασμό [2].

### 1.3. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας εφαρμογής η οποία θα παρακολουθεί τη συναισθηματική κατάσταση ενός ατόμου μέσω των βιολογικών σημάτων του οργανισμού και στη συνέχεια θα ενημερώνει ανάλογα τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Η εργασία διακρίνεται σε δυο βασικά μέρη: την ανίχνευση της συναισθηματικής κατάστασης ενός χρήστη και την ενημέρωση των κοινωνικών δικτύων.

Το πρώτο μέρος υλοποιείται σε περιβάλλον Matlab. Αρχικά, εντοπίζεται η κατάλληλη βάση δεδομένων η οποία περιέχει βιολογικά σήματα του οργανισμού τα οποία έχουν μετρηθεί κατά τη διάρκεια εκδήλωσης συγκεκριμένων συναισθημάτων. Στη συνέχεια, μέσω συστηματικών δοκιμών εντοπίζεται το νευρωνικό δίκτυο το οποίο θα δέχεται ως είσοδο τα δεδομένα της βάσης και μέσω εκπαίδευσης θα δίνει ως έξοδο το ανάλογο συναίσθημα. Τέλος, απαιτείται τροποποίηση της εξόδου του νευρωνικού δικτύου σε κατάλληλη μορφή, ώστε να είναι δυνατή η περαιτέρω χρησιμοποίησή του.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας γράφεται σε γλώσσα html. Στο κομμάτι αυτό της εργασίας γίνεται προσπάθεια δημιουργίας του κατάλληλου αλγορίθμου ο οποίος θα διαβάζει το συναίσθημα που προκύπτει από την έξοδο του νευρωνικού δικτύου και ενημερώνει ένα κοινωνικό δίκτυο, συγκεκριμένα το twitter.

Η επιλογή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε για δυο κυρίως λόγους. Καταρχάς, λόγω του σύγχρονου θέματος της που αφορά τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, τα οποία κατακλύζουν την καθημερινή ζωή και δεύτερον, λόγω του συνδυασμού του κλάδου της επιστήμης των υπολογιστών με αυτόν της ψυχολογίας.

### 1.4. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Στο **1<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του πλαισίου της εργασίας και μια **εισαγωγή σε βασικές έννοιες** της εργασίας, όπως τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, η αλληλεπίδραση ανθρώπου μηχανής και η αναγνώριση συναισθήματος.

Στο **2<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρέχονται πληροφορίες για τις **θεωρητικές έννοιες που σχετίζονται με το αντικείμενο της εργασίας**. Γίνεται μια εκτενής αναφορά στα συναισθήματα, στα βιολογικά σήματα του οργανισμού και στο συσχετισμό τους με τα συναισθήματα, στα νευρωνικά δίκτυα και στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης.

Στο **3<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται **παρουσίαση της βάσης των δεδομένων** του AuBT (University of Augsburg) που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία. Περιγράφεται

αναλυτικά ο τρόπος δημιουργίας της, οι δυσκολίες που εμφανίστηκαν κατά τη δημιουργία και τα δεδομένα που περιέχει.

Στο **4<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται **αναλυτική περιγραφή του πειράματος** που πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Στο **5<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα **αποτελέσματα της εργασίας** και αναφέρονται **οι περιορισμοί και οι δυσκολίες** που εμφανίστηκαν κατά την εκπόνηση της.

Στο **6<sup>ο</sup> και τελευταίο κεφάλαιο** εξάγονται τα **βασικά συμπεράσματα** και συζητούνται οι **μελλοντικές επεκτάσεις** της διπλωματικής εργασίας.





## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Θεωρητικό υπόβαθρο

#### 2.1 Συναισθήματα

##### 2.1.1. Ορισμός συναισθήματος

Το συναίσθημα είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη λέξη της καθημερινότητας, η οποία αν και μπορεί εύκολα να κατανοηθεί είναι δύσκολο να της δοθεί ένας σαφής, πλήρης και αποδεκτός ορισμός. Ένας χαρακτηριστικός ορισμός θα μπορούσε να είναι ο εξής:

*Ως συναίσθημα περιγράφεται η απόκριση του οργανισμού σε εσωτερικά ή εξωτερικά γεγονότα [3] η οποία σχετίζεται με τον χαρακτήρα, τα βιώματα και την εμπειρία του ατόμου και το οδηγεί σε μια ευάρεστη ή δυσάρεστη ψυχική κατάσταση.*

Ένας σημαντικός αριθμός παρόμοιων λέξεων που υπόκεινται στον κλάδο της μελέτης του νευρικού συστήματος από συναισθηματικής πλευράς, όπως το αίσθημα και η διάθεση θα πρέπει να διαφοροποιούνται από το συναίσθημα. Το αίσθημα λαμβάνεται υπόψη ως η υποκειμενική έκφραση του συναισθήματος και η διάθεση είναι μια συναισθηματική κατάσταση η οποία έχει μεγαλύτερη διάρκεια από το συναίσθημα αλλά μικρότερη ένταση [3].

##### 2.1.2. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα συναισθήματος

Το συναίσθημα αποτελείται από πέντε κρίσιμα χαρακτηριστικά στοιχεία τα οποία είναι: η γνωστική αξιολόγηση, τα σωματικά συμπτώματα, οι τάσεις δράσεις, η έκφραση και τα αισθήματα [4].

- Η γνωστική αξιολόγηση αποτελεί μια εκτίμηση των γεγονότων μέσω της οποίας γίνεται αντιληπτός ο λόγος πρόκλησης του συναισθήματος και ερμηνεύεται η διέγερση που νιώθει το άτομο.
- Τα σωματικά συμπτώματα αποτελούν το φυσιολογικό συστατικό της συναισθηματικής εμπειρίας. Η αντίληψη ενός διεγερτικού γεγονότος ακολουθείται άμεσα από σωματικές αλλαγές η αίσθηση και κατανόηση των οποίων είναι το συναίσθημα. Η ένταση και η διαφοροποίηση των συναισθημάτων βασίζεται σε επανατροφοδότηση από το σωματικό και το αυτόνομο νευρικό σύστημα.
- Η τάση δράσης μπορεί να θεωρηθεί ως το κινητήριο συστατικό που οδηγεί στην απόκριση και είναι ουσιαστικά η τάση για εμφάνιση συμπεριφοράς ανάλογης προς το συναίσθημα.

- Η έκφραση, κυρίως του προσώπου και της φωνής, είναι μια από τις βασικές συμπεριφορές που υποδεικνύουν την ύπαρξη συναισθήματος και συνοδεύουν την συναισθηματική κατάσταση.
- Τέλος, τα αισθήματα αποτελούν την υποκειμενική εμπειρία της συναισθηματικής κατάστασης που επέρχεται.

### 2.1.3. Κατηγοριοποίηση συναισθημάτων

Η κατηγοριοποίηση των συναισθημάτων και η προσπάθεια διαχωρισμού τους σε βασικά και δευτερεύοντα έχει καθαρά υποκειμενικό χαρακτήρα και αποτελεί πεδίο διαφωνίας μεταξύ των ειδημόνων. Δύο είναι οι θεμελιώδεις απόψεις σχετικά με την ταξινόμηση των συναισθημάτων. Σύμφωνα με την πρώτη τα συναισθήματα είναι διακριτά και η ύπαρξή τους καθολική. Αντίθετα, η δεύτερη άποψη υποστηρίζει ότι τα συναισθήματα μπορούν να τοποθετηθούν σε μια διαστατική βάση και να ερμηνευτούν με τη βοήθεια ομαδοποιήσεων.

Ο Paul Ekman ήταν υποστηρικτής της πρώτης άποψης και υποστήριξε ότι τα συναισθήματα είναι φυσιολογικά ευδιάκριτα. Επίσης, είχε δώσει μεγάλη έμφαση στη άποψη ότι ορισμένα συναισθήματα είναι παγκοσμίως αναγνωρίσιμα ανεξάρτητα από το εκάστοτε πολιτικό και κοινωνικό υπόβαθρο. Σύμφωνα με τον Paul Ekman έξι είναι τα βασικά αναγνωρισμένα συναισθήματα[3]:

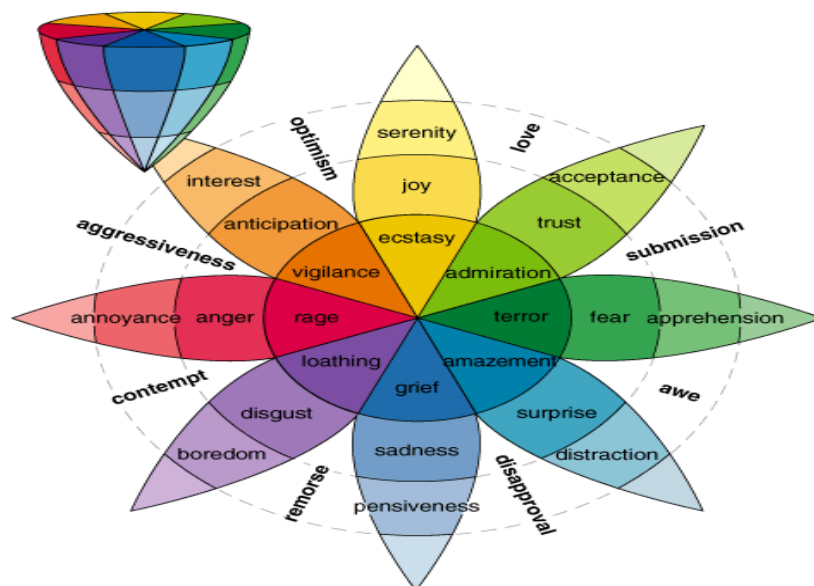
- η έκπληξη
- η λύπη
- η χαρά
- ο φόβος
- η αγδία
- ο θυμός

Η δεύτερη άποψη, της οποίας βασικός υποστηρικτής ήταν ο Robert Plutchik, στηρίζεται στη θεωρία ότι τα βασικά συναισθήματα μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να διαμορφώσουν τα σύνθετα συναισθήματα. Τα βασικά συναισθήματα είναι οχτώ, ομαδοποιούνται ανά δυο και σχηματίζουν ζεύγη αντίθετων συναισθημάτων. Τα ζεύγη αυτά είναι:

- χαρά- λύπη
- θυμός-φόβος
- έκπληξη-προσμονή
- εμπιστοσύνη-αγδία

Ένα χαρακτηριστικό δημιούργημα του Robert Plutchik είναι ο τροχός συναισθημάτων, ο οποίος αποτελεί την οπτικοποίηση της θεωρίας του σύμφωνα με την οποία τα οχτώ βασικά συναισθήματα μπορούν να εκφραστούν σε διαφορετικές

εντάσεις και να συνδυαστούν ώστε να δημιουργηθούν ενδιάμεσα συναισθήματα(βλ. Εικόνα 2.1)[5].



Εικόνα 2.1: Τροχός συναισθημάτων του Plutchik

#### 2.1.4. Ορισμός βασικών συναισθημάτων

Παρακάτω δίνονται σύντομοι και περιεκτικοί ορισμοί για τα έξι βασικά συναισθήματα του Ekman.

Η **έκπληξη** είναι μια συνοπτική συναισθηματική κατάσταση που βιώνεται ως αποτέλεσμα ενός απροσδόκητου σημαντικού γεγονότος [6].

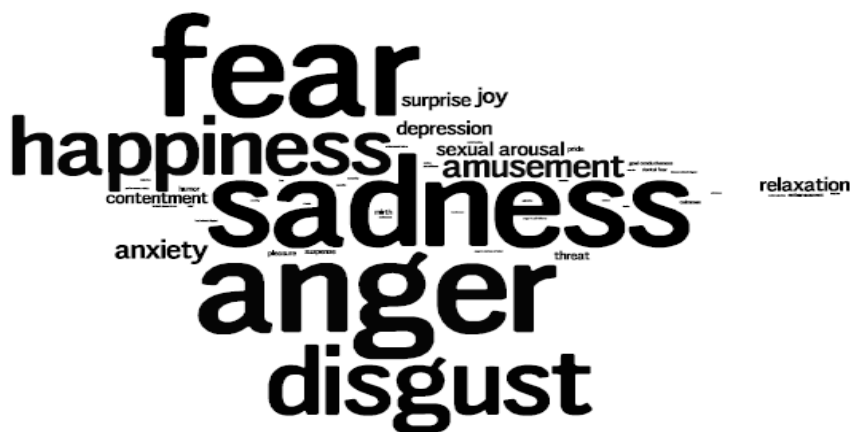
Η **λύπη** είναι ο συναισθηματικός πόνος που χαρακτηρίζεται από τα αισθήματα της απελπισίας, της ανικανότητας και της θλίψης. Είναι αποτέλεσμα της απώλειας, η οποία μπορεί να αφορά τα υλικά αγαθά, τις διαπροσωπικές σχέσεις, την υγεία και την ασφάλεια [7].

Η **χαρά** είναι μια διανοητική ή συναισθηματική κατάσταση ευημερίας η οποία χαρακτηρίζεται από θετικά και ευχάριστα αισθήματα που κυμαίνονται από την ικανοποίηση ως την ευτυχία [8].

Ο **φόβος** είναι το συναίσθημα που προκαλείται από μια αντιληπτή απειλή. Είναι ένας βασικός μηχανισμός επιβίωσης που εμφανίζεται ως απόκριση σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα, όπως η απώλεια ασφάλειας, ο πόνος ή ο επικείμενος κίνδυνος [9].

Η **αηδία** αποτελεί ένα τύπο απώθησης που περιλαμβάνει την απομάκρυνση από ένα πρόσωπο ή ένα αντικείμενο, με έντονες εκφράσεις μεταστροφής είτε πραγματικές είτε προσποιητές [10].

Ο **θυμός** είναι ένα συναίσθημα το οποίο χαρακτηρίζεται από ανταγωνισμό προς κάποιον ή κάτι που νιώθουμε ότι μας έχει βλάψει ή προσβάλλει σκόπιμα [11]. Εμπεριέχει μια τάση αντίδρασης μέσω της ανταπόδοσης. Επίσης, μπορεί να περιγραφεί ως το συναίσθημα που περιλαμβάνει μια ισχυρή συναισθηματική απόκριση σε μια αντιληπτή πρόκληση.



Εικόνα 2.2: Βασικά Συναισθήματα

## 2.2 Βιοσήματα

### 2.2.1. Γενικά

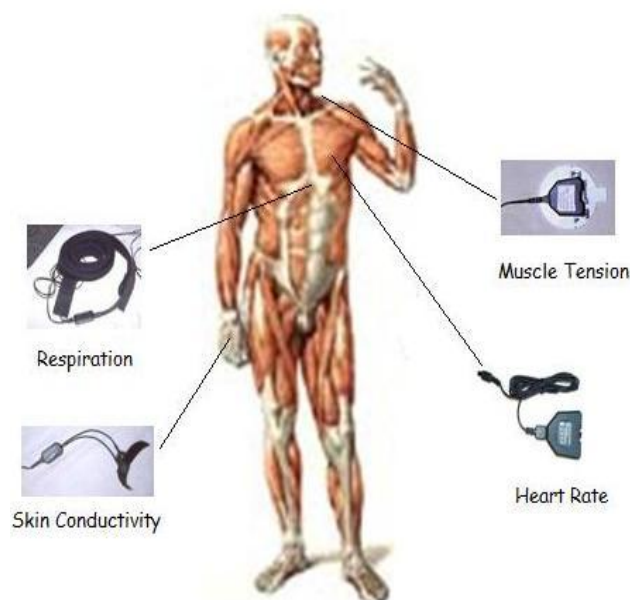
Η απόκριση του οργανισμού στα ερεθίσματα μπορεί να διαπιστωθεί φυσιολογικά καθώς συνοδεύεται από ελαφριές μεταβολές των λειτουργιών του οργανισμού [12]. Οι μεταβολές αυτές σχετίζονται κυρίως με τη διέγερση του νευρικού συστήματος, προκαλούν βιολογικές αντιδράσεις και για το λόγο αυτό μπορούν να ανιχνευτούν με τη βοήθεια της τεχνολογίας και συγκεκριμένα με τη χρήση αισθητήρων που μετρούν βιολογικά σήματα του οργανισμού.

Τα βιολογικά σήματα είναι ένας συνοπτικός όρος για όλων των ειδών τα σήματα που παράγονται στο ανθρώπινο σώμα ή σε οποιοδήποτε άλλο ζωντανό οργανισμό και μετρώνται ώστε να αποκτηθούν συγκεκριμένες χρήσιμες πληροφορίες. Πρώτιστα, ο όρος αναφέρεται στα σήματα που είναι ηλεκτρικής φύσης ωστόσο, ελέγχονται και μερικά μη ηλεκτρικά σήματα. Οι αλλαγές της διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός ορισμένου ιστού στο σώμα μετριούνται σε περίπτωση βιο-ηλεκτρικών σημάτων [13].

Τα σήματα αυτά αποτελούν ένα τρόπο με τον οποίο μπορούμε να διαπιστώσουμε πιθανές μεταπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό και να τις μελετήσουμε περαιτέρω.

### 2.2.2. Χαρακτηριστικά βιοσήματα

Χαρακτηριστικά βιοσήματα του ανθρώπινου οργανισμού (με τα οποία θα ασχοληθούμε εκτεταμένα) είναι τα εξής: το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG), το ηλεκτρομυογράφημα (EMG), η αλλαγή αναπνοής (RSP) και η αγωγιμότητα του δέρματος (SC).



Εικόνα 2.3: Τρόπος μέτρηση βιοσημάτων

Η ηλεκτροκαρδιογραφία (ECG) είναι μια διαθωρακική παρατήρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς, για μια χρονική περίοδο, η οποία ανιχνεύεται από ηλεκτρόδια που συνδέονται με την εξωτερική επιφάνεια του δέρματος στην περιοχή της καρδιάς και καταγράφεται από μια συσκευή εξωτερική στο σώμα. Η καταγραφή που παράγεται από αυτήν τη διαδικασία καλείται **ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG)** [14].

Η ηλεκτρομυογραφία (EMG) είναι μια τεχνική για την αξιολόγηση και την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας που παράγεται από τους σκελετικούς μυς. Εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας ένα όργανο που καλείται ηλεκτρομυογράφος ο οποίος συνδέεται στο λαιμό ή σε άλλο μυώδες σημείο του σώματος και ανιχνεύει το ηλεκτρικό δυναμικό που παράγεται από τα κύτταρα μυών όταν αυτά ενεργοποιούνται ηλεκτρικά ή νευρολογικά. Το αρχείο που παράγεται από αυτή τη διαδικασία καλείται **ηλεκτρομυογράφημα (EMG)** [15].

Ο ρυθμός αναπνοής είναι ο αριθμός των αναπνοών που παίρνει ο άνθρωπος ανά λεπτό και υπολογίζεται μετρώντας πόσες φορές ανεβαίνει το στέρνο του ατόμου που μετράται. Οι **μεταβολές της αναπνοής (RSP)** μπορούν να υπολογιστούν με αυτό τον τρόπο και να χρησιμοποιηθούν ως ένδειξη σωματικών και ψυχολογικών μεταπτώσεων.

Η **αγωγιμότητα του δέρματος (SC)** είναι μια μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του δέρματος, η οποία ποικίλλει με το επίπεδο υγρασίας του. Συνήθως η μέτρηση γίνεται στο χέρι γύρω από τον καρπό του ατόμου. Η αγωγιμότητα του δέρματος χρησιμοποιείται ως ένδειξη της ψυχολογικής ή φυσιολογικής διέγερσης του ατόμου και συντελεί στην εξέταση των αυθόρμητων διακυμάνσεων και των αντιδράσεων στα ερεθίσματα [16].

## **2.3 Συσχετισμός βιολογικών σημάτων με τα συναισθήματα**

### **2.3.1. Το αυτόνομο νευρικό σύστημα**

Η φυσιολογική αντίληψη του συναισθήματος είναι ύψιστης σημασίας. Η διέγερση του νευρικού συστήματος και οι μεταβολές που αυτό προκαλεί είναι ο λόγος που το συναίσθημα γίνεται αντιληπτό βιολογικά.

Το αυτόνομο νευρικό σύστημα (Autonomic Nervous System ANS) είναι το τμήμα του περιφερειακού νευρικού συστήματος που ενεργεί ως σύστημα ελέγχου που λειτουργεί κατά ένα μεγάλο μέρος κάτω από το επίπεδο συνείδησης, και ελέγχει τις οργανικές λειτουργίες. Το αυτόνομο νευρικό σύστημα επηρεάζει τους καρδιακούς παλμούς, την πέψη, τον ρυθμό αναπνοής και την εφίδρωση και είναι αυτό που ενεργοποιείται κατά την ύπαρξη συναισθήματος [17].

### **2.3.2. Θεωρίες συναισθημάτων**

#### **2.3.2.1. Θεωρίες συσχετισμού της δραστηριοποίησης του αυτόνομου νευρικού συστήματος με το συναίσθημα**

Το ζήτημα του συσχετισμού της δραστηριοποίησης του αυτόνομου νευρικού συστήματος με το συναίσθημα έχει αποτελέσει σημείο αντιπαράθεσης των ερευνητών. Τρεις είναι οι τρέχουσες θέσεις που αφορούν την αυτόνομη απόκριση στο συναίσθημα και παρουσιάζονται στη συνέχεια [18].

Η πρώτη από αυτές, της οποίας υποστηρικτές είναι οι Feldman-Barrett [19], αναφέρει ότι δεν υπάρχει ισχυρός συσχετισμός μεταξύ συναισθήματος και αυτόνομου νευρικού συστήματος, καθώς δεν υπάρχουν συναισθήματα με μοναδικές και αμετάβλητες αποκρίσεις του αυτόνομου νευρικού συστήματος που να αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμά τους.

Οι υποστηρικτές της δεύτερης άποψης (Cacioppo, Berntson, Klein, Poehlmann) [20], η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ενδιάμεση, διατείνονται ότι υπάρχει σύνδεση αυτόνομου νευρικού συστήματος και συναισθήματος έως ένα βαθμό, καθώς εμφανίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ βασικών συναισθημάτων στα πλαίσια της δραστηριοποίησης του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Παρατηρούνται επίσης, έντονες συναισθηματικές αποκρίσεις στα αρνητικά συναισθήματα σε σχέση με τα θετικά.

Η τρίτη άποψη, της οποίας υποστηρικτής είναι ο Stemmler [21], είναι εκ διαμέτρου αντίθετη με την πρώτη και αναφέρει ότι κάθε συναίσθημα έχει διαφοροποιημένη αυτόνομη απόκριση, καθώς αυτή συμβάλλει στην ανθρώπινη προσαρμογή και

συγκεκριμένα στην προστασία του σώματος και στην προετοιμασία της συμπεριφοράς.

### **2.3.2.2. Χαρακτηριστικές θεωρίες συναισθημάτων**

Οι θεωρίες συναισθημάτων πραγματεύονται το μηχανισμό πρόκλησης συναισθημάτων στο άτομο και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τις σωματικές θεωρίες, τις γνωστικές θεωρίες και τις νευροβιολογικές θεωρίες [3].

Σύμφωνα με τις **σωματικές θεωρίες** τα συναισθήματα προκαλούνται λόγω των φυσιολογικών αποκρίσεων του οργανισμού. Οι William James και Carl Lange ήταν βασικοί υποστηρικτές των θεωριών αυτών. Λόγω των πολλών κοινών σημείων που εμφανίζουν οι θέσεις τους, η θεωρία αυτή εμφανίζεται ως κοινή και είναι γνωστή ως η θεωρία James- Lange. Με βάση τη θεωρία αυτή, τα ανθρώπινα όντα εμφανίζουν αποκρίσεις στις διάφορες εμπειρίες και το αυτόνομο νευρικό σύστημα δημιουργεί φυσιολογικά γεγονότα όπως η μυϊκή ένταση, η άνοδος στον καρδιακό ρυθμό και η ξηρότητα του στόματος. Τα συναισθήματα είναι τα αισθήματα που εμφανίζονται ως αποτέλεσμα αυτών των φυσιολογικών αλλαγών και όχι η αιτία εμφάνισής τους [22].

Οι **γνωστικές θεωρίες** πραγματεύονται τη θέση ότι οι σκέψεις, οι κρίσεις, οι αξιολογήσεις και γενικότερα η νοητική δραστηριότητα ευθύνονται για την εκδήλωση των συναισθημάτων. Μια χαρακτηριστική θεωρία που ανήκει στις γνωστικές θεωρίες είναι η θεωρία Cannon- Bard σύμφωνα με την οποία πρώτα εμφανίζεται το συναίσθημα και ύστερα εκδηλώνεται η ανάλογη συμπεριφορά.

Μι άλλη γνωστική θεωρία είναι αυτή των Singer- Schachter γνωστή και ως η θεωρία δυο παραγόντων. Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι το συναίσθημα είναι συνάρτηση δύο παραγόντων: της φυσιολογικής διέγερσης και των γνωστικών παραγόντων. Σύμφωνα, λοιπόν, με τη θεωρία αυτή, οι άνθρωποι αναζητούν στο άμεσο περιβάλλον τους στοιχεία με σκοπό την ερμηνεία της φυσιολογικής διέγερσης την οποία αισθάνονται και την ταυτοποίηση του συναισθήματος [23].

Τέλος οι **νευροβιολογικές θεωρίες** είναι αυτές οι οποίες σχετίζουν τα συναισθήματα με τη δραστηριότητα του εγκεφάλου.

### **2.3.3. Συσχετισμός ANS και συναισθήματος**

Η σχέση αυτόνομου νευρικού συστήματος και συναισθήματος είναι υπό συζήτηση ωστόσο είναι δύσκολο να αμφισβητηθεί ότι υφίσταται. Θα πρέπει, παρ' όλα αυτά, να ληφθεί υπόψη ότι η σχέση αυτή δεν είναι ένα προς ένα δηλαδή, μπορεί να υπάρξουν αλλαγές συναισθήματος χωρίς ταυτόχρονες αυτόνομες αποκρίσεις και το αντίστροφο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αλλαγή διάθεσης. Στην περίπτωση αυτή έχουμε αλλαγή της συναισθηματικής κατάστασης χωρίς όμως την εμφάνιση

αυτόνομων αποκρίσεων. Αντίθετα, έχει παρατηρηθεί ύπαρξη αυτόνομων αποκρίσεων χωρίς να υπάρχει αλλαγή συναισθήματος. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη μη συναισθηματικών παραγόντων, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η στάση του σώματος, οι οποίοι οδηγούν στη δραστηριοποίηση του αυτόνομου νευρικού συστήματος [18].

Η συλλογή έγκυρων δεδομένων στην αυτόνομη απόκριση συναισθήματος είναι ζωτικής σημασίας και παραμένει πρόκληση. Ωστόσο, έχουν διαπιστωθεί, σε εμπειρικές μελέτες, αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των συναισθημάτων οι οποίες αντανακλούνται στη λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος.

Θα αναφερόμαστε εκτενέστερα στα έξι βασικά συναισθήματα κατά τον Ekman και στις αντίστοιχες αποκρίσεις του αυτόνομου νευρικού συστήματος [18].

#### Αρνητικά συναισθήματα

**Λύπη:** Κατά την εκδήλωση του συναισθήματος της λύπης παρατηρείται αύξηση του ρυθμού αναπνοής και μείωση του καρδιακού ρυθμού και του επιπέδου αγωγιμότητας του δέρματος.

**Φόβος:** Στην περίπτωση του φόβου παρατηρείται αύξηση του ρυθμού αναπνοής, του καρδιακού ρυθμού και του επιπέδου αγωγιμότητας του δέρματος.

**Αηδία:** Το συναίσθημα της αποστροφής διακρίνεται σε δυο μέρη, αυτό της αποστροφής σχετικής με τη μόλυνση και αυτό της αποστροφής για τραυματισμούς. Και στις δυο περιπτώσεις παρατηρείται αύξηση του ρυθμού αναπνοής και του επιπέδου αγωγιμότητας του δέρματος, στην πρώτη αύξηση του καρδιακού ρυθμού και στη δεύτερη αντίστοιχη μείωση.

**Θυμός:** Κατά την εκδήλωση του συναισθήματος του θυμού παρατηρείται αύξηση του ρυθμού αναπνοής, του καρδιακού ρυθμού και του επιπέδου αγωγιμότητας του δέρματος.

#### Θετικά συναισθήματα

**Χαρά:** Με την πρόκληση του συναισθήματος της χαράς παρατηρήθηκε αύξηση του καρδιακού ρυθμού και μια ελαφρά αύξηση του ρυθμού αναπνοής και του επιπέδου αγωγιμότητας του δέρματος.

#### Συναισθήματα χωρίς ξεκάθαρη χροιά

**Έκπληξη:** Η πρόκληση του συναισθήματος της έκπληξης οδηγεί στην αύξηση του καρδιακού ρυθμού, στην ελαφρά μείωση του ρυθμού αναπνοής και στην αύξηση του επιπέδου αγωγιμότητας του δέρματος όχι όμως σε επαρκή αριθμό από τις ερευνούμενες περιπτώσεις.

Παρακάτω παρατίθενται ένας συγκεντρωτικός πίνακας της απόκρισης του αυτόνομου νευρικού συστήματος για κάθε συναίσθημα (βλ. Πίνακας 2.1) [18] και ένας πίνακας



με συντομογραφίες, πλήρη ονόματα, και συνώνυμες εκφράσεις των μετρήσεων του αυτόνομου νευρικού συστήματος που χρησιμοποιούνται στη μελέτη του συναισθήματος (βλ. Πίνακας 2.1) [18].

	Anger	Anxiety	Disgust Contamin	Disgust Mutilation	Embarrass	Fear	Fear Imminent	Sadness Crying	Sadness Noncrying	Sadness Anticipato	Sadness Acute	Affection	Amusement	Contentm	Happiness	Joy	Antic. Ple Visual	Antic. Ple Imagery	Pride	Relief	Surprise	Suspense	
<b>Cardiovascular</b>																							
HR	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	It	↓	↑	↑	↓	↑	It	↑	↑	(↓)	
HRV	↓	↓	↑	-	(↓)	↓	(-)	-	↓	(↓)	↑	↓	↑	It	↓	(f)	(f)		(-)				
LF		(f)				(-)									-								
LF/HF		(f)		(↓)									(-)										
PWA						(f)																	
TWA	↓			(f)		(↓)								(f)									
LVET	↓		(↓)	(↓)		↓				It				(f)	(-)	(↓)							
HI	↑					(f)																	
PEP	↓		(↓)	(↓)	(↓)	↓				It	↑		(f)	(f)	(f)	It			(-)				
SV	It	(-)	↓	(-)		↓				↓					(-)	(↓)							
CO	It	(f)	(↓)	(↓)	(-)	↑				↑			(↓)	(-)	-				(-)				
SBP	↑	↑	↑	↑	(f)	↑				↑	(↓)		↑	(↓)	↑	↑							
DBP	↑	↑	↑	↑	(f)	↑				↑	↓		↑	(↓)	↑	-							
MAP			↑	↑		↑					↓		↑	(↓)	↑								
TPR	↑		↑	(-)	(f)	↓				↑			(f)	(f)	(-)				(-)				
FPA	↓	↓	↓	↓		↓	(↓)	↓	↓	(f)	↓		(↓)	(-)	It						(f)		
FPTT	↓	(↓)	It	It		↓	(-)			(↓)	↑				↑								
EPTT		(↓)	It	It		↓	(↓)				↑				↑								
FT	↓	(↓)	It	It		↓		↓	↓	It	↓		(-)	↑		(f)					It		
HT	It	(f)	(↓)	(↓)			(f)																
<b>Electrodermal</b>																							
SCR	↑	↑	↑	↑		↑	↑			↓			↑	(-)			↑				↓		
nSRR	↑	↑	↑	↑		↑	↑	↑	↓	↑	↑		↑		↑	↑	↑	↑			(↓)	(f)	
SCL	↑	↑	↑	↑	(f)	↑	↓	↑	↓	↑	↓	(f)	↑	↓	↑	-	↑		↑	↓	(f)	(f)	
<b>Respiratory</b>																							
RR	↑	↑	↑	↑		↑	↑	↑	It	It			↑	It	↑	(f)	(↓)	↑		(↓)	↓	(f)	
Ti	(↓)	↓	↓	-		↓				(↓)			(↓)	(f)	↓		(f)	(↓)		(f)			
Te	(↓)	↓	↑	-		↓				(↓)				(f)	↓		(f)	(↓)		(f)		(↓)	
Pi	(f)					(f)									(↓)						(f)		
Pe										(↓)												(↓)	
Ti/Ttot			(↓)	-		(f)						(f)	(↓)									(f)	
Vt	It	↓	↓	(↓)		It	↓	↑	It	↓			It	It	It		(↓)	(↓)		(f)	↑	(-)	
Vi/Ti			(↓)	-											(f)							(↓)	
V(rhyth)			(f)	-						(f)		(f)	(f)	(-)								(↓)	
V(vol)	(f)	(f)	(f)	-		↑						(↓)	(f)	(↓)								(↓)	
sighing		It																			It		
Ros	(f)	(f)	(f)	-									(f)	(-)	(f)		(-)						
pCO <sub>2</sub>		↓				↓				↑				↑								(↓)	
<b>ANS activation components</b>																							
σ-adrenergic	↑	(f)	↑	(-)	(f)	↑		(f)	(f)	(f)			↑	(↓)	(f)	-							
β-adrenergic	↑	(f)	(f)	(f)	(f)	↑				It	↓		(↓)	(↓)	↓	It				-			
cholinergic	↑	↑	↑	↑	(f)	↑		↑	↓	↑	↓	(f)	↑	↓	↑	↑	(f)	(f)	(f)	(f)	↓	(f)	(f)
vagal	↓	↓	↑	-	(↓)	↓		-	↓	(↓)	↑		↑	It	↓	(f)	(f)		(-)				
respiratory	↑	↑	↑	-		↑		↑	↑	(f)	↑	(f)	↑	↓	↑	(f)	↓	↑		↓	↓	(f)	

Πίνακας 2.1: Επισκόπηση της απόκρισης του αυτόνομου νευρικού συστήματος για κάθε συναίσθημα

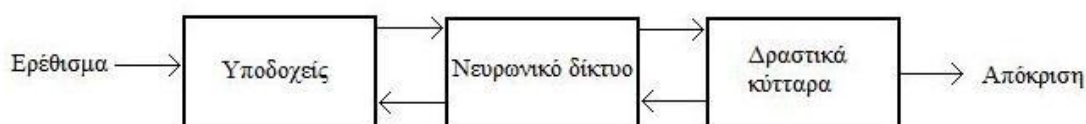
Abbreviation	Full name	TWA	T-wave amplitude
<b>Cardiovascular measures</b>		<b>Respiratory measures</b>	
CO	cardiac output	FRC	functional residual capacity
DBP	diastolic blood pressure	I/E ratio	inspiratory/expiratory ratio
EPA	ear pulse amplitude	HV	hyperventilation
EPTT	ear pulse transit time	pCO <sub>2</sub>	end-tidal carbon dioxide partial pressure
FPA	finger pulse amplitude	Pe	post expiratory pause time
FPTT	finger pulse transit time	Pi	post inspiratory pause time
FT	finger temperature	RC/Vt	percentage of rib cage contribution to Vt
HI	Heather index		
HR	heart rate		
HRV	heart rate variability		amount of respiratory work (depth divided by breath cycle duration)
	coefficient of temporal variability	RD/Ttot	
CVT		Ros	oscillatory resistance
	high frequency spectral HRV (RSA)	RR	respiration rate
HF			transcutaneous oxygen saturation
LF	low frequency spectral HRV	SaO <sub>2</sub>	
	low frequency/high frequency ratio	Te	expiratory time
LF/HF		Ti	inspiratory time
MF	mid frequency spectral HRV	Ti/Ttot	inspiratory duty cycle
	mean difference between successive RR intervals	Ve	expiratory volume
MSD			expiratory flow rate or expiratory drive
	mean square of successive RR interval differences	Ve/Te	
MSSD		Vi	inspiratory volume
	percentage of successive normal sinus RR intervals > 50 ms	Vi/Ti	inspiratory flow rate or inspiratory drive
pNN50			
	root-mean-square of successive normal sinus RR interval differences	Vm	minute ventilation
RMSSD		Vt	tidal volume
RSA	respiratory sinus arrhythmia standard deviation of the normal-to-normal intervals	Vt/Ti	mean inspiratory flow rate
SDNN		Vt V t	idal volume variability
	standard deviation of successive differences	<b>Electrodermal measures</b>	
SDSD			
	very low frequency spectral HRV	nSRR	nonspecific skin conductance response rate
VLF			
HT	forehead temperature	OPD	Ohmic Perturbation Duration index
LVET	left ventricular ejection time	SCL	skin conductance level
MAP	mean arterial pressure	SCR	skin conductance response (amplitude, evoked)
PEP	preejection period	SYDER	SYDER skin potential forms skin conductance response amplitude (spontaneous)
PWA	P-wave amplitude	SRA	
SBF	skin blood flow		
SBP	systolic blood pressure		
SV	stroke volume		
TPR	total peripheral resistance		

Πίνακας 2.2: Συντομογραφίες και πλήρη ονόματα μετρήσεων του ANS

## 2.4 Νευρωνικά Δίκτυα

### 2.4.1. Το νευρικό σύστημα και η ιδέα του νευρώνα

Το ανθρώπινο νευρικό σύστημα μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα σύστημα τριών σταδίων όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.4 [24]:

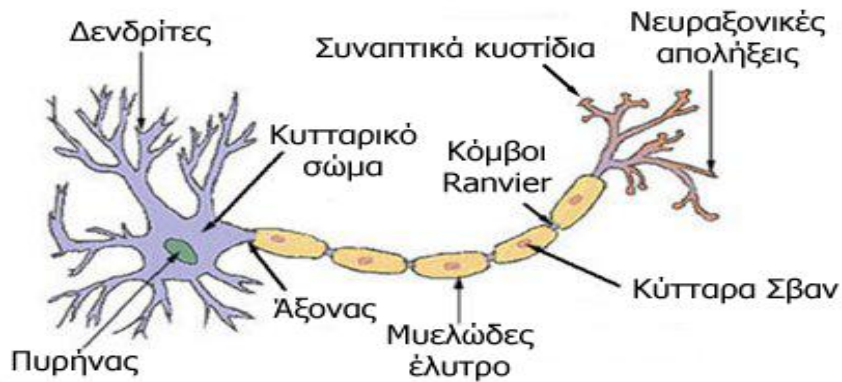


Εικόνα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση του νευρικού συστήματος

Το κέντρο του συστήματος είναι ο εγκέφαλος, ο οποίος αναπαριστάται από το νευρωνικό (νευρικό) δίκτυο. Το δίκτυο αυτό προσλαμβάνει διαρκώς νέες πληροφορίες, τις επεξεργάζεται και λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις. Οι υποδοχείς μετατρέπουν τα ερεθίσματα που προέρχονται από το ανθρώπινο σώμα ή το εξωτερικό περιβάλλον σε ηλεκτρικά σήματα (ώσεις) που μεταφέρουν την πληροφορία στο νευρωνικό δίκτυο (εγκέφαλο). Τέλος, τα δραστικά κύτταρα μετατρέπουν τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από το νευρικό δίκτυο σε αισθητές αποκρίσεις (οι έξοδοι του συστήματος).

Η προσπάθεια για την κατανόηση του εγκεφάλου έχει διευκολυνθεί χάρη στο έργο του Ramón y Cajal, ο οποίος εισήγαγε την ιδέα των νευρώνων ως δομικά συστατικά του εγκεφάλου. Οι συνάψεις, ή νευρικές απολήξεις, είναι οι στοιχειώδεις δομικές και λειτουργικές μονάδες που παίζουν διαμεσολαβητικό ρόλο κατά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των νευρώνων.

Με τον όρο νευρώνας ορίζουμε το κύτταρο που αποτελεί δομικό μέρος και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος. Κάθε νευρώνας αποτελείται από ένα κυτταρικό σώμα, το οποίο περιλαμβάνει τον πυρήνα και μεγάλο αριθμό οργανιδίων, και από μία ή περισσότερες αποφυάδες. Αυτές ονομάζονται "δενδρίτες" όταν συλλέγουν τα σήματα που στέλνονται στο κύτταρο, και "άξονας" όταν μεταδίδει ώσεις από το κυτταρικό σώμα [25].



Εικόνα 2.5:Σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού νευρώνα

Ο εγκέφαλος έχει, από τη στιγμή της γέννησης, σημαντική δομή και δυνατότητα να κατασκευάζει δικούς του κανόνες συμπεριφοράς, μέσω αυτού που αποκαλούμε «εμπειρία» και μια χαρακτηριστική ιδιότητά του, μεγάλης σημασίας, είναι αυτή της πλαστικότητας, η οποία δίνει στο νευρικό σύστημα τη δυνατότητα να προσαρμόζεται ανάλογα με το περιβάλλον του.

## 2.4.2 Το νευρωνικό δίκτυο

### 2.4.2.1. Ορισμός νευρωνικού δικτύου

Η ανάγκη μοντελοποίησης του τρόπου λειτουργίας του εγκεφάλου μας οδηγεί στην εμφάνιση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Η ανάπτυξη τους βασίστηκε στο γεγονός ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος εκτελεί τους υπολογισμούς με εντελώς διαφορετικό τρόπο από το συμβατικό ψηφιακό υπολογιστή.

Παρακάτω δίνουμε έναν ορισμό του τεχνητού νευρωνικού δικτύου όπως αυτός διατυπώθηκε από τους Aleksander & Morton [24]:

*Ένα νευρωνικό δίκτυο είναι ένας τεράστιος παράλληλος επεξεργαστής με κατανεμημένη αρχιτεκτονική, ο οποίος αποτελείται από απλές μονάδες επεξεργασίας και έχει από τη φύση του δυνατότητα να αποθηκεύει εμπειρική γνώση και να την καθιστά διαθέσιμη για χρήση. Μοιάζει με τον ανθρώπινο εγκέφαλο σε δυο σημεία:*

1. Το δίκτυο προσλαμβάνει τη γνώση από το περιβάλλον του, μέσω μιας διαδικασίας μάθησης.
2. Η ισχύς των συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων, που αποκαλείται συναπτικό βάρος, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της γνώσης που αποκτιέται.

#### 2.4.2.2. Πλεονεκτήματα νευρωνικών δικτύων

Ένα νευρωνικό δίκτυο οφείλει την υπολογιστική του ισχύ στην παράλληλη, κατανομημένη δομή του και στην ικανότητά του να μαθαίνει και, ως εκ τούτου, να γενικεύει. Η γενίκευση αναφέρεται στην παραγωγή, από το νευρωνικό δίκτυο, λογικών εξόδων για εισόδους τις οποίες δεν έχει συναντήσει κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής του.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες από τις πιο σημαντικές δυνατότητες και ιδιότητες των νευρωνικών δικτύων [24]:

**Μη γραμμικότητα:** ένας τεχνητός νευρώνας είναι είτε γραμμικός είτε μη γραμμικός, κατά συνέπεια ένα νευρωνικό δίκτυο που αποτελείται από μη γραμμικούς διασυνδεδεμένους νευρώνες είναι και αυτό μη γραμμικό. Η ιδιότητα αυτή των νευρωνικών είναι μεγάλης σημασίας κυρίως στις περιπτώσεις που τα σήματα εισόδου τους είναι μη γραμμικά.

**Προσαρμοστικότητα:** Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τα συναπτικά τους βάρη ανάλογα με τις μεταβολές του περιβάλλοντός τους. Συγκεκριμένα, ένα νευρωνικό δίκτυο εκπαιδευμένο να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί να επανεκπαιδευτεί, ώστε να μπορεί να χειρίζεται ήσσονος σημασίας μεταβολές στις συνθήκες του περιβάλλοντος λειτουργίας του. Επιπλέον, όταν ένα νευρωνικό δίκτυο λειτουργεί σε ένα μη στατικό περιβάλλον μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να μεταβάλλει τα συναπτικά του βάρη σε πραγματικό χρόνο.

**Μάθηση:** Η δυνατότητα μάθησης διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: την επιβλεπόμενη μάθηση, τη μη επιβλεπόμενη μάθηση και την ενισχυτική μάθηση.

Η επιβλεπόμενη μάθηση συνίσταται στην τροποποίηση των συναπτικών βαρών ενός νευρωνικού δικτύου εφαρμόζοντας ένα σύνολο χαρακτηρισμένων παραδειγμάτων εκπαίδευσης. Κάθε παράδειγμα αποτελείται από ένα μοναδικό σήμα εισόδου και μια αντίστοιχη επιθυμητή απόκριση και τα συναπτικά βάρη τροποποιούνται ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ επιθυμητής και πραγματικής απόκρισης του δικτύου που παράγεται από το σήμα εισόδου. Η εκπαίδευση επαναλαμβάνεται μέχρις ότου το δίκτυο να φτάσει σε μια ευσταθή κατάσταση, όπου δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στα συναπτικά βάρη. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάζεται μια αντιστοίχιση εισόδου- εξόδου για το δοθέν πρόβλημα.

Η μη επιβλεπόμενη μάθηση βασίζει την ύπαρξή της σε ένα ανεξάρτητο από την εργασία μέτρο της ποιότητας της αναπαράστασης, που καλείται να μάθει το δίκτυο και οι ελεύθερες παράμετροι του δικτύου βελτιστοποιούνται σε σχέση με αυτό το μέτρο. Στην περίπτωση αυτή, τα παραδείγματα που χρησιμοποιούνται είναι μη χαρακτηρισμένα και αποτελούνται απλώς από ένα σύνολο σημάτων εισόδου.

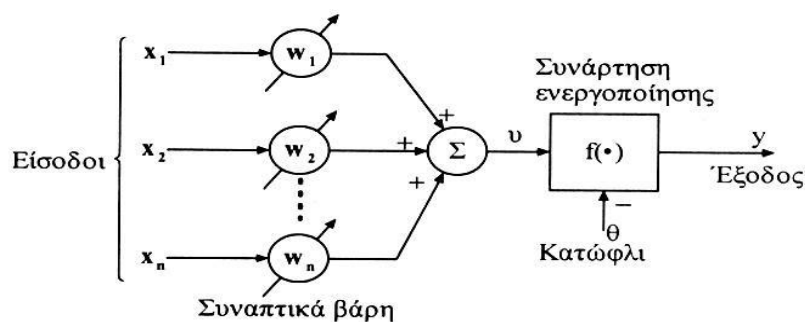
Η ενισχυτική μάθηση αποτελεί το είδος μάθησης όπου η εκμάθηση μιας αντιστοίχισης εισόδου- εξόδου εκτελείται μέσω συνεχούς αλληλεπίδρασης με το

περιβάλλον, με στόχο την ελαχιστοποίηση ενός βαθμωτού δείκτη απόδοσης. Η μέθοδος αυτή τοποθετείται ανάμεσα στην επιβλεπόμενη και τη μη επιβλεπόμενη μάθηση. Λειτουργεί μέσω συνεχών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός συστήματος μάθησης και του περιβάλλοντος. Το σύστημα μάθησης εκτελεί μια ενέργεια και μαθαίνει από την απόκριση που του παρέχει το περιβάλλον ως προς αυτή την ενέργεια.

### 2.4.2.3. Βασικό μοντέλο τεχνητού νευρωνικού δικτύου

Κάθε νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- τις υπολογιστικές μονάδες, οι οποίες είναι οι μονάδες εισόδου, οι μονάδες εξόδου και οι κρυφές μονάδες.
- τις συνδέσεις ή αλλιώς συναπτικά βάρη που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο η έξοδος του ενός νευρώνα θα οδηγείται στην είσοδο του άλλου.
- τη συνάρτηση ενεργοποίησης, η οποία “οδηγεί”, με ένα συγκεκριμένο και αρχικώς καθορισμένο τρόπο, τη σταθμισμένη είσοδο ενός νευρώνα στην έξοδό του. Χαρακτηριστικά είδη συναρτήσεων ενεργοποίησης είναι η βηματική συνάρτηση, η συνάρτηση προσήμου, η σιγμοειδής συνάρτηση και η γραμμική συνάρτηση.
- τον κανόνα εκμάθησης που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζονται οι παράμετροι του νευρωνικού δικτύου
- και την αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου που καθορίζει τον αριθμό των επίπεδων του και τον τρόπο τροφοδότησης του.



Εικόνα 2.6: Βασικό μοντέλο τεχνητού νευρώνα

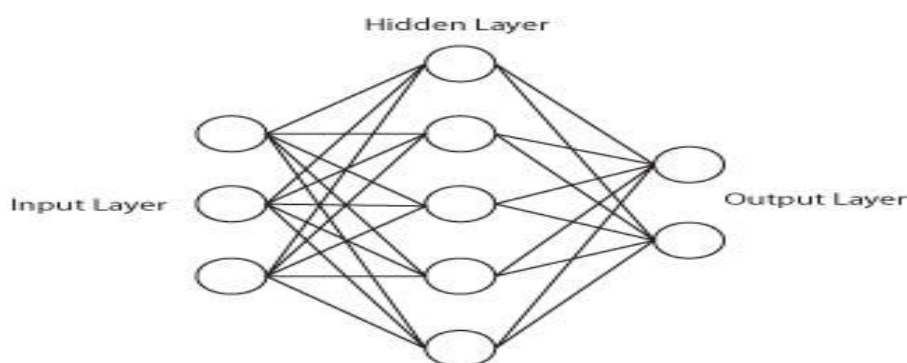
Από το παραπάνω σχήμα (βλ. Εικόνα 2.8), που απεικονίζει το βασικό μοντέλο τυπικού νευρώνα προκύπτει ότι η έξοδος του νευρωνικού δικτύου δίνεται από τη σχέση  $y = f(u - \theta), \theta > 0$  όπου  $u = \sum_{j=1}^n w_j x_j$  [38].

### 2.4.2.4. Είδη νευρωνικών δικτύων

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα κυριότερα είδη νευρωνικών δικτύων χωρισμένα σε δυο κατηγορίες με κριτήριο τον τρόπο εκμάθησης.

## Είδη νευρωνικών δικτύων επιβλεπόμενης μάθησης

**Νευρωνικά δίκτυα εμπρόσθιας τροφοδότησης (FFNN):** Τα δίκτυα αυτά είναι ο πρώτος και αμφισβητήσιμα απλούστερος τύπος τεχνητού νευρικού δικτύου που επινοήθηκε. Σε αυτά οι πληροφορίες κινούνται μόνο προς μια κατεύθυνση, την εμπρόσθια. Από τους κόμβους εισόδου τα δεδομένα πηγαίνουν μέσω των κρυμμένων κόμβων (αν υπάρχουν) στους κόμβους εξόδου. Στο δίκτυο αυτό δεν επιτρέπονται συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων του ίδιου επιπέδου και συνδέσεις μεταξύ των επιπέδων που δεν ανήκουν σε διαδοχικά επίπεδα και γενικότερα δεν υπάρχει κανενός είδους κύκλος ή βρόχος. Η απλούστερη και πιο διαδεδομένη μονάδα από την οποία μπορεί να κατασκευαστεί ένα δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης είναι το perceptron [26].



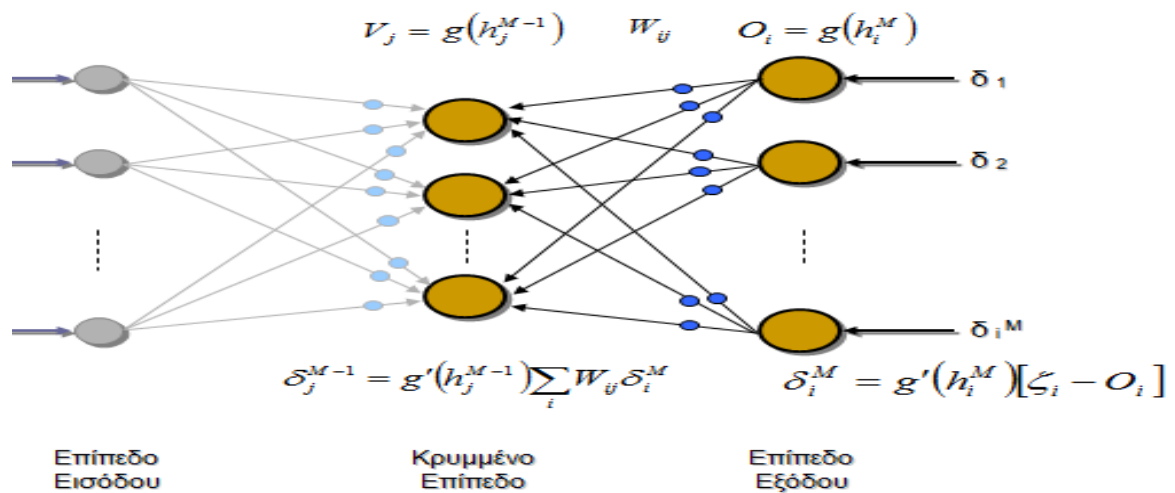
**Εικόνα 2.7:** Νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης

Ο αλγόριθμος back propagation είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς αλγόριθμους για την εκπαίδευση των perceptron πολλών επιπέδων. Οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι οι μερικές παράγωγοι της συνάρτησης κόστους, που είναι το μέτρο απόδοσης, αναφορικά με τις ελεύθερες παραμέτρους του δικτύου ( συναπτικά βάρη και πολώσεις) καθορίζονται μέσω της οπισθοδιάδοσης των σημάτων σφάλματος, που υπολογίζονται από τους νευρώνες εξόδου, διαμέσου του δικτύου επίπεδο προς επίπεδο. Η υπολογιστική ισχύς του αλγορίθμου έγκειται στα δυο κύρια γνωρίσματά του: την τοπική μέθοδο για την ενημέρωση των συναπτικών βαρών και πολώσεων του perceptron πολλών επιπέδων και την αποτελεσματική μέθοδο για τον υπολογισμό όλων των μερικών παραγώγων της συνάρτησης κόστους αναφορικά με αυτές τις ελεύθερες παραμέτρους [24]. Παρακάτω, περιγράφουμε τον αλγόριθμο μάθησης ενός νευρωνικού δικτύου με τη μέθοδο της οπισθοδιάδοσης:

- Αρχικοποίηση βαρών
- Επιλογή ενός ζεύγους (δείγμα εισόδου- επιθυμητό δείγμα εξόδου)
- Ευθεία τροφοδότηση του δείγματος εισόδου  $\xi_k^M$  και υπολογισμός του πραγματικού δείγματος εξόδου  $V_i^M$  όπου  $M$  το επίπεδο εξόδου
- Σύγκριση του πραγματικού δείγματος εξόδου με το επιθυμητό δείγμα εξόδου και υπολογισμός των σφαλμάτων εξόδου με βάση τη σχέση:  
$$\delta_i^M = g'(h_i^M) [\zeta_i^M - V_i^M],$$
 όπου  $g$  η συνάρτηση ενεργοποίησης

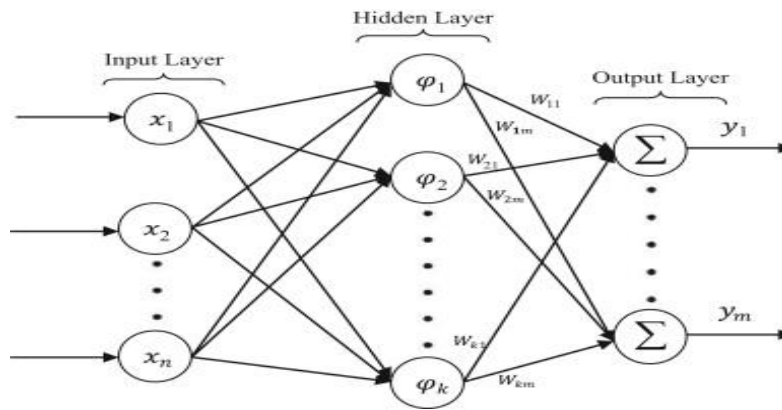


- Ανάστροφη διάδοση των σφαλμάτων εξόδου  $\delta_i^m$  και υπολογισμός των σφαλμάτων όλων των κρυμμένων νευρώνων βάσει της σχέσης  $\delta_i^{m-1} = g'(h_i^{m-1}) \sum_j w_{ji}^m \delta_j^m$ , για  $m=M, M-1, \dots, 2$
- Υπολογισμός των μεταβολών βάρους σύμφωνα με την  $\Delta w_{ij}^m = \eta \delta_i^m V_j^{m-1}$ ,  $m=1,2,\dots,M$
- Διόρθωση όλων των βαρών εφαρμόζοντας τον κανόνα μάθησης  $w_{ij}^{\text{νέο}} = w_{ij}^{\text{παλιό}} + \Delta w_{ij}$
- Επιστροφή στο δεύτερο βήμα



Εικόνα 2.8: Αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης

**Δίκτυα ακτινικών συναρτήσεων βάσης (RBF)**: Ένα δίκτυο RBF είναι νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιεί μια συνάρτηση ακτινικής βάσης ως συνάρτηση ενεργοποίησης. Το δίκτυο αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως υβριδικό καθώς χρησιμοποιεί μέθοδο ανταγωνιστικής μάθησης στην εκπαίδευση του πρώτου επιπέδου. Ανήκει στην κατηγορία των δικτύων εμπρόσθιας τροφοδότησης και η βασική του διαφορά με ένα δίκτυο perceptron πολλών επιπέδων είναι οι απευθείας συνδέσεις χωρίς βάρη των κόμβων του επιπέδου εισόδου με τις κρυφές μονάδες και η χρήση συναρτήσεων ακτινικής βάσης στο κρυμμένο επίπεδο [27].

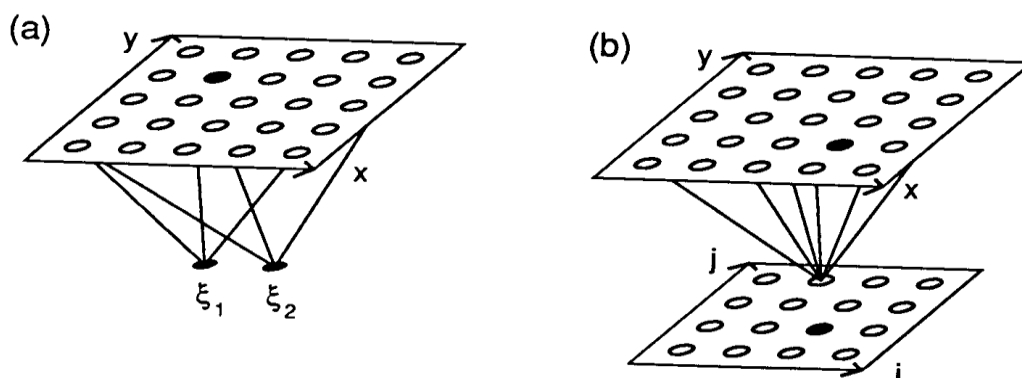


Εικόνα 2.9: Δομή ενός νευρωνικού δικτύου RBF

**Η εκμάθηση διανυσματικής κβάντισης (LVQ):** Η εκμάθηση διανυσματικής κβάντισης (LVQ) μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μια αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου. Προτάθηκε από Τεουνο Kohonen και εφαρμόζει μια προσέγγιση του ο νικητής-τα-παίρνει-όλα [28]. Βασική ιδέα της διανυσματικής κβάντισης είναι η απωλεστική συμπίεση δεδομένων-απωλεστική υπό την έννοια ότι κάποιο μέρος της πληροφορίας χάνεται, ως αποτέλεσμα της συμπίεσης [24].

### Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση

**Αυτοοργανούμενοι χάρτες (SOM):** Οι αυτοοργανούμενοι χάρτες (SOM) αποτελούν μια μορφή της μη επιβλεπόμενης εκμάθησης. Τα δίκτυα αυτά βασίζονται στην ανταγωνιστική μάθηση. Οι νευρώνες εξόδου του δικτύου ανταγωνίζονται μεταξύ τους για το δικαίωμα ενεργοποίησης, με αποτέλεσμα μόνο ένα νευρώνας εξόδου, ή ένας νευρώνας κατά ομάδα, να είναι ενεργός ανά πάσα στιγμή. Ο νευρώνας εξόδου που νικά στον ανταγωνισμό απολαμβάνει το καθεστώς «ο νικητής τα παίρνει όλα». Ένας χάρτης SOM χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό ενός τοπογραφικού χάρτη αποτελούμενου από τα πρότυπα εισόδου, στον οποίο οι συντεταγμένες των νευρώνων στο πλέγμα είναι ενδεικτικές των εσωτερικών στατιστικών χαρακτηριστικών που περιέχονται στα πρότυπα εισόδου [24].

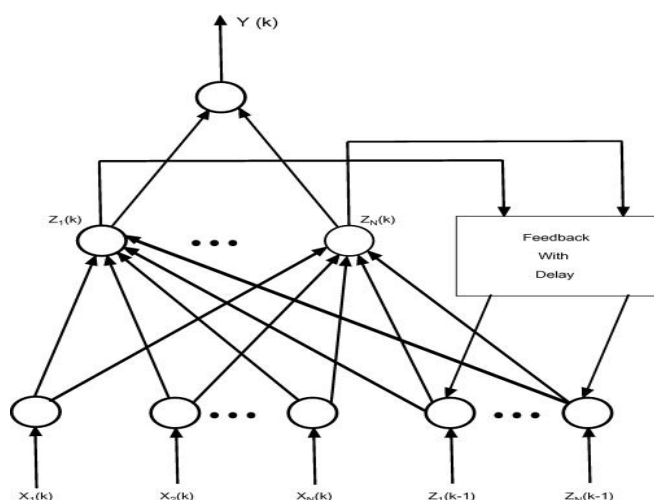


Εικόνα 2.10: Αυτο-οργανούμενοι χάρτες: a) Μοντέλο Kohonen b) Μοντέλο Willshaw και von der Malsburg

**Αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα (RNN):** Ένα αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο διαφέρει από ένα δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης στο ότι έχει τουλάχιστον ένα βρόχο ανάδρασης. Τα αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα είναι δίκτυα με αμφίδρομη ροή στοιχείων και διαδίδουν τα στοιχεία τους από τα μεταγενέστερα στάδια επεξεργασίας στα προηγούμενα στάδια [24].

Κάποια από τα πιο διαδεδομένα αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα είναι του Hopfield και του Elman.

Τα δίκτυα Hopfield χρησιμοποιούνται ως συσχετιστικές μνήμες δηλαδή ως μνήμες κατανεμημένες παρόμοια με αυτή του ανθρώπινου εγκεφάλου και για το λόγο αυτό αποτελούν ένα μοντέλο για την κατανόηση της ανθρώπινης μνήμης. Τα δίκτυα αυτά είναι εγγυημένο ότι θα συγκλίνουν σε ένα τοπικό ελάχιστο, αλλά δεν είναι εγγυημένη η σύγκλιση σε ένα από τα καταχωρημένα πρότυπα [29].



Τα αναδρομικά δίκτυα Elman χρησιμοποιούν ένα νευρωνικό δίκτυο τριών επιπέδων στο οποίο έχει προστεθεί ένα σύνολο από μονάδες περιεχομένου στο επίπεδο εισόδου. Υπάρχουν συνδέσεις από το μεσαίο (κρυφό) επίπεδο σε αυτές τις μονάδες περιεχομένου οι οποίες έχουν σταθερό βάρος ίσο με 1. [30].

Εικόνα 2.11: Αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο Elman

### 2.4.3 Χρήση νευρωνικών δικτύων στην αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης.

Η ικανότητα ανίχνευσης και κατανόησης της συναισθηματικής κατάστασης κάποιου με τον οποίο επικοινωνούμε βασίζεται πάνω σε λεπτά συντονισμένους νευρωνικούς μηχανισμούς του εγκεφάλου και είναι ο πυρήνας της κοινωνικής και συναισθηματικής ευφυΐας του ανθρώπου. Επιπλέον, ο ανθρώπινος εγκέφαλος, κατά την αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης, τείνει να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα και στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Για τους λόγους αυτούς, είναι ευρέως διαδεδομένη η χρήση νευρωνικών δικτύων στη προσπάθεια μίμησης και μοντελοποίησης του τρόπου λειτουργίας και προσαρμογής του εγκεφάλου.

Θα πρέπει, ωστόσο, πάντα να λαμβάνεται υπόψη η προσωπική χροιά της εκφραστικότητας. Τα βιολογικά σήματα και τα συναισθηματικά χαρακτηριστικά διαφέρουν πολλές φορές σε σημαντικό βαθμό από άνθρωπο σε άνθρωπο, παρόλο που υπακούν σε κοινές περιγραφικές θεωρίες και κοινά πλαίσια συμπεριφοράς. Για το

λόγο αυτό, η αναγνώριση συναισθημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας του κάθε ατόμου και τους συγκεκριμένους τρόπους συμπεριφοράς του.

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν την πλέον κατάλληλη επιλογή συστήματος αναγνώρισης συναισθήματος, καθώς προσαρμόζουν τη γνώση τους στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του κάθε χρήστη καθώς και στις εκάστοτε συνθήκες συμπεριφοράς και περιβάλλοντος, δηλαδή στο εκάστοτε πλαίσιο αλληλεπίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν την απόδοσή τους στις περιβαλλοντικές αλλαγές, ανιχνεύοντας τη μείωση της απόδοσής τους και βελτιώνοντάς τη με τη χρήση δεδομένων από συγκεκριμένο περιβάλλον το οποίο παρέχεται από το χρήστη ή συνδυάζοντας διαφορετικές διασταυρούμενες μεθόδους [31].

## 2.5. Μέσα κοινωνικής δικτύωσης

### 2.5.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση του αριθμού των χρηστών των μέσων κοινωνικής δικτύωσης ή των social media, όπως είναι ευρέως γνωστά. Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης αποτελούν την πιο σύγχρονη εξέλιξη στο χώρο του διαδικτύου που αφορά την αλληλεπίδραση και την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών. Σύμφωνα με τους Andreas Kaplan και Michael Haenlein ένας ορισμός των μέσων κοινωνικής δικτύωσης είναι ο εξής:

*Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης είναι ένα σύνολο εφαρμογών που βασίζονται στο διαδίκτυο και επιτρέπουν τη δημιουργία και την ανταλλαγή περιεχομένου που παράγεται από το χρήστη [32].*



Εικόνα 2.12: Μέσα κοινωνικής δικτύωσης

Μια ενδεικτική κατηγοριοποίηση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης που προτάθηκε από τους Andreas Kaplan και Michael Haenlein εμφανίζεται παρακάτω:

Με βάση ένα σύνολο θεωριών στον τομέα της έρευνας των μέσων και των κοινωνικών διεργασιών οι Kaplan και Haenlein διέκριναν έξι διαφορετικά είδη μέσων κοινωνικής δικτύωσης [33]:

- Τα συνεργατικά έργα (collaborative projects) με γνωστότερα τα Wikipedia και Google docs.
- Τα ιστολόγια (blogs and microblogs), στα οποία μπορεί να διαβάζει κανείς θέματα ποικίλης ύλης, με ποιο δημοφιλές το Twitter.
- Τις κοινότητες περιεχομένου (content communities), όπου οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν και να διαμοιράζονται διαφόρων ειδών αρχεία, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το YouTube.
- Τους ιστότοπους κοινωνικής δικτύωσης (social networking sites), όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αναζητήσει και να επικοινωνήσει με άλλους χρήστες με παρόμοια ενδιαφέροντα και χαρακτηριστικά, με γνωστότερο το Facebook.
- Τους εικονικούς κόσμους παιχνιδιών (virtual game worlds), όπως το World of Warcraft.
- Και τους εικονικούς κοινωνικούς κόσμους (virtual social worlds), όπως το Second Life .

### **2.5.2. Επιδράσεις της χρήσης των μέσων κοινωνικής δικτύωσης**

Η σημασία των ανθρώπινων σχέσεων που δημιουργούνται από τα κοινωνικά μέσα έχει μπει στο μικροσκόπιο και αποτελεί αντικείμενο προβληματισμού. Ένας αυξανόμενος αριθμός μελετητών έχει επιδιώξει να μελετήσει και να μετρήσει τις επιπτώσεις της χρήσης των κοινωνικών μέσων. Πολλοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης δεν βελτιώνουν την επικοινωνία των ανθρώπων αντίθετα, συντελούν στην απομόνωση τους.

Ανεξάρτητα από τη θετική ή την αρνητική τους επιρροή τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης μας κατακλύζουν ολοένα και περισσότερο. Παρακάτω, παραθέτουμε κάποια ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία ερευνών σχετικά με τη χρήση και την αποτελεσματικότητα των κοινωνικών μέσων που αποδεικνύουν την ευρεία χρησιμοποίησή τους:

- Αν το Facebook ήταν χώρα θα ήταν η τρίτη μεγαλύτερη στον κόσμο από άποψη πληθυσμού, μεγαλύτερη ακόμα και από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [34].
- Το YouTube είναι η δεύτερη μεγαλύτερη μηχανή αναζήτησης στον κόσμο [34].

- Σε τέσσερα λεπτά και 26 δευτερόλεπτα, παραπάνω από 100 ώρες βίντεο “φορτώνονται” στο YouTube [34].
- Ένα στα οκτώ παντρεμένα ζευγάρια στις ΗΠΑ συναντήθηκε πέρυσι μέσω των κοινωνικών μέσων σύμφωνα με τις στατιστικές που εκδόθηκαν τον Ιούνιο του 2011 [34].
- Το Νοέμβριο του 2011 αναφέρθηκε ότι Ινδοί ξοδεύουν περισσότερο χρόνο στα κοινωνικά μέσα απ' ότι σε οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα στο διαδίκτυο [35].
- Ο αριθμός των χρηστών των μέσων κοινωνικής δικτύωσης ηλικίας από 65 ετών και άνω αυξήθηκε 100% το 2010, έτσι ώστε ένας στους τέσσερις ανθρώπους αυτής της ηλικίας είναι τώρα μέρος μιας ιστοσελίδας κοινωνικής δικτύωσης [36].

## **3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**

### **Η βάση δεδομένων του AuBT**

#### **3.1 Γενικά στοιχεία**

Βασικό συστατικό της αναγνώρισης των συναισθημάτων ενός ατόμου, μέσω των φυσιολογικών αποκρίσεων του οργανισμού του, είναι η ύπαρξη ενός πλήρους και επαρκούς σώματος δεδομένων, το οποίο θα αποτελεί την είσοδο του συστήματος που θα εκπαιδευτεί με σκοπό την αναγνώριση των συναισθημάτων. Τα δεδομένα αυτά, στην περίπτωση μας, αποτελούνται από τα βιολογικά σήματα του οργανισμού, τα οποία καταγράφονται κατά την εκδήλωση κάποιου συναισθήματος. Η ύπαρξη τέτοιου είδους βάσεων δεδομένων είναι σπάνια, όπως επίσης και η διάθεση τους με σκοπό χρησιμοποίησή τους.

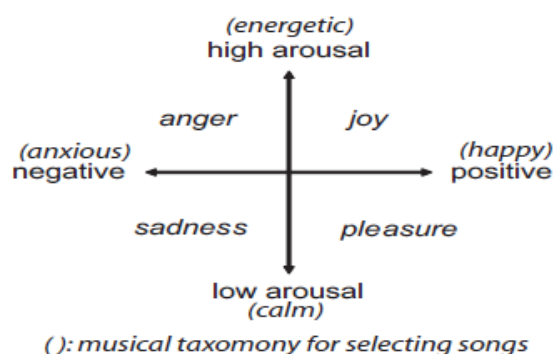
Μια πολύ καλή περίπτωση βάσης δεδομένων η οποία διαθέτει τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμη, και διαδικτυακά, από το πανεπιστήμιο του Augsburg της Γερμανίας. Δημιουργήθηκε στα πλαίσια της ανάπτυξης ενός εργαλείου ανάλυσης βιολογικών σημάτων γραμμένων σε γλώσσα Matlab, του AuBT (Augsburg Biosignal Toolbox), που έχει ως στόχο την αναγνώριση του συναισθήματος [2].

#### **3.2 Δημιουργία βάσης δεδομένων**

Παρακάτω, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων [2].

##### **3.2.1. Επιλογή συναισθημάτων**

Μια βασική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί, σχετικά με τη δημιουργία της βάσης δεδομένων, ήταν η επιλογή των συναισθημάτων τα οποία θα καλείται να αναγνωρίζει το σύστημα. Στην Εικόνα 3.1, παραθέτουμε ένα σχεδιάγραμμα με βάση το οποίο έγινε η επιλογή :



**Εικόνα 3.1: Μοντέλο συναισθημάτων**

Επιλέχθηκαν τα τέσσερα αυτά συναισθήματα γιατί, πέρα του γεγονότος ότι μπορούν να χαρακτηριστούν βασικά, διαφοροποιούνται μεταξύ τους, όπως παρατηρούμε και στο σχεδιάγραμμα, και η διαφοροποίηση αυτή συντελεί σημαντικά στην επιτυχή λειτουργία του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα εξής συναισθήματα: η χαρά (joy), η οποία είναι ένα θετικό συναίσθημα και προκαλεί υψηλή διέγερση, η ευχαρίστηση (pleasure), η οποία είναι ένα θετικό συναίσθημα και προκαλεί χαμηλή διέγερση, ο θυμός (anger), ο οποίος είναι ένα αρνητικό συναίσθημα και προκαλεί υψηλή διέγερση και η λύπη (sadness), η οποία είναι ένα αρνητικό συναίσθημα και προκαλεί χαμηλή διέγερση. Παρατηρούμε ότι καθένα από τα παραπάνω συναισθήματα ανήκουν σε ξεχωριστά τεταρτημόρια, με βάση το παραπάνω μοντέλο συναισθημάτων, και παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά τη διέγερση και το σθένος και για το λόγο αυτό προτιμήθηκαν.

### 3.2.2. Πρόκληση συναισθημάτων

Ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα ήταν ο τρόπος πρόκλησης των επιθυμητών συναισθημάτων. Μια πολύ συνηθισμένη μέθοδος πρόκλησης συναισθημάτων είναι η προβολή φωτογραφιών ή ταινιών μικρού μήκους. Ωστόσο, σε πειράματα του πανεπιστημίου του Augsburg παρατηρήθηκε ότι η συναισθηματική απόκριση των ατόμων σε εικόνες που είχαν ήδη δει ήταν πολύ μικρή έως μηδαμινή. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε η πρόκληση των συναισθημάτων να επιτευχθεί μέσω της αναπαραγωγής μουσικών κομματιών.

Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου έναντι της προηγούμενης είναι ότι ο άνθρωπος είναι συνηθισμένος να ακούει μουσική σε μεγάλες περιόδους της ζωής του ενώ ταυτόχρονα είναι απασχολημένος και με άλλες δραστηριότητες. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται μια σύνδεση μεταξύ των μουσικών κομματιών και των συναισθημάτων που νιώθει τη στιγμή που τα ακούει. Έτσι, όταν ξανακούσει το ίδιο μουσικό κομμάτι μπορεί μέσω της μνήμης να ανακαλέσει το συναίσθημα που είχε νιώσει κατά την πρώτη ακρόαση. Ωστόσο, η σύνδεση αυτή βασίζεται στις

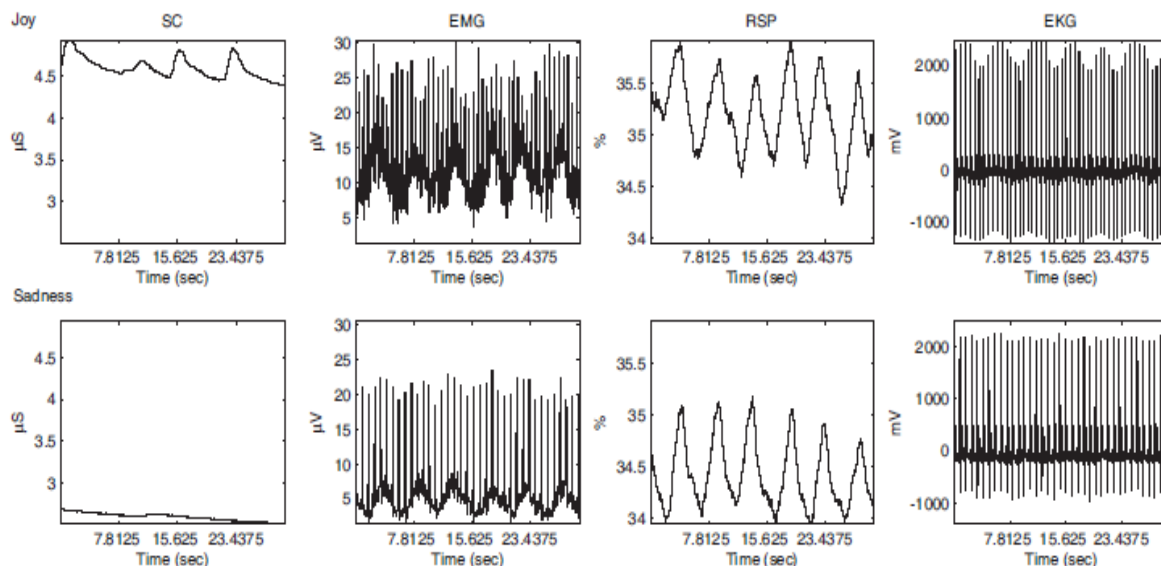


προσωπικές εμπειρίες του κάθε ατόμου. Επιπλέον, η αίσθηση που αφήνει η ακρόαση κάθε τραγουδιού εξαρτάται κατά πολύ από το προσωπικό γούστο του καθενός και η γενίκευση είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Το γεγονός αυτό οδήγησε τους υπεύθυνους του πειράματος να αφήσουν τον συμμετέχοντα να επιλέξει μόνος του τα τραγούδια που θα ακούσει. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πορεία του πειράματος ήταν εγγυημένη καθώς ο συμμετέχων γνώριζε εκ των προτέρων τα συναισθήματα που θα προκαλούνταν.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που λήφθηκε υπόψη ήταν η σειρά πρόκλησης συναισθημάτων. Πρώτο, κάθε φορά, προκαλούνταν το συναίσθημα το οποίο είχε τάση ο συμμετέχων να αισθανθεί με βάση τη διάθεση του τη συγκεκριμένη μέρα την οποία λάμβανε χώρα το πείραμα. Η επιλογή των επόμενων συναισθημάτων δεν ήταν προκαθορισμένη αλλά, το χρονικό διάστημα μεταξύ της πρόκλησης δυο διαφορετικών συναισθημάτων ήταν επαρκώς μεγάλο ώστε ο οργανισμός να έχει τη δυνατότητα να ισορροπήσει σε ένα ουδέτερο επίπεδο.

### 3.2.3. Μέτρηση βιοσημάτων

Το πανεπιστήμιο του Augsburg προχώρησε στην μέτρηση τεσσάρων χαρακτηριστικών βιοσημάτων με τη βοήθεια αισθητήρων για καθένα από τα τέσσερα συναισθήματα.



**Εικόνα 3.2:** Παράδειγμα συλλογής δεδομένων από αισθητήρες στη χαρά (πάνω) και στη λύπη (κάτω)

Παρακάτω, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία μέτρησης κάθε βιοσήματος, τα βασικά χαρακτηριστικά του καθενός και ορισμένα σφάλματα που πιθανώς προέκυψαν στην εκάστοτε μέτρηση:

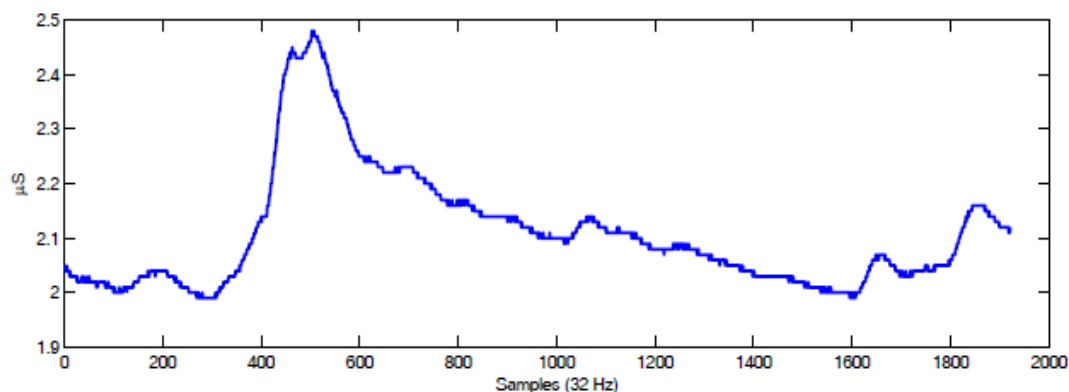
### Μέτρηση και σφάλματα μέτρησης της αγωγιμότητας του δέρματος.

Η αγωγιμότητα του δέρματος (SC) μετρά την ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος και επηρεάζεται από την δραστηριότητα των ιδρωτοποιών αδένων. Η μέτρηση έγινε τοποθετώντας δυο ηλεκτρόδια στο αριστερό χέρι, ένα στο δείκτη και ένα στο μεσαίο δάχτυλο (βλ. Εικόνα 3.3). Η περιοχή μέτρησης δεν επιλέχθηκε τυχαία καθώς το χέρι είναι μια από τις περιοχές που δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα μέτρησης. Ανάμεσα στα δύο αυτά ηλεκτρόδια εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού στην επιφάνεια του δέρματος και με αυτό τον τρόπο μετράται η αγωγιμότητα του δέρματος. Οι ιδρωτοποιοί αδένες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση της αγωγιμότητας του ρεύματος καθώς η παραγωγή ιδρώτα αυξάνει η ικανότητα του δέρματος να δρα ως αγωγός ρεύματος. Επίσης, αξίζει να σημειώσουμε ότι η αγωγιμότητα του δέρματος μετράται πάντα στη διατομή των ηλεκτροδίων καθώς εκεί εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή της.



Εικόνα 3.3: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την εγγραφή του σήματος SC

Η αγωγιμότητα του δέρματος χαρακτηρίζεται από τις εξής παραμέτρους: το πλάτος σε σχέση με τη γραμμή βάσης, το χρόνο για την επίτευξη της μέγιστης παραμόρφωσης, το χρόνο για την επαναφορά στη βάση και τη χρονική καθυστέρηση που παρατηρείται μεταξύ του ερεθίσματος και της φυσιολογικής απόκρισης σε αυτό, η οποία χρονομετρείται στο 1 με 2 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 3.4: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος SC

Υπάρχουν κάποιοι παράγοντες, πέραν της ύπαρξης του συναισθήματος, οι οποίοι μπορεί να μεταβάλουν την αγωγιμότητα του δέρματος, όπως είναι η απευθείας εφαρμογή των ηλεκτροδίων μέτρησης στα δάχτυλα που μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος και κατ' επέκταση στην αύξηση της αγωγιμότητας του δέρματος καθώς και η ομιλία και οι βαθιές αναπνοές που μπορούν και αυτές να οδηγήσουν σε αύξηση της αγωγιμότητας.

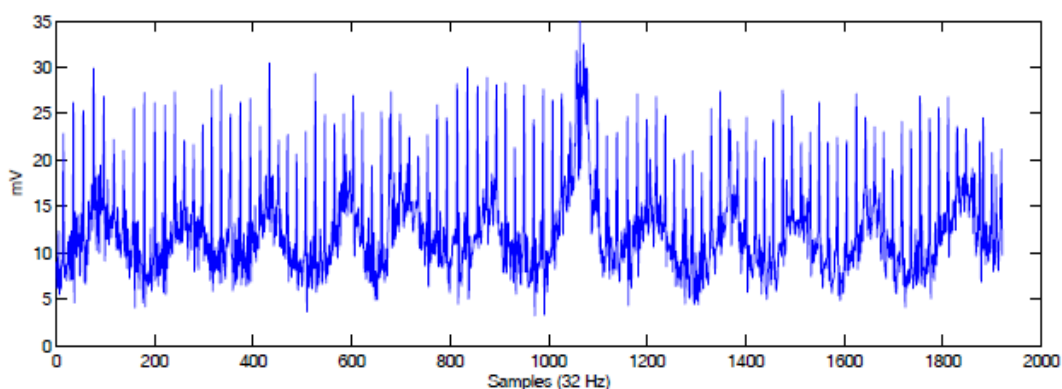
### **Μέτρηση και σφάλματα μέτρησης του ηλεκτρομυογραφήματος (EMG).**

Το ηλεκτρομυογράφημα καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν τρία ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος του λαιμού ώστε να μετρήσουν την κίνηση του επιθυμητού μυ (βλ. Εικόνα 3.5). Η απόσταση των ηλεκτροδίων όταν η μέτρηση είναι διπολική είναι περίπου 25mm ως 30mm, ωστόσο, μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε πειράματος. Η ενεργός επιφάνεια των ηλεκτροδίων καθώς και το χάσμα ηλεκτροδίων επηρεάζουν το μετρούμενο σήμα, και ιδιαίτερα το φάσμα της συχνότητας.



**Εικόνα 3.5: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την εγγραφή του σήματος EMG**

Το πλάτος του μετρούμενου σήματος που προκύπτει έχει εύρος από μερικά μικροVolts ως περίπου δέκα milliVolts και το εύρος της συχνότητας κυμαίνεται από 5 Hz ως 400 Hz. Το ηλεκτρομυογράφημα μετρά τις μυϊκές συσπάσεις, δηλαδή η εκτροπή είναι μεγαλύτερη όταν ο μυς είναι τεντωμένος και χαλαρώνει.



**Εικόνα 3.6: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος EMG**

Η ποιότητα του σήματος επηρεάζεται σημαντικά από την προετοιμασία του δέρματος όπου θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση. Στο δέρμα υπάρχει ένα στρώμα νεκρών κυττάρων το οποίο έχει υψηλή ηλεκτρική αντίσταση και επηρεάζει αρνητικά τη μέτρηση. Επίσης, η χρήση κρέμας για το δέρμα μπορεί να βλάψει την προσκόλληση των ηλεκτροδίων στο δέρμα και να αυξήσει την αντίσταση επαφής. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει, πριν την έναρξη της μέτρησης, η περιοχή του δέρματος όπου θα γίνει η μέτρηση να καθαρίζεται και να απολυμαίνεται.

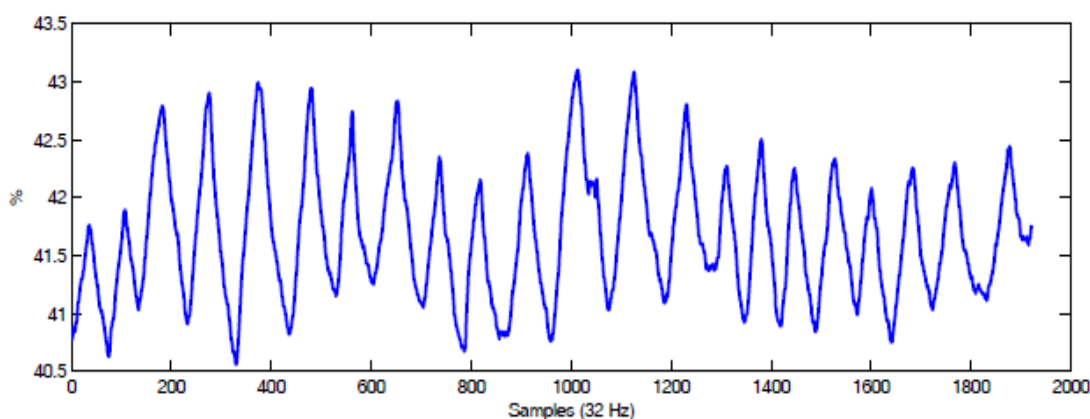
### **Μέτρηση και σφάλματα μέτρησης της αναπνοής (RSP)**

Μια αναπνοή συνίσταται από μια εισπνοή και μια εκπνοή. Σε συνθήκες ηρεμίας ένας ενήλικας εισπνέει 15 φορές ανά λεπτό. Η μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας έγινε με τη βοήθεια μιας ζώνης που τοποθετήθηκε γύρω από τη μέση (βλ. Εικόνα 3.7). Όταν ο συμμετέχων εισπνέει, αυξάνεται η τάση της ζώνης και οι αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι με τη ζώνη καταγράφουν τη μέτρηση. Όταν ο συμμετέχων εκπνέει, η ζώνη χαλαρώνει και οι αισθητήρες επιστρέφουν στην ουδέτερη κατάσταση. Με τον τρόπο αυτό μετράται η καμπύλη αναπνοής και το αποθηκευμένο, ψηφιοποιημένο, πρωτογενές σήμα εμφανίζεται στην οθόνη.



**Εικόνα 3.7: Τοποθέτηση ειδικής ζώνης για την εγγραφή του σήματος RSP**

Όταν ένα άτομο είναι χαλαρό, η αναπνοή του είναι ομαλή και ήρεμη. Όμως, κατά τη διάρκεια σωματικής προσπάθειας ή συναισθηματικής διέγερσης παρατηρείται αύξηση του ρυθμού της αναπνοής. Επίσης, ξαφνικά ερεθίσματα μπορεί να οδηγήσουν σε προσωρινή διακοπή της αναπνοής, αν για παράδειγμα βρεθούμε σε μια κατάσταση σοκ. Τέλος, το γέλιο και η ομιλία μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες στο μετρούμενο σήμα.

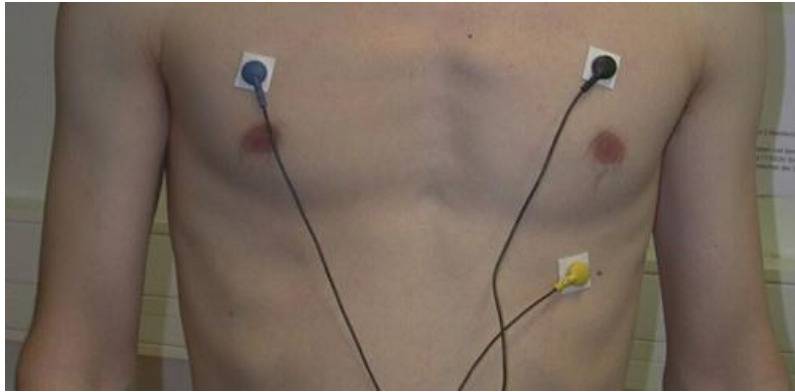


**Εικόνα 3.8: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος RSP**

Η ζώνη μέτρησης της αναπνοής μπορεί εύκολα να γλιστρήσει και να μετατοπιστεί από τη θέση της εξαιτίας του ανεβοκατεβάσματος του θώρακα. Επίσης, η ομιλία και το γέλιο μπορούν να προκαλέσουν προσωρινή διακοπή της αναπνοής και στη συνέχεια να οδηγήσουν στην εμφάνιση βαθιάς αναπνοής ως αντιστάθμιση της προσωρινής απώλειας οξυγόνου. Οι περίοδοι διακοπής της εισπνοής αλλά και οι περίοδοι έντονης εισπνοής παρεμποδίζουν σημαντικά τη μέτρηση του ρυθμού της αναπνοής.

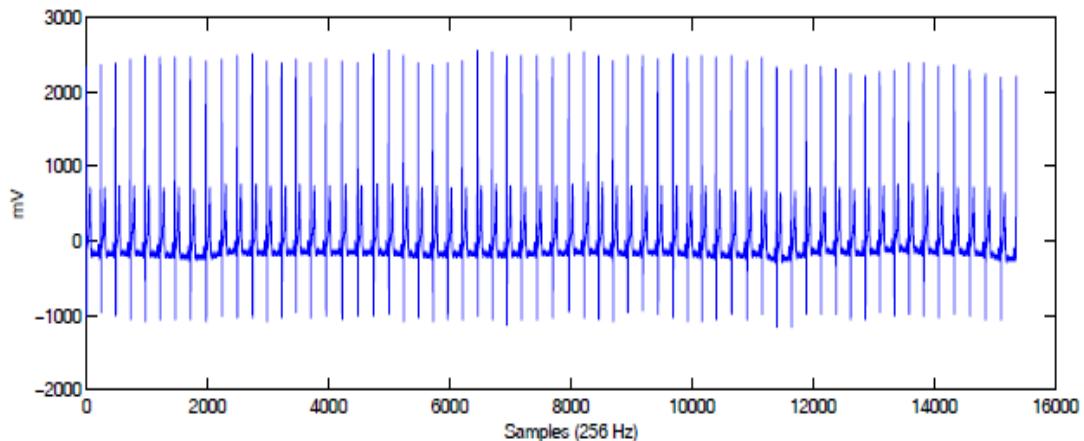
### **Μέτρηση και σφάλματα μέτρησης του ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ECG).**

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς. Σε ένα υγιές άτομο το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας ο ρυθμός της καρδιάς υπολογίζεται σε 60 με 70 παλμούς ανά λεπτό ενώ, σε καταστάσεις έντασης μπορεί να φτάσει μέχρι και 200 παλμούς ανά λεπτό. Ωστόσο, οι τιμές αυτές ποικίλουν από άτομο σε άτομο καθώς εξαρτώνται από το φύλο, την ηλικία, τη φυσική κατάσταση του ατόμου. Η θέση όπου τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια για τη μέτρηση του σήματος είναι το στήθος (βλ. Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την εγγραφή του σήματος ECG

Οι κινήσεις μπορούν να θεωρηθούν από τις κύριες πηγές παραμόρφωσης του σήματος. Επιπλέον, υπάρχει πιθανότητα το δυναμικό του δέρματος αλλά και των μυών να υπερτίθενται στο σήμα.



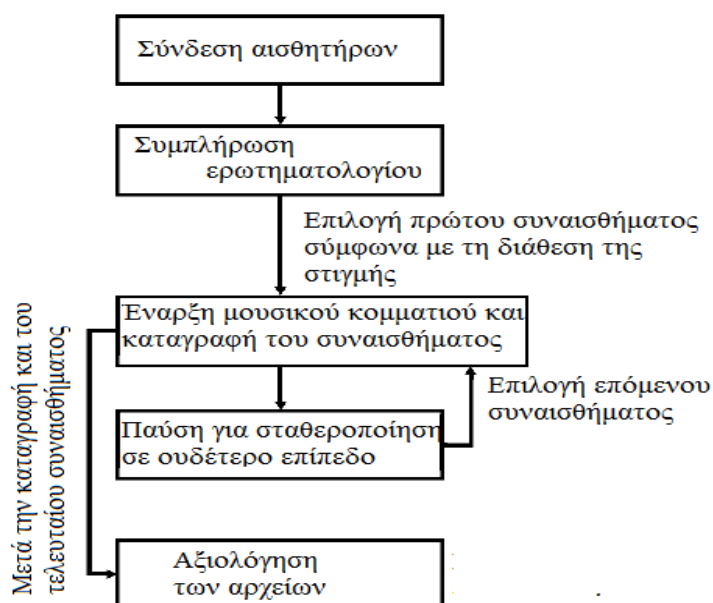
Εικόνα 3.10: Η εξέλιξη ενός τυπικού σήματος ECG

### 3.2.4. Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα για την καταγραφή του σώματος δεδομένων έγινε με βάση τα στοιχεία που περιγράφηκαν παραπάνω. Προκλήθηκαν τα συναισθήματα της χαράς, της λύπης, του θυμού και της ευχαρίστησης μέσω της ακρόασης ενός κομματιού, επιλεγμένου από το συμμετέχοντα, για κάθε περίπτωση και καταγράφηκαν τα αντίστοιχα βιοσήματα μέσω αισθητήρων για κάθε συναίσθημα. Το πείραμα ξεκίνησε με την πρόκληση εκείνου του συναισθήματος το οποίο προσέγγιζε τη διάθεση του συμμετέχοντα τη δεδομένη χρονική στιγμή ενώ η περαιτέρω πορεία του πειράματος δεν ήταν προδιαγεγραμμένη. Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην ακρόαση δυο τραγουδιών, και κατά συνέπεια στην πρόκληση δυο συναισθημάτων, ήταν τέτοια ώστε ο οργανισμός να προλάβει να σταθεροποιηθεί σε ένα ουδέτερο επίπεδο. Το

μήκος των μετρούμενων βιοσημάτων ήταν μεταβλητό, ανάλογο με τη χρονική διάρκεια του κάθε μουσικού κομματιού.

Πριν από την έναρξη του πειράματος, ο συμμετέχων κλήθηκε να συμπληρώσει ένα ερωτηματολόγιο στο οποίο κατέγραφε τους εξωτερικούς παράγοντες του πειράματος, όπως η θερμοκρασία, η ώρα, ο περιβαλλοντικός θόρυβος και την προσωπική του κατάσταση δηλαδή τη διάθεση, τους παράγοντες άγχους και την κατάσταση της υγεία του. Επιπλέον, μετά τη λήξη του πειράματος, ο συμμετέχων κλήθηκε να απαντήσει κατά πόσον επιτεύχθηκε η πρόκληση του επιθυμητού συναισθήματος.



Εικόνα 3.11: Σχηματικό διάγραμμα του πειράματος καταγραφής σώματος δεδομένων

### 3.2.5. Περιγραφή του σώματος δεδομένων

Το σώμα δεδομένων που δημιουργήθηκε αποτελείται από 25 ηχογραφήσεις ( μια ανά ημέρα). Η κάθε ηχογράφιση περιλαμβάνει την καταγραφή των βιολογικών σημάτων ECG, EMG, RSP και SC για καθένα από τα τέσσερα συναισθήματα χαρά, θυμός, λύπη και ευχαρίστηση. Το μήκος κάθε ηχογράφησης ήταν μεταβλητό και ίσο με το μήκος του εκάστοτε τραγουδιού αλλά, στη συνέχεια, προσαρμόστηκε σε σταθερό μήκος. Όσον αφορά τα σήματα EMG, RSP και SC έγινε δειγματοληψία στα 32 Hz ενώ στο σήμα ECG έγινε δειγματοληψία στα 256 Hz. Τα σήματα διατηρήθηκαν όπως ακριβώς καταγράφηκαν χωρίς να έχουν υποστεί φιλτράρισμα ενώ στις περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκαν σφάλματα ή αποτυχίες μέτρησης επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις την ίδια ημέρα.





## 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Περιγραφή εκτέλεσης της εφαρμογής

#### 4.1 Συνοπτική περιγραφή

Για την παρακολούθηση της συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη και την ανάλογη ενημέρωση των κοινωνικών δικτύων δυο είναι οι βασικές ενέργειες που είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν: η εύρεση του κατάλληλου νευρωνικού δικτύου το οποίο θα ανιχνεύει τη συναισθηματική κατάσταση και η δημιουργία του κατάλληλου αλγορίθμου που θα ενημερώνει τα κοινωνικά δίκτυα για την κατάσταση αυτή. Ωστόσο, σε καθένα από τα στάδια αυτά επιτελούνται και επιμέρους ενέργειες. Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά όλα τα βήματα που ακολουθούνται κατά την εκτέλεση της εφαρμογής:

1. Επιλογή της βάσης δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί
2. Προεπεξεργασία των δεδομένων, ώστε να λάβουν την απαιτούμενη μορφή για την εισαγωγή τους στο νευρωνικό δίκτυο
3. Επιλογή τρόπου αξιολόγησης της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου
4. Επιλογή νευρωνικού δικτύου που θα εξεταστεί
5. Δημιουργία του νευρωνικού δικτύου επιλέγοντας τις επιθυμητές παραμέτρους
6. Επιλογή των καταλληλότερων παραμέτρων για εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου
7. Αξιολόγηση της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου
8. Επεξεργασία των δεδομένων με βάση τα πρώτα αποτελέσματα της αξιολόγησης με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και επανάληψη της διαδικασίας από το πέμπτο βήμα και ύστερα
9. Επιλογή του καταλληλότερου νευρωνικού δικτύου με βάση την προκύπτουσα απόδοση
10. Εισαγωγή δεδομένων (βιοσημάτων) άγνωστων προς το νευρωνικό δίκτυο και εμφάνιση του αποτελέσματος
11. Διαμόρφωση της εξόδου του νευρωνικού δικτύου, ώστε να εμφανίζεται το αντίστοιχο συναίσθημα
12. Αποθήκευση της εξόδου του νευρωνικού δικτύου για περαιτέρω επεξεργασία
13. Δημιουργία αλγορίθμου για ενημέρωση του κοινωνικού μέσου, συγκεκριμένα του twitter, με το εξαγόμενο συναίσθημα.
14. Εμφάνιση του αποτελέσματος- συναίσθηματος στο twitter.

Στην επόμενη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά η υλοποίηση καθενός από τα παραπάνω βήματα που πραγματοποιούνται κατά την εκπόνηση της εφαρμογής.

## 4.2 Τα στάδια της εφαρμογής

Το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογής υλοποιείται σε περιβάλλον Matlab, ενώ το σχετικό με τα κοινωνικά δίκτυα τμήμα της εργασίας σε γλώσσα html.

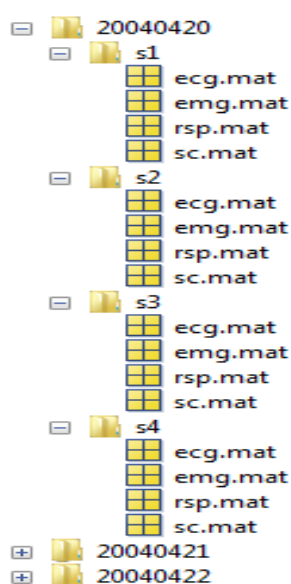
### 4.2.1 Πρώτο Μέρος Εφαρμογής

Στις επόμενες ενότητες, οποιαδήποτε ενέργεια περιγράφεται θεωρείται ότι γίνεται σε περιβάλλον Matlab, εκτός και αν αναφέρεται το αντίθετο.

Όσον αφορά το νευρωνικό δίκτυο, αυτό που επιθυμούμε είναι να δέχεται ως είσοδο τα βιολογικά σήματα του οργανισμού του χρήστη και να δίνει ως έξοδο το συναίσθημα του χρήστη, κατά τη χρονική στιγμή που λαμβάνονται τα βιολογικά σήματα.

#### 4.2.1.1.Επιλογή βάσης δεδομένων και προεπεξεργασία των δεδομένων

Η διαδικασία δημιουργίας της βάσης δεδομένων που επιλέξαμε περιγράφηκε αναλυτικά στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Η βάση αυτή αποτελείται από τις μετρήσεις τεσσάρων βιολογικών σημάτων του οργανισμού ενός ατόμου: του ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ECG), του ηλεκτρομυογραφήματος (EMG), της αλλαγής αναπνοής(RSP) και της αγωγιμότητας του δέρματος(SC). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τα συναισθήματα της χαράς, του θυμού, της λύπης και της ευχαρίστησης για διάστημα 25 ημερών.



Εικόνα 4.1: Η μορφή της βάσης του aubt για μια ημέρα. (s1=χαρά s2=θυμός s3=λύπη s4=ευχαρίστηση)

Παρόλο που τα δεδομένα της βάσης αυτής είναι πολύ σημαντικά, η δομή της δεν της επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί απευθείας χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, καθώς είναι μορφοποιημένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του πειράματος για το οποίο δημιουργήθηκε. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε απαραίτητη η αναδιάταξη των δεδομένων της βάσης με τέτοιο τρόπο, ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες του πειράματός μας.

Η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου είναι μέγιστης

σημασίας καθώς μέσω αυτής επιτυγχάνεται η ανίχνευση του συναισθήματος. Η βάση του aubt μας παρέχει δεδομένα για 25 ημέρες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Από αυτές οι 17 πρώτες ημέρες, δηλαδή το 68% των δεδομένων, χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου και οι 8 τελευταίες ημέρες, δηλαδή το 32%, για τον έλεγχο επίδοσης του νευρωνικού δικτύου. Καθένα από τα βιολογικά σήματα emg, rsp, sc περιέχει 3840 τιμές για κάθε συναίσθημα ενώ το ecg περιέχει 30720 τιμές λόγω της διαφορετικής συχνότητας δειγματοληψίας κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, η οποία ήταν 256Hz για το ecg και 32Hz για τα υπόλοιπα.

Αρχικά, δημιουργούμε ένα σύνολο εκπαίδευσης το οποίο περιέχει έναν πίνακα εισόδου και ένα πίνακα επιθυμητής εξόδου.

Ο πίνακας εισόδου έχει την εξής μορφή (βλ. Πίνακα 4.1): Για κάθε μια από τις 17 πρώτες μέρες δημιουργούμε ένα πίνακα με τέσσερις γραμμές, μια για κάθε βιολογικό σήμα ecg, emg, rsp, sc και  $(3840 \times 4 =) 15360$  στήλες οι οποίες αντιστοιχούν στις τιμές κάθε βιολογικού σήματος και για καθένα από τα τέσσερα συναισθήματα. Στη συνέχεια, βάζοντας τους πίνακες για κάθε μια από τις 17 μέρες στη σειρά προκύπτει ο πίνακας εισόδου που είχε τέσσερις γραμμές και  $(15360 \times 17 =) 261120$  στήλες. Το βιολογικό σήμα ecg έχει περισσότερες τιμές σε σχέση με τα άλλα σήματα, οπότε του εφαρμόζεται δειγματοληψία με συχνότητα 8Hz, ώστε να έχουμε στη διάθεση μας ίσο αριθμό τιμών για καθένα από τα σήματα και να έχουμε τη δυνατότητα να τα εισάγουμε σε ένα ενιαίο πίνακα.

	joy(x3840)	anger(x3840)	sadness(x3840)	pleasure(x3840)	x17
ecg	...	...	...	...	
emg	...	...	...	...	
rsp	...	...	...	...	
sc	...	...	...	...	

**Πίνακας 4.1: Μορφή πίνακα εισόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου**

Ο πίνακας επιθυμητής εξόδου περιέχει τις επιθυμητές αποκρίσεις του νευρωνικού δικτύου (βλ. Πίνακα 4.2). Πιο συγκεκριμένα, για κάθε μια από τις 17 πρώτες μέρες, ο πίνακας εξόδου αποτελείται από τέσσερις γραμμές, μια για κάθε συναίσθημα, και  $(3840 \times 4 =) 15360$  στήλες όσες και οι τιμές σημάτων του πίνακα εισόδου. Για κάθε μια από τις τιμές αυτές ο πίνακας εξόδου καταγράφει την τιμή του αντίστοιχου συναισθήματος, δηλαδή περιέχει την τιμή 1 στην περίπτωση που η τιμή του βιοσήματος ανήκει στο αντίστοιχο συναίσθημα και την τιμή 0 στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Το συνολικό του μέγεθος προκύπτει  $4 \times 261120$ .

	joy(x3840)	anger(x3840)	sadness(x3840)	pleasure(x3840)	x17
joy	111...1	000...0	000...0	000...0	
anger	000...0	111...1	000...0	000...0	
sadness	000...0	000...0	111...1	000...0	
pleasure	000...0	000...0	000...0	111...1	

**Πίνακας 4.2: Μορφή πίνακα εξόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου**

Αντίστοιχα με το σύνολο εκπαίδευσης δημιουργείται και το σύνολο ελέγχου της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου. Οι μορφές των πινάκων εισόδου και επιθυμητής εξόδου είναι πανομοιότυπες με αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω. Η μόνη διαφοροποίηση αφορά το μέγεθος καθώς το σύνολο των δεδομένων προκύπτει από τις 8 τελευταίες μέρες. Ο πίνακας εισόδου τώρα έχει  $(15360 \times 8) = 122880$  στήλες όπως και ο πίνακας επιθυμητής εξόδου.

#### **4.2.1.2. Επιλογή νευρωνικού δικτύου προς εξέταση**

Με βάση τη περιγραφή των νευρωνικών δικτύων που έγινε στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε το νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης. Πιο συγκεκριμένα, το νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των συναισθημάτων είναι ένα πολυεπίπεδο δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης (multilayer perceptrons), το οποίο αποτελείται από ένα επίπεδο εισόδου, ένα ή περισσότερα κρυμμένα επίπεδα και ένα επίπεδο εξόδου. Επίσης, κάθε νευρώνας του δικτύου περιλαμβάνει μια μη γραμμική, διαφορίσιμη συνάρτηση ενεργοποίησης και το πρότυπο που παρουσιάζεται στην είσοδο διαδίδεται επίπεδο προς επίπεδο κατά την εμπρόσθια διεύθυνση. Για την εκπαίδευση του δικτύου εφαρμόζεται ο αλγόριθμος οπίσθιας διάδοσης (back propagation). Στις επόμενες ενότητες περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων του νευρωνικού δικτύου καθώς και το κριτήριο επιλογής των καταλληλότερων από αυτές με σκοπό την καλύτερη δυνατή απόδοση.

#### **4.2.1.3. Δημιουργία νευρωνικού δικτύου και προσδιορισμός παραμέτρων**

Επόμενο βήμα στην υλοποίηση μας αποτελεί η δημιουργία και η ενεργοποίηση του νευρωνικού δικτύου. Οι παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν για τη δημιουργία του νευρωνικού δικτύου είναι:

**ο αριθμός των νευρώνων στην είσοδο**, ο οποίος καθορίζεται με βάση το σύνολο εκπαίδευσης και συγκεκριμένα είναι ίσος με τον αριθμό των γραμμών του πίνακα εισόδου

**ο αριθμός των νευρώνων στην έξοδο**, ο οποίος καθορίζεται, επίσης, με βάση το σύνολο εκπαίδευσης και συγκεκριμένα είναι ίσος με τον αριθμό των γραμμών του πίνακα επιθυμητής εξόδου.

Οι δυο αυτοί πίνακες (πίνακας εισόδου και πίνακας επιθυμητής εξόδου) αποτελούν τις εισόδους του νευρωνικού δικτύου κατά τη διαδικασία εκπαίδευσής του, η οποία έχει σκοπό το νευρωνικό δίκτυο να “μάθει” να αντιστοιχίζει κάθε τιμή του πίνακα εισόδου με τη δοθείσα τιμή από τον πίνακα επιθυμητής εξόδου. Ουσιαστικά, καθένα

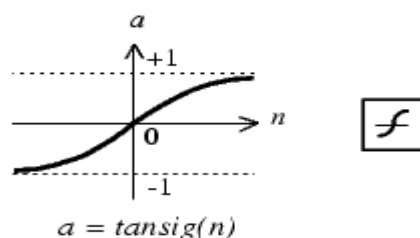
από τα βιολογικά σήματα που μετρήθηκαν κατά τις 17 πρώτες ημέρες έχει αντιστοιχηθεί, μέσω των πινάκων, με το συναίσθημα που εκδηλωνόταν κατά τη μέτρηση.

Επίσης, υπάρχουν και κάποιες άλλες παράμετροι για τις οποίες δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή, αντίθετα, προσδιορίζονται μετά από δοκιμές με κριτήριο τη βέλτιστη απόδοση του νευρωνικού δικτύου. Αυτές είναι:

**ο αριθμός των κρυμμένων επιπέδων και ο αριθμός των νευρώνων που περιέχει το καθένα από τα κρυφά επίπεδα.** Στην περίπτωση μας δημιουργείτε ένα κρυφό επίπεδο και όσον αφορά τον αριθμό των νευρώνων του αυτός κυμαίνεται από 2 ως και 30 νευρώνες στις δοκιμές που πραγματοποιούνται παρακάτω.

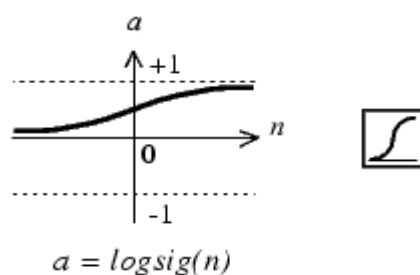
**οι συναρτήσεις ενεργοποίησης** του κρυμμένου επιπέδου και του επιπέδου εξόδου. Η συνάρτηση ενεργοποίησης χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απόκριση ενός νευρώνα. Στο άθροισμα των σταθμισμένων σημάτων εισόδου εφαρμόζεται η συνάρτηση ενεργοποίησης και με αυτό τον τρόπο προκύπτει η έξοδος. Στους νευρώνες κάθε επιπέδου εφαρμόζεται η ίδια συνάρτηση ενεργοποίησης. Χαρακτηριστικές συναρτήσεις ενεργοποίησης είναι [37]:

- η  $tansig$ , η οποία είναι η συνάρτηση της εφαπτομένης και ανήκει στην κατηγορία των σιγμοειδών συναρτήσεων. Η συνάρτηση αυτή κανονικοποιεί τα δεδομένα στο πεδίο  $[-1 1]$ .



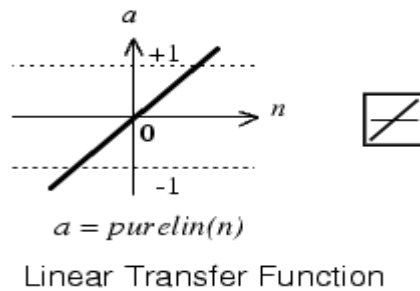
Εικόνα 4.2: Γραφική παράσταση και σύμβολο της  $tansig$

- η  $logsig$ , η οποία είναι η λογαριθμική συνάρτηση και ανήκει και αυτή στην κατηγορία των σιγμοειδών συναρτήσεων. Κανονικοποιεί τα δεδομένα στο πεδίο  $[0 1]$ .



Εικόνα 4.3: Γραφική παράσταση και σύμβολο της  $logsig$

- και η  $purelin$ , η οποία είναι η γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης



**Εικόνα 4.4: Γραφική παράσταση και σύμβολο της purelin**

Η συνάρτηση ενεργοποίησης η οποία χρησιμοποιείτε στο νευρωνικό δίκτυο που κατασκευάζουμε είναι η tansig τόσο στο κρυφό επίπεδο όσο και στο επίπεδο εξόδου.

**η συνάρτηση εκπαίδευσης** του νευρωνικού δικτύου, η οποία καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο εκπαιδεύεται το νευρωνικό δίκτυο. Χαρακτηριστικές συναρτήσεις εκπαίδευσης παρουσιάζονται παρακάτω [37][38]:

- η trainbfg, η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με τη μέθοδο quasi-Newton
- η traincgb (Powell-Beale Restarts), η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με την οπισθοδιάδοση συζυγούς κλίσης με επανεκκίνηση Powell-Beale. Στην περίπτωση αυτή, ο βασικός αλγόριθμος οπίσθιας διάδοσης ψάχνει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της παραγώγου, που είναι και η κατεύθυνση κατά την οποία η συνάρτηση απόδοσης μειώνεται περισσότερο απότομα.
- η traingd (Gradient Descent), η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με τη μέθοδο απότομης καθόδου. Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή υλοποιεί τον βασικό αλγόριθμο οπισθοδιάδοσης.
- η traingda (gradient descent with adaptive learning rate), η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με τη μέθοδο απότομης καθόδου με προσαρμοστικό ρυθμό μάθησης. Η βασική διαφορά της με την traingd είναι η δυνατότητα μεταβολής του ρυθμού μάθησης. Στο βασικό αλγόριθμο οπισθοδιάδοσης (traingd) η τιμή του ρυθμού μάθησης διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της εκπαίδευσης γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην αστάθεια του συστήματος για μεγάλη τιμή του ρυθμού μάθησης ή στην αργή σύγκλιση για μικρή τιμή. Με τη δυνατότητα μεταβολής του ρυθμού μάθησης κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης διατηρείται η μεγαλύτερη δυνατή τιμή που εξασφαλίζει ευσταθές σύστημα.
- η traingdx (gradient descent momentum and an adaptive learning rate), η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με τη μέθοδο απότομης καθόδου με προσθήκη όρου ορμής και με προσαρμοστικό ρυθμό μάθησης. Η μόνη διαφορά της με την traingda είναι η προσθήκη του όρου ορμής, ο οποίος εισάγει την επίδραση της προηγούμενης μεταβολής ενός βάρους στην επόμενη.
- η trainlm (Levenberg-Marquardt), η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με τη βελτιστοποίηση Levenberg-Marquardt.

- η `trainrp` (Resilient backpropagation), η οποία ενημερώνει τα βάρη σύμφωνα με τον αλγόριθμο ευπροσάρμοστης οπισθοδιάδοσης.

Από όλες τις συναρτήσεις εκπαίδευσης που αναφέρθηκαν πιο γρήγορη θεωρείται η `trainlm` όμως, απαιτεί περισσότερη μνήμη σε σχέση με τις υπόλοιπες. Η `trainbfg` είναι πιο αργή αλλά απαιτεί λιγότερη μνήμη από την `trainlm` και η `trainrp` είναι ακόμα πιο αργή και απαιτεί ακόμα λιγότερη μνήμη από την `trainbfg`. Η `traingd` είναι γενικά αργή μέθοδος.

Για την επίτευξη της βέλτιστης δυνατής απόδοσης του νευρωνικού δικτύου πραγματοποιείται εκπαίδευση με όλες τις παραπάνω μεθόδους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

και η **συνάρτηση μάθησης** του νευρωνικού δικτύου η οποία καθορίζει τον τρόπο που αλλάζουν τα βάρη και τα κατώφλια του νευρωνικού μας δικτύου. Η default συνάρτηση στο matlab είναι η `learnsgdm`, η οποία καθορίζει τα βάρη με τη μέθοδο απότομης καθόδου με προσθήκη του όρου ορμής και αυτή είναι που χρησιμοποιείται για τη μάθηση του νευρωνικού μας δικτύου.

#### 4.2.1.4. Επιλογή παραμέτρων για εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου

Οι παράμετροι που απαιτείται να οριστούν για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου αφορούν τα κριτήρια τερματισμού εκπαίδευσης. Καθεμία από τις συναρτήσεις εκπαίδευσης που περιγράφηκαν παραπάνω έχουν προκαθορισμένες τιμές για τις παραμέτρους εκπαίδευσης ωστόσο, υπάρχει δυνατότητα αλλαγής των τιμών αυτών. Αναλυτικότερα, βασικές παράμετροι που έχουμε τη δυνατότητα να καθορίσουμε είναι:

ο **μέγιστος αριθμός εποχών** που θα εκπαιδευτεί το νευρωνικό δίκτυο, δηλαδή ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων της εκπαίδευσης

η **τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος** κάτω από την οποία σταματάει η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου

ο **ρυθμός μάθησης** του νευρωνικού δικτύου

ο **μέγιστος χρόνος εκπαίδευσης** του νευρωνικού δικτύου

Στο νευρωνικό δίκτυο που κατασκευάζουμε αλλάζουμε τον αριθμό των εποχών από 100 ως και 500 στις δοκιμές που πραγματοποιούνται παρακάτω.

#### 4.2.1.5. Μέθοδος αξιολόγησης νευρωνικού δικτύου

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμη η δημιουργία μιας συνάρτησης η οποία θα αξιολογεί το νευρωνικό δίκτυο. Ουσιαστικά, θα αποφαινεται αν η διαδικασία εκπαίδευσης είχε

αποτέλεσμα και αν το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύτηκε σωστά και δουλεύει με ορθό τρόπο.

Ένας τρόπος για την αξιολόγηση της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου είναι η σύγκριση του πίνακα επιθυμητής εξόδου με τον πίνακα εξόδου του νευρωνικού δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτή η σύγκριση, δημιουργούμε μια συνάρτηση επιφορτισμένη με αυτό το στόχο. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση της επίδοσης του νευρωνικού δικτύου επιτυγχάνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα που περιλαμβάνονται στην προαναφερθείσα συνάρτηση (βλ. Παράρτημα για κώδικα):

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Αρχικά, δημιουργούνται δυο νέοι πίνακες, ο πρώτος περιέχει δείκτες οι οποίοι προσδιορίζουν τη θέση των μέγιστων τιμών του πίνακα εξόδου ανά στήλη και ο δεύτερος είναι ένας ακριβώς ίδιος πίνακας με τον πρώτο που όμως, προσδιορίζει τη θέση των μέγιστων τιμών του πίνακα επιθυμητής εξόδου ανά στήλη.

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Ένας τρίτος πίνακας δημιουργείται, γεμισμένος με μηδενικά, μεγέθους ίδιου με αυτό του πίνακα εξόδου του νευρωνικού δικτύου.

**Βήμα 4<sup>ο</sup>:** Όμοια, δημιουργείται ένας τέταρτος πίνακας, γεμισμένος με μηδενικά, μεγέθους ίδιου με αυτό του πίνακα επιθυμητής εξόδου του νευρωνικού δικτύου.

**Βήμα 5<sup>ο</sup>:** Ο τρίτος σε σειρά πίνακας συμπληρώνεται με μονάδες με τον εξής τρόπο: κάθε στήλη του πίνακα περιέχει μια μόνο μονάδα και η γραμμή στην οποία ανήκει ισούται με την τιμή που περιέχεται στην αντίστοιχη στήλη του πρώτου πίνακα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για καθεμία από τις στήλες με τη σειρά.

**Βήμα 6<sup>ο</sup>:** Αντίστοιχα, γεμίζει με μονάδες και ο τέταρτος πίνακας βασιζόμενος στην τιμή που περιέχεται στην αντίστοιχη στήλη του δεύτερου πίνακα.

**Βήμα 7<sup>ο</sup>:** Με βάση τη σύγκριση των δυο τελευταίων πινάκων που δημιουργήθηκαν παραπάνω, υπολογίζονται δυο τιμές μέτρησης της απόδοσης: accuracy, recall. Συγκεκριμένα:

Η τιμή accuracy υπολογίζεται διαιρώντας το σύνολο των θέσεων στις οποίες και οι δυο πίνακες περιέχουν μονάδα προς το συνολικό αριθμό των θέσεων:

**Accuracy**= Σωστά ταξινομημένες τιμές /Συνολικός αριθμός τιμών

Η τιμή recall υπολογίζεται διαιρώντας το σύνολο των θέσεων στις οποίες και οι δυο πίνακες περιέχουν μονάδα ανά κατηγορία-συναίσθημα προς το συνολικό αριθμό των θέσεων ανά κατηγορία.

**Recall**= Σωστά ταξινομημένες τιμές στην κατηγορία/Σύνολο τιμών στην κατηγορία

Οι δυο αυτές τιμές δίνονται στην έξοδο της συνάρτησης.



#### 4.2.1.6. Αξιολόγηση νευρωνικού δικτύου στο στάδιο ελέγχου

Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης στο στάδιο ελέγχου, το νευρωνικό δίκτυο καλείται να εφαρμόσει τη μάθηση που έλαβε κατά την εκπαίδευση σε άγνωστα προς αυτό δεδομένα. Για να επιτευχθεί αυτό, δέχεται ως είσοδο τον πίνακα εισόδου του συνόλου ελέγχου απόδοσης, του οποίου η δημιουργία έχει περιγραφεί παραπάνω, και δίνει ως έξοδο ένα πίνακα με τιμές που βασίζονται στην εκπαίδευση που έχει λάβει. Ουσιαστικά, δέχεται ως είσοδο τα βιολογικά σήματα που μετρήθηκαν τις 8 τελευταίες ημέρες και καλείται να τα αντιστοιχίσει με τα συναισθήματα τα οποία εκδηλώνονταν κατά τις μετρήσεις, με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης που αφορούν τις 17 πρώτες ημέρες. Ο πίνακας εξόδου έχει μορφή και μέγεθος ίδια με αυτά του πίνακα επιθυμητής εξόδου που περιλαμβάνεται στο σύνολο ελέγχου απόδοσης.

Έχοντας καθορίσει το είδος του νευρωνικού δικτύου, ορισμένες επιθυμητές παραμέτρους και τον τρόπο αξιολόγησης, προχωράμε στην αξιολόγηση του νευρωνικού δικτύου υπολογίζοντας τα accuracy και recall δοκιμάζοντας διάφορους συνδυασμούς αριθμού νευρώνων του κρυμμένου επιπέδου, συναρτήσεων εκπαίδευσης και αριθμού εποχών για την εκπαίδευση.

Παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα:

Αρχικά, υπολογίζουμε μόνο τις τιμές του accuracy για αριθμό νευρώνων του κρυφού επιπέδου από 2 ως 24 με βήμα 2 και από 25 ως 30 με βήμα 1, για αριθμό εποχών 50 (βλ. Πίνακα 4.3), 100 (βλ. Πίνακα 4.4) και 500 (βλ. Πίνακα 4.5) αντίστοιχα και για τις αναγραφόμενες συναρτήσεις εκπαίδευσης. Η υψηλότερη τιμή accuracy ανά συνάρτηση εκπαίδευσης αλλά και συνολικά σε κάθε περίπτωση επισημαίνεται με έντονους χαρακτήρες.

<b>Αρ. Νευρώνων</b>	<b>traingd</b>	<b>traingdx</b>
<b>2</b>	0,25	0,2345
<b>4</b>	<b>0,2749</b>	0,2213
<b>6</b>	0,2614	<b>0,3108</b>
<b>8</b>	0,2504	0,2542
<b>10</b>	0,2506	0,2474
<b>12</b>	0,25	0,2279
<b>14</b>	0,2489	0,2606
<b>16</b>	0,2532	0,2511
<b>18</b>	0,1784	0,2923
<b>20</b>	0,2455	0,2508
<b>22</b>	0,2689	0,3067
<b>24</b>	0,19	0,2456
<b>25</b>	0,2449	0,2456
<b>26</b>	0,2174	0,25

<b>27</b>	0,2517	0,2543
<b>28</b>	0,2529	0,2478
<b>29</b>	0,2523	0,2525
<b>30</b>	0,25	0,271
<b>max</b>	<b>0,2749</b>	<b>0,3108</b>
<b>max_all</b>	<b>0,3108</b>	

Πίνακας 4.3: Τιμές του accuracy σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 50

Αρ. Νευρώνων	traingda	trainrp	traincgb
<b>2</b>	0,2494	0,2539	0,25
<b>4</b>	0,2486	0,3109	0,3613
<b>6</b>	0,25	0,2705	<b>0,3669</b>
<b>8</b>	0,25	0,3412	0,2472
<b>10</b>	0,2443	<b>0,3673</b>	0,246
<b>12</b>	0,1638	0,3284	0,3381
<b>14</b>	0,2731	0,3612	0,3373
<b>16</b>	0,2492	0,3491	0,3307
<b>18</b>	0,3092	0,3584	0,2578
<b>20</b>	0,2572	0,3532	0,3282
<b>22</b>	<b>0,3389</b>	0,345	0,2486
<b>24</b>	0,3053	0,3478	0,3464
<b>25</b>	0,3019	0,3585	0,3455
<b>26</b>	0,291	0,3493	0,2492
<b>27</b>	0,3164	0,3419	0,3432
<b>28</b>	0,3274	0,3593	0,3589
<b>29</b>	0,1891	0,3669	0,3262
<b>30</b>	0,2809	0,3367	0,3256
<b>max</b>	<b>0,3389</b>	<b>0,3673</b>	<b>0,3669</b>
<b>max_all</b>	<b>0,3673</b>		

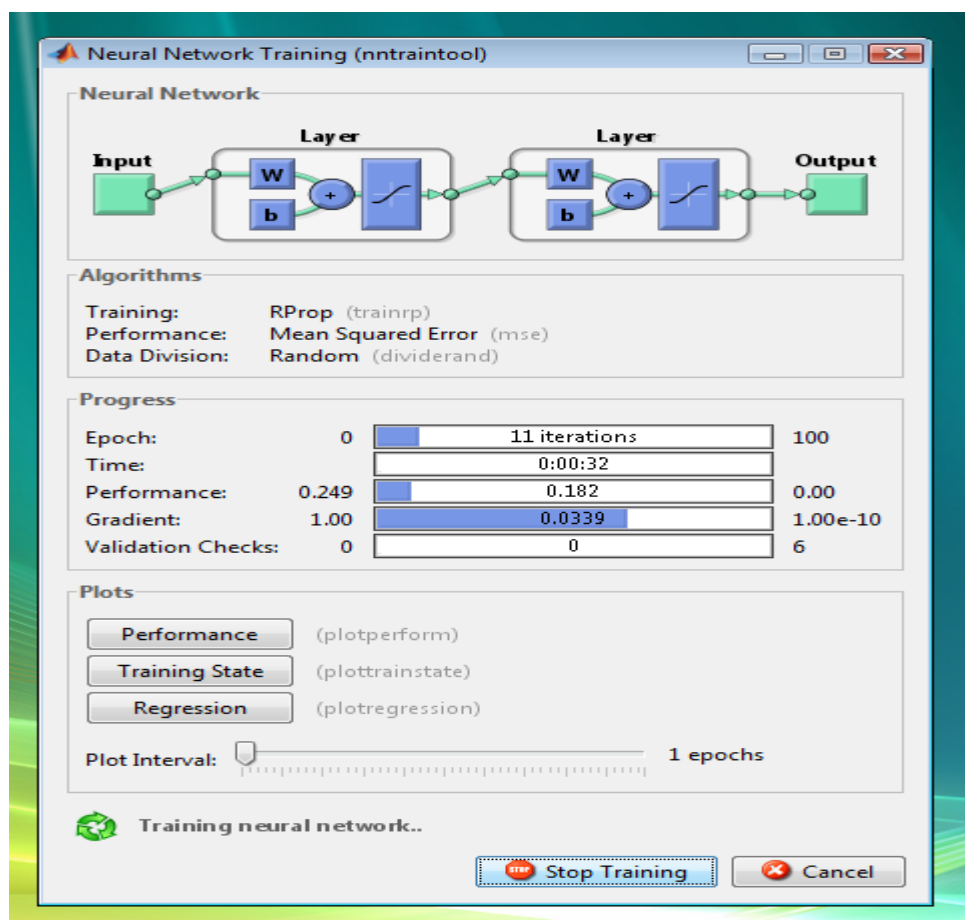
Πίνακας 4.4: Τιμές του accuracy σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 100

Αρ. Νευρώνων	traingda	trainrp	traincgb
<b>2</b>	0,2608	0,3365	0,2565
<b>4</b>	0,285	<b>0,371</b>	0,2687
<b>6</b>	0,3024	0,3573	0,2305
<b>8</b>	0,3098	0,3434	<b>0,3514</b>
<b>10</b>	0,1907	0,3441	0,2481
<b>12</b>	0,2761	0,3414	0,3506
<b>14</b>	<b>0,3729</b>	0,3549	0,3436
<b>16</b>	0,3569	0,3467	0,3413
<b>18</b>	0,3398	0,3394	0,25

20	0,3611	0,3498	0,2865
22	0,3397	0,3518	0,3264
24	0,3519	0,3424	0,3458
25	0,2835	0,348	0,2474
26	0,342	0,3449	0,25
27	0,3569	0,3377	0,3005
28	0,3316	0,3374	0,3365
29	0,3242	0,3557	0,3394
30	0,3433	0,3372	0,266
max	<b>0,3729</b>	<b>0,371</b>	<b>0,3514</b>
max_all	<b>0,3729</b>		

Πίνακας 4.5 Τιμές του accuracy σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 500

Με βάση την παραπάνω αξιολόγηση παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει ο αριθμός των εποχών τόσο αυξάνει και η τιμή του accuracy, ωστόσο ακόμα και στην περίπτωση που οι εποχές έφτασαν τις 500, το accuracy έφτασε μόνο στην τιμή 0,3729. Όσον αφορά τις συναρτήσεις εκπαίδευσης, η `trainrda` και η `trainrp` αποδίδουν τα καλύτερα αποτελέσματα, χωρίς όμως οι διαφορές τους με τις υπόλοιπες να ξεπερνούν το 0,03.



Εικόνα 4.5:Στιγμιότυπο εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου με συνάρτηση εκπαίδευσης `trainrp`, αριθμό νευρώνων 10 και αριθμό εποχών 100

Συμπεραίνοντας ότι η απόδοση του νευρωνικού δικτύου δεν είναι αρκούντως υψηλή ώστε να μας οδηγήσει στα επιθυμητά αποτελέσματα, επιχειρούμε ορισμένες αλλαγές στο σύνολο των δεδομένων εισόδου του νευρωνικού δικτύου με στόχο να βελτιωθεί η απόδοση του νευρωνικού δικτύου και κατ' επέκταση να επιτευχθεί η αναγνώριση των συναισθημάτων με βάση τα βιολογικά σήματα.

#### 4.2.1.7. Επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και επαναξιολόγηση

Βασικός άξονας για την τροποποίηση των δεδομένων εισόδου αποτελεί η παρεμφερής φύση των συναισθημάτων της χαράς (joy) και της ευχαρίστησης (pleasure). Το γεγονός ότι ανήκουν και τα δυο στην κατηγορία των θετικών συναισθημάτων και η διαφορά τους έγκειται στην διαφορετική ένταση εκδήλωσης του συναισθήματος μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, πιθανώς, το νευρωνικό δίκτυο δεν μπορεί να διαχωρίσει ικανοποιητικά τα δυο αυτά συναισθήματα.

Για το λόγο αυτό, αφαιρούμε τόσο από το σύνολο εκπαίδευσης όσο και από το σύνολο ελέγχου της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου τις τιμές που αφορούν το συναίσθημα της ευχαρίστησης (pleasure), δηλαδή τις τιμές των βιολογικών σημάτων, όσον αφορά τους πίνακες εισόδου και τις αντιστοιχίσεις τους στο συναίσθημα της ευχαρίστησης, όσον αφορά τους πίνακες επιθυμητής εξόδου. Παρακάτω, φαίνεται η μορφή των νέων πινάκων που προκύπτουν(βλ. Πίνακα 4.6 και 4.7).

	joy(x3840)	anger(x3840)	sadness(x3840)	x17
ecg	...	...	...	
emg	...	...	...	
rsp	...	...	...	
sc	...	...	...	

**Πίνακας 4.6: Μορφή πίνακα εισόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου μετά την τροποποίηση**

	joy(x3840)	anger(x3840)	sadness(x3840)	x17
joy	111...1	000...0	000...0	
anger	000...0	111...1	000...0	
sadness	000...0	000...0	111...1	

**Πίνακας 4.7: Μορφή πίνακα εξόδου του συνόλου εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου μετά την τροποποίηση**

Αντίστοιχη είναι και η μορφή των πινάκων που περιέχονται στο σύνολο ελέγχου της απόδοσης με μόνη διαφοροποίηση το μέγεθος, καθώς το σύνολο των δεδομένων προκύπτει από τις 8 τελευταίες μέρες.

Στο σημείο αυτό, επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία αξιολόγησης του νευρωνικού δικτύου και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Σε όλες τις περιπτώσεις η συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυφού επιπέδου και του επιπέδου εξόδου είναι η  $\tanh$  και η συνάρτηση μάθησης η  $\text{learnGDM}$ . Παρουσιάζουμε τις τιμές που προκύπτουν για το accuracy και το recall για αριθμό νευρώνων του κρυφού επιπέδου από 2 ως 9 με βήμα 1, για 200 εποχές και για τις αναγραφόμενες συναρτήσεις εκπαίδευσης (βλ. Πίνακα 4.8).

	accuracy	recall			accuracy	recall		
<b>Αρ. Νευρώνων</b>	<b>traingd</b>				<b>traingda</b>			
<b>2</b>	0,3333	0,0000	0,0000	1,0000	0,3512	0,0000	0,1621	0,8915
<b>3</b>	<b>0,337</b>	<b>0,1035</b>	<b>0,000</b>	<b>0,9076</b>	0,3304	0,5200	0,3811	0,0902
<b>4</b>	0,3333	1,0000	0,0000	0,0000	0,3191	0,4870	0,1652	0,3051
<b>5</b>	0,3153	0,0000	0,8358	0,1100	0,3579	0,2843	0,0412	0,7482
<b>6</b>	0,3301	0,9006	0,0000	0,0896	0,3996	0,4798	0,0000	0,7191
<b>7</b>	0,3267	0,9750	0,0000	0,0050	<b>0,4392</b>	<b>0,6021</b>	<b>0,1010</b>	<b>0,6146</b>
<b>8</b>	0,3333	0,0000	0,0000	1,0000	0,3403	0,0000	0,7335	0,2875
<b>9</b>	0,3311	0,1022	0,8910	0,000	0,297	0,2666	0,6244	0,0000
<b>max</b>	<b>0,337</b>	<b>0,1035</b>	<b>0,000</b>	<b>0,9076</b>	<b>0,4392</b>	<b>0,6021</b>	<b>0,1010</b>	<b>0,6146</b>
	<b>trainrp</b>				<b>traincgb</b>			
<b>2</b>	0,3834	0,3756	0,0002	0,7743	<b>0,4797</b>	<b>0,6597</b>	<b>0,2067</b>	<b>0,5728</b>
<b>3</b>	0,4848	0,5922	0,2686	0,5938	0,4575	0,7796	0,0000	0,5928
<b>4</b>	0,3927	0,2655	0,2887	0,6239	0,4589	0,3199	0,4798	0,5771
<b>5</b>	0,4469	0,5764	0,1826	0,5817	0,461	0,2648	0,5675	0,5507
<b>6</b>	0,4818	0,5356	0,3192	0,5906	0,3371	0,1027	0,0000	0,9086
<b>7</b>	<b>0,4964</b>	<b>0,5783</b>	<b>0,3403</b>	<b>0,5706</b>	0,3356	0,0102	0,0000	0,9966
<b>8</b>	0,4397	0,6436	0,0605	0,6151	0,3361	0,6787	0,3295	0,0000
<b>9</b>	0,4603	0,3411	0,4664	0,5733	0,456	0,6782	0,1118	0,5779
<b>max</b>	<b>0,4964</b>	<b>0,5783</b>	<b>0,3403</b>	<b>0,5706</b>	<b>0,4797</b>	<b>0,6597</b>	<b>0,2067</b>	<b>0,5728</b>
<b>max_all</b>	<b>0,4964</b>							

Πίνακας 4.8: Τιμές του accuracy και του recall σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 200 ύστερα από τροποποίηση των δεδομένων εισόδου

Διαπιστώνουμε ότι με την αφαίρεση του συναισθήματος της ευχαρίστησης (pleasure) η απόδοση του νευρωνικού δικτύου βελτιώνεται. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη τιμή απόδοσης (0,4964) επιτυγχάνεται για εκπαίδευση με τη συνάρτηση εκπαίδευσης trainrp και για 7 νευρώνες στο κρυφό επίπεδο.

Με σκοπό την επίτευξη ακόμα μεγαλύτερης απόδοσης επιχειρείται μια ακόμα τροποποίηση στα δεδομένα εισόδου του νευρωνικού δικτύου, η δειγματοληψία. Αναλυτικότερα, μειώνουμε το ρυθμό δειγματοληψίας, διατηρώντας κάθε τέταρτη τιμή του δείγματος αρχίζοντας από την πρώτη τιμή. Ουσιαστικά, κάνουμε δειγματοληψία στις τιμές των μετρούμενων βιολογικών σημάτων με συχνότητα 4 Hz.

Οι πίνακες εισόδου που προκύπτουν έχουν την εξής μορφή: καθένα από τα μετρούμενα βιολογικά σήματα ecg, emg, rsp, sc περιέχει 960 τιμές για καθένα από τα τρία συναισθήματα χαρά (joy), θυμό (anger), λύπη (sadness) για μια ημέρα. Αντίστοιχη είναι και η μείωση των τιμών για τους πίνακες επιθυμητής εξόδου του νευρωνικού δικτύου. Τελικά, το μέγεθος των στηλών των δεδομένων εισόδου είναι  $960 \times 3 \times 17 = 48960$ , όσον αφορά το σύνολο εκπαίδευσης και  $960 \times 3 \times 8 = 23040$ , όσον αφορά το σύνολο ελέγχου της απόδοσης.

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία αξιολόγησης του νευρωνικού δικτύου, το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυφού επιπέδου και του επιπέδου εξόδου είναι η tansig και η συνάρτηση μάθησης η learnqdm. Ο αριθμός νευρώνων του κρυφού επιπέδου κυμαίνεται από 2 ως 9 με βήμα 1 και το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται διαδοχικά με τις συναρτήσεις εκπαίδευσης που αναγράφονται και για αριθμό εποχών 200 (βλ. Πίνακα 4.9) και 300 (βλ. Πίνακα 4.10). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται παρακάτω:

	accuracy	recall			accuracy	recall		
Αρ. Νευρώνων	traingda				trainrp			
2	0,3388	0,1042	0,0042	0,9079	0,3688	0,2889	0,0003	0,8173
3	0,3615	0,0160	0,9486	0,1201	0,4241	0,6285	0,0234	0,6203
4	0,3643	0,0039	0,1807	0,9083	0,3773	0,2294	0,0000	0,9026
5	<b>0,381</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2555</b>	<b>0,8875</b>	0,4205	0,5630	0,0780	0,6206
6	0,3335	1,0000	0,0000	0,0005	0,3792	0,4020	0,0008	0,7348
7	0,3754	0,1012	0,1691	0,8560	0,3865	0,2189	0,0391	0,9017
8	0,3785	0,1076	0,1159	0,9120	0,3701	0,2824	0,0016	0,8263
9	0,3744	0,2340	0,0143	0,8749	<b>0,4294</b>	<b>0,6049</b>	<b>0,0605</b>	<b>0,6228</b>
max	<b>0,381</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2555</b>	<b>0,8875</b>	<b>0,4294</b>	<b>0,6049</b>	<b>0,0605</b>	<b>0,6228</b>
	traincgb				traingdx			
2	0,4291	0,6737	0,0000	0,6135	0,341	0,0000	0,1132	0,9098
3	<b>0,4934</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,8901</b>	<b>0,5902</b>	0,3727	0,2813	0,0010	0,8357

<b>4</b>	0,4536	0,6215	0,1397	0,5995	0,3681	0,0193	0,2810	0,8039
<b>5</b>	0,4711	0,5747	0,2415	0,5971	0,3766	0,0913	0,0397	0,9987
<b>6</b>	0,4541	0,6396	0,1184	0,6044	0,3765	0,3339	0,0001	0,7956
<b>7</b>	0,4747	0,3090	0,5078	0,6074	0,3671	0,2747	0,0039	0,8228
<b>8</b>	0,324	0,5934	0,3788	0,0000	<b>0,3824</b>	<b>0,000</b>	<b>0,3727</b>	<b>0,7746</b>
<b>9</b>	0,4796	0,5414	0,2928	0,6044	0,3716	0,2888	0,0026	0,8234
<b>max</b>	<b>0,4934</b>	<b>0,000</b>	<b>0,8901</b>	<b>0,5902</b>	<b>0,3824</b>	<b>0,000</b>	<b>0,3727</b>	<b>0,7746</b>
	<b>trainbfg</b>				<b>trainlm</b>			
<b>2</b>	0,4679	0,3520	0,4618	0,5898	0,3333	0,0000	1,0000	0,0000
<b>3</b>	0,3335	0,5642	0,4359	0,0004	0,4634	0,3276	0,4810	0,5816
<b>4</b>	0,4673	0,2299	0,5826	0,5895	0,4881	0,2341	0,6507	0,5794
<b>5</b>	0,4555	0,7674	0,0000	0,5991	<b>0,5045</b>	<b>0,4658</b>	<b>0,453</b>	<b>0,5948</b>
<b>6</b>	0,4546	0,5639	0,1986	0,6012	0,484	0,3861	0,4751	0,5908
<b>7</b>	0,4448	0,7078	0,0173	0,6094	0,461	0,3134	0,4220	0,6477
<b>8</b>	<b>0,4853</b>	<b>0,5029</b>	<b>0,3661</b>	<b>0,5870</b>	0,4986	0,3973	0,4529	0,6457
<b>9</b>	0,4442	0,6103	0,1091	0,6132	0,4761	0,3648	0,4607	0,6027
<b>max</b>	<b>0,4853</b>	<b>0,5029</b>	<b>0,3661</b>	<b>0,5870</b>	<b>0,5045</b>	<b>0,4658</b>	<b>0,4530</b>	<b>0,5948</b>
<b>max_all</b>	<b>0,5045</b>	<b>0,4658</b>	<b>0,4530</b>	<b>0,5948</b>				

Πίνακας 4.9: Τιμές του accuracy και του recall σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 200 ύστερα από τροποποίηση των δεδομένων εισόδου και δειγματοληψία

Αρ. Νευρώνων	accuracy	recall			accuracy	recall		
	trainrp				traincgb			
<b>2</b>	0,413	0,57	0,0000	0,6604	0,458	0,7704	0,0078	0,5957
<b>3</b>	0,4068	0,5840	0,0004	0,6361	<b>0,4839</b>	<b>0,4581</b>	<b>0,3980</b>	<b>0,5954</b>
<b>4</b>	0,37	0,3372	0,0001	0,7725	0,4479	0,5326	0,2168	0,5944
<b>5</b>	0,3758	0,2823	0,0000	0,8452	0,4678	0,4904	0,3143	0,5988
<b>6</b>	0,3774	0,2439	0,0000	0,8883	0,4553	0,5637	0,2012	0,6012
<b>7</b>	0,4165	0,6096	0,0160	0,6240	0,3353	0,4161	0,589	0,0000
<b>8</b>	0,4002	0,5570	0,0003	0,6434	0,4593	0,5587	0,2298	0,5895
<b>9</b>	<b>0,4285</b>	<b>0,6602</b>	<b>0,009</b>	<b>0,6155</b>	0,4733	0,3184	0,4991	0,6023
<b>max</b>	<b>0,4285</b>	<b>0,6602</b>	<b>0,009</b>	<b>0,6155</b>	<b>0,4839</b>	<b>0,4581</b>	<b>0,3980</b>	<b>0,5954</b>
	<b>trainbfg</b>				<b>trainlm</b>			
<b>2</b>	<b>0,4939</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,8922</b>	<b>0,5895</b>	0,4467	0,7431	0,0000	0,5969
<b>3</b>	0,4826	0,5704	0,2902	0,5871	0,4634	0,6853	0,1198	0,5850
<b>4</b>	0,4855	0,4953	0,3725	0,5885	<b>0,5086</b>	<b>0,2496</b>	<b>0,6750</b>	<b>0,6013</b>
<b>5</b>	0,4435	0,7063	0,0159	0,6085	0,3685	0,4992	0,6062	0,0000
<b>6</b>	0,4807	0,5355	0,3184	0,5883	0,4504	0,5430	0,2382	0,5701
<b>7</b>	0,4827	0,8359	0,0292	0,5831	0,4735	0,4548	0,1803	0,7853

<b>8</b>	0,4466	0,6699 0,0906 0,5793	0,4638	0,4891 0,3197 0,5827
<b>9</b>	0,4558	0,7688 0,0000 0,5987	0,4908	0,3948 0,4724 0,6053
<b>max</b>	<b>0,4939</b>	<b>0,0000 0,8922</b> <b>0,5895</b>	<b>0,5086</b>	<b>0,2496 0,6750 0,6013</b>
<b>max_all</b>	<b>0,5086</b>	<b>0,2496 0,6750</b> <b>0,6013</b>		

**Πίνακας 4.10: Τιμές του accuracy και του recall σε εκπαίδευση με μέγιστο αριθμό εποχών 300 ύστερα από τροποποίηση των δεδομένων εισόδου και δειγματοληψία**

Μετά την παρατήρηση των αποτελεσμάτων διαπιστώνουμε ότι η δειγματοληψία επιφέρει αποτελέσματα καθώς η απόδοση του νευρωνικού δικτύου φτάνει το 0,5086, δηλαδή με στρογγυλοποίηση το 51%. Πρακτικά, η ερμηνεία του ποσοστού αυτού είναι ότι το νευρωνικό δίκτυο, με βάση τα βιολογικά σήματα που θα δέχεται, θα αναγνωρίζει σωστά τα μισά συναισθήματα από αυτά που απαιτείται.

Θεωρούμε την τιμή αυτή της απόδοσης αρκούντως ικανοποιητική, λαμβάνοντας υπόψη τους εξής παράγοντες: καταρχάς, την απλή δομή του συστήματος αναγνώρισης των συναισθημάτων, δηλαδή του νευρωνικού μας δικτύου καθώς επίσης και τη χρησιμοποίηση των δεδομένων και την εισαγωγή τους στο νευρωνικό δίκτυο χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, όπως για παράδειγμα στατιστική ανάλυση και κανονικοποίηση.

#### **4.2.1.8. Αξιολόγηση νευρωνικού δικτύου στο στάδιο εκπαίδευσης**

Πριν προχωρήσουμε, κρίνεται απαραίτητο να αξιολογήσουμε και την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, επιθυμούμε να διαπιστώσουμε αν το νευρωνικό δίκτυο “έμαθε” να αντιστοιχίζει σωστά τα δεδομένα εκπαίδευσης, δηλαδή αν ταξινομεί σωστά στο αντίστοιχο συναίσθημα καθεμία από τις αντίστοιχες τιμές των βιοσημάτων που ανήκουν στο σύνολο εκπαίδευσης, δηλαδή στις 17 πρώτες ημέρες μετρήσεων. Στον Πίνακα 4.10 παραθέτουμε τις τιμές accuracy και recall για αριθμό νευρώνων του κρυφού επιπέδου ίσο με 4, αριθμό εποχών ίσο με 300 και για συνάρτηση εκπαίδευσης trainlm, δηλαδή για το νευρωνικό δίκτυο που είχε απόδοση στο στάδιο ελέγχου ίση με 0,5086:

<b>Αρ. Νευρώνων</b>	<b>Αρ. Εποχών</b>	<b>Συν. Εκπαίδευσης</b>	<b>accuracy</b>	<b>recall</b>
4	300	trainlm	0,7817	0,7622 0,7735 0,8095

**Πίνακας 4.11: Τιμές του accuracy και του recall στην αξιολόγηση νευρωνικού δικτύου στο στάδιο εκπαίδευσης**

Παρατηρούμε ότι το νευρωνικό δίκτυο που έχουμε κατασκευάσει έχει απόδοση 0,7817, δηλαδή έχει εκπαιδευτεί επιτυχώς κατά 78,17%.



#### 4.2.1.9. Επιλογή νευρωνικού δικτύου

Το νευρωνικό δίκτυο που επιλέγεται για την αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη με βάση τα βιολογικά σήματα του οργανισμού του έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Είναι ένα νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης το οποίο εκπαιδεύεται με τη μέθοδο οπίσθιας διάδοσης σφάλματος (back propagation) και αποτελείται από:

- τέσσερις νευρώνες στο επίπεδο εισόδου, οι οποίοι αντιστοιχούν στα τέσσερα βιολογικά σήματα ecg, emg, rsp, cs
- ένα κρυφό επίπεδο, το οποίο αποτελείται από τέσσερις νευρώνες, αρχιτεκτονική η οποία αποδίδει τα καλύτερα αποτελέσματα σύμφωνα με τις δοκιμές που περιγράφηκαν παραπάνω
- ένα επίπεδο εξόδου με τρεις νευρώνες, οι οποίοι αντιστοιχούν στα συναισθήματα χαρά (joy), θυμός (anger), λύπη (sadness)

Το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται με τη συνάρτηση εκπαίδευσης trainlm και με τη συνάρτηση μάθησης learnlstm, στο κρυφό επίπεδο και στο επίπεδο εξόδου εφαρμόζεται η συνάρτηση ενεργοποίησης tansig, δηλαδή η συνάρτηση της εφαπτομένης η οποία ανήκει στην κατηγορία των σιγμοειδών συναρτήσεων και κανονικοποιεί τα δεδομένα στο πεδίο [-1 1] και η εκπαίδευση εφαρμόζεται για 300 επαναλήψεις.

#### 4.2.1.10. Εισαγωγή βιολογικών σημάτων στο νευρωνικό δίκτυο και εμφάνιση του αντίστοιχου συναισθήματος

Το νευρωνικό δίκτυο που έχουμε κατασκευάσει αντιστοιχίζει τα βιολογικά σήματα που δέχεται ως είσοδο με το συναίσθημα το οποίο εκδηλωνόταν κατά τη μέτρηση των σημάτων αυτών. Η αντιστοίχιση αυτή πραγματοποιείται ως εξής: το νευρωνικό δίκτυο αποδίδει την τιμή 1 στο συναίσθημα στο οποίο αντιστοιχούν οι μετρήσεις και την τιμή 0 στα δυο εναπομείναντα συναισθήματα.

Στο στάδιο αυτό του πειράματος εισάγουμε στο νευρωνικό δίκτυο τα βιολογικά σήματα της βάσης δεδομένων που μετρήθηκαν τις 8 τελευταίες ημέρες. Η εισαγωγή γίνεται ανά συναίσθημα και ανά ημέρα, δηλαδή εισάγονται διαδοχικά, συνολικά, 24 πίνακες βιοσημάτων, 8 για το συναίσθημα χαράς (joy), 8 για το συναίσθημα θυμού (anger) και 8 για το συναίσθημα λύπης (sadness).

	1	2	...	3840
ecg	...	...	...	...
emg	...	...	...	...
rsp	...	...	...	...
sc	...	...	...	...

Πίνακας 4.12: Μορφή πίνακα εισόδου του νευρωνικού δικτύου για καθένα από τα τρία συναισθήματα για μια ημέρα

Η έξοδος του νευρωνικού δικτύου για καθέναν από τους παραπάνω πίνακες εισόδου είναι ένας πίνακας εξόδου μεγέθους  $3 \times 3840$  ο οποίος ιδανικά περιέχει 3840 μονάδες στη γραμμή του ενός συναισθήματος και μηδενικά στις γραμμές των άλλων δυο συναισθημάτων. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, λόγω της μη ιδανικής λειτουργίας του νευρωνικού δικτύου, ο πίνακας αυτός στη θέση των μονάδων περιέχει τιμές μικρότερες της μονάδας που την προσεγγίζουν και στη θέση των μηδενικών τιμές μεγαλύτερες του μηδενός που το προσεγγίζουν. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζουμε στρογγυλοποίηση στον πίνακα εξόδου του νευρωνικού δικτύου, ώστε το περιεχόμενο του να λάβει την ιδανική μορφή.

Η συνέχεια του πειράματος χαρακτηρίζεται από μια ενέργεια η οποία έχει ως στόχο την εμφάνιση του επιθυμητού συναισθήματος με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες. Η ενέργεια αυτή διακρίνεται σε δυο μέρη: τη δημιουργία ενός πίνακα ο οποίος περιέχει τα εξαγόμενα από το νευρωνικό συναισθήματα με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες, με βάση τους αριθμούς του πίνακα εξόδου και, στη συνέχεια, την απομόνωση και την εμφάνιση εκείνου του συναισθήματος το οποίο υπερिσχύει έναντι των υπολοίπων. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι υλοποίησης της ενέργειας αυτής :

Αλγόριθμος 1: Δημιουργία πίνακα που περιέχει συναισθήματα (βλ. Παράρτημα για κώδικα)

**Βήμα 1:** Δημιουργία βοηθητικού πίνακα, από τον πίνακα εξόδου του νευρωνικού δικτύου, με σκοπό τη διάκριση των συναισθημάτων σε θετικά (positive) και αρνητικά (negative), ως εξής: η πρώτη γραμμή του νέου πίνακα είναι ίδια με την πρώτη γραμμή του πίνακα εξόδου και αντιστοιχεί στο θετικό (positive) συναίσθημα της χαράς (joy) και η δεύτερη γραμμή του νέου πίνακα ισούται με το άθροισμα ανά στήλη της δεύτερης και της τρίτης γραμμής του πίνακα εξόδου και αντιστοιχεί στα αρνητικά (negative) συναισθήματα του θυμού (anger) και της λύπης (sadness)

**Βήμα 2:** Έλεγχος ανά στήλη για καθεμία από τις 3840 στρογγυλοποιημένες τιμές για την εύρεση του συναισθήματος στο οποίο αντιστοιχεί η μονάδα και αναγραφή του συναισθήματος σε νέο πίνακα, ο οποίος θα περιέχει τα συναισθήματα με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.

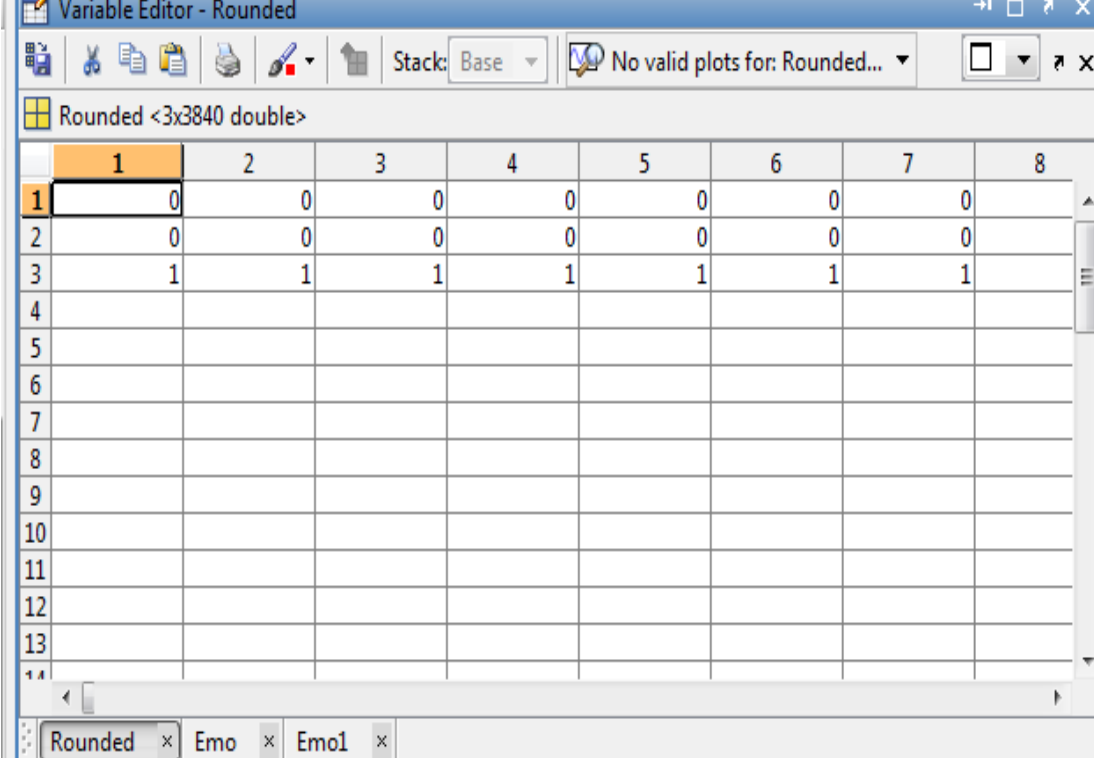
**Βήμα 3:** Σύγκριση ανά στήλη των τιμών του βοηθητικού πίνακα, εύρεση της μεγαλύτερης τιμής και αναγραφή του χαρακτηρισμού positive ή αντίστοιχα negative, στις μη ιδανικές περιπτώσεις, όπου δεν εμφανίζεται μονάδα σε κανένα από τα τρία συναισθήματα και απλώς χαρακτηρίζεται αν ο συμμετέχων διακατέχεται από θετικό ή αρνητικό συναίσθημα

Αλγόριθμος 2: Απομόνωση και εμφάνιση επικρατούντος συναισθήματος (βλ. Παράρτημα για κώδικα)

**Βήμα 1:** Υπολογισμός αριθμού εμφάνισης καθενός από τα τρία συναισθήματα joy, anger, sadness και των δυο χαρακτηρισμών positive, negative.

**Βήμα 2:** Σύγκριση των αριθμών εμφάνισης και αποθήκευση του συναισθήματος ή του χαρακτηρισμού που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο αριθμό

Στις Εικόνες 4.6, 4.7, 4.8 εμφανίζονται τρία ενδεικτικά στιγμιότυπα με το περιεχόμενο των πινάκων που δημιουργούνται κατά τη μετατροπή του αποτελέσματος από αριθμό σε συναίσθημα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα αναγνωρίστηκε το συναίσθημα της λύπης:



Variable Editor - Rounded

Rounded <3x3840 double>

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								

Rounded x Emo x Emo1 x

Εικόνα 4.6: Πίνακας με τα στρογγυλοποιημένα αποτελέσματα του πίνακα εξόδου του νευρωνικού

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	sad	sad	sad	sad	sad	sad	sad	sad
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

Εικόνα 4.7: Πίνακας που περιέχει τα συναισθήματα- αποκρίσεις του νευρωνικού δικτύου

	1	2	3
1	sad		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Εικόνα 4.8: Απομόνωση και εμφάνιση επικρατούντος συναισθήματος

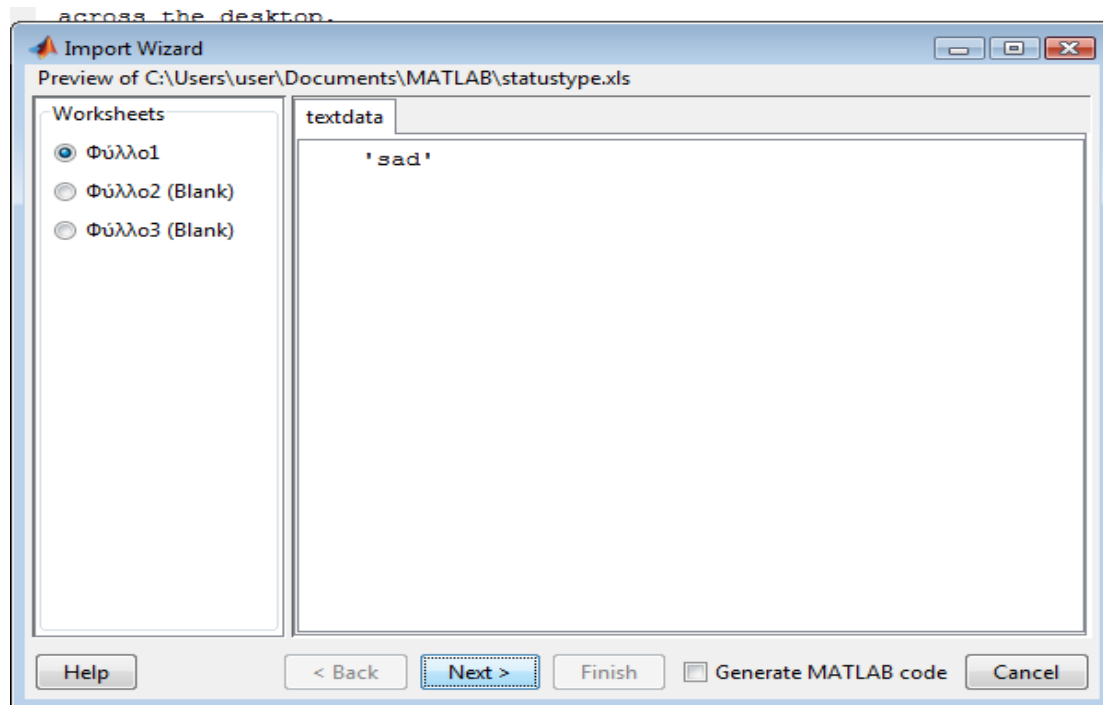
#### 4.2.1.11. Αποθήκευση της εξόδου του νευρωνικού για περαιτέρω επεξεργασία

Το αρχείο που έχουμε στη διάθεση μας, μετά και από την ολοκλήρωση του παραπάνω βήματος, είναι ένας πίνακας του περιβάλλοντος Matlab, ο οποίος περιέχει μια λέξη με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες, η οποία εκφράζει ένα από τα τρία συναισθήματα joy (happy), anger (angry), sadness (sad) ή έναν από τους δυο χαρακτηρισμούς positive, negative, ανάλογα με τις τιμές των βιολογικών σημάτων που έχει δεχθεί το νευρωνικό δίκτυο ως είσοδο.

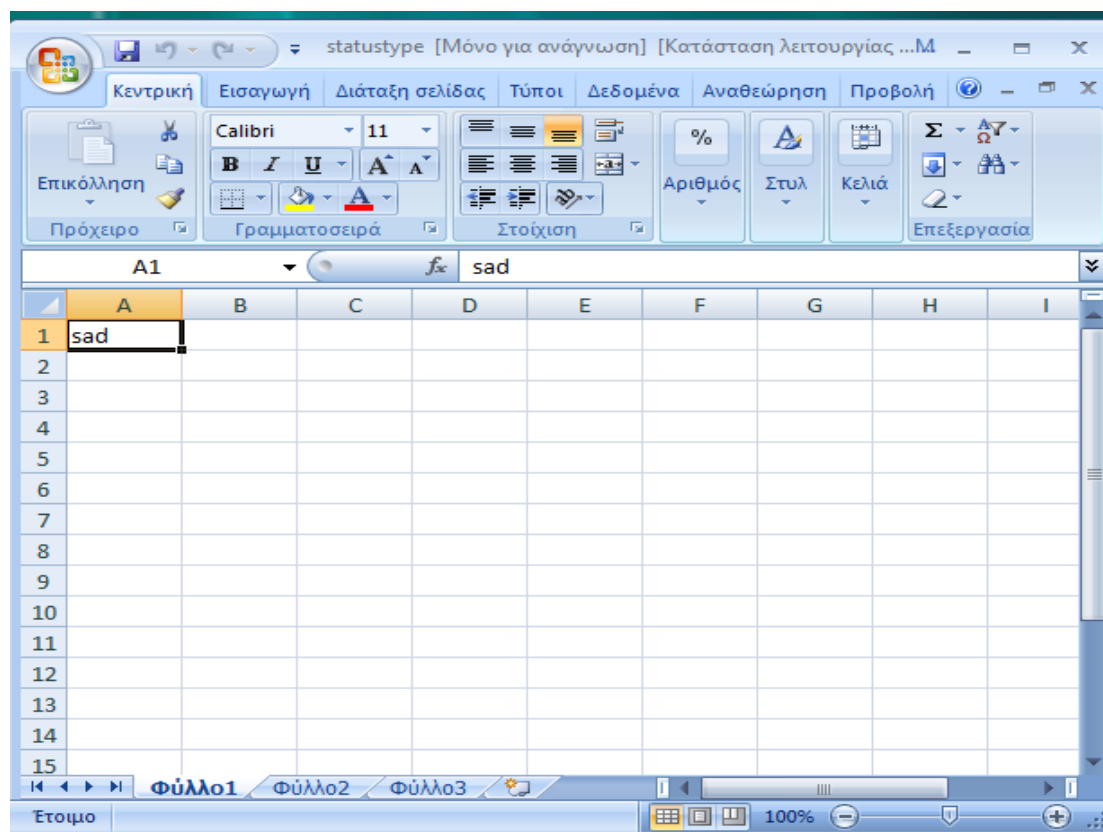
Η περαιτέρω χρησιμοποίηση του συναισθήματος που αναγράφεται στον πίνακα, με σκοπό την ενημέρωση των κοινωνικών μέσων, δημιουργεί την ανάγκη για μετατροπή του είδους του αρχείου, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα χρήσης χωρίς περιορισμούς.

Η μετατροπή του είδους του αρχείου μπορεί να επιτευχθεί με μια εντολή που παρέχει το Matlab, την `xlswrite('filename.xls',Matrix)`. Η εντολή αυτή γράφει το περιεχόμενο του πίνακα Matrix, ο οποίος είναι ένα πίνακας που έχει δημιουργηθεί στο Matlab, στο excel αρχείο με όνομα filename. Η εγγραφή πραγματοποιείται στο πρώτο φύλλο εργασίας του excel αρχίζοντας από το κελί A1. Αν το αρχείο filename.xls δεν υπάρχει, η εντολή δημιουργεί ένα νέο αρχείο το οποίο αποθηκεύεται στον τρέχοντα φάκελο εργασίας.

Παρακάτω εμφανίζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα περιεχομένου του excel αρχείου που δημιουργείται με την εντολή `xlswrite`, όταν αυτό ανοίγεται στο περιβάλλον Matlab (βλ. Εικόνα 4.9) και στο excel (βλ. Εικόνα 4.10) αντίστοιχα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει αναγνωριστεί από το νευρωνικό δίκτυο το συναίσθημα της λύπης:



**Εικόνα 4.9:** Περιεχόμενο του excel αρχείου που δημιουργείται με την εντολή `xlswrite`, όταν αυτό ανοίγεται στο περιβάλλον Matlab



**Εικόνα 4.10:** Περιεχόμενο του excel αρχείου που δημιουργείται με την εντολή `xlswrite`, όταν αυτό ανοίγεται με το excel

## 4.2.2 Δεύτερο Μέρος Εφαρμογής

Το δεύτερο μέρος της εφαρμογής αφορά την ενημέρωση των κοινωνικών δικτύων, και συγκεκριμένα του twitter, για τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη, όπως αυτή έχει προκύψει από το νευρωνικό δίκτυο. Η ενέργεια αυτή υλοποιείται μέσω της γλώσσας html.

### 4.2.2.1. Ενημέρωση του twitter με το επιθυμητό συναίσθημα.

Η ενημέρωση ενός κοινωνικού δικτύου για τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη διακρίνεται σε δυο μέρη: την απόκτηση πρόσβασης στο περιεχόμενο του αρχείου excel, όπου είναι αποθηκευμένο το συναίσθημα, από τη γλώσσα προγραμματισμού, και την ενημέρωση του μέσου κοινωνικής δικτύωσης με το περιεχόμενο αυτό.

#### **Απόκτηση πρόσβασης στο περιεχόμενο του αρχείου excel, όπου είναι αποθηκευμένο το συναίσθημα**

Παρακάτω περιγράφεται ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να αποκτηθεί πρόσβαση στο αρχείο excel.

Η εφαρμογή Microsoft Office Excel υποστηρίζει τη χρήση αντικειμένων ActiveX Objects. Τα αντικείμενα αυτά είναι διεπαφές που βασίζονται στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, δημιουργήθηκαν από τη Microsoft το 1996 [39] και παρέχουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μιας γλώσσας προγραμματισμού με το λειτουργικό σύστημα. Αναλυτικότερα τα ActiveX Objects δημιουργούνται με στόχο να παρέχουν στο προγραμματιστή τη δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων. Με την χρησιμοποίηση των ActiveX Objects επιτυγχάνεται η δημιουργία προγραμμάτων τα οποία θα έχουν πρόσβαση στα δεδομένα του τοπικού δίσκου του υπολογιστή.

Η JavaScript είναι μια αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού η οποία υποστηρίζει τη δημιουργία αντικειμένων. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται στον αλγόριθμό μας, ενσωματωμένη στον κώδικα html, με σκοπό τη δημιουργία ενός ActiveX αντικειμένου. Ακολούθως, περιγράφεται ο αλγόριθμος για την πρόσβαση στο περιεχόμενο του αρχείου excel, όπου είναι αποθηκευμένο το συναίσθημα (βλ. Παράρτημα για κώδικα) :

**Βήμα 1:** Δημιουργία συνάρτησης για την πρόσβαση στο αρχείο

**Βήμα 2:** Δημιουργία νέου αντικειμένου ActiveX Object, που παρέχει πρόσβαση σε μια εφαρμογή Microsoft Office Excel.

**Βήμα 3:** Εμφάνιση της εφαρμογής που θα ανοιχτεί

**Βήμα 4:** Άνοιγμα του αρχείου στο οποίο είναι αποθηκευμένο το συναίσθημα και απόκτηση της τιμής του συναισθήματος, η οποία βρίσκεται στο πρώτο φύλλο εργασίας, στο κελί A1.

**Βήμα 5:** Κλείσιμο του αντικειμένου

**Βήμα 6:** Τέλος συνάρτησης

**Βήμα 7:** Ανάθεση της τιμής του συναισθήματος που αποκτήθηκε σε μια μεταβλητή

### **Ενημέρωση του μέσου κοινωνικής δικτύωσης με το συναίσθημα**

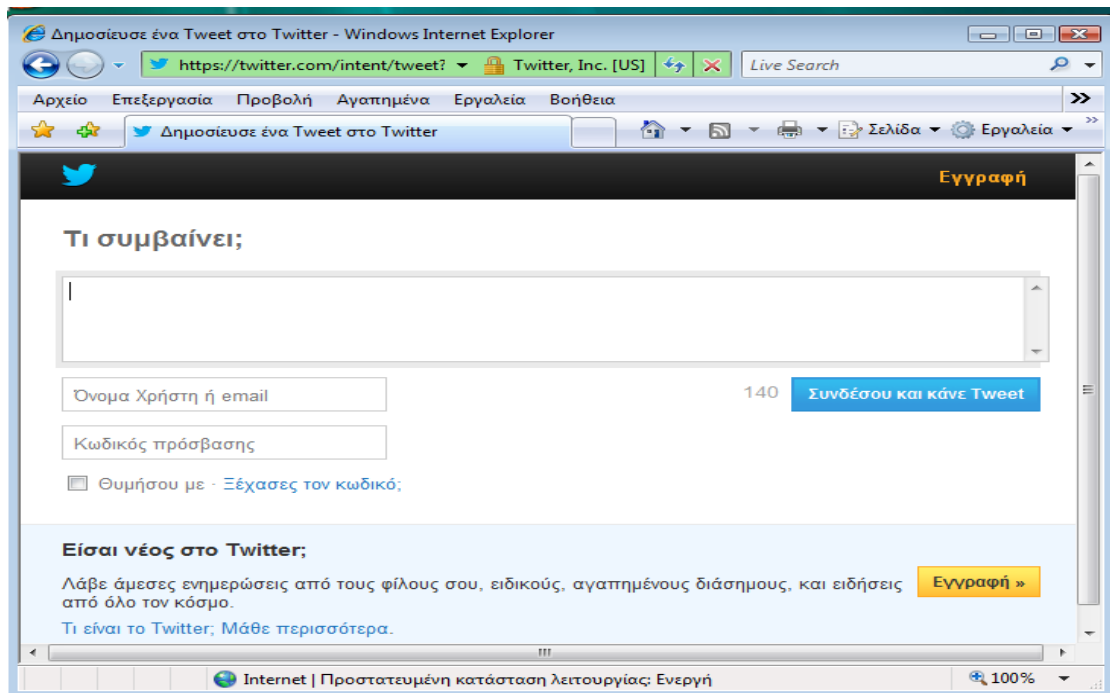
Το μέσο κοινωνικής δικτύωσης, όπου θα εμφανιστεί η συναισθηματική κατάσταση, είναι το twitter. Το twitter είναι ένα ιστολόγιο το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες του να στέλνουν και να διαβάζουν μηνύματα κειμένου, που είναι γνωστά και ως “tweets” [40].

Το twitter παρέχει στους χρήστες του ορισμένες διευκολύνσεις μέσω του Twitter API. Ένα API (Application Programming Interface) αποτελεί ένα προκαθορισμένο τρόπο εκτέλεσης μιας εργασίας, σε ένα πρόγραμμα, συνήθως, ανακτώντας ή τροποποιώντας δεδομένα. Όσον αφορά το twitter, παρέχεται μια μέθοδος API για καθένα από τα χαρακτηριστικά που υπάρχουν στην ιστοσελίδα. [41] Τα Twitter Web Intents ανήκουν στα Twitter API που δεν απαιτούν πιστοποίηση και γνώση προγραμματισμού για να χρησιμοποιηθούν. Παρέχουν στους χρήστες τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ του περιεχομένου του Twitter και άλλων ιστοσελίδων, μέσω της εμφάνισης αναδύομενων παραθύρων, που αφορούν ενέργειες όπως τη σύνθεση μηνύματος (tweet), την αναδημοσίευση μηνύματος (retweet), την απάντηση (reply), την προσθήκη μηνύματος στα αγαπημένα (favorite) και την παρακολούθηση μηνυμάτων άλλων χρηστών (following) [42].

Τα Twitter Web Intents ανιχνεύουν αυτόματα αν ο χρήστης είναι συνδεδεμένος με το twitter και ζητούν σύνδεση όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Εάν ο χρήστης δεν έχει λογαριασμό, του δίνεται η ευκαιρία να δημιουργήσει ένα πριν από την πραγματοποίηση της αρχικής του πρόθεσης [42].

Ένα από αυτά τα Twitter Web Intents, και συγκεκριμένα αυτό που αφορά τη σύνθεση μηνύματος (tweet), χρησιμοποιείται για την ενημέρωση της κατάστασης του χρήστη με το επιθυμητό συναίσθημα.





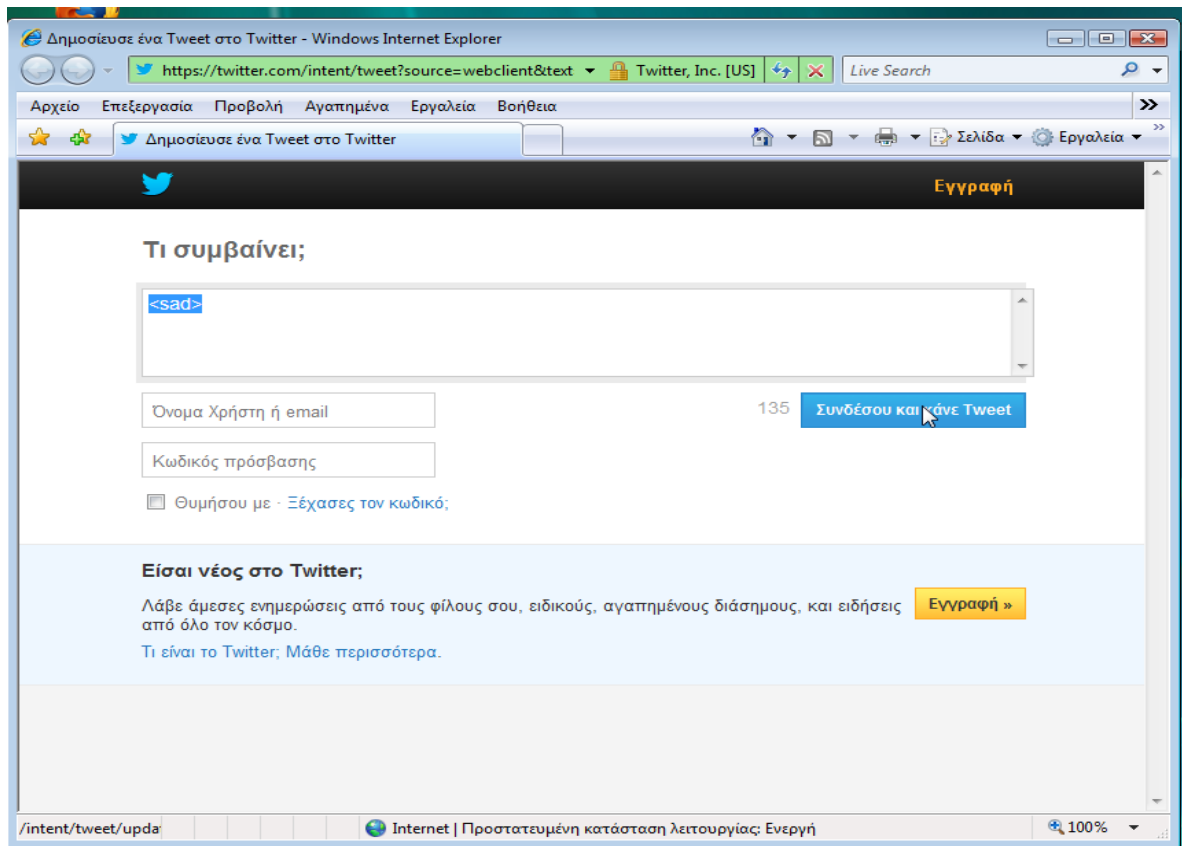
**Εικόνα 4.11: Twitter Web Intent για τη σύνθεση μηνύματος (tweet)**

Παρακάτω, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται (βλ. Παράρτημα για κώδικα) :

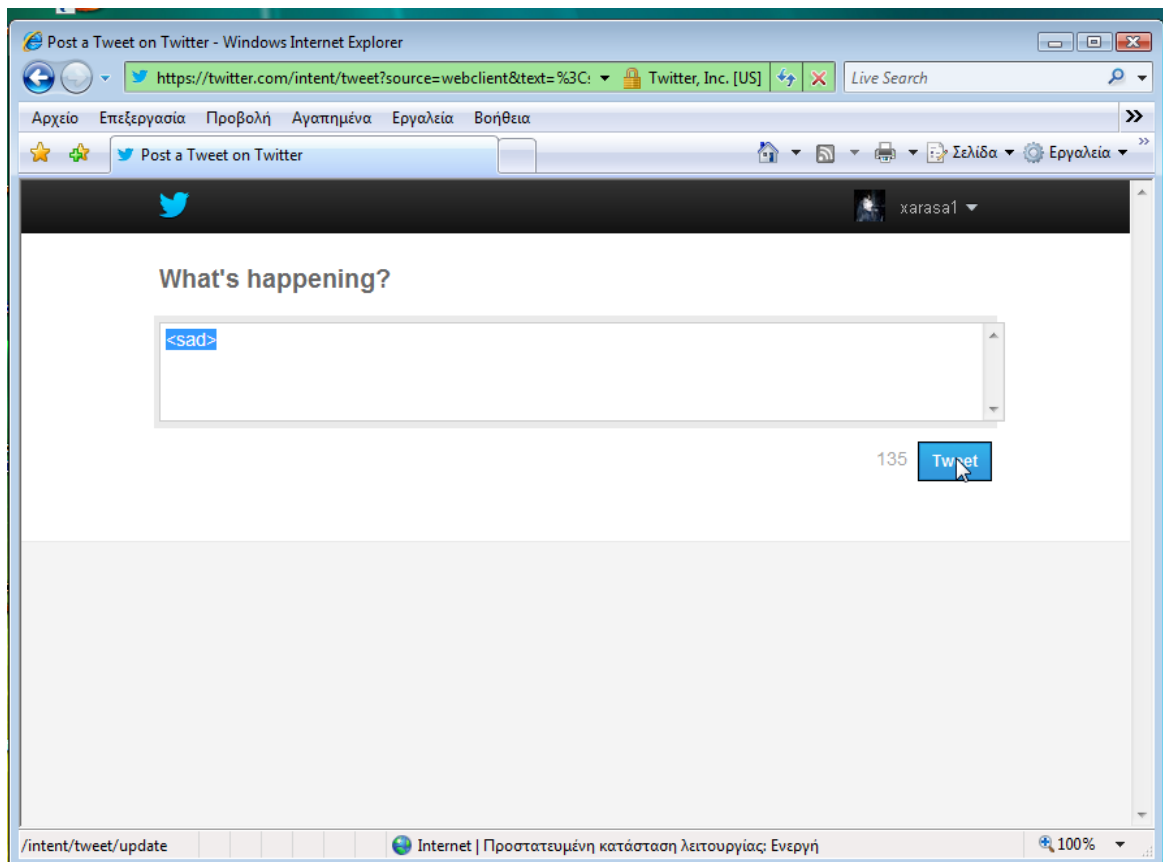
Με τη χρήση του αντικειμένου `location`, που μας παρέχει η γλώσσα JavaScript, και της ιδιότητας της `href` έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε επακριβώς τη διεύθυνση URL της ιστοσελίδας όπου θέλουμε να μεταβούμε. Στη συνέχεια, ορίζοντας ως διεύθυνση αυτή του Twitter Web Intent που αφορά το tweet και συγκεκριμενοποιώντας ότι το κείμενο του μηνύματος επιθυμούμε να είναι το περιεχόμενο της μεταβλητής που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα, οδηγούμαστε στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

#### **4.2.2.2. Εμφάνιση αποτελέσματος- συναισθήματος στο twitter.**

Μετά την εκτέλεση των ενεργειών που περιγράφηκαν παραπάνω, εμφανίζεται το συναίσθημα του χρήστη στο twitter. Παρακάτω, εμφανίζονται κάποια χαρακτηριστικά στιγμιότυπα για το συναίσθημα της λύσης. Στην πρώτη περίπτωση, ο χρήστης δεν είναι συνδεδεμένος στο twitter και πρέπει να συνδεθεί, εισάγοντας το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης, ώστε να δημοσιευθεί το μήνυμα, όπου αναφέρεται το συναίσθημά του (βλ. Εικόνα 4.12). Στη δεύτερη περίπτωση, ο χρήστης είναι συνδεδεμένος στο twitter και απαιτείται να πατήσει το κουμπί tweet ώστε να δημοσιευθεί το μήνυμα όπου αναφέρεται το συναίσθημά του (βλ. Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.12: Δημοσίευση μηνύματος- συναισθήματος μετά από σύνδεση



Εικόνα 4.13: Δημοσίευση μηνύματος- συναισθήματος πατώντας tweet

## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Αποτελέσματα και περιορισμοί

#### 5.1 Αποτελέσματα της εργασίας

Για τον έλεγχο λειτουργίας του νευρωνικού δικτύου που δημιουργήθηκε, χρησιμοποιείται το σύνολο βιολογικών σημάτων της βάσης δεδομένων που μετρήθηκαν τις 8 τελευταίες ημέρες δημιουργίας της βάσης αυτής. Πιο συγκεκριμένα, εισάγονται στο νευρωνικό δίκτυο τα βιολογικά σήματα ανά ημέρα και ανά συναίσθημα. Στον πίνακα 5.1, παρατίθενται τα βιολογικά σήματα που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι και οι αντίστοιχες αποκρίσεις- αναγνωρίσεις των συναισθημάτων του νευρωνικού δικτύου:

<b>Επιθυμητό Συναίσθημα</b>	<b>Ημέρα Μέτρησης Βιοσημάτων(ecg, emg, rsp, sc)</b>	<b>Συναίσθημα εξόδου νευρωνικού δικτύου</b>
Happy	18η	Negative
	19η	Angry
	20η	Negative
	21η	Happy
	22η	Negative
	23η	Happy
	24η	Negative
	25η	Happy
Angry	18η	Negative
	19η	Angry
	20η	Negative
	21η	Happy
	22η	Negative
	23η	Happy
	24η	Negative
	25η	Happy
Sad	18η	Sad
	19η	Sad
	20η	Sad
	21η	Sad
	22η	Sad
	23η	Happy
	24η	Negative
	25η	Happy

Πίνακας 5.1: Παρουσίαση αποκρίσεων του νευρωνικού δικτύου

Τα συνολικά ποσοστά αναγνώρισης για καθένα από τα τρία συναισθήματα είναι:

Σχετική αναγνώριση, λαμβάνοντας υπόψη τους χαρακτηρισμούς positive, negative:

Happy:  $3/8=0,375$

Angry:  $5/8=0,625$

Sad:  $6/8=0,75$

Απόλυτη αναγνώριση, χωρίς να λάβουμε υπόψη τους χαρακτηρισμούς positive, negative:

Happy:  $3/8=0,375$

Angry:  $1/8=0,125$

Sad:  $5/8=0,625$

Διαπιστώνουμε ότι τα παραπάνω ποσοστά προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα ποσοστά απόδοσης που έχουν υπολογιστεί από τη συνάρτηση αξιολόγησης που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2.1.5.

## 5.2 Περιορισμοί της χρησιμοποιούμενης μεθόδου

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε σε ορισμένους περιορισμούς και δυσκολίες που εμφανίστηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, όσον αφορά τόσο το μέρος της αναγνώρισης συναισθήματος όσο και την ενημέρωση του twitter.

Όσον αφορά την αναγνώριση του συναισθήματος μέσω βιολογικών σημάτων, βασικότερος περιορισμός αποτελεί η αδυναμία χρησιμοποίησης του εκπαιδευμένου νευρωνικού για την αναγνώριση συναισθημάτων και άλλων ατόμων πέρα από το συμμετέχοντα του οποίου τα βιολογικά σήματα μετρήθηκαν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εκδήλωση των συναισθημάτων μέσω βιολογικών σημάτων διαφέρουν κατά μεγάλο βαθμό από άτομο σε άτομο παρουσιάζοντας σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές των σημάτων. Δευτερευόντως, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε δημιουργήθηκε βασιζόμενη στην υποκειμενική άποψη του συμμετέχοντα ότι τα συναισθήματα εκδηλώθηκαν και η ένταση τους ήταν αρκούντως υψηλή. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οδήγησε σε ορισμένες λανθασμένες αντιστοιχήσεις συναισθημάτων με τιμές βιολογικών σημάτων αφού το επιθυμητό συναίσθημα πιθανώς να μην εκδηλώθηκε ή να εκδηλώθηκε με μικρή ένταση.

Κατά την ενημέρωση του ιστολογίου Twitter για τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη η σημαντικότερη δυσκολία που εμφανίστηκε αφορούσε τη δυνατότητα πρόσβασης του προγράμματος στα αρχεία του υπολογιστή. Τα ActiveX αντικείμενα

αποτελούν λύση στο πρόβλημα ωστόσο, η χρήση τους απαιτείται να γίνεται με προσοχή καθώς μπορεί να αποδειχθούν επιβλαβή για τον υπολογιστή, αν η προέλευση τους δεν είναι γνωστή. Για το λόγο αυτό, πολλές εφαρμογές που δεν έχουν δημιουργηθεί από τη Microsoft δεν επιτρέπουν τη χρήση ActiveX αντικειμένων παρά μόνο αν ο χρήστης προβεί σε συγκεκριμένες ενέργειες για την επίτρεψη χρήσης.

Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να αναφερθούμε στους περιορισμούς από άποψη ηθικής. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η συγκατάθεση του χρήστη είναι απαραίτητη για τη δημοσιοποίηση της συναισθηματικής του κατάστασης. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να έχει την επιλογή ενημέρωσης του κοινωνικού δικτύου ανάλογα με την επιθυμία του, ώστε να αποφευχθεί η παραβίαση προσωπικών του δεδομένων.



## 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

#### 6.1 Συμπεράσματα της εργασίας

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, αξίζει να δώσουμε έμφαση σε ορισμένα σημεία. Καταρχάς, διαπιστώνουμε ότι τα αρνητικά συναισθήματα αναγνωρίζονται περισσότερο σε σχέση με τα θετικά. Στο συμπέρασμα αυτό οδηγούμαστε βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.1 καθώς και της διαπίστωσης, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εφαρμογής, ότι το συναίσθημα της ευχαρίστησης (pleasure) οδηγεί στην χαμηλή απόδοση του συστήματος αναγνώρισης της συναισθηματικής κατάστασης, λόγω της παρεμφερούς φύσης του με το συναίσθημα της χαράς (joy).

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το twitter επιλέγεται ως το κοινωνικό μέσο όπου γνωστοποιείται η συναισθηματική κατάσταση του χρήστη καθώς αποτελεί το πλέον διαδεδομένο, δημοφιλές και ευρέως χρησιμοποιούμενο μέσο. Επιπρόσθετα, το twitter παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργεί άμεσα μηνύματα και να επιλέγει ο ίδιος τη στιγμή που τα δημοσιεύει.

Ως συμπέρασμα, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια εφαρμογή του ζητήματος της αναγνώρισης της συναισθηματικής κατάστασης ενός χρήστη και την ενημέρωση κοινωνικών δικτύων. Η μέθοδος αυτή μπορεί με κατάλληλες ενέργειες που παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα να επεκταθεί ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερο εύρος χρήσης.

#### 6.2 Μελλοντικές εφαρμογές και επεκτάσεις

Η περαιτέρω διερεύνηση του αντικειμένου της εργασίας θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση ή ακόμα τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων η οποία δεν θα είναι εξαρτημένη από τη συναισθηματική κατάσταση ενός μόνο ατόμου, με στόχο την ανίχνευση της συναισθηματικής κατάστασης διαφορετικών ατόμων.

Μια άλλη προσέγγιση της εργασίας θα μπορούσε να περιλαμβάνει μεθόδους επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων εισόδου, στατιστικές μεθόδους καθώς και διαφορετικές μεθόδους αναγνώρισης συναισθηματικής κατάστασης, έτσι ώστε να βελτιωθεί η απόδοση.

Επιπλέον, θα μπορούσε να υλοποιηθεί μια παραλλαγή της εφαρμογής, όπου η ανίχνευση της συναισθηματικής κατάστασης θα ήταν αποτέλεσμα του συνδυασμού βιολογικών σημάτων του οργανισμού και εκφράσεων του προσώπου.

Όσον αφορά την ενημέρωση κοινωνικών δικτύων, θα μπορούσε να υλοποιηθεί μια άλλου είδους εφαρμογή για την πρόσβαση σε αρχείο του τοπικού δίσκου, η οποία δεν θα είναι εξαρτημένη από την εταιρία δημιουργίας και θα εκτελείται σε οποιοδήποτε περιηγητή ιστού.

Τέλος, θα μπορούσε να υλοποιηθεί μια εφαρμογή η οποία θα ενημερώνει ένα άλλο κοινωνικό μέσο. Χαρακτηριστικά, θα ήταν ενδιαφέρουσα η ενημέρωση της συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη σε πιο εξειδικευμένα κοινωνικά μέσα. Για παράδειγμα, ενημέρωση ενός κοινωνικού δικτύου βιβλιόφιλων για τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη μετά από την ανάγνωση συγκεκριμένου βιβλίου.



## Βιβλιογραφία

- [1] «Βικιπαίδεια - Wikipedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://el.wikipedia.org/wiki/Αλληλεπίδραση\\_ανθρώπου-υπολογιστή](http://el.wikipedia.org/wiki/Αλληλεπίδραση_ανθρώπου-υπολογιστή). [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [2] Wagner J. (2005), “*Vom physiologischen Signal zur Emotion: Implementierung und Vergleich ausgewählter Methoden zur Merkmalsextraktion und Klassifikation*”, Augsburg, Germany, pp. 7-39
- [3] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Emotion>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [4] Scherer, K. R. (2005), “*What are emotions? And how can they be measured?*”. *Social Science Information*, 44(4), pp 693-727.
- [5] Plutchik R. (1980), *Emotion: Theory, research, and experience: Vol. 1. Theories of emotion*, 1, New York: Academic
- [6] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Surprise>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [7] Ortony A., Clore G. L., Collins A (1988.), “*The cognitive structure of emotions*”, Cambridge University Press, USA
- [8] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Happiness>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [9] Lazarus R. S., Lazarus B. N.(1996), “*Passion and Reason: Making Sense of Our Emotions*”, Oxford University Press, USA
- [10] Cohen William A., Ryan Johnson (2005), eds. *Filth: Dirt, Disgust, and Modern Life*. University of Minnesota Press
- [11] Kazdin Alan E.(March 2000), “*Encyclopedia of Psychology*”, vol. 8, Oxford University Press, USA
- [12] «Βικιπαίδεια - Wikipedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://el.wikipedia.org/wiki/Συναίσθημα>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [13] «Medical and Health Related Projects with Arduino», [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://medicarduino.net/?page\\_id=92](http://medicarduino.net/?page_id=92). [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [14] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Electrocardiogram>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [15] Robertson D.G.E., Hamill J., Caldwell G.E., Kamen G. (2004), “*Electromyographic Kinesiology*”. In: *Research Methods in Biomechanics, Human Kinetics*

- [16] Conesa J. (1995). *Electrodermal palmar asymmetry and nostril dominance. Perceptual and Motor Skills*, 80, pp 211-216
- [17] Dorland (2011), “*Dorland's Illustrated Medical Dictionary*”, 32nd Edition, ELSEVIER
- [18] Kreibig S. D., “*Autonomic Nervous System Activity in Emotion: A Review*”, Department of Psychology, University of Geneva and Swiss Center for Affective Sciences Geneva, Switzerland, pp 2-32
- [19] Feldman-Barrett, L. (2006), “*Are emotions natural kinds?*” *Perspectives on Psychological Science*, 1, pp 28–58
- [20] Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Klein, D. J., & Poehlmann, K. M (1997), *The psychophysiology of emotion across the lifespan. Annual Review of Gerontology and Geriatrics*, 17, pp 27–74.
- [21] Stemmler, G. (2004), *Physiological processes during emotion*. In P. Philippot & R. S. Feldman (Eds.), *The regulation of emotion*, Mahwah, NJ: Erlbaum, pp. 33–70
- [22] Ellsworth, P. C. (1994). *William James and Emotion: Is a Century of Fame Worth a Century of Misunderstanding?. Psychological Review*, (101)2, pp 222-229.
- [23] Schachter, S., Singer, J. (1962). *Cognitive, Social, and Physiological Determinants of Emotional State. Psychological Review*, 69, pp.379–399.
- [24] Haykin S.(2010), “*Νευρωνικά δίκτυα και μηχανική μάθηση*”, μτφ. Γκαγκάτσιου Ε., 3rd edition, Αθήνα: Παπασωτηρίου
- [25] «Βικιπαίδεια - Wikipedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://el.wikipedia.org/wiki/Νευρώνας>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [26] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Types\\_of\\_artificial\\_neural\\_networks](http://en.wikipedia.org/wiki/Types_of_artificial_neural_networks). [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]
- [27] Yee, Paul V. and Haykin, S. (2001). *Regularized Radial Basis Function Networks: Theory and Applications*. John Wiley
- [28] Kohonen T. (1997), “*Self-organizing maps*”, Springer, Berlin
- [29] J. J. Hopfield (, April 1982), “*Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 79 no. 8 pp.2554–2558.
- [30] Σαρλίν Χονδρού, Μηνάς Περτσελάκης, Γιώργος Καρυδάκης, Κώστας Καρπούζης, Στέφανος Κόλλιας, “ *Ανάλυση ευαισθησίας σε αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο εκπαιδευμένο για αναγνώριση συναισθήματος* ”, Αθήνα, pp. 1.
- [31] Malatesta, L., Raouzaïou, A., Caridakis, G., Karpouzis, K., 2007, in IFIP International Federation for Information Processing, Volume 247, Artificial

Intelligence and Innovations 2007: From Theory to Applications, eds. Boukis, C, Pnevmatikakis, L., Polymenakos, L., (Boston: Springer), pp. 399-408.

[32] Kaplan, A. M; Haenlein M. (2010), “ *Users of the world, unite! The challenges and opportunities of social media* “, Business Horizons 53(1), pp 59-68

[33] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Social\\_media](http://en.wikipedia.org/wiki/Social_media). [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[34] "Statistics", Facebook, [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.facebook.com/press/info.php?statistics](http://www.facebook.com/press/info.php?statistics), [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[35] "Connecting and Engaging with Digital Indian Consumers | Nielsen Wire". Blog.nielsen.com, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://blog.nielsen.com/nielsenwire/global/connecting-and-engaging-with-digital-indian-consumers/>, [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[36] "Boomers Joining Social Media at Record Rate". CBS News. (15 November 2010), [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.cbsnews.com/stories/2010/11/15/national/main7055992.shtml>, [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[37] «MATLAB Documentation Center», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.mathworks.com/help/>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[38] Νικόλαος Ι. Παπαδόπουλος, *Εφαρμογές Ευφυών Τεχνικών στον προγραμματισμό παραγωγής*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004.

[39] «Microsoft Developer Network», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms805098.aspx>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[40] «Wikipedia, the free encyclopedia», [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Twitter>. [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[41] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://dev.twitter.com/docs/faq>, [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]

[42] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://dev.twitter.com/docs/intents>, [Πρόσβαση: Σεπτέμβριος 2012]



## Παράρτημα

Παρακάτω παρατίθενται οι κώδικες που αναπτύχθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

### Κώδικας που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Matlab:

Κώδικας για τη δημιουργία, την εκπαίδευση και την αξιολόγηση του νευρωνικού δικτύου:

```
clear all;
load WithoutPleasure.mat; %εισαγωγή δεδομένων
                           %εκπαίδευσης

net=newff(AllTrainP1960,TrainTargetsP1960,[4],{'tansig','tansig'},'trainlm'); %δημιουργία και
                                                                              %καθορισμός
                                                                              %παραμέτρων
                                                                              %νευρωνικού δικτύου

net.trainParam.epochs=300; %ορισμός μέγιστου
                             %αριθμού εποχών για
                             %εκπαίδευση

net=train(net,AllTrainP1960,TrainTargetsP1960); %εκπαίδευση του
                                                  %νευρωνικού δικτύου
TestDataOutput=sim(net,AllTestP1960); %αξιολόγηση του
                                       %νευρωνικού δικτύου

[accuracy,recall]=eval_Accuracy_Precision_Recall(TestDataOutput,TestTargetsP1960) %υπολογισμός απόδοσης
                                                                              %του νευρωνικού δικτύου
```

Συνάρτηση αξιολόγησης νευρωνικού δικτύου:

```
function
[accuracy,recall]=eval_Accuracy_Precision_Recall(nnOutput,expectedOutput)

[index1,nnCategory]=max(nnOutput); %δείκτες μέγιστων τιμών του πίνακα
                                   %εξόδου

[index2,category]=max(expectedOutput); %και του πίνακα επιθυμητής
                                       %εξόδου ανά στήλη

nnOutput2=zeros(size(nnOutput));
expectedOutput2=zeros(size(expectedOutput));

for i=1:size(nnOutput,2)
    nnOutput2(nnCategory(i),i)=1;
    expectedOutput2(category(i),i)=1;
end
```

```

accuracy=sum(sum(nnOutput2&expectedOutput2))/sum(sum(expectedOutput2)
);
recall=sum(nnOutput2&expectedOutput2,2)./sum(expectedOutput2,2);
%υπολογισμός δεικτών απόδοσης

```

**Κώδικας για την εμφάνιση συναισθήματος ως απόκριση του νευρωνικού δικτύου και αποθήκευση στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή**

**Αλγόριθμος 1:**

```

function [Emo] = Emotion (Rounded,TestDataOutput)

Matrix=zeros(1,size(TestDataOutput,2)); %πίνακας για positive or
%negative emotion
for i=1:size(TestDataOutput,2)
    Matrix(1,i)=TestDataOutput(1,i);
    Matrix(2,i)=TestDataOutput(2,i)+TestDataOutput(3,i);
end

Emo=cell(1,size(Rounded,2)); %δημιουργία και γέμισμα πίνακα που
%περιέχει το συναίσθημα- έξοδο
%του νευρωνικού με αλφαριθμητικούς
%χαρακτήρες
for i=1:size(Rounded,2)
    if Rounded(1,i)==1
        Emo(i)={'happy'};
    elseif Rounded(2,i)==1
        Emo(i)={'angry'};
    elseif Rounded(3,i)==1
        Emo(i)={'sad'};
    else
        if Matrix(1,i)>=Matrix(2,i)
            Emo(i)={'positive'};
        else
            Emo(i)={'negative'};
        end
    end
end

end

```

**Αλγόριθμος 2:**

```

clear all;
load NeuralNetwork.mat;
load Happy25Day.mat;

TestDataOutput=sim(net05086,emotions); %αξιολόγηση του νευρωνικού
Rounded=round(TestDataOutput); %στρογγυλοποίηση πίνακα εξόδου
[Emo]=Emotion(Rounded,TestDataOutput);
feeling=zeros(1,5); %μετρητής αριθμού εμφάνισης κάθε συναισθήματος
TF=0;
for i=1:size(Emo,2)
    TF=strcmp(Emo(i),{'happy'});
    if TF==1
        feeling(1,1)=feeling(1,1)+1;
    end
end

```

```

TF=strcmp(Emo(i),{'angry'});
if TF==1
    feeling(1,2)=feeling(1,2)+1;
end
TF=strcmp(Emo(i),{'sad'});
if TF==1
    feeling(1,3)=feeling(1,3)+1;
end
TF=strcmp(Emo(i),{'positive'});
if TF==1
    feeling(1,4)=feeling(1,4)+1;
end
TF=strcmp(Emo(i),{'negative'});
if TF==1
    feeling(1,5)=feeling(1,5)+1;
end
end
[C,I]=max(feeling); %διατήρηση του συναισθήματος με τις περισσότερες
                    %εμφανίσεις
if I==1
    Emo1(1)={'happy'};
elseif I==2
    Emo1(1)={'angry'};
elseif I==3
    Emo1(1)={'sad'};
elseif I==4
    Emo1(1)={'positive'};
else
    Emo1(1)={'negative'};
end
xlswrite('statustype.xls',Emo1); %αποθήκευση στον υπολογιστή σε
                                %αρχείο excel

```

### **Κώδικας ενημέρωσης του twitter για τη συναισθηματική κατάσταση σε γλώσσα html:**

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">

<html>
<head>
</head>
<body>

<script type="text/javascript">

function my_function(){
    var Excel;

```

```

    Excel = new ActiveXObject("Excel.Application"); //Δημιουργία
//νέου αντικειμένου ActiveX Object, που παρέχει πρόσβαση σε μια
//εφαρμογή Microsoft Office Excel.

    Excel.Visible = true;

    // Άνοιγμα του αρχείου στο οποίο είναι αποθηκευμένο το
//συναίσθημα και απόκτηση της τιμής του συναισθήματος, η οποία
//βρίσκεται στο πρώτο φύλλο εργασίας, στο κελί A1:

    return
Excel.Workbooks.Open("c:\\Users\\user\\Documents\\MATLAB\\statustype.
xls").ActiveSheet.Cells(1,1).Value;

    Excel.Close();

}

var statustype;

statustype=my_function() ; // Ανάθεση της τιμής του συναισθήματος
//που αποκτήθηκε σε μια μεταβλητή

location.href
="https://twitter.com/intent/tweet?source=webclient&text=%3C"+statusty
pe+"%3E"; // ορισμός μετάβασης στη διεύθυνση του Twitter Web Intent-
//tweet και ορισμός ως κειμένου του μηνύματος το περιεχόμενο της
//μεταβλητής

</script>

</body>

</html>

```