



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

Καινοτόμοι Μηχανισμοί Συμπεριφορικής Βιομετρικής σε Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Διδακτορική Διατριβή

του

Στέφανου Ι. Ξεφτέρη

Πτυχιούχου Μαθηματικού Α.Π.Θ

Αθήνα, Ιανουάριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Καινοτόμοι Μηχανισμοί Συμπεριφορικής Βιομετρικής σε Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Στέφανος Ι. Ξεφτέρης

Συμβουλευτική Επιτροπή : Γεώργιος Καμπουράκης
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Ελευθέριος Καγιάφας

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 18/4/2016

.....
Γεώργιος Καμπουράκης
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Ελευθέριος Καγιάφας
Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Εμμανουήλ Βαρβαρίγος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Βασίλειος Λούμος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Αναστάσιος Δουλάμης
Επ.Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2016

.....

Στέφανος Ι. Ξεφτέρης

Μαθηματικός, Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Στέφανος Ι. Ξεφτέρης, 2016

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

Η Διατριβή εστιάζει στα συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (Ambient Assisted Living) στοχευμένα σε άτομα που πάσχουν από νευροεκφυλιστικές νόσους (όπως το Alzheimer) και επιχειρεί να συνδυάσει 2 μέχρι τώρα παράλληλες πρακτικές: Την τηλεϊατρική / τηλεφροντίδα και τη συμπεριφορική βιομετρική.

Στο πρώτο σκέλος σχεδιάζεται και προτείνεται μια καινοτόμα αρχιτεκτονική η οποία ενσωματώνει πρακτικές συμπεριφορικού ελέγχου σε συστήματα υποβοηθούμενης διαβίωσης, ενώ παράλληλα παρουσιάζεται και ένας επαναπροσδιορίσιμος μηχανισμός ελέγχου ρίσκου ενσωματωμένος σε μια δοκιμασμένη σε πιλότους εφαρμογή υποβοηθούμενης διαβίωσης. Στο τελευταίο σκέλος του πρώτου μέρους, προτείνεται μια βελτιωμένη αρχιτεκτονική συστημάτων συμπεριφορικής βιομετρικής, η οποία επεκτείνει την υπάρχουσα, με δυνατότητες μεταδεδομένων ποιότητας και απόδοσης αλγορίθμων ώστε κάθε φορά και για κάθε πρόβλημα, το σύστημα να προσαρμόζει την απόδοσή του στις υπάρχουσες καταστάσεις.

Στο δεύτερο σκέλος αναλύεται και εξετάζεται πειραματικά, μια μεθοδολογία αναγνώρισης συναισθήματος από εικόνες προσώπου βασισμένη σε υπολογιστική γεωμετρία και χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα, στα οποία εφαρμόζεται μια τεχνική αναπροσαρμογής των βαρών του δικτύου για βελτίωση των αποτελεσμάτων. Η υλοποίηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της βάσεως Cohn-Kanade+ και την εφαρμογή πειραματικών αποτελεσμάτων της έρευνας των Ekman και Friesen, για την έκφραση του συναισθήματος, σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο Adaboost, τριγωνισμό Delaunay και ψηφοθέτηση Voronoi, density based scanning και ενός νευρωνικού δικτύου στο οποίο αναπτύσσεται μια τεχνική βελτιστοποίησης των βαρών με νέα δεδομένα μέσω μικρο-διαταραχών τους.

Λέξεις κλειδιά: Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, Συμπεριφορική Βιομετρική, Συναισθημα, Υπολογιστική Γεωμετρία, Νευρωνικά Δίκτυα

Abstract

This thesis focuses on Ambient Assisted Living systems targeted to people suffering from neurodegenerative diseases (such as Alzheimer's) and attempts to combine two hitherto parallel practices: Telemedicine/telecare and behavioral biometrics.

In the first part we design and propose an innovative architecture which incorporates behavioral control practices in ambient assisted living systems, under the auspices of a reconfigurable and adaptable risk control mechanism embedded in an ambient assisted living platform that was deployed in 3 pilot sites. Afterwards, the thesis proposes an improved architecture for behavioral biometric systems, which extends the existing one, with the addition of algorithm quality metadata and algorithms performance metadata so that biometric systems adapt their performance to existing situations rather than shoehorning incoming data to rigid predefined processing structures.

In the second part we propose and implement, an emotion recognition method of facial images based on computational geometry and using neural networks, in which we apply a perturbation method on the network's weights to adapt them to new incoming data. The implementation is achieved by means of the facial expression database Cohn-Kanade +, and implementation of experimental results of the research on emotion expression by Ekman and Friesen, combined with Adaboost, Delaunay triangulation and Voronoi tessellations, density based scanning and a neural network with perturbation adjusted weights to improve the learning process and countermand micro-changes of the incoming data.

Keywords : Ambient Assisted Living, behavioral biometrics, emotion, computational geometry, neural networks

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διδακτορική διατριβή που παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες εκπονήθηκε από τον Οκτώβριο του 2008 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2015, στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, με την ομάδα Κατανεμημένων Συστημάτων και Διαχείρισης Γνώσης στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διατριβής, είχα την ευκαιρία να ασχοληθώ με αρκετά ενδιαφέροντα επιστημονικά θέματα που αφορούν κυρίως στους τομείς του σχεδιασμού και υλοποίησης συστημάτων τηλεϊατρικής και του πειραματισμού με βιομετρικά συστήματα και αναγνώριση προτύπων και να αποκτήσω πολύτιμη εμπειρία και γνώσεις.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου τον καθηγητή μου κ. Γ.Καμπουράκη για την καθοδήγησή του, τις πολύτιμες συμβουλές του και τη σημαντική στήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια αυτής της πορείας μου, καθώς επίσης τους καθηγητές της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κ.κ. Θ.Βαρβαρίγου και Ελευθέριο Καγιάφα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου στην ερευνητική ομάδα με τους οποίους συνεργάστηκα άψογα και επιτυχώς όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερες ευχαριστίες ωστόσο θα ήθελα να απευθύνω στους στενούς μου συνεργάτες και κυρίως στους Βασιλική Ανδρόνικου για τις ατέλειωτες παραινήσεις, ιδέες και παροχή κουράγιου, τα αδέρφια Αναστάσιο και Νίκο Δουλάμη για την αστείρευτη όρεξη και γνώσεις που συνέβαλαν σημαντικά στην εκπόνηση της διατριβής, τον Κωνσταντίνο Τσερπέ, το Μανώλη Σάρδη, τον Στάθη Καραναστάση, το Φώτη Αίσωπο, τη Μαρία Χαρίτου και τον Άγγελο Ανδρουλιδάκη, με τους οποίους μοιραστήκαμε πάρα πολλές ώρες ερευνητικής εργασίας και αποδοτικής συνεργασίας, ακόμα και όταν ο υποφαινόμενος δεν απέδιδε τα δέοντα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια τόσο στις καλές όσο και στις λιγότερο αποδοτικές επιλογές μου, και τους φίλους μου που με στήριζαν και ήταν εκεί για μένα πάντα και φυσικά, τη σύντροφό μου Άννα που με ανέχτηκε για όσο διήρκεσε η συγγραφή αυτής της διατριβής..

*Στέφανος Ι. Ξεφτέρης
Ιανουάριος 2016*

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	9
1.1	Βιομετρικά συστήματα.....	9
1.2	Όραμα και Ανοιχτά Τεχνολογικά Θέματα	11
2	Συμπεριφορική Βιομετρική.....	13
2.1	Η έννοια.....	13
2.2	Βιομετρική και Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης	14
2.3	Η δημιουργία συμπεριφορικών βιομετρικών προφίλ.....	17
2.4	Ηθικά και νομικά ζητήματα	19
2.4.1	Επί γνώσει Συναίνεση (Informed Consent).....	20
2.4.2	Ιδιωτικότητα στα βιομετρικά συστήματα υποβοηθούμενης διαβίωσης.....	25
3	Βιομετρικά Συστήματα και αναγνώριση συναισθήματος	33
3.1	Ιστορική ανασκόπηση βιομετρικών συστημάτων	33
3.2	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά βιομετρικών συστημάτων	37
3.3	Κατηγοριοποίηση βιομετρικών χαρακτηριστικών και συστημάτων.....	40
3.3.1	Κατηγοριοποίηση Βιομετρικών Χαρακτηριστικών	40
3.3.2	Κατηγοριοποίηση βιομετρικών συστημάτων.....	42
3.4	Εφαρμογές Βιομετρικών Συστημάτων	42
3.5	Το ανθρώπινο πρόσωπο ως εκφραστής του συναισθήματος.....	44
3.6	Σχετική έρευνα και ποιοτικά χαρακτηριστικά έκφρασης συναισθημάτων στο ανθρώπινο πρόσωπο	46
3.6.1	Ποια συναισθήματα αποτυπώνονται στο πρόσωπο;.....	47
3.6.2	Είναι ακριβής η αναγνώριση;	48
3.7	Το συναίσθημα ως βιομετρικό χαρακτηριστικό.....	51
4	Η ανάγκη των Σ.Υ.Δ στη σύγχρονη οικονομία και η ελληνική πραγματικότητα	57
4.1	Εισαγωγή.....	57
4.2	Κατηγοριοποίηση των Σ.Υ.Δ στις σύγχρονες αγορές	58
4.3	Το κόστος της άνοιας και σχετικών νοσημάτων	61

4.4	Οι αγορές ενδιαφέροντος	63
4.5	Το οικονομικό μοντέλο 5 δυνάμεων του Porter	67
4.6	Η ελληνική πραγματικότητα	69
5	Προτεινόμενες Καινοτόμες Αρχιτεκτονικές Βιομετρικού Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης.....	73
5.1	Μη λειτουργικές απαιτήσεις.....	73
5.2	Αρχιτεκτονικές Βιομετρικών Σ.Υ.Δ.....	74
5.2.1	Φάσεις λειτουργίας.....	74
5.2.2	Ανάλυση Υποσυστημάτων	76
5.3	Υπάρχοντα Συστήματα Υποστηριζόμενης Διαβίωσης.....	84
5.4	Απαιτήσεις και προδιαγραφές Προτεινόμενου Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (AAL).....	89
5.4.1	Μη λειτουργικές απαιτήσεις.....	90
5.4.2	Λειτουργικές Απαιτήσεις.....	93
5.5	Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Σ.Υ.Δ	95
5.5.1	Web εφαρμογή επικοινωνίας.....	96
5.5.2	Ο authentication server.....	96
5.5.3	Υποσύστημα Αναγνώρισης Προτύπων κ' Ανίχνευσης Κινδύνου.....	97
5.5.4	Έξυπνες συσκευές / αισθητήρες.....	97
5.6	Αρχιτεκτονική Καινοτόμου Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης Βασισμένου σε Συμπεριφορική Βιομετρική	98
5.6.1	Το παράδειγμα εφαρμογής	102
5.6.2	Η βιομετρική στο Σύστημα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης.....	107
5.6.3	Προτεινόμενη αρχιτεκτονική «metadata-aware» συστημάτων	113
6	Κατηγοριοποίηση Συναισθήματος στο Προτεινόμενο Σ.Υ.Δ	117
6.1	Προσδιορισμός του προβλήματος	117
6.2	Το πρόβλημα	118
6.2.1	Η βάση Cohn Kanade	119
6.2.2	Μέθοδος αντιμετώπισης.....	119
6.3	Εκτίμηση και Ανάλυση Ρίσκου με Επαναπροσδιοριζόμενους Κανόνες.....	120

6.3.1	Ορισμός Επαναπροσδιορίσιμων Κανόνων	121
6.3.2	Επεξεργασία δεδομένων και παραγωγή ειδοποιήσεων	124
6.4	Αναγνώριση Συναισθήματος σε εικόνα προσώπου.....	127
6.4.1	Ανίχνευση περιοχών ενδιαφέροντος	127
6.4.2	Αναγνώριση και κατηγοριοποίηση.....	155
6.5	Συμπεράσματα.....	166
7	Σύνοψη Κυριότερων Συνεισφορών – Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα.....	169
7.1	Σύνοψη Διατριβής Και Κυριότερων Συνεισφορών	169
7.2	Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα – Μελλοντική Εργασία	171
	Γλωσσάριο.....	175
8	Βιβλιογραφία.....	177

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 : Αναδυόμενες αγορές για συστήματα AAL που καλύπτουν πολλαπλές ασθένειες	16
Εικόνα 2 : Αναπαράσταση Θεμάτων Ιδιωτικότητας σε ΣΥΔ	29
Εικόνα 3 : Ένα αρχείο Bertillon, του Francis Galton, από το 1893	34
Εικόνα 4 : Εικόνα από το βιβλίο του Henry, “ <i>Classification and Uses of Fingerprints</i> , London, 1900”	36
Εικόνα 5 : Ο διαχωρισμός φυσιολογικών (physiological) και συμπεριφορικών (behavioral) βιομετρικών χαρακτηριστικών	41
Εικόνα 6 : Τα 6 βασικά συναισθήματα όπως αυτά αποτυπώνονται στο πρόσωπο: Θυμός, Φόβος, Αηδία, Έκπληξη, Χαρά, Λύπη.....	48
Εικόνα 7 : Αποτελέσματα των πειραμάτων του Paul Ekman.....	50
Εικόνα 8 : Αριστερά Αμερικάνος φοιτητής και δεξιά Ιάπωνας φοιτητής, στη δοκιμασία άγχους.....	52
Εικόνα 9 : Οι εκφράσεις των 6 πρωταρχικών συναισθημάτων, σύμφωνα με τους Ekman και Friesen	53
Εικόνα 10 : Φωτογραφίες από τις προσπάθειες για αποτύπωση συναισθήματος στα πρόσωπα μελών φυλής της Νέας Γουϊνέας. Στην πάνω αριστερά, η οδηγία ήταν «βρίσκεις ένα νεκρό γουρούνι που κείται εκεί καιρό» στην πάνω δεξιά «είσαι θυμωμένος και έτοιμος για μάχη», στην κάτω αριστερά «το παιδί σου πέθανε», στην κάτω δεξιά «ήρθε ο καλός σου φίλος για επίσκεψη στο σπίτι σου και είσαι χαρούμενος».....	55
Εικόνα 11 : Ποσοστά επικράτησης Ήπιας Γνωστικής Έκπτωσης (Mild Cognitive Impairment) στους ασθενείς άνω των 60 καθώς και προβλέψεις για την πληθυσμιακή γήρανση μέχρι το 2050.....	58
Εικόνα 12: Τεχνολογικά domain στην τηλεφροντίδα για τους ηλικιωμένους	58
Εικόνα 13 : Οπτικοποιώντας τις ανάγκες σε σχέση με τις αντίστοιχες ICT εφαρμογές	60
Εικόνα 14 : Αναπαράσταση του κόστους νευροεκφυλιστικής ασθένειας. Το μέγεθος των περιοχών υποδεικνύει μέγεθος κόστους.....	63
Εικόνα 15: Συνολικά κόστη της ασθένειας στην Ευρώπη σε δις ευρώ.....	63
Εικόνα 16: Η δομή της αγοράς με χώρες παραδείγματα Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία και Βρεταννία.....	65
Εικόνα 17 : Προβολή πληθυσμού της Ελλάδας μέχρι το 2050.....	69
Εικόνα 18: Η εξέλιξη του προσδόκιμου ζωής μετά τα 65 για άνδρες και γυναίκες την Ελλάδα (κόκκινη γραμμή) σε σχέση με άλλες χώρες του ΟΟΣΑ (ενδεικτικά το Ηνωμένο Βασίλειο με μπλε χρώμα). Βλέπουμε ότι πλέον το μέσο προσδόκιμο ζωής μετά τα 65 είναι ~20 χρόνια στη χώρα μας. (Πηγή: http://www.compareyourcountry.org/health?&lg=en).....	70

Εικόνα 19: Αριστερά: Μέσος ρυθμός αύξησης του πληθυσμού άνω των 65 στην Ελλάδα (2002-2012) Δεξιά: Διαχρονική εξέλιξη αύξησης του πληθυσμού άνω των 65 ανά έτος σε Ελλάδα και Ε.Ε– Πηγή: Eurostat	71
Εικόνα 20 : Οι 2 φάσεις λειτουργίας ενός βιομετρικού συστήματος.....	76
Εικόνα 21 : Ένα τυπικό βιομετρικό σύστημα με τα υποσυστήματά του	77
Εικόνα 22: Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας PERSONA.....	89
Εικόνα 23: Χαρτογράφηση απαιτήσεων χρηστών (αριστερά) σε λειτουργικές απαιτήσεις Σ.Υ.Δ (δεξιά).....	94
Εικόνα 24 : Ιεραρχική άποψη των όψεων ενός παραδείγματος Σ.Υ.Δ	95
Εικόνα 25: Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης	98
Εικόνα 26 : Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματός μας	108
Εικόνα 27 : Προτεινόμενη αρχιτεκτονική για metadata-aware βιομετρικά συστήματα	115
Εικόνα 28 : Rulemap και Ruleset.....	122
Εικόνα 29: Διαδικασία ανίχνευσης και παραγωγής προειδοποιήσεων καταστάσεων κινδύνου	124
Εικόνα 30 : Λίστα παραγόμενων προειδοποιήσεων.....	127
Εικόνα 31 : Τα 6 πρωταρχικά συναισθήματα και με κόκκινη σκίαση οι περιοχές ενδιαφέροντος	129
Εικόνα 32: Ο προτεινόμενος αλγόριθμος ανίχνευσης συναισθήματος	129
Εικόνα 33: Haar-like χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται μόνο τα pixel με άσπρη ή μαύρη σκίαση όταν υπολογίζεται το αντίστοιχο feature.	131
Εικόνα 34 : Haar-like patterns. Η θέση και το μέγεθός τους μπορεί να διαφέρει, υπό τις προϋποθέσεις να είναι ισομεγέθη και να διατηρούν τις σχετικές τους θέσεις. Υπό αυτή την έννοια ο αριθμός των χαρακτηριστικών που μπορούμε να εξάγουμε από μια εικόνα είναι υπολογιστικά διαχειρίσιμος: Για παράδειγμα για μια εικόνα 24x24 έχουμε 43200, 27600, 43200, 27600 και 20736 για κάθε ένα από τα απεικονιζόμενα είδη χαρακτηριστικών, άρα 162336 χαρακτηριστικά συνολικά.	131
Εικόνα 35 : Αρχιτεκτονική Cascade.....	134
Εικόνα 36: Αποτελέσματα ανίχνευσης προσώπου με τον Viola-Jones.....	135
Εικόνα 37 : Ανίχνευση Ακμών σε εικόνα προσώπου με μάσκες Sobel για αρχικό καθορισμό περιοχών ενδιαφέροντος.....	136
Εικόνα 38: Ψηφοθέτηση Voronoi σε αποτελέσματα ανίχνευσης ακμών.....	138
Εικόνα 39: Ανίχνευση προσώπου, ανίχνευση ακμών και διάγραμμα Voronoi χαρούμενου προσώπου	138
Εικόνα 40: Αριστερά το διάγραμμα Voronoi 12 σημείων σε δισδιάστατο χώρο κ δεξιά ο τριγωνισμός Delaunay	139
Εικόνα 41 : Η αρχική εικόνα και το αποτέλεσμα ανίχνευσης με Viola-Jones	145

Εικόνα 42: (α) Περιοχές Voronoi με μπλε και Delaunay με κόκκινο β) Διάγραμμα του μη-κατευθυνόμενου γράφου που δημιουργείται από τον τριγωνισμό Delaunay	145
Εικόνα 43: Οριακά και εσωτερικά σημεία	147
Εικόνα 44: Πυκνοτική προσβασιμότητα και πυκνοτική συνδεσιμότητα	147
Εικόνα 45: Παράδειγμα γραφικής παράστασης ταξινόμησης για 4-dist σε ένα σύνολο D...	153
Εικόνα 46 : Αποτελέσματα αλγορίθμου DBSCAN για το διαχωρισμό περιοχών ενδιαφέροντος	155
Εικόνα 47: Μηχανισμός προσαρμογής	160
Εικόνα 48: Παράδειγμα αναφοράς αναγνώρισης.....	164
Εικόνα 49 : Χρήση του DBSCAN για ανάλυση συμπεριφοράς κίνησης εντός living lab	174
Εικόνα 50: Ο χρήστης στο χώρο του Living Lab, παρακολουθείται από Kinect. Προσπάθεια καταγραφής περιορισμών για την αναγνώριση του συναισθήματος στο πρόσωπο.	174

1

Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής, παρουσιάζονται τα βιομετρικά συστήματα και οι κατηγορίες τους καθώς και η διάρθρωση και το περιεχόμενο των κεφαλαίων της.

1.1 Βιομετρικά συστήματα

Ένα βιομετρικό σύστημα είναι ένα σύστημα αναγνώρισης προτύπων το οποίο χρησιμοποιείται για ταυτοποίηση ή αναγνώριση προσώπων βασισμένο σε διανύσματα χαρακτηριστικών (feature vectors) που εξάγει από συγκεκριμένα σωματικά ή συμπεριφορικά χαρακτηριστικά του ατόμου. Η απόφαση λαμβάνεται μετά από σύγκριση των ληφθέντων δειγμάτων με προαποθηκευμένα σύνολα αρχετυπικών χαρακτηριστικών [1].

Οι εφαρμογές των βιομετρικών τεχνολογιών είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες τα τελευταία χρόνια, ειδικά όσον αφορά την ασφάλεια πληροφοριακών συστημάτων αλλά παράλληλα έχουν προκαλέσει και έντονες αντιδράσεις και αντιπαραθέσεις ηθικού και νομικού περιεχομένου, καθώς μεγάλη μερίδα χρηστών ανησυχεί για το αν και κατά πόσο γίνεται ορθή χρήση των βιομετρικών δεδομένων των πολιτών (π.χ.

καινούριες ταυτότητες, βιομετρικά διαβατήρια κ.λπ.), όταν αυτά συλλέγονται από κυβερνήσεις ή/και ιδιώτες παρόχους αντίστοιχων υπηρεσιών. Στον αντίποδα των αντιδράσεων βρίσκεται μια συνεχώς εξελισσόμενη και πολυδιάστατη έρευνα για καλύτερες και αποδοτικότερες μεθόδους συλλογής και αναγνώρισης βιομετρικών χαρακτηριστικών, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται συνεχώς η εμπορική και επιχειρηματική δραστηριότητα, γύρω από τις εφαρμογές των βιομετρικών συστημάτων, που απασχολούν τόσο κυβερνητικούς οργανισμούς, όσο και ιδιωτικά συμφέροντα.

Τα βιομετρικά συστήματα ως ιδέα, προκύπτουν απλά από την καθημερινή βασική λειτουργία των ανθρώπων να αναγνωρίζουν άλλα άτομα βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών όπως η φωνή, το παράστημα, το περπάτημα, η κινησιολογία του ατόμου κλπ.

Ο όρος «βιομετρικός» είναι προφανώς ελληνικής προέλευσης και προκύπτει από τις λέξεις «βίος» και «μετρώ». Έτσι, οι βιομετρικές τεχνολογίες βασίζονται σε ατομικά χαρακτηριστικά που προσδίδουν ορισμένες- άλλοτε μοναδικές, άλλοτε όχι μοναδικές- ιδιότητες στο υπό εξέταση άτομο. Παρακάτω, θα δούμε αναλυτικότερα πως γίνεται η λήψη, η αποτύπωση, η ανάλυση και η επεξεργασία των βιομετρικών δεδομένων.

Στη συγκεκριμένη διατριβή θα εξετάζουμε μια υποκατηγορία βιομετρικών εφαρμογών που αποκαλούνται *soft biometrics* και επικεντρώνονται στη συγκέντρωση και ανάλυση μη μοναδικών ανθρώπινων χαρακτηριστικών –σε αντιδιαστολή με τα «*hard biometric*» όπως το DNA και η ίριδα- τα οποία έχουν να κάνουν με την εμφάνιση και τη συμπεριφορά καθώς και επίκτητα χαρακτηριστικά[2]

1.2 Όραμα και Ανοιχτά Τεχνολογικά Θέματα

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο πεδίο των βιομετρικών συστημάτων προχωρά με γοργούς ρυθμούς τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο με πλήθος ερευνητών από διαφορετικούς χώρους, όπως τεχνολογικό, νομικό, κοινωνικό, οικονομικό και κυβερνητικό. Στα πλαίσια αυτής της πυρετώδους ερευνητικής δραστηριότητας και του διαρκώς διευρυνόμενου πεδίου εφαρμογής των βιομετρικών συστημάτων, ομάδες έμπειρων επιστημόνων και ερευνητών έχουν διατυπώσει και εργάζονται αναφορικά με το όραμα και τα ανοιχτά τεχνολογικά θέματα των βιομετρικών τεχνολογιών.

Δεδομένων των διαφορετικών τεχνολογιών που βρίσκονται υπό την ομπρέλα των βιομετρικών συστημάτων, όπως είναι η ταυτοποίηση προσώπου, φωνής, περπατήματος, τρόπου υπογραφής, βαδίσματος (gait), τρόπου πληκτρολόγησης κ.λπ., οι ειδικοί σε κάθε χώρο εργάζονται εντατικά προκειμένου να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων ή να αναπτύξουν νέους πιο αποδοτικούς τόσο όσον αφορά στις επεξεργαστικές απαιτήσεις όσο και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών. Παράλληλα, δεδομένου του πλούτου των βιομετρικών χαρακτηριστικών του ανθρώπου έρευνα πραγματοποιείται προκειμένου να προσδιοριστούν νέα βιομετρικά χαρακτηριστικά επιζητώντας τόσο την ενίσχυση της ακρίβειας των βιομετρικών συστημάτων όσο και τη μείωση του κόστους αυτών καθώς και της επεμβατικότητάς τους στην ανθρώπινη ζωή. Έτσι, για παράδειγμα, ένα νέο βιομετρικό χαρακτηριστικό το οποίο είναι υπό έρευνα αυτήν την περίοδο είναι οι ωτακουστικές εκπομπές (Optoacoustic Emissions - OAEs), οι οποίες βασίζονται στους ήχους που παράγει το αυτί ανταποκρινόμενο σε ακουστικό ερέθισμα. Σύμφωνα με το Βρετανικό Ερευνητικό Συμβούλιο Μηχανικής και Φυσικών Επιστημών (Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) [3] η πηγή αυτών

των εκπομπών έγκειται στη λειτουργία του ανθρώπινου σώματος να ενισχύει ήχους χαμηλού επιπέδου και σύμφωνα με τις μελέτες τους οι εκπομπές αυτές είναι μοναδικές ανάμεσα στους ανθρώπους. Οι εκπομπές αυτές είναι ήχοι παραγόμενοι στο ανθρώπινο αυτί οι οποίοι πηγάζουν από τον σπειροειδή κοχλία στο εσωτερικό του αυτιού.

Παράλληλα και στα πλαίσια της υιοθέτησης των βιομετρικών συστημάτων για τη βελτίωση συστημάτων Assisted Living, σημαντικές προσπάθειες λαμβάνουν χώρα για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων πραγματικού χρόνου. Δεδομένης της απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύος αλλά και των θεμάτων ιδιωτικότητας και ασφάλειας των δεδομένων που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τη χρήση των βιομετρικών συστημάτων σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί προς την εκμετάλλευση υπάρχουσών υποδομών καθώς και την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών προκειμένου να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τις αυξημένες λειτουργικές και μη απαιτήσεις των βιομετρικών εφαρμογών.

2

Συμπεριφορική Βιομετρική

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο κλάδος των εφαρμογών συμπεριφορικής βιομετρικής και οι διάφορες διαστάσεις αυτής. Συζητούνται θέματα αναγνώρισης και profiling του χρήστη μέσω αντίστοιχων εφαρμογών και παρουσιάζονται επίσης θέματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας καθώς και νομικά/ηθικά ζητήματα που απορρέουν από την εφαρμογή τέτοιων πρακτικών.

2.1 *Η έννοια*

Η συμπεριφορική βιομετρική στοχεύει στην αυτοματοποίηση της αναγνώρισης της ανθρώπινης συμπεριφοράς στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Τα συμπεράσματα των τεχνικών αυτών βασίζονται σε soft biometric ανθρώπινα χαρακτηριστικά όπως η έκφραση συναισθήματος, η στάση του ανθρώπου, οι εκφράσεις του, συγκεκριμένες αντιδράσεις σε ερεθίσματα κ.λπ. [4].

Οι μέθοδοι συμπεριφορικής βιομετρικής βρίσκουν ιδιαίτερα πρόσφορο έδαφος εφαρμογής σε συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (Assisted Living), στα οποία άτομα που υποφέρουν από διάφορα είδη ασθενειών και σε όλο το φάσμα της εξέλιξής τους, χρήζουν συνεχούς παρακολούθησης και επίβλεψης από τους οικείους τους, είτε από σχετικούς επαγγελματίες, ώστε να ανταπεξέλθουν στη δύσκολη καθημερινότητά

τους. Με τη χρήση λοιπόν βιομετρικών συστημάτων, είναι δυνατή η μη-επεμβατική και μη-παρεμβατική υποστήριξη των καθημερινών δραστηριοτήτων ενός ασθενή σε ένα έξυπνα ανταποκρινόμενο οικιακό περιβάλλον που συνδυάζει ευέλικτες διεπαφές με το χρήστη, χρήση πολλαπλών αισθητήρων και συστήματα αποφάσεων τα οποία μετρούν και επεξεργάζονται τις κινήσεις, τη δραστηριότητα τη γενικότερη συμπεριφορά και –όπως είναι το αντικείμενο της διατριβής- τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη. Με αυτές τις τεχνικές, η καθημερινότητα ενός ηλικιωμένου με προβλήματα υγείας θα μπορούσε να γίνει πολύ πιο εύκολη για αυτόν και τους οικείους του, χωρίς ενοχλητικές και επεμβατικές τεχνικές, με ένα σύστημα το οποίο θα φροντίζει για μια γκάμα δράσεων που κυμαίνεται από την απλή πρόταση θέασης μιας κωμικής ταινίας (π.χ. σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι ο ασθενής δείχνει θλιμμένος σήμερα) μέχρι την αποστολή προειδοποίησης σε συγγενείς και ιατρικό προσωπικό σχετικά με μια επείγουσα κατάσταση (π.χ. μια κρίση πανικού, μια πτώση, μια έκρηξη θυμού κ.λπ.) [5]

2.2 Βιομετρική και Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Οι χρόνιες παθήσεις εισάγουν ένα μεγάλο βάρος στην καθημερινότητα των πολιτών παγκοσμίως. Στην μοντέρνα περίθαλψη και πρόνοια, η αποκέντρωση, η απο-ιδρυματοποίηση και η αυτοδιαχείριση ασθενειών στο σπίτι είναι κρίσιμοι παράγοντες για τη βελτίωση της καθημερινότητας των ασθενών και των οικείων τους. Οι άνθρωποι γενικά έχουν αρνητική και επικριτική συνήθως στάση έναντι σε επεμβατικές μεθόδους παρακολούθησης των καθημερινών δραστηριοτήτων τους, έτσι η πρόκληση είναι η υλοποίηση συστημάτων που θα παράσχουν στο ιατρικό προσωπικό επαρκείς και πλήρεις πληροφορίες για την υγεία των ασθενών τους, με την παράλληλη απαίτηση τα συστήματα αυτά να είναι και μη παρεμβατικά, εύκολα στη χρήση και ασφαλή. Επιπλέον, τέτοια συστήματα θα πρέπει να εξασφαλίζουν

προειδοποιήσεις υψηλής σημαντικότητας για τον ασθενή μόνο και εφόσον είναι απαραίτητο, ώστε να επιτυγχάνεται και η μείωση του αναίτιου επιπλέον φόρτου εργασίας των γιατρών και αυτά τα συστήματα να είναι πραγματικά χρήσιμα εργαλεία στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και αποτελεσματικής παρακολούθησης της υγείας του ασθενούς

Λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη την σημαντικότητα της δημογραφικής αλλαγής προς τις μεγαλύτερες ηλικίες και των συνεπειών της στην ποιότητα ζωής των πολιτών, οι Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις προωθούν και χρηματοδοτούν την έρευνα και ανάπτυξη καινοτόμων ιδεών και τεχνολογιών οι οποίες θα επιτρέψουν στους ηλικιωμένους (ασθενείς ή όχι) να ζουν πιο ανεξάρτητοι και ασφαλείς, ενδυναμώνοντας την αίσθηση αξιοπρέπειας και αυτάρκειας στην καθημερινότητά τους μέσα στο σπίτι τους, κρατώντας πάντα ως δεδομένο πως η πρόληψη είναι προτιμότερη της επέμβασης και της θεραπείας. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, τα σπίτια πρέπει να εξοπλισθούν και να λειτουργούν με γνώμονα την ασφάλεια, την αξιοπρέπεια του ατόμου και την καλύτερευση της ποιότητας ζωής τους μέσα σε αυτά, ειδικά αν οι κάτοικοι είναι ήδη εξαρτημένοι από επιπλέον φροντίδα, ιατρική ή μη. Το κλειδί για αυτό είναι συστήματα που υλοποιούν Οικιακά Περιβάλλοντα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (Ambient Assisted Living Systems) βασισμένα σε σύγχρονες μεθόδους που συμπεριλαμβάνουν εφαρμογές συμπεριφορικής βιομετρικής μέσα από ολοκληρωμένα υποσυστήματα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, λήψης αποφάσεων και τεχνολογιών επικοινωνίας (ICT) για την εξαγωγή προβλέψεων επικίνδυνων συνεπειών και ασφαλή σύνταξη προφίλ του ασθενούς, εκτός νοσοκομείων και ιδρυμάτων[6]. Μάλιστα στο συγκεκριμένο τομέα, υπάρχει αναπτυσσόμενη αγορά μια και μπορούμε πλέον να συμπεριλάβουμε πέραν της μίας ασθένειας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1



Εικόνα 1 : Αναδυόμενες αγορές για συστήματα AAL που καλύπτουν πολλαπλές ασθένειες

Από αυτό το πλαίσιο λειτουργίας θα προκύψουν πολλαπλά πλεονεκτήματα:

Ένας ασθενής θα μπορεί να συντηρείται μόνος του στο σπίτι του χωρίς την ανάγκη για καθημερινές επισκέψεις σε νοσοκομεία και κλινικές, ή ακόμα χειρότερα τον εγκλεισμό σε κάποιο ίδρυμα. Αυτό προφανώς οδηγεί σε βελτίωση της ψυχολογικής κατάστασης του ασθενή, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό σε τέτοιες περιπτώσεις. Εξίσου σημαντική μείωση του καθημερινού φόρτου φροντίδας και ψυχολογικού βάρους υπεισέρχεται και όσον αφορά τους οικείους φροντιστές του ασθενή.

Προφανώς βέβαια, μια και πολλά πράγματα στη σημερινή κοινωνία κρίνονται ως προς την αποτελεσματικότητα ή χρησιμότητά τους όσον αφορά το αποκομιζόμενο κέρδος, ο ψυχολογικός παράγοντας δεν πρέπει να είναι ο μόνος που εξετάζεται σε αυτή την περίπτωση [7]

Τα Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης παρέχουν μη κοστοβόρες λύσεις και μειώνουν αυτομάτως το συνολικό κόστος της περίθαλψης σε όλη την πυραμίδα του συστήματος υγείας και όχι μόνο: Οι συγγενείς που φροντίζουν ασθενείς στο σπίτι χρειάζονται λιγότερες μέρες απουσίας από τη δουλειά τους. Ένας παράγοντας που αν και δεν είναι ο σημαντικότερος, τα τελευταία χρόνια αποδείχτηκε ότι εισήγαγε ένα σημαντικό αθροιστικό κόστος στην παραγωγικότητα και την οικονομία. Φυσικά η σημαντικότερη επίδραση στο κόστος για τη δημόσια υγεία προέρχεται από την καθυστέρηση ή ακόμα και παντελή αποφυγή του εγκλεισμού του ασθενή σε κάποιο ίδρυμα.

2.3 Η δημιουργία συμπεριφορικών βιομετρικών προφίλ

Στα πλαίσια του άνωθεν σκεπτικού, η συμπεριφορική βιομετρική ως πηγή πλούσια σε πληροφορία για το άτομο, όσον αφορά στη γενικότερη συμπεριφορά του, αποτελεί τη βάση για ένα πολλά υποσχόμενο σύνολο εφαρμογών. Υπό αυτό το πρίσμα, βιομετρική πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να χαρακτηρίσει απευθείας το αντικείμενο μέσω αναγνώρισης και ταυτοποίησής του είτε για να μας βοηθήσει να εξάγουμε συμπεράσματα όσον αφορά την υγεία του, αναγνωρίζοντας χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την κατάστασή του.

Στον Πίνακα 1 και στον Πίνακα 2 μπορούμε να δούμε μερικά παραδείγματα χαρακτηριστικών, τι μετράμε στο καθένα καθώς και τις πραγματικές χαρακτηριστικές παραμέτρους (features) που συλλέγουμε για τη δημιουργία ενός συμπεριφορικού προφίλ:

Πίνακας 1 : Σύνοψη Συμπεριφορικών χαρακτηριστικών με περιγραφή μετρήσεων και παραμέτρων

<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Είδος Μέτρησης</i>	<i>Παράμετροι</i>
Συμπεριφορά κλήσεων	Προτιμήσεις	Ημερομηνία τηλεφωνήματος, διάρκεια, συνήθειες αποδέκτες, κόστος, αριθμός κλήσεων σε τοπικό τηλέφωνο, αριθμός διεθνών κλήσεων κ.λπ.
Στυλ οδήγησης	Δεξιότητα	Μέση ταχύτητα, πίεση σε πεντάλ, φρενάρισμα, επιτάχυνση κ.λπ.
Αποστολή e-mail	Στυλ	Μέγεθος κειμένου, ώρα αποστολής, καθαρισμός inbox, διεύθυνση παραλήπτη κ.λπ.
Στρατηγική παιγνίων	Στρατηγική/Δεξιότητες	Συμπεριφορά σε παιχνίδι χαρτιών (πάσο, επίθεση, μπλόφα, έλεγχος κ.λπ.)
Απτικά	Στυλ	Μέση τιμή και μέσος ταχύτητας, στυλ πλοήγησης, 3d προσανατολισμός κ.λπ.
Πληκτρολόγηση	Δεξιότητα	Χρόνος μεταξύ πλήκτρων, χρόνοι «καθυστερήσεις», γενική ταχύτητα πληκτρολόγησης, συχνότητα λαθών (χρήση backspace), χρήση Numpad, Caps Lock αντί Shift+πλήκτρο.
Χρήση Mouse	Στυλ	Συντεταγμένες του Mouse, οριζόντια και κάθετη ταχύτητα, γωνιακή ταχύτητα κ.λπ.
Ζωγραφική	Στύλ	Χαρακτηριστικά κίνησης γραφίδας ή
Soft behavioural biometrics	Ευφυΐα, λεξιλόγιο, στυλ	Γνώσεις, μαθηματική ικανότητα, ικανότητες εξαγωγής συμπερασμάτων
Συγγραφή κειμένου	Λεξιλόγιο	Αριθμός προτάσεων, αριθμός λέξεων, χρήση σημείων στίξης, αριθμός ουσιαστικών, επιθέτων, ρημάτων κ.λπ.

Πίνακας 2 : Σωματικά/ Κινησιολογικά βιομετρικά χαρακτηριστικά

<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Μύες που κινούνται</i>	<i>Εξαγόμενες παράμετροι</i>
Βλεφάρισμα	Orbicularis oculi, corrugator supercilii, depressor supercilii	Μεσοδιάστημα μεταξύ βλεφαρισμάτων, πόσο χρόνο μένει κλειστό το μάτι κάθε φορά κ.λπ.
Κίνηση προσώπου	Levator labii superioris, levator anguli oris zygomaticus major, zygomaticus minor, mentalis, depressor labii inferioris, depressor anguli oris, buccinator, orbicularis	Κίνηση του δέρματος πάνω στο πρόσωπο, ρυτίδες, μέτωπο, μάτια, χείλη, μορφασμοί
Βάδισμα	Tibialis anterior, extensor hallucis longus, extensor digitorum longus, peroneus tertius, extensor digitorum brevis, extensor hallucis brevis, gastrocnemius, soleus, plantaris, popliteus, flexor hallucis longus flexor digitorum longus	Κίνηση χεριών, ρυθμός, μήκος διασκελισμού, κάθετη απόσταση μεταξύ κεφαλής και ποδιού, απόσταση μεταξύ κεφαλής και πυέλου, απόσταση μεταξύ ποδιών

Χειραψία	Abductor pollicis brevis, opponens pollicis, flexor pollicis brevis, adductor pollicis, palmaris brevis, abductor minimi digiti, flexor brevis minimi digiti	Μέτρηση αντίστασης σε χειραψίες
Απτικά	Abductor pollicis brevis, opponens pollicis, flexor pollicis brevis, adductor pollicis, palmaris brevis, abductor minimi digiti, flexor brevis minimi digiti, opponens digiti minimi, lumbrical, dorsal interossei, palmar interossei	Μέση τιμή και μέσος ταχύτητας, στυλ πλοήγησης, 3d προσανατολισμός κ.λπ.
Κίνηση χειλιών	Levator palpebrae superioris, levator anguli oris, mentalis, depressor labii inferioris, depressor anguli oris, buccinator, orbicularis oris, risorius	Εύρος στόματος, άνω/κάτω χείλος, απόσταση μεταξύ χείλεων στην ομιλία, σφιγμένο/χαλαρό στόμα κ.λπ.

Τα κινησιολογικά συμπεριφορικά βιομετρικά χαρακτηριστικά αποτυπώνουν καθολικές και σταθερές κινήσεις μυών ή ομάδων μυών του ανθρώπου την ώρα που επιτελούν ένα συγκεκριμένο έργο.

Αν και κάποιες κατηγορίες συμπεριφορικών βιομετρικών χαρακτηριστικών δεν έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ προς το παρόν, υπάρχει σαφής και δυναμική τάση έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα [4],[8].

2.4 Ηθικά και νομικά ζητήματα

Στην τρέχουσα παράγραφο θα εξετάσουμε μερικά ηθικά και νομικά ζητήματα που προκύπτουν όταν σχεδιάζουμε να συλλέξουμε, να επεξεργαστούμε και να αποθηκεύσουμε πραγματικά βιομετρικά δεδομένα πολιτών, ζητήματα που έχουν να κάνουν με το δικαίωμα στην ιδιωτική ζωή και την ταυτότητα του ατόμου.

Στα βιομετρικά συστήματα ασφαλείας η κατασκευή προφίλ γίνεται για ταυτοποίηση, με μερικό τρόπο, υπό συγκεκριμένο πλαίσιο λειτουργίας και για έναν συγκεκριμένο σκοπό, όπως η εκχώρηση πρόσβασης. Θα πρέπει να σημειωθεί, όπως θα δούμε και παρακάτω, ότι και η σύνδεση με προφίλ (profiling) αντιπροσωπεύει μια έννοια η οποία μπορεί να σχετίζεται με την ταυτοποίηση. Ο όρος αυτός αφορά στη διαδικασία κατασκευής ή εφαρμογής ενός προφίλ ενός ατόμου ή μιας ομάδας. Ένα προφίλ αποτελείται από πρότυπα συσχετισμένων δεδομένων[9].

Στα βιομετρικά συστήματα τα οποία εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, τα χαρακτηριστικά του ατόμου δεν συλλέγονται και επεξεργάζονται με σκοπό τη δημιουργία προσωπικού προφίλ για αναγνώριση ή ταυτοποίηση προσώπου, αλλά για τη δημιουργία ψυχολογικού *προσωπικού* προφίλ που χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την εκτίμηση της ψυχικής υγείας του αντικειμένου και που δε θα μπορούσε να χρησιμεύσει για την αναγνώρισή του μεταξύ άλλων. Εν τούτοις, το θέμα της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων από την καθημερινή ζωή ανθρώπων και δει ατόμων που ενδεχομένως να μη μπορούν να παρέχουν επί γνώσει συναίνεση (informed consent) εγείρει διάφορα ερωτήματα νομικής και ηθικής φύσεως

2.4.1 *Επί γνώσει Συναίνεση (Informed Consent)*

Η επί γνώσει συναίνεση είναι μια νομική διαδικασία για την απόκτηση έγκρισης από τον ασθενή προτού αυτός εμπλακεί σε μια ιατροφαρμακευτική παρέμβαση. Οι πάροχοι περίθαλψης μπορούν να ζητήσουν από τον ασθενή έγκριση για τη λήψη θεραπείας προτού την παρέχουν, όπως και ένας κλινικός ερευνητής θα πρέπει να τη ζητά από τα άτομα που θα λάβουν μέρος στην κλινική δοκιμή του, πριν αυτή ξεκινήσει. Η «επί γνώσει συναίνεση» δίδεται οριζόμενη από ένα νομικό πλαίσιο που περιλαμβάνει προκύπτει από τους τομείς της ιατρικής και ερευνητικής ηθικής. Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά το 1957 σε μια δίκη ιατρικής αμέλειας από τον Paul G. Gebhard.

Μία επι γνώσει συναίνεση μπορεί να δοθεί βασισμένη πάνω σε σαφή εκτίμηση και κατανόηση των γεγονότων, πιθανών κινδύνων και μελλοντικών συνεπειών μιας πράξης. Για να τη δώσει κάποιος, το άτομο που αφορά, πρέπει να διαθέτει επαρκείς ικανότητες εκλογίκευσης και λήψης αποφάσεων και συμπερασμάτων και να διαθέτει όλα τα σχετικά στοιχεία στο συγκεκριμένο χρόνο που η συναίνεσή του πρόκειται να

δοθεί. Βλάβες στη διαδικασία συλλογισμών, στην ευθυκρισία και στη διαδικασία λήψεως αποφάσεων που θα μπορούσαν να καταστήσουν αδύνατη την επι γνώσει συναίνεση, περιλαμβάνουν παράγοντες όπως η συνήθης πνευματική ή συναισθηματική ανωριμότητα, υψηλά επίπεδα άγχους (όπως Μετατραυματική Διαταραχή Άγχους), σοβαρή πνευματική καθυστέρηση, πνευματικές ασθένειες, μέθη ή λήψη ναρκωτικών, σοβαρή έλλειψη ύπνου και οι χρόνιες παθήσεις σχετικές με άνοια (Alzheimer's, αγγειακή άνοια κ.λπ.)

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που ο νομοθέτης έχει προβλέψει για την περίπτωση που χρειάζεται να ληφθούν κάποια μέτρα, παρά την έλλειψη ικανότητας του ατόμου για επί γνώσει συναίνεση. Σε περίπτωση που το άτομο κρίνεται αδύνατο να τη δώσει, κάποιος άλλος επωμίζεται με την ευθύνη για να δώσει τη συναίνεση εκ μέρους του π.χ. γονείς ,ή κηδεμόνες – αν και στην περίπτωση τέκνων το παιδί πρέπει να δώσει κατ' αρχήν συναίνεση)- και φροντιστές σε περίπτωση των πνευματικά ασθενών.

Σε περιπτώσεις που στο αντικείμενο δεν δίδονται επαρκείς πληροφορίες για το σχηματισμό επί γνώσει συναίνεσης, έχουμε σημαντικά ηθικά ζητήματα. Τέτοιες περιπτώσεις σε κλινικές δοκιμές ή σε ιατρικές πρακτικές προβλέπονται και αντιμετωπίζονται από τις εκάστοτε επιτροπές επαγγελματικής δεοντολογίας ή κάποιο πειθαρχικό συμβούλιο του εκάστοτε ιδρύματος[10],[11]

2.4.1.1 Εκτίμηση της επί γνώσει συναίνεσης

Το κατά πόσο έχουμε όντως επί γνώσει συναίνεση μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκο να εκτιμηθεί, καθώς ουσιαστικά καμία έκφραση συναίνεσης ή κατανόησης επιπτώσεων δεν σημαίνουν κατ' ανάγκη ότι υπήρξε πλήρης συναίνεση ή ότι υπήρξε πλήρης κατανόηση των σχετικών θεμάτων από τον συναινούντα.

Η συναίνεση μπορεί να προκύπτει περισσότερο ως δεδομένη μέσω των συνήθων λεπτολογιών της ανθρώπινης επικοινωνίας παρά ως σαφώς διαπραγματευμένη

προφορικά ή γραπτώς. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, η συναίνεση δεν είναι νομικά εφικτή ακόμα αν και ο συναινών επιμένει ότι όντως κατανοεί και επιθυμεί να τη δώσει. Υπάρχουν δε δομημένα εργαλεία για να εκτιμήσουμε την ικανότητα παροχής επί γνώσει συναίνεσης από κάποιον, αν και δεν υπάρχει ιδανική λύση ακόμα.

Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μέχρι ενός ορισμένου βαθμού, η επί γνώσει συναίνεση είναι απλά μια υπόθεση ή συμπέρασμα των νομικών που εξαρτάται από κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Στην ειδική περίπτωση ιατρικών αναγκών, ο κανόνας για παραχώρηση επί γνώσει συναίνεσης που έχει νομική υπόσταση, είναι κάποια μορφή ενυπόγραφου εγγράφου. Τέτοια για παράδειγμα είναι και η φόρμα «μη ανάνηψης» που ορισμένοι ασθενείς υπογράφουν.

Ας παραθέσουμε όμως και μερικά πιο σαφή παραδείγματα:

Ένα πρόσωπο μπορεί προφορικά να συναινέσει σε κάτι από φόβο, επαπειλούμενη κοινωνική πίεση ή ψυχολογική δυσκολία στην έκφραση των πραγματικών επιθυμιών του. Το πρόσωπο που επικυρώνει την πράξη συναίνεσης μπορεί ειλικρινά να αγνοεί τις πραγματικές επιθυμίες του αντικειμένου και να πιστέψει ότι η συναίνεση είναι αυθεντική. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να υπάρχει συναίνεση αλλά δεν είναι ειλικρινής.

Ένα πρόσωπο μπορεί να δηλώσει ότι καταλαβαίνει τις επιπτώσεις κάποιας πράξης, ως μέρος της συναίνεσής του, αλλά στην πραγματικότητα να μην έχει εκτιμήσει σωστά τις πιθανές συνέπειες και αργότερα να αρνηθεί την ίδια του τη συναίνεση εξαιτίας αυτού. Η κατανόηση που είναι απαραίτητη για επί γνώσει συναίνεση φαίνεται να υπάρχει αλλά στην πραγματικότητα υπάρχει άγνοια.

Ανήλικα πρόσωπα μπορεί να συναινέσουν σε ο,τιδήποτε όντας πλήρως ενημερωμένα για όλες τις επιπτώσεις αλλά η συγκεκριμένη συναίνεση είναι νομικά άκυρη μια και οι ανήλικοι δεν έχουν το νομικό δικαίωμα για επί γνώσει συναίνεση.

Ένα άτομο υπογράφει μια νομική φόρμα για μια ιατρική διαδικασία και αισθάνεται ότι δεν συναίνεσε στην πραγματικότητα. Αν δεν μπορεί να αποδείξει παραπληροφόρηση, η φόρμα αυτή κρίνεται συνήθως πλήρως ισχύουσα στο νόμο, έτσι ώστε ο γιατρός να μπορεί να βασιστεί πάνω της για συναίνεση. Σε επίσημες καταστάσεις, μια γραπτή φόρμα συναίνεσης συνήθως υπερισχύει μια λεκτική άρνηση αργότερα (εκτός αν υπάρχει θέμα παρερμηνείας).

Ας σημειώσουμε εδώ ότι στις Η.Π.Α η επί γνώσει συναίνεση μπορεί να υπερκεραστεί σε καταστάσεις επείγουσας ιατρικής ανάγκης υπό την απόφαση 21CFR50.24 σχετικά με τη μελέτη της ουσίας PolyHeme [10],[12],[13].

2.4.1.2 Στοιχεία της επαρκούς επί γνώσει συναινέσεως

Για να θεωρηθεί νομικά ισχυρή η επί γνώσει συναίνεση ενήλικα, πρέπει να προϋπάρχουν 3 παράγοντες:

A. Πληροφόρηση

Απαιτείται από τον ερευνητή να παρέχει στον ασθενή τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για μια αυτόνομη απόφαση, αλλά ταυτόχρονα οι ερευνητές πρέπει να εξασφαλίσουν ότι τα αντικείμενά τους έχουν επαρκή δυνατότητα κατανόησης των παρεχόμενων πληροφοριών. Αυτό σημαίνει πως η φόρμα συναίνεσης πρέπει να είναι γραμμένη σε κατανοητή, όχι τεχνική γλώσσα, κατάλληλη για το μορφωτικό επίπεδο και τις ικανότητες κατανόησης του αντικειμένου.

B. Ικανότητα

Η δυνατότητα του αντικειμένου να καταλάβει τις παρεχόμενες πληροφορίες και να σχηματίσει μια λογικά παραγόμενη κρίση βασισμένη στις δυνητικές επιπτώσεις της απόφασής του.

Γ. Εκούσια προσφορά

Το δικαίωμα του αντικειμένου για ελεύθερη άσκηση του δικαιώματος επιλογής του χωρίς να υπόκειται σε εξωτερικές πιέσεις, εκβιασμούς, χειραγώγηση κλπ.

2.4.1.3 Επί γνώσει συναίνεση στην έρευνα

Στην ιατρική έρευνα, το διεθνές πρότυπο είναι ο Κώδικας της Νυρεμβέργης [14] που θεσπίστηκε το 1947 και μέχρι σήμερα εξελίσσεται. Σήμερα κάθε είδους ιατρική έρευνα επιβλέπεται από μια επιτροπή δεοντολογίας που έχει υπό την ευθύνη της και το θέμα της επί γνώσει συναίνεσης.

Καθώς οι ιατρικές οδηγίες του κώδικα της Νυρεμβέργης εισήχθησαν και στους ηθικούς περιορισμούς για τις κοινωνικές επιστήμες, η επί γνώσει συναίνεση έγινε απαραίτητο σκέλος της ερευνητικής διαδικασίας [15],[16]. Όμως αν και η επί γνώσει συναίνεση είναι εκ των ων ουκ άνευ σε ιατρικά πειράματα, δεν είναι πάντα απαραίτητη στις κοινωνικές επιστήμες. Εκεί, η έρευνα συνήθως περιέχει χαμηλό ή μηδενικό ρίσκο για τους συμμετέχοντες. Επιπλέον, σε ορισμένες καταστάσεις, απλά η γνώση της παρακολούθησης, μπορεί να επηρεάσει τα πειραματικά δεδομένα επηρεάζοντας τη συμπεριφορά των υπό παρατήρηση αντικειμένων. Σε περιπτώσεις εργαστηριακών συμπεριφορικών πειραμάτων, τα αντικείμενα είναι προφανώς ενήμερα ότι η συμπεριφορά τους παρακολουθείται και καταγράφεται άρα η συμπεριφορά τους μεταβάλλεται εις βάρος της πειραματικής διαδικασίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η επί γνώσει συναίνεση παρεμβαίνει αρνητικά στην ικανότητα του ερευνητή να ολοκληρώσει το πείραμά του. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μετά από ενδελεχή εξέταση των περιστάσεων ένας ερευνητής μπορεί να προσπεράσει το θέμα

της συναινέσεως. Αυτό γίνεται πάντα ζυγίζοντας το πιθανό ρίσκο για τους συμμετέχοντες στην έρευνα με τα πιθανά ωφέλη για την κοινωνία καθώς και το αν οι συμμετέχοντες λαμβάνουν μέρος οικειοθελώς και απολαμβάνουν σωστής μεταχείρισης. Σε τέτοιες αποφάσεις, τον τελευταίο λόγο έχει συνήθως μια επιτροπή δεοντολογίας [17],[18].

2.4.2 Ιδιωτικότητα στα βιομετρικά συστήματα υποβοηθούμενης διαβίωσης

Όπως είναι προφανές και αντίθετα με τις πλέον συνήθεις εφαρμογές βιομετρικών συστημάτων, μια λύση Υποβοηθούμενης Διαβίωσης δεν επέχει τους κινδύνους για την ταυτότητά του που επάγονται κακών χρήσεων της ταυτοποίησης του χρήστη, μια και αυτή δεν αποτελεί τον πυρήνα των συστημάτων αυτών. Παρόλα αυτά μια σημαντική παράμετρος και ταυτόχρονα έντονα διατυπωμένη ανησυχία, είναι αυτή της πιθανής παραβίασης της ιδιωτικότητας του χρήστη. Εγκαθιστώντας ένα τέτοιο σύστημα σε οικίες ασθενών, έχει το πλεονέκτημα μιας τεράστιας βελτίωσης της ποιότητας ζωής και ανεξαρτησίας τους, αλλά παράλληλα μπορεί να προκαλέσει άγχος και δισταγμούς όσον αφορά τη χρήση τους. Είναι δυνατόν ένα τέτοιο σύστημα να μετατραπεί σε έναν «Μεγάλο Αδελφό» που θα παρακολουθεί τη συμπεριφορά των κατοίκων και θα τους «προδίδει» στον έξω κόσμο;

2.4.2.1 AAL και ιδιωτικότητα

Αναπτύσσοντας συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, γίνεται προφανές πως η διατήρηση της αυτονομίας και βελτίωση της καθημερινότητας του χρήστη, μπορεί να συνοδεύεται από μια μερική απώλεια ιδιωτικότητας. Άνθρωποι παρακολουθούνται από μηχανές και οργανισμούς που τις παρέχουν. Οι επιπτώσεις αυτής της διαδικασίας

παρακολούθησης, είναι ή μπορεί να είναι συχνά μη-διαφανείς στους ενδιαφερόμενους. Ιδιαίτερα ευαίσθητα και προσωπικής φύσεως δεδομένα συλλέγονται και (πιθανώς) αποθηκεύονται ή μεταδίδονται από AAL συστήματα (π.χ. ζωτικά σημεία, αποτελέσματα ψυχιατρικής φύσεως τεστ -π.χ. MMSE για Alzheimer's). Οι νέες, καινοτόμες λύσεις στον τομέα προσφέρουν περαιτέρω δυνατότητες αυτονομίας στους χρήστες μέσω της τεχνολογίας. Για να επιτευχθεί αυτό όμως, γίνεται απαραίτητη η καταγραφή κινήσεων, εκφράσεων και γενικά όλων των καθημερινών δραστηριοτήτων του χρήστη. Παρ'όλα αυτά, αυτή το παράδοξο της αυξημένης ανεξαρτησίας μέσω αυξημένης εξάρτησης στην τεχνολογία, δεν αποτελεί ιδιαίτερα περίεργο αποτέλεσμα σε μια κοινωνία που βασίζεται όλο και περισσότερο στην τεχνολογία για να προάγει τη ζωή των μελών της – θα έλεγε κανείς ότι σχεδόν αυτό αποτελεί και βασικό χαρακτηριστικό της.

Έτσι, όσον αφορά οργανισμούς που προσφέρουν υπηρεσίες και τεχνολογίες υποβοηθούμενης διαβίωσης, θα πρέπει να διασαφηνιστεί ότι η εξάρτηση από την τεχνολογική λύση δεν σημαίνει εξάρτηση από τον οργανισμό που την προσφέρει. Πέραν αυτού, θα πρέπει να προσεγγίσουμε το αντικείμενο σε ένα γενικό κοινωνικό πλαίσιο: Λαμβάνοντας υπόψη την ολοένα και αυξανόμενη παρουσία των Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης στην καθημερινότητά μας, έχουν οι χρήστες όντως την επιλογή να τα χρησιμοποιήσουν σε ένα ασφαλές, αυτό-ελεγχόμενο και αξιοπρεπές πλαίσιο; Μπορεί ένα ΣΥΔ να διασφαλίσει την ιδιωτικότητα ενός ανθρώπου του οποίου παρακολουθούνται και επεξεργάζονται τα πιο προσωπικά δεδομένα και δραστηριότητες; Και αν ναι, θα είναι δυνατή η καταγραφή παρεκκλίσεων από ένα παγιωποιημένο *modus operandi*;

Οι περιορισμοί της ιδιωτικότητας και της προστασίας των προσωπικών δεδομένων που προέρχονται από τη συναίνεση του παρέχοντα αυτά, γίνονται αμέσως προφανείς.

Πως μπορούμε να διασφαλίσουμε την προστασία αυτών με έναν πραγματικά αποτελεσματικό τρόπο, πέραν απλώς μιας μεγάλης συλλογής από υπογραφές και φόρμες συναίνεσης; Πέραν από νέους νομικούς περιορισμούς –που ακόμα εξελίσσονται-, η λύση στο πρόβλημα φαίνεται να είναι η προσέγγιση της «εκ σχεδιασμού ιδιωτικότητας»: Η ιδιωτικότητα του χρήστη θα πρέπει να είναι ενσωματωμένη στις τεχνικές προδιαγραφές και την αρχιτεκτονική των προτεινόμενων τεχνολογιών. Αυτό το πλαίσιο θα καταφέρει να θωρακίσει τους χρήστες από οργανισμούς και εταιρείες που ως κύριο μέλημά τους έχουν τα δικά τους συμφέροντα: την προάσπιση του μεριδίου τους στην αγορά, την ελαχιστοποίηση του κόστους, την ελαχιστοποίηση του ρίσκου σε σχέση με τους θεσμούς που τους ελέγχουν κλπ. Ένα ΣΥΔ θα πρέπει να λειτουργεί με τρόπο που υποστηρίζει το θεμελιώδες δικαίωμα στην εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα του προσώπου. Το συμπέρασμα αυτό οδήγησε και στο πρότυπο των τεχνολογιών ενίσχυσης ιδιωτικότητας (Privacy Enhancing Technology – PET) που παρουσιάστηκε σχεδόν πριν 20 χρόνια[19],[20].

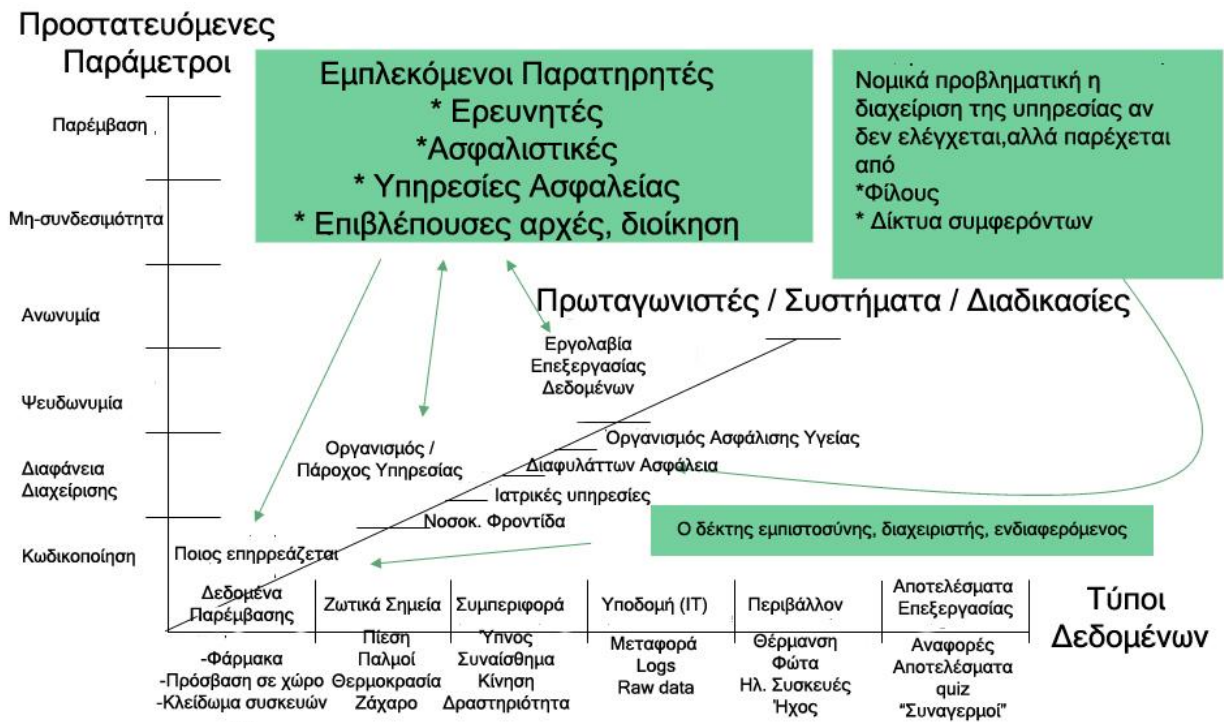
Το όλο πρόβλημα ιδιωτικότητας στα ΣΥΔ μπορεί να απεικονιστεί σχηματικά με έναν κύβο (Εικόνα 2). Οι τρεις διαστάσεις του περιέχουν τα δεδομένα, τους πρωταγωνιστές καθώς και τους στόχους για την προστασία τους που προσδιορίζονται στις απαιτήσεις περί επεξεργασίας των δεδομένων και τη χρήση των συστημάτων από τους χρήστες ή καλύτερα από τις (τεχνικές) διαδικασίες.

Α. Τα δεδομένα που επεξεργάζεται ένα ΣΥΔ καλύπτουν ένα φάσμα από παρεμβατικές διαδικασίες που μπορεί να έχουν απευθείας επίδραση στο χρήστη (π.χ. εκ του μακρόθεν συνταγογράφηση φαρμάκων), ζωτικών στοιχείων αυτού (πίεση, θερμοκρασία, παλμοί κ.λπ.) μέχρι δεδομένα που αποκαλύπτουν την ψυχολογική του κατάσταση (δραστηριότητα, εκφράσεις προσώπου) καθώς και περιβαλλοντικά

δεδομένα. Μεθοδολογικά μιλώντας, τα δεδομένα αυτά τα επεξεργάζονται συστήματα συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας τους. Συνεπώς οι απαιτήσεις προστασίας τους μεταφέρονται και στις αντίστοιχες πληροφοριακές λύσεις.

Β. Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές ομάδες πρωταγωνιστών : Το πρόσωπο που παρακολουθείται (το αντικείμενο που προσφέρει τα δεδομένα, οι πάροχοι ιατρικών υπηρεσιών και οι πάροχοι υποδομών (κέντρα δεδομένων, εταιρείες τηλεπικοινωνιών κ.λπ.). Αυτή η διάκριση μας επιτρέπει να διαχωρίσουμε τους τομείς ευθύνης –σύμφωνα με το νόμο- μεταξύ όλων των εμπλεκομένων.

Γ. Η προστασία των δεδομένων και η ασφάλεια εμπεριέχουν νομικές απαιτήσεις σε ένα τεχνικό-οργανωτικό σχήμα. Οι πάροχοι πρέπει τουλάχιστον να φροντίσουν για αυτές, να καθορίσουν τις απαιτήσεις για την προστασία όλων των ειδών των δεδομένων που συλλέγουν, παράγουν και επεξεργάζονται, να καταθέσουν μια ανάλυση ρίσκου σχετικά με τη συνεισφορά τους στην τεχνολογική λύση και να αναπτύξουν ένα σχέδιο απάλειψης και αντιμετώπισης των σχετικών κινδύνων [21],[22]



Εικόνα 2 : Αναπαράσταση Θεμάτων Ιδιωτικότητας σε ΣΥΔ

Βλέπουμε λοιπόν πως για να διασφαλίσουμε σωστές βάσεις τόσο νομικά αλλά και όσον αφορά την καθαρά ψυχολογική παράμετρο της εμπιστοσύνης μεταξύ χρήστη και παρόχου, θα πρέπει να έχουμε παγιώσει από το σχεδιασμό τη διασφάλιση της προστασίας του καταναλωτή μέσω των ακόλουθων παραμέτρων:

- Μη-συνδεσιμότητα :

Η διασφάλιση ότι ο χρήστης μπορεί να κάνει χρήση πόρων ή υπηρεσιών χωρίς να είναι δυνατή να συνδέσουν αυτούς τους πόρους μεταξύ τους. Έτσι, απαιτείται να μην είναι δυνατός ο καθορισμός του ποιος χρήστης προκάλεσε συγκεκριμένες ενέργειες στο σύστημα, από τρίτους. Η μερική συνδεσιμότητα προφανώς είναι αναγκαία, συγκεκριμένα στην περίπτωσή μας, από τον τελικό αποδέκτη των δεδομένων του, τον θεράποντα ιατρό [23]

- Ανωνυμία

Η απλή διασφάλιση ότι ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τους παρεχόμενους πόρους και υπηρεσίες χωρίς να χρειάζεται η αποκάλυψη της ταυτότητάς του. Σκοπός σε ένα ΣΥΔ είναι να μην είναι δυνατή η αναγνώριση του χρήστη μέσω της χρήσης του προϊόντος από ενδιαμέσους, παρά μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο. Σε μια τέτοια περίπτωση, δεν έχουμε άνευ όρων και πλήρη ανωνυμία, όπως απαιτείται αλλού, παρά σε εν μέρει ανωνυμία, μια και στην πορεία χρήσης του συστήματος ένας θεράπων ιατρός για λόγους ιατρικού ιστορικού και διάγνωσης της κατάστασης θα πρέπει να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή για ποιον χρήστη πρόκειται. Η ανωνυμία εδώ συμπεριλαμβάνει όλους τους ενδιαμέσους διαχειριστές δεδομένων μεταξύ χρήστη και ιατρού. Για λόγους διαχείρισης όμως των δεδομένων κάθε ασθενή διαφορετικά από τους προαναφερθέντες ενδιαμέσους, η λύση απαντάται στη χρήση ψευδωνυμίας. [24]

- Ψευδωνυμία

Απαιτείται εδώ ένας έμμεσος ενδιάμεσος μηχανισμός, ο οποίος θα αντιστοιχεί στον κάθε χρήστη ένα ψευδώνυμο (είτε ένα άλλο όνομα, είτε έναν αλφαριθμητικό κωδικό κ.λπ.), ώστε να επιτρέπεται η διαχείριση των δεδομένων του, η συντήρηση των αντίστοιχων βάσεων και η αποθήκευση όσων είναι απαραίτητο, χωρίς οι πάροχοι IT υπηρεσιών να έχουν τρόπο να εκμαιεύουν την ταυτότητά του από αυτά. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να βλάψει τυπικά μεν τη συνδεσιμότητα, αλλά η πληροφορία είναι ουσιαστικά άχρηστη αν ο κακόβουλος-ενδεχομένως-διαχειριστής δεν έχει το κλειδί διασύνδεσης του ψευδωνύμου με πραγματικό πρόσωπο. Στην ιατρική έρευνα που διακινούνται ιδιαιτέρως ευαίσθητα δεδομένα, η ψευδωνυμία των αντικειμένων είναι μια *sine qua non* απαίτηση. Έτσι αν και γενικά η ψευδωνυμία βλάπτει τη συνδεσιμότητα, μπορούν να ληφθούν μέτρα ώστε η δεύτερη να είναι δυνατή μόνο από τους θεράποντες ιατρούς[25]

- Διαχείριση Δεδομένων

Ο ψυχολογικός παράγοντας σε ένα ΣΥΔ είναι σημαντικότερος για το τελικό τεστ της χρησιμότητάς του, αυτό της αποδοχής από τους χρήστες, οι οποίοι θα πρέπει να πειστούν ότι ο πάροχος της υπηρεσίας διαχειρίζεται τα δεδομένα τους με ασφάλεια και σεβασμό στην ιδιωτικότητά τους. Επιπλέον φυσικά, τα θεσμικά όργανα ελέγχου θα πρέπει να ικανοποιηθούν πλήρως όσον αφορά το καθεστώς διαφύλαξης των δεδομένων υπό επεξεργασία. Έτσι, ένα από τα κεντρικά ζητήματα που πρέπει να διευθετηθεί στο σχεδιασμό ενός ΣΥΔ είναι και το πώς θα γίνει η διαχείριση των δεδομένων του ασθενή, ώστε και να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα αλλά και να διαφυλάσσεται η ιδιωτικότητά του, μέσω και των 2 προηγούμενων σημείων αλλά και της ασφαλούς και ισχυρής διαχείρισης των δεδομένων του, από τα αντίστοιχα υποσυστήματα του ΣΥΔ. Για παράδειγμα, η καταγραφή εικόνας, βίντεο και ήχου δε θα πρέπει να επιτρέπεται, αλλά απλά τα δεδομένα να συλλέγονται από τους αντίστοιχους αισθητήρες, να υφίστανται επεξεργασία και να μεταδίδονται μόνο αποτελέσματα και ειδοποιήσεις και όχι αυτά καθαυτά[6],[26]. Φυσικά απαραίτητη για τη μετάδοση τέτοιων δεδομένων είναι και η

- Κωδικοποίηση

Η προστασία των διαδικασιών, των δεδομένων και η διαφύλαξή τους από κακόβουλες χρήσεις επαφίεται πλήρως σε κωδικοποίηση. Έτσι ακόμα και αν κάποιος καταφέρει να παρατηρήσει τα δεδομένα , π.χ. κατά τη μεταφορά τους από τον ασθενή στον ιατρό (αποστολέας και παραλήπτης), αυτά να παραμείνουν ιδιωτικά και απόρρητα. Έτσι η ιδιωτικότητα του ατόμου προστατεύεται μια και η αποστελλόμενη πληροφορία αποκρύπτεται. [21]

3

Βιομετρικά Συστήματα και αναγνώριση συναισθήματος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζουμε τα βιομετρικά συστήματα και τα χαρακτηριστικά τους, το πώς αποτυπώνεται το συναίσθημα, σύμφωνα με τις έρευνες της συμπεριφορικής ψυχολογίας, στο ανθρώπινο πρόσωπο και πώς αυτό μπορεί να μας οδηγήσει σε χρήση βιομετρικών μεθόδων για την αναγνώρισή του από μια λύση ICT.

3.1 Ιστορική ανασκόπηση βιομετρικών συστημάτων

Υπάρχουν αποδείξεις χρήσεως βιομετρικών στοιχείων στην ανθρώπινη ιστορία ακόμα από την εποχή των σπηλαίων. Έχουν βρεθεί σε τοιχογραφίες ηλικίας 31000 ετών σε σπήλαια, «υπογραφές» με δακτυλικό αποτύπωμα των έργων του καλλιτέχνη. [27]. Στη Βαβυλώνα του 500 π.χ. οι έμποροι ανάμεσα στις καταγραφές συναλλαγών σε πήλινα πινάκια, προσέθεταν και το δάκτυλό τους ως σφραγίδα [28].

Ο Joao de Barros, ένας Ισπανός εξερευνητής και ιστορικός έκανε στο «Decadas de Asia» το 14^ο αιώνα την πρώτη καταγραφή χρήσεως βιομετρικών μεθόδων στην ιστορία: οι κινέζοι έμποροι χρησιμοποιούσαν δακτυλικά αποτυπώματα για να σφραγίσουν εμπορικές συναλλαγές και στο δουλεμπόριο παιδιών, χρησιμοποιούνταν

το αποτύπωμα της παλάμης και της πατούσας για να επιβεβαιώνεται η ταυτότητα του σκλάβου που αγοράζόταν [29].

Το πρώτο πραγματικό βιομετρικό σύστημα στην ιστορία όμως, δημιουργήθηκε το 1870 από το Γάλλο ανθρωπολόγο Alphonse Bertillon, ο οποίος ουσιαστικά εγκαθίδρυσε τη βιομετρική ως ένα νέο πεδίο έρευνας. Ο Bertillon ανέπτυξε ένα σύστημα αναγνώρισης (Bertillonage) βασισμένο σε ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τα οποία καταγράφονταν σε λεπτομερή αρχεία που αποτελούνταν από πολλές μετρήσεις στο σώμα, φυσικές περιγραφές και φωτογραφίες[30].

Taille 1*	Long*	Pied g.	N° de cl.	Agé de
Voute	Larg*	Médus g.	Aur**	né le
Enverg 1*	Long*	Auric** g.	Pér**	a
Buste 0,	Larg*	Coudée g.	Part**	depo
				Age app

(Réduction photographique 1/7.)

Mr. Galton 19.4.93

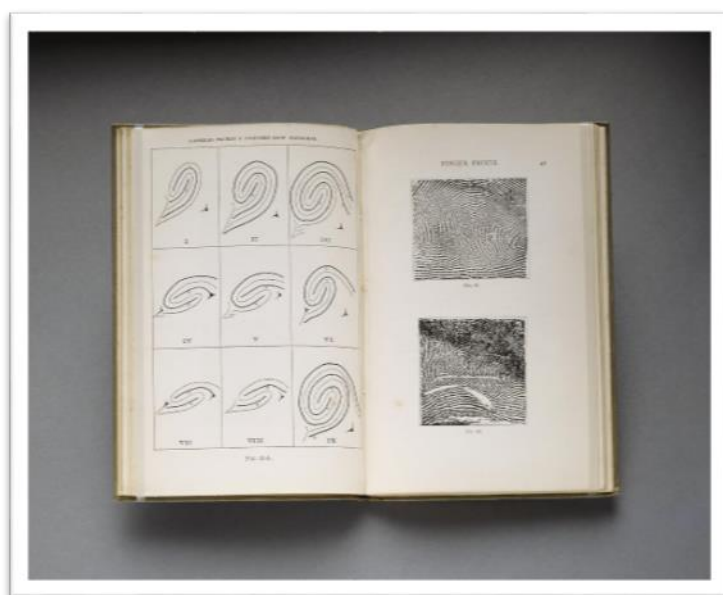
Front.	Inclin*	Racine (cavité)	Dors. o. s. p. f.	Barbe	* (pis**)
	Haut*				
Larg*	Sailie	Larg*	A. trg. i. p. r. d.	Car	Coint.
					Sig* dressé par M.

Εικόνα 3 : Ένα αρχείο Bertillon, του Francis Galton, από το 1893

Παρόλο που το σύστημα ήταν ακόμα εντελώς πρωτόλειο και οι μετρήσεις όχι ιδιαίτερα ακριβείς, ενώ η μεθοδολογία δύσκολη να εφαρμοστεί, το Bertillonage ήταν μια ιδιαίτερα σημαντική καινοτομία στον τομέα της εγκληματολογίας και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την αναγνώριση εγκληματιών. Δυστυχώς, μια και πολλοί άνθρωποι μοιράζονται παρόμοια ανθρωπολογικά χαρακτηριστικά (στην εγκληματολογία η μοναδικότητα ενός χαρακτηριστικού είναι σημαντική για την αναγνώριση και ταυτοποίηση), το σύστημα εγκαταλείφθηκε το 1903.

Η πρώτη μέθοδος κατηγοριοποίησης δακτυλικών αποτυπωμάτων, αναπτύχθηκε σχεδόν παράλληλα με το Bertillonage, το 1892 από τον Francis Galton (που απεικονίζεται στην Εικόνα 3). Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποίησε ήταν οι ίδιες μικρολεπτομέρειες (minutiae) που χρησιμοποιούνται και σήμερα (καμάρες, βρόγχοι, τόξα, δίνες, διακλαδώσεις κ.λπ.).

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1896, ο Sir Edward Henry, Γενικός Επιθεωρητής της αστυνομίας της Βεγγάλης, άρχισε να χρησιμοποιεί τις μεθόδους του Galton για να αντικαταστήσει το ανθρωπομετρικό σύστημα του Bertillon. Δημιούργησε μια ταχεία μέθοδο για να κατηγοριοποιεί και να αποθηκεύει τα δακτυλικά αποτυπώματα , η οποία και αργότερα χρησιμοποιήθηκε στο Λονδίνο για το πρώτο βρετανικό αρχείο δακτυλικών αποτυπωμάτων[31].



Εικόνα 4 : Εικόνα από το βιβλίο του Henry, “*Classification and Uses of Fingerprints*, London, 1900”

Από εκεί και πέρα, οι εξελίξεις άρχισαν να τρέχουν με αρκετά ραγδαίο τρόπο : Το 1936 ο οφθαλμολόγος Frank Burch πρότεινε τη χρήση της ίριδας ως βιομετρικό χαρακτηριστικό αναγνώρισης, αλλά η απόδειξη και η υλοποίηση δεν έγιναν παρά το 1987 από τους Leonard Flom και Aran Safir [29].

Σημαντικότερος στην ανάπτυξη βιομετρικών μεθόδων ήταν και ο «πατέρας» της μαθηματικής στατιστικής Karl Pearson, που ανέπτυξε εργαλεία όπως η μέθοδος των στιγμών (για curve fitting κατανομών σε δείγματα), η απόσταση X (chi-distance, μια πρόδρομος και ειδική περίπτωση της απόστασης Mahalanobis) καθώς και το Pearson chi-test (ένα εργαλείο για έλεγχο υποθέσεων σε διακριτά δεδομένα). Μάλιστα ο Pearson μαζί με τον Galton, ίδρυσαν το 1901 το «*Biometrika*» ένα επιστημονικό περιοδικό που εκδίδεται ακόμα και σήμερα από το Oxford University Press [24],[32]

Το 1960 ο Gunnar Fant, ένας σουηδός καθηγητής, δημοσίευσε ένα μοντέλο που περιέγραφε τα φυσιολογικά (physiological) στοιχεία της παραγωγής φωνής. Τα ευρήματά του προήλθαν από την ανάλυση ακτινογραφιών ανθρώπων την ώρα που παρήγαγαν συγκεκριμένους ήχους. Τα ευρήματα αυτά αργότερα χρησιμοποιήθηκαν

για την καλύτερη κατανόηση των βιολογικών χαρακτηριστικών του λόγου, στοιχείο κρίσιμο για την επίλυση του προβλήματος αναγνώρισης ομιλητή. [33].

Όπως συμβαίνει συχνά με τεχνολογικές καινοτομίες, η πραγματική έκρηξη συνέβη στις δεκαετίες του 60 και 70, όταν υπηρεσίες ασφαλείας όπως το FBI καθώς και ο στρατός, άρχισαν να εξελίσσουν την έρευνα βιομετρικών συστημάτων με σκοπό τη χρήση τους σε εφαρμογές αναγνώρισης, ταυτοποίησης κ.λπ., με βελτίωση μεθόδων για δακτυλικά αποτυπώματα, εξέλιξη της αναγνώρισης προσώπου κ.α. Το 2001 μάλιστα, στον τελικό του Super Bowl στην Tampa της Florida, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα αναγνώρισης προσώπων για την ανίχνευση «ανεπιθύμητων» μέσα στο πλήθος. Δυστυχώς τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος δεν ήταν ιδιαίτερα θετικά, μια και δεν αναγνωρίστηκε κανείς «ύποπτος» αλλά δυστυχώς έγινε λάθος ταυτοποίηση αρκετών φιλάθλων. Αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθεί ένταση στα ΜΜΕ, το Κογκρέσο και την κοινή γνώμη και να εγερθούν έντονα ερωτήματα όσον αφορούσε τα ζητήματα ιδιωτικότητας, με κινήσεις υποστηρικτών της ελευθερίας του ατόμου να κατηγορούν τη βιομετρική τεχνολογία ως εχθρούς αυτής [34]

Φυσικά, μετά την 11^η Σεπτεμβρίου του 2001, βιομετρικά συστήματα χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ακόμα από πολλά κράτη, κυρίως στα αεροδρόμια. Μετά δε τις βομβιστικές επιθέσεις στο Λονδίνο η Μ. Βρετανία εγκατέστησε βιομετρικά συστήματα αναγνώρισης προσώπου, με αποτέλεσμα να υπάρχουν περισσότερες από 20000 κάμερες σε διάφορα σημεία του Λονδίνου.

3.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά βιομετρικών συστημάτων

Οποιαδήποτε βιομετρική τεχνολογία, με σκοπό ανίχνευση, ταυτοποίηση, αναγνώριση κ.λπ. εκμεταλλεύεται φυσιολογικά (physiological) είτε συμπεριφορικά

χαρακτηριστικά του ανθρώπου. Οπότε είναι σκόπιμο να αναρωτηθούμε ποια από τα ανθρώπινα χαρακτηριστικά και των 2 ομάδων είναι κατάλληλα για μια τέτοια εφαρμογή, ποια τα κριτήρια επιλογής τους. Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ένα ανθρώπινο χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιομετρικό αν ικανοποιεί (ανάλογα με την εφαρμογή όχι όλες) τις παρακάτω προϋποθέσεις[1]:

- Καθολικότητα (Universality) : Πρέπει να είναι κοινό σε όλους τους ανθρώπους
- Δυνατότητα διαχωρισμού (Distinctiveness) : Να είναι επαρκές για να διαχωρίσουμε 2 άτομα μεταξύ τους
- Μονιμότητα (Permanence) : Να είναι επαρκώς αμετάβλητο –όσον αφορά τη σύγκριση- για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.
- Δυνατότητα συλλογής (Collectability) : Να είναι εύκολο να μετρηθεί ποσοτικά.

Εδώ οδηγούμαστε σε μια κατ'αρχήν αντίφαση: Ενώ απαιτούμε από ένα βιομετρικό χαρακτηριστικό να είναι μόνιμο και να επάγει δυνατότητα διαχωρισμού, είναι προφανές ότι οι εκφράσεις του ανθρώπινου προσώπου που πραγματευόμαστε στη συγκεκριμένη έρευνα, δεν πληρούν αυτές τις προαναφερθείσες προδιαγραφές. Όμως αν λάβουμε υπόψη το σκοπό μιας εφαρμογής Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, θα δούμε ότι όχι μόνο δε μας εμποδίζει κάτι τέτοιο, αλλά ακόμα και αν η έκφραση συναισθήματος τις πληρούσε, αυτό θα έκανε την εφαρμογή μας μη εφικτή. Το σύνολο χαρακτηριστικών όμως που πληροί ένα συμπεριφορικό βιομετρικό μοντέλο και που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία μιας τέτοιας εφαρμογής είναι τα παρακάτω:

- *Ευκολία συλλογής*: Η συλλογή συμπεριφορών χρήστη είναι σχετικά απλή και μη παρεμβατική. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε- και δει σε περιπτώσεις ενδιαφέροντος της συγκεκριμένης διατριβής- ο χρήστης μπορεί να μην καταλαβαίνει καν ότι συλλέγονται δεδομένα του. Η διαδικασία συλλογής πληροφορίας μπορεί να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και να κοστίζει ελάχιστα.
- *Απόδοση*: Η ακρίβεια στα αποτελέσματα των περισσότερων βιομετρικών συστημάτων μπορεί να είναι σχετικά χαμηλή όταν χρησιμοποιούνται για αναγνώριση προσώπων σε μεγάλα σύνολα, αλλά είναι πολύ καλύτερη σε συστήματα επιβεβαίωσης για πολλά βιομετρικά χαρακτηριστικά.
- *Αποδοχή από χρήστες*: Μια και τα συμπεριφορικά δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν χωρίς τη συμμετοχή του χρήστη, απολαμβάνουν υψηλής αποδοχής από αυτούς, αλλά υπάρχει πάντα η πιθανότητα για ηθικά/νομικά κωλύματα που αφορούν την ιδιωτικότητα.
- *Δυσκολία πλαστογράφησης*: Σε συμπεριφορικά βιομετρικά συστήματα ασφαλείας, είναι σχετικά δύσκολο να πλαστογραφηθεί ένα συμπεριφορικό προφίλ χρήστη και για αυτό χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα αποτελεσματικοί αλγόριθμοι κρυπτογράφησης τους, αλλά στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, μια και δεν υλοποιείται σύστημα ασφαλείας, η δεδομένη ιδιότητα δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα μας.

Είδαμε πως τα συμπεριφορικά βιομετρικά συστήματα είναι ελκυστικές λύσεις όσον αφορά εφαρμογές Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, καίτοι δεν πληρούν μερικές από τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί στο [1]. Αυτό προφανώς έχει να κάνει με τη φύση της εφαρμογής, που όσον αφορά τα συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, δεν εστιάζεται σε ταυτοποίηση και επιβεβαίωση ταυτότητας του προσώπου, αλλά σε

αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που αντανακλούν επιπτώσεις στην υγεία.

Αυτό που μας θα μας απασχολήσει ως πρόβλημα, είναι προαπαιτούμενο για την ανάπτυξη της εφαρμογής μας και θα επιχειρήσουμε να απαντήσουμε σε επόμενη παράγραφο είναι το πρόβλημα της καθολικότητας της *εκφράσεως* του ανθρώπινου συναισθήματος. Για να υλοποιηθεί ένα σύστημα αναγνώρισης συναισθήματος, η βασική αρχική παραδοχή μας είναι ότι τα αισθήματα που μας ενδιαφέρει να ανιχνεύονται σε ένα Σ.Υ.Δ, έχουν *καθολικό τρόπο έκφρασης*. Άρα, από τις αρχικές βασικές προαπαιτήσεις ενός βιομετρικού συστήματος, το συμπεριφορικό μοντέλο που θα αναπτύξουμε, έχει συν τοις άλλοις στον κύριο πυρήνα του την *καθολικότητα έκφρασης του συναισθήματος στο ανθρώπινο πρόσωπο*, παράλληλα με τις κλασσικές απαιτήσεις της ευκολίας συλλογής, της αποδοχής από τους χρήστες και της απόδοσης.

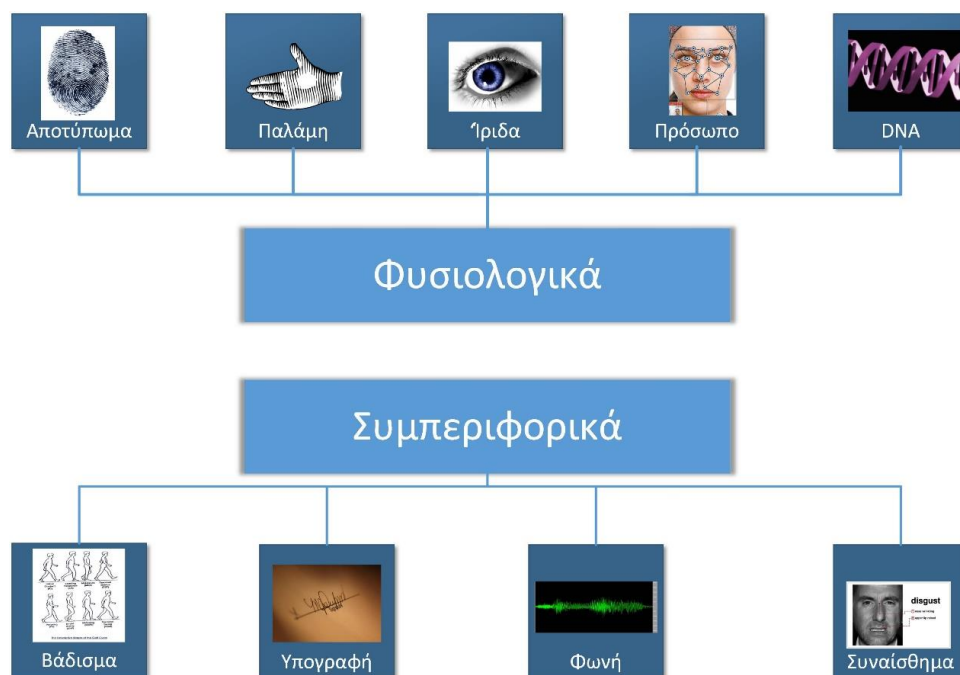
3.3 Κατηγοριοποίηση βιομετρικών χαρακτηριστικών και συστημάτων

3.3.1 Κατηγοριοποίηση Βιομετρικών Χαρακτηριστικών

Η κύρια κατηγοριοποίηση βιομετρικών χαρακτηριστικών που απαντάται στη βιβλιογραφία, είναι αυτή που κάνει τη διάκριση μεταξύ φυσιολογικών (ή παθητικών) και συμπεριφορικών (ή ενεργητικών) χαρακτηριστικών. Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε και από την Εικόνα 5, η κύρια ιδιότητα των φυσιολογικών χαρακτηριστικών είναι η εν γένει σταθερότητά τους καθώς και η καθολικότητά τους, ενώ το κύριο χαρακτηριστικό των συμπεριφορικών είναι η παροδικότητά τους. Τα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά είναι πεπερασμένης χρονικής διάρκειας –και συνήθως αρκετά μικρής- και πραγματοποιούνται από ένα άτομο μια συγκεκριμένη

χρονική στιγμή, εκτελώντας μια συγκεκριμένη πράξη, όπως για παράδειγμα η υπογραφή ενός εγγράφου ή ομιλία.

Μια δεύτερη ενδιαφέρουσα κατηγοριοποίηση είναι αυτή που κάνει διάκριση ανάμεσα σε *στατικά* και *δυναμικά* χαρακτηριστικά και έχει κυρίως να κάνει με το πότε λαμβάνουμε τη μέτρηση του χαρακτηριστικού που μας ενδιαφέρει. Όταν λέμε «στατικό» εννοούμε ένα χαρακτηριστικό που δεν υποκρύπτει «δράση» κατά τη λήψη του και «δυναμικό» ένα χαρακτηριστικό που λαμβάνεται εξελισσόμενο στο χρόνο. Έτσι για παράδειγμα, μια υπογραφή μπορεί να μετρηθεί ως στατικό χαρακτηριστικό, αφού την εξετάσουμε μετά την αποτύπωσή της, ή ως δυναμικό χαρακτηριστικό, αν την παρατηρήσουμε την ώρα της διαδικασίας.



Εικόνα 5 : Ο διαχωρισμός φυσιολογικών (physiological) και συμπεριφορικών (behavioral) βιομετρικών χαρακτηριστικών

Αλλάζοντας οπτική γωνία και επικεντρωνόμενοι στο κατά πόσο ένα χαρακτηριστικό επιτρέπει το διαχωρισμό μεταξύ δύο προσώπων αλλά και του πόσο μόνιμο είναι, κατηγοριοποιούμε τα βιομετρικά χαρακτηριστικά ως «hard» και «soft». Τα «soft» βιομετρικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι μετρήσεις διακριτών ή συνεχών τιμών,

όπως π.χ. το βάρος, το ύψος, το φύλο, η εθνικότητα, το χρώμα των ματιών, αλλά δεν επαρκούν για ουσιαστικό διαχωρισμό και ταυτοποίηση. Τα «hard» βιομετρικά χαρακτηριστικά από την άλλη, πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για να γίνεται πλήρη διάκριση μεταξύ 2 ατόμων. Κλασσικά παραδείγματα των hard χαρακτηριστικών είναι το DNA και το δακτυλικό αποτύπωμα. Προφανώς τα soft βιομετρικά δεν χρησιμοποιούνται για ταυτοποίηση ή αναγνώριση (παρά μόνο σε συστήματα που συνδυάζονται με hard), όμως έχουν σημαντικότητα εφαρμογή σε συστήματα που συνδέουν ένα πρόσωπο με ένα προφίλ, διατηρώντας την ανωνυμία.

3.3.2 Κατηγοριοποίηση βιομετρικών συστημάτων

Τα βιομετρικά συστήματα στη βιβλιογραφία χωρίζονται σε Unimodal (μονοτροπικά) και Multimodal (πολυτροπικά). Στην πρώτη κατηγορία απαντάμε συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται μόνο ένα βιομετρικό χαρακτηριστικό (π.χ. δακτυλικό αποτύπωμα) ενώ στη δεύτερη συστήματα που εξετάζουν παραπάνω από ένα χαρακτηριστικά με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσής τους στις διαδικασίες ταυτοποίησης, σύνταξης προφίλ κλπ. Τα τελευταία χρόνια απαντάται και μια νέα κατηγορία βιομετρικών συστημάτων, τα λεγόμενα Intramodal (διατροπικά) που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές για την εκμετάλλευση ενός βιομετρικού χαρακτηριστικού [21],[35],[36].

3.4 Εφαρμογές Βιομετρικών Συστημάτων

Έχει ήδη προειπωθεί ότι τα βιομετρικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ταυτοποίησης, επιβεβαίωσης ταυτότητας και σύνθεσης προφίλ (profiling) του ατόμου. Ας δούμε λίγο πιο αναλυτικά τι συμβαίνει σε κάθε μία από αυτές τις εφαρμογές :

- Στη ταυτοποίηση, το αποτυπούμενο βιομετρικό χαρακτηριστικό συγκρίνεται με μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει δεδομένα αναφοράς (templates) προκειμένου να βρεθεί η ταυτότητα του ατόμου που προσπαθεί να αποκτήσει πρόσβαση στο σύστημα ή σε κάποια περιοχή/λειτουργία που ελέγχεται από το σύστημα. Αν, εντός ενός αποδεκτού διαστήματος εμπιστοσύνης (το οποίο εξαρτάται από τις προδιαγραφές, το εν χρήσει βιομετρικό και τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής) τα δεδομένα εισαγωγής ταιριάζουν με κάποιο από τα δεδομένα αναφοράς, τότε το σύστημα επιστρέφει τα στοιχεία του ατόμου, του οποίου τα δεδομένα αναφοράς ταιριάζουν περισσότερο με τα δεδομένα εισαγωγής. Συγκρίνουμε δηλαδή 1 άτομο με N αποθηκευμένα πρότυπα (1:N σύγκριση).
- Στην επιβεβαίωση ταυτότητας, τα δεδομένα εισόδου, συγκρίνονται με δείγματα αναφοράς, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ταυτότητα του ατόμου που προσπαθεί να αποκτήσει πρόσβαση. Δηλαδή ο χρήστης ισχυρίζεται ότι είναι ο X και το σύστημα συγκρίνει τα δεδομένα του με τα αποθηκευμένα δεδομένα του X και αν ταιριάζουν, πάλι εντός συγκεκριμένων ορίων σφάλματος, τότε έχουμε επιβεβαίωση. Έχουμε δηλαδή μια 1:1 σύγκριση.

Όταν έχουμε επιτυχημένη ταυτοποίηση ή επιβεβαίωση λέμε ότι έχουμε ένα αληθώς θετικό αποτέλεσμα (true positive) ενώ όταν έχουμε επιτυχημένη απόρριψη έχουμε αληθώς αρνητικό (true negative)[1],[2],[37]

- Η διαδικασία κατασκευής προφίλ συνήθως έχει σκοπό να επιβεβαιώνουν την ένταξη ενός ατόμου σε μια ομάδα, ή την αναγνώρισή του ως μέλος μιας ομάδας γενικότερα. Σε μια εφαρμογή Υποβοηθούμενης Διαβίωσης όμως, στην οποία κάνουμε χρήση συμπεριφορικών βιομετρικών χαρακτηριστικών, το προφίλ έχει να κάνει με υγιείς ή μη συμπεριφορές ή καλύτερα

συμπεριφορές που αποκαλύπτουν υποβόσκοντα προβλήματα. Έτσι, σκοπός σε τέτοια περίπτωση είναι να ανιχνεύουμε τις όποιες αποκλίνουσες συμπεριφορές του αντικειμένου με σκοπό την έγκαιρη ιατρική επέμβαση[6],[38]

3.5 Το ανθρώπινο πρόσωπο ως εκφραστής του συναισθήματος

Στην καθημερινότητά μας, άλλοτε με επιτυχία και άλλοτε όχι, είμαστε συνηθισμένοι και «εκπαιδευμένοι» κοινωνικά, να ανιχνεύουμε τη συναισθηματική κατάσταση των γύρω μας από τη λεγόμενη «γλώσσα του σώματος» με επίκεντρο συνήθως τις εκφράσεις του προσώπου. Το ανθρώπινο πρόσωπο παράγει πληθώρα «σημάτων» για τα οποία μεταφέρουν πολλαπλά μηνύματα. Προσπαθώντας να αποκρυπτογραφήσουμε το συναίσθημα στο πρόσωπο, μπορεί να εστιάσουμε στο λάθος «σήμα». Ή μπορεί να μην καταφέρουμε να διακρίνουμε επαρκώς το μήνυμα μεταξύ των διαφορετικών εκφράσεων που παίρνει το πρόσωπο. Η δυσκολία έγκειται στο ότι για να καταφέρουμε να αναγνωρίσουμε το συναίσθημα που εκφράζεται, πρέπει να εστιάσουμε σε παροδικές και συνήθως ταχείες αλλαγές στο πρόσωπο. Οι πληροφορίες που εξάγουμε από την εικόνα ενός ανθρώπινου προσώπου, μπορούν να διαχωριστούν σε 3 κατηγορίες, αναφορικά με το πόσο διαρκούν:

- Στατικές : Το χρώμα του δέρματος, το σχήμα του προσώπου, η δομή των οστών, των χόνδρων, των λιπωδών ιστών και η θέση, το σχήμα και το μέγεθος των χαρακτηριστικών του.

- Αργές: Χαρακτηριστικά που αλλάζουν σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου όπως μόνιμες ρυτίδες, αλλαγές στο μυϊκό τόνο, στην υφή και το χρώμα του δέρματος, κυρίως στα ύστερα στάδια της ενηλικίωσης.
- Γρήγορες : Παράγονται από τις κινήσεις των μυών του προσώπου, με αποτέλεσμα προσωρινές αλλαγές στην εμφάνιση του προσώπου, μετατοπίσεις στην τοποθεσία και αλλαγή του σχήματος των χαρακτηριστικών, καθώς και προσωρινές ρυτίδες. Αυτές οι αλλαγές, συμβαίνουν σε ένα διάστημα δευτερολέπτων ή ακόμα και κλασμάτων του δευτερολέπτου[39]

Το πρόσωπο όπως προείπαμε, δεν είναι απλά ένα σύστημα μετάδοσης πολλαπλών σημάτων (multisignal system) αλλά και μετάδοσης πολλαπλών μηνυμάτων (multimessage system). Το πρόσωπό μας «εκπέμπει» μηνύματα για το συναίσθημα, τη διάθεση, τη συμπεριφορά, το χαρακτήρα, την ευφυΐα, την ηλικία, το φύλο, τη φυλή κλπ. Εδώ θα μας απασχολήσει μόνο ένας τύπος μηνύματος, αυτός του συναισθήματος.

Όταν μιλάμε για συναισθήματα, αναφερόμαστε στις παροδικές καταστάσεις, της έκπληξης, του θυμού, της χαράς κλπ. Όταν αισθανόμαστε κάτι τέτοιο, οι μύες του προσώπου μας συσπώνται και παρατηρούνται σαφείς αλλαγές στην εμφάνιση του προσώπου. Ρυτίδες εμφανίζονται και εξαφανίζονται, το στόμα αλλάζει σχήμα, τα φρύδια ανασηκώνονται ή σμίγουν, τα μάτια αλλάζουν και αυτά σχήμα κλπ. Είναι σκόπιμο εδώ να τονίσουμε ότι τα συναισθηματικά μηνύματα που εκπέμπουμε δεν μεταδίδονται από τα στατικά ή τα «αργά» σήματα του προσώπου, αν και αυτά μπορεί να επηρεάσουν την αντίληψή μας. Αν κάποιος έχει ένα παχύ ή λεπτό πρόσωπο, με ρυτίδες ή όχι, αν είναι άντρας ή γυναίκα, λευκός ή ασιάτης κ.λπ., δε μας πληροφορεί γιατί ή αν το συγκεκριμένο πρόσωπο μπορεί να είναι π.χ. θυμωμένο. Πιθανόν μέσω αυτών των χαρακτηριστικών αν αποκομίσουμε κάποια έξτρα πληροφορία για τις

αιτίες του θυμού, αλλά η διερεύνηση τέτοιων πληροφοριών είναι εκτός του σκοπού μας.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, ασχολούμαστε με «εμβληματικά» μηνύματα. Ο όρος «εμβληματικός» χρησιμοποιείται για να περιγράψει σήματα το μήνυμα των οποίων είναι εντελώς συγκεκριμένο, με σαφείς κινήσεις του προσώπου, εύκολα αναγνωρίσιμες ανάμεσα σε άλλες[40].

Στο σημείο αυτό λοιπόν, εγείρονται τα εξής ερωτήματα που η παρούσα διδακτορική διατριβή επιχειρεί να απαντήσει ακολούθως:

A. Ποια συναισθήματα αποτυπώνονται στο ανθρώπινο πρόσωπο;

B. Είναι ακριβής η αναγνώριση;

Γ. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το συναίσθημα ως βιομετρικό χαρακτηριστικό;

3.6 Σχετική έρευνα και ποιοτικά χαρακτηριστικά έκφρασης συναισθημάτων στο ανθρώπινο πρόσωπο

Η μελέτη του ανθρώπινου συναισθήματος προφανώς είναι αντικείμενο έρευνας της επιστήμης της ψυχολογίας. Πριν περάσουμε όμως στο καθαρά τεχνικό μέρος της αυτόματης ανίχνευσης του συναισθήματος από την εικόνα ενός προσώπου, πρέπει να βασιστούμε σε αποτελέσματα ερευνών ψυχολόγων και ανθρωπολόγων που έχουν επικεντρωθεί στην έρευνα του συναισθήματος και της έκφρασής του. Η έρευνα για την έκφραση των συναισθημάτων μας στο πρόσωπό μας, ξεκινά ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και μάλιστα από τον Κάρολο Δαρβίνο στο "The expression of Emotions in Man and Animals", το 1872 [41]. Από τότε έχουν γίνει εκατοντάδες πειράματα, των οποίων τα αποτελέσματα έχουν συγκεντρωθεί σε μια ολοκληρωμένη και ποσοτική έρευνα από τους Ekman, Friesen και Ellsworth εδώ και ήδη αρκετά χρόνια[42],[43]

3.6.1 Ποια συναισθήματα αποτυπώνονται στο πρόσωπο;

Το πρόσωπό μας, εκφράζει μόνο δυσφορία ή ευφορία ή μπορεί να μας δώσει ακριβέστερη πληροφορία, μεταφέροντας ακριβώς ποιο συναίσθημα βιώνουμε; Αν ισχύει το δεύτερο, πόσα λοιπόν από αυτά τα συγκεκριμένα συναισθήματα μπορούμε να ανιχνεύσουμε στο ανθρώπινο πρόσωπο; Η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιούνταν για την εξακρίβωση αυτή ήταν να επιδεικνύονται σε παρατηρητές φωτογραφίες προσώπων και να ερωτούνται ποιο συναίσθημα αντιλαμβάνονται από αυτές [39]. Οι παρατηρητές είτε είχαν στη διάθεσή τους μια συγκεκριμένη λίστα από πιθανές απαντήσεις ή αφήνονταν στην κρίση τους να απαντήσουν όπως εκείνοι νόμιζαν. Ο ερευνητής ανέλυε τις απαντήσεις των διαφορετικών παρατηρητών και κατέγραφε τα ποσοστά συμφωνίας τους σε συγκεκριμένα πρόσωπα. Για παράδειγμα θα μπορούσε να βρει ότι το 80% των ερωτηθέντων συμφωνούσε πως ένα συγκεκριμένο πρόσωπο χαρακτηριζόταν ως «φοβισμένο», ενώ για παράδειγμα ένα πρόσωπο που χαρακτηριζόταν «αδιαφορών» από κάποιους, από άλλους χαρακτηριζόταν αλλιώς. Βάσει τέτοιων αποτελεσμάτων, οι ερευνητές κατέληξαν στο ποια είναι τα βασικά συναισθήματα που εκφράζει το πρόσωπο και είναι ευκολότερα αναγνωρίσιμα.

Έτσι, καταλήγουμε σε έξι βασικά συναισθήματα : χαρά, λύπη, έκπληξη, θυμός και αηδία, τα οποία εμφανίστηκαν σε κάθε έρευνα που αναζητούσε την καταγραφή της βασικής γκάμας έκφρασης συναισθημάτων στο ανθρώπινο πρόσωπο τα τελευταία εξήντα χρόνια. Προφανώς υπάρχουν και άλλα συναισθήματα που εκφράζονται από το πρόσωπο –η ντροπή και ο ενθουσιασμός για παράδειγμα. Αυτά όμως ακόμα δεν έχουν αποδειχθεί στατιστικά [39,40,42,43,44,45]

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα 6 βασικά συναισθήματα που αποτυπώνονται στο ανθρώπινο πρόσωπο:



Εικόνα 6 : Τα 6 βασικά συναισθήματα όπως αυτά αποτυπώνονται στο πρόσωπο: Θυμός, Φόβος, Αηδία, Έκπληξη, Χαρά, Λύπη

3.6.2 Είναι ακριβής η αναγνώριση;

Οι ερευνητές εδώ αντιμετώπισαν το εξής πρόβλημα: Δεν είναι αρκετό απλά να διαπιστώσουμε ποια είναι τα συναισθήματα που «διαβάζουμε» από τις ανθρώπινες εκφράσεις. Είναι εξίσου σημαντικό να ανακαλύψουμε αν οι ερμηνείες που δίνουν οι παρατηρητές είναι σωστές ή όχι. Όταν οι άνθρωποι κοιτούν κάποιο πρόσωπο και αντιλαμβάνονται ότι εκφράζει φόβο, έχουν δίκιο ή κάνουν λάθος; Οι εκφράσεις του προσώπου όντως αντανακλούν με ακρίβεια το βιούμενο συναίσθημα; Ή μήπως πρόκειται για στερεότυπα που απλά μας οδηγούν σε λάθος συμπεράσματα. Για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση οι ερευνητές εξέτασαν πρώτα ανθρώπους για τους οποίους οι ίδιοι γνώριζαν το συναίσθημα που εκφραζόταν στο πρόσωπο ενώ προφανώς ο ερωτώμενος παρατηρητής, όχι. Αν λοιπόν η γνώμη του παρατηρητή

συνέπιπτε με την a priori γνώση του ερευνητή για την έκφραση, τότε είχαμε επιτυχία.
Αν όχι, αποτυχία.

Επιτυχημένα πειράματα έγιναν για να κριθεί η αποτύπωση του συναισθήματος και η αναγνώρισή του σε πληθώρα διαφορετικών καταστάσεων, από υγιείς ανθρώπους που έβλεπαν μια ταινία τρόμου /μια κωμωδία, μέχρι ασθενείς ψυχιατρικών ιδρυμάτων που υποβάλλονταν σε εμπειρία στρες ή χαλάρωσης. Οι μελέτες των Ekman και Friesen αφορούσαν βέβαια αυθόρμητες εκφράσεις προσώπου που συμβαίνουν υπό σαφή ερεθίσματα και το αντικείμενο δεν προσπαθεί να αποκρύψει τι αισθάνεται. Στην επόμενη εικόνα μπορούμε να δούμε ένα δείγμα από τα αποτελέσματα αναγνώρισης εκφράσεων από διαφορετικούς παρατηρητές, διαφορετικού πολιτιστικού υποβάθρου [39],[45]

Χώρα προέλευσης ερωτώμενων		UNITED STATES	BRAZIL	CHILE	ARGENTINA	JAPAN
#Ερωτώμενων		99	40	119	168	29
Ποσοστά Επιτυχών Απαντήσεων						
	Φόβος	85%	67%	68%	54%	66%
	Αηδία	92%	97%	92%	92%	90%
	Χαρά	97%	95%	95%	98%	100%
	Θυμός	67%	90%	94%	90%	90%

Εικόνα 7 : Αποτελέσματα των πειραμάτων του Paul Ekman

3.7 Το συναίσθημα ως βιομετρικό χαρακτηριστικό

Το συναίσθημα ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις των συμπεριφορικών βιομετρικών χαρακτηριστικών, όπως αυτές τέθηκαν στην παράγραφο 3.5 για να θεωρηθεί χρήσιμο. Ένα από τα γενικά βασικά στοιχεία των βιομετρικών χαρακτηριστικών όμως, όπως έχουμε ήδη προαναφέρει, είναι και η καθολικότητα. Μια και εδώ επικεντρωνόμαστε σε ένα soft βιομετρικό χαρακτηριστικό, υπό την έννοια ότι είναι ένα χαρακτηριστικό που μας παρέχει πληροφορία για ένα άτομο, αλλά όχι πληροφορία χρήσιμη για διαχωρισμό ατόμων –η μοναδικότητά του δηλαδή είναι ανύπαρκτη- και ταυτόχρονα ένα *δυναμικό βιομετρικό* χαρακτηριστικό, πράγμα που σημαίνει πως είναι παροδικό, λείπει ένα βασικό στοιχείο που δεν είναι μεν απαραίτητο για ένα συμπεριφορικό χαρακτηριστικό, είναι όμως απαραίτητο εδώ:

Η καθολικότητα της *έκφρασης* του συναισθήματος. Μπορεί το συναίσθημα να είναι εύκολο να «συλλεχθεί» από μια εικόνα, χωρίς παρεμβατικότητα στη ζωή του χρήστη κ.λπ., αλλά αν η έκφρασή του *διαφέρει* από χρήστη σε χρήστη και από κουλτούρα σε κουλτούρα, τότε το τεχνικό έργο της αναγνώρισής του είναι κενό νοήματος. Κοινώς, το ερώτημα που πρέπει να απαντήσουμε εδώ είναι το εξής:

Τα 6 βασικά συναισθήματα που περιγράψαμε παραπάνω, είναι καθολικά στην έκφρασή τους ή όχι; Είναι οι εκφράσεις του συναισθήματος στο πρόσωπο ίδιες για όλους τους ανθρώπους, ανεξαρτήτως καταγωγής, γλώσσας, κουλτούρας και φυλής; Όταν κάποιος είναι θυμωμένος θα δούμε την ίδια έκφραση στο πρόσωπό του; Ή μήπως οι εκφράσεις των συναισθημάτων είναι μια καινούρια «γλώσσα» που πρέπει να μαθαίνουμε για κάθε κουλτούρα, όπως ακριβώς και μια ξένη γλώσσα;

Ο πρώτος ισχυρισμός πως οι εκφράσεις του προσώπου είναι παγκόσμιες και δεν μαθαίνονται διαφορετικά σε κάθε κουλτούρα έγινε από τον Δαρβίνο στο *The Expression of the Emotions in Man and Animals* [41].

Ο Δαρβίνος ισχυρίστηκε ότι είναι βιολογικά καθορισμένες και προϊόντα της ανθρώπινης εξέλιξης.

Μόνο σχετικά πρόσφατα, την τελευταία 30ετία, οι ερευνητές απέδειξαν τελειωτικά ότι οι εκφράσεις των 6 βασικών συναισθημάτων τουλάχιστον, είναι όντως *καθολικές*, και οι μόνες πιθανές διαφορές που εξαρτώνται από το πολιτισμικό υπόβαθρο έχουν να κάνουν με το ποιες συνθήκες τις *προκαλούν* όπως απέδειξε η έρευνα των Ekman και Friesen.

Σε ένα πείραμα, οι ερευνητές αυτοί έδειξαν ταινίες τρόμου σε φοιτητές στην Αμερική και στην Ιαπωνία. Τις ταινίες οι φοιτητές τις έβλεπαν κατά το ήμισυ μόνοι τους και κατά το ήμισυ μαζί με κάποιον ερευνητή στον οποίο ταυτόχρονα μιλούσαν για την εμπειρία. Οι μετρήσεις που έγιναν στις συσπάσεις του προσώπου τους που κατεγράφησαν σε βίντεο, έδειξαν ότι όταν ήταν μόνοι τους, οι Ιάπωνες και οι Αμερικάνοι είχαν σχεδόν ταυτόσημες εκφράσεις.



Εικόνα 8 : Αριστερά Αμερικάνος φοιτητής και δεξιά Ιάπωνας φοιτητής, στη δοκιμασία άγχους

Όταν όμως βρίσκονταν μαζί με ερευνητή, εκεί που οι πολιτισμικές επιταγές για τη διαχείριση των συναισθημάτων και την επίδειξή τους έμπαιναν στο προσκήνιο, τότε είχαμε σαφείς διαφορές μεταξύ των 2 αντικειμένων. Οι πιο συγκρατημένοι και «ευπρεπείς» Ιάπωνες, έκρυβαν τις εκφράσεις δυσάρεστων συναισθημάτων πολύ περισσότερο από τους Αμερικάνους. Αυτή η μελέτη ήταν ιδιαίτερα σημαντική στο να επιδείξει τι είναι καθολικό στην έκφραση των συναισθημάτων και τι εξαρτάται από το πολιτισμικό υπόβαθρο [39].

Η καθολική λοιπόν συνιστώσα, το καθολικό χαρακτηριστικό στην έκφραση του συναισθήματος είναι η συγκεκριμένη εμφάνιση του προσώπου για κάθε ένα από τα 6 πρωταρχικά συναισθήματα.

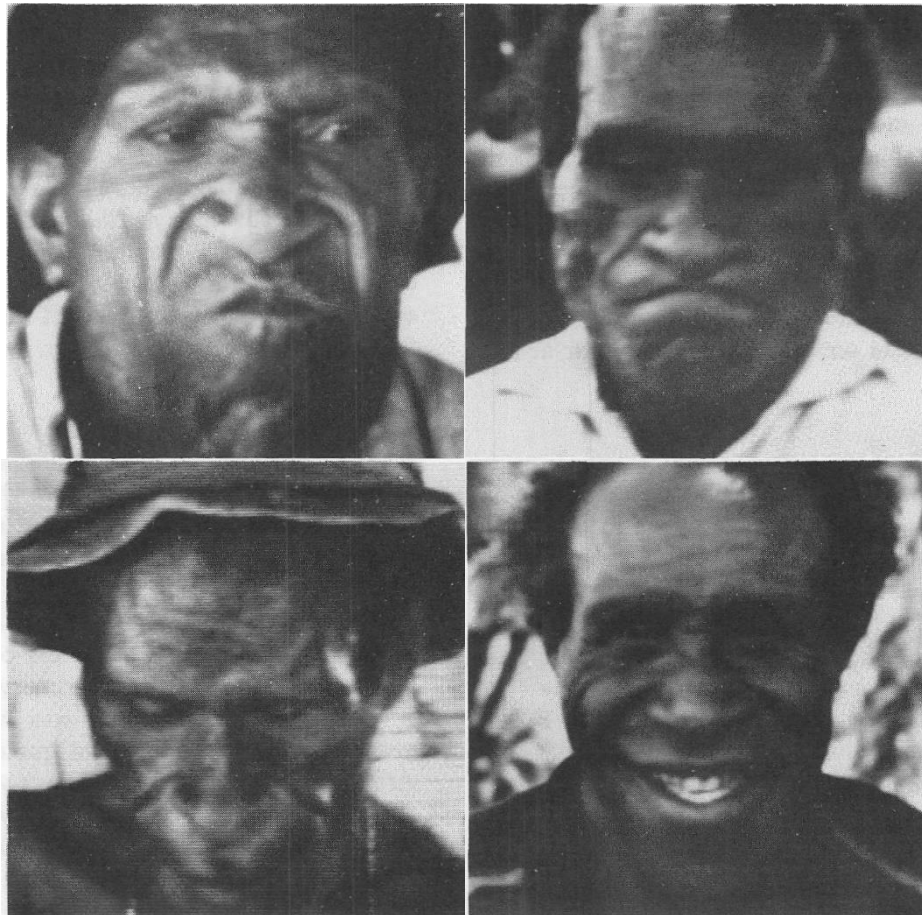


Εικόνα 9 : Οι εκφράσεις των 6 πρωταρχικών συναισθημάτων, σύμφωνα με τους Ekman και Friesen

Αλλά, πρέπει να σημειώσουμε πως άνθρωποι σε διαφορετικές κουλτούρες διαφέρουν στο τι έχουν διδαχθεί για τη διαχείριση και τον έλεγχο της έκφρασης των συναισθημάτων τους δημοσίως. Στην Εικόνα 7 είδαμε τα αποτελέσματα ενός αντίστροφου πειράματος, που εξέταζε τι αντιλαμβάνεται ο δέκτης του μηνύματος του προσώπου, ανάλογα το υπόβαθρό του. Έτσι, ερωτώμενοι από τις Η.Π.Α, την Ιαπωνία, τη Χιλή, την Αργεντινή και τη Βραζιλία, κλήθηκαν να απαντήσουν ποιο πρωταρχικό συναίσθημα αναγνωρίζουν σε εικόνες που τους επιδείκνυαν οι ερευνητές. Αν οι εκφράσεις του προσώπου ήταν μια «γλώσσα» που διέφερε από χώρα σε χώρα, τότε μια έκφραση που Αμερικάνος θα θεωρούσε «θυμό» ίσως Ιάπωνας να θεωρούσε «αηδία» ή «φόβο», ή να μη σημαίνει τίποτα για ένα Βραζιλιάνο. Όμως τα αποτελέσματα απέδειξαν ακριβώς το αντίθετο. Οι ίδιες εκφράσεις σήμαιναν τα ίδια πράγματα σε όλες αυτές τις χώρες, ανεξάρτητα των πολιτιστικών τους διαφορών. Παράλληλα με τους Ekman και Friesen, ουσιαστικά το ίδιο πείραμα γινόταν ανεξάρτητα από την Carol Izard [46] με παρατηρητές από 8 διαφορετικές κουλτούρες, με τα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά την καθολικότητα της έκφρασης.

Εδώ όμως έπρεπε να καλυφθεί μια τελευταία αμφιβολία, αυτή της πολιτισμικής επαφής, της ανταλλαγής πληροφοριών μέσω της παγκοσμιότητας της πληροφορίας, των ταξιδιών κλπ. Έπρεπε οι ερευνητές, ως τελευταία απόδειξη για την καθολικότητα της έκφρασης του συναισθήματος, να σιγουρέψουν ότι τα αντικείμενα δεν είχαν επίκτητη γνώση της έκφρασης, μέσω των mass media, των ταξιδιών τους, των κοινωνικών τους επαφών με άλλες κουλτούρες κλπ. Να αποκλείσουν ότι πχ οι εκφράσεις του συναισθήματος στην “δυτική” κοινωνία μπορεί να είναι παρόμοιες ακριβώς επειδή τα τελευταία 80 χρόνια οι άνθρωποι στον ανεπτυγμένο κόσμο τις έχουν «μάθει» μέσω των ταινιών, της τηλεόρασης και των περιοδικών. Η απάντηση ήταν να εξετάσουν τελείως απομονωμένες κουλτούρες ανθρώπων που δεν είχαν ποτέ

έρθει σε επαφή με τα ΜΜΕ και καθόλου ή ελάχιστη επαφή με τον έξω κόσμο. Έτσι έγιναν πειράματα στα Νοτιοανατολικά Υψίπεδα της Νέας Γουϊνέας, όπου οι ψυχολόγοι και οι ανθρωπολόγοι ήρθαν σε επαφή με φυλές που πληρούσαν αυτά τα κριτήρια. Γίναν πάλι 2 κατηγορίες πειραμάτων, αυτή στην οποία οι κάτοικοι κλήθηκαν να αντιδράσουν σε μια «είδηση» και έγινε η καταγραφή των εκφράσεών τους, και μετά κλήθηκαν να κοιτάζουν εικόνες και να πουν τι βλέπουν. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους αυτών ήρθαν να επιβεβαιώσουν τα αποτελέσματα των προηγούμενων πειραμάτων τους όσον αφορά την καθολικότητα της έκφρασης των πρωταρχικών συναισθημάτων στο ανθρώπινο πρόσωπο. [39],[47]



Εικόνα 10 : Φωτογραφίες από τις προσπάθειες για αποτύπωση συναισθήματος στα πρόσωπα μελών φυλής της Νέας Γουϊνέας. Στην πάνω αριστερά, η οδηγία ήταν «βρίσκεις ένα νεκρό γουρούνι που κείται εκεί καιρό» στην πάνω δεξιά «είσαι θυμωμένος και έτοιμος για μάχη», στην κάτω αριστερά «το παιδί σου πέθανε», στην κάτω δεξιά «ήρθε ο καλός σου φίλος για επίσκεψη στο σπίτι σου και είσαι χαρούμενος».

Οι σκεπτικιστές απέναντι στα πειράματα του Ekman, Karl και Eleanor Heider, έκαναν δικά τους πειράματα στη Νέα Γουϊνέα, με φυλές ακόμα πιο απομονωμένες και κατέληξαν στα ίδια ακριβώς συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα λοιπόν των ερευνών των Ekman και Friesen, της Izard, των Heider, και στοιχεία από τον Eibl-Eibesfeldt στο «Ethology: The biology of behavior» [48] (έναν ηθολόγο με διαφορετικές μεθόδους), έδειξαν άνευ αμφιβολίας πως ο Δαρβίνος είχε δίκιο στον ισχυρισμό του ότι η έκφραση του ανθρώπινου συναισθήματος είναι *καθολική* σε όλες τις κουλτούρες.

Έτσι λοιπόν αποδεικνύεται ότι η έκφραση συναισθήματος ως βιομετρικού χαρακτηριστικού, σε Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, πληροί και το κριτήριο της *καθολικότητας*, πράγμα που θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο στη διαδικασία της κατηγοριοποίησης συναισθήματος και λήψης αποφάσεων αργότερα.

.

4

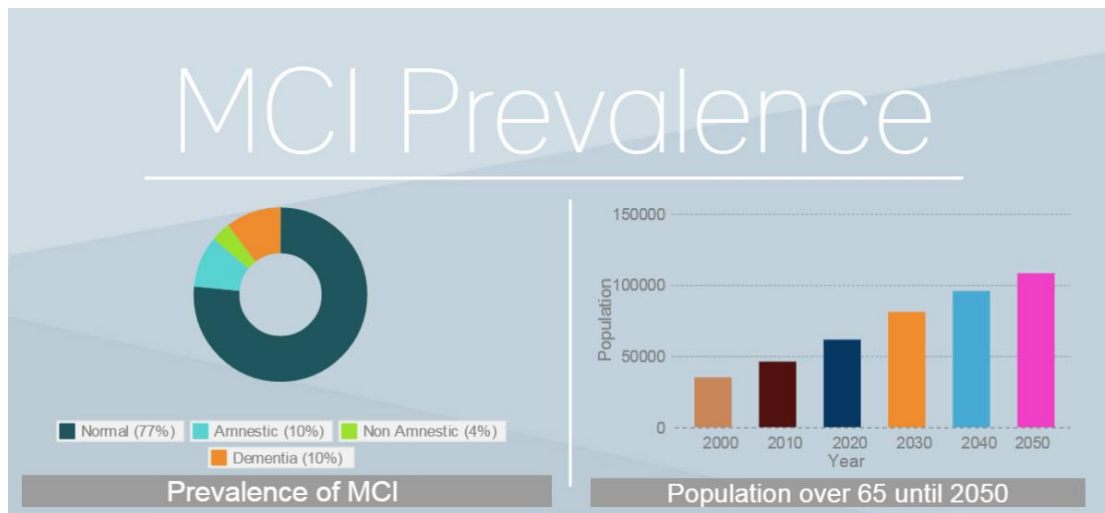
Η ανάγκη των Σ.Υ.Δ στη σύγχρονη

οικονομία και η ελληνική πραγματικότητα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η οικονομοτεχνική όψη των Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. Εξετάζουμε όψεις όπως σε ποιους απευθύνονται, ποια είναι τα κόστη για τα συστήματα υγείας, τους ασθενείς, τους οικείους τους και την εκάστοτε οικονομία, ποιες είναι οι κύριες αγορές στις οποίες απευθύνονται. Επίσης παρουσιάζεται η δομή της σχετικής βιομηχανίας μέσω μια ανάλυσης Porter. Τέλος γίνεται μια σύντομη ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης στην Ελλάδα.

4.1 Εισαγωγή

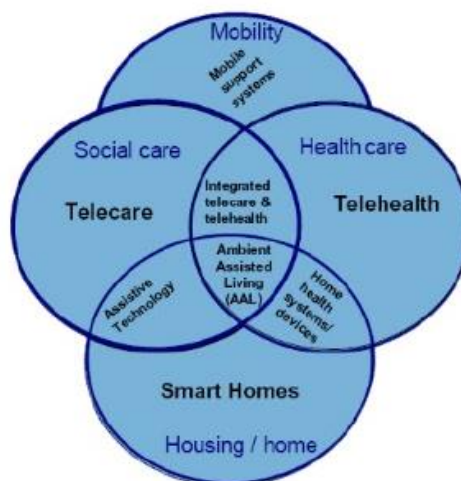
Ο παγκόσμιος πληθυσμός «γερνά» γρήγορα, και δεδομένης της επέκτασης του προσδοκώμενου μέσου όρου ζωής, η φροντίδα για τους ηλικιωμένους πρέπει να επανατεθεί σε νέες βάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η σωματική και η γνωστική παρακμή, αποτελούν αλληλένδετα προβλήματα που χρήζουν άμεσης προσοχής. Μια τέτοια σημαντική δημογραφική αλλαγή έχει έναν σοβαρό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής τόσο των ηλικιωμένων, όσο και των οικείων τους με έμμεσες αλλά σοβαρές συνέπειες στην οικονομία. Για αυτό, είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα προς την κατεύθυνση της έρευνας, ανάπτυξης και εμπορευματοποίησης τεχνολογιών που επιτρέπουν στους ηλικιωμένους να ζουν καλύτερα και πιο ανεξάρτητα, ενισχύοντας την αξιοπρέπεια και την ανεξαρτησία τους.



Εικόνα 11 : Ποσοστά επικράτησης Ήπιας Γνωστικής Έκπτώσης (Mild Cognitive Impairment) στους ασθενείς άνω των 60 καθώς και προβλέψεις για την πληθυσμιακή γήρανση μέχρι το 2050

4.2 Κατηγοριοποίηση των Σ.Υ.Δ στις σύγχρονες αγορές

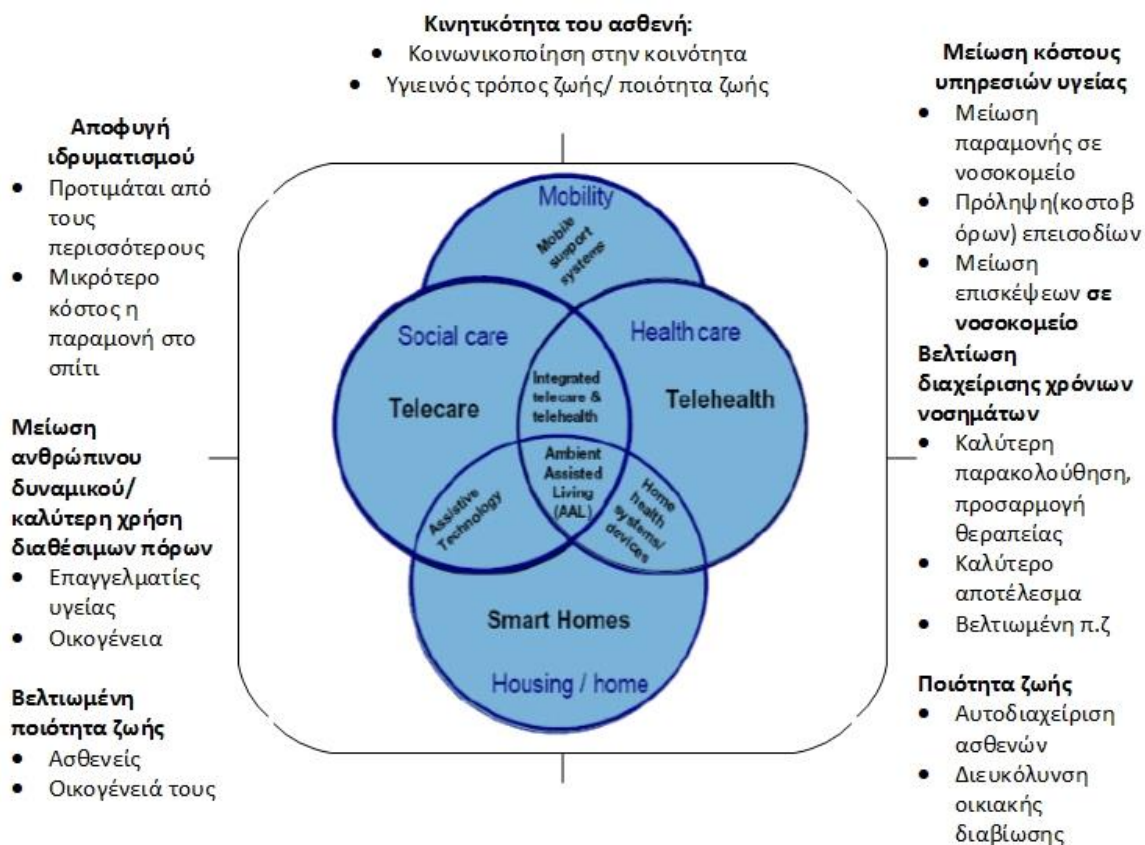
Μια πρόσφατη ανάλυση για εφαρμογές ICT στοχευμένες στους ηλικιωμένους καθόρισε τον τεχνολογικό χώρο στον οποίο αναπτύσσονται σε 3 κύρια σύνολα : Τηλεφροντίδα, οικιακές υπηρεσίες τηλεϊατρικής και έξυπνα σπίτια (European Comission, 2010)



Εικόνα 12: Τεχνολογικά domain στην τηλεφροντίδα για τους ηλικιωμένους

Αρχικά διακρίνονται διαφορετικές αγορές για την τηλεφροντίδα, την οικιακή τηλεϊατρική και τις τεχνολογίες έξυπνων σπιτιών και συστημάτων υποβοήθησης. Αυτά είναι τα αρχετυπικά domain που σύμφωνα με την επιτροπή αντανακλούν τη σημερινή αγορά. Είναι ορατή δε η διάκριση των υπηρεσιών πρόνοιας (Τηλεφροντίδα / Telecare) και των υπηρεσιών περίθαλψης (Τηλεϊατρική/Telehealth). Ένα ολοκληρωμένο Σ.Υ.Δ βρίσκεται στο σημείο σύγκλισης όλων αυτών, υλοποιώντας την ιδέα για μακροπρόθεσμες υπηρεσίες φροντίδας που αντιμετωπίζουν εκ του σχεδιασμού κοινωνικές, περιθαλπτικές και οικιακές ανάγκες, λαμβάνοντας υπόψη ενδεχομένως όχι μόνο τον ασθενή αλλά και του οικείου του που φροντίζουν για την καθημερινή περίθαλψή του. Ένα Σ.Υ.Δ που απευθύνεται σε ασθενείς με χρόνιες ασθένειες όπως η άνοια και το Alzheimer's λαμβάνει υπόψη εκτός από τις υπηρεσίες περίθαλψης και τις υπηρεσίες πρόνοιας.

Η αναφορά επιπλέον παρέχει μια πρώτη μέθοδο για την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας και ανάλυση των σύγχρονων αγορών. Προσθέτως παρέχεται ένα πλαίσιο για την απεικόνιση των σύγχρονων αναγκών και μια κατηγοριοποίηση των σχετικών λύσεων ICT.



Νέες επιλογές για τη φροντίδα στο σπίτι αντί του εγκλεισμού σε ίδρυμα

- Οι ηλικιωμένοι μένουν στο οικείο τους περιβάλλον
- Ανάπτυξη συγκεκριμένων οικιακών λύσεων για την αντιμετώπιση της ασθένειας

Εικόνα 13 : Οπτικοποιώντας τις ανάγκες σε σχέση με τις αντίστοιχες ICT εφαρμογές

Έτσι, παρουσιάζονται οι κύριες θεματικές τάσεις όσον αφορά το τρέχον γίνεσθαι στον τομέα των ICT για την οικιακή φροντίδα και την ανεξαρτητοποίηση της ζωής των ασθενών. Η τηλεφροντίδα και η οικιακή τηλεϊατρική καλύπτουν τις κύριες τρέχουσες προσπάθειες στην κοινωνική πρόνοια και την περίθαλψη αντίστοιχα, ενώ ήδη έχουμε αρκετές εφαρμογές και «γενιές» εφαρμογών που έχουν δοκιμαστεί και εφαρμοστεί. Οι τεχνολογίες υποστήριξης και οικιακής ή προσωπικής υγείας είναι επίσης δεδομένοι τομείς δράσης, με πολλά προϊόντα ήδη στην αγορά.

Τα «έξυπνα σπίτια» υπό την έννοια μιας πλήρους λύσης αυτοματισμού για την υποστηριζόμενη διαβίωση ασθενών δεν έχουν ακόμα πέραν του σταδίου του «σχεδίου επί χάρτου» ή της εργαστηριακής/demo εφαρμογής αν και κάποια στοιχεία

τους ήδη παρέχονται από υπάρχουσες τεχνολογικές λύσεις. Ένα πλήρες οικιακό σύστημα «Περιέουσας Υποβοηθούμενης Διαβίωσης» (Ambient Assisted Living) υπό αυτή την έννοια είναι μια φουτουριστική προσέγγιση δεδομένων χαρακτηριστικών όπως μη-παρεμβατικοί σένσορες, αναγνώριση συναισθημάτων, εκτίμηση ψυχολογικής κατάστασης πέραν των φυσιολογικών χαρακτηριστικών κ.λπ. όπως προτάθηκε και στα πλαίσια της παρούσας διατριβής στο [5].

Σύμφωνα με την αναφορά πάλι, τρέχουσες εξελίξεις στις αγορές υποδεικνύουν ότι πολλοί άνθρωποι που έχουν την ανάγκη υπηρεσιών περίθαλψης, πρόνοιας στην καθημερινότητά τους δέχονται αρχικά και μπορούν να ωφεληθούν από Σ.Υ.Δ. Για το μέλλον αναφέρεται το εξής:

“It remains to be seen what levels of demand will emerge for the complete AAL vision, even if many of the developments from RTD in this field can be expected to prove useful in the provision of ICT-based services of more delimited and less pervasive scope.” [49]

4.3 Το κόστος της άνοιας και σχετικών νοσημάτων

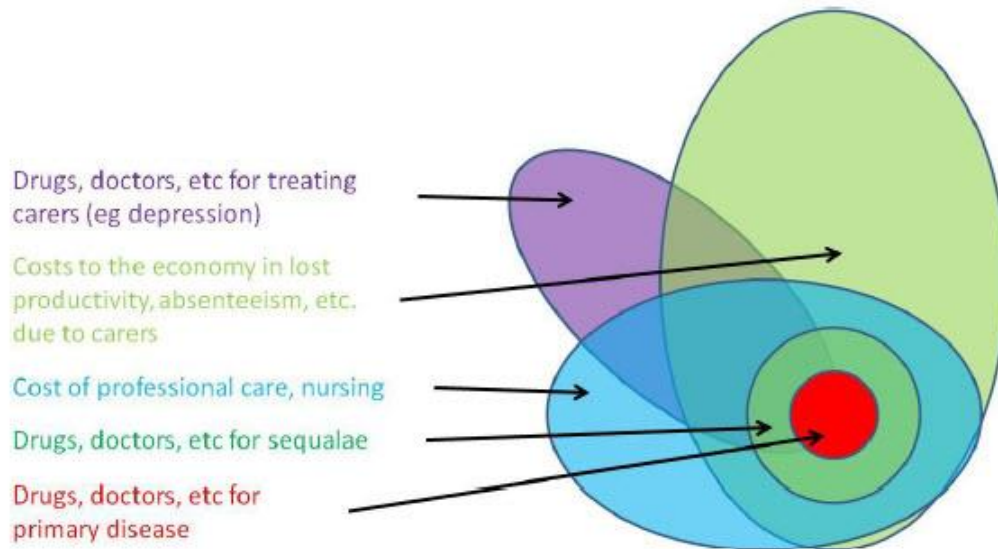
Η συγκεκριμένη κατηγορία ασθενειών (Alzheimer's, αγγειακή άνοια, νόσος Parkinson κ.λπ.) έχει έναν πολύπλοκο αντίκτυπο που ξεπερνά κατά πολύ τη χειροτέρευση της υγείας του ασθενή. Στην προσπάθεια να ποσοτικοποιήσουμε την επίδραση αυτών των ασθενειών πρέπει πρώτα να την κατατιμήσουμε σε κόστη που μπορούν να εκτιμηθούν:

- Ο ασθενής χρειάζεται ιατρική φροντίδα για την ασθένειά του. Γιατροί, νοσοκόμες, φάρμακα και άλλου είδους θεραπείες
- Ο ασθενής θα αναπτύξει κατά πάσα πιθανότητα δευτερεύουσες διαταραχές που οφείλονται στο κύριο νόσημά του. Κατάθλιψη, αϋπνίες κ.λπ. που μπορεί

να οδηγήσουν σε υποσιτισμό. Οι δευτερεύουσες διαταραχές πρέπει επίσης να αντιμετωπιστούν ανάλογα.

- Ο ασθενής θα χρειάζεται και κάποιου είδους επαγγελματική φροντίδα και περίθαλψη. Κάποιοι ασθενείς μπαίνουν σε κάποιο ίδρυμα ενώ άλλοι παραμένουν σπίτι, όπου απαιτούνται τακτικές επισκέψεις ενός επαγγελματία υγείας. Αυτό το κόστος δεν αντιστοιχεί τόσο στην περίθαλψη της ασθένειας ή των συμπτωμάτων της αλλά πιο πολύ στην υποστήριξη του ασθενή.
- Επίσης εκτός από τους ασθενείς, είναι πιθανόν να έχουμε εκδήλωση ψυχιατρικής φύσεως προβλημάτων στους οικείους τους, λόγω της στρεσογόνου κατάστασης, οπότε και αυτοί χρήζουν βοήθειας, δημιουργώντας έτσι άλλον ένα παράγοντα κόστους.
- Τέλος, οι ασθενείς και οι περιθάλποντές τους (από το οικογενειακό περιβάλλον) αδυνατούν να εργάζονται. Αν και η πλειοψηφία των ασθενών δεν είναι σε ηλικία που κάποιος εργάζεται, το κόστος στην οικονομία από τις συχνές απουσίες από την εργασία τους, των οικείων τους που τους φροντίζουν, δεν είναι καθόλου αμελητέο. Ακόμα περισσότερο δε, όταν ένας από τους φροντίζοντες αναγκαστεί να σταματήσει την εργασία του για να αφιερωθεί πλήρως στις ανάγκες του ασθενή.

Όσον αφορά τον τελευταίο αυτό παράγοντα, ο αντίκτυπος σε επιχειρήσεις και την οικονομία είναι ακόμα εκτενέστερος και ξεπερνά τη μείωση παραγωγικότητας και τις συνεχείς απουσίες, εξαιτίας των ασφαλιστικών δαπανών που σχετίζονται με τις ασθένειες. Στην Ευρώπη που συνήθως υπάρχει κρατική περίθαλψη αυτό δεν αποτελεί μεγάλο παράγοντα αλλά στις Η.Π.Α το κόστος αυτό εκτινάσσεται περίπου στα 25 δις δολάρια μόνο για το Alzheimer's [51]



Εικόνα 14 : Αναπαράσταση του κόστους νευροεκφυλιστικής ασθένειας. Το μέγεθος των περιοχών υποδεικνύει μέγεθος κόστους

Παρακάτω βλέπουμε εκτιμήσεις για το συνολικό κόστος της ασθένειας στην Ευρώπη

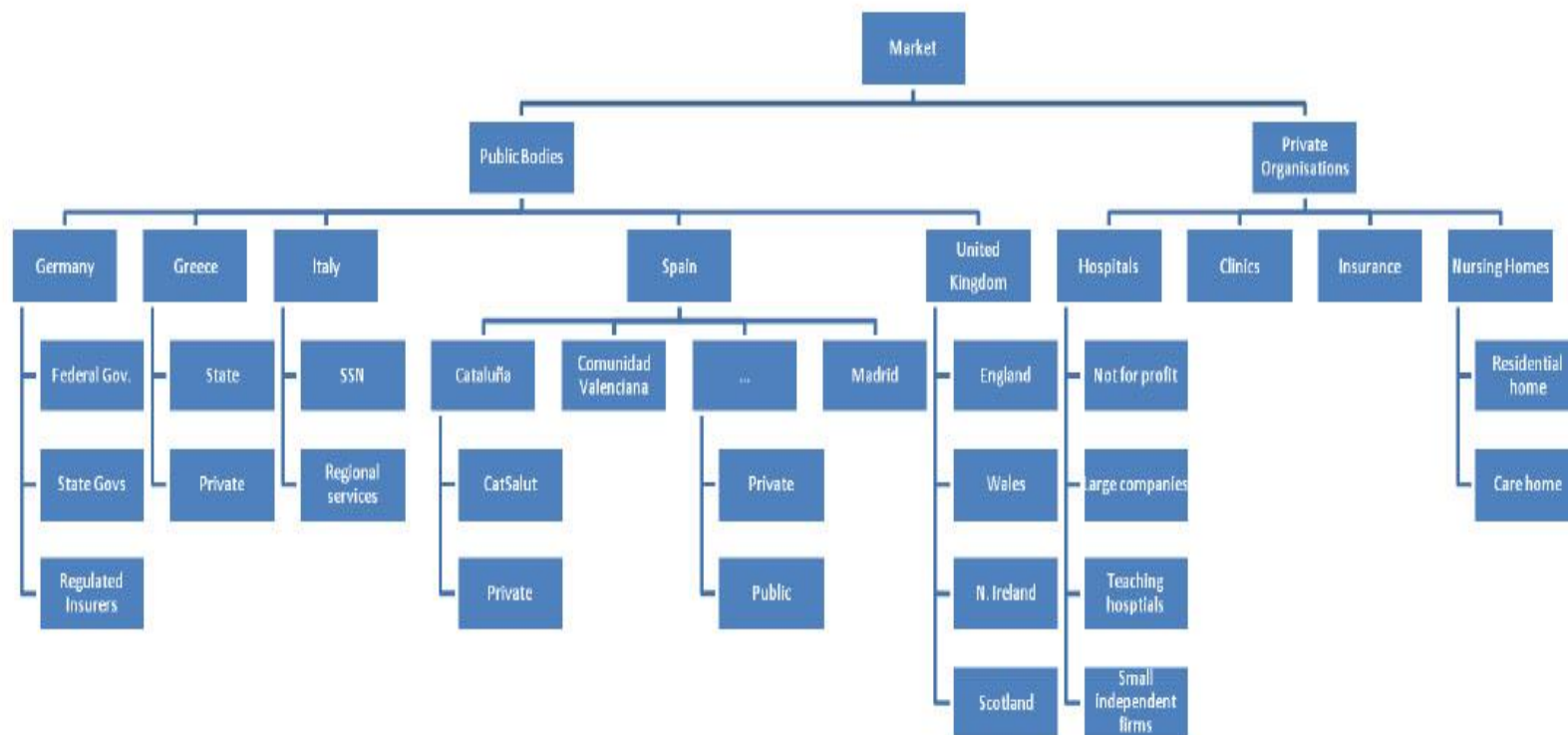
	Direct costs	Informal care	Total costs
EU 27	57.3	72.7	130.0
EU 27 +	60.9	74.8	135.7
Europe	63.3	77.7	141.0

Εικόνα 15: Συνολικά κόστη της ασθένειας στην Ευρώπη σε δις ευρώ

4.4 Οι αγορές ενδιαφέροντος

Εδώ, ανιχνεύουμε τις κύριες αγορές ενδιαφέροντος για ένα Σ.Υ.Δ. Σε κάποιο βαθμό η προσέγγιση εξαρτάται από το επιχειρηματικό μοντέλο: Απευθυνόμαστε απευθείας σε οικιακούς χρήστες ή στον εκάστοτε πάροχο υπηρεσιών υγείας/περίθαλψης; Μια και ζούμε στην Ευρώπη, δεδομένου του συνήθους μοντέλου κρατικής περίθαλψης υποστηριζόμενης από παρόχους του ιδιωτικού τομέα, ακολουθούμε την προσέγγιση του παρόχου υπηρεσιών.

Η αγορά μας είναι αρχικά κατακερματισμένη σε ιδιωτικό και δημόσιο τομέα. Ο δημόσιος τομέας λογικά καταχωρείται ανά χώρα, ο ιδιωτικός ανά αντικείμενο. Στην Εικόνα 16 βλέπουμε το διαμερισμό της αγοράς :



Εικόνα 16: Η δομή της αγοράς με χώρες παραδείγματα Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία και Βρετανία

Οι ασφαλιστικές εταιρείες και οι διάφοροι οίκοι ευγηρίας, μπορούν να απορριφθούν ως αρχικοί καταναλωτές για μια εφαρμογή Σ.Υ.Δ μια και είναι τα μικρότερα τμήματα μιας τέτοιας αγοράς. Οι ιδιωτικές κλινικές είναι ένας καλός πρώτος στόχος αλλά δυστυχώς αποτελούν μικρό κομμάτι της αγοράς συνολικά. Τα ιδιωτικά νοσοκομεία αντιπροσωπεύουν ένα μεγαλύτερο κομμάτι σε αγοραστικό όγκο αλλά ίσως το ότι έχουν πολύ ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων όσον αφορά τις υπηρεσίες υγείας θα τους έκανε δυσκολότερους αγοραστές. Η αγορά σε αυτό το σημείο αποτελείται από ένα πολύπλοκο δίκτυο από μικρά ανεξάρτητα νοσοκομεία και μεγάλες εταιρείες με δεκάδες νοσοκομεία. Η εξυπηρέτηση αυτού του κομματιού θα έδινε σε αναδυόμενες εταιρείες τη δυνατότητα να αναπτυχθούν ενώ ταυτόχρονα αποκτούν εξειδίκευση στον τομέα των Σ.Υ.Δ. Όταν δε δημιουργηθεί μια σταθερή βάση, μπορούν να στοχευθούν μεγαλύτερες εταιρείες.

Ο δημόσιος τομέας είναι προφανώς το μεγαλύτερο κομμάτι της εν λόγω αγοράς και προφανώς πρέπει να ληφθεί υπόψη στον επιχειρηματικό σχεδιασμό μιας λύσης Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. Παρ'όλα αυτά, η προσέγγιση αυτής της αγοράς πολύ νωρίς μπορεί να είναι λάθος.

Μια αναπτυσσόμενη εταιρεία παροχής Σ.Υ.Δ πρέπει να μπορεί να συντηρείται οικονομικά στη διάρκεια των διαπραγματεύσεων, που στο δημόσιο τομέα μπορεί να είναι μακρές, ενώ ταυτόχρονα να επενδύει ποσά στην ανάπτυξη του προϊόντος. Με λίγα λόγια αν έχουμε «μεγάλη» πώληση από «μικρή» εταιρεία, θα υπάρχει δυσκολία στην παροχή του προϊόντων. Αν είναι πολύ επιτυχημένο δε, θα υπάρχει δυσκολία στην επέκταση παράλληλα με τη μεγάλη ζήτηση, δίνοντας έτσι στους ανταγωνιστές πλεονέκτημα.

4.5 Το οικονομικό μοντέλο 5 δυνάμεων του Porter

Οι 5 δυνάμεις του Porter είναι ένα μοντέλο το οποίο αναλύει τα παρακάτω στοιχεία μιας βιομηχανίας:

- Τη διαπραγματευτική δυνατότητα των αγοραστών
- Τη διαπραγματευτική δυνατότητα των παρόχων Σ.Υ.Δ
- Τον υπάρχοντα ανταγωνισμό
- Εμπόδια εισόδου στην αγορά
- Την απειλή υποκατάστατων

Ποιο συγκεκριμένα, για ένα Σ.Υ.Δ έχουμε τα εξής δεδομένα:

- **Η διαπραγματευτική δυνατότητα των αγοραστών**

Έχουμε ήδη διαχωρίσει τους αγοραστές σε αυτούς του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα. Ο δημόσιος τομέας αποτελεί μια τεράστια αγορά στην οποία μπορεί να υπάρχει κεντρική διανομή. Ως αποτέλεσμα αυτό έχει ότι έχουν ιδιαίτερα μεγάλη διαπραγματευτική ικανότητα ειδικότερα πάνω σε μικρούς παρόχους λύσεων ICT.

Θα έχουν για παράδειγμα την άνεση να απαιτήσουν να καθορίσουν τους όρους της παροχής καθώς και να μειώσουν την τιμή του προϊόντος. Ο ιδιωτικός τομέας από την άλλη έχει σαφώς μικρότερη διαπραγματευτική δυνατότητα. Οι λεγόμενοι «μεγάλοι παίκτες» είναι απίθανο να ενδιαφερθούν να εξαγοράσουν ή να στήσουν ανταγωνιστικό προϊόν. Έτσι οι ευκαιρίες/πιθανότητες κάθετης εξαγοράς είναι μικρές.

- **Η διαπραγματευτική δυνατότητα των παρόχων Σ.Υ.Δ**

Σε ένα ολοκληρωμένο Σ.Υ.Δ, οι πάροχοι είναι σίγουρα ετερογενείς και αποτελούνται από τους παρόχους της τεχνολογικής λύσης και τους παρόχους

των αισθητήρων/συσκευών που το απαρτίζουν. Είναι και οι 2 βιομηχανίες με υψηλό εσωτερικό ανταγωνισμό και εξαιρετικά εμπορευματοποιημένα αγαθά. Εδώ υπάρχει η πιθανότητα ένας μικρός πάροχος της τεχνολογικής λύσης να εξαρτάται από μεγάλο πάροχο συσκευών και αισθητήρων με αποτέλεσμα να αποδυναμώνεται κάπως η θέση της τεχνολογίας. Ακόμα όμως και αν το προϊόν μπει στην αγορά με υψηλή διεισδυτικότητα ο πάροχος της λύσης θα εξακολουθεί να είναι μικρή επιρροή για τις μεγάλες εταιρείες με μικρή διαπραγματευτική δύναμη. Ας σκεφτούμε το παράδειγμα μιας startup που υλοποιεί Σ.Υ.Δ και προμηθεύεται συσκευές από τη Siemens. Αν ο πάροχος της λύσης δε διογκωθεί υπέρμετρα, έχει ελάχιστη επιρροή πάνω στους παρόχους των συσκευών.

- **Ο υπάρχων ανταγωνισμός**

Μια και δεν υπάρχουν αυτή τη στιγμή ολοκληρωμένες λύσεις αυτού του είδους όπως προαναφέραμε, πράγμα που σημαίνει πως σε μικρή κλίμακα ο ανταγωνισμός είναι ελάχιστος. Παρ' όλα αυτά, οι απαιτήσεις για περίθαλψη και πρόνοια αυξάνονται, ενώ με την οικονομική κρίση οι πόροι μειώνονται, οπότε αναμένεται να υπάρξει έντονη αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων των νοσοκομείων και των υποδομών υγείας. Η «απειλή» για νέες εισόδους προϊόντων στην αγορά είναι υψηλή οπότε η επιχειρηματική στρατηγική για ένα Σ.Υ.Δ θα πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη πως θα αντιμετωπίσει μελλοντικούς ανταγωνιστές

- **Εμπόδια εισόδου στην αγορά**

Μια και δεν υπάρχουν αντίστοιχες ολοκληρωμένες λύσεις σε εμπορικό στάδιο, είναι προφανές πως δεν υπάρχουν σοβαρά προβλήματα για την είσοδο ενός τέτοιου προϊόντος στην ευρύτερη αγορά. Παρ' όλα αυτά, ένα προϊόν που

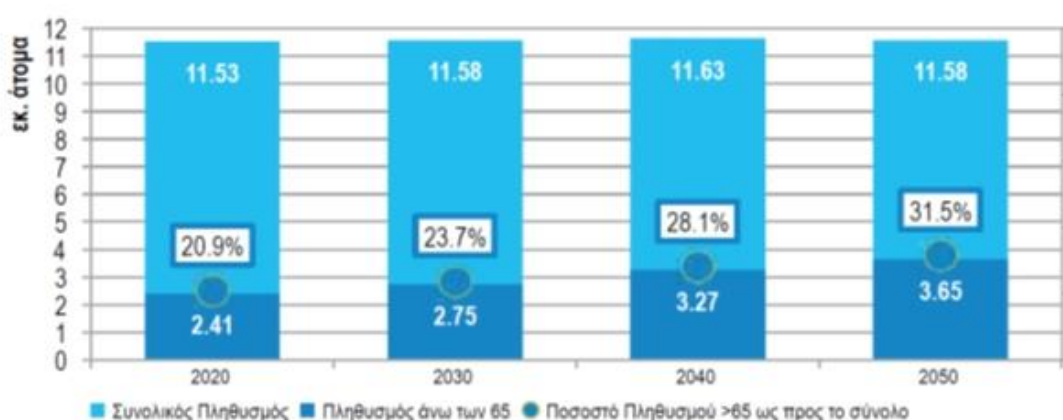
θέλει να είναι ανταγωνιστικό θα πρέπει να καθορίσει επιχειρηματική στρατηγική που θα κάνει δυσκολότερη την είσοδο στις αγορές ανταγωνιστών και μιμητών.

- **Η απειλή των υποκατάστατων**

Η απειλή για υποκατάστατα για ένα Σ.Υ.Δ είναι υψηλή μια και οι πόροι είναι περιορισμένοι και υπάρχουν ποικίλες προσεγγίσεις που ανταγωνίζονται για αυτούς. Αυτή η διάσταση εξαρτάται ως ένα βαθμό από την αξία της αρχικής πρότασης που παρουσιάζει ένα Σ.Υ.Δ και του επιχειρηματικού μοντέλου του. Για να έχουμε μια ισχυρή επιχειρηματική πρόταση πρέπει πρώτα να εξασφαλίσουμε ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα και συγκεκριμένη κοστολόγηση.

4.6 Η ελληνική πραγματικότητα

Αντίστοιχη με την παγκόσμια δημογραφική τάση της γήρανσης του πληθυσμού, είναι και η κατάσταση στη χώρα μας.



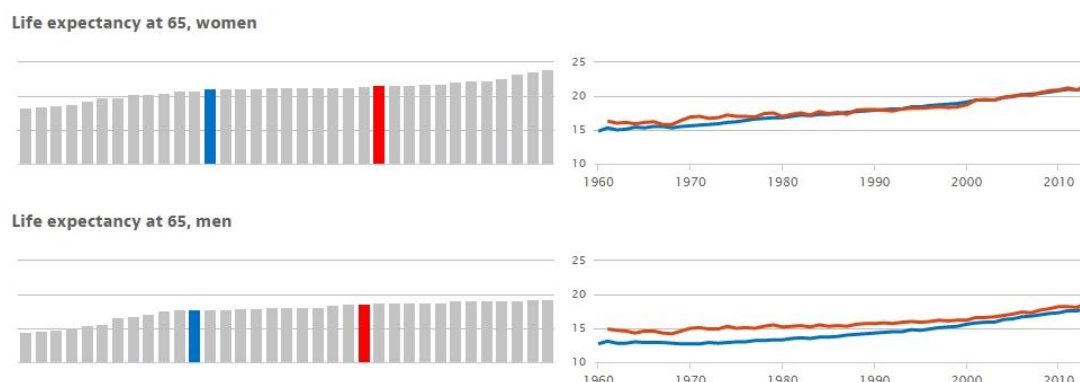
Πηγή: Eurostat, Population Projections, 2014, επεξεργασία στοιχείων ΙΟΒΕ

Εικόνα 17 : Πρόβολή πληθυσμού της Ελλάδας μέχρι το 2050

Ο συνολικός πληθυσμός δεν πρόκειται να καταγράψει μεγάλες μεταβολές μέχρι το 2050 (Εικόνα 17), όμως η αύξηση του προσδόκιμου ζωής, σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού άνω των 65 ετών θα επιβαρύνει τα συστήματα υγείας. Στην

Ελλάδα με βάση τις προβλέψεις του ΟΟΣΑ το ποσοστό των Ελλήνων πρόκειται να αυξηθεί από το 19,1% το 2010 σε 31,5% το 2050. Ομοίως το ποσοστό άνω των 80 θα αυξηθεί από 4,8% το 2010 σε 10,5% το 2050.

Η δημογραφική αυτή μεταβολή αναμένεται να διαδραματίσει, αν και ήδη βλέπουμε τις επιπτώσεις της- σημαντικό ρόλο στα συστήματα υγείας γενικά, αλλά και ειδικότερα στη χώρα μας, όσον αφορά μια πληθώρα ασθενειών συσχετιζόμενων με το γήρας, όπως η Ήπια Γνωστική Έκπτωση (Η.Γ.Ε – Mild Cognitive Impairment – M.C.I), οι διάφορες μορφές άνοιας κλπ. Η ανάγκη για νέες προσεγγίσεις στο πρόβλημα δε, καθίσταται περισσότερο έντονη, αν συνδυάσουμε τη γήρανση του πληθυσμού, με την ταυτόχρονη αύξηση του προσδόκιμου ζωής στη χώρα μας, σε σχέση με τις χώρες του ΟΟΣΑ όπως φαίνεται στην Εικόνα 18.

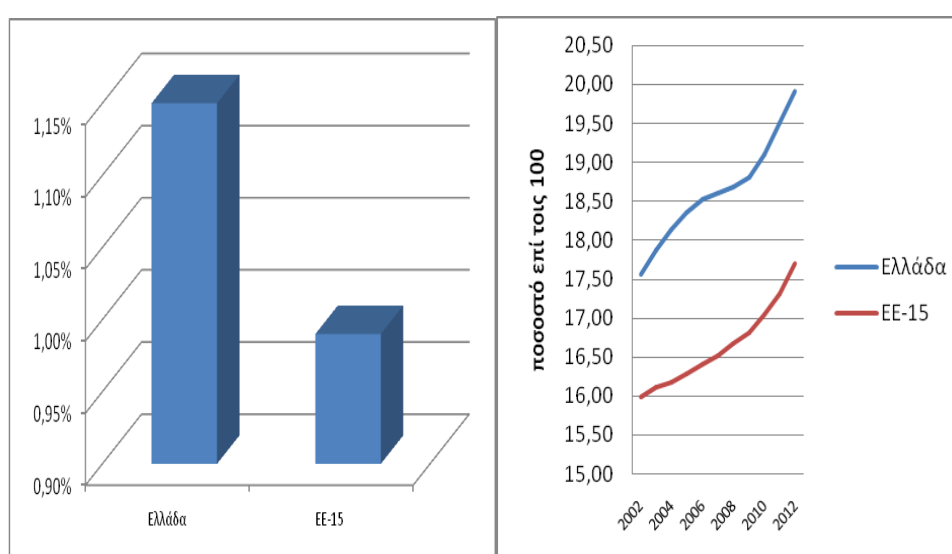


Εικόνα 18: Η εξέλιξη του προσδόκιμου ζωής μετά τα 65 για άνδρες και γυναίκες την Ελλάδα (κόκκινη γραμμή) σε σχέση με άλλες χώρες του ΟΟΣΑ (ενδεικτικά το Ηνωμένο Βασίλειο με μπλε χρώμα). Βλέπουμε ότι πλέον το μέσο προσδόκιμο ζωής μετά τα 65 είναι ~20 χρόνια στη χώρα μας. (Πηγή: <http://www.compareyourcountry.org/health?&lg=en>)

Επιπλέον ο ρυθμός γήρανσης στη χώρα μας ανέρχεται μεσοσταθμικά την περίοδο 2002-2012 σε 1,15% ανά έτος, όταν ο μέσος ευρωπαϊκός όρος είναι 0,99%.(Εικόνα 19)

Η δημογραφική μεταβολή που αναφέρεται, επιφέρει αλλαγές και στις ασθένειες καθώς ο μεγαλύτερος πληθυσμός στην τρίτη ηλικία εκδηλώνει χρόνιες και εκφυλιστικές νόσους. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι ένα άτομο ξοδεύει το 20% του

συνόλου των δαπανών υγείας το τελευταίο έτος της ζωής του [52]. Επιπλέον η δημογραφική γήρανση συνδέεται θετικά με την αύξηση της φαρμακευτικής δαπάνης [53] που στην περίπτωση της Ελλάδας αποτελεί βασική κοστολογική παράμετρο αφού το 2002 αποτελούσε το 19,95% της συνολικής δαπάνης υγείας, ενώ το 2012 το 25,23% και βρίσκεται διαχρονικά πάνω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, ο οποίος μειώνεται την ίδια περίοδο από το 15,12% στο 14,27% αντίστοιχα (πηγή: OECD,2015).



Εικόνα 19: Αριστερά: Μέσος ρυθμός αύξησης του πληθυσμού άνω των 65 στην Ελλάδα (2002-2012) Δεξιά: Διαχρονική εξέλιξη αύξησης του πληθυσμού άνω των 65 ανά έτος σε Ελλάδα και Ε.Ε– Πηγή: Eurostat

Ένας ακόμα ανασταλτικός παράγοντας στην παροχή υπηρεσιών υγείας είναι και η παρατεταμένη οικονομική ύφεση. Η σωρευτική μείωση του Α.Ε.Π. την περίοδο 2008-2012 κατά 20%, της συνολικής απασχόλησης κατά 16% και η αύξηση της ανεργίας από το 7,6% στο 23,5% [54] οδηγεί αναπόφευκτα στη συμπίεση των δαπανών του συστήματος κοινωνικής προστασίας, το οποίο δοκιμάζεται ως προς τις αντιστάσεις του, εφόσον την περίοδο αυτή ενώ η δαπάνη κοινωνικής προστασίας για την ανεργία αυξάνει κατά 24,6%, η ίδια ως παράμετρος μεταβάλλεται κατά 209%. Επιπρόσθετα η συμπίεση του μισθολογικού κόστους, το οποίο επιβάλει η ανάκτηση της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας, συσχετίζεται άμεσα με ιατρικό

πληθωρισμό και είναι γεγονός ότι η Ελλάδα διαθέτει διπλάσιο αριθμό ιατρών από το μέσο όρο της Ε.Ε.-15.

Τέλος η διαχρονική μείωση του ενεργού πληθυσμού σε καθεστώς πλήρους απασχόλησης είναι πρόβλημα που αντιμετωπίζει το σύνολο των χωρών Ε.Ε.-15, υποδηλώνει μελλοντικά περιορισμό των ασφαλιστικών πόρων που τροφοδοτούν το σύστημα κοινωνικής προστασίας. Στην περίπτωση της Ελλάδος η βιωσιμότητα του ασφαλιστικού συστήματος περνάει κυρίως μέσα από τη μείωση της ανεργίας, ενώ η μέτρηση και αξιολόγηση των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας, ο έλεγχος στις τιμές ιατροτεχνολογικού εξοπλισμού, των διαγνωστικών εξετάσεων και της φαρμακευτικής δαπάνης, μέσω της ένταξης του ανταγωνισμού πρωτοτύπων και γενοσήμων, είναι δομικές παράμετροι που οδηγούν σε βραχυπρόθεσμο περιορισμό του κόστους [55]καθώς το ζητούμενο μακροπρόθεσμα είναι η εξασφάλιση της ικανότητας του συστήματος να παρέχει υπηρεσίες επαρκούς κοινωνικής αποτελεσματικότητας προς τους πολίτες.

5

Προτεινόμενες Καινοτόμες

Αρχιτεκτονικές Βιομετρικού Συστήματος

Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

5.1 Μη λειτουργικές απαιτήσεις

Πέραν των καθαρά τεχνικών και λειτουργικών απαιτήσεων που συναντά κανείς στη φάση σχεδιασμού μιας τεχνολογικής λύσης όπως ένα βιομετρικό σύστημα, βρίσκονται και οι μη-λειτουργικές απαιτήσεις. Πρέπει να εξασφαλίσουμε στο σχεδιασμό του συστήματος την επαρκή ανοχή του σε σφάλματα, την ασφάλεια όσον αφορά τη χρήση του από το κοινό, την ακρίβεια, τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις για διαχείριση πόρων και ταχύτητα καθώς και την ανοχή σε κακόβουλες επιθέσεις, λαμβάνοντας υπόψην παράγοντες όπως:

- Ποιον βασικό στόχο καλείται να επιτύχει: Δημιουργία προφίλ, ταυτοποίηση, επιβεβαίωση ταυτότητας
- Ποιες είναι οι απαιτήσεις σχετικά με την ασφάλεια της εφαρμογής και πώς αυτή αντιμετωπίζει την ιδιωτικότητα και την προστασία των προσωπικών δεδομένων
- Ποιο το μέγεθος της βάσης των χρηστών των οποίων τα στοιχεία διαχειριζόμαστε
- Αν υπάρχει αναγκαιότητα για επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ή όχι

- Ποιές οι –υποβόσκουσες- προαπαιτήσεις για εξοικείωση της εν λόγω τεχνολογίας από το χρήστη
- Το οικονομικό μοντέλο κόστους, εφαρμογής και η SWOT (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats) ανάλυση του συστήματός μας για διείσδυση στην επιθυμητή αγορά.

5.2 Αρχιτεκτονικές Βιομετρικών Σ.Υ.Δ

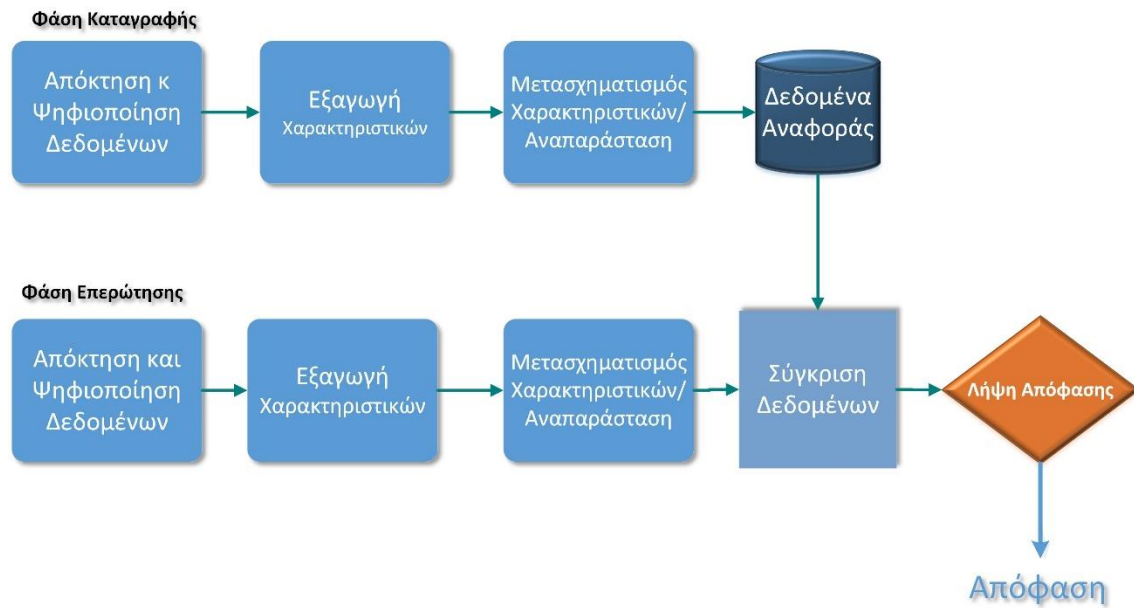
Όπως για κάθε δημοφιλή τεχνολογία σήμερα, έτσι και για τα βιομετρικά συστήματα έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες να περιγραφούν αναλυτικά τα επιμέρους αρχιτεκτονικά στοιχεία τους, από οργανισμούς προτυποποίησης. Οι κύριοι αυτοί οργανισμοί σήμερα είναι το Biometric Evaluation Methodology Working Group και το BioAPI Consortium. Καίτοι υπάρχουν σαφείς διαφορές τόσο σε ορολογία όσο και στα προτεινόμενα μοντέλα που παράγονται από τους οργανισμούς προτυποποίησης, μπορούμε να ξεχωρίσουμε μερικά βασικά γενικά στοιχεία ώστε να οδηγηθούμε στη σύνθεση μιας αρχιτεκτονικής αναφοράς, όσον αφορά τα βιομετρικά συστήματα.

5.2.1 Φάσεις λειτουργίας

Ένα τυπικό βιομετρικό σύστημα, λειτουργεί σε 2 φάσεις : Αυτές της καταχώρησης (enrollment) των δεδομένων αναφοράς και της επερώτησης, άμα τη εισαγωγή των υπο σύγκριση δεδομένων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 20. Η πρώτη φάση αποτελεί μέρος της εκπαίδευσης του συστήματος και λαμβάνει χώρα κατά τη διαδικασία αρχικοποίησής του, κατά την εγκατάσταση. Στη φάση αυτή, αυτό που συμβαίνει είναι η καταγραφή των χαρακτηριστικών του χρήστη, η παραγωγή των δεδομένων αναφοράς και η αποθήκευσή τους σε ένα αποθετήριο προτύπων (template repository). Μετά από αυτή τη διαδικασία, ο χρήστης θεωρείται πλέον «γνωστός» στο σύστημα και μπορεί να το χρησιμοποιήσει.

Η διαδικασία της επερώτησης λαμβάνει χώρα κατά την κανονική λειτουργία του συστήματος, όταν εισάγονται στο σύστημα νέα βιομετρικά δεδομένα, τα δεδομένα επερώτησης. Το σύστημα καταγράφει αυτά τα δεδομένα, εξάγει τις χαρακτηριστικές τους παραμέτρους (features), τα συγκρίνει με τα αποθηκευμένα δεδομένα στο αποθετήριο προτύπων και εξάγει μια απόφαση. Σε συστήματα ταυτοποίησης η σύγκριση γίνεται με τα δεδομένα όλων των υπάρχοντων χρηστών, σε συστήματα επιβεβαίωσης ταυτότητας η σύγκριση γίνεται με τα αποθηκευμένα δεδομένα του χρήστη που ο ερωτών ισχυρίζεται ότι είναι, ενώ σε ένα σύστημα ΣΥΔ, του ειδικού ενδιαφέροντος της εν λόγω διατριβής, η σύγκριση γίνεται είτε με τις κανονικές συμπεριφορικές/ψυχομετρικές παραμέτρους του χρήστη, είτε με προκαθορισμένες και επανακαθορίσιμες από τον θεράποντα ιατρό παραμέτρους που καθορίζουν φυσιολογική συμπεριφορά στα πλαίσια της ασθένειας. Περαιτέρω αναφορά στο πως υλοποιούνται και ενσωματώνονται στο σύστημα τέτοιοι κανόνες, θα γίνει στη συνέχεια.

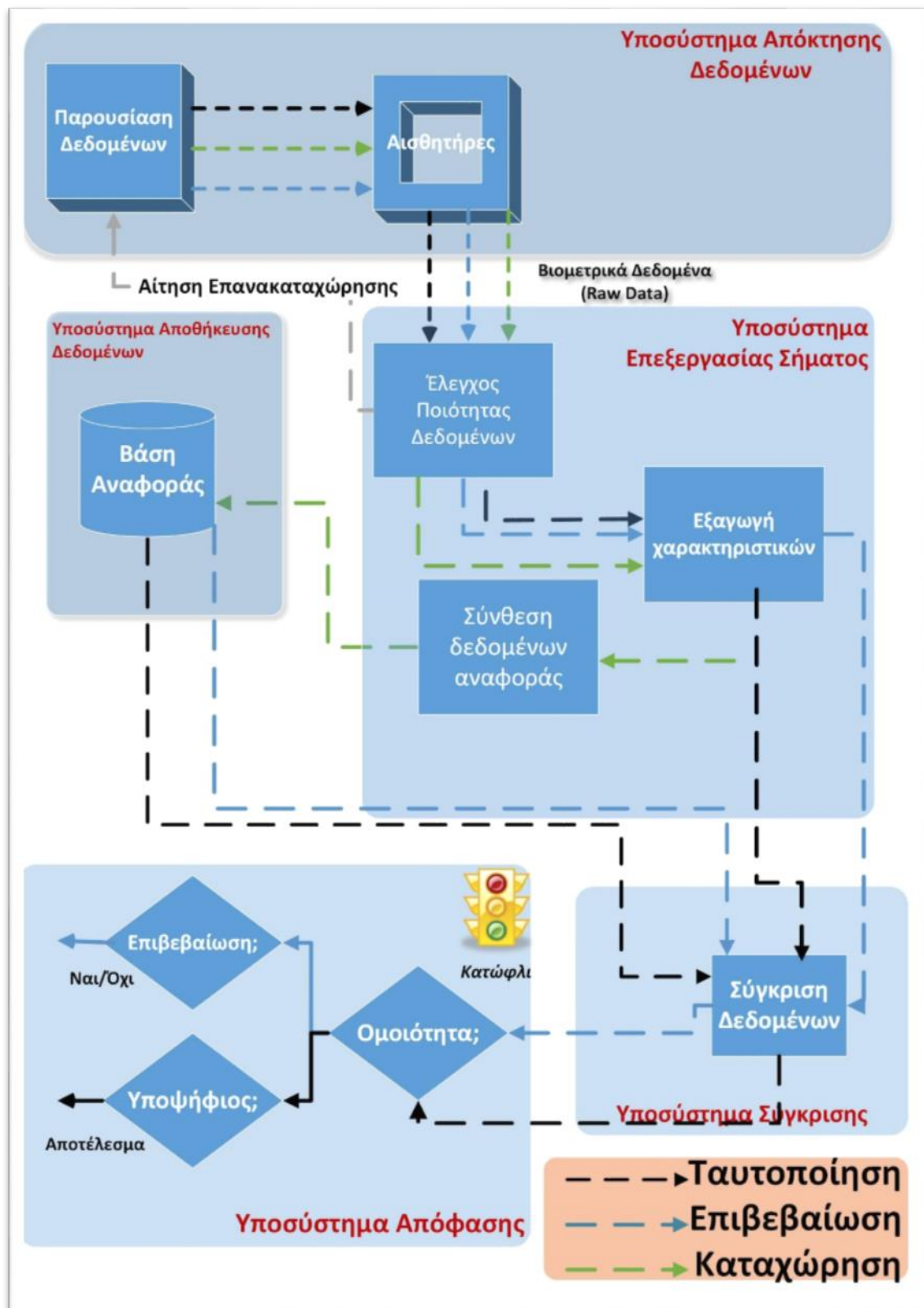
Αναλόγως με τον κύριο στόχο λοιπόν της υλοποίησης του συστήματος, μετά τη σύγκριση παράγεται η κατάλληλη απόφαση, αν αυτή είναι ταυτοποίηση, οι πιο κοντινοί χρήστες των οποίων το προφίλ «ταιριάζει» με τα δεδομένα εισόδου, είτε επιβεβαίωση ταυτότητας, είτε –πάλι στο πλαίσιο ενδιαφέροντός μας- η παραγωγή μιας ειδοποίησης προς τον θεράποντα, σε περίπτωση ανεπιθύμητου περιστατικού (adverse event).



Εικόνα 20 : Οι 2 φάσεις λειτουργίας ενός βιομετρικού συστήματος

5.2.2 Ανάλυση Υποσυστημάτων

Ανεξάρτητα από την πιθανή εφαρμογή τους, όλα τα βιομετρικά συστήματα μοιράζονται κάποιες κοινές βασικές λειτουργίες, που αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη συλλογή από κύρια βασικά στοιχεία όπως φαίνεται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21 : Ένα τυπικό βιομετρικό σύστημα με τα υποσυστήματά του

Έτσι, ένα τυπικό βιομετρικό σύστημα μπορεί να απαρτίζεται από :

- Μια συλλογή αισθητήρων για τη συλλογή και αποτύπωση των χαρακτηριστικών που εκμεταλλεύεται.
- Μια μονάδα αποθήκευσης για τα βιομετρικά δεδομένα αναφοράς των χρηστών, συνδεδεμένη με μια βάση με τα δεδομένα ταυτότητάς τους
- Ένα υποσύστημα *επεξεργασίας* των βιομετρικών δεδομένων τα οποία καταχωρούνται στο σύστημα προκειμένου να γίνει ταυτοποίηση, επιβεβαίωση ταυτότητας ή σύνθεση του προφίλ κατά την οποία αναλόγως με την ακολουθούμενη μέθοδο εξάγονται συγκεκριμένα γνωρίσματα (features) (αποστάσεις, χρώματα, αναλογίες, κορυφές, καμπυλότητα, κ.λπ.) για περαιτέρω ανάλυση
- Ένα υποσύστημα σύγκρισης το οποίο εξετάζει την ομοιότητα μεταξύ των δεδομένων αναφοράς και των καταχωρημένων προς εξέταση δεδομένων προκειμένου να προκύψει ο βαθμός ομοιότητας.
- Ένα υποσύστημα αποφάσεων το οποίο λαμβάνει τα αποτελέσματα από τη διαδικασία σύγκρισης και με βάση κάποιο κατώφλι ή κάποια πιο εξεζητημένη πολιτική αποφασίζει αν τα καταχωρημένα δεδομένα ταιριάζουν με κάποιο από τα δεδομένα αναφοράς.

Στις επόμενες παραγράφους εξετάζουμε και αναλύουμε τη λειτουργία των υποσυστημάτων αυτών

5.2.2.1 Απόκτηση Δεδομένων (Data Acquisition)

Στο πρώτο στάδιο της λειτουργίας ενός βιομετρικού συστήματος, λαμβάνουμε αυτόματα μέσω των αισθητήρων μας, τα βιομετρικά δείγματα. Το βιομετρικό δείγμα μπορεί να είναι φυσιολογικό (physiological) -όπως για παράδειγμα βάρος, ύψος, ποσοστό σακχάρου στο αίμα, πίεση αίματος, καρδιακός παλμός- ή συμπεριφορικό –

έκφραση προσώπου, βάδισμα, δραστηριότητα, χροιά φωνής, ρυθμός πληκτρολόγησης κλπ. Σε αυτό το βήμα συνήθως συνυπάρχουν διαδικασίες που διασφαλίζουν την ποιότητα του ληφθέντος δείγματος, όπως για παράδειγμα μια διεπαφή με το χρήστη για την αναμόρφωση των δεδομένων εισόδου (user feedback interface) ή απλά γίνεται πολλαπλή λήψη δειγμάτων και εγκρίνεται το βέλτιστο σύμφωνα με τις προϋπάρχουσες προδιαγραφές. Το βασικό δομικό στοιχείο σε αυτό το στάδιο είναι ο αισθητήρας (sensor) από τον οποίο λαμβάνουμε το βιομετρικό δείγμα, τόσο στη φάση της αρχικής καταχώρησης, όσο και στη φάση των επερωτήσεων. Παραδείγματα βιομετρικών αισθητήρων είναι οι κάμερες, τα μικρόφωνα, συσκευές ανάγνωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων και σαρωτές ίριδας. Κάθε ξεχωριστός αισθητήρας, επάγει και συγκεκριμένες διαδικασίες και κριτήρια για τη λήψη σωστού δείγματος. Για παράδειγμα, για δεδομένα που λαμβάνονται από μια κάμερα ενδεχομένως να υπάρχουν απαιτήσεις για το φωτισμό και τη στάση του σώματος ως προς αυτήν. Το στάδιο της απόκτησης δεδομένων λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια και των 2 φάσεων ενός βιομετρικού συστήματος.

5.2.2.2 Επεξεργασία σήματος (Signal Processing)

Αφού πάρουμε τα raw δεδομένα από τον αισθητήρα μας, πρέπει αυτά να υποστούν κάποια επεξεργασία ώστε να είναι χρησιμοποιήσιμα. Το έργο αυτό αναλαμβάνει το υποσύστημα επεξεργασίας σήματος. Το υποσύστημα αυτό παίζει κύριο ρόλο στην τελική απόδοση της βιομετρικής εφαρμογής, μια και διασφαλίζει την ποιότητα των δημιουργούμενων προτύπων που παράγονται στην καταχώρηση και που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για όλες τις συγκρίσεις.

Στο στάδιο αυτό αρχικά ελέγχουμε τα εισαχθέντα δεδομένα από το υποσύστημα απόκτησης και σε περίπτωση που η ποιότητά τους δεν είναι αποδεκτή, στέλνεται ένα αίτημα επανάληψης του βήματος της λήψης. Προκειμένου η ποιότητα των δεδομένων

να είναι η απαιτούμενη, αυτό μπορεί να συμβεί αρκετές φορές, σε περίπτωση που το ληφθέν δείγμα δεν είναι ικανοποιητικό για χρήση ως πρότυπο αναφοράς.

Το στάδιο της επεξεργασίας είναι κοινό και στις 2 φάσεις λειτουργίας ενός βιομετρικού συστήματος. Τα βιομετρικά δεδομένα που χρησιμεύουν ως πρότυπο αναφοράς καθώς και αυτά που χρησιμεύουν ως είσοδος στη φάση της επερώτησης είναι ευρύτερα γνωστά με την ονομασία Biometric Live Record (BLR)

5.2.2.3 Δημιουργία προτύπων αναφοράς

Στο στάδιο συνθέτουμε το βιομετρικό πρότυπο αναφοράς (template) το οποίο βασίζεται στην έξοδο του προηγούμενου σταδίου, ενώ εδώ μπορούμε να συμπεριλάβουμε και την προσθήκη πιστοποιητικών χρήστη (user credentials), την κωδικοποίηση των βιομετρικών δεδομένων και άλλα δεδομένα τα οποία συνδέονται με την ταυτότητα του χρήστη και εξαρτώνται πάντα από την εφαρμογή του συστήματος. Το βιομετρικό πρότυπο αναφοράς καλείται και Biometric Identification Record (BIR).

5.2.2.4 Σύγκριση

Εδώ συγκρίνουμε τη βιομετρική πληροφορία που εξάγαμε από το ληφθέν δείγμα με τη βιομετρική πληροφορία στο πρότυπο αναφοράς (pattern template) . Αναλόγως με τον στόχο του συστήματος, η σύγκριση γίνεται με μια λίστα υποψηφίων προτύπων αναφοράς ή με ένα μόνο πρότυπο αναφοράς αντιστοίχως. Σε δεδομένα ιατρικού ενδιαφέροντος, είτε αυτά είναι φυσιολογικά είτε συμπεριφορικά, η σύγκριση μπορεί να γίνει με προκαθορισμένα κατώφλια «κανονικότητας» όπως θα δούμε παρακάτω, υπέρβαση των οποίων μπορεί να υποδεικνύει ανεπιθύμητες καταστάσεις. Για παράδειγμα υψηλή πίεση για κάποιο προκαθορισμένο συνεχές χρονικό διάστημα κρούει τον κώδωνα του κινδύνου για εγκεφαλικό επεισόδιο, ενώ συνεχής έκφραση

κατήφειας του ασθενή, υποδεικνύει καταθλιπτικό επεισόδιο, αν ξεπεράσει κάποια συγκεκριμένα χρονικά όρια ανά ημέρα ή εβδομάδα. Η σύγκριση ουσιαστικά λαμβάνει χώρα μεταξύ των βιομετρικών δεδομένων αναφοράς τα οποία και ανακτώνται από τη βάση δεδομένων και του Biometric Live Record του υπό εξέταση υποκειμένου. Είναι σύνηθες η ομοιότητα μεταξύ των δεδομένων αυτών να εκφράζεται μέσω κάποιας τιμής (score) και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή, τόσο μεγαλύτερη να είναι η ομοιότητα μεταξύ τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις το score αυτό μπορεί να είναι μια δυαδική τιμή, που στο 0 να υποδεικνύει κανονικότητα και στο 1 να υποδεικνύει κατάσταση κινδύνου.

5.2.2.5 Απόφαση

Στο στάδιο της απόφασης, λαμβάνουμε τα αποτελέσματα της σύγκρισης και με βάση προκαθορισμένα σταθερά ή επανακαθορίσιμα (reconfigurable) κατώφλια (thresholds) προχωρούμε στην εξαγωγή της τελικής απόφασης του συστήματος. Εδώ έχουμε άλλο ένα τεράστιας σημαντικότητας βήμα για την ασφάλεια του συστήματός μας, μια και οι παράμετροι λήψης αποφάσεων, σε περίπτωση που είναι επανακαθορίσιμες, πρέπει να προστατεύονται από ένα ισχυρό επίπεδο ασφαλείας και να έχουν σε αυτά πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα (π.χ. θεραπόντων ιατρών)

Σε μονοτροπικά συστήματα η διαδικασία της απόφασης είναι συνήθως υπόθεση απλής σύγκρισης, σε πολυτροπικά συστήματα η λήψη της απόφασης μπορεί να εξαρτάται από έναν πιο πολύπλοκο αλγόριθμο που συνδυάζει πολλαπλά στοιχεία από τα αποτελέσματα των διάφορων συγκρίσεων, για να καταλήξει σε συμπέρασμα.

5.2.2.6 Το κατώφλι

Γενικά στα βιομετρικά συστήματα που εκτελούν διαδικασίες ταυτοποίησης και επιβεβαίωσης, η τιμή του αποτελέσματος σύγκρισης βιομετρικών δεδομένων του υπό

εξέταση χρήστη, είναι πάντα υψηλότερη από τις τιμές των υπόλοιπων ατόμων που είναι καταχωρημένα στο σύστημα. Αυτό όμως δεν ισχύει πάντα, μια και τα δεδομένα μας είναι επιρρεπή σε σφάλματα απόκτησης, θόρυβο περιβάλλοντος, εγγενείς αδυναμίες των αλγορίθμων εξαγωγής χαρακτηριστικών κ.λπ., έτσι ένας απλός διαχωρισμός των 2 ομάδων (clients vs impostors) δεν είναι εφικτός με απλά την επιλογή ενός κατωφλίου. Έτσι τα βιομετρικά συστήματα συνοδεύονται και από μια τιμή σφάλματος.

Θεωρητικά η τιμή του αποτελέσματος σύγκρισης των βιομετρικών δεδομένων του υπό εξέταση ατόμου (client score) θα πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από τις τιμές των υπολοίπων ατόμων τα οποία είναι καταχωρημένα στο σύστημα. Αν αυτό ίσχυε πάντα, τότε η επιλογή ενός κατωφλίου το οποίο να διαχωρίζει αυτές τις δύο ομάδες (clients versus impostors) θα αρκούσε για τη λειτουργία του συστήματος. Δεδομένου όμως ότι αυτό δεν ισχύει κατά την πρακτική εφαρμογή των βιομετρικών συστημάτων για διάφορους λόγους, τα βιομετρικά συστήματα συνοδεύονται από μια τιμή σφάλματος. Οι λόγοι αυτοί, μη λαμβάνοντας υπόψιν προσπάθειες κλοπής ή αντιγραφής της ταυτότητας ενός ατόμου στο βιομετρικό σύστημα, συμπεριλαμβάνουν ανεπαρκή ποιότητα του ληφθέντος δείγματος βιομετρικών χαρακτηριστικών, εγγενείς αδυναμίες των αλγορίθμων εξαγωγής βιομετρικών χαρακτηριστικών και των αλγορίθμων κατηγοριοποίησης και σύγκρισης (classification algorithms), υπάρχουσες συνθήκες κατά τη λήψη των δεδομένων (περιβάλλον, θόρυβος) και άλλους.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην επιλογή των κατωφλίων μας, ώστε να μην είναι τόσο υψηλά που να έχουμε μεγάλα ποσοστά false negative αποτελεσμάτων, ούτε τόσο χαμηλά ώστε να έχουμε μεγάλα ποσοστά false positive.

Σε περίπτωση βέβαια ιατρικών εφαρμογών όπου συγκρίνουμε φυσιολογικά ή συμπεριφορικά δεδομένα με τις παγιωμένες στη βιβλιογραφία τιμές κανονικότητάς τους, η δουλειά μας γίνεται αρκετά πιο εύκολη σε σύγκριση με συστήματα ταυτοποίησης και επιβεβαίωσης ταυτότητας, μια και τα σφάλματά μας εξαρτώνται κυρίως από την ποιότητα του δείγματος και λιγότερο από το κατώφλι. Δεν πρέπει να ξεχνάμε βέβαια εδώ και τις προσωπικές ανάγκες του εκάστοτε χρήστη ενός συστήματος με ιατρική εφαρμογή και να προσδιορίζουμε τα κατώφλια μας ανάλογα με τις ανάγκες του.

Ας φέρουμε ένα απλό παράδειγμα λανθασμένης χρήσης κατωφλίου, σε ένα σύστημα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, που έχει ως στόχο να εξετάζει φυσιολογικά χαρακτηριστικά του χρήστη (πίεση, θερμοκρασία, παλμούς) και συμπεριφορικά του χαρακτηριστικά (εκφράσεις συναισθήματος στο πρόσωπο, στις οποίες προσέχουμε για επεισόδια κατάθλιψης, εκρήξεις θυμού, φόβου κ.λπ.).

Αν ο ασθενής μας λαμβάνει κάποιο φάρμακο για την ασθένειά του το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση κατά μέσο όρο της συστολικής του πίεσης, ο θεράπων ιατρός θα πρέπει να ρυθμίσει στο σύστημα το κατώφλι κινδύνου έτσι ώστε να λάβει υπόψη το γεγονός αυτό και να μην δέχεται συνεχώς αχρείαστες ειδοποιήσεις κινδύνου.

Από την άλλη αν ο ασθενής έχει γνωστό ιστορικό κατάθλιψης, ιδιαίτερο βάρος πρέπει να δοθεί στο κατώφλι περιστατικών ανίχνευσης θλίψης στο πρόσωπό του ώστε να παρακολουθείται στενότερα η πρόοδός του και να ρυθμίζεται με φάρμακα ή όχι η κατάστασή του.

5.3 Υπάρχοντα Συστήματα Υποστηριζόμενης Διαβίωσης

Η τεχνολογική πρόοδος στους σχετικούς τεχνολογικούς τομείς (τεχνητή νοημοσύνη, machine learning, computer vision, context-awareness κ.λπ.) έχει προσφέρει τον τελευταίο καιρό πιο έξυπνα, ευέλικτα και φιλικά προς τους χρήστες συστήματα. Την τελευταία δεκαετία δε, πολλά στοχευμένα στη βελτίωση της ζωής των ηλικιωμένων ερευνητικά προγράμματα έχουν ολοκληρωθεί, αρκετά από τα προϊόντα των οποίων είναι πλέον και διαθέσιμα στο κοινό [56]. Σε περιβάλλοντα «έξυπνων σπιτιών» στοχεύουμε σε εφαρμογές με αισθητήρες, έξυπνες συσκευές και δικτυακές εφαρμογές που μπορούν να υποστηρίξουν την καθημερινότητα των χρηστών παρέχοντας προσαρμόσιμες υπηρεσίες, που κυμαίνονται από αυτόματους ρυθμιστές φωτισμού και υπενθυμίσεις φαρμακευτικής αγωγής μέχρι ανιχνευτές πτώσεων, καρδιακού ρυθμού κ.λπ. και γεννήτριες ειδοποιήσεων έκτακτης ανάγκης. Στα έξυπνα σπίτια η μη παρεμβατική παρακολούθηση των καθημερινών δραστηριοτήτων είναι το βασικό κομμάτι της υποστηριζόμενης διαβίωσης. Έτσι αυτά εξελίσσονται ώστε να προσφέρουν προσαρμοζόμενες υπηρεσίες υγείας (και όχι μόνο) βασιζόμενα σε συλλογή βασικών γνώσεων του τρόπου ζωής των χρηστών μέσω αισθητήρων. Έτσι αναγνωρίζουν τις συνήθειες, φτιάχνουν μια βασική γραμμή κανονικότητας και ρυθμίζουν την καθημερινότητα ανάλογα.

Μερικά παραδείγματα από προγράμματα για έξυπνα σπίτια ανά τον κόσμο είναι π.χ. το πρόγραμμα TRON[57], ένα ανοιχτό πρόγραμμα που κατασκεύασε ένα έξυπνο περιβάλλον υποστηριζόμενης διαβίωσης σε ένα σπίτι στο Τόκιο. Επίσης τα προγράμματα PAPI και U-House στην Ταϊβάν, που δημιουργήθηκαν ως μέλη του TRON[58]. Το “Ubiquitous home” [59] πρότεινε κ υλοποίησε contex-aware υπηρεσίες σε ένα έξυπνο περιβάλλον που λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Τα Δωμάτια Ρομποτικής και Αισθητήρων του πανεπιστημίου του Τόκιο αποτελούν άλλα

παραδείγματα έξυπνων συστημάτων υποστηριζόμενης διαβίωσης [60]. Στην Ισπανία η Tecnalía έχει δημιουργήσει μια σειρά προγραμμάτων στη χώρα των Βάσκων που περιλαμβάνουν ηλικιωμένους ανθρώπους, με ή χωρίς γνωστική ανεπάρκεια ή σωματικές αναπηρίες, τους συγγενείς και τους φροντιστές τους, κλινικό προσωπικό και γιατρούς στην ανάπτυξη προγραμμάτων υποστηριζόμενης διαβίωσης.

Το πρόγραμμα Easy Living [61] της Microsoft ανέπτυξε μια αρχιτεκτονική και τεχνολογίες για έξυπνα περιβάλλοντα. Το EasyLiving περιέχει έξυπνες διεπαφές χρήστη, δυνατότητα για δυναμική επαναρύθμιση των συσκευών, απομακρυσμένο έλεγχο, παρακολούθηση δραστηριοτήτων και ευελιξία στην υποστήριξη της διάδρασης του χρήστη με το σύστημα μέσω πολλών modalities.

Το House_n [62],[63] είναι ένα διεπιστημονικό πρόγραμμα από το τμήμα αρχιτεκτονικής του MIT. Αυτό το πρόγραμμα εξετάζει το πως καινοτόμες τεχνολογίες, υλικά και στρατηγικές αντιμετώπισης εξελίσσουν το πως αντιμετωπίζουμε σύνθετα προβλήματα της καθημερινότητας. Το πρόγραμμα αυτό επικεντρώνεται στην ανάπτυξη νέων σχεδιαστικών εργαλείων και μεθοδολογιών κατασκευής, αισθητήρων και εφαρμογών στοχευμένων στην υγεία, την επικοινωνία και την ενέργεια.

Το project CASAS είναι επίσης ένα διεπιστημονικό πρόγραμμα για έξυπνα σπίτια στο πανεπιστήμιο Washington State. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί intelligent agents που καταγράφουν το περιβάλλον των χρηστών καθώς και την κατάστασή τους και ακολούθως ενεργοποιεί διάφορους ελεγκτές ώστε να βελτιώσει την άνεση, την ασφάλεια ακόμα και την παραγωγικότητα των χρηστών [64],[65]

Σημαντική συνεισφορά στον τομέα παρέχει και το Ambient Intelligence Research Lab στο Stanford, με το έξυπνο δωμάτιο που έχει αναπτύξει, παρέχοντας ένα εξομοιωμένο οικιστικό περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται μια σειρά από

αισθητήρες και ελεγκτές που παρακολουθούν, καταγράφουν και ελέγχουν τις καθημερινές δραστηριότητες των χρηστών που επισκέπτονται το εργαστήριο [66].

Στο ίδιο μοτίβο, στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης το Active and Healthy Aging Living Lab¹ δημιουργήθηκε με στόχο τον πειραματισμό σε έξυπνα μη παρεμβατικά περιβάλλοντα για παθητική αλλά και ενεργητική αντιμετώπιση των πνευματικών και σωματικών συμπτωμάτων της γήρανσης, μέσω γνωστικών αλλά και γυμναστικών ασκήσεων και παρακολούθησης, σε ένα οικολογικά ακριβές περιβάλλον [26],[67],[68]. Το εργαστήριο αποτελείται από ένα σύνολο συνδεδεμένων σπιτιών στα οποία οι χρήστες εκτελούν τις καθημερινές τους δραστηριότητες υπό τη διακριτική παρακολούθηση διαφόρων αισθητήρων και εκτελούν σε συνεργασία με ψυχολόγους και τεχνικούς μια σειρά γνωστικών αλλά και γυμναστικών ασκήσεων, καθώς και από ένα ειδικά διαμορφωμένο οικολογικά ακριβή χώρο στο κτίριο του εργαστηρίου όπου δοκιμάζονται πάλι σε πραγματικούς χρήστες νέες μέθοδοι.

Το RoboCare [69] από το ISTC-CNR² είναι ένα πρωτότυπο ολοκληρωμένο οικιακό περιβάλλον που παρέχει γνωστική υποστήριξη για τη βελτίωση της καθημερινής ζωής των ηλικιωμένων στο σπίτι. Το RDE είναι ένα καταναμεμημένο σύστημα πολλαπλών agents που παρέχει σειρά υπηρεσιών όπως:

- Ένα ρομπότ-υπηρέτη: Η Ρομποτική υπηρεσία είναι το κύριο στοιχείο του RoboCare.
- Interaction Manager (IM): Το ρομπότ ενεργεί ως «γνωστικός διαμεσολαβητής» στο σύστημα, το οποίο μπορεί να αλληλεπιδρά με τους χρήστες και τους αλγόριθμους του RoboCare, και αυτό ελέγχεται από τον I.M. Ο I.M έχει δύο υπομονάδες, τη μονάδα σύνθεσης φωνής (Lucia) και μονάδα αναγνώρισης ομιλίας (Sonic). Αυτές οι δύο υπομονάδες επιτρέπουν στο χρήστη να αλληλεπιδρά με το ρομπότ μέσω ομιλίας.

¹ <http://aha-livinglabs.com/>

² <http://www.istc.cnr.it/>

- Παράγοντας Παρακολούθησης και Εντοπισμού (People Location and Tracking Agent - PLT): Η υπηρεσία PLT βασίζεται σε έναν στερεοσκοπικό αισθητήρα. Ο agent αποτελείται από τρία στοιχεία: (1) ένα στοιχείο που μοντελοποιεί το παρασκήνιο μιας σκηνής, αφαιρεί το φόντο και στο προσκήνιο διαχωρίζει τους ανθρώπους από τα αντικείμενα. (2) Ένα στοιχείο που αναλύει τη θέση και την εμφάνιση των αντικειμένων στη σκηνή (3) ένα στοιχείο παρακολούθησης κίνησης και καταγραφής «τροχιών» για παρακολουθούμενα αντικείμενα και ανθρώπους.

- Παράγοντας Αναγνώρισης Στάσης Σώματος (People-Posture Recognition – PPR) που βασίζεται στο περίγραμμα ανθρώπου (Person-blob) που λαμβάνεται από το PLT και σε μια πρότυπη 3D αναπαράσταση. Παρακολουθεί διάφορες στάσεις, όπως «όρθιος», «ξαπλωμένος», «καθιστός» κλπ .

- Υπηρεσία παρακολούθησης Δραστηριοτήτων της Καθημερινής Ζωής (ADL) : Ο σκοπός του ADL monitor είναι να αναλύσει και να προγραμματίσει τις εργασίες και τη συμπεριφορά του συστήματος. Ένα περιβάλλον διαχείρισης πρόγραμματος για καθημερινές δραστηριότητες έχει αναπτυχθεί βασισμένο σε ένα δίκτυο χρονικών περιορισμών (Temporal Constraint Network

- Παράγοντας Προσωπικού Βοηθού (Personal Data Assistant)

Δεδομένου ότι το σύστημα RoboCare συνδυάζει διάφορους παράγοντες που διανέμονται για να βοηθήσει τη ζωή του χρήστη, απαιτείται και μια υπηρεσία συντονισμού για να ελέγχονται οι διάφοροι agents. Για τις ενέργειες συντονισμού, αναπτύχθηκε η ADOPTN, μια επέκταση του αλγορίθμου ADOPT (Asynchronous Distributed Optimisation).

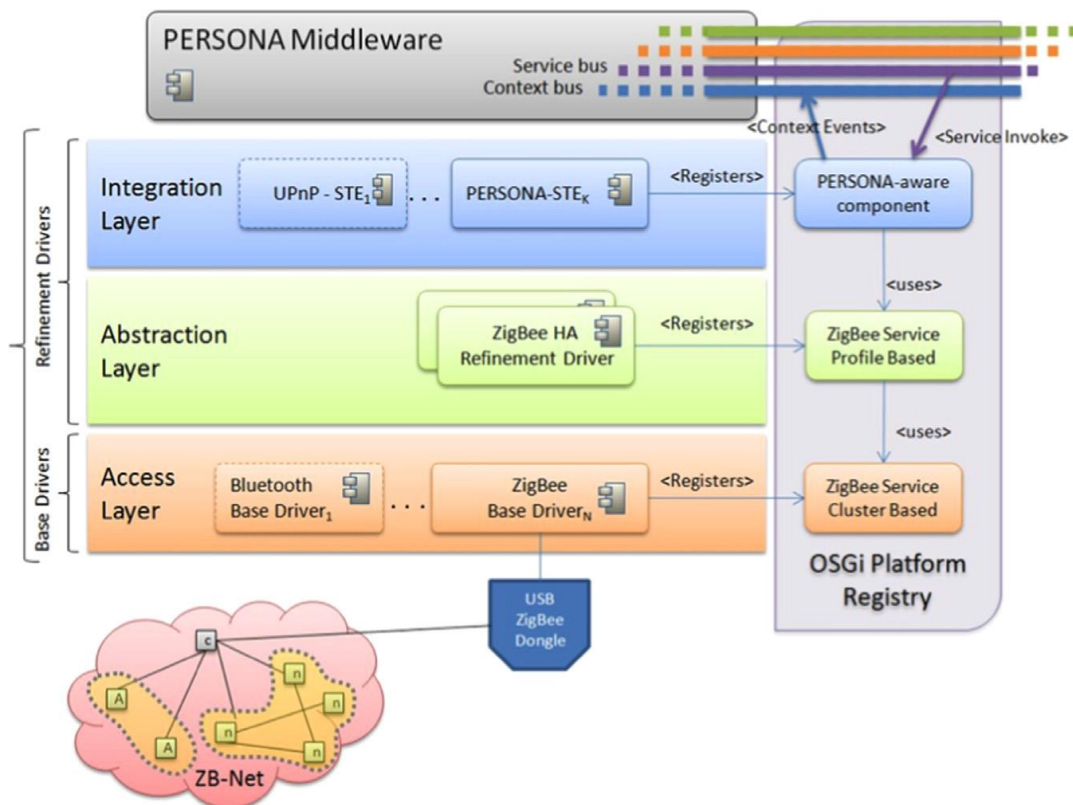
Το PERSONA [70] είναι ένα πρόγραμμα AAL για τους ηλικιωμένους, που χρηματοδοτείται από την ΕΕ με 12 εταίρους από την Ιταλία, την Ισπανία, τη

Γερμανία, την Ελλάδα, τη Νορβηγία και τη Δανία³ . Στοχεύει στην ανάπτυξη βιώσιμης και προσιτή λύσης για την ανεξάρτητη διαβίωση των ηλικιωμένων ανθρώπων . Όσον αφορά τις ανάγκες που επιχειρεί να καλύψει το Persona, διακρίνουμε τα εξής:

- Υπηρεσίες AAL που υποστηρίζουν την κοινωνική ένταξη και την ανταλλαγή εμπειριών.
- Υπηρεσίες Υποστήριξης Καθημερινών Δραστηριοτήτων (ADL's)
- Υπηρεσίες υποστήριξης των ατόμων μεγαλύτερης ηλικίας ώστε να αισθάνονται πιο αξιοπρεπείς, περισσότερη αυτοπεποίθηση και ασφάλεια, παρέχοντας και στους συγγενείς τη δυνατότητα διαχείρισης κρίσεων
- Υπηρεσίες προώθησης της κινητικότητας και στήριξη των ηλικιωμένων έξω από το σπίτι τους.

Η πλατφόρμα Persona (Εικόνα 22) είναι μια ένα επεκτάσιμο και ανοικτό κατανεμημένο σύστημα που βασίζεται στην ιδέα του context-awareness σε AAL εφαρμογές. Η πλατφόρμα παρέχει ένα middleware που υποστηρίζει απρόσκοπτη συνδεσιμότητα και τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα για την αυτοοργάνωση της φυσικής και λογικής αρχιτεκτονικής. Επιτρέπει επίσης την εκ νέου διαμόρφωση των στοιχείων της πλατφόρμας όπως η ο Situation Reasoner, ο Dialogue Manager , και ο Service Orchestrator.

³ <http://www.lst.tfo.upm.es/en/research-areas/ambient-assisted-living/persona/>



Εικόνα 22: Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας PERSONA

5.4 Απαιτήσεις και προδιαγραφές Προτεινόμενου

Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (AAL)

Τα συστήματα τηλεϊατρικής στις μέρες μας, έχουν προσδώσει νέα πνοή στις υπηρεσίες πρόνοιας υγείας με το να συμβάλλουν στην αποκέντρωσή τους, προσφέροντας καινοτόμες υπηρεσίες σε ασθενείς και ιατρούς παγκοσμίως, παράλληλα καθιστώντας την ιατρική πιο αποδοτική και λιγότερο κοστοβόρα σε ένα πλήθος από εφαρμογές της.

Υπάρχει όμως ακόμα ένας τομέας του οποίου οι ανάγκες δεν έχουν ακόμα αντιμετωπισθεί σε μεγάλο ποσοστό, αν και εισάγει ένα σημαντικό βάρος τόσο κοινωνικά όσο και οικονομικά. Μιλάμε για την περίθαλψη ασθενών που πάσχουν από διάφορες μορφές άνοιας καθώς και τους υπεύθυνους για τη φροντίδα τους. Ασθενείς

που δεν είναι έγκλειστοι σε ιδρύματα αλλά που καθημερινά διατρέχουν κίνδυνο να εμφανίσουν εκτός από τα συνηθισμένα προβλήματα στη σωματική τους υγεία και ψυχιατρικές διαταραχές όπως κατάθλιψη, κρίσεις πανικού και εκρήξεις θυμού στο σπίτι την ώρα απουσίας -ή και όχι- των οικείων τους.

Η καθυστέρηση της ιδρυματοποίησης τέτοιων ασθενών, προϋποθέτει τη δημιουργία πιο ευέλικτων μορφών και υποδομών πρόνοιας και περίθαλψης οι οποίες θα βελτιώνουν την καθημερινή ποιότητα ζωής τους και θα τους κάνουν να αισθάνονται παράλληλα πιο ανεξάρτητοι. Αυτό είναι δυνατόν να επιτευχθεί μέσω ICT λύσεων για την εκ του μακρόθεν παρακολούθηση τόσο της σωματικής όσο και της συναισθηματικής και ψυχολογικής κατάστασης του ασθενή παράλληλα με την παρακολούθηση της γνωστικής του λειτουργίας, ώστε να οδηγηθούμε σε έγκαιρη ανίχνευση, ακόμα και πρόβλεψη, ανεπιθύμητων καταστάσεων. Ο βασικός στόχος λοιπόν ενός συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης είναι η αποτροπή και πρόβλεψη αυτών των ανεπιθύμητων καταστάσεων μέσω αναγνώρισης παραγόντων κινδύνου και έγκαιρων ιατρικών επεμβάσεων, πριν ή άμεσα κατά την εκδήλωσή τους. Σε δημοσίευσή μας [7] περιγράψαμε τις απαιτήσεις και λειτουργικές προδιαγραφές ενός τέτοιου συστήματος, καθώς και μια προτεινόμενη αρχιτεκτονική.

5.4.1 Μη λειτουργικές απαιτήσεις

Οι μη-λειτουργικές απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος, μια και μιλάμε για εφαρμογή τηλεϊατρικής, τέθηκαν υπόψην ομάδας ιατρών σε 3 ερευνητικά κέντρα της Ευρώπης (Πανεπιστήμιο Bologna-Ιταλία, Badalona Serveis Assistencials-Ισπανία και National Hospital for Neurosurgery & Neurology-Αγγλία). Τα αποτελέσματα της έρευνάς αυτής υπέδειξαν τους παρακάτω βασικούς πυλώνες απαιτήσεων για το σύστημα:

- Κριτήρια Εισαγωγής και Αποκλεισμού Ασθενών

- Επιλογή Κατάλληλων Μετρικών Εκτίμησης και
- Προκαθορισμός πρωτευόντων και δευτερευόντων αποτελεσμάτων ενός Σ.Υ.Δ

5.4.1.1 Κριτήρια εισαγωγής και αποκλεισμού ασθενών

Για ένα αποτελεσματικό σύστημα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, που στοχεύει στην περίθαλψη ασθενών με νευροεκφυλιστικές νόσους, βασικό κριτήριο είναι η κάλυψη αναγκών ασθενών που υποφέρουν από Alzheimer's, νόσο του Πάρκινσον, Αγγειακή Άνοια, μικτή Άνοια (και Alzheimer's και αγγειακή) καθώς και τις λοιπές μορφές νευροεκφυλιστικής άνοιας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για αναγνώριση κοινών στοιχείων εκδήλωσης των ασθενειών αυτών στους ασθενείς που υποφέρουν από αυτές, ώστε αυτά να είναι εκμεταλλεύσιμα υπό το πρίσμα ενός Σ.Υ.Δ. Σημαντική παράμετρος επίσης ήταν η επαρκής ακόμα ικανότητα του ασθενή για αυτονομία, η οποία εξακριβώνεται μέσω των κατάλληλων κλιμάκων εκτίμησης (Minimal State Examination) και σκορ τον δείκτη Barthel (Barthel Index). Επίσης απαραίτητη κρίθηκε και η ύπαρξη κάποιου φροντίζοντα του ασθενούς, με βασική τεχνολογική αντίληψη για τη χρήση ενός ΣΥΔ. Ασθενείς που αποκλείονται από χρήση τέτοιων συστημάτων είναι ασθενείς με υψηλά σκορ στις κλίμακες εκτίμησης, ασθενείς που ζουν εντελώς μόνοι τους χωρίς καμία επίβλεψη και ασθενείς στα τελευταία στάδια της ασθένειας.

5.4.1.2 Μετρικές Εκτίμησης

Άλλη μια βασική απαίτηση για το σύστημα είναι η επιλογή των κατάλληλων μετρικών εκτίμησης της πορείας του ασθενή. Εδώ είχαμε 2 πυλώνες : Πρώτον την εκτίμηση της ψυχολογικής κατάστασης και δεύτερον την εκτίμηση της σωματικής υγείας. Όσον αφορούσε την εκτίμηση φυσιολογικών χαρακτηριστικών, η επιλογή ήταν απλή υπόθεση μια και οι δείκτες υγείας είναι σαφείς και καθορισμένοι και

μπορούν άνετα να υλοποιηθούν ως κατώφλια σε ένα ΣΥΔ. Μια και όμως ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να βασίζεται και σε ψυχομετρικά τεστ που απαιτούν απαντήσεις σε συγκεκριμένα ερωτηματολόγια (με μορφή ερωτήσεων όπως π.χ. «Τι ημερομηνία έχουμε;» «Ποιο έτος γεννήθηκες» κ.λπ.), ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί στο ποιες κλίμακες θα επιλεγούν, μια και αυτές από το νόμο επιβάλλεται να γίνονται από εκπαιδευμένο προσωπικό και όχι από τους φροντιστές των ασθενών. Έτσι καταλήξαμε πως ένα ΣΥΔ το οποίο μεταξύ άλλων χρησιμοποιεί και ψυχομετρικά τεστ, θα πρέπει να χρησιμοποιεί τα απλούστερα κλινικά εργαλεία εκτίμησης, τα οποία όμως να μπορούν να μετρούν επαρκώς την πορεία υγείας του ασθενή και να είναι εύκολο να συμπληρωθούν στο σπίτι με τη βοήθεια κάποιου χωρίς ιατρικό υπόβαθρο. Οι απαντήσεις των κλιμάκων αυτών στη συνέχεια, σε ένα ολοκληρωμένο Σ.Υ.Δ, συγκρίνονται με κατώφλια σκορ και αποφασίζεται ανάλογα η επέμβαση ή όχι του ιατρού, αφού παραχθεί ένα μήνυμα «συναγερμού» σε περίπτωση επιδείνωσης. Για να λειτουργήσει αποδοτικά ένα Σ.Υ.Δ θα πρέπει στη φάση αρχικοποίησής του, στο σύστημα να συμπεριλαμβάνονται οι αποδόσεις του ασθενή σε μετρικές όπως οι παρακάτω:

- Mini Mental State Examination (MMSE)
- Barthel Index (BI)
- Blessed Dementia Scale (BDS)
- Mattis Dementia Rating Scale (MDRS)
- Quality of Life scale για άνοια

5.4.1.3 Πρωτεύοντα και Δευτερεύοντα Αποτελέσματα

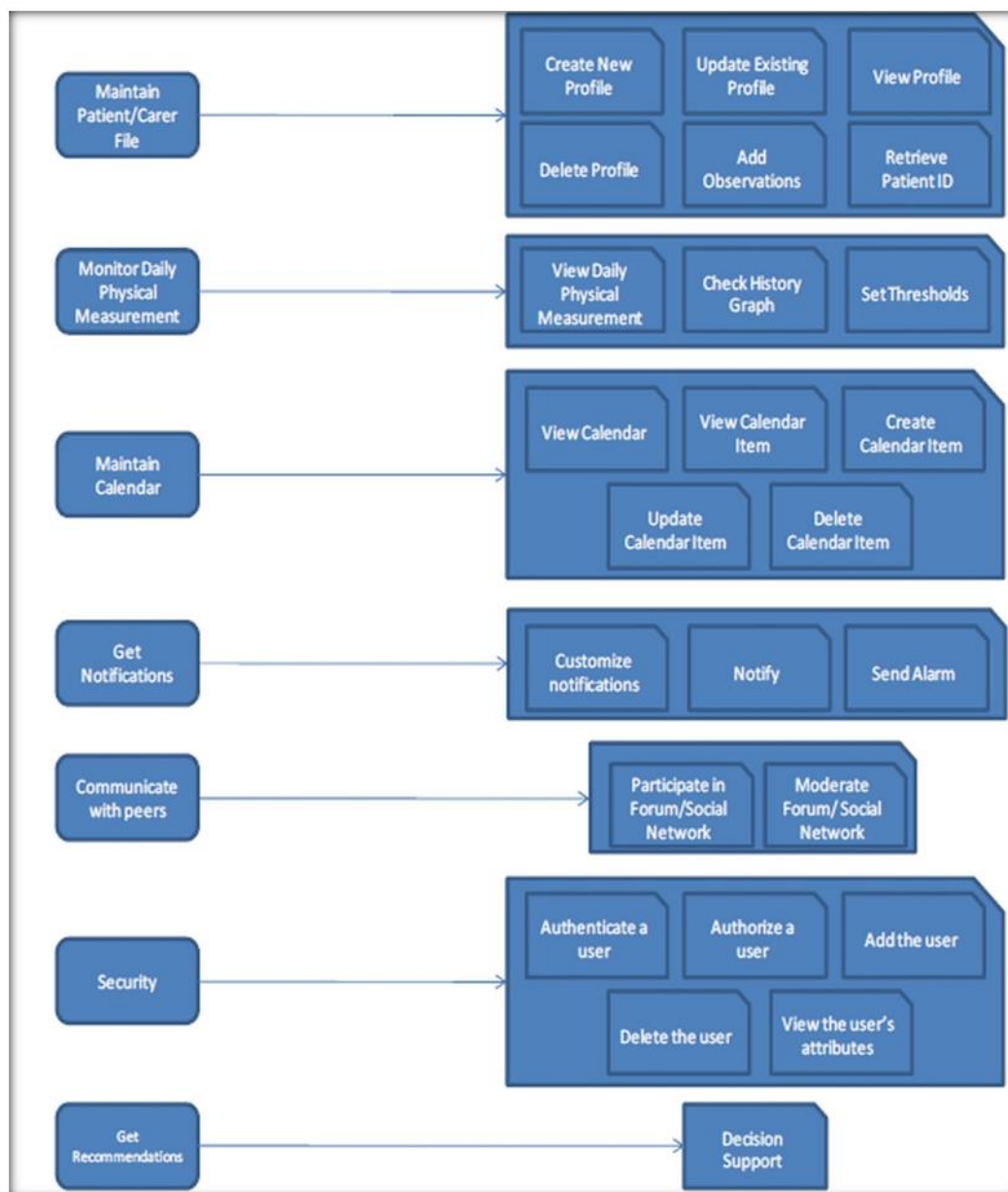
Στον πυρήνα της ανάγκης λειτουργίας ενός Σ.Υ.Δ βρίσκεται η αποφυγή εκτάκτων περιστατικών. Ένας μη-ιδρυματοποιημένος ασθενής, σε καθημερινή βάση

αντιμετωπίζει καταστάσεις ανάγκης που οφείλονται στην πάθησή του και τις επιπτώσεις της στην πνευματική του κατάσταση, τη σωματική του υγεία και τα χρησιμοποιούμενα φάρμακα.

Έτσι, ένα Σ.Υ.Δ θα πρέπει σε πρώτο βαθμό να βοηθά στην αποφυγή εκτάκτων περιστατικών, στη άμεση αντίδραση και αποτελεσματικότητα σε περίπτωση εκδήλωσής τους και τελικά στη μείωση της ανάγκης για συχνές κλινικές επισκέψεις. Μέσω την έγκαιρης ανίχνευσης σημείων κλινικών «συναγερμών» επιτυγχάνεται τόσο η αποφυγή εκτάκτων περιστατικών όσο και σε δεύτερο βαθμό η βελτίωση της ποιότητας ζωής τόσο του ασθενούς όσο και αυτών που τον φροντίζουν. Επίσης σε δεύτερο βαθμό έχουμε τη σαφή μείωση του κόστους περίθαλψης.

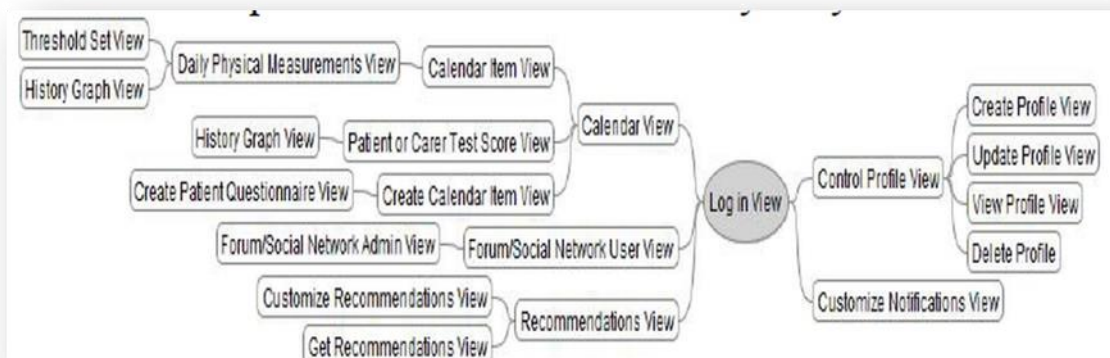
5.4.2 Λειτουργικές Απαιτήσεις

Ο καθορισμός των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος, ξεκινά μετά τη φάση των μη-λειτουργικών απαιτήσεων από τους κύριους ενδιαφερόμενους, δηλαδή τους χρήστες. Υπάρχει μια n-σε-n συσχέτιση μεταξύ απαιτήσεων χρηστών και λειτουργικών απαιτήσεων, αφού μια συγκεκριμένη απαίτηση χρήστη μπορεί να υποδεικνύει την ανάγκη για πολλαπλές λειτουργικότητες και μια λειτουργικότητα να ικανοποιεί πολλές απαιτήσεις χρήστη. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε ένα δείγμα λειτουργικών απαιτήσεων ενός Σ.Υ.Δ που προέκυψαν μετά από επεξεργασία των απαιτήσεων των χρηστών.



Εικόνα 23: Χαρτογράφηση απαιτήσεων χρηστών (αριστερά) σε λειτουργικές απαιτήσεις Σ.Υ.Δ (δεξιά)

Μέσω αυτής της χαρτογράφησης, μπορούμε να δούμε την ανάλυση των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος και να παρέχουμε μια πρώτη εικόνα ενός Σ.Υ.Δ με γενικούς όρους εισόδου/εξόδου καθώς και της δομής του User Interface, που βλέπουμε στην Εικόνα 24 σαν ιεραρχικό διάγραμμα συστήματος



Εικόνα 24 : Ιεραρχική άποψη των όψεων ενός παραδείγματος Σ.Υ.Δ

Έτσι λοιπόν οι βασικές λειτουργικές απαιτήσεις για ένα Σ.Υ.Δ είναι οι εξής:

- Λειτουργία για δημιουργία, επεξεργασία και γενική διαχείριση των προφίλ ασθενών από τους γιατρούς
- Λειτουργία επίβλεψης και ενημέρωσης σε καθημερινή βάση της σωματικής υγείας
- Λειτουργία online ημερολογίου καταγραφής, στο οποίο ο ιατρός θα μπορεί να προσθέτει «εργασίες» (π.χ. «να γίνει MMSE τεστ», «να γίνει έλεγχος βάρους» κ.λπ.) και να επιβλέπει την πραγματοποίησή τους
- Λειτουργία παραγωγής εκτάκτων ειδοποιήσεων και παραμετροποίησή τους
- Λειτουργία ύπαρξης online κοινότητας διάδρασης μεταξύ των φροντιστών των ασθενών
- Ύπαρξη κατάλληλων δικλίδων ασφάλειας και προστασίας των δεδομένων των ασθενών
- Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (decision support) για αυτόματο έλεγχο σωματικής και ψυχολογικής υγείας το οποίο θα τροφοδοτεί τη γεννήτρια ειδοποιήσεων

5.5 Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Σ.Υ.Δ

Αφού λοιπόν έχουμε παγιώσει και καθορίσει τόσο τις λειτουργικές όσο και τις μη λειτουργικές απαιτήσεις για ένα Σ.Υ.Δ, προχωράμε στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική [7]

Στο σύστημά μας, διακρίνουμε τα εξής υποσυστήματα:

- Ένα περιβάλλον web για την επικοινωνία, το οποίο παρέχει εκτός των άλλων και δυνατότητες κοινωνικής δικτύωσης (σε «κλειστό» ελεγχόμενο κοινωνικό δίκτυο, χρησιμοποιούμενο από τους φροντιστές για μεταξύ τους επικοινωνία)
- Ένα secure server
- Έναν authentication server
- Ένα υποσύστημα για αναγνώριση προτύπων και ανίχνευση κινδύνου
- Έξυπνες συσκευές/αισθητήρες για συλλογή και μετάδοση δεδομένων

5.5.1 Web εφαρμογή επικοινωνίας

Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται από τους φροντιστές και τους ασθενείς για να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του Σ.Υ.Δ. Με τη βοήθεια υλοποιούμενων εφαρμογών, οι χρήστες μπορούν να δουν δεδομένα που τους ενδιαφέρουν, να δουν πιθανές δραστηριότητες που τους έχουν ανατεθεί από το γιατρό στο ημερολόγιο (π.χ. πάρε το χ φάρμακο σήμερα, συμπλήρωσε το χ τεστ κ.λπ.) και να συμπληρώσουν τα απαραίτητα ερωτηματολόγια για την εκτίμηση της νευροψυχιατρικής κατάστασης του ασθενή. Από κει και πέρα, το σύστημα αναλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων αυτών, τη σύγκρισή τους με τα κατώφλια και την παραγωγή ή όχι κατάλληλων προειδοποιήσεων.

5.5.2 O authentication server

Ο server αυτός ελέγχει την επικοινωνία και πρόσβαση προς και από τα 2 αποθετήρια δεδομένων (repositories): Το αποθετήριο που περιέχει το αρχικό προφίλ του ασθενή, εν προκειμένω το κλινικό του ιστορικό, καθώς και το αποθετήριο που περιέχει τα εισερχόμενα δεδομένα που παρακολουθούνται (ζωτικά σημεία, σκορ σε νευροψυχιατρικά τεστ κ.λπ.). Ο server αυτός συνεργάζεται και με έναν άλλο server, υπεύθυνο για την κωδικοποίηση και την ασφάλεια της επικοινωνίας από και προς το

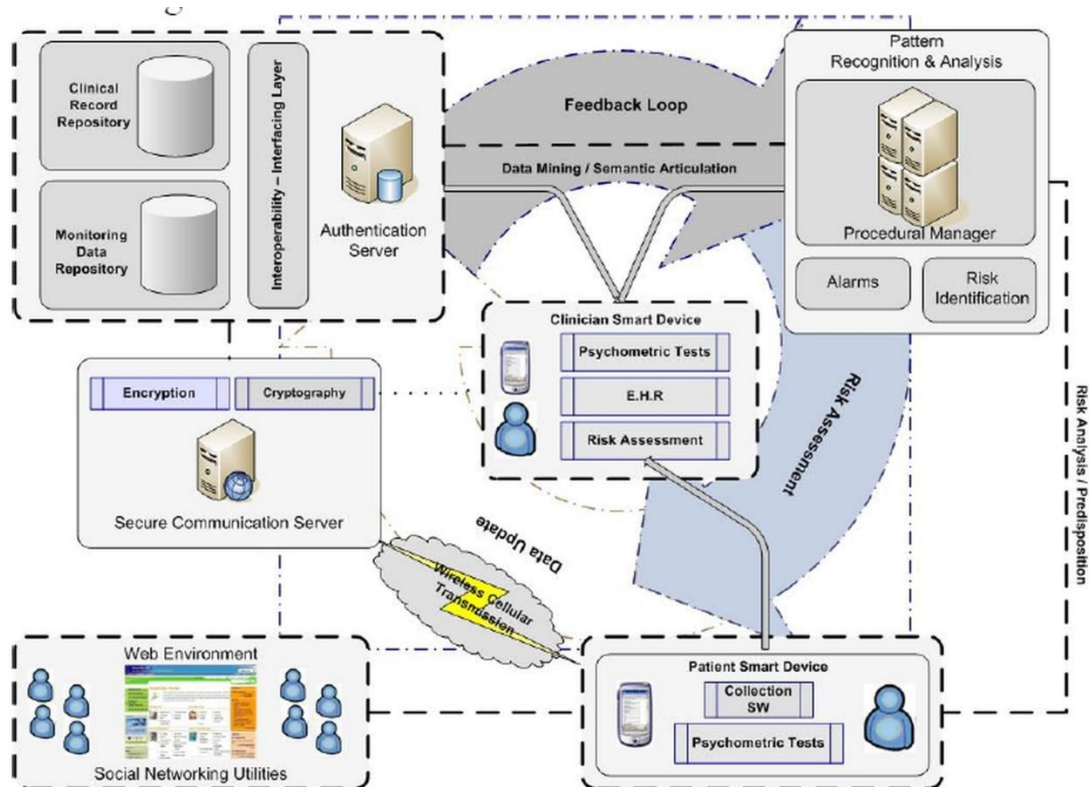
Σ.Υ.Δ. Ο authentication server επίσης επιτρέπει την επικοινωνία με εξωτερικές πηγές κλινικών πληροφοριών (Hospital Information Systems-HIS) και υλοποιεί ένα web gui για την αλληλεπίδραση των διαχειριστών και των ιατρών με το σύστημα.

5.5.3 Υποσύστημα Αναγνώρισης Προτύπων κ' Ανίχνευσης Κινδύνου

Στο υποσύστημα αυτό, υλοποιούνται όλοι οι αλγόριθμοι που έχουν να κάνουν με την αυτόματη επεξεργασία των δεδομένων του ασθενή (ζωτικά σημεία, σκορ σε νευροψυχιατρικά τεστ κ.λπ.) και οι οποίοι συγκρίνουν τα εισερχόμενα δεδομένα με το κλινικό προφίλ του ασθενή, λαμβάνουν υπόψη τα κατάλληλα κατώφλια και μέσω μιας διαδικασίας υποστήριξης λήψεως αποφάσεων (decision support) παράγουν ή όχι τις κατάλληλες προειδοποιήσεις προς τον ιατρό, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης κινδύνων. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά στην παράγραφο 6.3.2

5.5.4 Έξυπνες συσκευές / αισθητήρες

Τέλος, σημαντικό ρόλο στην απόκτηση των δεδομένων παίζουν οι κατάλληλοι συνδεδεμένοι με το Σ.Υ.Δ αισθητήρες που επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος, αντίστοιχα με αυτά που έχουμε ήδη δει, στην παράγραφο 5.2.2.1. Εδώ μπορούμε να χρησιμοποιούμε αισθητήρες όπως πιεσόμετρα, αζελερόμετρα (για τη μέτρηση του επιπέδου δραστηριότητας του ασθενή καθημερινά), σφυγμοξύμετρα, κάμερες, μικρόφωνα κ.α. Οι αισθητήρες που χρειάζεται να φέρει πάνω του ο ασθενής απαιτείται να επικοινωνούν ασύρματα με το σύστημα και να είναι ειδικής σχεδίασης μικρής όχλησης, ενώ οι υπόλοιποι όχι.



Εικόνα 25: Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

5.6 Αρχιτεκτονική Καινοτόμου Συστήματος

Υποβοηθούμενης Διαβίωσης Βασισμένου σε

Συμπεριφορική Βιομετρική

Στους βασικούς στόχους της διατριβής αυτής, είναι και ο συνδυασμός των υπάρχοντων Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, με ένα σύστημα που θα εκμεταλλεύεται βιομετρικά χαρακτηριστικά.

Η έκρηξη των νέων τεχνολογιών στην πληροφορική κατά τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει σε ενδιαφέρουσες εξελίξεις σε πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής. Η συστηματική και ολοκληρωμένη φροντίδα υγείας επωφελείται από διαρκείς εξελίξεις

στην τεχνολογία, σε ένα πλαίσιο που παρέχει περισσότερο αποκεντρωμένες, μη κοστοβόρες και αποτελεσματικές υπηρεσίες στους ασθενείς. Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης βρίσκονται διαρκώς υπό έρευνα και ανάπτυξη, με στόχο την παροχή στους κατ'οίκον ασθενείς μέσων για να αντιμετωπίσουν την ασθένειά τους, καθυστερώντας την ιδρυματοποίηση και τη μείωση της καθημερινής επιβάρυνσης για τα μέλη της οικογένειας και τους φροντιστές τους εν γένει. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πρόληψη είναι καλύτερη από την θεραπεία, συστήματα στοχευμένα σε εφαρμογές Υποβοηθούμενης Διαβίωσης είναι και πρέπει να είναι υπεύθυνα για αποτελεσματική επεξεργασία των δεδομένων του ασθενή, όσον αφορά την εκδήλωση της νόσου, της επεξεργασίας τους για εξαγωγή μοτίβων καθώς και ανάλυση και σύγκριση των δεδομένων για ανίχνευση και πρόβλεψη ανεπιθύμητων συμβάντων. Η σύνταξη επίσης εξατομικευμένου προφίλ του ασθενούς, με σκοπό την επεξεργασία του για τη βελτίωση της καθημερινότητάς του, με σκοπό την καθυστέρηση της ιδρυματοποίησης σε νοσοκομεία και κλινικές, είναι άλλο ένα σημαντικό κομμάτι εφαρμογής σε τέτοια συστήματα.

Τα Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης καλούνται τώρα να διευρύνουν το πεδίο τους ακόμα περισσότερο. Πλέον δεν είναι αρκετό απλά να καταγράφουμε τα ζωτικά σημεία του ασθενούς και να ενημερώνουμε το θεράποντα ιατρό για την κατάσταση του, ή να παρακολουθούμε τη χορήγηση της φαρμακευτικής αγωγής και συμμόρφωση ή όχι του ασθενούς σε αυτήν. Η σύνταξη λεπτομερούς βιομετρικού συμπεριφορικού προφίλ των ασθενών αποτελεί το επόμενο βήμα, με στόχο να βοηθήσει ενεργητικά και με μετρήσιμο τρόπο τους πάσχοντες να βελτιώσουν την καθημερινότητά τους, να ανταπεξέλθουν στις οικιακές δραστηριότητες, να παρακολουθούν την υγεία τους και με λίγα λόγια, να καλυτερεύουν τη ζωή τους.

Συντάσσοντας το συμπεριφορικό προφίλ ενός ασθενούς και παρακολουθώντας γενικά τις αντιδράσεις του σε ερεθίσματα, τη διάθεσή του, τη συμπεριφορά του στους οικείους του, ακόμα και τη στάση του σώματός του μπορούμε τώρα να εξάγουμε συμπεράσματα όχι μόνο για τη σωματική αλλά –σημαντικό για εκφυλιστικές ασθένειες- και την ψυχολογική του κατάσταση. Έτσι, με τη χρήση ενός αποτελεσματικού συστήματος επεξεργασίας και κατάρτισης προφίλ και αναγνώρισης μοτίβων συμπεριφοράς, μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα μας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να βοηθούν στην πρόληψη όχι μόνο σωματικών ανεπιθύμητων ενεργειών, αλλά και ψυχολογικών.

Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση συμπεριφορικών βιομετρικών στοιχείων, ως πηγή πλούσια σε πληροφορίες για το άτομο που σχετίζονται τόσο με τη σωματική αλλά όσο και με την με την ψυχολογική κατάσταση του ατόμου αποτελεί τη βάση για μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να βελτιώσει ιδιαίτερα τα ΣΥΔ.

Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες εφαρμογές των βιομετρικών στοιχείων επικεντρώνονται στην αυτοματοποίηση και διασφάλιση διαδικασιών ταυτοποίησης και επαλήθευσης σε τομείς από την ψυχαγωγία μέχρι την ασφάλεια, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη δυνατότητα εξαγωγής προφίλ από βιομετρικά δεδομένα. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί μια χρήσιμη και πλούσια πηγή επεξεργασίας πληροφοριών και εφαρμογών από την ταξινόμηση φύλου, ηλικίας και εθνικότητας μέχρι την αναγνώριση σωματικής υγείας (από το βάδισμα) και το αντικείμενό μας, της συναισθηματικής κατάστασης.

Το βιομετρικό προφίλ μπορεί να εξυπηρετήσει μια πληθώρα εφαρμογών με εύρος από την ιατρική στην πρόληψη του εγκλήματος και από το ηλεκτρονικό εμπόριο και την παροχή υπηρεσιών[21]

Στην περίπτωση μας, αυτή των ιατρικών εφαρμογών, ένα επιπλέον προτέρημα είναι η μη επεμβατική φύση των τρόπων συλλογής δεδομένων (π.χ. κάμερες και μικρόφωνα) που επιτρέπει υψηλά επίπεδα αποδοχής και ουσιαστικής χρήσης, με την προϋπόθεση βέβαια της συναίνεσης.

Στην περίπτωση των assisted living συστημάτων οι βασικές τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τη λήψη βιομετρικών δεδομένων είναι κάμερες και μικρόφωνα με το πρόσθετο πλεονέκτημα της μη-επεμβατικότητας, δεδομένου δεν απαιτούν ούτε άμεση αλληλεπίδραση με τον ασθενή, ούτε οποιαδήποτε σωματική επιβάρυνση του.

Έτσι, οι εικόνες του προσώπου μας, παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες κάθε φορά που αυτό αλλάζει έκφραση αλλά και οι κινήσεις του σώματος είναι πηγές σημαντικής πληροφορίας μέσω της στάσης και της γενικότερης κινησιολογίας –η περίφημη γλώσσα του σώματος- που μπορεί είτε άμεσα είτε έμμεσα να συνδέεται με συναισθηματικές καταστάσεις, όπως ο θυμός, ο φόβος, η θλίψη, ο πόνος. Στην ανάλυση φωνής, τα στατιστικά στοιχεία των θεμελιωδών (fundamental) και των διαμορφουσών (formant) συχνοτήτων, μαζί με χρονικά εξαρτημένες παραμέτρους όπως η διάρκεια των παύσεων, η ποιότητα της φωνής και η ποιότητα εκφοράς του λόγου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το συναίσθημα [32,71]

Η ταξινόμηση των χειρονομιών περιλαμβάνει τη σύλληψη και την ερμηνεία της κάθε εκούσιας χειρονομίας, η οποία μπορεί να οριστεί ως "όλα τα είδη των περιπτώσεων όπου ένα άτομο εμπλέκεται σε κινήσεις των οποίων η επικοινωνιακή πρόθεση είναι υψίστης σημασίας, πρόδηλη και ανοιχτά αναγνωρίσιμη" [73], συμπεριλαμβανομένων, για παράδειγμα χειρονομιών που κάνουμε όταν μιλάμε [74] και αυτόνομων κινήσεων, οι οποίες μεταφέρουν ένα συγκεκριμένο μήνυμα, όπως όταν κάποιος αντί να πει

«ησυχία» , βάζει το δείκτη του κάθετα στα χείλη του. Η έννοια της χειρονομίας μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει τη γλώσσα του σώματος και ακούσιες κινήσεις. Στην περίπτωση AAL συστημάτων, η ικανότητα να εντοπίζουμε μη παρεμβατικά και να ερμηνεύουμε ανθρώπινες χειρονομίες, συμπεριλαμβανομένων και συγκεκριμένων μοτίβων κίνησης, μπορεί να μας προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τη συνολική κατάσταση του ασθενή, ούσα επίσης και ένα ευκολότερο, φιλικότερο προς το χρήστη και την αλληλεπίδρασή του με το σύστημα, εργαλείο.

Σε μια προσπάθεια να επωφεληθούμε από την πληθώρα πληροφοριών που κρύβονται στα σωματικά και συμπεριφορικά βιομετρικά δεδομένα, εξελίσσουμε και ερευνούμε συνεχώς νέα πολυτροπικά (multimodal) βιομετρικά συστήματα. Ενσωματώνοντας μια ποικιλία αισθητήρων και τεχνολογιών, τα πολυτροπικά βιομετρικά συστήματα συλλαμβάνουν και επεξεργάζονται μια μεγάλη γκάμα δεδομένων όπως η φωνή, η ομιλία, το πρόσωπο, οι κινήσεις του σώματος, παρέχοντας πολλαπλές δυνατότητες ταξινόμησης/ανίχνευσης από αυτά (Caridakis, 2007; Lee et al., 2011)

Ακολούθως αναλύουμε μια εφαρμογή συνδυασμού βιομετρικού συστήματος με το καινοτόμο σύστημα Σ.Υ.Δ που προτείνεται από τη διδακτορική αυτή διατριβή και δημοσιεύτηκε στο **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing** [77].

5.6.1 Το παράδειγμα εφαρμογής

Ο ασθενής μας είναι 78 ετών άνθρωπος που υποφέρει αρχικό στάδιο Αλτσχάϊμερ και λόγω ηλικίας έχει ελαφρό πρόβλημα κινητικότητας. Δεν είναι μειωμένη, αλλά δεν μπορεί να κινηθεί αρκετά εύελκτα. Ως εκ τούτου, ο ίδιος δεν αισθάνεται άνετα όταν περπατά και υπάρχει κίνδυνος να πέσει. Ακόμα, πρέπει να λαμβάνει χάπια από το στόμα δύο φορές την ημέρα για το Αλτσχάϊμερ και επειδή έχει και υψηλή αρτηριακή

πίεση άλλο ένα χάπι την ημέρα. Παρά το γεγονός ότι τα παιδιά του, προσφέρθηκαν να τον φιλοξενήσουν, ο ασθενής δεν το επέλεξε, σεβόμενος την ιδιωτικότητά τους και λέγοντας ότι προτιμά να μείνει στη γειτονιά του, όπου μπορούν να τον επισκέπτονται οι παλιοί του φίλοι. Ωστόσο, μια και τον περισσότερο χρόνο του τον περνά σπίτι και φοβάται μην πέσει περπατώντας αλλά και μη χαθεί ή ξεχάσει κάτι σημαντικό, αυτό τον αποτρέπει και από περιπάτους έξω αλλά και από το να δραστηριοποιείται σπίτι, με κατάληξη να αισθάνεται απομονωμένος, ανίκανος και πολύ θλιμμένος. Τα παιδιά του ανησυχούν γι' αυτόν και την καθημερινή ποιότητα της ζωής του και θέλουν να παρακολουθούν την κατάστασή του.

5.6.1.1 Ένα τυπικό πρωινό

Ο ασθενής είναι συνήθως ξύπνιος από νωρίς το πρωί, καθώς δεν κοιμάται πολύ. Ωστόσο, είναι πολύ νωρίς για 'αυτόν να σηκωθεί, έτσι προτιμά την παραμονή στο κρεβάτι ακούγοντας ραδιόφωνο. Αισθητήρες στο στρώμα και το μαξιλάρι εντοπίζουν τις κινήσεις του, ο ρυθμός της καρδιάς και της αναπνοής και αναφέρει ότι είναι ξύπνιος και μετά από έλεγχο με το προφίλ του το σύστημα συμπεραίνει ότι είναι μια συνηθισμένη ώρα για να ξυπνήσει (έτσι ώστε να αποφευχθεί το ξύπνημα κατά τη διάρκεια της νύχτας), το ραδιόφωνο ενεργοποιείται αυτόματα για τον αγαπημένο σταθμό του. Δεδομένου ότι είναι χειμώνας και έχει κρύο, η θέρμανση του σπιτιού ενεργοποιείται αυτόματα έτσι ώστε το σπίτι να είναι ζεστό όταν ο ασθενής σηκωθεί. Μια και φαίνεται μάλλον ενοχλημένος κατά τη διάρκεια των τελευταίων ημερών (η φωνή του αποκαλύπτει θυμό, είναι συνέχεια συνοφρυωμένος και με τα χείλη σμιχτά κάνει απότομες κινήσεις κλπ. Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται και αποθηκεύονται στο ψυχολογικό του προφίλ για την εβδομάδα) αντί ενός κλασσικού ξυπνητηριού, μια απαλή φωνή τον ενημερώνει πως ήρθε η ώρα να σηκωθεί. Το σύστημα σηκώνει αυτόματα τις περσίδες. Μάλλον όμως δεν είναι τόσο πρόθυμος να σηκωθεί, αλλά το

φως είναι αρκετά ενοχλητικό και έτσι αποφασίζει σηκωθεί από το κρεβάτι του. Καθώς κινείται προς την πόρτα, σκοντάφτει σε μια καρέκλα και πέφτει κάτω. Η κάμερα στη γωνία του δωματίου ανιχνεύει το περιστατικό και μια φωνή ρωτά αν είναι εντάξει και τον ενθαρρύνει σιγά-σιγά να σηκωθεί ξανά. Η κάμερα ανιχνεύει ότι υπάρχει ένα τραπεζάκι δίπλα του και προτείνει ότι θα μπορούσε να στηριχτεί εκεί για να σηκωθεί. Ο ασθενής προσπαθεί να σηκωθεί και τελικά τα καταφέρνει. Ο χρόνος που χρειάστηκε καταγράφεται. Η κάμερα δεν ανιχνεύει ενδείξεις πόνου ή ασυνήθιστους μορφασμούς στο πρόσωπό του και καμία αλλαγή στην συνήθη τρόπο βαδίσματος αλλά τον ρωτά ακόμα μερικές ερωτήσεις για να βεβαιωθείτε ότι όλα είναι εντάξει. Έτσι, ρωτά τον ασθενή μας, «είσαι εντάξει; Αν ναι, τότε παρακαλώ σηκώστε το χέρι σας".

Ο ασθενής απαντά θετικά αλλά εν τω μεταξύ η κόρη του που έχει ενημερωθεί για το συμβάν, του τηλεφωνεί για να βεβαιωθεί ότι είναι εντάξει.

5.6.1.2 Έξω για βόλτα

Μετά το πρωινό ο ασθενής συνήθως πάει έξω για ένα μικρό περίπατο γύρω από το τετράγωνο, καθώς τα πόδια του, απαιτούν καθημερινή άσκηση. Σήμερα, όμως, φαίνεται αρκετά λυπημένος –πράγμα που καταγράφεται ως πλέον σχετικά συνηθισμένο στο ψυχολογικό του προφίλ. Ο γιατρός του αργότερα στην εβδομάδα θα διαπιστώσει ότι τον τελευταίο μήνα ο ασθενής είναι λυπημένος ή θυμωμένος με αυξανόμενη συχνότητα- και δεν φαίνεται να είναι πρόθυμος να βγει έξω, αν και ο καιρός δε είναι κακός. Η κάμερα ανιχνεύει ότι κάθεται στην πολυθρόνα και έτσι το σύστημα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν πρόκειται να βγει. Οι εκφράσεις του και η στάση του επεξεργάζονται για να ανιχνευθεί η διάθεσή του. Δεδομένου ότι ούτε χτες βγήκε για τη βόλτα του, ο ασθενής ενθαρρύνεται να πάει έξω από μια ήρεμη φωνή ενώ ταυτόχρονα προβάλλονται φωτογραφίες από τοπία στην τηλεόραση

μπροστά του, μαζί με μια ελαφριά μουσική του γούστου του από το ηχοσύστημα, ώστε να του βελτιωθεί η διάθεση. Τις περισσότερες ημέρες αυτό πιάνει, αλλά όχι σήμερα – ο ασθενής αποφασίζει να μείνει στη πολυθρόνα του. Η έκφραση στο πρόσωπό του εξακολουθεί να είναι λυπημένη. Το σύστημα αποφασίζει πως απαιτείται κάποια εξωτερική ανθρώπινη αλληλεπίδραση, έτσι επικοινωνεί με την κόρη του, η οποία χρησιμοποιώντας το κινητό της τηλέφωνο με κάμερα, ομιλεί με τον πατέρα της μέσω της τηλεόρασής του και καταφέρνει να τον πείσει να βγει έξω. Το σύστημα ελέγχει και ενημερώνει τον ασθενή για την εξωτερική θερμοκρασία.

5.6.1.3 Επιστροφή στο σπίτι

Ο ασθενής μας πηγαίνει έξω και αμέσως συναντά έναν παλιό φίλο. Μιλάνε για τα νέα τους, αλλά ο ασθενής μας ξεχνά το όνομα του φίλου του, οπότε μετά αισθάνεται λυπημένος και θυμωμένος, έτσι γυρίζει αμέσως πίσω στο σπίτι. Το σύστημα ανιχνεύει ότι η ώρα επιστροφής είναι πολύ κοντά στην ώρα αναχώρησης και πολύ λιγότερη από το μέσο χρόνο της βόλτας του, οπότε συμπεραίνει ότι δεν περπάτησε. Επίσης ανιχνεύει τη θλίψη και το θυμό από τις εναλλασσόμενες εκφράσεις του.

Ο ασθενής παίρνει μια παλιά φωτογραφία από τα νιάτα του, την κρατά και ξαφνικά αρχίζει να κλαίει. Το σύστημα παράγει ειδοποίηση για μια πιθανή περίπτωση εκδήλωσης κατάθλιψης. Ειδοποιεί ξανά την κόρη του, προκειμένου να του τηλεφωνήσει και να τον ενθαρρύνει, εκείνη όμως δεν απαντά. Έτσι, κοιτά στις αποθηκευμένες επαφές και στην κατηγορία «Φίλοι» βρίσκει έναν γείτονα και του στέλνει μήνυμα πως ο ασθενής μας έχει κάποιο πρόβλημα και καλή θα ήταν μια επίσκεψη. Έτσι, το κουδούνι χτυπά και αν και ο ασθενής μας δεν απαντά επειδή θέλει να μείνει μόνος του, το σύστημα ανιχνεύει το χτύπο και ανοίγει αυτόματα την πόρτα. Αρχικά ο ασθενής μας είναι ακόμα στεναχωρημένος, αλλά μετά από λίγη ώρα με το φίλο του, η διάθεσή του επανέρχεται και χαμογελάει.

Αφού φύγει είναι περίεργος να δει αν το φαγητό είναι έτοιμο και πηγαίνει στην κουζίνα για να ελέγξει το φούρνο. Όμως μια και τον είχε ξεχάσει ήδη αναμμένο, το σύστημά μας τον έσβησε μετά από μια ώρα λειτουργίας. Είναι η τρίτη φορά μέσα σε 2 εβδομάδες που το ξεχνάει και αυτό καταγράφεται για την εβδομαδιαία αναφορά στο γιατρό.

5.6.1.4 Μετά το γεύμα

Μετά το γεύμα, πηγαίνει για καφέ στο καφενείο απέναντι με τους φίλους του.

Όταν επιστρέφει στο σπίτι, ο ίδιος αναζητά τα κλειδιά του, αλλά συνειδητοποιεί ότι ξέχασε να πάρει τα κλειδιά του, έτσι πατάει το κουδούνι και λέει το όνομά του. Το σύστημα αναγνωρίζει τη φωνή καθώς και το δακτυλικό αποτύπωμα μέσω αισθητήρα στο κουδούνι, έτσι η πόρτα ανοίγει αυτόματα. Όμως μια και έχει αφήσει τα κλειδιά του στο σπίτι δύο φορές αυτή την εβδομάδα, την επόμενη φορά που θέλει να βγει έξω, θα εμφανιστεί ένα μήνυμα στην πόρτα υπενθυμίζοντας του τα.

5.6.1.5 Ένα μικρό επεισόδιο

Ο ασθενής πρέπει να τρώει δείπνο νωρίς γιατί πρέπει να πάρει τα χάπια του, έτσι πλησιάζει στο ψυγείο και στην οθόνη προβάλλεται τι μπορεί να διαλέξει να φάει.

Ξαφνικά, βάζει τα χέρια του στο αριστερό μέρος του στήθους του. Αναγνωρίζεται μια χειρονομία που θα μπορούσε να αποκαλύψει ένα πρόβλημα με την καρδιά (π.χ., ισχαιμικό επεισόδιο). Τα μικρόφωνα συλλαμβάνουν ήχους, όπως «Η καρδιά μου» με τρεμούλιασμα στη φωνή του, ενώ οι κάμερες ανιχνεύουν πόνο στην έκφρασή του. Μετά από λίγα λεπτά όμως είναι μια χαρά. Ωστόσο, έχει ήδη ενημερωθεί ο γιατρός του

για το γεγονός, τον επισκέπτεται αμέσως. Η πόρτα του σπιτιού ανοίγει αυτόματα κατά την άφιξή του και ο ίδιος μπαίνει στο σπίτι για να τον ελέγξει. Ευτυχώς, δεν

είχε κανένα σοβαρό πρόβλημα και ο γιατρός τον συμβουλεύει να φάει ελαφρά και να πέσει νωρίς για ύπνο.

5.6.1.6 Πηγαίνοντας για ύπνο

Το βράδυ, ο ασθενής πρέπει να λάβει τρία χάπια, 2 για το Αλτσχάϊμερ, και ένα για την αρτηριακή πίεση. Δεδομένου ότι πηγαίνει κατευθείαν στο κρεβάτι, το σύστημα του υπενθυμίζει ότι πρέπει να πάρει τα χάπια του με μια ηχητική προειδοποίηση. Αφού πάρει τα χάπια του, ξαπλώνει και μια και συνήθως διαβάζει λίγο πριν κοιμηθεί, και του αρέσουν οι αστυνομικές περιπέτειες, το σύστημα του προτείνει κάποια από τα αντίστοιχα βιβλία της συλλογής του. Το βιβλίο εμφανίζεται με μεγάλη γραμματοσειρά στο ταμπλετ του. Μετά από λίγο το σύστημα ανιχνεύει ότι χασμουριέται και ότι κλείνουν τα μάτια του οπότε του προτείνει να πέσει για ύπνο. Εκείνος λέει «ναι» οπότε κλείνουν τα φώτα, κατεβαίνουν οι περσίδες στο παράθυρο και σβήνει η θέρμανση, μέχρι το πρωί.

5.6.2 Η βιομετρική στο Σύστημα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Οι υπάρχουσες δυνατότητες υποδομής του δικτύου αισθητήρων μας επιτρέπουν να ενσωματώσουμε διάφορους τύπους αυτών, όπως αισθητήρες ζωτικών σημείων (θερμοκρασία του σώματος, την πίεση του αίματος, κ.λπ.), αισθητήρες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, ανιχνευτές κίνησης κ.λπ.), και προφανώς αισθητήρες-καταγραφείς βιομετρικών δεδομένων (κάμερες, μικρόφωνα, κλπ.), η οποίοι μεταφέρουν την πληροφορία από το χρήστη ή / και το περιβάλλον στην καρδιά του Συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Ένα τέτοιο σύστημα ενοποιεί και χρησιμοποιεί ετερογενείς συσκευές αισθητήρων σε μια κοινή αρχιτεκτονική για την παροχή δεδομένων για μια όσο-πλήρη-γίνεται δημιουργία ενός προφίλ του ασθενούς.



Εικόνα 26 : Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματός μας

Οι *Αισθητήρες Ζωτικών Σημείων* αποτελούνται από ασύρματες φορούμενες συσκευές για συνεχή ή διακριτή (ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών) μέτρηση των ζωτικών σημείων και τη δραστηριότητα του ασθενούς. Οι εν λόγω αισθητήρες μπορεί να είναι πιεσόμετρα, σφυγμοξύμετρα, επιταχυνσιόμετρα, κλπ, κατάλληλα επιλεγμένοι για να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες του ασθενούς.

Οι *Περιβαλλοντικοί Αισθητήρες* αποτελούνται από συσκευές τοποθετούμενες γύρω από το σπίτι, που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του περιβάλλοντος του χώρου του ασθενούς, όπως η θερμοκρασία, το φως και η υγρασία. Είναι οι ευκολότεροι και φθηνότεροι αισθητήρες για χρήση σε τέτοια συστήματα.

Οι *Βιομετρικοί Αισθητήρες* αποτελούνται κυρίως από κάμερες και μικρόφωνα, ενώ περιλαμβάνουν επίσης συσκευή ανάγνωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων για σκοπούς αναγνώρισης. Με την τοποθέτησή τους σε στρατηγικά σημεία γύρω από το σπίτι, το σύστημα μπορεί να παρακολουθεί μη παρεμβατικά κάθε δραστηριότητα του

ασθενούς. Οι βιομετρικοί αισθητήρες είναι τα μάτια και τα αυτιά του συστήματος, και παρέχουν τα στοιχεία που απαιτούνται για την εξαγωγή του συμπεριφορικού προφίλ του ασθενούς. Καθώς και για την ανίχνευση ανεπιθύμητων ενεργειών που δεν σχετίζονται με τη σωματική υγεία ή το περιβάλλον.

Η μονάδα *Διαχείρισης Δεδομένων* φροντίζει για όλα τα δεδομένα που λαμβάνει από το δίκτυο αισθητήρων και οργανώνει τη συλλογή, την κατηγοριοποίηση και την ενοποίησή τους. Η ενότητα αυτή αλληλοεπιδρά με το *Αποθετήριο Προφίλ* (profile repository), όπου τα δεδομένα των ασθενών υποβάλλονται σε επεξεργασία για να δημιουργηθεί το ατομικό προφίλ για κάθε ασθενή. Στην αρχική φάση της εκπαίδευσης του συστήματος, η μονάδα διαχείρισης δεδομένων επεξεργάζεται δεδομένα από τους βιομετρικούς αισθητήρες, προκειμένου να δημιουργηθεί και να ενημερωθεί το αποθετήριο με τη συνήθη συμπεριφορά (π.χ. ώρα ύπνου, ώρα αφύπνισης, πριν τον ύπνο διαβάζει ή βλέπει τηλεόραση, τι ώρα τρώει, κλπ.). Οι μετρήσεις ζωτικών σημείων και χαρακτηριστικά (π.χ. πρόσωπο, αποτυπώματα, ύψος) περνάνε από διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών (feature extraction), ενώ οι περιβαλλοντικές παράμετροι οδηγούνται στη μονάδα λήψης αποφάσεων (decision making module) προκειμένου να βοηθήσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Κατά τη διαδικασία *εξαγωγής χαρακτηριστικών από τη Μονάδα Εξαγωγής Χαρακτηριστικών* (feature extraction module), αποκομίζουμε τα ειδικά βιομετρικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προσώπου. Αυτά τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις υποκείμενες μεθόδους και αλγόριθμους και εφαρμόζονται στη βιομετρική διαδικασία ταυτοποίησης και δημιουργίας προφίλ. Για παράδειγμα, στο δείγμα ήχου, αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν συγκεκριμένες συχνότητες, ενώ στο δείγμα βίντεο, στάση του σώματος, εκφράσεις κλπ.

Η Μονάδα Αναγνώρισης Προτύπων (pattern recognition module) περιλαμβάνει έναν αριθμό αλγορίθμων που εφαρμόζονται επί των εξαχθέντων χαρακτηριστικών προκειμένου να εντοπιστούν συγκεκριμένα πρότυπα συμπεριφοράς, τα συναισθήματα ή για σκοπούς αναγνώρισης/ταυτοποίησης. Στην περίπτωση μας ένα μοτίβο μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά από γεγονότα που σχετίζονται με εξαχθέντα χαρακτηριστικών που μπορεί να υποδεικνύουν μια πτώση, μια συγκεκριμένη συναισθηματική κατάσταση ή γενικά ένα γεγονός. Αυτή η διαδικασία δεν περιλαμβάνει αποφάσεις μετά από γεγονός, αλλά συγκρίνει εξαγόμενα χαρακτηριστικά με προϋπάρχοντα μοντέλα αποθηκευμένα στο *Αποθετήριο Μοτίβων* (Pattern Repository Template) και τροφοδοτεί το υποσύστημα *Αποφάσεων* με πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα ότι ένα συγκεκριμένο μοτίβο ανιχνεύθηκε στο επεξεργασμένο δείγμα. Αυτά τα πρότυπα μπορούν να αφορούν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (όπως η συγκεκριμένη γεωμετρία στα χαρακτηριστικά του προσώπου υποδεικνύει θλίψη, τις περιβαλλοντικές συνθήκες), χωρικά προτύπων (όπως η εγγύτητα σε αντικείμενα) ή χρονικά πρότυπα (όπως η διάρκεια της ακινησίας), καθώς και συνδυασμούς αυτών.

Το *Αποθετήριο Μοτίβων* (Pattern Template Repository) χρησιμεύει ως πρώτη ύλη για τη μονάδα αναγνώρισης προτύπων. Εδώ έχουμε αποθηκευμένα πρότυπα της «ομαλότητας» και τα πρότυπα συμπεριφοράς που η μονάδα αναγνώρισης προτύπων συγκρίνει με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που εξάγονται από τα δεδομένα που προέρχονται από το δίκτυο αισθητήρων. Αυτό το αποθετήριο μπορεί να επίσης να προσαρμοστεί ώστε να ταιριάζει καλύτερα την κατάσταση της υγείας του ασθενούς. Για παράδειγμα, αυτό που είναι συνήθης δραστηριότητα για έναν ασθενή χωρίς προβλήματα κινητικότητας δεν είναι κατάλληλη πληροφορία για έναν ασθενή σε μια αναπηρική καρέκλα.

Το Α.Μ περιλαμβάνει πληροφορίες όπως "μέσος όρος των ωρών ύπνου για ένα υγιές / μη καταθλιπτικό πρόσωπο" ή ακόμα και πρότυπα λέξεων-κλειδιών για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Στην περίπτωση ενός ήπιου ισχαιμικού επεισοδίου, όπως περιγράφηκε παραπάνω, το Α.Μ θα παράσχει το πρότυπο για φυσιολογικό ρυθμό κύπο της καρδιάς, καθώς και το πρότυπο για τη λέξη "καρδιά" που λέει ο ασθενής.

Το φωνητικό αποτύπωμα του, είναι αποθηκευμένα στο *Αποθετήριο Προφίλ*. Έτσι, αφού τα δεδομένα από το δίκτυο αισθητήρων συλλέγονται και ενοποιούνται, τροφοδοτούνται προς τη μονάδα εξαγωγής χαρακτηριστικών και μετά οδηγούνται στη μονάδα αναγνώρισης η οποία δέχεται τα διανύσματα χαρακτηριστικών από τα μικρόφωνα και το σφυγμόμετρο. Εκεί αυτά συγκρίνονται με δεδομένα από το Α.Μ σχετικά με ρυθμό καρδιάς, τη λέξη «καρδιά» ή τη λέξη «βοήθεια».

Το *Αποθετήριο Προφίλ* (Profile Repository) περιλαμβάνει όλη την καταγεγραμμένη πληροφορία σχετικά με το βιομετρικό προφίλ του ατόμου. Το προφίλ του ασθενούς κατασκευάστηκε και αποθηκεύτηκε εκεί κατά τη διάρκεια αρχικοποίησης του συστήματος, αμέσως μετά την εγκατάσταση. Έτσι, ένα αρχικό προφίλ για το άτομο είναι χτισμένο με βάση δεδομένα που έχουν εισαχθεί και με το χέρι (ιδίως σε σχέση με την ιατρική τους κατάσταση και τις ανάγκες φαρμακευτικής αγωγής), καθώς δεδομένα από επεξεργασία καταγραφών από τους αισθητήρες σχετικά με γενικά πρότυπα συμπεριφοράς, δράσεων, συνήθειες και τα συναισθήματα. Στη δεύτερη περίπτωση, το σύστημά μας ενεργοποιείται: Το δίκτυο αισθητήρων παρακολουθεί τον ασθενή και είναι εκπαιδευτεί δυναμικά πάνω του. Οι ρυθμοί της κανονικής του δραστηριότητας είναι το πρώτο κρίσιμο στοιχείο στο συμπεριφορικό του προφίλ: Είναι ο ασθενής άτομο ενεργητικό, βηματίζοντας συνέχεια μέσα στο σπίτι, μαγειρεύοντας, καθαρίζοντας, κάνοντας βόλτες έξω κ.λπ. ή μήπως προτιμά να κάθεται για ώρες στην καρέκλα του, διαβάζοντας βιβλία και βλέποντας αθλητικά

στην τηλεόραση; Το επίπεδο δραστηριότητας υποδεικνύει ψυχολογική κατάσταση και τα ασφαλή όρια για τον προσδιορισμό της έχουν οριστεί κατά αυτή τη διαδικασία εξαγωγής προφίλ. Μετά από τις πρώτες ημέρες της εκπαίδευσης, ο χώρος αποθήκευσης του προφίλ αποσυνδέεται από τη μονάδα διαχείρισης δεδομένων και τώρα χρησιμεύει μόνο για να τροφοδοτεί τη διαδικασία λήψεως αποφάσεων.

(Σημειώνεται ότι τα δεδομένα αποθηκεύονται στο αποθετήριο προφίλ κρυπτογραφούνται για λόγους ασφαλείας της ιδιωτικότητας). Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, εάν ο ασθενής είναι υπερδραστήριος (σε σύγκριση με το «κατώφλι δραστηριότητας» που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης) μπορεί αυτό να υποδηλώνει υψηλά επίπεδα άγχους. Αν είναι «υποτονικός», κοιμάται πολλές ώρες για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι μια ένδειξη ήπιας κατάθλιψης.

Η Μονάδα Αποφάσεων (Decision Making Module) λαμβάνει δεδομένα από το αποθετήριο προφίλ του ασθενή καθώς και τη μονάδα Αναγνώρισης Προτύπων (Pattern Recognition Module). Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, η Μονάδα Αποφάσεων συνδυάζει τα εντοπισμένα πρότυπα με το προφίλ του ατόμου, "αποφασίζει" για το αν συνέβη κάτι πραγματικά και βρίσκει την καλύτερη πορεία δράσης για να αντιμετωπίσει την υπάρχουσα - ή όχι - κατάσταση.

Ο Διαχειριστής Γεγονότων είναι ουσιαστικά υπεύθυνος για όλες τις ενέργειες του συστήματος μετά την ανίχνευση ενός γεγονότος και την αντίστοιχη απόφαση. Ένα γεγονός «Ειδοποίησε το γιατρό» στέλνει ένα μήνυμα στο θεράποντα, ένα γεγονός «Υπενθύμιση χαπιών» αναβοσβήνει μια φωτεινή ένδειξη δίπλα στα χάπια, κ.ο.κ.

Ο Διαχειριστής Γεγονότων μπορεί φυσικά να χειριστεί πολλαπλά συμβάντα ταυτόχρονα, μετά από την κατάλληλη απόφαση της Μονάδας Αποφάσεων.

Για παράδειγμα τα γεγονότα "Κάλεσε το 100" και "Άνοιξε τις πόρτες" μπορούν να εκδοθούν ταυτόχρονα. Γεγονότα όπως τα «Προτείνεται να μιλήσετε με έναν φίλο» και το "Κλήση κ. Χ" μπορούν να δημιουργούνται όταν ο ασθενής φαίνεται λίγο στεναχωρημένος.

5.6.3 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική «metadata-aware» συστημάτων

Στη διάρκεια της έρευνάς μας, έγινε προφανές πως τα βιομετρικά συστήματα, μαζί με τα συστήματα υποβοηθούμενης διαβίωσης, ενδέχεται να γίνουν θύματα της ίδιας της μεγάλης και ταχείας εξέλιξης της τεχνολογίας και των υπαρχουσών μεθοδολογιών. Ήταν πρόδηλο το πρόβλημα της έλλειψης προσαρμοστικότητας, επεκτασιμότητας και ευελιξίας. Με άλλα λόγια, το μάλλον «στατικό» σύνολο αλγορίθμων και αισθητήρων που αποτελούν τέτοια συστήματα καθώς και η άνευ περιορισμών εφαρμογή τους σε μια πληθώρα ετερογενών περιστάσεων τείνουν να περιορίζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα του συνόλου.

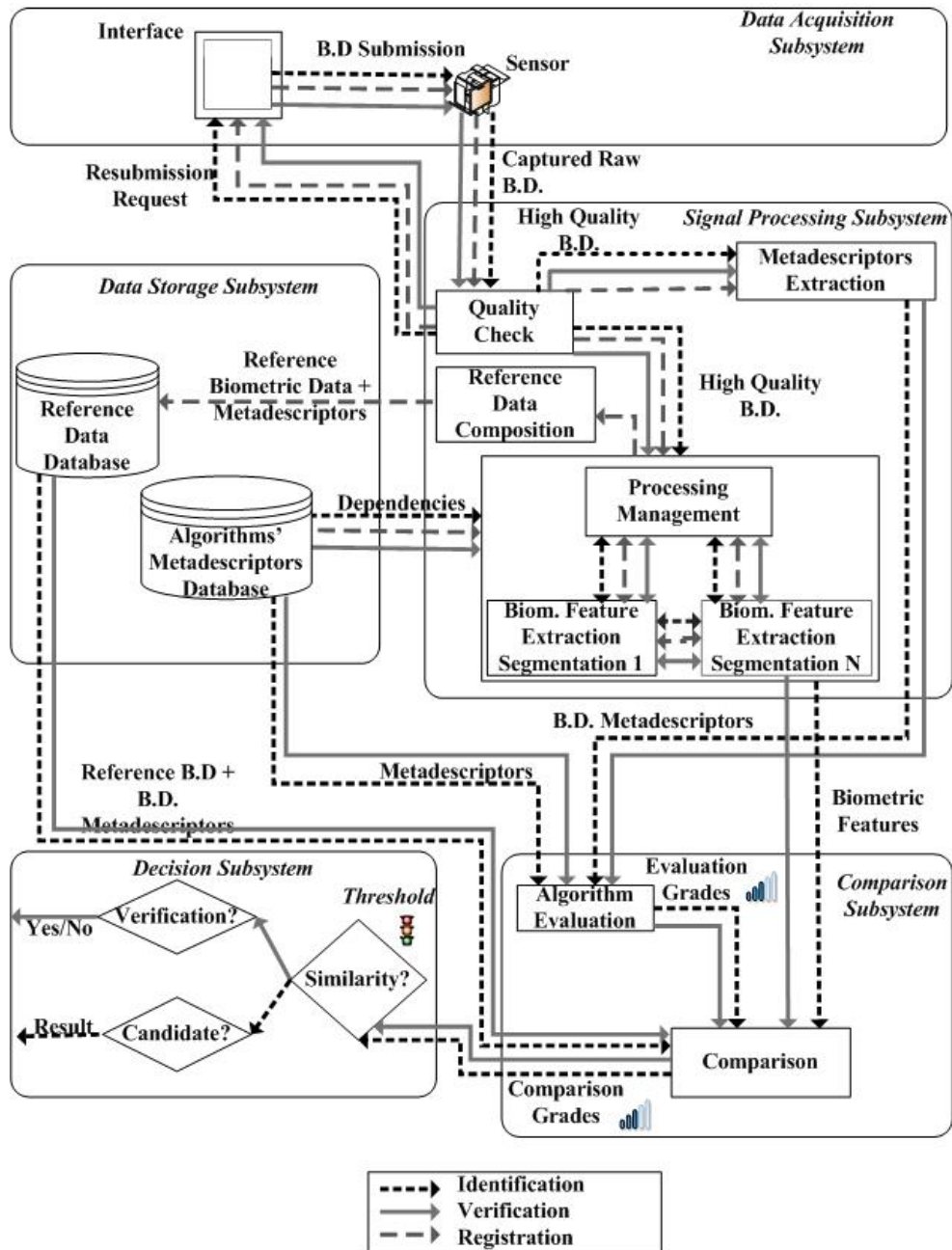
Έτσι, στην εργασία μας A Novel, Algorithm metadata-aware Architecture for Biometric Systems [78], προτείναμε μια καινοτόμα αρχιτεκτονική για βιομετρικά συστήματα, που ακολουθεί τις βασικές αρχές των Service Oriented Architectures (SOA) και αυξάνει σημαντικά την επεκτασιμότητα (scalability) και προσαρμοστικότητα (adaptability) ενός βιομετρικού συστήματος, παράγοντες ιδιαίτερα σημαντικοί για εφαρμογή μεγάλης κλίμακας. Υπό αυτό το πλαίσιο παρουσιάσαμε την ιδέα ενός νέου συνόλου από components που απαιτούνται για την υλοποίηση αυτή.

Έχουμε ήδη αναφερθεί στα συνήθη υποσυστήματα ενός βιομετρικού συστήματος στην παράγραφο 5.2 και στην Εικόνα 21 : **Ένα τυπικό βιομετρικό σύστημα με τα υποσυστήματά του**: Συλλογή δεδομένων, επεξεργασία σήματος, αποθήκευση, σύγκριση και απόφαση. Η έρευνά μας επικεντρώθηκε στην προσπάθεια επέκτασης

της υπάρχουσας αρχιτεκτονικής ώστε να επιτραπεί η εκμετάλλευση του συνεχώς αυξανόμενου πλούτου όσον αφορά διαδικασίες εξαγωγής χαρακτηριστικών καθώς και αλγόριθμων κατηγοριοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα, η κύρια ιδέα πίσω από την αρχιτεκτονική που προτείναμε στη δημοσίευσή μας ήταν το γεγονός ότι μια και για κάθε διαφορετικό βιομετρικό χαρακτηριστικό (από την παλάμη μέχρι την ίριδα και από το βάδισμα μέχρι τα keystroke dynamics) έχουν αναπτυχθεί πλείστοι όσοι αλγόριθμοι, ο καθένας με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του, γιατί να περιορίζουμε τα συστήματά μας, στη χρήση ενός κάθε φορά; Για παράδειγμα σε συστήματα ταυτοποίησης μέσω αναγνώρισης προσώπου, υπάρχουν αλγόριθμοι που έχουν καλύτερα αποτελέσματα υπό έντονο φως, αλγόριθμοι που αναγνωρίζουν καλύτερα άτομα συγκεκριμένου φυλετικού υποβάθρου καθώς και άλλοι που τα πάνε καλά όταν τα πρόσωπα είναι σχεδόν κρυμμένα.

Έτσι, ο στόχος της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, ήταν να επιτρέψουμε την δυναμική, on-the-fly επιλογή αλγορίθμων εξαγωγής χαρακτηριστικών και αλγορίθμων επεξεργασίας, βασισμένοι όμως στις πραγματικές υπάρχουσες συνθήκες υπό τις οποίες τα βιομετρικά δεδομένα καταγράφονται, σε συνδυασμό με τα μετα-δεδομένα του εκάστοτε αλγόριθμου. Αυτά τα μετα-δεδομένα για κάθε αλγόριθμο, θα περιγράφουν την κλάση στην οποία ανήκει, την κλάση δεδομένων στην οποία θα εφαρμόζεται, τις συνθήκες βέλτιστης εφαρμογής και τις μέσες μετρικές απόδοσης (FAR, FRR, EER), καθώς και το σκορ του κάθε αλγόριθμου σχετικά με τους άλλους της κλάσης του. Η πρότασή μας φαίνεται στην Εικόνα 27.



Εικόνα 27 : Προτεινόμενη αρχιτεκτονική για metadata-aware βιομετρικά συστήματα

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική εισάγει μια σειρά νέων στοιχείων:

1. Στοιχείο εξαγωγής των μετα-περιγραφών και
2. Στοιχείο διαχείρισης επεξεργασίας, που μαζί με το 1 βρίσκονται στο υποσύστημα επεξεργασίας σήματος

3. Μια βάση δεδομένων που περιέχει τους μετα-περιγραφείς των αλγορίθμων και
4. Στοιχείο εμπλουτισμού της βάσης δεδομένων αναφοράς με τους μετα-περιγραφείς, τα οποία και είναι υπο-στοιχεία του συστήματος αποθήκευσης δεδομένων
5. Ένα στοιχείο αξιολόγησης των αλγορίθμων στο υποσύστημα σύγκρισης

5.6.3.1 Αξιολόγηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής

Στη δημοσίευση αυτή, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι σχεδιασμένη έτσι, ούτως ώστε να αυξάνεται η συνολική αποτελεσματικότητα του αλγοριθμικού δυναμικού. Έτσι φυσικά, η αξιολόγησή του θα επιτυγχάνεται από την πληθώρα στανταρισμένων μέτρων για τον έλεγχο βιομετρικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των FAR, FFR, FER, FIR κλπ. Στοχεύουμε στην βέλτιστη εφαρμογή του κάθε αλγορίθμου ώστε να έχουμε την ελαχιστοποίηση όλων των πιθανών σφαλμάτων. Πριν την εφαρμογή κάθε συστήματος προηγείται μια φάση «προσαρμογής» του στα «πραγματικά» δεδομένα, πράγμα που σπαταλά ανθρώπινους και οικονομικούς πόρους. Με την πρότασή μας, δεν ακολουθείται η συνήθης οδός του «προσαρμόζουμε το πρόβλημα στη λύση μας» αλλά αντιθέτως προσαρμόζουμε δυναμικά το σύστημά μας στις πραγματικές συνθήκες εφαρμογής.

Υπό αυτό το πρίσμα, το προτεινόμενο σύστημα θα μπορεί να αξιολογηθεί όχι μέσω των συνήθων πρακτικών αλλά μέσα από ένα «all inclusive» σχήμα αξιολόγησης το οποίο θα λαμβάνει υπόψη και άλλες παραμέτρους, όπως η καταλληλότητα των επιλεγμένων αλγορίθμων, τους αρνητικούς παράγοντες επιρροής και τα σύνηθη κριτήρια αποτελεσματικότητας. Σε αυτή την αρχιτεκτονική για παράδειγμα μια κεντρική μετρική απόδοσης θα είναι αυτή που θα κρίνει αν για το χ πρόβλημα επιλέχτηκε όντως ο βέλτιστα αποδοτικός αλγόριθμος

6

Κατηγοριοποίηση Συναισθήματος στο

Προτεινόμενο Σ.Υ.Δ

6.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχει έντονη έρευνα στον τομέα των βιομετρικών συστημάτων, κυρίως για εφαρμογές ασφάλειας, που αφορούν ταυτοποίηση και επιβεβαίωση ταυτότητας και έντονη έρευνα στον τομέα των Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. Παράλληλα, είναι έντονη η τάση για όλο και μεγαλύτερη χρήση συμπεριφορικών βιομετρικών μεθόδων.

Επίσης δείξαμε ότι τα πολυτροπικά συστήματα κερδίζουν έδαφος συνέχεια, με την υλοποίηση νέων και καινοτόμων αλγορίθμων που μας επιτρέπουν να εκμεταλλευόμαστε μια πληθώρα χαρακτηριστικών, διευρύνοντας το διαθέσιμο πεδίο εφαρμογών.

Ακόμα, δείξαμε ότι οι εκφράσεις του ανθρώπινου προσώπου είναι ίσως το κύριο μέσο έκφρασης του ανθρώπινου συναισθήματος και αποδείξαμε ότι υπάρχει καθολικότητα όσον αφορά την έκφραση συγκεκριμένων συναισθημάτων στο ανθρώπινο πρόσωπο. Πιο συγκεκριμένα, δείξαμε ότι τα 6 πρωταρχικά συναισθήματα (φόβος, λύπη, χαρά, θυμός, έκπληξη, αηδία) εκφράζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο από όλους τους ανθρώπους και σε όλες τις κουλτούρες.

Έτσι η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στο να λύσει το πρόβλημα της αυτόματης αναγνώρισης συναισθήματος από εικόνα προσώπου, για χρήση ως συμπεριφορικού δείκτη σε ένα Σ.Υ.Δ το οποίο υλοποιεί και ενσωματώνει τεχνολογίες συμπεριφορικής βιομετρικής, παράλληλα με τις κλασσικές τεχνολογίες αναγνώρισης προτύπων και εφαρμογών τηλεϊατρικής στοχευμένων σε ασθενείς με διάφορες νευροεκφυλιστικές ασθένειες.

6.2 Το πρόβλημα

Όλοι μας έχουμε συνηθίσει να αναγνωρίζουμε πρόσωπα και να τους αποδίδουμε ταυτότητα, εκφράσεις και να τους αποδίδουμε συναίσθημα. Η αναγνώριση τέτοιων προτύπων από τον άνθρωπο είναι καθημερινή και εκούσια λειτουργία.

Όμως όταν καλούμαστε να αναγνωρίσουμε αυτόματα συναίσθημα σε ένα ανθρώπινο πρόσωπο, μας παρουσιάζεται ένα πιο πολυσύνθετο πρόβλημα το οποίο μάλιστα εμπεριέχει και δύο διαφορετικά υπο-προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

- Αυτό της εξαγωγής των περιοχών ενδιαφέροντος και χρήσιμων χαρακτηριστικών (feature extraction)
- Αυτό της σύγκρισης με πρότυπα και διαδικασίας λήψης απόφασης, δηλαδή της κατηγοριοποίησης (classification) του συνόλου των εξαχθέντων χαρακτηριστικών, στην περίπτωσή μας σε ένα από τα 6 πρωταρχικά συναισθήματα.
- Επίσης, σαν τρίτη διάσταση του αντιμετωπιζόμενου προβλήματος εκτός από την αυτή καθαυτή ανίχνευση του συναισθήματος σε ένα πρόσωπο, θα πρέπει να αναπτυχθεί και ένα σύστημα ανίχνευσης καταστάσεων επικινδυνότητας το οποίο να μετα-επεξεργάζεται τα δεδομένα που παράγονται κατά τη διάρκεια

της ανίχνευσης και να παράγει (ή όχι) προειδοποιήσεις προς τους θεράποντες ιατρούς, στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου Σ.Υ.Δ.

6.2.1 Η βάση Cohn Kanade

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε ως βάση δεδομένων εικόνων προσώπου, η επεκτεταμένη Cohn Kanade+ [79],[80]. Η βάση Cohn Kanade+ είναι μια βάση που περιέχει 486 ακολουθίες από 97 διαφορετικούς ανθρώπους. Η κάθε ακολουθία περιέχει ασπρόμαυρες φωτογραφίες που έχουν παρθεί με την κάμερα ακριβώς μπροστά στο πρόσωπο, ξεκινά με μια ουδέτερη έκφραση και προχωρεί σε μια τελική (κορύφωση) που αποτυπώνει ένα από τα 6 βασικά συναισθήματα. Στη βάση περιέχονται άτομα όλων των ηλικιών και όλων των φυλών. Η τελική έκφραση σε κάθε ακολουθία περιέχει meta-πληροφορία σύμφωνα με το σύστημα FACS των Ekman, Friesen, Hager [43] καθώς και μια ετικέτα που δηλώνει το συναίσθημα που ζητήθηκε από το αντικείμενο να εκφράσει. Στην παρούσα έρευνα, οι meta-πληροφορίες δεν χρησιμοποιήθηκαν, μια και στοχεύουμε σε αυτόματη αναγνώριση απευθείας από τη γεωμετρία του προσώπου. Χρησιμοποιήθηκε μόνο η τελική κατηγοριοποίηση για τον τελικό έλεγχο αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων αλγόριθμων. Σε επόμενη έκδοσή της η βάση αυτή θα περιέχει και ακολουθίες που έχουν ληφθεί υπό γωνία 30^0 , οπότε θα γίνει δυνατή και η βελτίωση των αλγορίθμων.

6.2.2 Μέθοδος αντιμετώπισης

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, πριν το σχεδιασμό της τελικής λύσης, έπρεπε να ληφθούν υπόψη συγκεκριμένες παράμετροι που αφορούσαν στις ιδιαίτερες συνθήκες και προκλήσεις που παρουσιάζει μια εφαρμογή Σ.Υ.Δ απευθυνόμενη σε ένα κοινό με ιδιαίτερες ανάγκες και προβλήματα. Επίσης, έπρεπε να ληφθούν υπόψη παράμετροι

που αφορούν στις πρακτικές όψεις του προβλήματος και να μεταφραστούν σε τεχνικές προδιαγραφές.

Στόχος μας είναι να υλοποιηθεί ένας αλγόριθμος ανίχνευσης συναισθήματος που θα χρησιμοποιείται ως μέρος ενός component Ανάλυσης Και Εκτίμησης Ρίσκου βασισμένου σε προαποφασισμένους κανόνες μέσω ανίχνευσης και ανάλυσης δεικτών ρίσκου (Risk Assessment) σε ένα Σ.Υ.Δ. [50],[77]. Μια τέτοια πλατφόρμα, βασίζεται σε Service Oriented αρχιτεκτονική και κύρια λειτουργία της είναι η απομακρυσμένη και συχνή/διαρκής παρακολούθηση ενός ασθενή στο σπίτι του από τους θεράποντές του. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και φαίνεται στην Εικόνα 25

6.3 *Εκτίμηση και Ανάλυση Ρίσκου με*

Επαναπροσδιοριζόμενους Κανόνες

Αντικείμενό μας στη παράγραφο αυτή είναι το υποσύστημα Εκτίμησης και Ανάλυσης Ρίσκου (Risk Assessment and Analysis Component) που παρουσιάστηκε αρχικώς στην παράγραφο 5.5.3 το οποίο σε ένα Σ.Υ.Δ θα πρέπει ιδανικά να υλοποιεί και να περιέχει διαφορετικά αλληλοσυνεργαζόμενα modalities για την καλύτερη αποτελεσματικότητά του, ένα από τα οποία είναι και η ανίχνευση συναισθήματος μέσω βιομετρικών χαρακτηριστικών του χρήστη.

Πέραν της αρχικής δυνατότητας ανίχνευσης δεικτών ρίσκου, όπως π.χ. στην περίπτωση μας ενδείξεις για κατάθλιψη ή κρίσεις πανικού, χρειάζεται και ένα μέτρο στάθμισης του τελικού κινδύνου το οποίο όμως να είναι ευέλικτα ορισμένο ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Έτσι, είναι επιθυμητή η υλοποίηση ενός συνόλου κανόνων και ορίων (ανάλογα με το υποσύστημα είτε συμπεριφορικών είτε σχετικών με φυσιολογικές μετρήσεις όπως η πίεση του αίματος

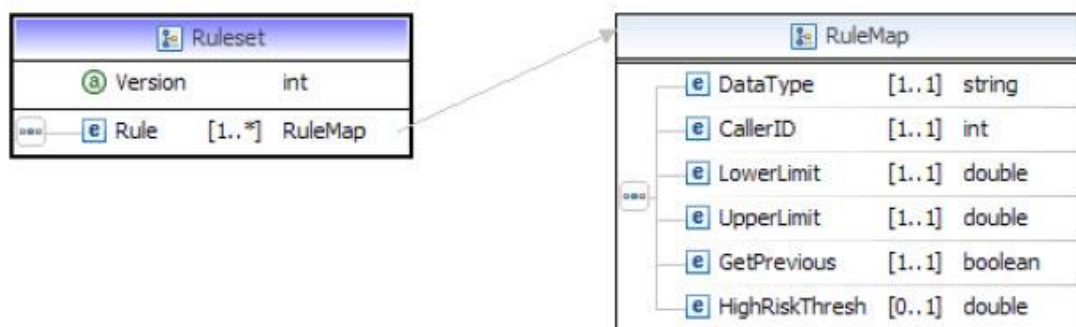
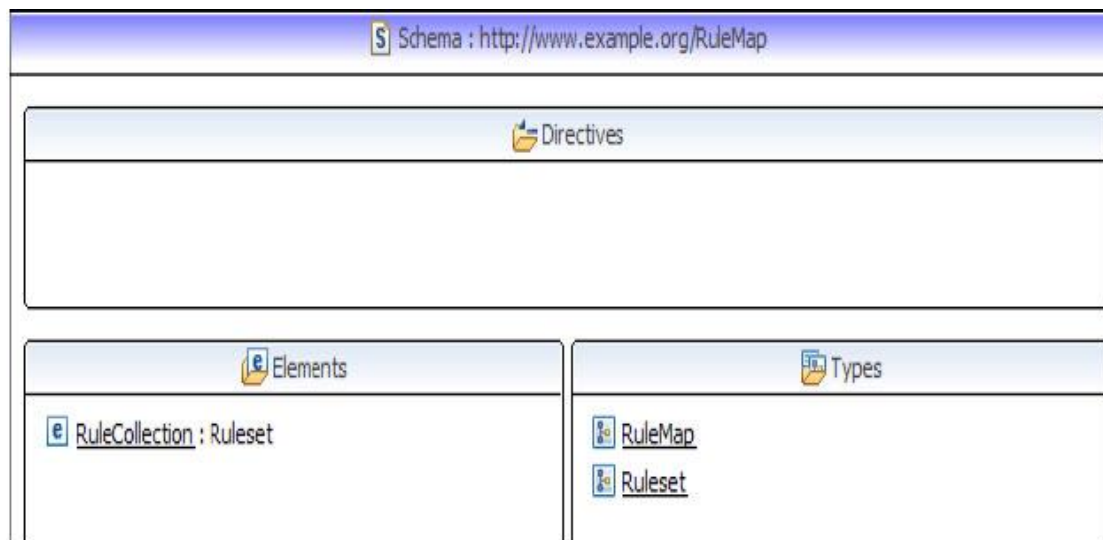
π.χ.) το οποίο όμως θα μπορεί ο επιβλέπων ιατρός να προσαρμόζει στις ανάγκες του. Συνεπώς, πριν από όλα θα πρέπει να σχεδιάσουμε το μηχανισμό παραγωγής κλινικών προειδοποιήσεων έτσι ώστε να αντικατοπτρίζει τις προαναφερθείσες ανάγκες.

Το προτεινόμενο υποσύστημα Εκτίμησης και Ανάλυσης Ρίσκου (Risk Assessment and Analysis Component) [50] έχει υλοποιηθεί σε μορφή Java Web Service και βρίσκεται σε συνεργασία με μια βάση δεδομένων ασθενών και το αποθετήριο ειδοποιήσεων ώστε να λαμβάνει δεδομένα, να τα επεξεργάζεται και να παράγει ειδοποιήσεις.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι ότι η υλοποίησή του δεν είναι επικεντρωμένη σε μια συγκεκριμένη ασθένεια (όπως το Alzheimer's) αλλά μπορεί να προσαρμοστεί και σε άλλες. Το RAAC μπορεί να χρησιμοποιηθεί λαμβάνοντας ως εισόδους ετερογενή χαρακτηριστικά και μετρήσεις, από απαντήσεις σε κλινικά ερωτηματολόγια και μετρήσεις διαστολικής/συστολικής πίεσης, μέχρι και μετρήσεις που ανταποκρίνονται στην εκτίμηση της ψυχολογικής κατάστασης του ασθενή. Για παράδειγμα ένας δείκτης ρίσκου θα μπορεί να είναι « Σήμερα καταγράφηκαν 14 συνεχόμενα λεπτά στα οποία ο ασθενής έκλαιγε» με ένα προδιαγεγραμμένο όριο ανησυχίας τα 10 λεπτά ή «η πίεση στις 10:00 καταγράφηκε στα 14/10» με όριο το 12/8.

6.3.1 Ορισμός Επαναπροσδιορίσιμων Κανόνων

Οι κανόνες και τα όριά τους στο RAAC καθορίζονται μέσα από ένα XML schema που καλείται Rule-Map το οποίο τους παραμετροποιεί και ταυτόχρονα αντιστοιχεί τα δεδομένα εισόδου σε μια ανάλογη συνάρτηση κανόνων. Στην Εικόνα 28 μπορούμε να δούμε τη δομή του συνόλου των κανόνων.



Εικόνα 28 : Rulemap και Ruleset

Ένα Ruleset είναι μια ακολουθία κανόνων (Rules) ο καθένας από τους οποίους σχηματίζεται μέσα από έναν RuleMap.

Κάθε κανόνας (Rule) περιέχει:

Μια μεταβλητή Data Type τύπου string που αντιστοιχεί στο είδος των δεδομένων εισαγωγής (π.χ. βάρος, πίεση, σκορ σε ψυχομετρικά ερωτηματολόγια κ.λπ.)

Μια μεταβλητή CallerID τύπου integer που χρησιμοποιείται μαζί με την DataType και αντιστοιχεί τα δεδομένα εισόδου σε κάποιον κανόνα

Μια μεταβλητή LowerLimit τύπου double που μας δίνει ένα κάτω όριο επικινδυνότητας

Μια μεταβλητή UpperLimit τύπου double που μας δίνει ένα άνω όριο επικινδυνότητας

Τη μεταβλητή GetPrevious τύπου Boolean που καθορίζει αν τα ληφθέντα δεδομένα πρέπει ή όχι να συγκριθούν με παρελθούσες μετρήσεις (π.χ. στην περίπτωση σκορ σε ψυχομετρικά ερωτηματολόγια για να καθοριστεί αν υπάρχει βελτίωση, στασιμότητα ή χειροτέρευση)

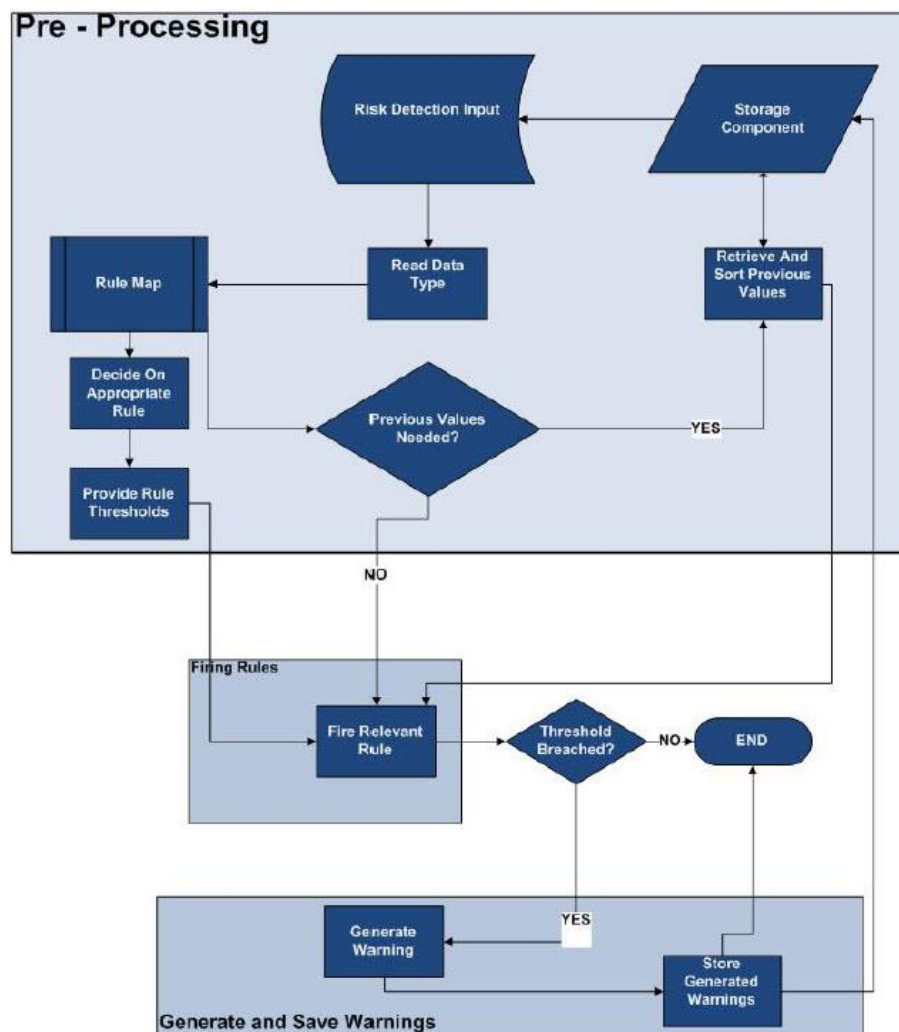
Τη μεταβλητή HighRiskThresh η οποία δε χρησιμοποιείται πάντα, αλλά υπάρχει ως μέτρο ασφαλείας για περιπτώσεις που χρειαστεί να οριστεί από το θεράποντα ένα έξτρα μέτρο υψηλής επικινδυνότητας και ορίζει περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται άμεση αντιμετώπιση μιας ιδιαίτερα επείγουσας κατάστασης. Μετά από συνομιλίες με γιατρούς χρήστες μιας τέτοιας εφαρμογής, υποδείχθηκε ότι προς το παρόν η χρήση αυτού του ορίου ίσως να είναι περιττή μια και θα προτιμούσαν οι ίδιοι να εκτιμούν την κατάσταση από τις προειδοποιήσεις του συστήματος χωρίς την ανάγκη δεύτερης δικλίδας ασφαλείας.

Τα πλεονεκτήματα του να υπάρχει μια ευέλικτη βάση παραγωγής κανόνων ασφαλείας σε μορφή xml είναι προφανή: Οι γιατροί/διαχειριστές μπορούν να αλλάζουν και να επαναρυθμίζουν τα προϋπάρχοντα όρια ασφαλείας επί προσωπικού για κάθε ασθενή, χωρίς να περιορίζονται από hard-coded μεταβλητές για την παραγωγή των προειδοποιήσεων από ένα Σ.Υ.Δ. Η κατάσταση της υγείας ενός ασθενή με νευροεκφυλιστική ασθένεια είναι μεταβαλλόμενη και κάτι που μπορεί σήμερα να μην είναι φυσιολογικό, μετά από 6 μήνες να είναι η συνήθης κατάσταση. Το πιο απλό παράδειγμα εδώ είναι αλλαγές στην πίεση του αίματος ενός ασθενή

λόγω φαρμακευτικής αγωγής που θα πρέπει να αντικατοπτρίζονται στα όρια των σχετικών κανόνων ώστε να αποφεύγονται false-positives.

6.3.2 Επεξεργασία δεδομένων και παραγωγή ειδοποιήσεων

Έχοντας περιγράψει τις βασικές παραμέτρους ενός υποσυστήματος για την εκτίμηση καταστάσεων ρίσκου και την παραγωγή ειδοποιήσεων προς τους θεράποντες περνάμε στην περιγραφή του προτεινόμενου υποσυστήματος. Στην Εικόνα 29 βλέπουμε το σχετικό διάγραμμα ροής:



Εικόνα 29: Διαδικασία ανίχνευσης και παραγωγής προειδοποιήσεων καταστάσεων κινδύνου

Στη διαδικασία διακρίνουμε 3 στάδια λειτουργίας:

- Προεπεξεργασία

Σε αυτό το στάδιο το RAAC καλείται αμέσως αφού καταγραφεί μια μέτρηση. Ελέγχεται η ταυτότητα της μέτρησης, λαμβάνεται ο κωδικός χρήστη (PatientID) και καλείται το xml. Ο σκοπός μας εδώ είναι να αντιστοιχίσουμε τα εισερχόμενα δεδομένα στον κατάλληλο κανόνα και να ελέγξουμε αν χρειάζεται να γίνει σύγκριση με κάποια προηγούμενη μέτρηση. Σε περίπτωση που έχουμε «αυτόνομα» δεδομένα προχωρούμε στην επιλογή του αντίστοιχου κανόνα. Σε περίπτωση που χρειάζονται προηγούμενες μετρήσεις καλείται η βάση δεδομένων να παράσχει πρόσφατες μετρήσεις οι οποίες είναι αποθηκευμένες με χρονολογική σειρά.

- Εκτέλεση κανόνων

Αφού έχουμε λάβει τα δεδομένα εισόδου μας και έχουμε εκτελέσει τις προαπαιτούμενες διαδικασίες, προχωρούμε στην κλήση και εκτέλεση των σχετικών κανόνων ανίχνευσης. Στον πυρήνα του RAAC υπάρχουν τρία βασικά πρότυπα για κανόνες:

- Ο κανόνας «GreaterThan» που ελέγχει αν μια τιμή είναι μεγαλύτερη από ένα όριο.
- Ο κανόνας «DoubleComparison» που ελέγχει αν μια τιμή βρίσκεται εντός ενός διαστήματος.
- Ο κανόνας «LessThan» που ελέγχει αν μια τιμή είναι μικρότερη από ένα όριο.

Οι κανόνες λαμβάνουν σαν είσοδο τα δεδομένα της μέτρησης (φυσιολογικές μετρήσεις, ψυχολογικές παράμετροι, σκορ σε ψυχομετρικά ερωτηματολόγια), την ταυτότητα χρήστη (PatientID) και τα σχετικά όρια από το αντίστοιχο στοιχείο του Rulemap.

- Παραγωγή και αποθήκευση προειδοποιήσεων

Αν το αποτέλεσμα ενός ελέγχου είναι θετικό (δηλαδή έχουμε παραβίαση των ορίων ασφαλείας) πρέπει να παραχθεί μια Προειδοποίηση (Warning). Έτσι, μέσα από τον

κανόνα που παραβιάστηκε, καλούμε μια μέθοδο παραγωγής προειδοποιήσεων. Για παραχθεί μια προειδοποίηση κάνουμε χρήση των παρακάτω:

- Ταυτότητα χρήστη (PatientID) που έχουμε από την αρχή της κλήσης στο υποσύστημα
- Την Περιγραφή (Description), το κύριο σώμα της προειδοποίησης, που περιέχει σε μορφή κειμένου την αιτιολόγηση της προειδοποίησης. Στην περιγραφή περιέχεται ουσιαστικά το είδος της εισόδου που σχετίζεται με αυτήν (π.χ. Συστολική Πίεση, Διαστολική Πίεση, Σωματικό βάρος, Ψυχομετρικά Τεστ, Ψυχολογική κατάσταση) καθώς και τις τιμές ρίσκου/τρέχουσα τιμή της ελεγχθείσας μέτρησης.
- Την τιμή κινδύνου (RiskValue), που μας δείχνει την τιμή που παρήγαγε την προειδοποίηση
- Την προηγούμενη τιμή (PreviousValue) της εν λόγω μέτρησης
- Τη μεταβλητή TypeOfAnalysis που μας παρέχει πληροφορίες για το είδος της μέτρησης και χρησιμοποιείται για την παραγωγή του κειμένου της προειδοποίησης

Στην Εικόνα 30 βλέπουμε τις παραγόμενες προειδοποιήσεις που προέρχονται από παραβίαση ορίων ασφαλείας σε ψυχομετρικά τεστ ενός ασθενή με Alzheimer's

Clinical Warnings				
Show only unread ☒ Only patient Show for all patients				
From 21/03/2011 to Apply date filter Clear date filters				
Type	date	patient ID	Justification	
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Does he/she have appetite?' changed from 'YES' to 'NO'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Did he/she assume therapy every day during the last week?' changed from 'YES' to 'NO'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Did he/she answer correctly about the Date?' changed from 'YES' to 'NO'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Did he/she answer correctly about the Day?' changed from 'YES' to 'NO'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Did he/she answer correctly about the Month?' changed from 'YES' to 'NO'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Is he/she uncooperative when I want him/her to do something?' changed from '1 or 2 times in the last week' to 'Everyday'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Is he/she able to take care of his/her personal hygiene?' changed from 'YES' to 'NO'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Does he/she appear anxious or agitated?' changed from 'NO' to 'YES'	Details
auto	22/03/2011 14:27	Androulidakis, Aggelos	Question 'Does he/she appear apathetic?' changed from 'NO' to 'YES'	Details
auto	24/03/2011 13:23	Androulidakis, Aggelos	Change in Zarit Burden Interview from '0.0' to '35.0'	Details

Εικόνα 30 : Λίστα παραγόμενων προειδοποιήσεων

6.4 Αναγνώριση Συναισθήματος σε εικόνα προσώπου

6.4.1 Ανίχνευση περιοχών ενδιαφέροντος

Πρώτο βήμα στη διαδικασία αναγνώρισης συναισθήματος, είναι μια πρωτόλεια διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών από την εικόνα μας, η ανίχνευση των περιοχών ενδιαφέροντος. Η ανίχνευση των περιοχών στις οποίες εκδηλώνεται το συναίσθημα και η απόρριψη όλων των υπόλοιπων δεδομένων που δε μας χρειάζονται. Σκοπός μας εδώ είναι να πάρουμε ένα σύνολο δεδομένων, στη συγκεκριμένη περίπτωση την εικόνα ενός προσώπου και να εξάγουμε από αυτά ένα –ή περισσότερα- διανύσματα που αναπαριστούν με ακρίβεια το σύνολο των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν, αφαιρώντας περιττά δεδομένα που ενδεχομένως να παρεμποδίσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων στη διαδικασία σύγκρισης και αναγνώρισης. Δηλαδή, η διαδικασία ανίχνευσης των περιοχών ενδιαφέροντος, απλοποιεί τα εισερχόμενα δεδομένα, μειώνοντας τον όγκο τους, χωρίς

όμως να βλάπτει την ποιότητα της πληροφορίας. Έτσι βελτιώνουμε και την ποιότητα των αποτελεσμάτων μας και κερδίζουμε σε κατανάλωση υπολογιστικών πόρων.

Αναφορικά με το πρόβλημά μας, κατά τη διαδικασία εξαγωγής των περιοχών ενδιαφέροντος, αποζητούμε να παράγουμε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών, στο οποίο να υπάρχουν όλα τα σημεία έκφρασης συναισθήματος πάνω σε ένα πρόσωπο. Τα σημεία αυτά, είναι οι περιοχές του προσώπου στις οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την έκφραση του συναισθήματος και πιο συγκεκριμένα οι περιοχές:

- Μάτια – αλλάζουν σχήμα κατά τις εκφράσεις. Μας ενδιαφέρει και η περιοχή γύρω από αυτά, καθώς δημιουργούνται ρυτίδες έκφρασης
- Μέτωπο – δημιουργούνται ρυτίδες έκφρασης.
- Μύτη – Η περιοχή γύρω της δημιουργεί ρυτίδες έκφρασης
- Στόμα – Το σχήμα του αλλάζει σε κάθε έκφραση. Η περιοχή γύρω του μπορεί να έχει ρυτίδες έκφρασης

Στην Εικόνα 31 βλέπουμε ξανά πως αλλάζει το πρόσωπο σε κάθε έκφραση συναισθήματος και ποιες είναι οι κύριες περιοχές έκφρασης

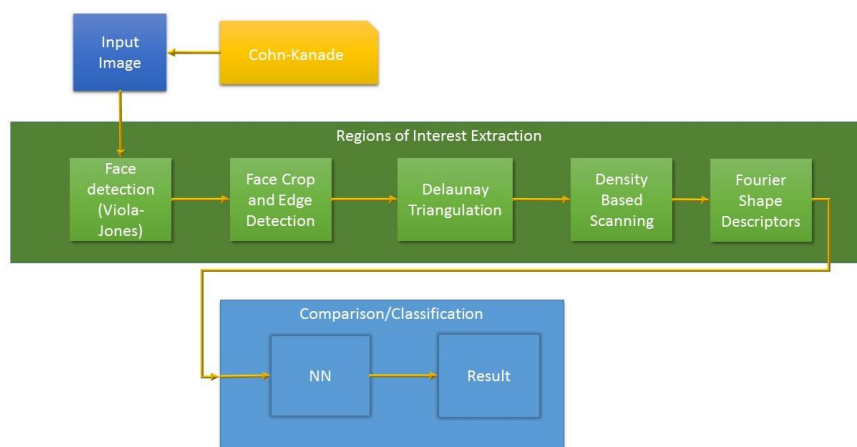


Εικόνα 31 : Τα 6 πρωταρχικά συναισθήματα και με κόκκινη σκίαση οι περιοχές ενδιαφέροντος

Το πρόβλημά μας εδώ λοιπόν μεταφράζεται στο εξής :

«Πώς θα απομονώσουμε τις περιοχές ενδιαφέροντος που εκφράζουν συναίσθημα στο πρόσωπο με το βέλτιστο τρόπο, διατηρώντας την πληροφορία για τη δομή;»

Η προτεινόμενη λύση παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 32:



Εικόνα 32: Ο προτεινόμενος αλγόριθμος ανίχνευσης συναισθήματος

Παρατηρούμε στην Εικόνα 31, ότι στις περιοχές έντονης έκφρασης, αλλάζει απότομα η φωτεινότητα της εικόνας. Έχουμε δηλαδή μια περιοχή μικρής φωτεινότητας η

οποία εναλλάσσεται σε ελάχιστα pixels με μια περιοχή μεγάλης φωτεινότητας. Η έκφραση δηλαδή του προσώπου, ουσιαστικά μεταφράζεται σε απότομη σκίαση στην εικόνα μας. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι σε πρώτο βήμα θα είναι χρήσιμο να εφαρμόσουμε έναν αλγόριθμο ανίχνευσης ακμών, ώστε να επικεντρωθούμε αργότερα μόνο στις περιοχές έκφρασης.

Πριν από αυτό όμως είναι χρήσιμο να επικεντρωθούμε στο πρόσωπο αυτό καθαυτό αποκόπτοντας περιοχές άσχετες με το συναίσθημα που θα εισάγουν άχρηστα δεδομένα στα χαρακτηριστικά που θέλουμε να εξάγουμε. Τέτοιες περιοχές είναι τα μαλλιά και τα αυτιά.

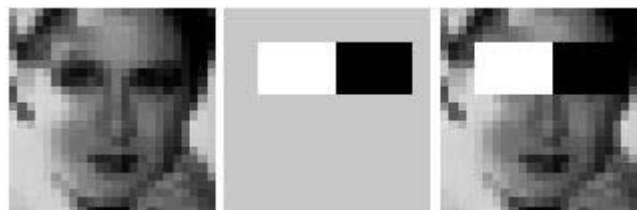
6.4.1.1 Ο αλγόριθμος Viola-Jones

Έτσι, χρησιμοποιούμε τη μέθοδο ανίχνευσης προσώπου Viola-Jones [81]. Μια και τα δεδομένα μας είναι ασπρόμαυρες εικόνες προσώπων, ο αλγόριθμος Viola-Jones που εκμεταλλεύεται Haar-like χαρακτηριστικά για την ανίχνευση, δίνει ακριβέστατα αποτελέσματα. Ένα Haar-like χαρακτηριστικό εξετάζει γειτνιάζουσες ορθογωνιόσχημες περιοχές σε ένα συγκεκριμένο παράθυρο, αθροίζει τις εντάσεις των pixel σε κάθε περιοχή και βρίσκει τη διαφορά των αθροισμάτων τους. Η διαφορά αυτή ακολούθως χρησιμοποιείται για να κατηγοριοποιήσει τις διάφορες περιοχές της εικόνας μας. Στην περίπτωση μας, που έχουμε μια βάση δεδομένων με πρόσωπα για παράδειγμα, σε κάθε πρόσωπο, σε κάθε φωτογραφία, η περιοχή των ματιών είναι σκοτεινότερη από την περιοχή στα μάγουλα. Έτσι, ένα κοινό Haar-like χαρακτηριστικό είναι ένα σύνολο από γειτνιάζοντα ορθογώνια που βρίσκονται πάνω από τις περιοχές αυτές. Η θέση αυτών των περιοχών ορίζεται σε σχέση με ένα παράθυρο ανίχνευσης που λειτουργεί ως bounding box για το αντικείμενο που ανιχνεύουμε, δηλαδή το πρόσωπο. Στη φάση της ανίχνευσης λοιπόν, ένα τέτοιο παράθυρο μετακινείται στην εικόνα και για κάθε υποπεριοχή της υπολογίζουμε τα

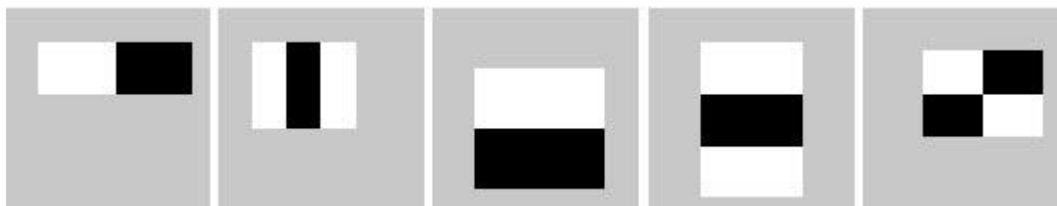
Haar-like χαρακτηριστικά. Οι διαφορές συγκρίνονται τότε με ένα όριο που σκοπό έχει να διαχωρίσει τα αντικείμενα από τα μη-αντικείμενα. Στην περίπτωση αυτού του αλγόριθμου και επειδή από μόνα τους τα Haar-like χαρακτηριστικά αποτελούν αδύναμους classifiers, τα οργανώνουμε σε ένα σχήμα classifier cascade για να δημιουργήσουν έναν ισχυρό συνολικό classifier.

Πιο αναλυτικά, έστω I η εικόνα μας και P ένα pattern, και τα δύο με τις ίδιες διαστάσεις $N \times N$. Το χαρακτηριστικό που συσχετίζεται με το pattern P της εικόνας I ορίζεται από τη σχέση :

$$\sum_{1 \leq i \leq N} \sum_{1 \leq j \leq N} I(i,j) 1_{P(i,j) \text{ άσπρο}} - \sum_{1 \leq i \leq N} \sum_{1 \leq j \leq N} I(i,j) 1_{P(i,j) \text{ μαύρο}}$$



Εικόνα 33: Haar-like χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται μόνο τα pixel με άσπρη ή μαύρη σκίαση όταν υπολογίζεται το αντίστοιχο feature.



Εικόνα 34 : Haar-like patterns. Η θέση και το μέγεθός τους μπορεί να διαφέρει, υπό τις προϋποθέσεις να είναι ισομεγέθη και να διατηρούν τις σχετικές τους θέσεις. Υπό αυτή την έννοια ο αριθμός των χαρακτηριστικών που μπορούμε να εξάγουμε από μια εικόνα είναι υπολογιστικά διαχειρίσιμος: Για παράδειγμα για μια εικόνα 24×24 έχουμε 43200, 27600, 43200, 27600 και 20736 για κάθε ένα από τα απεικονιζόμενα είδη χαρακτηριστικών, άρα 162336 χαρακτηριστικά συνολικά.

Έτσι στην πράξη χρησιμοποιούμε 5 είδη patterns, όπως φαίνεται στην άνωθεν εικόνα.

Τα παραγόμενα features περιέχουν όλη την πληροφορία που χρειαζόμαστε για να χαρακτηρίσουμε ένα αντικείμενο-πρόσωπο. Μια και ένα πρόσωπο είναι εν γένει ένα «συγκεκριμένο» σχήμα η χρήση των Haar-like χαρακτηριστικών είναι ενδεδειγμένη

και αποτελεσματική. Υπάρχει όμως και άλλο ένα κρίσιμο σημείο υπέρ αυτών των χαρακτηριστικών: Η ολοκληρωμένη εικόνα που μας επιτρέπει να τα υπολογίσουμε με ελάχιστο υπολογιστικό κόστος. Αντί να αθροίζουμε όλα τα pixel μέσα σε μια ορθογώνια περιοχή σε αυτή την τεχνική αντικατοπτρίζεται η χρήση Αθροιστικών Συναρτήσεων Κατανομής. Η ολοκληρωμένη εικόνα (integral image) II της εικόνας I

$$II(i,j) = \begin{cases} \sum_{1 \leq s \leq i} \sum_{1 \leq t \leq j} I(s,t) & : 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N \\ 0 & : \text{Αλλού} \end{cases}$$

Ορίζεται έτσι ώστε η σχέση

$$\sum_{N_1 \leq i \leq N_2} \sum_{N_3 \leq j \leq N_4} I(i,j) = II(N_2, N_4) - II(N_2, N_3 - 1) - II(N_1 - 1, N_4) + II(N_1 - 1, N_3 - 1)$$

να ισχύει για κάθε $N_1 \leq N_2$ και $N_3 \leq N_4$

Ως εκ τούτου, ο υπολογισμός του ορθογωνικού τοπικού αθροίσματος μιας εικόνας απαιτεί κατά μέγιστο 4 στοιχειώδεις πράξεις δεδομένης της ολοκληρωμένης εικόνας (Integral image). Επιπλέον, ο υπολογισμός της ολοκληρωμένης εικόνας γίνεται σε γραμμικό χρόνο.

Για την διάκριση των εν λόγω χαρακτηριστικών χρησιμοποιούμε τον AdaBoost [82]. Εδώ ένας classifier αντιστοιχεί μια παρατήρηση σε μια ετικέτα που παίρνει τιμές από ένα πεπερασμένο σύνολο. Για την περίπτωση της ανίχνευσης προσώπου ο classifier παίρνει τη μορφή $f: \mathbb{R}^d \mapsto \{-1, 1\}$ όπου η τιμή 1 αντιστοιχεί στην ύπαρξη προσώπου ενώ η -1 σε μη ύπαρξη, με d τον αριθμό των Haar-like χαρακτηριστικών που πήραμε από την εικόνα. Δεδομένων πιθανοτικών βαρών $w \in \mathbb{R}_+$ που ανατίθενται σε ένα training set από n ζεύγη παρατήρησης-ετικέτας (x_i, y_i) ο AdaBoost στοχεύει στο να μειώσει επαναληπτικά το άνω όριο του σφάλματος $\sum_{i=1}^N w_i \mathbf{1}_{y_i \neq f(x_i)}$. Ο κανόνας απόφασης που κατασκευάζεται από τον AdaBoost είναι απλός και δεν είναι

επιρρεπής σε overfitting πράγμα που σημαίνει ότι γενικοποιείται εύκολα για διάφορες περιπτώσεις.

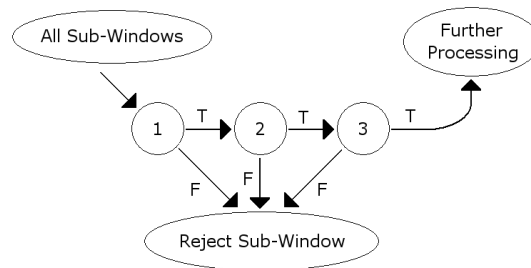
Το δομικό στοιχείο του Viola-Jones είναι ένα «decision stump» , ένα δέντρο απόφασης βάθους 1, που παραμετροποιείται από το χαρακτηριστικό $f \in \{1, \dots, d\}$, ένα όριο $t \in \mathbb{R}$ και μια λογική μεταβλητή $T \in \{-1, 1\}$. Δεδομένης μιας παρατήρησης $x \in \mathbb{R}^d$ το decision stump h προβλέπει την ετικέτα του χρησιμοποιώντας τον εξής κανόνα :

$$h(x) = (1_{\pi_f x \geq t} - 1_{\pi_f x < t})T = (1_{\pi_f x \geq t} - 1_{\pi_f x < t})1_{T=1} + (1_{\pi_f x < t} - 1_{\pi_f x \geq t})1_{T=-1} \in \{-1, 1\}$$

Όπου π_{fx} είναι η f - συντεταγμένη του διανύσματος χαρακτηριστικών.

Η εκτίμηση της απόδοσης των classifiers που παράγονται από τη διαδικασία εκμάθησης, μπορεί να γίνει γρήγορα αλλά δεν είναι αρκετά γρήγορη για να τρέχει σε πραγματικό χρόνο. Για το λόγο αυτό, οι classifiers οργανώνονται σε μορφή «καταρράκτη» (cascade architecture) σε σειρά πολυπλοκότητας, όπου κάθε διαδοχικός classifier εκπαιδεύεται μόνο από τα δείγματα που περνάνε από τους προηγούμενους. Αν σε κάποιο στάδιο του «καταρράκτη» ένας classifier απορρίψει το υποπαράθυρο που εξετάζεται η επεξεργασία σταματά και συνεχίζουμε στο επόμενο. Στην περίπτωση των προσώπων ο πρώτος classifier, χρησιμοποιεί μόνο 2 χαρακτηριστικά για να αποδώσει ένα ποσοστό false negatives περίπου στο 0% και ένα ποσοστό false positives γύρω στο 40%. Το αποτέλεσμα αυτού και μόνο του πρώτου classifier είναι να μειωθούν περίπου στο μισό οι φορές που αξιολογείται όλος ο καταρράκτης. Κάθε layer στον attentional cascade καλείται να πιάσει συγκεκριμένους στόχους : Ανάμεσα σε n αρνητικά παραδείγματα που δηλώθηκαν θετικά από τα προηγούμενα στρώματα, το στρώμα l καλείται να αναγνωρίσει

τουλάχιστον $(1 - \gamma_1)n$ χωρίς να θυσιάσει την απόδοσή του στα θετικά. Ο ρυθμός ανίχνευσης πρέπει να διατηρηθεί πάνω από $1 - \beta_1$



Εικόνα 35 : Αρχιτεκτονική Cascade

Αφού εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο Viola-Jones για την ανίχνευση του προσώπου, εφαρμόζουμε cropping στην εικόνα για να περιορίσουμε και άλλο τα δεδομένα της, ώστε να αποφύγουμε να έχουμε μη-σημαντικά δεδομένα παρακάτω.

Στην Εικόνα 36 μερικά παραδείγματα αυτής της επεξεργασίας :



Εικόνα 36: Αποτελέσματα ανίχνευσης προσώπου με τον Viola-Jones

6.4.1.2 Ανίχνευση Ακμών

Πράγματι παίρνοντας ως δεδομένο μια εικόνα προσώπου και εφαρμόζοντας έναν βασικό αλγόριθμο ανίχνευσης με μάσκες Sobel έχουμε αποτελέσματα όπως στην Εικόνα 37 :



Εικόνα 37 : Ανίχνευση Ακμών σε εικόνα προσώπου με μάσκες Sobel για αρχικό καθορισμό περιοχών ενδιαφέροντος

Βλέπουμε ήδη, πως μειώθηκε ο όγκος των δεδομένων μας και πώς αυτά περιορίστηκαν σε μια αναπαράσταση που κρατά την πληροφορία που μας ενδιαφέρει, αλλά έχει απορρίψει άχρηστη πληροφορία.

Αυτό όμως δεν είναι αρκετό για τη διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών. Χρειαζόμαστε ακόμα πληροφορίες όσον αφορά τη δομή και τη διασύνδεση του προσώπου, όχι μόνο μεμονωμένες τοποθεσίες φωτεινών pixel.

Η επόμενη λύση είναι να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος που θα εξακολουθεί να έχει έντονη πληροφορία στα σημεία ενδιαφέροντος, εύκολα απαλείψιμη πληροφορία στα κενά σημεία και να προσφέρει διατήρηση της δομής του προσώπου, ώστε στο τέλος να εφαρμόσουμε αλγόριθμο clustering για να αποκτήσουμε το τελικό διάγραμμα χαρακτηριστικών το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση.

Η λύση είναι έρχεται με τους (δυσικούς ο ένας για τον άλλο) αλγόριθμους ψηφοθέτησης Voronoi και τριγωνισμού Delaunay[83]–[86].

6.4.1.3 Ψηφοθέτηση Voronoi – Τριγωνισμός Delanunay

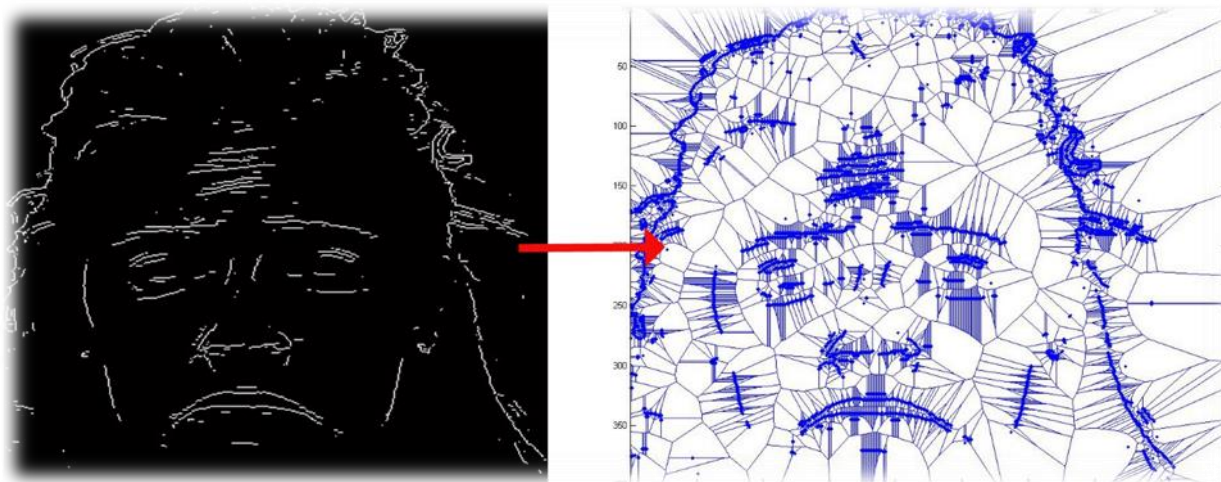
Ορισμός : Έστω $\mathbf{X}$ ένας χώρος με μια μετρική $\mathbf{d}$. Επίσης έστω $\mathbf{K}$ σύνολο δεικτών και $(\mathbf{P}_{\mathbf{k}})_{\mathbf{k} \in \mathbf{K}}$ μια tuple μη κενών υποσυνόλων στο χώρο $\mathbf{X}$. Η ψηφίδα Voronoi, ή περιοχή Voronoi $\mathbf{V}_i$ που συνδέεται με το σύνολο $(\mathbf{P}_i)$ είναι το σύνολο των σημείων του $\mathbf{X}$ των οποίων η απόσταση από το $(\mathbf{P}_{\mathbf{k}})$ είναι μικρότερη ή ίση από τις αποστάσεις τους κάθε άλλο $(\mathbf{P}_j)$, με j , διαφορετικό σύνολο δεικτών από το $\mathbf{K}$.

Δηλαδή:

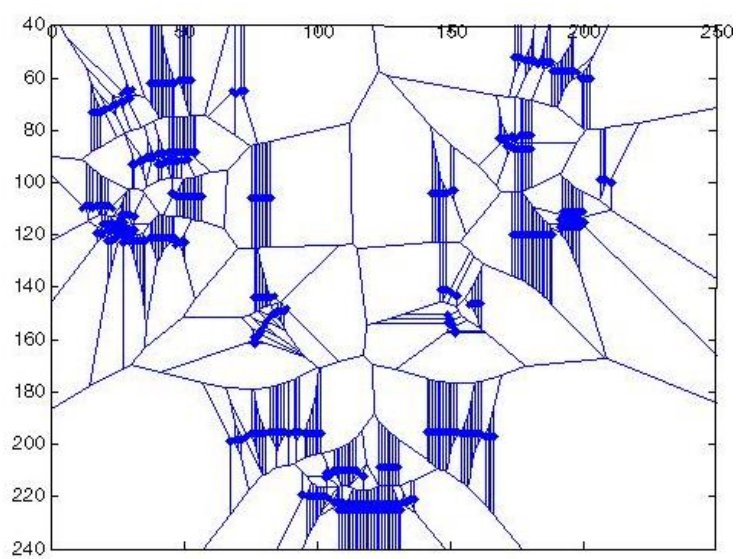
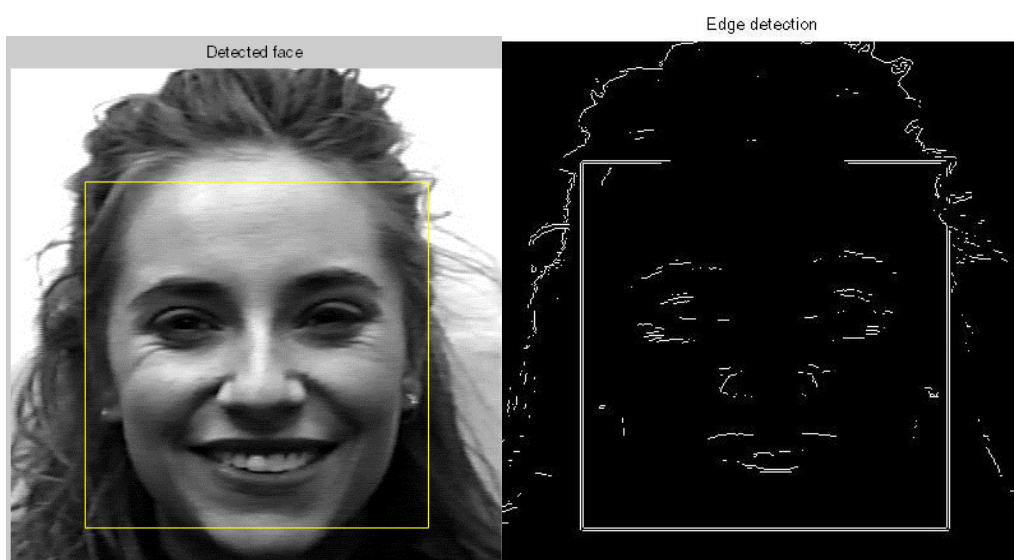
Αν $d(\mathbf{x}, \mathbf{A}) = \inf\{d(\mathbf{x}, \mathbf{A}) \mid \alpha \in \mathbf{A}\}$ τότε

$$\mathbf{V}(\mathbf{p}_i) = \{\mathbf{x} \in \mathbf{X} \mid d(\mathbf{x}, \mathbf{P}_i) \leq d(\mathbf{x}, \mathbf{P}_j) \forall j \neq i\}$$

Για χάρη απλότητας θα συμβολίζουμε την περιοχή $\mathbf{V}(\mathbf{p}_i)$ $\mathbf{V}_i$. Το διάγραμμα Voronoi $\text{Vor}(\mathbf{P})$ είναι η αναπαράσταση της tuple $(\mathbf{V}_{\mathbf{k}})_{\mathbf{k} \in \mathbf{K}}$ και στην περίπτωση μας, όπου έχουμε έναν ευκλείδειο χώρο πεπερασμένης διάστασης, όπως αυτός μιας 2διάστατης εικόνας και έχουμε πεπερασμένο πλήθος μη-αλληλεπικαλυπτόμενων σημείων, κάθε κελί Voronoi είναι ένα κυρτό πολύγωνο. Επίσης στην συγκεκριμένη περίπτωση ο χώρος μας είναι εφοδιασμένος με τη συνήθη ευκλείδεια μετρική e_2 [85]. Έτσι χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της ανίχνευσης ακμών στην εικόνα, δημιουργούμε «σπόρους» περιοχών, οι οποίες θα μεταβληθούν σε κελιά Voronoi και σαν αποτέλεσμα θα έχουμε ένα πλήρες συνεκτικό μοντέλο του προσώπου, αποτελούμενο από κυρτά πολύγωνα διαφορετικού εμβαδού. Στην Εικόνα 38 βλέπουμε το αποτέλεσμα ψηφοθέτησης Voronoi στα αποτελέσματα της ανίχνευσης ακμών:



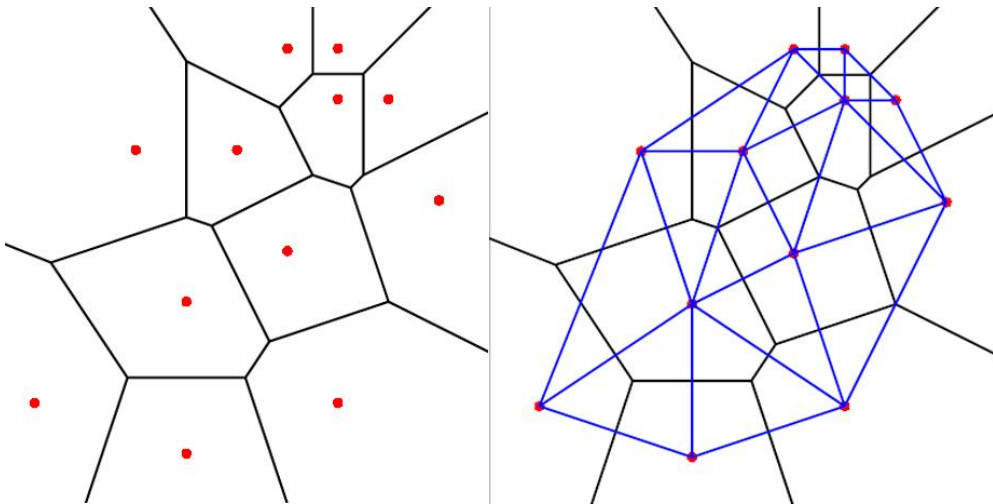
Εικόνα 38: Ψηφοθέτηση Voronoi σε αποτελέσματα ανίχνευσης ακμών



Εικόνα 39: Ανίχνευση προσώπου, ανίχνευση ακμών και διάγραμμα Voronoi χαρούμενου προσώπου

Έτσι έχουμε δημιουργήσει ένα συνεκτικό μοντέλο του ανθρώπινου προσώπου, στο οποίο οι περιοχές ενδιαφέροντος αποτελούνται από σύνολα κυρτών πολυγώνων με διαφορετικά εμβαδά, μικρά στα σημεία έντασης και μεγαλύτερα στα σημεία που δεν υπάρχει ενδιαφέρουσα πληροφορία.

Μετά την κατασκευή του διαγράμματος Voronoi, μπορούμε να λάβουμε ως αποτέλεσμα έναν μη-κατευθυνόμενο γράφο των δεδομένων μας με την εξής μέθοδο: Οι κορυφές του είναι τα σημεία p_i το καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια μοναδική περιοχή του διαγράμματος $\text{Vor}(P)$ και μεταξύ αυτών των κορυφών υπάρχει ακμή αν και μόνο αν οι περιοχές V_i και V_j έχουν μια κοινή ακμή. Ο παραγόμενος γράφος καλείται τριγωνισμός Delaunay της κυρτής θήκης του συνόλου P και έχει μερικές ιδιαίτερες ιδιότητες:



Εικόνα 40: Αριστερά το διάγραμμα Voronoi 12 σημείων σε δισδιάστατο χώρο κ δεξιά ο τριγωνισμός Delaunay

Ορίζουμε τον τριγωνισμό Delaunay ενός διαγράμματος Voronoi συνόλου σημείων P ακολούθως:

Ορισμός: Έστω $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ σύνολο σημείων σε χώρο E^m και έστω $\text{Vor}(P)$ το διάγραμμα Voronoi των σημείων P , με V_i την κάθε ψηφίδα. Ορίζουμε τον τριγωνισμό Delaunay $\text{Del}(P)$ ως εξής: Το σύμπλεγμα $\text{Del}(P)$ περιέχει το k -simplex $\{p_1, p_2, \dots, p_{k+1}\}$

ανν $V_1 \cap V_2 \cap \dots \cap V_{k+1} \neq \emptyset$ με $0 \leq k \leq m$. Το σύμπλεγμα $\text{Del}(P)$ καλείται
 τριγωνισμός Delaunay της κυρτής θήκης του P .

Υπενθυμίζουμε ότι ένα υποσύνολο $C \subseteq \mathbb{R}^n$ ονομάζεται κυρτό αν
 $\forall x, y \in C, \forall \lambda \in [0, 1], \lambda x + (1 - \lambda)y \in C$, δηλαδή κυρτά είναι όλα τα σύνολα στα οποία η
 ευθεία που ενώνει οποιαδήποτε σημεία εντός τους ανήκει και αυτή στο σύνολο.
 Κυρτή θήκη (ή κυρτό περίβλημα) του συνόλου αυτού, είναι το μικρότερο κυρτό
 σύνολο που περιέχει το C , δηλαδή η τομή όλων των κυρτών συνόλων που το
 περιέχουν. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση μας στο ευκλείδειο επίπεδο, η κυρτή θήκη
 ενός συνόλου σημείων είναι το μικρότερο κυρτό πολύγωνο που τα περιέχει. Ένα k -
 simplex είναι το k -διάστατο πολύτοπο που αποτελεί την κυρτή θήκη $k+1$ κορυφών
 [86]. Έτσι $\{p_i, p_j\}$ είναι μια ακμή ανν $V_i \cap V_j \neq \emptyset$, $\{p_i, p_j, p_h\}$ είναι ένα τρίγωνο ανν
 $V_i \cap V_j \cap V_h \neq \emptyset$, $\{p_i, p_j, p_h, p_k\}$, είναι ένα τετράεδρο ανν $V_i \cap V_j \cap V_h \cap V_k \neq \emptyset$ κλπ.
 Εφαρμόζοντας λοιπόν τις 2 αυτές δυικές μεθόδους στην εικόνα προσώπων έχουμε τα
 εξής πλεονεκτήματα:

- Μειώνεται ο όγκος των δεδομένων μας.
- Μας παρέχεται μια αναπαράσταση του προσώπου και του σχήματός του στο
 χώρο, η οποία περιέχει όλες τις περιοχές ενδιαφέροντος και διατηρείται η
 μορφολογική-γεωμετρική δομή τους.
- Δημιουργείται ένας μη-κατευθυνόμενος γράφος από σημεία τα οποία
 αντιστοιχούν σε περιοχές έκφρασης και ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί
 ακολούθως για την εξαγωγή συγκεκριμένων ξεχωριστών περιοχών
 ενδιαφέροντος ώστε κάθε μία από αυτές να χρησιμοποιηθεί ξεχωριστά ως
 διάλυσμα χαρακτηριστικών. Στο γράφο αυτό, κάθε κορυφή αντιστοιχεί σε ένα
 μικρο-στοιχείο του προσώπου το οποίο ενώνεται με τα διπλανά του με μια

ακμή. Το μήκος της ακμής είναι η γνωστή ευκλείδεια απόσταση. Έτσι, περιοχές έκφρασης συναισθήματος με έντονη πληροφορία, έχουν υψηλή πυκνότητα σημείων (μικρές μεταξύ τους αποστάσεις) και ψηφίδες Voronoi με μικρό εμβαδό, αλλά σημεία χωρίς πληροφορία έχουν μεγάλη μεταξύ τους απόσταση και αντιστοίχως μεγάλο εμβαδό.

- Τα πρακτικά αποτελέσματα που έχουμε είναι σε μορφή πινάκων οι κορυφές του τριγωνισμού Delaunay και οι ακμές μεταξύ τους, οι οποίες καταχωρούνται σε έναν πίνακα adjacency του οποίου τα στοιχεία αντιστοιχούν στο βάρος της εκάστοτε ακμής μεταξύ 2 κορυφών, το οποίο και ορίζουμε ως την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ τους.

6.4.1.4 Ανίχνευση περιοχών ενδιαφέροντος με clustering πυκνότητας

Το επόμενο βήμα, αφού έχουμε επεξεργαστεί τα δεδομένα της εικόνας και έχουμε τα αποτελέσματα από τον τριγωνισμό Delaunay, είναι να κατακερματίσουμε τον παραγόμενο γράφο ώστε να λάβουμε ξεχωριστές περιοχές ενδιαφέροντος. Χρειαζόμαστε να ξεχωρίσουμε την περιοχή του στόματος, την περιοχή του κάθε ματιού και –αν υπάρχει- την περιοχή του μετώπου όπου η ύπαρξη ρυτίδων είναι σημαντικός παράγοντας στην αναγνώριση.

Για τη διαδικασία αυτή βασίζομαστε στο γεγονός ότι περιοχές με πληροφορία, ή περιοχές δράσης στην εικόνα, αντιστοιχούν σε πυκνά σημεία με ψηφίδες μικρού εμβαδού στο γράφο του τριγωνισμού. Έτσι, ο καλύτερος τρόπος για να εφαρμοστεί clustering, είναι να επικεντρωθούμε σε αυτή ακριβώς την γεωμετρική εγγύτητα/πυκνότητα ώστε να βγάλουμε τα συμπεράσματά μας.

Οι δυσκολίες αυτού του εγχειρήματος είναι οι εξής :

- Δεν έχουμε a-priori πληροφορία για τον αριθμό των clusters. Έτσι ένας αλγόριθμος όπως ο k-means δε μπορεί να μας παρέχει τα ζητούμενα αποτελέσματα.
- Δεν έχουμε clusters με συνηθισμένα σχήματα και σε μερικές περιπτώσεις ένα cluster μπορεί να περιέχει ένα άλλο. Δεδομένης της γεωμετρικής δομής του προσώπου δε, πρέπει να δώσουμε σημασία στο λεγόμενο single-link-effect (διαφορετικά cluster ενώνονται από μια λεπτή γραμμή σημείων) και να το αντιμετωπίσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ώστε να μην έχουμε υπερκαλύψεις.
- Χρειαζόμαστε έναν αλγόριθμο που να είναι έχει πρόβλεψη για θόρυβο και σε σημεία-outliers.

Ο αλγόριθμος που αντιμετωπίζει τα προβλήματα αυτά και αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα στο πρόβλημά μας είναι ο αλγόριθμος DBSCAN (Density Based Spatial Clustering on Applications with Noise[87],[88]. Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες αλγορίθμων clustering [89]. Αλγόριθμοι διαχωρισμού(partitioning), ιεραρχικοί αλγόριθμοι, grid-based μέθοδοι, μέθοδοι για categorical data, μέθοδοι για clustering βασισμένα σε περιορισμούς (constrained based clustering), μέθοδοι για δεδομένα πολλών διαστάσεων, gradient descent, εξελικτικοί κ.α. Στην παρούσα διατριβή, οι καταλληλότεροι αλγόριθμοι για το είδος του προβλήματος αρχικά περιορίστηκαν στις εξής 2 κατηγορίες: Στους αλγόριθμους διαχωρισμού (partitioning) και τους ιεραρχικούς (hierarchical). Οι αλγόριθμοι διαχωρισμού λαμβάνουν μια βάση D n αντικειμένων και τη διαχωρίζουν σε k υποσύνολα, όπου k παράμετρος του αλγόριθμου. Έτσι, προϋποθέτουμε ότι υπάρχει κάποια αρχική γνώση για τις δομές μας, πράγμα που σε περιπτώσεις όπως η δική μας δεν είναι δυνατή. Ένας αλγόριθμος διαχωρισμού, ξεκινά με ένα αρχικό partition του

συνόλου D και μετά ακολουθεί μια επαναληπτική στρατηγική ελέγχου, αναζητώντας να βελτιστοποιήσει μια αντικειμενική συνάρτηση (objective function). Κάθε cluster αναπαρίσταται από ένα κέντρο (στην περίπτωση k-means clustering) ή από ένα αντικείμενο κοντά στο κέντρο του (αλγόριθμοι k-medoid). Ακολούθως, έχουμε μια διαδικασία 2 βημάτων: Πρώτα, ανιχνεύουμε k αντιπροσώπους που ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση. Τέλος, υποθέτουμε ότι κάθε partition αντικατοπτρίζει και ένα διάγραμμα Voronoi και κάθε cluster περιέχεται μέσα σε ένα ψηφίδα Voronoi. Συνεπώς και όλα μας τα cluster απαιτείται να είναι κοίλα σύνολα το οποίο σε γενικές περιπτώσεις είναι περιοριστικό.

Οι ιεραρχικοί αλγόριθμοι αποδομούν ιεραρχικά το σύνολο D . Η ιεραρχική αποδόμηση αναπαρίσταται σε ένα δενδρόγραμμα, το οποίο διαχωρίζει το D επαναληπτικά μέχρις ότου κάθε υποσύνολο αποτελείται από ένα μόνο αντικείμενο. Σε μια τέτοια δομή, κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε ένα cluster μέσα στο D . Το δενδρόγραμμα αυτό μπορεί να δημιουργείται είτε από τα φύλλα προς τη ρίζα (συσσωρευτική προσέγγιση) είτε από τη ρίζα προς τα φύλλα (διααιρετική προσέγγιση), [90] ενώνοντας ή διαχωρίζοντας αντικείμενα σε κάθε βήμα. Σε αντίθεση με τους διαχωριστικούς αλγόριθμους, οι ιεραρχικοί δεν προαπαιτούν γνώση του αριθμού των clusters. Όμως, πρέπει να έχουμε μια δικλείδα τερματισμού που υποδεικνύει πότε πρέπει να σταματήσει η διαδικασία. Μια τέτοια δικλείδα ασφαλείας είναι για παράδειγμα η ζητούμενη απόσταση $D_{\min}$ μεταξύ των clusters του συνόλου μας.

Έτσι λοιπόν το πρόβλημά μας εδώ είναι να ορίσουμε την παράμετρο αυτή έτσι ώστε και να έχουμε σαφή διαχωρισμό των συνόλων αλλά και ταυτόχρονα να αποφύγουμε διαχωρισμό ενός συνόλου σε 2 μικρότερα.

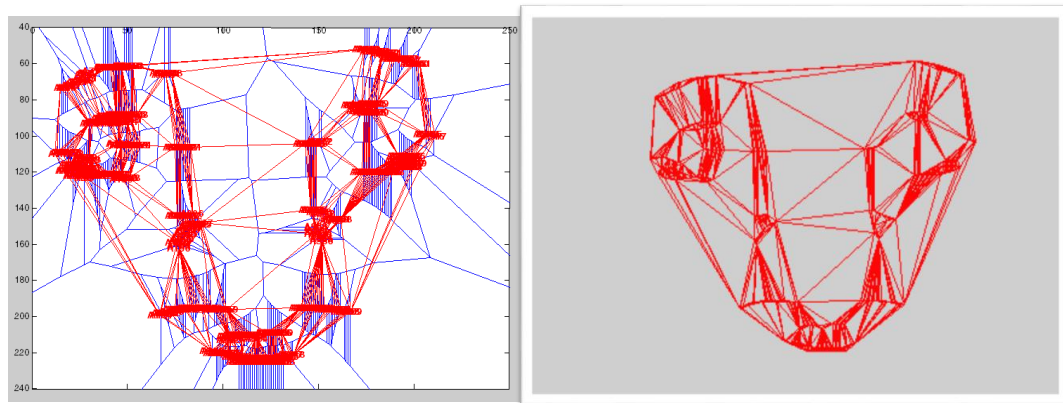
Σε αυτή την κατεύθυνση υπάρχουν προτάσεις όπως αυτή του αλγόριθμου Eycluster [91] που βρίσκει αυτόματα την παράμετρο $D_{\min}$ βασιζόμενος στην ιδέα ότι αν 2 σημεία ανήκουν στο ίδιο cluster, μπορούμε να μετακινηθούμε από το ένα στο άλλο με ένα αρκούντως μικρό βήμα. Αν και ο αλγόριθμος αυτός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός ακόμα και σε μη κυρτά σύνολα, έχοντας υπολογιστικό κόστος $O(n^2)$ λόγω της εύρεσης όλων των αποστάσεων μεταξύ σημείων, καθίσταται ασύμφορος.

Ο Jain [90] προτείνει μια λύση για αλγόριθμο βασισμένο σε πυκνότητα για να διακρίνει clusters σε k -διάστατα σύνολα σημείων. Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε ένα σύνολο μη-επικαλυπτόμενων κελιών και κατασκευάζονται ιστογράμματα. Κελιά με υψηλή συχνότητα σημείων θεωρούνται αρχικά κέντρα των clusters ενώ τα όρια μεταξύ τους, αντιστοιχούν στις «κοιλιάδες» των ιστογραμμάτων. Αυτή η μέθοδος έχει την ικανότητα να βρίσκει clusters κάθε σχήματος. Όμως και αυτός ο αλγόριθμος πάσχει στο θέμα του χώρου αποθήκευσης που χρειάζεται και στο χρόνο υπολογισμού μια και η αποθήκευση και αναζήτηση μέσα σε πολυδιάστατα ιστογράμματα είναι πολύ απαιτητική.

Ο αλγόριθμος DBSCAN που χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του τριγωνισμού Delaunay του προσώπου σε περιοχές ενδιαφέροντος, ξεπερνά τις προαναφερθείσες δυσκολίες και αποδίδει εξαιρετικά αποτελέσματα.



Εικόνα 41 : Η αρχική εικόνα και το αποτέλεσμα ανίχνευσης με Viola-Jones



Εικόνα 42: (α) Περιοχές Voronoi με μπλε και Delaunay με κόκκινο β) Διάγραμμα του μη-κατευθυνόμενου γράφου που δημιουργείται από τον τριγωνισμό Delaunay

Στην Εικόνα 42 μπορούμε ξεκάθαρα να διακρίνουμε τα διαφορετικά clusters που έχουν δημιουργηθεί. Ο λόγος που η αναγνώριση αυτή είναι εύκολη, είναι ότι σε κάθε cluster παρατηρούμε μια συγκεκριμένη πυκνότητα σημείων, πολύ υψηλότερη από ό,τι εκτός αυτού. Επιπλέον, η πυκνότητα σε περιοχές που δε μας ενδιαφέρουν και μπορούν να θεωρηθούν ως θόρυβος, είναι επίσης μικρότερη από αυτή εντός των clusters.

Ακολουθώντας, θα ορίσουμε αυστηρά την διαισθητική αρχικά έννοια του cluster και του θορύβου στα δεδομένα μας σε ένα σύνολο D σημείων στον δισδιάστατο ευκλείδειο χώρο. Η κύρια ιδέα πίσω από τον ορισμό είναι ότι για κάθε σημείο εντός ενός cluster,

μια γειτονιά συγκεκριμένης ακτίνας πρέπει να περιέχει έναν ελάχιστο αριθμό σημείων. Στην περίπτωση μας, οι αποστάσεις μετريούνται δε με την κλασσική ευκλείδεια μετρική e_2 .

Ορισμός 1: Eps γειτονιά σημείου

Η γειτονιά Eps ενός σημείου p , N_{Eps} ορίζεται ως:

$$N_{Eps}(p) = \{ q \in D \mid l_2(p, q) \leq Eps \}, \text{ όπου } e_2 \text{ η ευκλείδεια μετρική}$$

Μια αρχική προσέγγιση θα ήταν να υποθέσουμε ότι για κάθε σημείο ενός cluster, υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός σημείων MinPts στην Eps γειτονιά του. Η προσέγγιση αυτή όμως αποτυγχάνει μια και δεν κάνει διάκριση μεταξύ των 2 ειδών σημείων σε ένα cluster: Των σημείων στο εσωτερικό του (core points) και των σημείων στο όριο του (border points). Εύκολα καταλαβαίνουμε πως ένα σημείο στο όριο ενός cluster περιέχει λιγότερα σημεία στην Eps γειτονιά του από ό,τι ένα σημείο στο εσωτερικό. Έτσι, θα έπρεπε να καθορίσουμε τον ελάχιστο αριθμό σημείων σε μια σχετικά χαμηλή τιμή, αν δε θέλουμε να εξαλείψουμε τα σημεία στο όριο. Η τιμή αυτή όμως δεν πρέπει να είναι χαρακτηριστική για το cluster, ειδικά με την παρουσία θορύβου. Έτσι πρέπει να απαιτήσουμε το εξής:

Για κάθε σημείο p σε ένα cluster C , υπάρχει σημείο q στο C έτσι ώστε το p να είναι εντός της γειτονιάς του q και η $N_{Eps}(q)$ περιέχει αριθμό σημείων τουλάχιστον ίσο με MinPts.

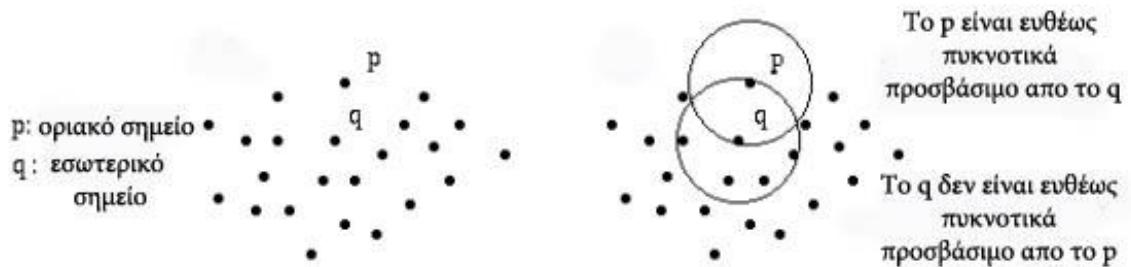
Ορισμός 2 : Ευθέως πυκνωτική προσβασιμότητα (directly density-reachability)

Ένα σημείο p είναι ευθέως πυκνωτικά προσβάσιμο από σημείο q όσον αφορά τη γειτονιά Eps και την παράμετρο MinPts αν:

$$I. \quad p \in N_{Eps}(q)$$

II. $card(N_{Eps}(q)) \geq MinPts$ (συνθήκη εσωτερικών σημείων)

Προφανώς για εσωτερικά σημεία η προσβασιμότητα είναι συμμετρική ιδιότητα, ενώ για ένα εσωτερικό σημείο και ένα οριακό, αυτό δεν ισχύει.

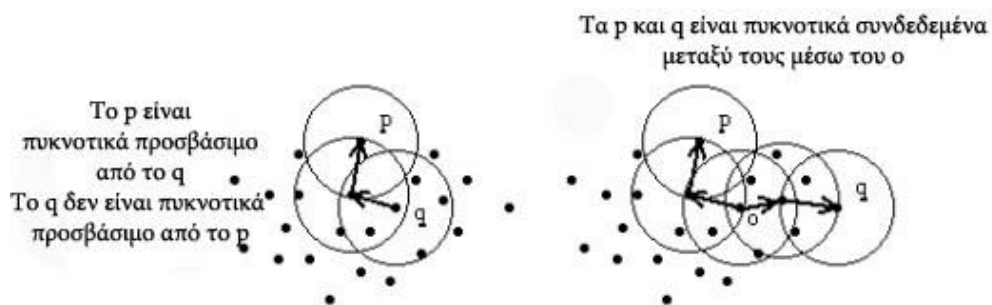


Εικόνα 43: Οριακά και εσωτερικά σημεία

Ορισμός 3: Πυκνωτικά προσβάσιμο σημείο (density reachable)

Ένα σημείο p είναι πυκνωτικά προσβάσιμο από ένα σημείο q όσον αφορά τη γειτονιά E_{ps} και την παράμετρο $MinPts$ αν υπάρχει σειρά σημείων $p_1, \dots, p_n$ με $p_1 = q$, $p_n = p$ τέτοια ώστε το p_{i+1} να είναι πυκνωτικά προσβάσιμο από το p_i .

Η ιδιότητα αυτή είναι μεταβατική αλλά όχι συμμετρική μεταξύ οριακών και εσωτερικών σημείων.



Εικόνα 44: Πυκνωτική προσβασιμότητα και πυκνωτική συνδεσιμότητα

Δύο οριακά σημεία του ίδιου cluster μπορεί να μην είναι πυκνωτικά προσβάσιμα μεταξύ τους καθώς η συνθήκη του εσωτερικού σημείου μπορεί να μην ισχύει και για τα 2. Παρ'όλα αυτά θα πρέπει να υπάρχει ένα εσωτερικό σημείο για το οποίο και τα 2 οριακά σημεία του C να είναι πυκνωτικά προσβάσιμα. Έτσι, χρειάζεται

να ορίσουμε την έννοια της πυκνωτικής συνδεσιμότητας (density connectivity) για να καλύψουμε την περίπτωση αυτή.

Ορισμός 4: Πυκνωτικά συνδεδεμένα σημεία

Ένα σημείο p είναι πυκνωτικά συνδεδεμένο με ένα σημείο q όσον αφορά τη γειτονιά E_{ps} και την παράμετρο $MinPts$ αν υπάρχει σημείο o έτσι ώστε τα p και q να είναι πυκνωτικά προσβάσιμα μέσω του o στη γειτονιά E_{ps} και με την παράμετρο $MinPts$.

Η πυκνωτική συνδεσιμότητα είναι συμμετρική σχέση.

Μετά από αυτούς τους ορισμούς μπορούμε να καθορίσουμε και την βασισμένη σε πυκνότητα σημείων έννοια ενός cluster.

Η αρχική μας εντύπωση εδώ είναι πως ως cluster ορίζουμε ένα maximal (μεγιστοτικό)⁴ - όσον αφορά την πυκνωτική προσβασιμότητα- σύνολο πυκνωτικά συνδεδεμένων σημείων. Ως θόρυβο αντιλαμβανόμαστε τα σημεία αυτά του υπερσυνόλου D που δεν ανήκουν σε κανένα cluster. Έτσι καταλήγουμε στον παρακάτω ορισμό:

Ορισμός 5: Cluster

Έστω D σύνολο σημείων (στην περίπτωσή μας, στον ευκλείδειο δισδιάστατο χώρο). Ένα cluster C σχετικά με E_{pts} και $MinPts$ είναι ένα μη-κενό υποσύνολο του D που ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

- I. **Maximality:** $\forall p, q: \text{Αν } p \in C \text{ και } q \text{ είναι πυκνωτικά προσβάσιμο από το } p, \text{ τότε } q \in C$
- II. **Συνδεσιμότητα:** $\forall p, q \in C: \text{Το } p \text{ είναι πυκνωτικά συνδεδεμένο με το } q \text{-}$
σχετικά με E_{pts} και $MinPts$.

⁴ Maximal subgraph: Ένας υπο-γράφος του αρχικού μας στον οποίο όλες οι κορυφές είναι συνδεδεμένες και δε μπορούμε να βρούμε άλλη κορυφή που αν προστεθεί στον υπο-γράφο, τα στοιχεία του συνεχίζουν να είναι συνδεδεμένα

Ορισμός 6: Θόρυβος

Έστω $C_1, C_2, \dots, C_k$ clusters του D σχετικά με E_{pts} και $MinPts$, $i=1, \dots, k$. Ορίζουμε ως θόρυβο το σύνολο των σημείων στο D που δεν ανήκουν σε κανένα cluster.

$$\text{Δηλαδή: } \text{θόρυβος} = \{p \in D \mid \forall i, p \notin C_i\}.$$

Παρατηρούμε εδώ πως ένα cluster C στο σύνολο D περιέχει τουλάχιστον $MinPts$ σημεία διότι: Μια και το C περιέχει τουλάχιστον ένα σημείο p , αυτό πρέπει αναγκαστικά να είναι συνδεδεμένο με τον εαυτό του μέσω ενός σημείου o (το οποίο δεν αποκλείεται να είναι ο εαυτός του). Έτσι, τουλάχιστον το o θα πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη των εσωτερικών σημείων και συνεπώς, η E_{ps} γειτονιά του o περιέχει τουλάχιστον $MinPts$ σημεία.

Τα παρακάτω λήμματα είναι χρήσιμα για να αξιολογηθεί η απόδοση του αλγόριθμου.

Λήμμα 1: Έστω p σημείο στο D και $|N_{Eps}(p)| \geq MinPts$. Τότε το σύνολο $O = \{o \mid o \in D \text{ και } o \text{ πυκνωτικά προσβάσιμο από το } p, \text{ σχετικά με } E_{ps} \text{ και } MinPts\}$ είναι ένα cluster σχετικά με E_{ps} και $MinPts$.

Δεν είναι ευθέως προφανές ότι ένα cluster C ορίζεται μοναδικά από οποιοδήποτε από τα εσωτερικά σημεία του. Όμως, κάθε σημείο στο C είναι πυκνωτικά προσβάσιμο από οποιοδήποτε από τα εσωτερικά σημεία του, άρα ένα cluster C περιέχει ακριβώς τα σημεία τα οποία είναι πυκνωτικά προσβάσιμα από ένα αυθαίρετο εσωτερικό σημείο του.

Λήμμα 2 : Έστω C ένα cluster σχετικά με E_{ps} και $MinPts$ και έστω p τυχαίο σημείο στο C με $|N_{Eps}(p)| \geq MinPts$. Τότε $C = O$ με $O = \{o \mid o \in D \text{ και } o \text{ πυκνωτικά προσβάσιμο από το } p, \text{ σχετικά με } E_{ps} \text{ και } MinPts\}$

Αφού περιγράψαμε το θεωρητικό υπόβαθρο του αλγόριθμού μας, DBSCAN, περνάμε στην υλοποίησή του. Ιδανικά, θα θέλαμε να έχουμε a priori την

πληροφορία για τις παραμέτρους E_{Ps} και $MinPts$, αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό. Στην περίπτωση όμως της εικόνας ενός ανθρώπινου προσώπου και δεδομένης της συμμετρικής και συγκεκριμένης γεωμετρίας του όσον αφορά τα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος, αλλά και όσον αφορά το δεδομένο πάντα μέγεθος της υπό επεξεργασία εικόνας, ήταν δυνατή η πειραματική εύρεση των παραμέτρων αυτών, δεδομένων των διαθέσιμων πόρων της Cohn-Kanade. Παρ'όλα αυτά όμως, παραθέτουμε και μια απλή και αποτελεσματική ευριστική λύση η οποία βρίσκει τις παραμέτρους αυτές για το «λεπτότερο» (λιγότερο πυκνό) cluster των δεδομένων υπό εξέταση. Ο ευριστικός αυτός τρόπος μας αποδίδει πολύ καλά αποτελέσματα μια και βρίσκει τις παραμέτρους E_{Ps} και $MinPts$ για τις οποίες περιγράφεται η μικρότερη δυνατή πυκνότητα που να διαχωρίζει θόρυβο από κανονικά clusters.

Για να βρούμε ένα cluster, ξεκινάμε με ένα τυχαίο σημείο p και βρίσκουμε όλα τα πυκνωτικά προσβάσιμα σημεία από αυτό σχετικά με E_{Ps} και $MinPts$. Αν το p είναι εσωτερικό σημείο, η διαδικασία παράγει ένα cluster (βλ. Λήμμα 2). Αν το p είναι οριακό σημείο, δεν υπάρχουν πυκνωτικά προσβάσιμα σημεία από το p και ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο σημείο. Μια και χρησιμοποιούμε σταθερές τιμές για τις παραμέτρους E_{Ps} και $MinPts$, ο αλγόριθμος μπορεί να ενώσει 2 cluster (βλ. Ορισμός 5) σε ένα, αν 2 cluster διαφορετικής πυκνότητας είναι «κοντά». Έστω λοιπόν η απόσταση μεταξύ 2 συνόλων σημείων S_1 και S_2 να είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ όλων των σημείων τους πάντα με την ευκλείδεια μετρική στην περίπτωση μας, δηλαδή :

$$d(S_1, S_2) = \min\{e_2(p, q) \mid p \in S_1, q \in S_2\}.$$

Τότε, 2 σύνολα σημείων που έχουν τουλάχιστον την πυκνότητα του «λεπτότερου» cluster θα διαχωρίζονται μεταξύ τους μόνο αν η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη

από την παράμετρο E_{ps} . Συνεπώς, μπορεί να χρειαστεί επανάκληση του DBSCAN για τα ανιχνευμένα clusters, με μεγαλύτερη αυτή τη φορά τιμή για τα MinPts. Αυτό όμως δεν αποτελεί μειονέκτημα καθότι η επαναληπτική εφαρμογή του αλγόριθμου μας δίνει εξαιρετικά αποτελέσματα. Επιπλέον η επαναλαμβανόμενη διαδικασία ανίχνευσης cluster από τα σημεία του είναι δεν είναι πάντα απαραίτητη.

Ακολούθως δίδεται σε ψευδοκώδικα η γενικευμένη έκδοση του DBSCAN που χρησιμοποιήθηκε εδώ, χωρίς λεπτομέρειες

```
DBSCAN(D, eps, MinPts) {
    C = 0
    for each point P in dataset D {
        if P is visited
            continue next point
        mark P as visited
        NeighborPts = regionQuery(P, eps)
        if sizeof(NeighborPts) < MinPts
            mark P as NOISE
        else {
            C = next cluster
            expandCluster(P, NeighborPts, C, eps, MinPts)
        }
    }
}

expandCluster(P, NeighborPts, C, eps, MinPts) {
    add P to cluster C
    for each point P' in NeighborPts {
        if P' is not visited {
            mark P' as visited
            NeighborPts' = regionQuery(P', eps)
            if sizeof(NeighborPts') >= MinPts
                NeighborPts = NeighborPts joined with
NeighborPts'
        }
        if P' is not yet member of any cluster
            add P' to cluster C
    }
}

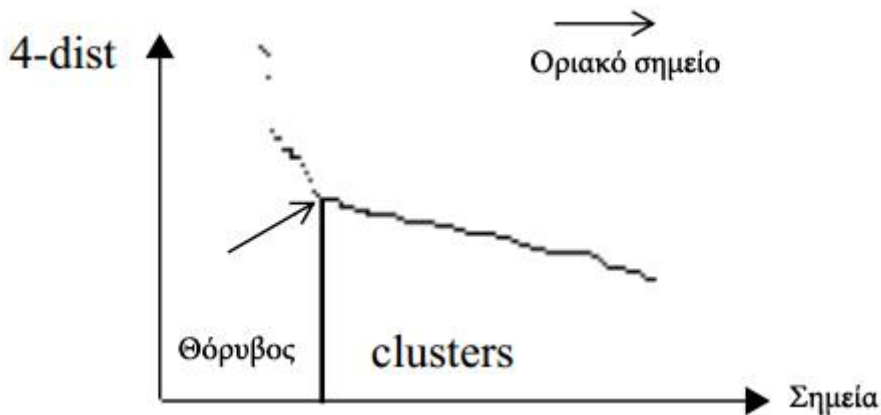
regionQuery(P, eps)
    return all points within P's eps-neighborhood (including
```

Στην περίπτωση που 2 clusters C_1 και C_2 είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο, μπορεί να τύχει ένα σημείο να ανήκει και στα 2. Τότε φυσικά το p είναι αναγκαστικά οριακό σημείο, αλλιώς τα 2 clusters θα ήταν ίσα, μια και χρησιμοποιούμε καθολικές μεταβλητές. Σε αυτή την περίπτωση, το p ανατίθεται στο cluster που ανακαλύπτεται πρώτο, χωρίς αυτό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα αποτελέσματά μας. Πέραν αυτών των σπάνιων περιπτώσεων ο αλγόριθμος αποδίδει αποτελέσματα ανεξάρτητα από τη σειρά με την οποία επισκεπτόμαστε τα σημεία, εξαιτίας του λήμματος 2.

Περνάμε τώρα στην περιγραφή του ευριστικού τρόπου για τον καθορισμό των παραμέτρων E_{Ps} και MinPts μέσω του «λεπτότερου» cluster. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εξής παρατήρηση:

Έστω l η απόσταση ενός σημείου p από τον k -οστό του κοντινότερο γείτονα. Τότε η l -γειτονιά του p περιέχει ακριβώς $k+1$ σημεία σχεδόν για κάθε p . Η l -γειτονιά του p περιέχει περισσότερα από $k+1$ σημεία μόνο αν αρκετά από τα γειτονικά του σημεία έχουν ακριβώς την ίδια απόσταση από το p , κάτι που συμβαίνει πολύ σπάνια. Επιπλέον, το να αλλάζουμε το k για ένα σημείο στο cluster, δεν καταλήγει σε μεγάλες αλλαγές της απόστασης d . Αυτό συμβαίνει μόνο αν ο k -οστός γείτονας του p , για $k=1,2,3,\dots$ βρίσκεται περίπου σε ευθεία γραμμή, πράγμα που επίσης δε συμβαίνει γενικά για σημεία σε clusters. Έτσι για ένα δεδομένο k ορίζουμε τη συνάρτηση $k\text{-dist} : D \rightarrow \mathbb{R}$, αντιστοιχώντας κάθε σημείο στην απόστασή του από τον k -οστό κοντινότερο γείτονα του. Όταν ιεραρχούμε τα σημεία της D σε φθίνουσα σειρά των αποστάσεων $k\text{-dist}$, η γραφική παράσταση της συνάρτησης μας δίνει στοιχεία σχετικά με την γενική κατανομή της πυκνότητας στα δεδομένα μας. Η γραφική αυτή παράσταση καλείται «ταξινομημένη γραφική παράσταση της $k\text{-dist}$ ». Αν διαλέξουμε ένα τυχαίο

σημείο p , θέσουμε την παράμετρο E_{Ps} ίση με την τιμή $k\text{-dist}(p)$ και την παράμετρο MinPts ίση με k , όλα τα σημεία με ίση ή μικρότερη τιμή της συνάρτησης $k\text{-dist}$ θα είναι εσωτερικά σημεία. Αν μπορούμε να βρούμε ένα οριακό σημείο, με τη μεγιστική τιμή της $k\text{-dist}$ στο «λεπτότερο» cluster του συνόλου D , τότε έχουμε βρει τις επιθυμητές παραμέτρους E_{Ps} και MinPts .



Εικόνα 45: Παράδειγμα γραφικής παράστασης ταξινόμησης για 4-dist σε ένα σύνολο D

Το οριακό σημείο είναι το πρώτο στην πρώτη «κοιλιάδα» της γραφικής παράστασης. Όλα τα σημεία με μεγαλύτερη τιμή της συνάρτησης $k\text{-dist}$ είναι θόρυβος, όλα τα σημεία με μικρότερη (δεξιά στην παράσταση) αντιστοιχούνται σε κάποιο cluster.

Επαναλαμβάνουμε ότι χρειαζόμαστε 2 παραμέτρους: Την E_{Ps} και τη MinPts .

Πειραματικά δείχτηκε [92] ότι για $k > 4$ οι γραφικές παραστάσεις της συνάρτησης $k\text{-dist}$ δε διαφέρουν ιδιαίτερα από αυτές για $k=4$ και επιπλέον απαιτούν υψηλότερους υπολογιστικούς πόρους. Έτσι, μια αρχική εκτίμηση της παραμέτρου MinPts είναι 4, και αυτή χρησιμοποιούμε αρχικά, ειδικότερα σε περιπτώσεις δισδιάστατων δεδομένων, όπως εδώ.

Για την παράμετρο E_{Ps} χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω μέθοδος:

Σχεδιάζουμε το γράφημα της 4-dist συνάρτησης για τα δεδομένα μας.

Αν μπορούμε να εκτιμήσουμε το ποσοστό θορύβου το κάνουμε και ο αλγόριθμος μας παρέχει μια εκτίμηση για το οριακό σημείο από αυτό.

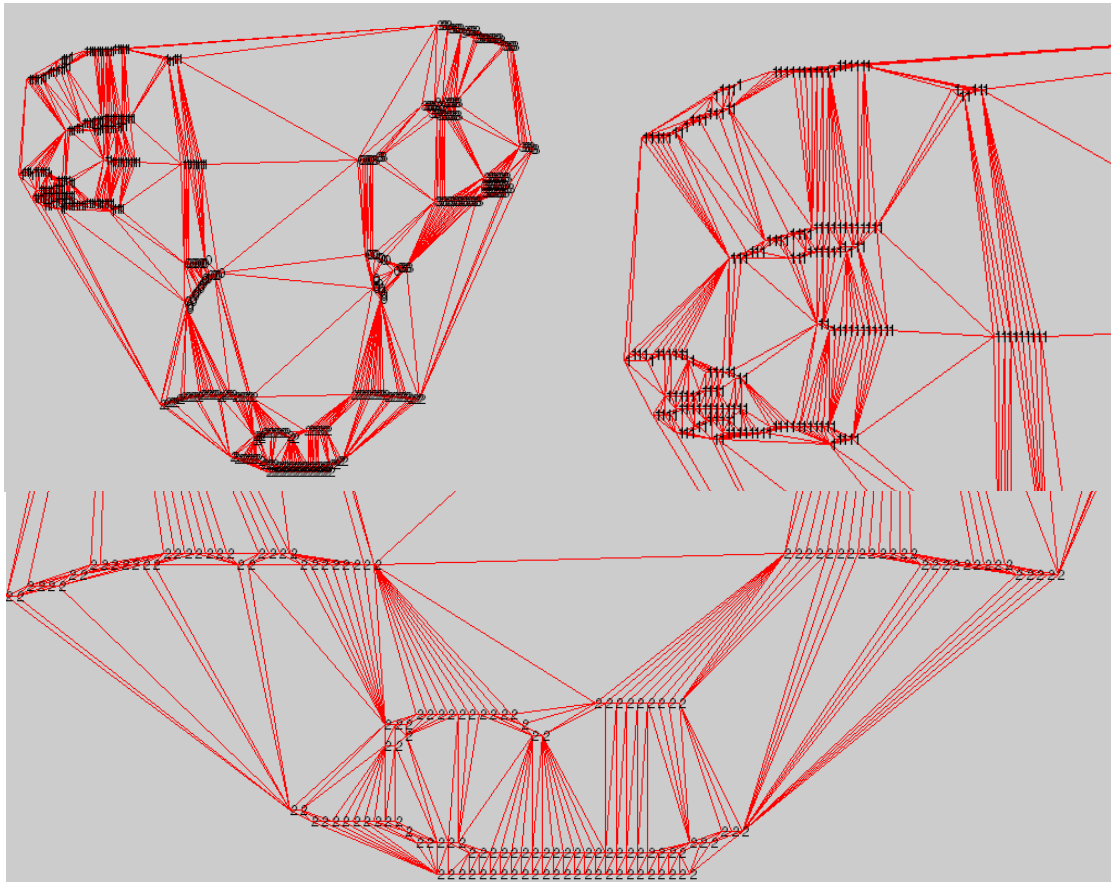
Ο χρήστης είτε το αποδέχεται είτε επιλέγει ένα άλλο σημείο ως οριακό σημείο. Η τιμή της συνάρτησης 4-dist για το σημείο αυτό, αντιστοιχεί στην παράμετρο E_{Ps} για τον αλγόριθμο DBSCAN.

Στην περίπτωση μας, και με βάση εικόνες προσώπων από τη βάση Cohn-Kanade οι τιμές που δείχτηκε ότι έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα, δεδομένης της γεωμετρίας του προσώπου και των αποστάσεων μεταξύ των περιοχών ενδιαφέροντος, δηλαδή των χαρακτηριστικών που εκφράζουν το συναίσθημα ήταν:

$E_{Ps} = 3$ και $MinPts = 10$

Στον αλγόριθμο τροφοδοτούμε ως είσοδο τις συντεταγμένες των κορυφών του τριγωνισμού Delaunay της εικόνας μας καθώς και τις ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ τους, οι οποίες είναι καταχωρημένες σε έναν πίνακα adjacency ως βάρη μεταξύ των κορυφών.

Ακολούθως, δείχνουμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής του DBSCAN σε εικόνες προσώπων, για το διαχωρισμό σε clusters περιοχών ενδιαφέροντος που θα χρησιμοποιηθούν ως διανύσματα εισόδου για την εκπαίδευση, αναγνώριση και κατηγοριοποίηση του συναισθήματος στην επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 46 : Αποτελέσματα αλγορίθμου DBSCAN για το διαχωρισμό περιοχών ενδιαφέροντος

6.4.2 Αναγνώριση και κατηγοριοποίηση

6.4.2.1 Γενικά

Αφού έχουν εξαχθεί οι περιοχές ενδιαφέροντος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της έκφρασης, προχωρούμε στην προσπάθεια κατηγοριοποίησης των δεδομένων μας, όσον αφορά το απεικονιζόμενο συναίσθημα. Μια και οι είσοδοί μας αποτελούνται από ακανόνιστα σχήματα, χρειαζόμαστε μια μη γραμμική μέθοδο κατηγοριοποίησης,

ώστε να έχουμε τη βέλτιστη δυνατή ακρίβεια. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε ένα back propagating νευρωνικό δίκτυο για κατηγοριοποίηση ακανόνιστων σχημάτων [93]. Το δίκτυό μας κατηγοριοποιεί τα σχήματά μας εξετάζοντας τις ιδιότητες της κυρτής θήκης τους⁵. Όμως μια και οι ρυτίδες που εμφανίζονται στο μέτωπο δεν αποτελούν κυρτά σύνολα⁶ αλλά παραμένουν σημαντικοί παράγοντες για την αναγνώριση, υποδεικνύουμε την ύπαρξή τους στα διανύσματα εισόδου με 1 για ναι και 0 για όχι. Το σχήμα των ματιών και του στόματος περιγράφεται από 20 σημαντικούς Fourier descriptors [94],[95] οι οποίοι δέχονται ως είσοδο τις βασικές συντεταγμένες των σχημάτων μας και δημιουργούν ένα «φάσμα σχήματος», ένα μικρότερο σύνολο σημείων από το αρχικό, το οποίο όμως περιγράφει πλήρως την αρχική περιοχή ώστε αυτή να μπορεί να ανακατασκευαστεί μετά αν χρειαστεί με την αντίστροφη διαδικασία. Στην περίπτωση μας έχουμε 7 διαφορετικές κλάσεις – χαρά, λύπη, φόβο, θυμό, αηδία, έκπληξη και ουδέτερη [39], έτσι για το output layer χρειαζόμαστε 7 κόμβους.

Για την πειραματική εφαρμογή της άνω μεθοδολογίας, χρησιμοποιήσαμε τη βάση Cohn-Kanade+[80], η οποία περιέχει 593 ακολουθίες από 123 διαφορετικούς ανθρώπους. Τα δείγματα διαχωρίστηκαν ανάλογα με τα συναισθήματα που απεικονίζονταν στα διάφορα πρόσωπα. Ο αριθμός των διαθέσιμων δειγμάτων φαίνεται στον Πίνακα 3:

⁵ Κυρτή θήκη ενός συνόλου σημείων X είναι το ελάχιστο κυρτό σύνολο που περιέχει τα σημεία αυτά.

⁶ Κυρτό σύνολο: Μια περιοχή σημείων για την οποία κάθε γραμμή που ενώνει 2 σημεία της, περιέχεται σε αυτήν

Συναίσθημα	Διαθέσιμα δείγματα
Χαρά	69
Λύπη	28
Φόβος	25
Θυμός	45
Αηδία	59
Έκπληξη	83
Ουδέτερο	123

Πίνακας 3 : Διαθέσιμα δείγματα εκφράσεων από τη βάση δεδομένων

6.4.2.2 Μορφοποίηση του προβλήματος

Έστω ότι έχουμε διαθέσιμο έναν αριθμό χαρακτηριστικών, εξαγμένων από την γεωμετρική ανάλυση του προσώπου, τα οποία αποθηκεύουμε σε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών f_i με το δείκτη i να αντιστοιχεί στον i -οστό άνθρωπο. Επίσης έστω ότι έχουμε p συναισθήματα να αναγνωρίσουμε από την προτεινόμενη ERI (Emotionally Rich) αρχιτεκτονική, έτσι ώστε κάθε f_i αντιστοιχείται σε μια από τις p κλάσεις/συναισθήματα. Τα 6 βασικά συναισθήματα που έχουμε ήδη περιγράψει και ορίσει αποτελούν κύρια σημεία αναφοράς και είναι τα λεγόμενα «αρχετυπικά συναισθήματα», ορισμό που αντανακλά το γεγονός ότι αποτελούν αδιαμφισβήτητες ενδείξεις συγκεκριμένης συναισθηματικής φόρτισης.

Ορίζουμε το $y(f_i)$ ως ένα p -διάστατο ($p=7$) διάνυσμα, τα στοιχεία του οποίου περιέχουν τους βαθμούς αντιστίχισης του f_i στην k -στή συναισθηματική κατάσταση, ανάμεσα στις p υπάρχουσες.

$$\mathbf{y}(\mathbf{f}_i) = [p_{e_1}^{(i)} p_{e_2}^{(i)} \Lambda p_{e_p}^{(i)}]^T \quad (1)$$

Έστω ακολούθως –για χάριν απλότητας– ότι έχουμε ένα πρόβλημα 2 κλάσεων ω_1 , ω_2 , (για παράδειγμα λύπη και χαρά). Η επέκταση για περισσότερες κλάσεις γίνεται ομοίως. Σε αυτή την περίπτωση η έξοδος του μοντέλου, $y(\mathbf{f}_i)$ είναι βαθμωτό μέγεθος, με τιμές κοντά στο 1 να υποδεικνύουν το πρώτο συναίσθημα και με τιμές κοντά στο 0 το δεύτερο. Γνωρίζουμε ότι κάθε συνεχής, μη-γραμμική συνάρτηση μπορεί να εκφραστεί ως παραμετρική σχέση άλλων συναρτήσεων $\Phi_l(\cdot)$, με μεγάλη ακρίβεια.

Τότε το **μοντέλο εξόδου** μας μπορεί να περιγραφεί ως :

$$y(\mathbf{f}_i) \approx \sum_{l=1}^L v_l \cdot \Phi_l \left(\sum_{k=1}^P w_{k,l} (f_{i,k}) \right) \quad (2)$$

Όπου $f_{i,k}$ είναι το k-οστό στοιχείο του διανύσματος χαρακτηριστικών $\mathbf{f}_i$, τα v_l και $w_{k,l}$ οι παράμετροι του μοντέλου και Q το μέγεθος του διανύσματος χαρακτηριστικών. Η μεταβλητή L αντιστοιχεί στην τάξη προσέγγισης του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η L , τόσο μεγαλώνει και η ακρίβεια προσέγγισης, αλλά εις βάρος της πολυπλοκότητας του μοντέλου μας. Το πιο κοινό σύνολο συναρτησιακών components είναι οι σιγμοειδείς συναρτήσεις

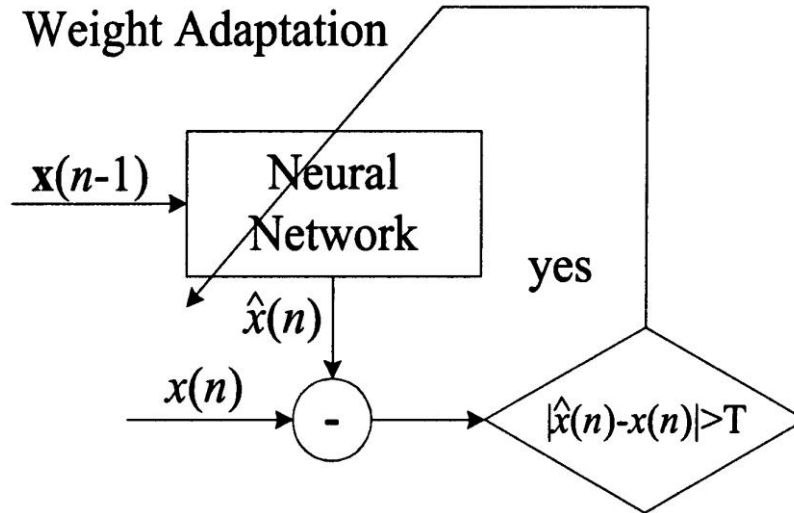
$$\Phi_l(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$

Οι παράμετροι του μοντέλου μας εκτιμούνται χρησιμοποιώντας ένα σετ από αντιπροσωπευτικά δείγματα και ακολούθως εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο εκπαίδευσης. Έστω $S = \{(\mathbf{f}_1, d_1), \Lambda, (\mathbf{f}_N, d_N)\}$ αυτό το σύνολο, με N το συνολικό αριθμό δειγμάτων και d_i το επιθυμητό διάνυσμα εξόδου για το i-οστό υποκείμενο. Οι τιμές του d_i είναι 1 για την πρώτη συναισθηματική κατάσταση και 0 για τη δεύτερη.

Έστω τέλος $\mathbf{w}$ ένα διάνυσμα που περιέχει όλες τις παραμέτρους v_l και w_{kl} της εξίσωσης (2), ώστε $\mathbf{w} = [\Lambda \ v_l \ \Lambda \ w_{kl} \ \Lambda]^T$.

6.4.2.3 Προσαρμοζόμενη ER(Emotionally Rich) Αρχιτεκτονική

Αν και η γενική έκφραση των αρχετυπικών συναισθημάτων είναι κοινή ανάμεσα στους ανθρώπους, πρέπει να λάβουμε υπόψη στο μοντέλο μας παράγοντες που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως «θόρυβος». Για την ακρίβεια μια και στοχεύουμε εφαρμογή σε Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης και άρα σε κοινό μεγαλύτερων συνήθως ηλικιών, ο ποιο σημαντικός παράγοντας εισαγωγής «θορύβου» στο δείγμα μας είναι η υπερβολική ύπαρξη ρυτίδων. Ταυτόχρονα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και μικρο-αλλαγές στις εκφράσεις του προσώπου, οφειλόμενες στις προσωπικές ιδιαιτερότητες του κάθε υποκειμένου μελέτης ή ακόμα και σε συν-νοσηρότητες (comorbidities) οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν το μυϊκό τόνο του προσώπου, ώστε να έχουμε παραμορφώσεις. Φυσικά σε περίπτωση ισχυρών παραμορφώσεων λόγω π.χ. σοβαρού εγκεφαλικού, ίσως καταστεί αδύνατη η αναγνώριση. Έτσι, η απευθείας εφαρμογή του μοντέλου (2) στο οποίο οι παράμετροί μας θεωρούνται σταθερές, θα υπολείπετο σε ακρίβεια μια και δε θα μπορούσε να προσαρμοστεί σε μικρές αλλαγές/θόρυβο. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, προσθέτουμε στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική έναν μηχανισμό προσαρμογής, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 47, ο οποίος επιτρέπει στο μοντέλο μας να λαμβάνει υπόψη μικρο-αλλαγές στην εισερχόμενη γεωμετρία



Εικόνα 47: Μηχανισμός προσαρμογής

Πιο αναλυτικά, ορίζουμε ένα σέτ παραμέτρων για κάθε συναισθηματική κατάσταση, έστω w_a , οι οποίες και ενημερώνουν συνεχώς την απόκριση της αρχιτεκτονικής μας ανάλογα με την είσοδο. Για να εφαρμόσουμε την προσαρμογή, δημιουργούμε ένα νέο σέτ αντιπροσωπευτικών δειγμάτων

$$S_c = \{(\mathbf{f}'_1, d'_1), \dots, (\mathbf{f}'_M, d'_M)\} \text{ , παρόμοιο με το σύνολο } S.$$

Οι νέες παράμετροι w_a εκτιμούνται ελαχιστοποιώντας το ακόλουθο κριτήριο σφάλματος

$$w_a = \arg \min_w E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (y_w(\mathbf{f}_i) - d_i)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N E_i \text{ , για κάθε στοιχείο του } S \text{ (4)}$$

Και

$$y_{w_a}(\mathbf{f}_i) = d'_i \quad i = 1, \dots, M \text{ , για κάθε στοιχείο του } S_c \text{ (5)}$$

Στις εξισώσεις 4 και 5 προσθέσαμε την εξάρτηση της εξόδου του μοντέλου $y_w(\mathbf{f}_i)$ από τις παραμέτρους w . Οι εξισώσεις αυτές δείχνουν ότι οι νέες παράμετροι εκτιμώνται έτσι ώστε

1. Τα τρέχοντα δεδομένα, όπως αυτά περιγράφονται από το σύνολο S_c περιγράφονται με βέλτιστο τρόπο

2. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελάχιστη υποβάθμιση της προηγούμενης «γνώσης»

6.4.2.4 Βέλτιστη Εκτίμηση των Παραμέτρων του Μοντέλου

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφουμε ένα καινοτόμο και αποδοτικό αλγόριθμο για την εκτίμηση των νέων παραμέτρων $\mathbf{w}_a$ του μοντέλου μας. Υποθέτουμε αρχικά ότι μια μικρή «διαταραχή» (perturbation) των παραμέτρων του μοντέλου μας πριν τη διαδικασία της προσαρμογής είναι αρκετή για να επιτύχουμε καλή απόδοση στην κατηγοριοποίησή μας.

Έστω $\mathbf{w}_a = \mathbf{w} + \Delta\mathbf{w}$ η διαταραχή αυτή, με $\Delta\mathbf{w}$ ένα επαυξητικό διάνυσμα (6)

Η υπόθεση αυτή μας οδηγεί σε μια αναλυτική και προσπελάσιμη (tractable) λύση για την εκτίμηση των $\mathbf{w}_a$ μια και επιτρέπει την «γραμμικοποίηση» των συναρτησιακών components των εξισώσεων 2,5, μέσω μιας συνήθους επέκτασης σειράς Taylor πρώτου βαθμού. Στο [96] αποδείχθηκε ότι η γραμμικοποίηση της (5) όσον αφορά τις επαυξήσεις των βαρών του δικτύου, είναι αντίστοιχη με ένα σύνολο γραμμικών εξισώσεων

$$\mathbf{c} = \mathbf{A} \cdot \Delta\mathbf{w} \quad (7)$$

Όπου το διάνυσμα $\mathbf{c}$ και ο πίνακας $\mathbf{A}$ εκφράζονται αντίστοιχα με τις προηγούμενες τιμές των παραμέτρων $\mathbf{w}$. Πιο συγκεκριμένα

$$\mathbf{c} = [\mathbf{y}_{\mathbf{w}_a}(\mathbf{f}_1) \Lambda \mathbf{y}_{\mathbf{w}_a}(\mathbf{f}_M)]^T - [\mathbf{y}_{\mathbf{w}}(\mathbf{f}_1) \Lambda \mathbf{y}_{\mathbf{w}}(\mathbf{f}_M)]^T \quad (8)$$

και δίνει τη διαφορά μεταξύ των εξόδων του μοντέλου πριν και μετά την προσαρμογή στα εισερχόμενα δεδομένα εισόδου $\mathbf{S}_c$. Το μέγεθος του διανύσματος $\mathbf{c}$ είναι μικρότερο από τον αριθμό των άγνωστων βαρών $\Delta\mathbf{w}$, μια και γενικά είναι πάντα διαθέσιμος ένας μικρός αριθμός τρεχόντων δεδομένων. Έτσι, υπάρχουν πολλές

λύσεις για τις εξισώσεις (7), μια και ο αριθμός των αγνώστων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των εξισώσεων. Η μοναδικότητα όμως επέρχεται από μια επιπλέον απαίτηση, η οποία λαμβάνει υπόψη την προηγούμενη γνώση του δικτύου: Ανάμεσα σε όλες τις πιθανές λύσεις που ικανοποιούν την (7), αυτή που εισάγει ελάχιστη αποδόμηση της προηγούμενης γνώσης του μοντέλου, επιλέγεται ως η πιο κατάλληλη. Αυτό εκφράζεται στην εξίσωση (4).

Σύμφωνα με το [96] η (4) παίρνει τη μορφή :

$$E = \frac{1}{2}(\Delta \mathbf{w})^T \cdot \mathbf{K}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \Delta \mathbf{w} \quad (9)$$

Όπου τα στοιχεία του πίνακα $\mathbf{K}$ εκφράζονται ως τα προηγούμενα βάρη του δικτύου και των δεδομένων στο σύνολο S . Έτσι το πρόβλημα καταλήγει στην απαίτηση ελαχιστοποίησης της (9) με τους περιορισμούς της (7) :

$$\text{Ελαχιστοποίησε } E = \frac{1}{2}(\Delta \mathbf{w})^T \cdot \mathbf{K}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \Delta \mathbf{w} \quad (10)$$

$$\text{Υπό τον όρο } \mathbf{c} = \mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{w} \quad (11)$$

Η συνάρτηση σφάλματος που ορίζεται από τη (10) είναι κυρτή, μια και είναι τετραγωνική μορφή, ενώ οι περιορισμοί της (11) είναι γραμμικές ισότητες. Άρα, η λύση μας βρίσκεται στην υπερ-επιφάνεια που ορίζεται από την (11) και ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί τη (10). Για την επίλυση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος gradient projection [97], σύμφωνα με την οποία ξεκινούμε από ένα **εφικτό (feasible)** σημείο και προχωρούμε προς κατεύθυνση η οποία ταυτόχρονα μειώνει το σφάλμα E και ικανοποιεί τους περιορισμούς μας. Ένα σημείο καλείται «εφικτό» αν ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς.

Τα βάρη μας λοιπόν προσαρμόζονται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$\Delta \mathbf{w}(n+1) = \Delta \mathbf{w}(n) + \mu(n)\mathbf{h}(n) \quad (12)$$

Όπου n ο δείκτης της επανάληψης στον οποίο βρισκόμαστε και $\mu(n)$ ένα βαθμωτό μέγεθος που καθορίζει το ρυθμό σύγκλισης. Το διάνυσμα $\mathbf{h}(n)$ εκτιμάται μέσω της

$$\mathbf{h}(n) = -\mathbf{P}\nabla E = -\mathbf{Q}\Delta\mathbf{w} \quad (13)$$

$$\text{με } \mathbf{P} = \mathbf{I} - \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A} \quad \text{και} \quad \mathbf{Q} = \mathbf{P} \mathbf{K}^T \mathbf{K} \quad (14)$$

χρησιμοποιώντας την ∇E που από τη (13). Η υπολογιστική πολυπλοκότητα που χρειάζεται για να ενημερώσουμε ξεχωριστά κάθε βάρος στο δίκτυό μας είναι αναλογική με τον αριθμό των βαρών.

6.4.2.5 Υπολογιστική Πολυπλοκότητα

Η υπολογιστική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου προσαρμογής, αντίθετα με τις εν γένει κοστοβόρες περιόδους εκπαίδευσης για τις αρχικές παραμέτρους, είναι πολύ μικρή. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία προσαρμογής χωρίζεται σε 2 φάσεις: Την αρχικοποίηση, που εκτιμάται ο πίνακας $\mathbf{Q}$ που προβάλλει την αρνητική κλίση της συνάρτησης E πάνω στην επιφάνεια που ορίζεται από τις εξισώσεις (11) και την επαναληπτική φάση όπου οι ενημερώνονται οι μεταβολές των βαρών. Η επαναληπτική φάση συμπεριλαμβάνει έναν απλό πολλαπλασιασμό του πίνακα $\mathbf{Q}$, μεγέθους $N_w \times N_w$ με το διάνυσμα $\Delta\mathbf{w}$ μεγέθους $N_w \times 1$, όπου N_w ο αριθμός των παραμέτρων του μοντέλου. Για μια τυπική τιμή του N_w ίση με 500, το γινόμενο $\mathbf{Q} \cdot \Delta\mathbf{w}(n)$ στην (13) εκτελείται σε λίγα msec (core i7 pc). Ο αριθμός των επαναλήψεων n που η μέθοδος gradient projection απαιτεί για να βρει τη βέλτιστη λύση είναι εν γένει μικρός (8-12 επαναλήψεις είναι αρκετές για να βρούμε ένα προσεγγιστικά βέλτιστο increment βάρους). Έτσι, το υπολογιστικό κόστος της επαναληπτικής φάσης είναι <0.5 sec.

Στη φάση αρχικοποίησης, ο πίνακας $\mathbf{Q}$ εκτιμάται σαν το γινόμενο του πίνακα $\mathbf{P}$ και των $\mathbf{K}^T \cdot \mathbf{K}$. Το κύριο υπολογιστικό φορτίο του $\mathbf{P}$ είναι ο υπολογισμός του

αντιστρόφου $(\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T)^{-1}$. Όμως, το μέγεθος του $\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T$ είναι ίσο με τον αριθμό των περιορισμών, που είναι συνήθως πολύ μικρός μια και αναφέρεται σε αριθμό «αντιπροσωπευτικών» δειγμάτων του τρέχοντος περιβάλλοντος. Συνεπώς, η υπολογιστική πολυπλοκότητα για τον πίνακα $(\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T)^{-1}$ είναι της τάξης των λίγων msec.

Τέλος ο υπολογισμός του $\mathbf{P} \cdot \mathbf{K}^T \cdot \mathbf{K}$ απαιτεί ελάχιστα δευτερόλεπτα για ένα τυπικό δίκτυο μεγέθους ~500 βαρών. Έτσι το συνολικό κόστος της επανεκπαίδευσης του δικτύου είναι μικρό, επιτρέποντάς μας την χρήση της αρχιτεκτονικής αυτής σε πραγματικά συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης.

6.4.2.6 Αποτελέσματα

Μετά την κατηγοριοποίησή τους, τα αποτελέσματα της διαδικασίας μπορούν να αποθηκευτούν σε xml αρχείο όπως φαίνεται στην Εικόνα 48

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<PatientStatus PatientId="123456"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="PatientStatus.xsd">
  <PatientId>123456</PatientId>

  <TimeStamp>2015-05-30T09:30:10.5</TimeStamp>

  <Detected>
    <emotion>sadness</emotion>
    <attribute>negative</attribute>
  </Detected>
</PatientStatus>
```

Εικόνα 48: Παράδειγμα αναφοράς αναγνώρισης

Πίνακας 4 : Πίνακας αποτελεσμάτων αναγνώρισης

Εκτιμώμενο Συναίσθημα									
Πραγματικό Συναίσθημα		Χαρά	Λύπη	Φόβος	Θυμός	Έκπληξη	Αηδία	Ουδέτερο	Σύνολο Δειγμάτων
	Χαρά	66	0	0	0	3	0	0	69
	Λύπη	0	72	0	1	1	3	0	78
	Φόβος	0	2	15	6	2	0	0	25
	Θυμός	0	2	6	26	0	11	0	45
	Έκπληξη	4	0	9	0	48	2	0	63
	Αηδία	0	5	10	6	4	28	6	59
	Ουδέτερο	0	0	9	18	3	12	81	123
	Ποσοστό Επιτυχίας	95.6%	92,3%	60%	57%	76,1%	47,45%	65,85%	

Για την αξιολόγηση της κατηγοριοποίησης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος «ten-fold cross validation». Τα διαθέσιμα δεδομένα χωρίστηκαν σε 10 μη αλληλεπικαλυπτόμενα σύνολα, από τα οποία τα 9 χρησιμοποιήθηκαν για εκπαίδευση και το ένα για την αξιολόγηση.

Η ακρίβεια του μοντέλου κατηγοριοποίησης κυμαίνεται από ~47,45% μέχρι 95,6%. Τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας παρουσιάστηκαν στην αναγνώριση της αηδίας και του θυμού, μια και τα χαρακτηριστικά του προσώπου εκεί διαφέρουν ελάχιστα, ενώ τα υψηλότερα αντίστοιχα ποσοστά επιτυχίας επετεύχθησαν στη χαρά, τη λύπη και την έκπληξη όπου οι εκφράσεις είναι πιο ξεκάθαρες και σαφείς, με το στόμα να καθορίζει ουσιαστικά την κατηγοριοποίηση.

6.5 Συμπεράσματα

Η υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για να είναι ευέλικτη και επεκτάσιμη, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. Διαθέτοντας τη δυνατότητα εξόδου αποτελεσμάτων σε xml μορφή, μπορούμε να κάνουμε χρήση των δεδομένων αυτών, ως μέρος ενός συστήματος τηλεϊατρικής, στο οποίο οι θεράποντες γιατροί καθώς και οι οικείοι των χρηστών θα μπορούν να ειδοποιούνται για πιθανές αρνητικές επιπλοκές στην ψυχολογική κατάσταση των χρηστών, μέσα από ένα εξατομικευμένο σύστημα προειδοποίησης βασισμένο σε μηχανή κανόνων, όπως παρουσιάστηκε στο [50].

Τα αποτελέσματα της συνολικής μεθοδολογίας είναι υποσχόμενα και προβαίνουν χρήσιμα, στο προαναφερθέν πλαίσιο και σε επόμενες υλοποιήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμήσουν –ακόμα και να προβλέψουν- τη συνολική υγεία των παρακολουθούμενων χρηστών που πάσχουν από νευροεκφυλιστικές νόσους. Για παράδειγμα, συμπτώματα κατάθλιψης είναι ευρέως παρόντα σε ασθενείς στην αρχή του MCI και επιπλέον συμβάλλουν στην περεταίρω αλλοίωση των πνευματικών και γνωστικών λειτουργιών τους [54,57]. Έτσι είναι κρίσιμο για τον επιβλέποντα γιατρό να μπορεί να παρακολουθεί από μακριά όχι μόνο την σωματική αλλά και την πνευματική κατάσταση των ασθενών του. Οι προτεινόμενοι καινοτόμοι μηχανισμοί σε αυτή τη διδακτορική διατριβή, αποτελούν ένα σαφές βήμα προόδου σε τηλεϊατρικά Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, στοχευμένα σε άτομα με MCI (Mild Cognitive Impairment) . Αν και υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα (όπως η ευαισθησία στο υπερβολικό φως ή στη γωνία λήψης) , αυτά δεν αποτελούν τροχοπέδη στη λειτουργία των μηχανισμών, αλλά απλά αφετηρία και εφαλτήριο βελτίωσής τους. Σε κάθε περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον εφαρμογής των μηχανισμών αυτών - π.χ. ένας χρήστης καθισμένος σε μια καρέκλα στο σαλόνι

του που παρακολουθεί τηλεόραση, φωτισμένος από φυσικό οικιακό φωτισμό και κοιτώντας κατά μέσο όρο αρκετές ώρες προς ένα συγκεκριμένο σημείο- μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε μεγάλο ποσοστό εφαρμογής, τα μειονεκτήματα αυτά δε θα εισάγουν σημαντικά λάθη σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα εφαρμογής. Για αυτό το ενδεχόμενο όμως, η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί εύκολα να εισαχθεί στην αρχιτεκτονική ενός βιομετρικού συστήματος για εφαρμογές Υποβοηθούμενης Διαβίωσης το οποίο έχει metadata-awareness όπως αυτό που προτάθηκε στη δημοσίευσή μας [78].

7

Σύνοψη Κυριότερων Συνεισφορών –

Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα

7.1 Σύνοψη Διατριβής Και Κυριότερων Συνεισφορών

Η παρούσα διατριβή αφορούσε στην παρουσίαση καινοτόμων μηχανισμών οι οποίοι στοχεύουν στην ενσωμάτωση μεθοδολογιών και πρακτικών συμπεριφορικής βιομετρικής σε Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης.

Αναγνωρίζοντας την σημαντικότητα της δημογραφικής αλλαγής και των συνεπειών της στην ποιότητα ζωής των πολιτών και οδηγούμενη από την πρόδηλη ανάγκη για νέες τεχνολογίες και ιδέες που θα επιτρέπουν στους ηλικιωμένους να ζουν ανεξάρτητα και με ασφάλεια το περισσότερο δυνατόν, η έρευνα επικεντρώθηκε στην ισχυροποίηση των Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης για οικιακά περιβάλλοντα. Σε αυτό το πλαίσιο έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα και υπηρεσίες, υπολογιστικά μοντέλα, μικρο- και νανο-αισθητήρες κλπ. Όμως για την ιδιάζουσα περίπτωση των γηραιότερων ανθρώπων που υποφέρουν από νευροεκφυλιστικές νόσους –μαζί με την αντίστοιχη μεταφορά του άχθους αυτού στους οικείους τους, ήταν σημαντικό να προταθούν μεθοδολογίες όχι μόνο για το υποκείμενο/ασθενή, αλλά και για τους οικείους του. Στο άνωθεν πλαίσιο, η κεντρική

ιδέα της έρευνας ήταν η πρόταση τεχνολογιών και μεθοδολογιών που θα διευκολύνουν και βελτιώνουν την εκ του μακρόθεν εκτίμηση της κατάστασης υγείας των ασθενών από Alzheimer ή MCI, επιτρέποντας και εκτίμηση των σωματικών παραμέτρων αλλά και των ιδιαίτερα σημαντικών, ψυχολογικών. Έτσι η παρούσα διατριβή κινήθηκε γύρω από 3 βασικούς πυλώνες:

A. Υλοποιήθηκε ένα σύστημα επεξεργασίας δεδομένων και παραγωγής προειδοποιήσεων κινδύνου, βασισμένο σε επαναπροσδιορίσιμους και προσωποποιήσιμους κανόνες, στο πλαίσιο ενός πλήρους συστήματος τηλεϊατρικής για την παρακολούθηση ασθενών που πάσχουν από Alzheimer αλλά και των οικείων τους [5]–[7].

B. Προτάθηκαν καινοτόμες αρχιτεκτονικών που συνδυάζουν συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης και βιομετρικά συστήματα και έγιναν πειράματα με μια μεθοδολογία αναγνώρισης συναισθήματος από εικόνες προσώπου. Οι αρχιτεκτονικές αυτές αποτελούν επέκταση της υπάρχουσας γενικής αρχιτεκτονικής και στοχεύουν στην πιο αποτελεσματική και έξυπνη εκμετάλλευση του πληροφοριακού πλούτου των συμπεριφορικών βιομετρικών χαρακτηριστικών των χρηστών και τέλος, συνδυάζοντας έρευνες στον τομέα της ανθρωπολογίας και της συμπεριφορικής ψυχολογίας με μεθοδολογίες επεξεργασίας εικόνας και νευρωνικών δικτύων, προτάθηκε μια διαδικασία αναγνώρισης συναισθήματος από εικόνες προσώπου, στοχευμένη για χρήση σε συνδυασμό με Συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. Η μεθοδολογία αυτή, έχει δείξει θετικά αποτελέσματα και αποτελεί καινοτόμα εφαρμογή στον τομέα[77, 78, 98, 111].

7.2 *Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα – Μελλοντική Εργασία*

Πέραν των θεμάτων απόδοσης των Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης με μηχανισμούς συμπεριφορικής βιομετρικής όπως είναι η πιθανή αποτυχία να αποκτηθούν δεδομένα καθώς και να εξαχθούν εξ αυτών βιομετρικά χαρακτηριστικά καθώς και τα ανάλογα σφάλματα, οι βιομετρικές τεχνολογίες σε συνδυασμό με εφαρμογές τηλεϊατρικής αντιμετωπίζουν πληθώρα προκλήσεων σε επίπεδο λειτουργίας, απόδοσης και αποτελεσματικότητας, οι οποίες και αναλύονται ακολούθως:

Τα βιομετρικά συστήματα και τα συστήματα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης εγκολπώνουν πληθώρα τεχνολογιών, από μεθόδους απόκτησης συμπεριφορικών βιομετρικών δεδομένων όπως το βάδισμα, η έκφραση, η φωνή κ.λπ. και μεθόδους επεξεργασίας αυτών, μέχρι τη διασύνδεση των τεχνολογιών αυτών, και από την αποθήκευση και μετάδοση μέσω διαδικτύου μέχρι την ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Με άλλα λόγια συνιστούν ένα ερευνητικό πεδίο το οποίο απαιτεί την ενεργό και αγωγική *συνεργασία διαφορετικών πεδίων*, όπως είναι η επιστήμη υπολογιστών, οι τεχνολογίες αισθητήρων, η ιατρική, οι κοινωνικές επιστήμες και η νομική, υπό ένα ευρύ πρίσμα τεχνολογικής καινοτομίας σε συνδυασμό με την απαραίτητη δεοντολογία και ηθική.

Μια σημαντική απαίτηση ενός βιομετρικού συστήματος Υποβοηθούμενης Διαβίωσης υλοποιημένου σε μεγάλη κλίμακα είναι και η *ανταλλαγή δεδομένων*. Τα περισσότερα υπάρχοντα συστήματα τηλεϊατρικής είναι μικρής κλίμακας και υπολείπονται συνεργασίας μεταξύ τους, αφορώντας συνήθως ένα συγκεκριμένο οργανισμό/υπηρεσία. Ένα άλλο εμπόδιο είναι η χαοτική διαφορά αρχιτεκτονικών και προτύπων μεταξύ συστημάτων που υποστηρίζουν τα ίδια ή παρόμοια σενάρια εφαρμογής, ενώ διαφαίνεται και από μεριάς χρηστών συχνά μια απροθυμία χρήσης

τους. Μια ζωτική παράμετρος για την εξέλιξη λοιπόν αυτών των συστημάτων, σχετικά με την αποτελεσματικότητά τους είναι και η εύρεση ενός συνεπούς και συναφούς μοντέλου συνεργασίας μεταξύ ετερογενών συστημάτων, παράλληλα υλοποιώντας τις προαπαιτούμενες συνθήκες ασφάλειας και ιδιωτικότητας.

Το κόστος της εγκατάστασης Συστημάτων Υποβοηθούμενης Διαβίωσης μειώνεται. Όμως, η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής και αποδοτικής λύσης θέτει υψηλές απαιτήσεις στις υποδομές για επεκτασιμότητα, αξιοπιστία, απόδοση, ασφάλεια ειδικά στην περίπτωση συστημάτων μεγάλης κλίμακας και/ή πραγματικού χρόνου οδηγώντας σε σημαντικός κόστος και πολύπλοκες ή αδύναμες λύσεις. Δεδομένης της ευαισθησίας των δεδομένων και του επιπέδου κινδύνου από την έκθεση αυτών, απαιτούνται προηγμένες τεχνικές διαχείρισης συμφωνιών διασφάλισης επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreements – SLAs) και διαχείρισης δεδομένων.

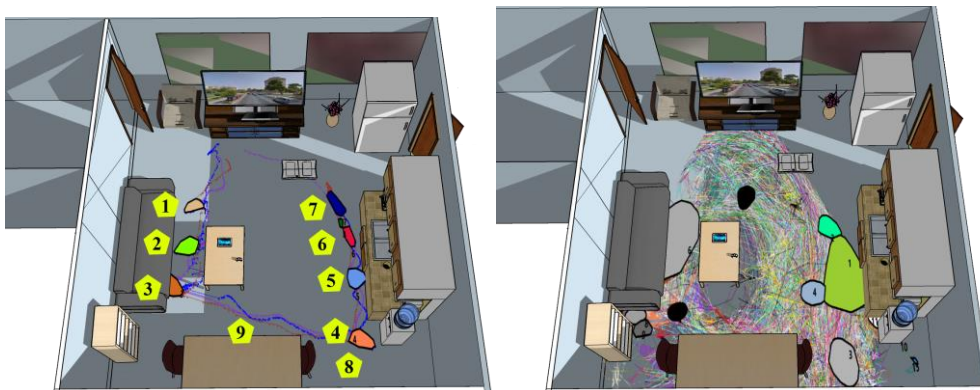
Λαμβάνοντας υπόψιν αντίστοιχα ότι ένα βιομετρικό σύστημα στοχευμένο σε εφαρμογές υποβοηθούμενης διαβίωσης, και απαρτιζόμενο από πληθώρα αισθητήρων και υποσυστημάτων έχει υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις – ειδικά στην περίπτωση λειτουργίας αυτού σε πραγματικό χρόνο– αλλά και λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τους χρόνους «αργίας» των πόρων του συστήματος (οι οποίοι είναι άμεσα εξαρτώμενοι από την εφαρμογή του συστήματος) όσο και το συνοδευόμενο κόστος (τόσο του εξοπλισμού όσο και της συνεχούς δέσμευσης των πόρων αυτού), προσφάτως ξεκίνησαν προσπάθειες για την ανάπτυξη του *Βιομετρικού Πλέγματος (Biometrics Grid)*[99], το οποίο αποτελεί ένα εξειδικευμένο σύστημα βασισμένο σε μεσισμικό πλέγματος (grid middleware) για βιομετρικές εφαρμογές. Κύριος στόχος του Βιομετρικού Πλέγματος είναι να κάνει δυνατή τη συνεργασία συστημάτων, να παρέχει δυνατότητες ανταλλαγής δεδομένων και να αυξήσει την αποδοτικότητα των συστημάτων αυτών.

Στην εργασία τους οι Ming και Ma [99] προτείνουν τη χρήση των τεχνολογιών πλέγματος προκειμένου να κατανεμηθούν τα υπολογιστικά βήματα ενώ παράλληλα ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για Ποιότητα Υπηρεσίας. Έτσι, στο σύστημα τους, το BMG (Biometrics Grid), τοποθετούν βιομετρικά Web services. Θεωρούν ένα σύνολο από M εφαρμογές $A = \{a_1, a_2, \dots, a_M\}$ και ένα σύνολο από K υπολογιστικούς κόμβους $C = \{c_1, c_2, \dots, c_K\}$, ενώ το δικτυακό εύρος της σύνδεσης για κάθε υπολογιστικό κόμβο c_j στο C είναι B_j (σε bits/sec – bps) και σε κάθε κόμβο μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερες από μια εφαρμογές με τον περιορισμό όμως ότι μια δεδομένη εφαρμογή τρέχει αποκλειστικά σε έναν υπολογιστικό κόμβο.

Από την σκοπιά των AAL εφαρμογών, ένας από τους μελλοντικούς στόχους της έρευνάς μας θα αποτελέσει η συνδυαστική μελέτη περεταίρω παραμέτρων σχετιζόμενες με τους πόρους όπως είναι η μνήμη, η επεξεργαστική ισχύς καθώς και το κόστος όσον αφορά στις ιδιαίτερες ανάγκες των βιομετρικών συστημάτων.

Επιπροσθέτως σκοπεύουμε να ενσωματώσουμε και να βελτιώσουμε μέλλουσες υλοποιήσεις των προτεινόμενων μηχανισμών σε υπάρχοντα ή υπό ανάπτυξη συστήματα παρακολούθησης ασθενών με Alzheimer όπως στα [56],[67],[100] ενισχύοντας τις υπάρχουσες δομές με βελτιωμένες εκδόσεις:

Οι μέλλουσες υλοποιήσεις των προτεινόμενων μηχανισμών στοχεύουν στο να συμπεριλάβουν εκτιμήσεις πραγματικού χρόνου βασιζόμενες σε Constrained Local Models [101],[102] και deep learning δίκτυα[103]–[105], καθώς και σε πολυπαραγοντική εξαγωγή χαρακτηριστικών για βελτιστοποιημένη κατηγοριοποίηση, όπως ο βηματισμός και η φωνή. [103],[105],[106], σε συνδυασμό με μεθοδολογίες εκτίμησης γνωστικής κατάστασης βασισμένες σε exergames [26] και δημιουργίας Open Data δεδομένων από εξειδικευμένα ecologically valid Living Labs που τώρα δημιουργούνται στη χώρα μας[107],[108].



Εικόνα 49 : Χρήση του DBSCAN για ανάλυση συμπεριφοράς κίνησης εντός living lab

Ήδη η παρούσα έρευνα έχει εξελιχθεί και συνεχίζει να εξελίσσεται, μεταφερόμενη από το στάδιο της εφαρμογής σε ιδανικές συνθήκες σε συνθήκες “in the wild”. Πιο συγκεκριμένα έχει υλοποιηθεί και χρησιμοποιηθεί σε 2 δημοσιεύσεις αλγόριθμος που εκμεταλλεύεται το Density Based Clustering για ανάλυση της συμπεριφοράς χρηστών συστημάτων AAL όσον αφορά το πως κινούνται εντός της οικίας τους [109],[110](Εικόνα 49) καθώς και κατατέθηκε προσφάτως άρθρο στο οποίο εξετάζουμε αποτελέσματα και περιορισμούς της εφαρμογής αλγορίθμων αναγνώρισης συναισθήματος σε χρήστες που εκτελούν κανονικές δραστηριότητες σε πραγματικά περιβάλλοντα, ώστε να προχωρήσουμε αφ’ ενός σε βελτιστοποίηση της χρησιμοποιούμενης μεθόδου, αφ’ ενός να την συνδυάσουμε με άλλα modalities (στάση, ταχύτητα, ισορροπία, κινησιολογία) [111] (Εικόνα 50).



Εικόνα 50: Ο χρήστης στο χώρο του Living Lab, παρακολουθείται από Kinect. Προσπάθεια καταγραφής περιορισμών για την αναγνώριση του συναισθήματος στο πρόσωπο.

Γλωσσάριο

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι όροι που χρησιμοποιήθηκαν στη Διατριβή:

API	Application Programming Interface
BEM	Biometric Evaluation Methodology
BIR	Biometric Identification Record
BLR	Biometric Live Record
BMG	Biometrics Grid
CER	Crossover Error Rate
DNA	Deoxyribonucleic acid
EER	Equal Error Rate
EM	Expectation Maximization
EPIC	Electronic Privacy Information Centre
EPSRC	Engineering and Physical Sciences Research Council
FAR	False Acceptance Rate
FER	Failure to Enrol Rate
FERET	Facial Recognition Technology
FIDIS	Future of Identity in the Information Society
FMR	False Match Rate
FN	False Negative
FNMR	False Non-Match Rate
FRR	False Rejection Rate
FP	False Positive
GAR	Genuine Accept Rate
GMM	Gaussian Mixture Model
HMM	Hidden Markov Models
ISECOM	Institute for Security and Open Methodologies
ML	Maximum Likelihood
MRTDs	Machine Readable Travel Documents
OAE	Optoacoustic Emission
QoS	Quality of Service

ROC	Receiver Operating Characteristic
SLA	Service Level Agreement
SVM	Support Vector Machines
TN	True Negative
TP	True Positive
URL	Unified Resource Locator
VNTR	Variable Number of Tandem Repeats
XM2VTSDB	Extended Multimodal Verification for Teleservices and Security applications Database
Σ.Υ.Δ	Σύστημα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

8

Βιβλιογραφία

1. Jain AK, Ross A, Prabhakar S, IEEE. An introduction to biometric recognition. *Circuits Syst Video Technol IEEE Trans.* 2004;14(1):4-20.
2. Dantcheva A, Velardo C, Angelo A, Dugelay J. D' & L. (October . Bag of Soft Biometrics for Person Identification: new trends and challenges. *Multimed Tools Appl* 51 Vol. 2010;2 SRC - G:739-777.
3. EPSRC. Otoacoustic Emission Based Biometric Systems. 2009. <http://gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/E015522/1>.
4. Yampolskiy R V, Govindaraju V. Behavioural biometrics: a survey and classification. *Int J Biom.* 2008;1(1):81-113.
5. Xeferis S, Baboshin A, Tserpes K, et al. Enabling risk assessment and analysis by event detection in dementia patients using a reconfigurable rule set. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments.* ; 2011:47.
6. Haritou M, Glickman Y, Androulidakis A, et al. A Technology Platform for a Novel Home Care Delivery Service to Patients with Dementia. *J Med Imaging Heal Informatics.* 2012;2(1):49-55. doi:10.1166/jmihi.2012.1060.
7. Xeferis S, Haritou M, Tserpes K, et al. Analysis of requirements and specifications for a monitoring system to support the self-management of dementia patients at home. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '10.* New York, New York, USA: ACM Press; 2010:1. doi:10.1145/1839294.1839356.
8. Ahmed A, Traore I, Sixth SMC, Annual I. Anomaly intrusion detection based on biometrics. In: *Information Assurance Workshop, 2005. IAW'05. Proceedings from the Sixth Annual IEEE SMC.* ; 2005:452-453.
9. Backhouse HM. Descriptive analysis and inventory of profiling practices. 2005.
10. Faden AI. Neuropeptides and central nervous system injury. Clinical implications. *Arch Neurol.* 1986;43(5):501-504. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&DbFrom=pubmed&Cmd=Link&LinkName=pubmed_pubmed&LinkReadableName=RelatedArticles&IdsFromResult=2870700&ordinalpos=3&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum.

11. Joseph J, Fins MP. Too Much Information: Informed Consent in Cultural Context. 2011. <http://www.webcitation.org/6bXLlKiFZ>.
12. Beauchamp T, Childress F. *Principles of Biomedical Ethics*. 7th ed. Oxford University Press; 2012.
13. List JA. Informed Consent in Social Science. *Sci* 672. 2008;322(5902):672.
14. The Nuremberg Code. The Nuremberg Code. 1947. <http://www.webcitation.org/6bXL9wwM7>.
15. Manson NC, O'Neill O. *Rethinking Informed Consent in Bioethics*. Cambridge University Press; 2007.
16. Appelbaum PS, Lidz CW, Meisel A. Informed consent: legal theory and clinical practice. 1987.
17. WMA. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bull World Health Organ*. 2001;79(4):373.
18. CIOMS. International ethical guidelines for biomedical research involving human subjects. *Bull Med Ethics*. 2002;(182):17.
19. Wang Y, Kobsa A, Gupta M, Sharman R. Privacy-enhancing technologies. *Handb Res Soc Organ Liabilities Inf Secur*. 2008:203-227.
20. Goldberg I, Wagner D, Brewer E. *Privacy-Enhancing Technologies for the Internet*; 1997.
21. Andronikou V, Demetis D, Varvarigou T. Biometric Implementations and the Implications for Security and Privacy. *J Futur Identity Inf Soc*. 2005;1(1):20-35.
22. Zagler WL, Panek P, Rauhala M. *Ambient Assisted Living Systems-The Conflicts between Technology, Acceptance, Ethics and Privacy*. Internat. Begegnungs-und Forschungszentrum für Informatik; 2008.
23. ISO,ISO IS 15408. *ISOORG*. 1999. <http://www.webcitation.org/6bXKPbaxN>.
24. Pfizmann HM, Porter T. *Anonymity, Unobservability, Pseudonymity, and Identity Management-for Terminology*,. Karl Pearson: *The Scientific Life in the Statistical Age*; 2006.
25. Claessens J. "Applications Requirements for Controlled Anonymity." 2003.
26. Konstantinidis EI, Bamidis PD, Billis AS, Kartsidis P, Papageorgiou SG. Physical training in-game metrics for cognitive assessment: evidence from extended trials with the FitForAll exergame platform. *PLoS One*. 2015.
27. Janeen Renaghan. *August Etched Stone Smithsonian 24 January Dermatoglyphics Hand Anal Int Inst Hand Anal*. 2005.
28. January . "Dermatoglyphics," Hand Analysis,. International Institute of Hand Analysis. 2005.
29. Mayhew S. History of Biometrics. 2012. <http://www.webcitation.org/6bXKIvNCt>.
30. Piazza P. Criminocorpus: Alphonse Bertillon and the Identification of Persons (1880-1914). 2014. <http://www.webcitation.org/6bXMMP9YU>.
31. Sodhi G, Kaur J. The forgotten Indian pioneers of fingerprint science. *Curr Sci*. 2005;88(1):185-191.
32. Busso C, Yildirim S, Bulut M, Lee C, Kazemzadeh A, Narayanan S. *Biometrika*.

- (N.d.). *Ανάκτηση Από Oxford Journals: [Http://biomet.oxfordjournals.org/](http://biomet.oxfordjournals.org/)* D. Z., *Analysis of Emotion Recognition Using Facial Expressions, Speech and Multimodal Information, Proc. of ACM 6th International Conf.*; 2004.
33. Jakobson R. *Preliminaries to Speech Analysis: The Distinctive Features and Their Correlates*. M.I.T press; 1961. <http://hdl.handle.net/2027/heb.08432.0001.001>.
 34. McCullagh D, Scan I. Call it Super Bowl Face Scan I. 2001. <http://www.webcitation.org/6bXKD8y66>.
 35. Mishra A. Multimodal biometrics it is: need for future systems. *Int J Comput Appl*. 2010;3(4):28-33.
 36. Sonkamble S, Thool DR, Sonkamble B. SURVEY OF BIOMETRIC RECOGNITION SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS. *J Theor Appl Inf Technol*. 2010;11.
 37. FBI Biometric Center of Excellence. Iris Recognition. 2014. <http://www.webcitation.org/6bXKqWRuL>.
 38. Xeferis S, Andronikou V, Tserpes K, Varvarigou T. Case-based approach using behavioural biometrics aimed at Assisted Living. *J Ambient Intell Humaniz Comput*. 2010;2(2):73-80. doi:10.1007/s12652-010-0029-8.
 39. Ekman P, Friesen W V. *Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions from Facial Clues*. Ishk; 2003.
 40. Ekman P, Davidson RJ. *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press; 1994.
 41. Darwin C. *The Expression of the Emotions in Man and Animals*.; 1872.
 42. Ekman P. *Darwin and Facial Expression: A Century of Research*. New York: Academic Press; 1973.
 43. Ekman P, Friesen W V, Ellsworth. Emotion in the human face: Guidelines for research and an integration of findings. *Oxford Pergamon Press*. 1972.
 44. Ekman P. An argument for basic emotions. *Cogn Emot*. 1992;6(3-4):169-200.
 45. Ekman P, Friesen W V, O'Sullivan M, et al. Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *J Pers Soc Psychol*. 1987;53(4):712.
 46. Izzard C. *The Face of Emotion*. New York: Appleton-Century-Crofts; 1971.
 47. Ekman, Friesen, Ellsworth. *Emotion in the Human face. Guidelines for Research and an Integration of Findings*.; 2013.
 48. Eibelsfeldt IE. *Ethology, the Biology of Behavior* .; 1970.
 49. Comission E. ICT & Ageing-European study on users, markets and technologies. 2010. <http://www.ict-ageing.eu/>.
 50. Xeferis S, Baboshin A, Tserpes K, et al. Enabling risk assessment and analysis by event detection in dementia patients using a reconfigurable rule set. In: *Proceedings of the 4th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '11*. New York, New York, USA: ACM Press; 2011:1. doi:10.1145/2141622.2141678.
 51. Alzheimer's Association. *2008 Alzheimer's Disease Facts and Figures*. Vol 4.; 2008.
 52. Souliotis K, Kartzi G, Athanasakis K, Golna C, Yfantopoulos J. DETERMINANTS OF HEALTH CARE EXPENDITURE IN GREECE: CAN PRIMARY HEALTH CARE IMPACT ON THEIR EVOLUTION? *Int J Pharm Sci Res*. 2014;5(2):383.

53. Philippart D, Van Tielen R, Sturbois G, Peys F. Descriptive analysis of the pharmaceutical prescription evolution in the Belgian ambulatory sector between 1986 and 1996. *Arch public Heal*. 2000;58(2):85-107.
54. Τράπεζα Ελλάδος. Νομισματική Πολιτική; 2012. http://www.bankofgreece.gr/Pages/el/Publications/MonPolicy.aspx?Filter_By=11.
55. Στουρνάρας Γ. *Δαπάνες Και Πολιτικές Υγείας Την Περίοδο Του Μνημονίου*.; 2012.
56. Konstantinidis EI, Billis AS, Mouzakidis C, Zilidou V, Antoniou PE, Bamidis PD. Design, implementation and wide pilot deployment of FitForAll: an easy to use exergaming platform improving physical fitness and life quality of senior citizens. *IEEE J Biomed Heal Informatics*. 2014;1-1. doi:10.1109/JBHI.2014.2378814.
57. Sakamura K. Smart Living Environment: Ubiquitous Computing Approach Based on TRON Architecture. 2012.
58. TRON Project. 2015. (<http://www.t-engine.org/tron-project>. Accessed May 10, 2015).
59. Yamazaki T. Ubiquitous home: real-life testbed for home context-aware service. In: *Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2005. Tridentcom 2005. First International Conference on*. ; 2005:54-59.
60. Sato T, Harada T, Mori T. Environment-type robot system“ RoboticRoom” featured by behavior media, behavior contents, and behavior adaptation. *Mechatronics, IEEE/ASME Trans*. 2004;9(3):529-534.
61. Brumitt B, Meyers B, Krumm J, Kern A, Shafer S. Easyliving: Technologies for intelligent environments. In: *Handheld and Ubiquitous Computing*. ; 2000:12-29.
62. Intille SS. The goal: smart people, not smart homes. In: *Proceedings of ICOST2006: The International Conference on Smart Homes and Health Telematics*. Amsterdam: IOS Press. ; 2006:3-6.
63. Ho J, Intille SS. Using context-aware computing to reduce the perceived burden of interruptions from mobile devices. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ; 2005:909-918.
64. Cook D, Schmitter-Edgecombe M, Crandall A, Sanders C, Thomas B. Collecting and disseminating smart home sensor data in the CASAS project. In: *Proceedings of the CHI Workshop on Developing Shared Home Behavior Datasets to Advance HCI and Ubiquitous Computing Research*. ; 2009:1-7.
65. Cook DJ, Crandall AS, Thomas BL, Krishnan NC. CASAS: A smart home in a box. *Computer (Long Beach Calif)*. 2013;46(7).
66. Aztiria A, Farhadi G, Aghajan H. User behavior shift detection in intelligent environments. In: *Ambient Assisted Living and Home Care*. Springer; 2012:90-97.
67. Konstantinidis EI, Antoniou PE, Bamparopoulos G, Bamidis PD. A lightweight framework for transparent cross platform communication of controller data in ambient assisted living environments. *Inf Sci (Ny)*. 2013;300:124-139. doi:10.1016/j.ins.2014.10.070.
68. Artikis A, Bamidis PD, Billis A, et al. Supporting tele-health and AI-based clinical decision making with sensor data fusion and semantic interpretation: The USEFIL case study. *Int Work Artif Intell NetMedicine*. 2012;21. <http://airtlab.dii.univpm.it/netmed2012/sites/netmed2012.dii.univpm.it/files/papers/netmed2012.pdf#page=32>. Accessed July 24, 2015.
69. Cestaa A, Iocchib L, Leonea GR, Nardib D, Pecoraa F, Rasconia R. Robotic, sensory

- and problem-solving ingredients for the future home. *Intell Environ*. 2009;69.
70. Fides-Valero Á, Freddi M, Furfari F, Tazari M-R. The PERSONA framework for supporting context-awareness in open distributed systems. In: *Ambient Intelligence*. Springer; 2008:91-108.
 71. Neiberg D, Elenius K, Karlsson I, Laskowski K. Emotion Recognition in Spontaneous Speech. *Work Pap Linguist*. 2009;52:101-104.
 72. EBusso C, Yildirim S, Bulut M, Lee C, Kazemzadeh A, Narayanan S. Emotion Recognition using Facial Expressions, Speech and Multimodal Information. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces*. ; 2004:205-211.
 73. Nespoulous J, Perron P, Lecours A, Hillsdale MJ. *The Biological Foundations of Gestures: Motor and Semiotic Aspects*. Psychology Press; 1986.
 74. Lozano SC, Tversky B. Communicative gestures facilitate problem solving for both communicators and recipients. *J Mem Lang Vol Iss 1*. 2006;55:47-63.
 75. Caridakis GC, Artificial , Boukis. Multimodal emotion recognition from expressive faces, body gestures and speech. *A P C Innov Springer*. 2007.
 76. Lee C-C, Mower E, Busso C, Lee S, Narayanan S. Emotion recognition using a hierarchical binary decision tree approach. *Speech Commun*. 2011;53(9-10):1162-1171. doi:10.1016/j.specom.2011.06.004.
 77. Xeferis S, Andronikou V, Tserpes K, Varvarigou T. Case-based approach using behavioural biometrics aimed at Assisted Living. *J Ambient Intell Humaniz Comput*. 2011;2(2):73-80.
 78. Andronikou V, Xeferis S, Varvarigou T. A novel, algorithm metadata-aware architecture for biometric systems. In: *2012 IEEE Workshop on Biometric Measurements and Systems for Security and Medical Applications (BIOMS) Proceedings*. IEEE; 2012:1-6. doi:10.1109/BIOMS.2012.6345771.
 79. Kanade T, Cohn JF, Tian Y. Comprehensive database for facial expression analysis. In: *Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proceedings. Fourth IEEE International Conference on*. ; 2000:46-53.
 80. Lucey P, Cohn JF, Kanade T, Saragih J, Ambadar Z, Matthews I. The Extended Cohn-Kanade Dataset (CK+): A complete dataset for action unit and emotion-specified expression. In: *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2010 IEEE Computer Society Conference on*. ; 2010:94-101.
 81. Jones M, Viola P. Fast multi-view face detection. *Mitsubishi Electr Res Lab TR-20003-96*. 2003;3:14.
 82. Freund Y, Schapire RE, others. Experiments with a new boosting algorithm. In: *ICML*. Vol 96. ; 1996:148-156.
 83. Okabe A, Boots B, Sugihara K, Chiu SN. *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*. Vol 501. John Wiley & Sons; 2009.
 84. Cheddad A, Mohamad D, Manaf AA. Exploiting Voronoi diagram properties in face segmentation and feature extraction. *Pattern Recognit*. 2008;41(12):3842-3859. doi:10.1016/j.patcog.2008.06.007.
 85. De Berg M, Van Kreveld M, Overmars M, Schwarzkopf OC. *Computational Geometry*. Springer; 2000.
 86. Preparata FP, Shamos M. *Computational Geometry: An Introduction*. Springer

- Science & Business Media; 2012.
87. Birant D, Kut A. ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial--temporal data. *Data Knowl Eng.* 2007;60(1):208-221.
 88. Gan J, Tao Y. DBSCAN Revisited: Mis-Claim, Un-Fixability, and Approximation. In: *Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data.* ; 2015:519-530.
 89. Xu R, Wunsch D, others. Survey of clustering algorithms. *Neural Networks, IEEE Trans.* 2005;16(3):645-678.
 90. Jain AK, Dubes RC. *Algorithms for Clustering Data*. Prentice-Hall, Inc.; 1988.
 91. Garcia JA, Fdez-Valdivia J, Cortijo FJ, Molina R. A dynamic approach for clustering data. *Signal Processing.* 1995;44(2):181-196.
 92. Ester M, Kriegel H-P, Sander J, Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In: *Kdd*. Vol 96. ; 1996:226-231.
 93. Lin S-W, Chou S-Y, Chen S-C. Irregular shapes classification by back-propagation neural networks. *Int J Adv Manuf Technol.* 2007;34(11-12):1164-1172.
 94. van Rensburg FJ, Treurnicht J, Fourie CJ. The Use of Fourier Descriptors for Object Recognition in Robotic Assembly. 2006.
 95. Kuhl FP, Giardina CR. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Comput Graph image Process.* 1982;18(3):236-258.
 96. Doulamis AD, Doulamis ND, Kollias SD. An adaptable neural-network model for recursive nonlinear traffic prediction and modeling of MPEG video sources. *Neural Networks, IEEE Trans.* 2003;14(1):150-166.
 97. Rosen JB. The gradient projection method for nonlinear programming. Part I. Linear constraints. *J Soc Ind Appl Math.* 1960;8(1):181-217.
 98. Xeferis S, Doulamis N, Andronikou V, Varvarigou T. Behavioral biometrics in assisted living: A methodology for emotion recognition. *Engineering, Technology and Applied Science Research [in press, 2016]*
 99. Ming A, Ma H. The Biometrics Grid: A Solution to Biometric Technologies. *IEEE Distrib Syst Online.* 2007;8(9). doi:http://doi.ieeeecomputersociety.org/10.1109/MDSO.2007.55.
 100. Billis AS, Papageorgiou EI, Frantzidis C a., Tsatali MS, Tsolaki AC, Bamidis PD. A Decision-Support Framework for Promoting Independent Living and Ageing Well. *IEEE J Biomed Heal Informatics.* 2015;19(1):199-209. doi:10.1109/JBHI.2014.2336757.
 101. Cristinacce D, Cootes TF. Feature Detection and Tracking with Constrained Local Models. In: *BMVC*. Vol 1. ; 2006:3.
 102. Baltrušaitis T, Robinson P, Morency L-P. 3D constrained local model for rigid and non-rigid facial tracking. In: *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on.* ; 2012:2610-2617.
 103. Suk H-I, Lee S-W, Shen D, Initiative ADN, others. Hierarchical feature representation and multimodal fusion with deep learning for AD/MCI diagnosis. *Neuroimage.* 2014;101:569-582.
 104. Bolei Z, Khosla A, Lapedriza A, Oliva A, Torralba A. Object detectors emerge in Deep Scene CNNs. 2015.

105. Murthy VN, Maji S, Manmatha R. Automatic Image Annotation using Deep Learning Representations. In: *Proceedings of the 5th ACM on International Conference on Multimedia Retrieval*. ; 2015:603-606.
106. Zhang H, Xiao X, Hasegawa O. A Load-Balancing Self-Organizing Incremental Neural Network. *IEEE Trans Neural Networks Learn Syst*. 2014;25(6):1096-1105. doi:10.1109/TNNLS.2013.2287884.
107. Konstantinidis E. Active and Healthy Ageing living labs. 2015. <http://www.aha-livinglabs.com/>.
108. Bergvall-Kåreborn B, Holst M, Ståhlbröst A. Concept design with a living lab approach. In: *Proceedings of the 42nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS*. IEEE; 2009:1-10. doi:10.1109/HICSS.2009.123.
109. Konstantinidis EI, Bamidis PD. Density based clustering on indoor kinect location tracking: A new way to exploit active and healthy aging living lab datasets. In: *Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2015 IEEE 15th International Conference on*. ; 2015:1-6.
110. Konstantinidis EI, Billis AS, Plategher L, Conti G, Bamidis PD. Indoor Location IoT Analytics ♦in the wild♦: Active and Healthy Ageing Cases. In: *XIV Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2016*. ; 2016:1225-1230.
111. Konstantinidis EI, Billis A, Savvidis T, Xefteris S, Bamidis PD. Emotion Recognition in the Wild: Results and Limitations from Active and Healthy Ageing cases in a Living Lab. (Accepted In AAL IOT 2016, Budapest,Hungary).