



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Σύστημα για την παρακολούθηση ιατρικών δεδομένων  
ατόμων, την αναγνώριση πτώσεων και την έγκαιρη  
επέμβαση με τη χρήση του Internet Of Things**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΦΩΤΙΟΥ  
ΚΥΡΙΑΚΟΥ ΧΑΤΖΗΣΑΒΒΑ**

**Επιβλέπων :** Κιαμάλ Πεκμεστζή  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβρης 2018

---





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

**Σύστημα για την παρακολούθηση ιατρικών δεδομένων  
ατόμων, την αναγνώριση πτώσεων και την έγκαιρη  
επέμβαση με τη χρήση του Internet Of Things**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΦΩΤΙΟΥ  
ΚΥΡΙΑΚΟΥ ΧΑΤΖΗΣΑΒΒΑ**

**Επιβλέπων :** Κιαμάλ Πεκμεστζή  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24<sup>η</sup> Οκτώβρη 2018.

.....  
Κιαμάλ Πεκμεστζή  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Παναγιώτης Τσανάκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ηλίας Μαγκλογιάννης  
Αν. Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ

Αθήνα, Οκτώβρης 2018



.....  
**ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΦΩΤΙΟΥ**

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

.....  
**ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΧΑΤΖΗΣΑΒΒΑΣ**

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

Copyright © Δημήτρης Φωτίου και Κυριάκος Χατζησάββας, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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



## Περίληψη

Στη σημερινή εποχή της έντονης τεχνολογικής εξέλιξης αποτελεί μείζον ερώτημα για τις κοινωνίες το πως η τεχνολογία μπορεί να είναι κοινωνικά χρήσιμη και να καλύπτει τις πραγματικές ανάγκες όλων. Μια τέτοια ανάγκη είναι και η απαίτηση για υγειονομική περίθαλψη υψηλού επιπέδου. Η ανάπτυξη των ιατρικών μηχανημάτων, της Τηλεϊατρικής και της απομακρυσμένης εξυπηρέτησης αποτελούν κρίσιμους παράγοντες ώστε ο άνθρωπος να έχει πρόσβαση σε ποιοτική και υγιή ζωή. Η υγειονομική περίθαλψη περιλαμβάνει, την πρόληψη, τη θεραπεία, και την διαχείριση των ασθενειών, καθώς και την προστασία της ψυχικής και σωματικής ευεξίας μέσω των υπηρεσιών που προσφέρονται από το ιατρικό, νοσηλευτικό προσωπικό και γενικότερα από τους επαγγελματίες υγείας.

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός δικτύου Internet Of Things με στόχο την μέτρηση, καταγραφή σε βάσεις δεδομένων και επίβλεψη διάφορων χαρακτηριστικών της υγείας ενός ατόμου και παράλληλα την ανίχνευση και αντιμετώπιση επικίνδυνων συμπεριφορών-καταστάσεων, όπως η αναγνώριση τυχόν πτώσης. Μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας παρουσιάζεται με διαδραστικό τρόπο το ιστορικό υγείας κάθε ατόμου και παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης σε σχετικές εφαρμογές και σε απομακρυσμένη συμβουλευτική επικοινωνία με γιατρό. Ταυτόχρονα πιθανή πτώση του ατόμου ελέγχεται μέσω του συνδυασμού ενός αλγόριθμου κατωφλίου και στατιστικών αλγορίθμων (γράφημα ελέγχου CUSUM) ώστε όποτε χρειαστεί να υπάρξει άμεση αυτόματη ενημέρωση επιλεγμένων προσώπων (οικογένεια, γιατρός, νοσοκομείο κοκ).

**Λέξεις Κλειδιά:** ανίχνευση πτώσης, Internet Of Things, γραφήματα ελέγχου, Hexiwear, Raspberry-pi, φορητή συσκευή, βάση δεδομένων, mongodb, angularjs, nodejs, expressjs, html, CSS, Typescript, παρακολούθηση και καταγραφή μετρήσεων, επιταχυνσιόμετρο, βηματόμετρο, παλμοί καρδιάς





## Abstract

In today's era of intense technological development, it is a major question for societies how technology can be socially useful and meet the real needs of everyone. Such a need is also the requirement for high-quality healthcare. The development of medical devices, telemedicine and remote services are crucial factors for people to have access to a quality and healthy life. Health care includes prevention, treatment, and management of illness, as well as the protection of mental and physical well-being through the services offered by medical, nursing staff and health professionals in general.

The aim of the diploma thesis was to develop an Internet Of Things network aiming at measuring, recording in databases and overseeing various health characteristics of a person and at the same time detecting and dealing with dangerous behaviors-situations , such as the identification of any fall. An online platform presents the health history of each individual interactively and provides access to relevant applications and remote consultative communication with the doctor. At the same time, a possible fall of the individual is controlled by combining a threshold algorithm and a statistical algorithm (CUSUM control chart) so that whenever there is a need, selected persons (family, doctor, hospital etc) will get immediately and automatically notified.

**Keywords:** fall detection, Internet Of Things, Control charts, Hexiwear, Raspberry-pi, wearable device, database, mongodb, angularjs, nodejs, expressjs, html, CSS, Typescript, monitoring and recording of measurements , accelerometer, pedometer, heart rate



## Ευχαριστίες

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας που μας στήριξαν, μας στηρίζουν και ξέρουμε ότι θα μας στηρίζουν σε κάθε προσπάθεια και επιλογή μέσα στη ζωή μας.

Ευχαριστούμε τους φίλους που στάθηκαν δίπλα μας και έδωσαν χρώμα στα νεανικά μας χρόνια. Αυτούς που πορευόμαστε ακόμα μαζί, αλλά και αυτούς που μπορεί να χώρισαν οι δρόμοι μας μα θα μας ενώνουν για πάντα εκείνες οι πραγματικές στιγμές.

Τέλος, ευχαριστούμε όλες αυτές που μας έδειξαν ότι τα καλύτερα και πιο όμορφα πράγματα στον κόσμο δεν μπορείς να τα δεις ή να τα αγγίξεις. Τα αισθάνεσαι μόνο με την καρδιά.

*στην Ε., Κυριάκος*

*Η διπλωματική αυτή αφιερώνεται σε όσους και όσες μέσα στα φοιτητικά μας χρόνια μας έμαθαν να αγαπάμε και να χαιρόμαστε, σε όσους και όσες ξαναγελάσαμε μαζί αφού τσακωθήκαμε, σε όσους και όσες μας έμαθαν να σηκωνόμαστε όταν πέφτουμε, να δίνουμε το χέρι σε όποιον το χρειάζεται, να αγωνιζόμαστε για αξιοπρέπεια και να νικάμε με το κεφάλι ψηλά και την γροθιά σφιγμένη.*



# Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b><u>1</u></b>
1.1	Internet Of things (IoT) και Τηλεϊατρική.....	<u>1</u>
1.2	Αντικείμενο διπλωματικής.....	<u>2</u>
1.2.1	Συνεισφορά.....	<u>4</u>
1.3	Οργάνωση κειμένου.....	<u>5</u>
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό υπόβαθρο.....</b>	<b><u>6</u></b>
2.1	Βιοσήματα.....	<u>6</u>
2.1.1	Καρδιακός παλμός.....	<u>7</u>
2.1.2	Ανθρώπινη κίνηση.....	<u>9</u>
2.1.2.1	Επιτάχυνση.....	<u>9</u>
2.1.2.2	Βηματομέτρηση.....	<u>10</u>
2.2	Ανίχνευσης πτώσης.....	<u>10</u>
2.2.1	Σύγχρονη αναγκαιότητα.....	<u>10</u>
2.2.2	Αλγόριθμοι ανίχνευσης πτώσης.....	<u>11</u>
2.2.2.1	Αλγόριθμοι κατωφλίου.....	<u>13</u>
2.2.2.2	Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης – Machine Learning.....	<u>18</u>
2.2.2.3	Στατιστικοί Αλγόριθμοι – Control Charts.....	<u>20</u>
<b>3</b>	<b>Τεχνολογικό υπόβαθρο και Hardware.....</b>	<b><u>22</u></b>
3.1	Τεχνολογικό υπόβαθρο.....	<u>22</u>
3.1.1	MongoDB – json files.....	<u>22</u>
3.1.2	Javascript – HTML - CSS.....	<u>23</u>
3.1.3	Typescript.....	<u>24</u>
3.1.4	MEAN (mongodb, express, angular, node js).....	<u>25</u>
3.1.5	JWT Tokens.....	<u>26</u>
3.1.6	bcrypt.....	<u>27</u>
3.1.7	Bluetooth Low Energy (BLE).....	<u>28</u>
3.1.8	Cloud servers (Διακομιστές σύννεφων).....	<u>29</u>
3.1.9	Python.....	<u>30</u>
3.1.10	C.....	<u>30</u>
3.1.11	Εξυπηρετητής Apache ως reverse proxy server.....	<u>31</u>
3.2	Hardware.....	<u>32</u>

3.2.1	Raspberry-pi.....	<u>32</u>
3.2.2	Hexiwear.....	<u>34</u>
<b>4</b>	<b>Ανάλυση Απαιτήσεων Συστήματος και Περιγραφή Λειτουργιών .....</b>	<b><u>37</u></b>
4.1	Απαιτήσεις Συστήματος.....	<u>37</u>
4.2	Περιγραφή Λειτουργιών.....	<u>39</u>
4.2.1	Hexiwear.....	<u>39</u>
4.2.1.1	1ος έλεγχος πτώσης.....	<u>39</u>
4.2.1.2	Αποθήκευση και αποστολή μετρήσεων.....	<u>40</u>
4.2.2	Raspberry-pi.....	<u>40</u>
4.2.2.1	2ος έλεγχος και ανίχνευση πτώσης.....	<u>40</u>
4.2.2.2	Σύνδεση και λήψη δεδομένων.....	<u>41</u>
4.2.2.3	Δημιουργία και αποστολή βάσεων δεδομένων.....	<u>41</u>
4.2.3	Cloud Server / Site.....	<u>41</u>
4.2.3.1	Δημιουργία, διαγραφή, επεξεργασία λογαριασμού και σύνδεση, αποσύνδεση στο σύστημα.....	<u>41</u>
4.2.3.2	Προβολή ιστορικού μετρήσεων σε γραφήματα.....	<u>42</u>
4.2.3.3	Προστασία δεδομένων.....	<u>42</u>
4.2.3.4	Συμπληρωματικές εφαρμογές.....	<u>42</u>
<b>5</b>	<b>Υλοποίηση Συστήματος.....</b>	<b><u>43</u></b>
5.1	Αλγόριθμοι ανίχνευσης πτώσης.....	<u>44</u>
5.2	Υλοποίηση λειτουργιών.....	<u>53</u>
5.2.1	Hexiwear.....	<u>53</u>
5.2.1.1	Εγγραφή των sensor data – biosignals στην flash memory.....	<u>53</u>
5.2.1.2	Αποστολή παραθύρου δεδομένων πιθανής πτώσης.....	<u>54</u>
5.2.1.3	Βηματομέτρηση.....	<u>56</u>
5.2.2	Raspberry-pi.....	<u>56</u>
5.2.2.1	Σύνδεση και λήψη δεδομένων .....	<u>56</u>
5.2.2.2	Αποθήκευση και προώθηση των δεδομένων .....	<u>58</u>
5.2.2.3	Αναγνώριση πτώσης και αποστολή μηνύματος κινδύνου .....	<u>60</u>
5.2.3	Cloud Server.....	<u>63</u>
5.2.3.1	Χρήστης.....	<u>63</u>
5.2.3.2	Προστασία δεδομένων .....	<u>64</u>
5.2.3.3	Γραφήματα προβολής ιστορικού .....	<u>66</u>
5.2.3.4	Υπολογισμός BMI, BMR, TDEE .....	<u>70</u>
5.2.3.5	Private Chat.....	<u>72</u>

<b>6</b>	<b>Επίλογος.....</b>	<b><u>74</u></b>
6.1	Το τελικό σύστημα - Σύνοψη.....	<u>74</u>
6.2	Προτάσεις για την επέκταση του συστήματος .....	<u>75</u>
<b>7</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b><u>77</u></b>





# 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Internet Of Things (IOT) και Τηλεϊατρική



Εικόνα 1.1 : Διαδίκτυο των πραγμάτων. Σύνδεση από παντού.

Το **Διαδίκτυο των πραγμάτων** ή Ίντερνετ των πραγμάτων (αγγλικά: Internet of things) αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικειμένου που

ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο .

Η έννοια "Things" (πράγματα) δεν είναι αυστηρά συνδεδεμένη με ορισμένα προϊόντα. Αναφέρεται σε μία ευρεία ποικιλία συσκευών εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα αυτοκίνητα με ενσωματωμένους αισθητήρες, κάμερες, κλιματιστικά, φώτα, συστήματα ασφαλείας, smartwatches ακόμα και αυτοκίνητα των οποίων οι περίπλοκοι αισθητήρες εντοπίζουν αντικείμενα στην πορεία τους. Είναι μερικά από τα πολλά προϊόντα τεχνολογίας. Βασικό χαρακτηριστικό όλων είναι η σύνδεση μεταξύ τους με απώτερο σκοπό την δυνατότητα του χρήστη να τα ελέγχει αποκεντρωμένα από έναν υπολογιστή ή κινητό.

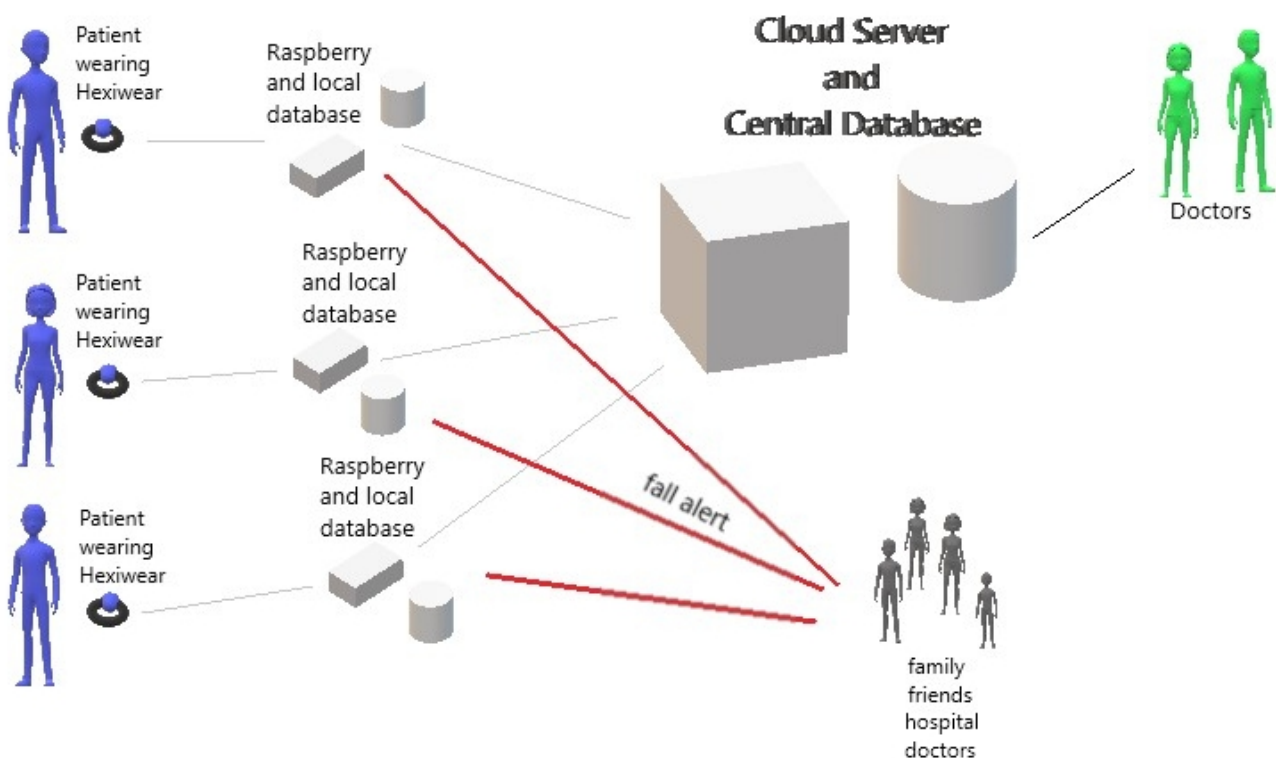
Η τηλεϊατρική, από την μεριά της, αναφέρεται στην εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών, των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής, για να προσφέρει σε ασθενείς ιατρική βοήθεια από απόσταση. Η τηλεϊατρική βοηθάει περισσότερο εκείνους που χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση ή βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως οι αγρότες, ή σε περιπτώσεις που ο θεράπων ιατρός βρίσκεται σε άλλη περιοχή. Είναι σαφές λοιπόν το υπαρκτό κοινό πεδίο αναφοράς μεταξύ τηλεϊατρικής και ΙΟΤ, μιας και τα δύο περιλαμβάνουν ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων που "συλλέγουν και ανταλλάσσουν δεδομένα", δηλαδή συσκευές και άλλα αντικείμενα με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα δικτύου" .

## ***1.2 Αντικείμενο διπλωματικής***

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η παροχή ενός ολοκληρωμένου συστήματος ιατρικών υπηρεσιών που θα είναι εύχρηστο, διαδραστικό και δεν θα προϋποθέτει μεγάλο εύρος γνώσεων από μεριάς χρηστών. Αναπτύσσεται ένα δίκτυο Internet Of Things με στόχο την μέτρηση, καταγραφή σε βάσεις δεδομένων

και επίβλεψη διάφορων χαρακτηριστικών της υγείας ενός ατόμου και παράλληλα την ανίχνευση και αντιμετώπιση επικίνδυνων συμπεριφορών-καταστάσεων, όπως η αναγνώριση τυχόν πτώσης.

Ο εκάστοτε χρήστης-ασθενής εφοδιάζεται με μια φορητή συσκευή χειρός (Hexiwear) από την οποία θα λαμβάνονται οι μετρικές (παλμοί καρδιάς , επιτάχυνση, βήματα) και θα ενεργοποιούνται διάφοροι μηχανισμοί κινδύνου, όπως η ανίχνευση πτώσης μέσω αλγορίθμου κατωφλίου. Στη συνέχεια το Hexiwear επικοινωνεί μέσω bluetooth με έναν μικρό υπολογιστή Raspberry-pi που διατίθεται σε κάθε χρήστη ώστε να μεταδώσει τις μετρικές και να τις καταχωρήσει σε βάσεις δεδομένων καθώς και να επεξεργαστεί περαιτέρω πιθανές ανιχνεύσεις πτώσης με τον στατιστικό αλγόριθμο CUSUM Control Chart. Αυτός ο συνδυασμός αλγορίθμων δοκιμάστηκε με σκοπό την αυξημένο ποσοστό επιτυχούς ανίχνευσης πτώσης ώστε όποτε χρειαστεί να υπάρχει άμεση αυτόματη ενημέρωση επιλεγμένων προσώπων (οικογένεια, γιατρός, νοσοκομείο κοκ) με στόχο την αποφυγή επιβλαβών και θανατηφόρων καταστάσεων. Οι βάσεις δεδομένων όλων των χρηστών (με τους παλμούς καρδιάς, τα βήματα και προσωπικά στοιχεία) προωθούνται σε έναν κεντρικό cloud server όπου και αποθηκεύονται. Μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας παρουσιάζεται με διαδραστικό τρόπο το ιστορικό υγείας(βάση δεδομένων) κάθε ατόμου με τη δυνατότητα απομακρυσμένης συμβουλευτικής επικοινωνίας με γιατρό καθώς και πρόσβαση σε πληθώρα μικρο-εφαρμογών υγείας.



Εικόνα 1.2 : Το ολοκληρωμένο σύστημα

### 1.2.1 Συνεισφορά

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:

1. Υλοποιήσαμε IOT δίκτυο που ενώνει τις μεμονωμένες υπηρεσίες σε ένα συνολικό project, με χρήση μοντέρνων εργαλείων και με δυνατότητα επεκτασιμότητας.
2. Μελετήσαμε και υλοποιήσαμε πρωτότυπο συνδυασμό 2 αλγορίθμων ανίχνευσης πτώσης με βάση τα βιοσήματα της επιτάχυνσης, ενός αλγορίθμου καταωφλίου και ενός στατιστικού αλγόριθμου, που προσφέρουν συνδυασμό ευχρηστίας, γρήγορης απόκρισης και ακρίβειας.
3. Μελετήσαμε και συγκρίναμε διαφορετικά μοντέλα ανίχνευσης πτώσης.

### **1.3 Οργάνωση κειμένου**

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται στα 5 εξής κεφάλαια:

- **Κεφάλαιο 2:** Παρουσιάζονται οι σημαντικότερες θεωρητικές έννοιες οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την εργασία και θα βοηθήσουν στην διαμόρφωση μιας σφαιρικής εικόνας.
- **Κεφάλαιο 3:** Παρουσιάζονται οι βασικές τεχνικές έννοιες και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του hardware που αξιοποιήθηκε.
- **Κεφάλαιο 4:** Αναλύονται οι απαιτήσεις, τα μέρη και οι βασικές λειτουργίες του συστήματος.
- **Κεφάλαιο 5:** Περιγράφονται οι λεπτομέρειες υλοποίησης του συστήματος και παρουσιάζεται ο κώδικας σημαντικών λειτουργιών.
- **Κεφάλαιο 6:** Παρουσιάζεται μια αποτίμηση της εργασίας ως σύνολο και πιθανές επεκτάσεις – βελτιώσεις της λειτουργικότητας του συστήματος.
- **Κεφάλαιο 7:** Παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

# 2

## *Θεωρητικό υπόβαθρο*

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να εισάγει τον αναγνώστη στις βασικότερες θεωρητικές έννοιες και παραδοχές οι οποίες χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Το κεφάλαιο χωρίστηκε σε δύο ενότητες με βάση τις απαιτήσεις που έχουμε θέσει για το IoT σύστημά μας. Η πρώτη αναφέρεται σε θεωρητικές κυρίως γνώσεις σχετικά με τα βιοσήματα, ενώ η δεύτερη σε αλγορίθμους, μελέτες και τρόπους ανίχνευσης της πτώσης ενός ατόμου. Βέβαια και οι δύο υποενότητες συνδέονται με άμεσο τρόπο στη συγκεκριμένη διπλωματική, της οποίας αναπόσπαστο στοιχείο είναι η πρόσληψη μετρικών μέσω φορητής συσκευής.

### *2.1 Βιοσήματα*

Βιοσήματα είναι σήματα που χρησιμοποιούνται στην ιατρική και στη βιολογία για την εξαγωγή πληροφοριών για το υπό εξέταση βιοϊατρικό σύστημα. Περιέχουν πληροφορίες χρήσιμες για την κατανόηση διαφόρων παθοφυσιολογικών μηχανισμών ενός ζωντανού οργανισμού. Ειδικότερα, τα ιατρικά σήματα μας πληροφορούν για τη λειτουργία ή την ανατομία ενός ανθρώπινου οργάνου, όπως είναι το ηλεκτροκαρδιογράφημα που μας πληροφορεί για τη λειτουργία της καρδιάς ή η εικόνα μίας αξονικής τομογραφίας του εγκεφάλου που είναι ένα σήμα δύο

διαστάσεων και μας δείχνει στοιχεία του εγκεφάλου. Τα ιατρικά σήματα όμως δεν είναι όλα ίδια ως προς την μορφή τους, διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος τους. Τα σήματα κίνησης ενός ατόμου δεν προέρχονται από την εσωτερική λειτουργία του οργανισμού του αλλά σε κάθε περίπτωση μπορεί να θεωρηθούν σήματα χρήσιμα για την εξαγωγή πληροφοριών για το υπό εξέταση βιοϊατρικό σύστημα.

### 2.1.1 Καρδιακός παλμός

Η καρδιά διαθέτει ένα αυτόματο μηχανισμό ηλεκτρικής διέγερσης και λειτουργίας χάρις στον οποίο ρυθμίζει τον καρδιακό ρυθμό ανάλογα των εκάστοτε αναγκών. Σφυγμός (καρδιακός ρυθμός ή παλμός) λέγεται η μετάδοση του κύματος αίματος, που προκαλείται από την καρδιακή συστολή, στο τοίχωμα των αγγείων. Ο σφυγμός οφείλεται στην μεταβολή της πίεσης του αίματος που προκαλείται από τις κοιλιακές συστολές της καρδιάς και της ελαστικότητας των αρτηριών. Ο καρδιακός ρυθμός ενός ανθρώπου είναι ένας από τους πιο ενδεικτικούς παράγοντες της υγείας του και η διαρκής επίβλεψη του μαζί με άλλους παράγοντες μπορεί να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα. Ακολουθούν ενδεικτικά οι φυσιολογικοί παλμοί σε κατάσταση ηρεμίας για παιδιά καθώς και το φυσιολογικό και ανώτατο όριο παλμών σε κατάσταση άσκησης για ενήλικες.

Ηλικία	Φυσιολογικοί σφυγμοί/λεπτό
1ος μήνας ζωής	70-190
1ος - 11ος μήνας	80-160
1 - 2 χρόνων	80-130
3 - 4 χρόνων	80-120
5-6 χρόνων	75-115
7-9 χρόνων	70-110
10 χρόνων και πάνω (ισχύει και για όλους τους ενήλικες)	60-100

Πίνακας 2.1 : Φυσιολογικοί παλμοί για παιδιά

Ηλικία	Φυσιολογικοί σφυγμοί/λεπτό (50-85%)	Ανώτατο όριο (σφυγμοί/λεπτό)
20	100-170	200
30	95-162	190
35	93-157	185
40	90-153	180
45	88-149	175
50	85-145	170
55	83-140	165
60	80-136	160
65	78-132	155
70	75-128	150

*Πίνακας 2.2 : Φυσιολογικοί παλμοί για ενήλικες*

Ο φυσικός καρδιακός παλμός ενός ενήλικου ανθρώπου ο οποίος βρίσκεται σε ηρεμία, κυμαίνεται μεταξύ 60 και 100 παλμών ανά λεπτό. Βραδυκαρδία είναι ο καρδιακός παλμός ενός ενήλικα σε ηρεμία ο οποίος βρίσκεται κάτω από 60 παλμούς το λεπτό, ενώ αντίθετα ταχυκαρδία ορίζεται αν βρίσκεται πάνω από 100 παλμούς το λεπτό.

Στο Hexiwear η μέτρηση του καρδιακού παλμού γίνεται από τον οπτικό αισθητήρα. Δύο μήκη κύματος φωτός από δύο LED (κόκκινο και πράσινο) εκπέμπονται από τη μικρή σχισμή στο πίσω μέρος του Hexiwear. Όταν βάζει ο χρήστης τον καρπό ή το δάκτυλο πάνω από την σχισμή, ο αισθητήρας μετρά την απορρόφηση φωτός του παλλόμενου αίματος μέσω ενός φωτοανιχνευτή και αποκτά πληροφορίες καρδιακού ρυθμού.



## **2.1.2 Ανθρώπινη κίνηση**

Η ανθρώπινη κίνηση είναι περίπλοκη και δύσκολα χαρακτηρίζεται. Η κίνηση είναι συνήθως μη γραμμική και χρονικά μη αναλλοίωτη, καθώς η καθημερινή φυσική κατάσταση ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου. Πολλή δουλειά έχει γίνει μελετώντας την ανθρώπινη κίνηση χρησιμοποιώντας αισθητήρες που φορούν οι χρήστες. Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες στον τομέα της παρακολούθησης της ανθρώπινης κίνησης και στα συστήματα ανίχνευσης πτώσης. Παρακάτω παρουσιάζονται βασικές παρατηρήσεις που χρησιμοποιούμε για να συλλάβουμε τη δυναμική κίνηση του ανθρώπου, εστιάζοντας ιδιαίτερα στην χρήση της επιτάχυνσης που λαμβάνουμε μέσω τριαξονικού επιταχυνσιόμετρου.

### **2.1.2.1 Επιτάχυνση**

Η επιτάχυνση, ως ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας, μας δίνει πολλές πληροφορίες για την κίνηση ενός ατόμου. Τέτοιες είναι η εκρηκτικότητα, η κατεύθυνση και η ένταση της κίνησης του ανθρώπινου σώματος. Μία χαρακτηριστική μέθοδος ανίχνευσης της κίνησης μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα επιταχυνσιόμετρο στερεωμένο στο ανθρώπινο σώμα. Ένα ενιαίο τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο μπορεί να μας πληροφορεί με τις επιταχύνσεις ενός αντικειμένου σε τρεις κατευθύνσεις που περιλαμβάνουν την επίδραση της βαρύτητας. Η επιτάχυνση μπορεί να περιγραφεί και ως διάνυσμα προφανώς ώστε να μελετηθεί καλύτερα, καθώς πληροφορίες της γωνιακής κίνησης μπορούν να υπολογιστούν βάσει της σχέσης μεταξύ των συστατικών επιτάχυνσης(ανά άξονα) και του αθροίσματος των διανυσμάτων τους.

Ένα επιταχυνσιόμετρο σε κατάσταση ηρεμίας σε σχέση με την επιφάνεια της Γης θα δείξει περίπου 1 g προς τα πάνω, επειδή οποιοδήποτε σημείο στην επιφάνεια της Γης επιταχύνεται προς τα πάνω σε σχέση με το τοπικό αδρανειακό πλαίσιο (το πλαίσιο ενός αντικειμένου που κάνει ελεύθερη πτώση κοντά στην επιφάνεια). Για να επιτευχθεί η επιτάχυνση που οφείλεται σε κίνηση σε σχέση με τη Γη, αυτή η

"αντιστάθμιση βαρύτητας" πρέπει να αφαιρεθεί και να διορθωθούν οι επιδράσεις που προκαλούνται από την περιστροφή της Γης σε σχέση με το αδρανειακό πλαίσιο.

### **2.1.2.2 Βηματομέτρηση**

Η καθημερινή άθληση, ήπια ή έντονη, του ανθρώπου αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την κατάσταση της υγείας του. Το καθημερινό τρέξιμο ή ακόμα και το περπάτημα έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν τους κινδύνους υγείας και προσφέρουν διάφορα ολικά γενικά υγειονομικά πλεονεκτήματα, όπως μείωση της πιθανότητας δημιουργίας καρκίνου, καρδιακών παθήσεων και κατάθλιψης.

Η βηματομέτρηση αποτελεί κίνητρο για άτομα που επιθυμούν να αυξήσουν τη σωματική τους δραστηριότητα. Έτσι μπορούν να παρακολουθήσουν την πρόοδό τους και με βάση αυτή να οργανώσουν την καθημερινή τους ρουτίνα (π.χ. με βάση της θερμίδες που "καίνε" να προγραμματίσουν τη διατροφή τους). Οι σύγχρονοι βηματομετρητές βασίζονται σε αδρανειακούς αισθητήρες MEMS ( Microelectromechanical systems ) και εξελιγμένο λογισμικό για την ανίχνευση βημάτων. Αυτοί οι αισθητήρες MEMS συνήθως ανιχνεύουν την επιτάχυνση σε 3 άξονες.

## **2.2 Ανίχνευση πτώσης**

### **2.2.1 Σύγχρονη αναγκαιότητα**

Οι πτώσεις αποτελούν σημαντική πηγή απώλειας αυτονομίας, θανάτων και τραυματισμών ιδιαίτερα μεταξύ των ηλικιωμένων και έχουν αξιοσημείωτο αντίκτυπο στο κόστος των εθνικών συστημάτων υγείας. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το 28-35% του πληθυσμού άνω των 64 ετών βιώνει τουλάχιστον μία πτώση κάθε χρόνο, ενώ οι τραυματισμοί που συνδέονται με τις πτώσεις και τα ποσοστά νοσοκομειακής φροντίδας αναμένεται να αυξηθούν κατά μέσο όρο κατά 2% ετησίως έως το 2030. Η πτώση χρήζει ταχείας δράσης και αντιμετώπισης καθώς

μπορεί να προκαλέσει σφοδρό χτύπημα σε κρίσιμο όργανο/σημείο του ατόμου ή ακόμα περισσότερο να προκληθεί και η ίδια ύστερα από εγκεφαλικό ή καρδιακό επεισόδιο. Εκτός από την πρόκληση σωματικής βλάβης, οι πτώσεις μπορεί επίσης να έχουν δραματικές ψυχολογικές συνέπειες που μειώνουν τη ζωή των ηλικιωμένων. Διαπιστώθηκε ότι μετά την πτώση, το 48% των ηλικιωμένων αναφέρει ότι φοβάται πλέον την πτώση και το 25% αναφέρουν περιορισμένη δραστηριότητα. Επιπλέον, οι πτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε αναπηρία και μείωση της κινητικότητας που συχνά καταλήγει σε αυξημένη εξάρτηση από άλλους. Τέλος, μία ακόμα σοβαρή συνέπεια της πτώσης είναι η λεγόμενη κατάσταση "μακρού ψεύδους" όπου ένα πρόσωπο που πέφτει παραμένει στο έδαφος ή πάτωμα για περισσότερο από μία ώρα μετά από μια πτώση. Το "μακρύ ψέμα" είναι ένα σημάδι αδυναμίας, ασθένειας και κοινωνικής απομόνωσης και συνδέεται με υψηλά ποσοστά θνησιμότητας μεταξύ των ηλικιωμένων. Ο χρόνος που δαπανάται στο πάτωμα μπορεί να σχετίζεται με το φόβος της πτώσης, μια μυϊκή βλάβη, την πνευμονία, τον πόνο από αυξημένη πίεση, μια τυχόν αφυδάτωση ή υποθερμία. Τέλος, η νοσηρότητα και η θνησιμότητα που προκαλούνται από τις πτώσεις συνδέονται στενά με την ταχύτητα της ιατρικής απόκρισης και της θεραπείας πρώτων βοηθειών μετά το περιστατικό. Κατά συνέπεια, η ανάλυση των οικονομικά αποδοτικών και αυτόματων συστημάτων ανίχνευσης πτώσης θεωρείται ένα φλέγον θέμα τα τελευταία χρόνια.

### **2.2.2 Αλγόριθμοι ανίχνευσης πτώσης**

Λόγω της έκρηξης των ασύρματων φορητών συσκευών, όπως smartwatches και smartphones, τα φορητά συστήματα ανίχνευσης πτώσης (FDS – Fall Detection Systems) έχουν γίνει το επίκεντρο προσοχής της ερευνητικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια. Ένα σύστημα FDS μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δυαδικό σύστημα ταξινόμησης που δημιουργήθηκε για τη διάκριση γεγονότων πτώσης από οποιαδήποτε άλλη κίνηση του χρήστη (οι λεγόμενες Δραστηριότητες Καθημερινής Ζωής ή ADLs). Ένα από τα βασικά ζητήματα της έρευνας σχετικά με τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης είναι η έλλειψη συναίνεσης σχετικά με την ακριβή διαδικασία με

την οποία θα πρέπει να αξιολογούνται τα FDS, καθώς κάθε μέθοδος μπορεί να προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Διάφορα είδη μεθόδων ανίχνευσης πτώσης έχουν αναπτυχθεί ή εφαρμοστεί στη ζωή μας. Μία από αυτές είναι η μέθοδος που βασίζεται σε κάμερες που διανέμονται σε περιορισμένο χώρο για να προσφέρουν εικόνες ή βίντεο ανθρώπινων δραστηριοτήτων για την εφαρμογή αλγόριθμου ανίχνευσης πτώσης. Επιπλέον υποστήριξη, όπως οι αισθητήρες κίνησης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της μεθόδου ανίχνευσης πτώσης με βάση τις κάμερες και με ένα αλγόριθμο σύντηξης δεδομένων να συσχετίζονται και να επικυρώνονται τα αποτελέσματα μεταξύ των δύο υποσυστημάτων για την αύξηση της απόδοσης ανίχνευσης πτώσης. Αυτές οι μέθοδοι που βασίζονται στον υπολογιστή λειτουργούν αποτελεσματικά σε μικρούς εσωτερικούς χώρους, αλλά είναι δαπανηρές και είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν σε εξωτερικό περιβάλλον ή σε εσωτερικό περιβάλλον με πολλά δωμάτια, καθώς η ανάπτυξη κάμερας είναι πάντα περιορισμένη και κοστοβόρα.

Η μέθοδος που βασίζεται στον αισθητήρα κίνησης χρησιμοποιείται ευρέως. Το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο θα μπορούσαν να παρέχουν απευθείας πληροφορίες γραμμικής και γωνιακής κίνησης. Οι μετρήσεις των αισθητήρων και ένας κατάλληλος αλγόριθμος σύντηξης τους θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να διακρίνουν μια πραγματική πτώση. Υπάρχουν διάφορα είδη μεθόδων ανίχνευσης της πτώσης. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προκύπτει με βάση τους στόχους και τους περιορισμούς που έχουμε θέσει για ένα σύστημα, όπως το κόστος, η ακρίβεια, η ευρωστία, το περιβάλλον.

Στην αξιολόγηση των μεθόδων λαμβάνουμε έντονα υπόψιν τον αριθμό των false positives και false negatives που προκύπτουν. False positive ή αλλιώς "false alarm", είναι ένα αποτέλεσμα που υποδηλώνει ότι μια δεδομένη συνθήκη υπάρχει, όταν δεν συμβαίνει. Ενώ false negative είναι ένα αποτέλεσμα της δοκιμής που δείχνει ότι μια κατάσταση δεν ισχύει, ενώ στην πραγματικότητα συμβαίνει. Η ευαισθησία (sensitivity) είναι η αναλογία των πραγματικών θετικών που έχουν αναγνωριστεί σωστά ως τέτοια ως προς τα συνολικά θετικά (συμπεριλαμβανομένων των false positives). Αντίστοιχα η ειδικευση (specificity) μετρά το ποσοστό των

πραγματικών αρνητικών που έχουν αναγνωρισθεί σωστά ως τέτοια ως προς τα συνολικά αρνητικά (συμπεριλαμβανομένων των false negatives).

	Predicted +	Predicted -	
Target +	a	b	True Positive (arrow to 'a') / False Negative (arrow to 'b')
Target -	c	d	False Positive (arrow to 'c') / True Negative (arrow to 'd')

$a + d = \text{good predictions}$   
 $b + c = \text{bad predictions}$

Εικόνα 2.1 : Sensitivity and Specificity σε table

### 2.2.2.1 Αλγόριθμοι κατώφλιου

Η αρχή των μεθόδων με βάση το κατώφλι είναι η εξαγωγή χαρακτηριστικών από τα δεδομένα κίνησης ώστε να ορίζεται τιμή κατώφλιου που επιτυγχάνεται μόνο κατά τη διάρκεια πτώσεων. Η μεθοδολογία είναι η καταγραφή δεδομένων κατά τη διάρκεια πτώσεων και η εύρεση του κατώτατου ορίου που συλλαμβάνει όλες τις πτώσεις. Το κρίσιμο μέρος της ανάπτυξης ανίχνευσης πτώσης είναι να βρεθεί ένα χαρακτηριστικό που παρέχει αποδεκτή απόδοση. Ένα από τα απλούστερα χαρακτηριστικά για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων είναι η επιτάχυνση. Ο χρήστης του συστήματος επηρεάζεται κανονικά από τη βαρύτητα. Διαπιστώθηκε ότι η απόδοση αυτών των συστημάτων έχει ευαισθησία 90-100% και ειδίκευση σε 92-100% σε εποπτευόμενο εργαστηριακό περιβάλλον [1]. Βέβαια το 2012 αξιολογήθηκε η απόδοση δεκατριών δημοσιευμένων αλγορίθμων ανίχνευσης πτώσης σε δεδομένα από πραγματικές πτώσεις και το συμπέρασμά ήταν ότι τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης σε εργαστηριακά ελεγχόμενες πτώσεις, έχουν λιγότερες επιδόσεις στον πραγματικό κόσμο [2]. Ως εκ τούτου, οι τιμές κατώφλιου δεν αντιστοιχούν σε πραγματικές καταστάσεις, οι οποίες είναι ένα μεγάλο μειονέκτημα. Το όφελος από τη χρήση threshold-based μηχανισμών είναι κυρίως η ταχύτητα και η ευκολία αξιολόγησης.

Τέτοια συστήματα μπορούν να υλοποιηθούν σε πλατφόρμες υλικού με περιορισμένη υπολογιστική ικανότητα και έχουν τη δυνατότητα να είναι πολύ ενεργειακά αποδοτικές. Ένα σημαντικό μειονέκτημα με τα συστήματα αυτά είναι ότι είναι δύσκολο να καθοριστεί ένα κατάλληλο όριο για όλους τους τύπους της πτώσης

και που παράλληλα δεν θα προκαλεί ψευδή συναγερμό κατά τη διάρκεια των ADLs. Επιπλέον, η κίνηση η δυναμική διαφέρει μεταξύ των ατόμων και το όριο δεν μπορεί να γενικευθεί

Έχουν αναπτυχθεί βέβαια διάφοροι συνδυαστικοί αλγόριθμοι κατωφλίου με στόχο τον περιορισμό των μειονεκτημάτων. Χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συνδυασμοί μέσων, μετρήσεων και διαφορετικών μεθοδολογιών, όπως συνδυασμοί χρήσης επιταχυνσιόμετρου και γυροσκοπίου, συνδυασμός άνω και κάτω κατωφλίων, συνδυασμοί μελέτης της επιτάχυνσης, της ταχύτητας, της γωνίας, της γωνιακής ταχύτητας, συνδυασμός άνω και κάτω κατωφλίων, καθώς και παραλλαγές των παραπάνω ( gravity weighted sum vector / differentiated sum vector, μελέτη της διακύμανσης  $\text{SumVector}_{\text{MAX}} - \text{SumVector}_{\text{MIN}}$ , μελέτη ενός μεγέθους διανυσματικά ή ανά άξονα x,y,z). Παρακάτω παρατίθενται σχετικοί συνδυασμοί που έχουν υλοποιηθεί σε άλλες ακαδημαϊκές εργασίες [3, 4] που καταδεικνούν τη σημασία ειδικά για τους αλγορίθμους κατωφλίου, αν και όχι μόνο γι' αυτούς, της επιλογής του μεγέθους προς εξέταση ή του κατάλληλου συνδυασμού μεγεθών.

$$A_{\text{SVM}}(i) = \sqrt{A_x^2(i) + A_y^2(i) + A_z^2(i)},$$

$$\theta(i) = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{A_y^2(i) + A_z^2(i)}}{A_x(i)} \right) \times \frac{180}{\pi},$$

$$A_{\text{DSVM}}(i) = \left( (A_x(i) - A_x(i-1))^2 + (A_y(i) - A_y(i-1))^2 + (A_z(i) - A_z(i-1))^2 \right)^{1/2},$$

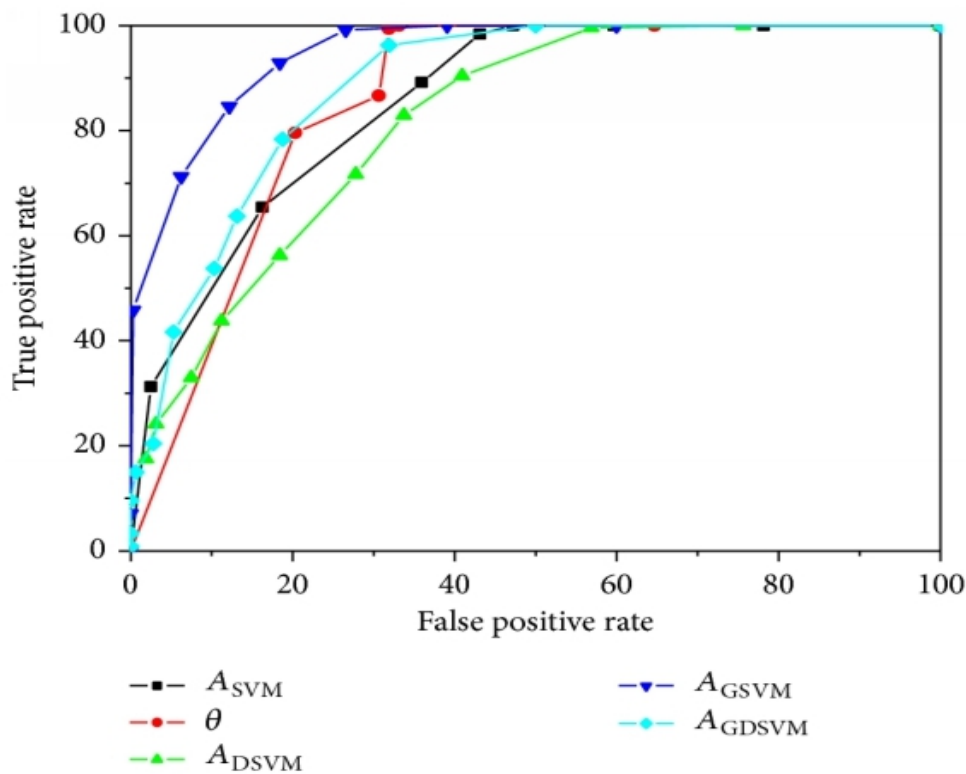
$$A_{\text{GSVM}}(i) = \frac{\theta(i)}{90} \times A_{\text{SVM}}(i),$$

$$A_{\text{GDSVM}}(i) = \frac{\theta(i)}{90} \times A_{\text{DSVM}}(i),$$

*Μαθηματικός τύπος 2.1 : Παραδείγματα μεγεθών προς μελέτη από αλγόριθμο κατωφλίου*

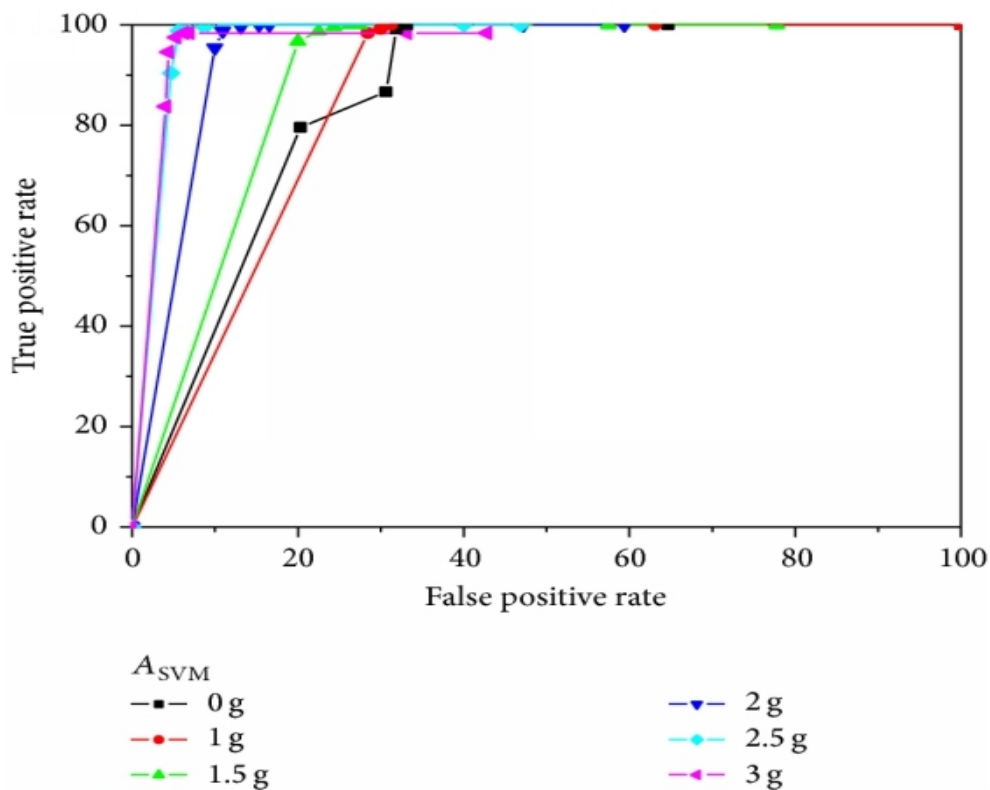
Όπου A η επιτάχυνση, SVM το μέτρο της, θ η γωνία της επιτάχυνσης ως προς το δάπεδο, DSVM το διαφορισμένο μέτρο, GSVM το gravity-weighted μετρο και GDSVM το gravity-weighted διαφορισμένο μέτρο.

Σε σχετική εργασία που υλοποιήθηκε φάνηκε εκ του αποτελέσματος ότι η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους ή συνδυασμού τους μπορεί να παράξει διαφορετικά αποτελέσματα, καλύτερα ή χειρότερα ανάλογα με το κατώφλι που του ορίζουμε και ανάλογα με τους παράγοντες στους οποίους εξάγουμε την αποδοτικότητα του αλγορίθμου, οι οποίοι επίσης μπορεί να διαφέρουν.



Εικόνα 2.2 : Αποτελέσματα απλού αλγορίθμου με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων για κάθε μέγεθος.

Η αποδοτικότητά στην συγκεκριμένη υλοποίηση κρίνεται βάση των true positive και false positive rate όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Η καλύτερη επιλογή στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το  $A_{GSVM}$  για κατώφλι 2.5g καθώς παρουσιάζει 92,92% sensitivity και 81,56% specificity.



Εικόνα 2.3 : Αποτελέσματα απλού αλγορίθμου κατοφλίου με την εφαρμογή διαφορετικών κατοφλίων για τον συνδυασμό των μεγεθών  $A_{SVM}$  και  $\theta$ .

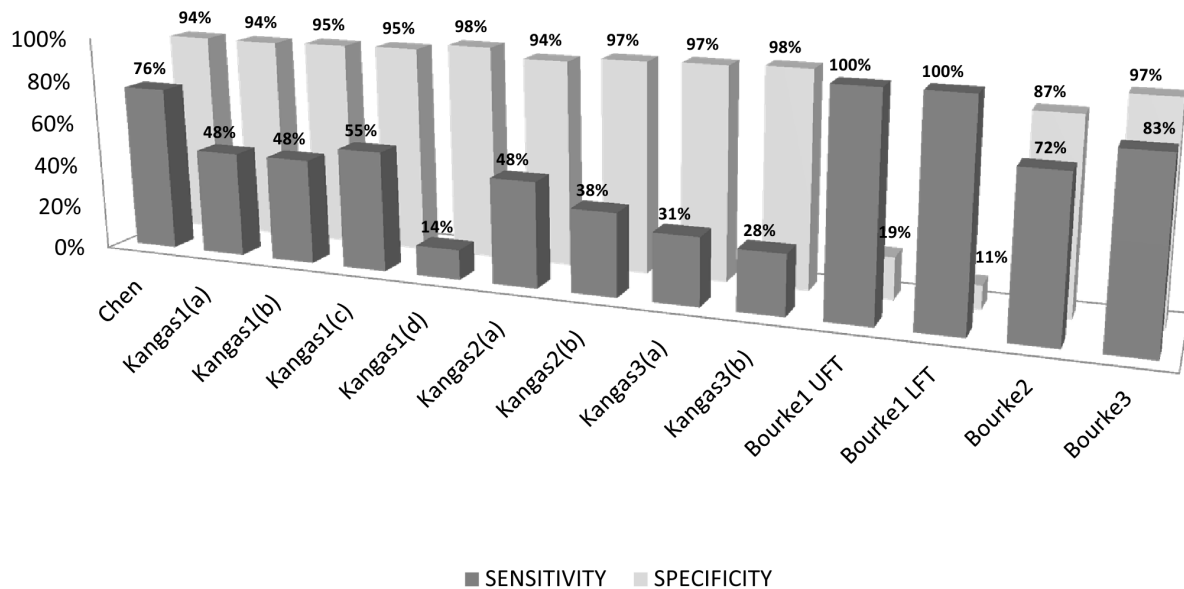
Παρατηρούμε επίσης ότι με την εφαρμογή συνδυαστικού αλγορίθμου τα αποτελέσματα μπορούν να βελτιωθούν ραγδαία, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Βέβαια η απόβελτίωση της απόδοσης των αλγορίθμων δεν μπορεί να γενικευθεί με απλουστευτικό τρόπο, απλά προσθέτοντας όλο και περισσότερους παράγοντες και συνδυασμούς στον αλγόριθμο. Αυτό μάλιστα μπορεί να λειτουργήσει και αρνητικά σε ορισμένες περιπτώσεις, καθώς η ανίχνευση ή μη πτώσης προκύπτει από συνεπαλήθευση των συνδυασμών η οποία δεν επιτυγχάνεται εύκολα λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε μεγέθους. Τέλος, σχετικά συμπεράσματα, στη βάση όσων αναφέρθηκαν, μπορούμε να εξάγουμε και από τον πίνακα και την εικόνα που ακολουθεί.



Authors	Parameters	Thresholds	Algorithm's rationale
<i>Chen et al.</i>	$SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ $orientation = A[t_0 - 1] \cdot A[t_0 + 2] \quad (1)$	<p>&gt;3 g</p> <p>Set arbitrarily based on empirical data (&gt;20°)</p>	IMPACT DETECTION + CHANGE IN ORIENTATION
<i>Kangas et al. (1a)</i>	$SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ $Posture = A_{x,LPF} \quad (2)$	<p>&gt;2 g</p> <p>&lt;0.5 g</p>	IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (1b)</i>	$SV_D = \sqrt{A_{x,HPF}^2 + A_{y,HPF}^2 + A_{z,HPF}^2} \quad (3)$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&gt;1.7 g</p> <p>&lt;0.5 g</p>	IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (1c)</i>	$SV_{MaxMin}(k) = \max(SV(k:k+0.1*fs)) - \min(SV(k:k+0.1*fs))$ $k = 1, \dots, n - 0.1*fs$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&gt;2 g</p> <p>&lt;0.5 g</p>	IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (1d)</i>	$X_2 = \frac{SV^2 - SV_D^2 - G}{2G} \quad (G = 1g)$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&gt;1.5 g</p> <p>&lt;0.5g</p>	IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (2a)</i>	$SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (\text{start of fall})$ $SV$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&lt;0.6 g</p> <p>&gt;2 g</p> <p>&lt;0.5g</p>	START OF FALL + IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (2b)</i>	$SV \quad (\text{start of fall})$ $X_2$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&lt;0.6 g</p> <p>&gt;1.5 g</p> <p>&lt;0.5g</p>	START OF FALL + IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (3a)</i>	$SV \quad (\text{start of fall})$ $v_0 = \int_{t_{start\ fall}}^{t_{impact}} SV(\tau) d\tau$ $SV$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&lt;0.6 g</p> <p>&gt;0.7 m/s</p> <p>&gt;2 g</p> <p>&lt;0.5g</p>	START OF FALL + VELOCITY + IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Kangas et al. (3b)</i>	$SV \quad (\text{start of fall})$ $v_0 = \int_{t_{start\ fall}}^{t_{impact}} SV(\tau) d\tau$ $X_2$ $Posture = A_{x,LPF}$	<p>&lt;0.6 g</p> <p>&gt;0.7 m/s</p> <p>&gt;1.5 g</p> <p>&lt;0.5g</p>	START OF FALL + VELOCITY + IMPACT DETECTION + POSTURE MONITORING
<i>Bourke et al. (1(a))</i>	$SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$	>UFT 1.79 g	IMPACT DETECTION
<i>Bourke et al. (1(b))</i>	$SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$	<LFT 0.73 g	IMPACT DETECTION
<i>Bourke et al. (2)</i>	$SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ $orientation = A_x$	<p>&gt;1.79 g</p> <p>-0.5 g &lt; A_x &lt; 0.5 g</p>	IMPACT DETECTION + POSTURE DETECTION
<i>Bourke et al. (3)</i>	$v_0 = \int_{t_{start\ fall}}^{t_{impact}} SV(\tau) d\tau$ $SV = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ $\vartheta(t) = \cos^{-1} \left( \frac{g_{SEG}(t) \cdot g_{REF}}{ g_{SEG}(t)  \cdot  g_{REF} } \right) \frac{180}{\pi}$	<p>&lt;-0.7 m/s</p> <p>&gt;UFT 2.8 g</p> <p>&lt;LFT 0.65 g</p> <p>60°</p>	VELOCITY + IMPACT DETECTION + POSTURE

Πίνακας 2.3 : Διάφοροι αλγόριθμοι κατωφλίου

<sup>(1)</sup>An angle of change can be estimated using the dot product of the acceleration vectors before a fall and after, where the vectors are from averaging over 1-second windows. <sup>(2-3)</sup>Accelerometric data were low-pass (LPF) or high-pass (HPF) filtered (  $f_c=0.25\text{ Hz}$  ) with a digital second order Butterworth filter. SV is the sum vector



Εικόνα 2.4 : Sensitivity and Specificity σε chart

### 2.2.2.2 Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης – Machine learning

Μηχανική μάθηση είναι υποπεδίο της επιστήμης των υπολογιστών που αναπτύχθηκε από τη μελέτη της αναγνώρισης προτύπων και της υπολογιστικής θεωρίας μάθησης στην τεχνητή νοημοσύνη. Το 1959, ο Άρθουρ Σάμουελ ορίζει τη μηχανική μάθηση ως "Πεδίο μελέτης που δίνει στους υπολογιστές την ικανότητα να μαθαίνουν, χωρίς να έχουν ρητά προγραμματιστεί". Η μηχανική μάθηση διερευνά τη μελέτη και την κατασκευή αλγορίθμων που μπορούν να μαθαίνουν από τα δεδομένα και να κάνουν προβλέψεις σχετικά με αυτά. Τέτοιοι αλγόριθμοι λειτουργούν κατασκευάζοντας μοντέλα από πειραματικά δεδομένα, προκειμένου να κάνουν προβλέψεις βασισόμενες στα δεδομένα ή να εξάγουν αποφάσεις που εκφράζονται ως το αποτέλεσμα.

Η μηχανική μάθηση είναι στενά συνδεδεμένη και συχνά συγχέεται με υπολογιστική στατιστική, ένας κλάδος, που επίσης επικεντρώνεται στην πρόβλεψη μέσω της χρήσης των υπολογιστών. Έχει ισχυρούς δεσμούς με την μαθηματική

βελτιστοποίηση, η οποία παρέχει μεθόδους, τη θεωρία και τομείς εφαρμογής. Η Μηχανική μάθηση εφαρμόζεται σε μια σειρά από υπολογιστικές εργασίες, όπου τόσο ο σχεδιασμός όσο και ο ρητός προγραμματισμός των αλγορίθμων είναι ανέφικτος. Παραδείγματα εφαρμογών αποτελούν τα φίλτρα spam (spam filtering), η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων (OCR), οι μηχανές αναζήτησης και η υπολογιστική όραση.

Οι εργασίες μηχανικής μάθησης συνήθως ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τη φύση του εκπαιδευτικού «σήματος» ή την «ανατροφοδότηση» που είναι διαθέσιμα σε ένα σύστημα εκμάθησης. Αυτές είναι:

- Επιτηρούμενη μάθηση (αλλιώς επιβλεπόμενη μάθηση ή μάθηση με επίβλεψη - supervised learning): Το υπολογιστικό πρόγραμμα δέχεται τις παραδειγματικές εισόδους καθώς και τα επιθυμητά αποτελέσματα από έναν «δάσκαλο», και ο στόχος είναι να μάθει έναν γενικό κανόνα προκειμένου να αντιστοιχίσει τις εισόδους με τα αποτελέσματα.
- Μη επιτηρούμενη μάθηση (αλλιώς μάθηση χωρίς επίβλεψη - unsupervised learning): Χωρίς να παρέχεται κάποια εμπειρία στον αλγόριθμο μάθησης, πρέπει να βρει την δομή των δεδομένων εισόδου. Η μη επιτηρούμενη μάθηση μπορεί να είναι αυτοσκοπός (ανακαλύπτοντας κρυμμένα μοτίβα σε δεδομένα) ή μέσο για ένα τέλος (χαρακτηριστικό της μάθησης).
- Ενισχυτική μάθηση: Ένα πρόγραμμα υπολογιστή αλληλεπιδρά με ένα δυναμικό περιβάλλον στο οποίο πρέπει να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος (όπως η οδήγηση ενός οχήματος), χωρίς κάποιος δάσκαλος να του λέει ρητά αν έχει φτάσει κοντά στο στόχο του. Ένα άλλο παράδειγμα είναι να μάθει να παίζει ένα παιχνίδι εναντίον κάποιου αντιπάλου.

Στη μέθοδο εκμάθησης μηχανών, διάφοροι τύποι πτώσης και δραστηριότητας της καθημερινής ζωής (ADL) σχεδιάζονται από έναν αλγόριθμο μάθησης και στη συνέχεια ένα γεγονός ταξινομείται ως πτώση ή ADL με την εφαρμογή του σε έναν αλγόριθμο αξιολόγησης. Χαρακτηριστικοί οι μέθοδοι μάθησης μηχανής που περιλαμβάνουν μηχανή φορέα υποστήριξης (SVM), Gaussian κατανομή της

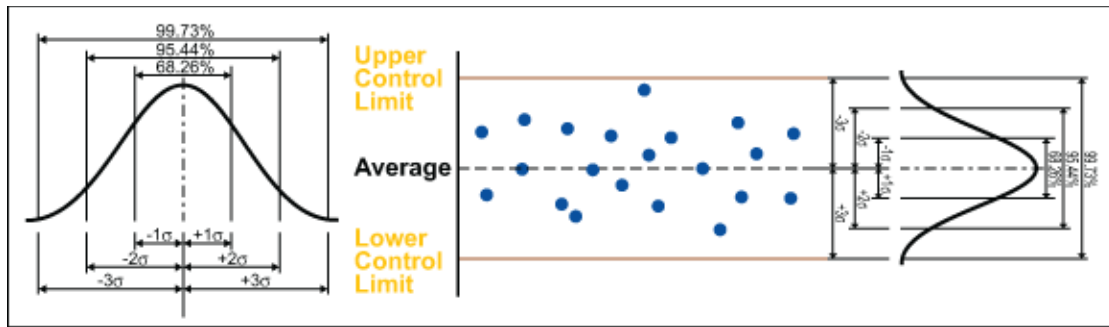
συσσωρευμένης γνώσης, δέντρο απόφασης και κρυφό μοντέλο Markov (HMM). Η μέθοδος εκμάθησης μηχανών είναι πιο εξελιγμένη και οδηγεί σε υψηλότερα ποσοστά ανίχνευσης με ακρίβεια άνω του 95%. Δυστυχώς, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί η προσέγγιση της μηχανικής μάθησης λόγω των μεγάλων απαιτήσεων υπολογισμών και πόρων. Για περαιτέρω εμβάθυνση στους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης μπορούμε να ανατρέξουμε στη σχετική βιβλιογραφία [5].

### **2.2.2.3 Στατιστικοί Αλγόριθμοι – Control Charts**

Τα control charts είναι εργαλεία ελέγχου στατιστικής διαδικασίας που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει εάν μια διαδικασία βρίσκεται σε κατάσταση ελέγχου. Όταν μια διαδικασία είναι σταθερή και υπό έλεγχο, εμφανίζει μια συνηθισμένη μεταβολή, μεταβολή που είναι εγγενής στη διαδικασία. Μια διαδικασία είναι υπό έλεγχο όταν βάση της εμπειρίας του παρελθόντος μπορεί να προβλεφθεί η εξέλιξή της (εντός ορίων) στο μέλλον. Εάν η διαδικασία είναι ασταθής, η διαδικασία παρουσιάζει ειδική, μη τυχαία παραλλαγή από εξωτερικούς παράγοντες [6].

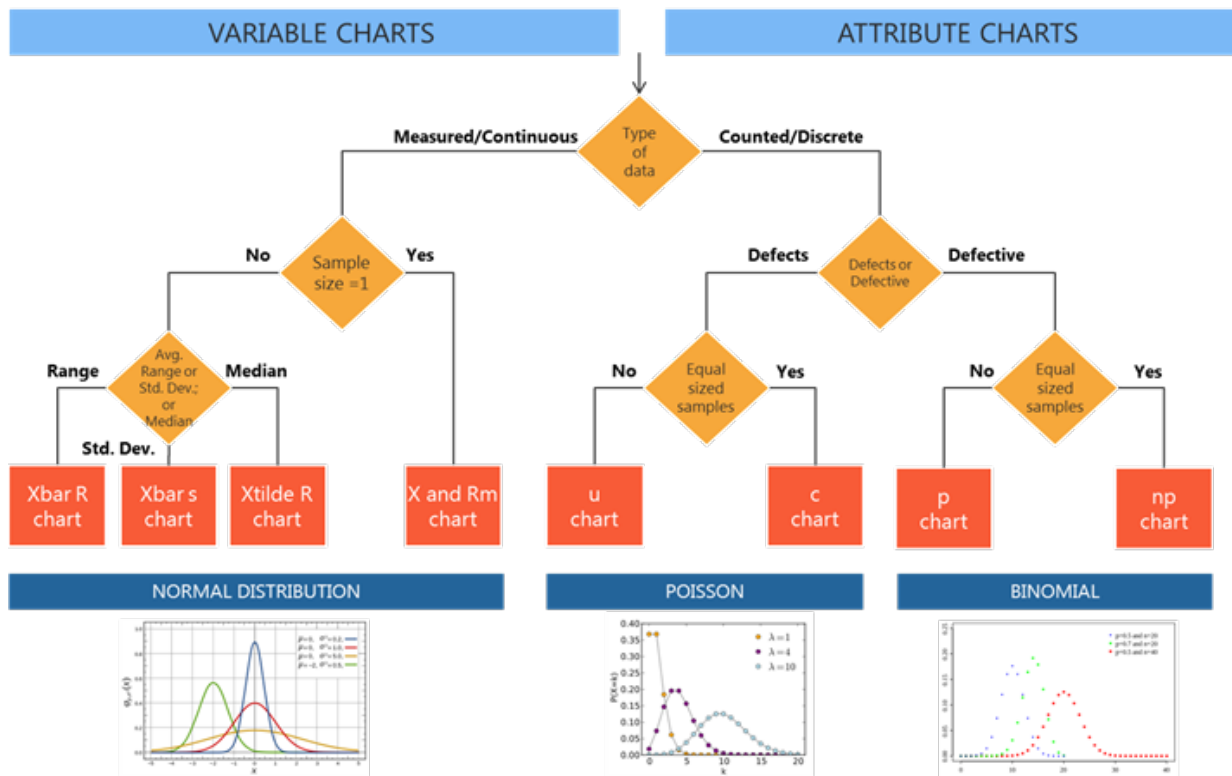
Γενικά, το διάγραμμα περιέχει μια κεντρική γραμμή που αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή για τη “in-order” διαδικασία. Δύο άλλες οριζόντιες γραμμές, που ονομάζονται ανώτερο όριο ελέγχου (UCL) και το κατώτερο όριο ελέγχου (LCL), εμφανίζονται επίσης στο διάγραμμα. Αυτά τα όρια ελέγχου επιλέγονται έτσι ώστε σχεδόν όλα τα σημεία δεδομένων να εμπίπτουν εντός αυτών των ορίων, εφόσον η διαδικασία παραμένει σε έλεγχο. Τα όρια ορίζουν αν η διαδικασία είναι εντός ή εκτός ελέγχου και συνδέονται συνήθως με την συνάρτηση πιθανότητας.

Για παράδειγμα, οι κανόνες ελέγχου μπορεί να εκμεταλλεύονται την κανονική κατανομή στην οποία το 68,26% όλων των δεδομένων είναι εντός συν ή πλην μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο, το 95,44% όλων των δεδομένων είναι εντός συν ή πλην δύο τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο και το 99,73% να είναι εντός συν ή πλην τριών τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα θα πρέπει “κανονικά” διανεμημένα όταν χρησιμοποιούνται γραφήματα ελέγχου ή αλλιώς το γράφημα μπορεί να σηματοδοτεί έναν απρόσμενα υψηλό αριθμό ψευδών συναγεργμών.



Εικόνα 2.5 : Σχέση του πίνακα ελέγχου με την καμπύλη κανονικής κατανομής

Οι κανόνες ελέγχου και τα όρια μπορούν βέβαια να μην ακολουθούν την κανονική κατανομή και να ορίζονται με βάση ειδικές συνθήκες και συγκεκριμένες πιθανότητες σφάλματος. Επίσης, υπάρχουν πολλά μοντέλα γραφημάτων ελέγχου με διαφορετικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα το καθένα ανάλογα με την χρήση τους ( μέγεθος δείγματος, συνεχείς ή διακριτές τιμές, σκοπός της μελέτης, μικρές ή μεγάλες μετατοπίσεις).



Εικόνα 2.6 : Επιλογή κατάλληλου control chart

# 3

## *Τεχνολογικό υπόβαθρο και*

### *Hardware*

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση της διπλωματικής καθώς και τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του Hardware που χρησιμοποιήθηκε.

#### *3.1 Τεχνολογικό υπόβαθρο*

##### *3.1.1 MongoDB – json files*

Το MongoDB είναι ένα ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα πρόγραμμα βάσης δεδομένων. Κατηγοριοποιημένο ως πρόγραμμα βάσης δεδομένων NoSQL, το MongoDB χρησιμοποιεί έγγραφα τύπου JSON με σχηματικά.

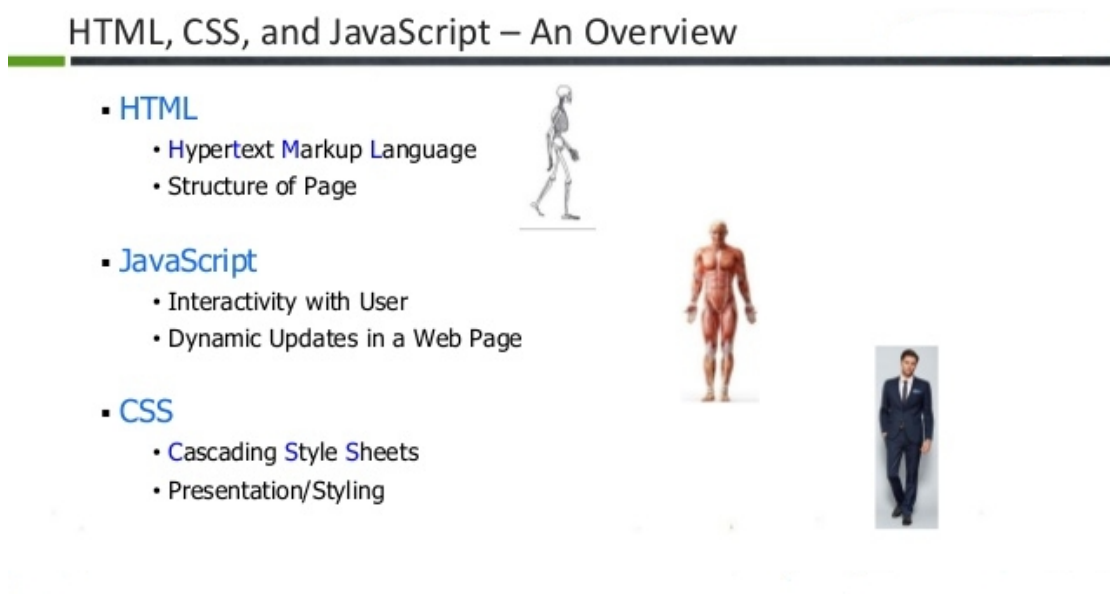
Αποθηκεύει δεδομένα σε ευέλικτα έγγραφα τύπου JSON που σημαίνει ότι τα πεδία μπορούν να διαφέρουν από έγγραφο σε έγγραφο και ότι η δομή των δεδομένων μπορεί να αλλάξει με τον καιρό. Εν ολίγοις προσφέρει δυναμικότητα ως προς τα attributes των στοιχείων σε αντίθεση με τη στατική SQL.

Στην παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιηθεί η υπηρεσία “Mongoose” ως μια βιβλιοθήκη για την Μοντελοποίηση Δεδομένων (ODM) για τα MongoDB και Node.js. Διαχειρίζεται τις σχέσεις μεταξύ των δεδομένων, παρέχει επικύρωση

σχήματος και χρησιμοποιείται για τη μετάφραση μεταξύ αντικειμένων σε κώδικα και την αναπαράσταση αυτών των αντικειμένων στο MongoDB.

### 3.1.2 Javascript – HTML – CSS

Η ιστοσελίδα που βλέπουμε στο πρόγραμμα περιήγησης μπορεί να είναι ένας συνδυασμός δομής, στυλ και αλληλεπίδρασης. Αυτές οι εργασίες πραγματοποιούνται από 3 διαφορετικές τεχνολογίες, HTML, Javascript και CSS, τις οποίες το πρόγραμμα περιήγησης ξέρει να ερμηνεύει.



Εικόνα 3.1 : Οι 3 τεχνολογίες που δημιουργούν ένα site

- Η γλώσσα HTML (HyperTextMarkupLanguage - Γλώσσα Σήμανσης Υπερκειμένου) καθορίζει τα βασικά δομικά στοιχεία των ιστοσελίδων και “ταξινομεί” το περιεχόμενο σε διαφορετικούς δομικούς τύπους, όπως παραγράφους, μπλοκ, λίστες, εικόνες, πίνακες, φόρμες, σχόλια κλπ.

- Η CSS (Cascading Style Sheets - Διαδοχικά Φύλλα Ύφους) ανήκει στην κατηγορία των γλωσσών φύλλων ύφους που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της εμφάνισης ενός εγγράφου που έχει γραφτεί με μια γλώσσα σήμανσης(όπως η HTML) και γενικότερα ενός ιστοτόπου. Η CSS είναι μια γλώσσα υπολογιστή προορισμένη να αναπτύσσει στιλιστικά μια ιστοσελίδα δηλαδή να διαμορφώνει περισσότερα

χαρακτηριστικά, χρώματα, στοίχιση και δίνει περισσότερες δυνατότητες σε σχέση με την html και πολλές φορές αυτό να γίνεται σε συνάρτηση με το μέσο στο οποίο περιηγούμαστε (desktop, κινητό, tablet). Για μια όμορφη και καλοσχεδιασμένη ιστοσελίδα η χρήση της CSS κρίνεται ως απαραίτητη.

- Η JavaScript αναφέρει στο πρόγραμμα περιήγησης τον τρόπο αλλαγής της ιστοσελίδας ως απάντηση στα συμβάντα που συμβαίνουν (όπως κάνοντας κλικ σε κάτι ή αλλάζοντας την τιμή σε μια είσοδο φόρμας).

Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει χρήση του npm, ο οποίος είναι ο προεπιλεγμένος διαχειριστής πακέτων για το περιβάλλον εκτέλεσης JavaScript Node.js. Αποτελείται από μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων δημόσιων και ιδιωτικών-επί πληρωμή πακέτων/plugin-ins, που ονομάζεται μητρώο npm. Τα πακέτα κώδικα που προσφέρονται μπορούν να συναρμολογηθούν από τους προγραμματιστές με ισχυρούς νέους τρόπους.

### **3.1.3 Typescript**

Η TypeScript είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα και πρόκειται για συντακτικό υπερσύνολο της JavaScript Έχει σχεδιαστεί για την ανάπτυξη μεγάλων εφαρμογών και δεδομένου ότι είναι ένα υπερσύνολο της JavaScript, τα υπάρχοντα προγράμματα JavaScript είναι επίσης έγκυρα προγράμματα TypeScript. Το TypeScript μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εφαρμογών JavaScript για εκτέλεση τόσο από την πλευρά του πελάτη όσο και από την πλευρά του διακομιστή. Πλεονέκτημά της είναι ότι παρέχει ένα πλουσιότερο περιβάλλον για την επισήμανση κοινών σφαλμάτων καθώς πληκτρολογείται ο κώδικας;. Προσθέτει υποστήριξη για λειτουργίες όπως classes, modules και συντακτική για arrow functions. Για ένα μεγάλο έργο JavaScript, η υιοθέτηση του TypeScript θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ισχυρό λογισμικό.

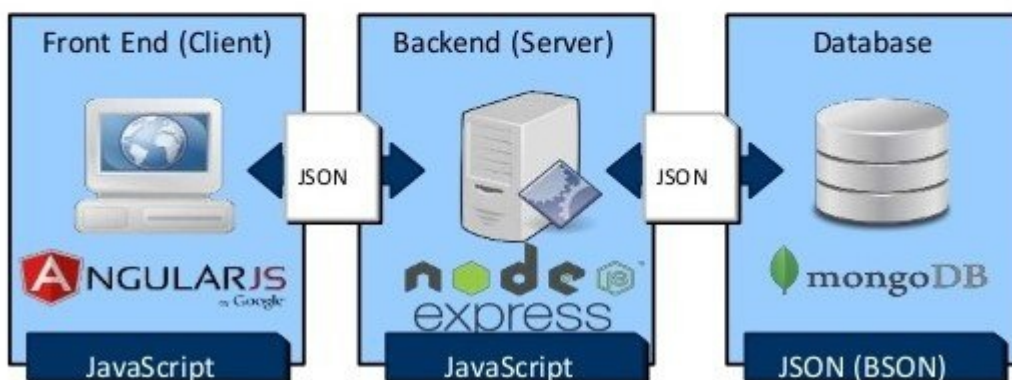


### 3.1.4 MEAN (mongo, express, angular, node js)

Το MEAN είναι μια στοίβα λογισμικού JavaScript για την κατασκευή δυναμικών ιστοτόπων και εφαρμογών ιστού [7]. Μια στοίβα λογισμικού είναι ένα σύνολο υποσυστημάτων λογισμικού ή συστατικών στοιχείων που απαιτούνται για τη δημιουργία μιας πλήρους πλατφόρμας, ώστε να μην απαιτείται πρόσθετο λογισμικό για την υποστήριξη εφαρμογών. Οι εφαρμογές λέγεται ότι "τρέχουν" ή "τρέχουν στην κορυφή" της πλατφόρμας που προκύπτει. Τακτικά, τα στοιχεία μιας στοίβας λογισμικού αναπτύσσονται από διαφορετικούς προγραμματιστές ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

#### What is MEAN Stack?

- > JavaScript is used in all tiers.
- > JSON is the primary format to exchange data.



Εικόνα 3.2 : Το MEAN Stack

Ορισμένα εξαρτήματα / υποσυστήματα ενός συνολικού συστήματος επιλέγονται από κοινού αρκετά συχνά ώστε το συγκεκριμένο σύνολο να αναφέρεται με ένα όνομα που αντιπροσωπεύει το σύνολο. Τυπικά, το όνομα είναι ένα ακρωνύμιο που αντιπροσωπεύει τα επιμέρους συστατικά.

- Η MongoDB είναι η κορυφαία βάση δεδομένων NoSQL όπως περιγράφηκε παραπάνω
- Express είναι ένα ευέλικτο πλαίσιο web εφαρμογής που "τρέχει" στο node.js, το οποίο παρέχει ένα ισχυρό σύνολο χαρακτηριστικών για την κατασκευή ενιαίων και πολλαπλών σελίδων και υβριδικών εφαρμογών ιστού

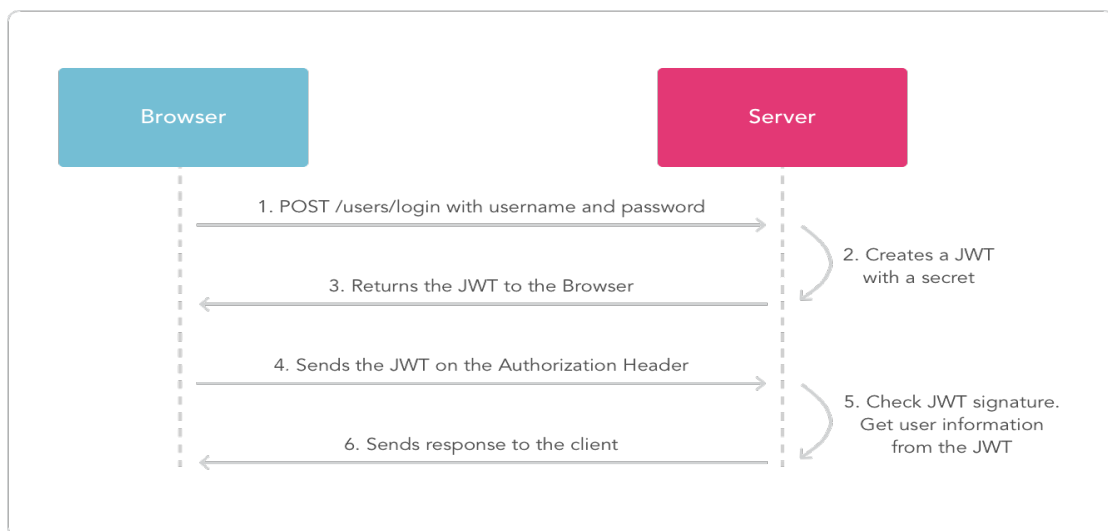
- Το AngularJS μας επιτρέπει να επεκτείνουμε το λεξιλόγιο HTML για την εφαρμογή σας. Το περιβάλλον που προκύπτει είναι εξαιρετικά εκφραστικό, ευανάγνωστο και γρήγορο.

- Το Node.js είναι ένα περιβάλλον εκτέλεσης για εφαρμογές που βασίζονται σε συμβάντα στο server-side και εφαρμογές δικτύωσης. Είναι ιδανικό για εύκολη δημιουργία γρήγορων, κλιμακούμενων εφαρμογών δικτύου.

### 3.1.5 JWT Tokens

Το JSON Web Token (JWT) είναι ένα ανοικτό πρότυπο βασισμένο σε JSON(RFC 7519) που ορίζει έναν συμπαγή και αυτόνομο τρόπο για την ασφαλή μετάδοση πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών σημείων/μερών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να επαληθευτούν και να κριθούν αξιόπιστες επειδή υπογράφονται ψηφιακά. Τα JWT tokens μπορούν να υπογραφούν χρησιμοποιώντας ένα μυστικό (με τον αλγόριθμο HMAC) ή ένα ζεύγος δημόσιου / ιδιωτικού κλειδιού χρησιμοποιώντας RSA ή ECDSA ή ακόμα και να κρυπτογραφηθούν.

Τα υπογεγραμμένα tokens μπορούν να επαληθεύσουν την ακεραιότητα των ισχυρισμών που περιέχονται σε αυτά, ενώ τα κρυπτογραφημένα tokens αποκρύπτουν αυτές τις αξιώσεις από άλλα μέρη. Όταν υπογράφονται tokens χρησιμοποιώντας ζεύγη δημόσιου / ιδιωτικού κλειδιού, η υπογραφή βεβαιώνει επίσης ότι μόνο το μέρος που κατέχει το ιδιωτικό κλειδί είναι εκείνο που το υπέγραψε.



Εικόνα 3.3 : Post request με ύπαρξη JWT Tokens

Για παράδειγμα, ένας διακομιστής θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα διακριτικό το οποίο έχει τον ισχυρισμό "συνδεδεμένος ως διαχειριστής" και να το παρέχει σε έναν πελάτη. Ο πελάτης θα μπορούσε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει αυτό το διακριτικό για να αποδείξει ότι έχει συνδεθεί ως διαχειριστής. Τα tokens υπογράφονται από το ιδιωτικό κλειδί ενός μέρους (συνήθως του διακομιστή), έτσι ώστε και τα δύο μέρη (το άλλο έχει ήδη στην κατοχή του, με κάποιο κατάλληλο και αξιόπιστο μέσο, το αντίστοιχο δημόσιο κλειδί) είναι σε θέση να επαληθεύσουν ότι το σήμα είναι νόμιμο. Τα tokens είναι σχεδιασμένα να είναι συμπαγή, ασφαλή για URL, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά στο περιθώριο ενιαίας σύνδεσης του προγράμματος περιήγησης ιστού (Single Sign On). Οι ισχυρισμοί JWT μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνήθως για να μεταβιβάσουν την ταυτότητα των επικυρωμένων χρηστών μεταξύ ενός παροχέα ταυτότητας και ενός παρόχου υπηρεσιών ή οποιουδήποτε άλλου τύπου απαιτήσεων.

### 3.1.6 bcrypt

Το bcrypt είναι μια λειτουργία hashing("εξαφάνισης") κωδικού πρόσβασης. Η επαλήθευση κωδικού πρόσβασης βασίζεται συνήθως σε κρυπτογραφικές αντισταθμίσεις. Η αποθήκευση όλων των κωδικών πρόσβασης των χρηστών ως cleartext μπορεί να οδηγήσει σε τεράστια παραβίαση ασφαλείας, εάν διαταραχθεί το αρχείο κωδικού πρόσβασης. Ένας τρόπος για να μειωθεί αυτός ο κίνδυνος είναι να αποθηκεύσετε μόνο την καταγραφή του hash κάθε κωδικού πρόσβασης. Για τον έλεγχο ταυτότητας ενός χρήστη, ο κωδικός πρόσβασης που παρουσιάζεται από το χρήστη υφίσταται hashing και συγκρίνεται με τον αποθηκευμένο hash. Απαιτείται μια μέθοδος επαναφοράς κωδικού πρόσβασης όταν εκτελείται η "εξαφάνιση" κωδικού πρόσβασης. οι αρχικοί κωδικοί πρόσβασης δεν μπορούν να υπολογιστούν εκ νέου από την αποθηκευμένη τιμή hash. Πέρα από το να ενσωματώνει το salt (τυχαία δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετη είσοδος σε μια λειτουργία μονής κατεύθυνσης που hashάει δεδομένα) για να προστατεύσει από επιθέσεις τραπέζι ουράνιου τόξου, το bcrypt είναι μια προσαρμοστική λειτουργία. Με την

πάροδο του χρόνου, ο αριθμός επαναλήψεων μπορεί να αυξηθεί για να γίνει πιο αργός και έτσι παραμένει ανθεκτικός σε brute-force επιθέσεις ακόμη και με αυξανόμενη δύναμη υπολογισμού.

### **3.1.7 Bluetooth Low Energy (BLE)**

Η οικογένεια πρωτοκόλλων Bluetooth είναι τα σπουδαιότερα πρότυπα για μικρής τάξης μεγέθους ασύρματα δίκτυα. Από φυσική άποψη το Bluetooth λειτουργεί περίπου στα 2,4 GHz, κάνει χρήση της μεθόδου διασποράς φάσματος FHSS με την τακτική εναλλαγή της συχνότητας να καθορίζεται ψευδοτυχαία από έναν κεντρικό κόμβο, τον κόμβο Master, και προδιαγράφει τρία επίπεδα ισχύος της εκπομπής από τα οποία εξαρτάται και η εμβέλεια επικοινωνίας (πάντα μικρότερη των 10 μέτρων σε PAN). Θεωρούνται παγκοσμίως χρήσιμα για χαμηλού κόστους ασύρματες συνδέσεις μεταξύ κινητών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων, άλλων φορητών φορητών συσκευών και συνδεσιμότητας στο Internet. Το Bluetooth Low Energy (συνοπτικά BLE) είναι μια ασύρματη τεχνολογία προσωπικών δικτυακών τόπων σχεδιασμένη με στόχο να προσφέρει σημαντικά μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και κόστος ενώ διατηρεί ένα παρόμοιο εύρος επικοινωνίας.

Αλληλεπιδρούμε με μια περιφερειακή συσκευή BLE χρησιμοποιώντας το BlueZ. Οι ενότητες του πυρήνα BlueZ, οι βιβλιοθήκες και η βοηθητική εφαρμογή παρέχουν υποστήριξη για τα βασικά επίπεδα και πρωτόκολλα Bluetooth. Χαρακτηριστικό το πρόγραμμα gatttool που μας παρέχει για να ανακαλύψουμε, να διαβάσουμε και να γράψουμε τα χαρακτηριστικά με το gatttool.

### 3.1.8 Cloud server (διακομιστές σύννεφων)

Ένας cloud server είναι μια ισχυρή φυσική ή εικονική υποδομή που εκτελεί εφαρμογές και πληροφορίες επεξεργασίας και αποθήκευσης. Οι διακομιστές σύννεφων δημιουργούνται χρησιμοποιώντας λογισμικό εικονικοποίησης για να διαιρέσουν ένα φυσικό (κενό μεταλλικό) διακομιστή(server) σε πολλούς εικονικούς διακομιστές(VMs). Οι οργανισμοί χρησιμοποιούν ένα μοντέλο υποδομής ως υπηρεσία ( infrastructure-as-a-service - IaaS) για να επεξεργάζονται φορτία εργασίας και να αποθηκεύουν πληροφορίες. Μπορούν να έχουν πρόσβαση σε εικονικές λειτουργίες διακομιστή εξ αποστάσεως μέσω μιας διαδικτυακής διασύνδεσης.

Προσφέρουν μεγάλα οφέλη σε σχέση με τις παραδοσιακές επιλογές των κοινόχρηστων ή dedicated servers. Από ορισμένες απόψεις οι διακομιστές cloud λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως και οι φυσικοί εξυπηρετητές, αλλά οι λειτουργίες που παρέχουν μπορούν να είναι πολύ διαφορετικές. Όταν επιλέγετε τη φιλοξενία cloud, οι πελάτες εκμισθώνουν χώρο εικονικού διακομιστή αντί να νοικιάζουν ή να αγοράζουν φυσικούς διακομιστές. Είναι επίσης μόνο λίγο πιο ακριβοί από τους VPS servers(Virtual Private Servers).



Εικόνα 3.4 : 4 διαφορετικές υπηρεσίες Hosting

### 3.1.9 Python

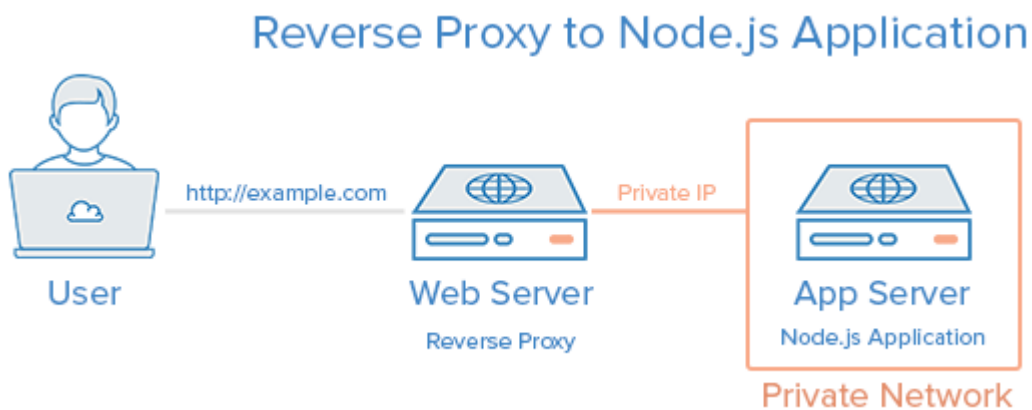
Η Python είναι μια υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού. Διακρίνεται για την ταχύτητα εκμάθησης της και λόγω του ότι έχει πολλές βιβλιοθήκες που διευκολύνουν ιδιαίτερα αρκετές συνηθισμένες εργασίες. Οι διερμηνευτές της Python είναι διαθέσιμοι για εγκατάσταση σε πολλά λειτουργικά συστήματα, επιτρέποντας στην Python την εκτέλεση κώδικα σε ευρεία γκάμα συστημάτων. Χαρακτηριστική η χρήση της στο λειτουργικό Raspbian που χρησιμοποιείται από τα Raspberry-pi. Η Python διαθέτει αυτόματη διαχείριση μνήμης. Υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένου του αντικειμενοστραφούς, επιτακτικού, λειτουργικού και διαδικαστικού, και διαθέτει μια μεγάλη και περιεκτική τυποποιημένη βιβλιοθήκη

### 3.1.10 C

Είναι μια διαδικαστική γλώσσα προγραμματισμού γενικής χρήσης. Έχει δυνατότητες δομημένου προγραμματισμού, ενώ, ο στατικός ορισμός του τύπου των μεταβλητών που επιβάλλει, προλαμβάνει πολλά σφάλματα κατά την χρήση τους. Στην πραγματικότητα είναι η γλώσσα που είναι πιο κοντά στο hardware. Ο σχεδιασμός της περιλαμβάνει δομές που μεταφράζονται αποδοτικά σε τυπικές εντολές μηχανής (machine instructions) και εξ αιτίας αυτού χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές που παλιότερα γράφονταν σε συμβολική γλώσσα (assembly language). Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό της, που έχει σαν συνέπεια και την αυξημένη ταχύτητα εκτέλεσης των εφαρμογών που γράφονται σε αυτή, καθώς και το γεγονός ότι είναι διαθέσιμη στα περισσότερα σημερινά λειτουργικά συστήματα, συνέβαλε κατά πολύ στην καθιέρωση της και την χρήση της σε μικροεπεξεργαστές, για την ανάπτυξη λειτουργικών συστημάτων, και λοιπών προγραμμάτων συστήματος (system software), αλλά και απλών εφαρμογών.

### 3.1.11 Εξυπηρετητής Apache ως reverse proxy server

Ο Apache είναι ένας εξυπηρετητής του παγκοσμίου ιστού. Όποτε ένας χρήστης επισκέπτεται έναν ιστότοπο το πρόγραμμα πλοήγησης (browser) επικοινωνεί με έναν διακομιστή server μέσω του πρωτοκόλλου http, ο οποίος παράγει τις ιστοσελίδες και τις αποστέλλει στο πρόγραμμα πλοήγησης. Ο Apache μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως reverse proxy server και να λειτουργήσει ως ο διακομιστής μεσολάβησης που υπάρχει πριν από κάποιο server, στη συγκεκριμένη περίπτωση του node.js . Ο αντίστροφος διακομιστής μεσολάβησης βελτιώνει την ταχύτητα πλοήγησης σε έναν ιστότοπο, μειώνει την κίνηση του δικτύου προς αυτόν και προσφέρει επιπλέον προστασία προς το server.



Εικόνα 3.5 : Reverse proxy server του Node.js Application

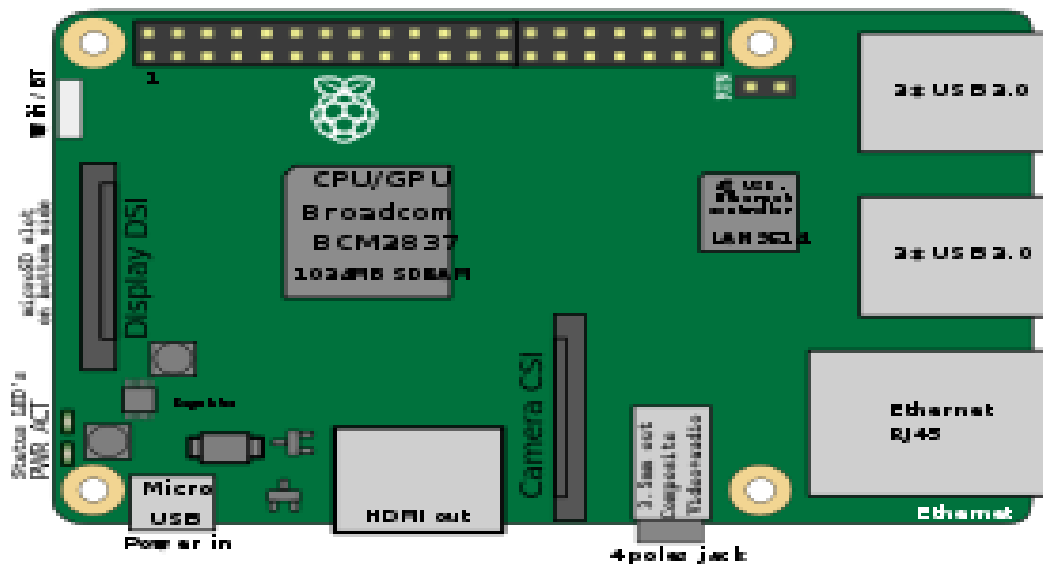
## 3.2 *Hardware*

### 3.2.1 **Raspberry-pi**

Τα Raspberry Pi είναι μια σειρά μικρών υπολογιστών. Ένα Raspberry Pi είναι ένας πολύ μικρός και πολύ φτηνός υπολογιστής. Είναι ένας υπολογιστής "ενιαίας πλακέτας", δηλαδή είναι απλός με μόνο ένα κύκλωμα. Έχει σχετικά μεγάλη υπολογιστική ικανότητα και μικρή κατανάλωση ενέργειας οπότε χρησιμεύει για διάφορες υποστηρικτικές λειτουργίες ως μέρος συνολικότερων συστημάτων ή και αυτόνομα, συνήθως, για "εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Αρκετές γενιές Raspberry Pis έχουν κυκλοφορήσει. Όλα τα μοντέλα διαθέτουν σύστημα Broadcom σε chip (SoC) με ενσωματωμένη κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) συμβατή με ARM και μονάδα επεξεργασίας γραφικών on-chip (GPU). Η ταχύτητα του επεξεργαστή κυμαίνεται από 700 MHz έως 1,4 GHz για το μοντέλο Pi 3 Model B+. Η εσωτερική μνήμη κυμαίνεται από 256 MB έως 1 GB RAM. Οι κάρτες Secure Digital (SD) χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του λειτουργικού συστήματος και της μνήμης προγραμμάτων σε μεγέθη SDHC ή MicroSDHC. Οι πίνακες διαθέτουν μία έως τέσσερις θύρες USB. Για την έξοδο βίντεο, υποστηρίζονται HDMI και σύνθετο βίντεο, με μια τυπική υποδοχή phono 3,5 mm για έξοδο ήχου. Η έξοδος χαμηλότερου επιπέδου παρέχεται από έναν αριθμό ακροδεκτών GPIO που υποστηρίζουν κοινά πρωτόκολλα όπως το I<sup>2</sup>C. Τα μοντέλα B διαθέτουν θύρα Ethernet 8P8C και τα Pi 3 και Pi Zero W διαθέτουν ενσωματωμένο Wi-Fi 802.11n και Bluetooth.





Εικόνα 3.6 : Η πλακέτα του Raspberry-pi

Συνήθως λειτουργούν σε λογισμικό Raspbian, μια διανομή Linux που βασίζεται στο Debian, καθώς και τρίτους κατασκευαστές Ubuntu, Windows 10 IoT Core, RISC OS και εξειδικευμένες διανομές κέντρων μέσων.

### 3.2.2 Hexiwear



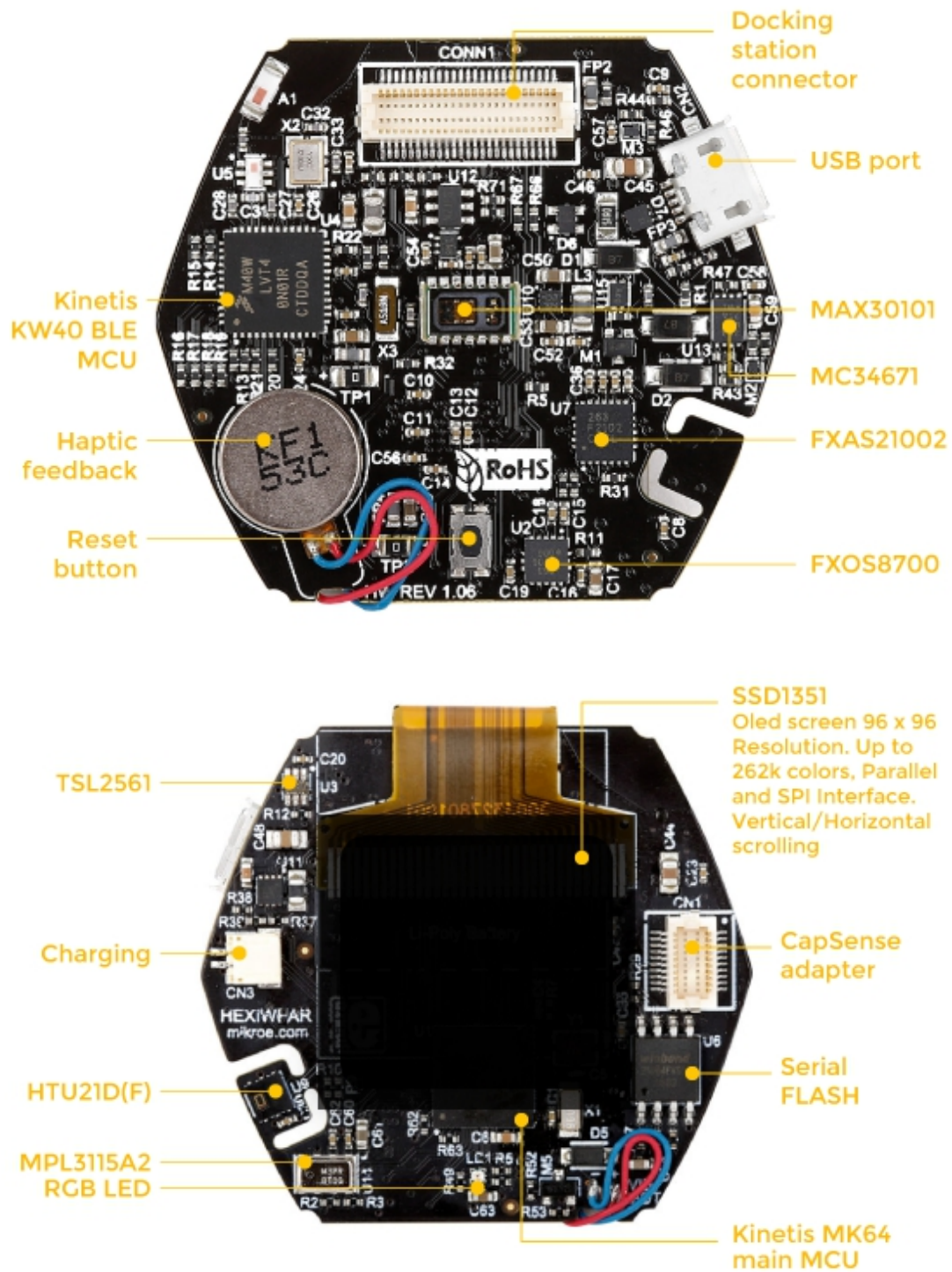
*Εικόνα 3.7 : Δομή του Hexiwear*

Το MikroElektronika Hexiwear Wearable Development Kit μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κυρίως IOT εφαρμογών όπως ένα smartwatch, μια ετικέτα απομακρυσμένου αισθητήρα ή ένα ελεγκτή smarthome.

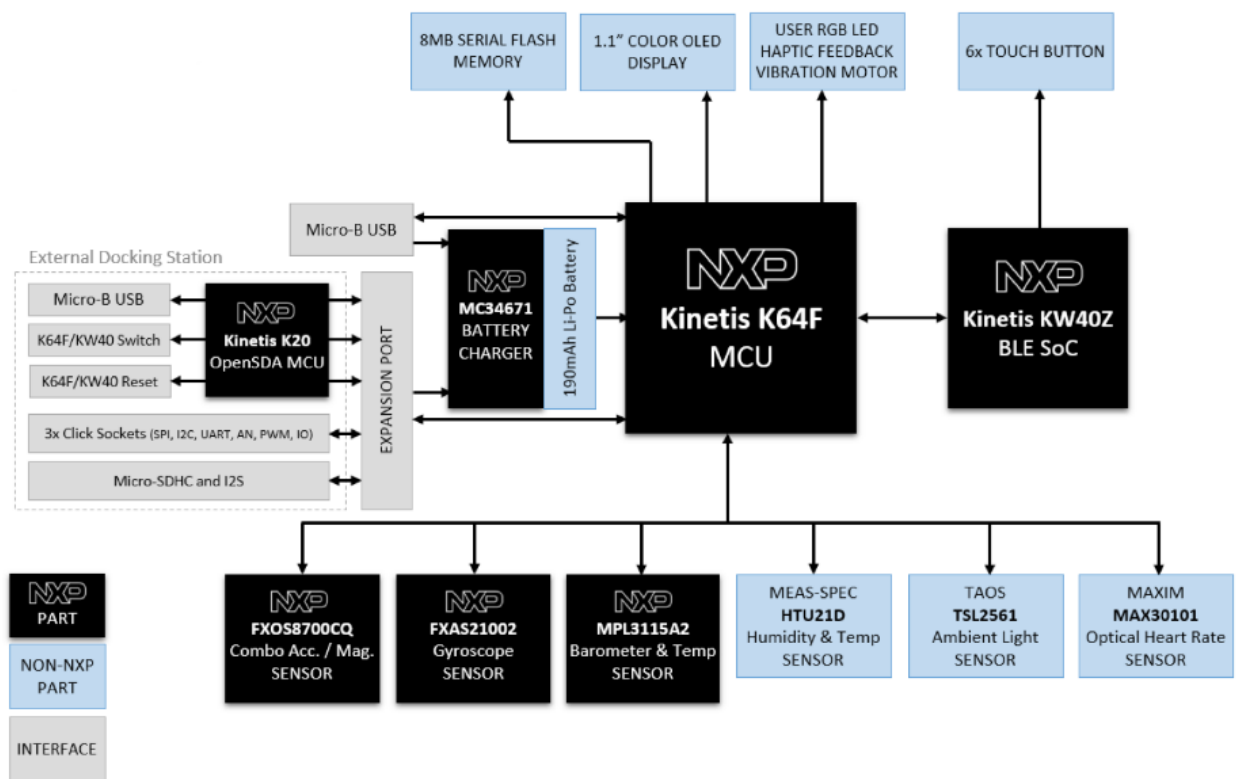
Διαθέτει 2 μικροελεγκτές, τον MCX Kinetis K64 32-bit ARM® Cortex®-M4 της NXP και τον Kinetis KW4x Arm Cortex-M0 + BLE MCU που παρέχει συνδεσιμότητα μέσω Bluetooth και συμπεριλαμβάνονται πολλοί αισθητήρες NXP. Αυτή η επεκτάσιμη πλακέτα είναι εξοπλισμένη με ένα 3D επιταχυνσιόμετρο και μαγνητόμετρο, ψηφιακό γυροσκόπιο 3 αξόνων, αισθητήρα πίεσης και φορτιστή μπαταρίας 600mA. Παρέχει μετατροπέα φωτός σε ψηφιακό ψηφιακό μετατροπέα, αισθητήρα ψηφιακής υγρασίας και θερμοκρασίας, αισθητήρα καρδιακού ρυθμού, οθόνες πλήρους έγχρωμης οθόνης 1.1", μηχανή απτικής ανάδρασης, μπαταρία Li-Po 190 mAh 2C, χωρητική επιφάνεια αφής, LED RGB. Διαθέτει 8MB Serial FLASH Memory, την οποία και χρησιμοποιήσαμε για την αποθήκευση μετρήσεων.

Η λειτουργικότητα μπορεί να επεκταθεί με τον σταθμό σύνδεσης(docking station) και την συνεχώς αυξανόμενη γραμμή πινάκων κλικ. Μπορεί να

προγραμματιστεί σε αρκετές γλώσσες. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού C και αξιοποιείται το Kinetis Design Studio (KDS), το οποίο είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης για MCUs της Kinetis που επιτρέπει την ισχυρή επεξεργασία, compiling και debugging των σχεδίων μας.



Εικόνα 3.8 : Κάτω και άνω όψη της πλακέτας του Hexiwear



Εικόνα 3.9 : Διάγραμμα των εσωτερικών λειτουργιών του Hexiwear

# 4

## *Ανάλυση Απαιτήσεων*

### *Συστήματος και Περιγραφή Λειτουργιών*

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η παροχή ενός ολοκληρωμένου συστήματος ιατρικών υπηρεσιών που θα είναι εύχρηστο, διαδραστικό και δεν θα προϋποθέτει μεγάλο εύρος γνώσεων από μεριάς χρηστών. Αναπτύσσεται ένα δικτύου Internet Of Things με στόχο την μέτρηση, καταγραφή σε βάσεις δεδομένων και επίβλεψη διάφορων χαρακτηριστικών της υγείας ενός ατόμου και παράλληλα την ανίχνευση και αντιμετώπιση επικίνδυνων συμπεριφορών-καταστάσεων, όπως η αναγνώριση τυχόν πτώσης. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν διατυπώνονται οι απαιτήσεις μας, βασικές και δευτερεύουσες, προς ικανοποίηση και κατ' επέκταση η αρχιτεκτονική του συστήματος που θα ανταποκριθεί σε αυτές.

#### *4.1 Απαιτήσεις συστήματος*

Το σύστημα που θα δημιουργήσουμε πρέπει να πληρεί κάποιες γενικές προϋποθέσεις ώστε να είναι αποτελεσματική η χρήση του. Βασικό ζητούμενο είναι να είναι εύχρηστο για ένα άτομο χωρίς προηγούμενες ιδιαίτερες γνώσεις στο υπολογιστές γεγονός που απαιτεί απλό, κατανοητό και ευκρινές περιβάλλον πλοήγησης για το site μας (μεγάλες γραμματοσειρές , απλό πανbar πλοήγησης κοκ). Επιδίωξή μας είναι προφανώς πολλές λειτουργίες να είναι αυτοματοποιημένες και να “τρέχουν” στο background χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Σημαντική είναι

επίσης η προστασία των ευαίσθητων προσωπικών ιατρικών δεδομένων του χρήστη που επιτυγχάνεται με μια σειρά μέτρων, όπως κρυπτογράφηση των στοιχείων σύνδεσης, τον ορισμό ρόλων και δικαιωμάτων των χρηστών και προστασία των βάσεων δεδομένων με κωδικούς.

Πιο ειδικά οι απαιτήσεις μας περιγράφονται παρακάτω:

Στον server/site:

- ➔ Εγγραφή του χρήστη-ασθενή από τον γιατρό στην ηλεκτρονική πλατφόρμα με όλα του τα στοιχεία
- ➔ Σύνδεση και αποσύνδεση του χρήστη από την πλατφόρμα
- ➔ Προβολή του ιατρικού ιστορικού του κάθε χρήστη με γραφήματα και δυνατότητα επιλογής χρονικού πλαισίου των μετρήσεων προς προβολή. Προφανώς ο κάθε χρήστης έχει πρόσβαση στις δικές του μόνο μετρικές αλλά βέβαια ο γιατρός μπορεί να επιλέγει μεταξύ όλων των ασθενών του ποιες θα παρακολουθήσει. Όταν ο χρήστης δεν έχει στείλει μετρήσεις παλμών καρδιάς για ένα χρονικό διάστημα, θα του εμφανίζεται σχετική υπενθύμιση.
- ➔ Διαγραφή προφίλ χρήστη από τον γιατρό
- ➔ Επεξεργασία δεδομένων σύνδεσης από το χρήστη (κωδικός πρόσβασης)
- ➔ διάφορες συμπληρωματικές εφαρμογές, πχ συμβουλευτικές εφαρμογές για την απώλεια βάρους
- ➔ κρυπτογράφηση στοιχείων εισόδου και cookies για τη διατήρηση της σύνδεσης για ένα χρονικό διάστημα
- ➔ Private chat μεταξύ γιατρών και ασθενών

Στο Raspberry-pi:

- ➔ αυτόματη σύνδεση με το Hexiwear όταν το δεύτερο έχει ανοικτό το bluetooth
- ➔ λήψη των δεδομένων (HeartRate, Steps) από Hexiwear και καταχώρησή τους σε βάσεις δεδομένων (csv->json), οι οποίες μετά στέλνονται στον server με προστασία μέσω ασφαλών κωδικών
- ➔ Μετά από τη λήψη σήματος κινδύνου, επεξεργασία των μετρικών της επιτάχυνσης από 2ο στάδιο ελέγχου πτώσης και προώθηση μηνυμάτων κινδύνου σε επιλεγμένους αριθμούς τηλεφώνου όταν χρειαστεί

Στο Hexiwear:

- ➔ 1ο στάδιο ελέγχου πτώσης, ενεργοποίηση της bluetooth σύνδεσης με το raspberry-pi και στάλσιμο των δεδομένων ενός ορισμένου παραθύρου πιθανής πτώσης
- ➔ αποστολή των μετρήσεων στο Raspberry
- ➔ αποθηκεύουμε στη flash memory τις μετρήσεις που χρειάζεται

## **4.2 Περιγραφή Λειτουργιών**

Η λειτουργία του συστήματος όπως έχει περιγραφεί μπορεί να χωριστεί σε δύο υποσυστήματα: το “offline” υποσύστημα μεταξύ Hexiwear και Raspberry-pi που επικοινωνούν με την χρήση bluetooth και το “online” μεταξύ Raspberry-pi και cloud server.

### **4.2.1 Hexiwear**

#### **4.2.1.1 1ος έλεγχος πτώσης**

Ελέγχουμε συνεχώς αν το μέτρο της συνολικής επιτάχυνσης ξεπερνάει το άνω κατώφλι και αν στη συνέχεια βρίσκεται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα υπό του κάτω κατωφλίου που έχουμε ορίσει. Εφόσον αυτό γίνει, μπαίνουμε σε alert mode

και στέλνουμε στο raspberry-πi ένα παράθυρο με τις αποθηκευμένες μετρήσεις της επιτάχυνσης, και μόνο, που αφορούν την πρόσφατη πιθανή πτώση για περαιτέρω επεξεργασία.

#### **4.2.1.2 Αποθήκευση και αποστολή μετρήσεων**

Αποθηκεύουμε συνεχώς τις μετρήσεις της επιτάχυνσης και προωθούμε το προβλεπόμενο παράθυρο μετρήσεων όταν υπάρχει πιθανός κίνδυνος. Αποθηκεύουμε τα βήματα μιας ολόκληρης μέρας και τα προωθούμε κάθε βράδυ προς το Raspberry. Επίσης ανά τακτά διαστήματα και με επιλογή του χρήστη προωθούμε τις real time μετρήσεις των παλμών της καρδιάς. Η αποθήκευση γίνεται στην Flash Memory (8MB) με σειριακό τρόπο. Ένα μπλοκ που αποθηκεύεται σε ένα τσιπ μνήμης flash πρέπει να διαγραφεί πριν από την εγγραφή ή προγραμματισμό των δεδομένων στο μικροτσip. Η μνήμη Flash διατηρεί δεδομένα για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, ανεξάρτητα από το αν ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται το Hexiwear.

#### **4.2.2. Raspberry-πi**

##### **4.2.2.1 2ος έλεγχος και ανίχνευση πτώσης**

Σε περίπτωση αναγνώρισης πιθανής πτώσης τα δεδομένα που στέλνονται στο raspberry για περαιτέρω επεξεργασία εισάγονται σε στατιστικό αλγόριθμο (CUSUM). Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα αυτού υποδεικνύουν πτώση στέλνεται με script καθορισμένο μήνυμα κινδύνου σε αριθμούς τηλεφώνου χρησιμοποιώντας την υπηρεσία Twilio.



#### **4.2.2.2. Σύνδεση και λήψη μετρήσεων**

Το Raspberry-pi από την στιγμή της εκκίνησης του “ακούει” διαρκώς αν υπάρχουν εντός της ακτίνας του bluetooth του συσκευές για επικοινωνία. Εάν εμφανισθούν ήδη αποθηκευμένες συσκευές περιμένει για την λήψη δεδομένων από αυτές και ανάλογα με κάποιο flag καταλαβαίνει αν πρόκειται για κατάσταση κινδύνου (μετρήσεις επιτάχυνσης) ή αν πρόκειται για τυπική διαδικασία στην οποία πρέπει να αποθηκεύσει τα δεδομένα σε βάσεις(μετρήσεις παλμού καρδιάς, βήματα) και ύστερα να τις προωθήσει στο server.

#### **4.2.2.3 Δημιουργία και αποστολή βάσεων δεδομένων**

Σε τακτά χρονικά διαστήματα τα λαμβανόμενα δεδομένα από το smartwatch εισάγονται σε αρχεία csv και ύστερα μετατρέπονται σε json αρχεία κατάλληλα για την χρήση τους από την mongodb υπηρεσία του server, στον οποίο και στέλνονται.

### **4.2.3 Cloud server/site**

#### **4.2.3.1 Δημιουργία, διαγραφή, επεξεργασία λογαριασμού και σύνδεση αποσύνδεση στο σύστημα**

Η εγγραφή νέων χρηστών στο σύστημα γίνεται από τους γιατρούς που καθορίζουν το ονοματεπώνυμο, username, κωδικό, email, αριθμό της Hexiwear συσκευής. Ουσιαστικά ο γιατρός καταγράφει σε μητρώο τα στοιχεία των πελατών του. Ο χρήστης πρέπει να ενημερωθεί επομένως προσωπικά από τον γιατρό του για τα σχετικά στοιχεία. Ο χρήστης συνδέεται στη συνέχεια στην πλατφόρμα χρησιμοποιώντας το username του και τον κωδικό, τον οποίο και έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει. Ο γιατρός έχει τη δυνατότητα να διαγράψει κάποιο χρήστη.

#### ***4.2.3.2 Προβολή ιστορικού μετρήσεων σε γραφήματα***

Οι βάσεις δεδομένων του cloud server και τα γραφήματα που αναπαριστούν το ιστορικό του κάθε χρήστη ανανεώνονται συνεχώς με νέα δεδομένα που τους στέλνονται από τα Raspberry-pi του κάθε χρήστη. Δίνεται η δυνατότητα επιλογής του χρονικού πλαισίου των μετρήσεων που θα προβληθούν, επιλέγοντας start date και end date στην μορφή ημερολογίου. Όταν κάποιος χρήστης επικεντρώνει τον κέρσορα σε κάποια μέτρηση, τότε αυτή μεγεθύνεται και προβάλλει τις λεπτομέρειες της μέτρησης.

#### ***4.2.3.3 Προστασία δεδομένων***

Στο site χρησιμοποιούμε JWT Tokens τα οποία καθορίζουν πόσο διαρκεί το session μιας σύνδεσης και αποσυνδέουν το λογαριασμό εφόσον περάσει ένα χρονικό όριο. Επίσης τα tokens παρέχουν συγκεκριμένα δικαιώματα πρόσβασης για κάθε χρήστη με διαφορετικό ρόλο. Επιπλέον όταν συνδεόμαστε στο site με τα στοιχεία μας, χρησιμοποιούμε την διαδικασία bcrypt για password hashing και κρυπτογραφούμε τον κωδικό μας. Για την πρόσβαση στην υπηρεσία της MongoDB υπάρχει σχετικό username και password που εγγυάται την ιδιωτικότητα.

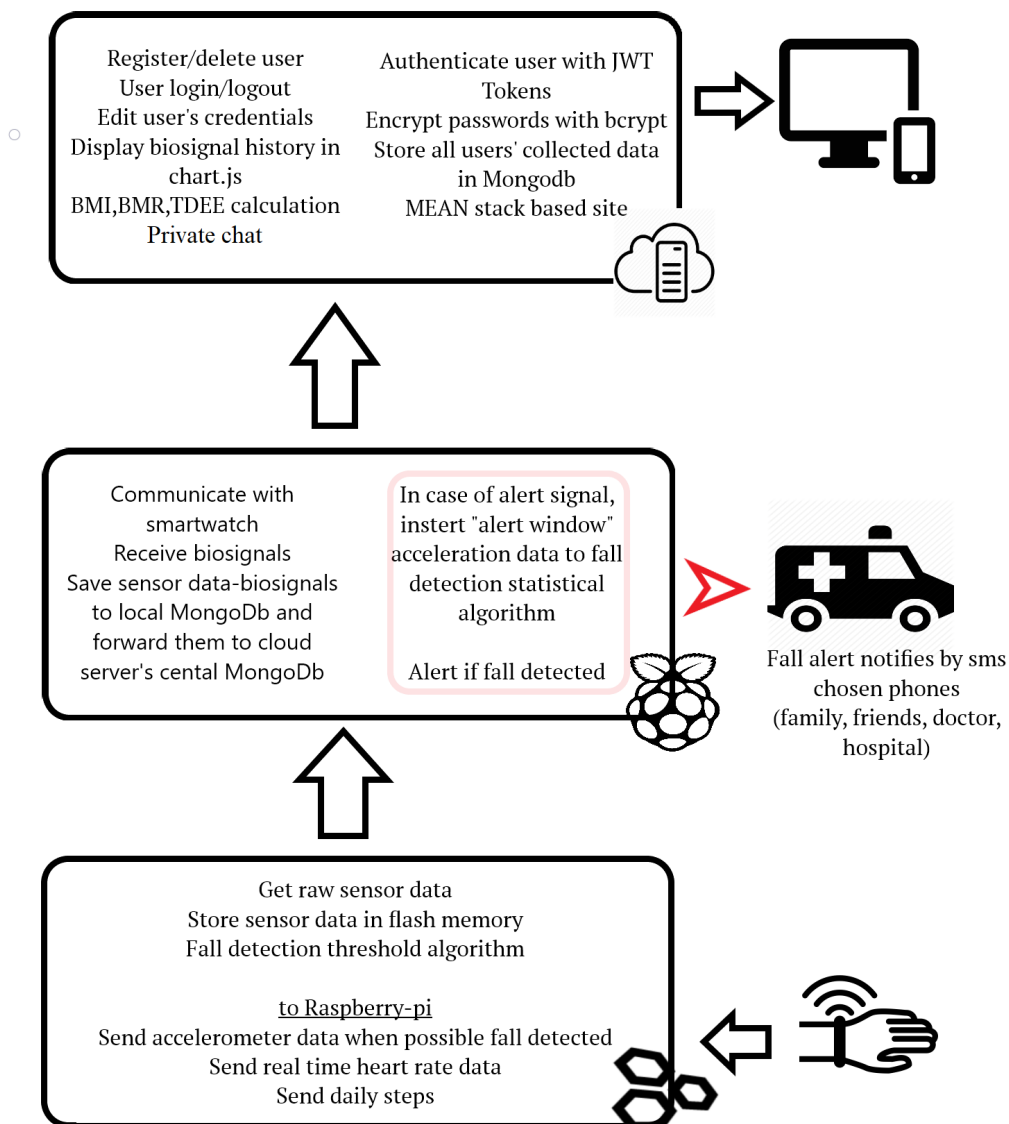
#### ***4.2.3.4 Συμπληρωματικές εφαρμογές***

Παρέχεται εφαρμογή για τον υπολογισμό του Βασικού Ρυθμού Μεταβολισμού (BMR – Basal Metabolic Rate), του Δείκτη Μάζας Σώματος (BMI -Body Mass Index) και η συσχέτιση αυτών με μια ενδεικνύομενη καθημερινή καύση θερμίδων λόγω άθλησης(περπάτημα) και αντίστοιχα επιθυμητή κατανάλωση θερμίδων μέσω της διατροφής. Τέλος έχει υλοποιηθεί private chat μεταξύ ασθενών και γιατρών για την διαρκή ενημέρωση και την παροχή συμβουλών, όπου το ιστορικό των συζητήσεων αποθηκεύεται στην mongodb.

# 5

## *Υλοποίηση Συστήματος*

Στο παρόν κεφαλαίο αναλύονται και περιγράφονται οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στους αλγορίθμους ανίχνευσης πτώσης που εξετάστηκαν και συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα σε σχέση με αυτούς. Τέλος παρουσιάζονται κομμάτια από κώδικα για να γίνει πιο κατανοητή η μεθοδολογία με την οποία υλοποιήσαμε το συνολικό IoT σύστημα.



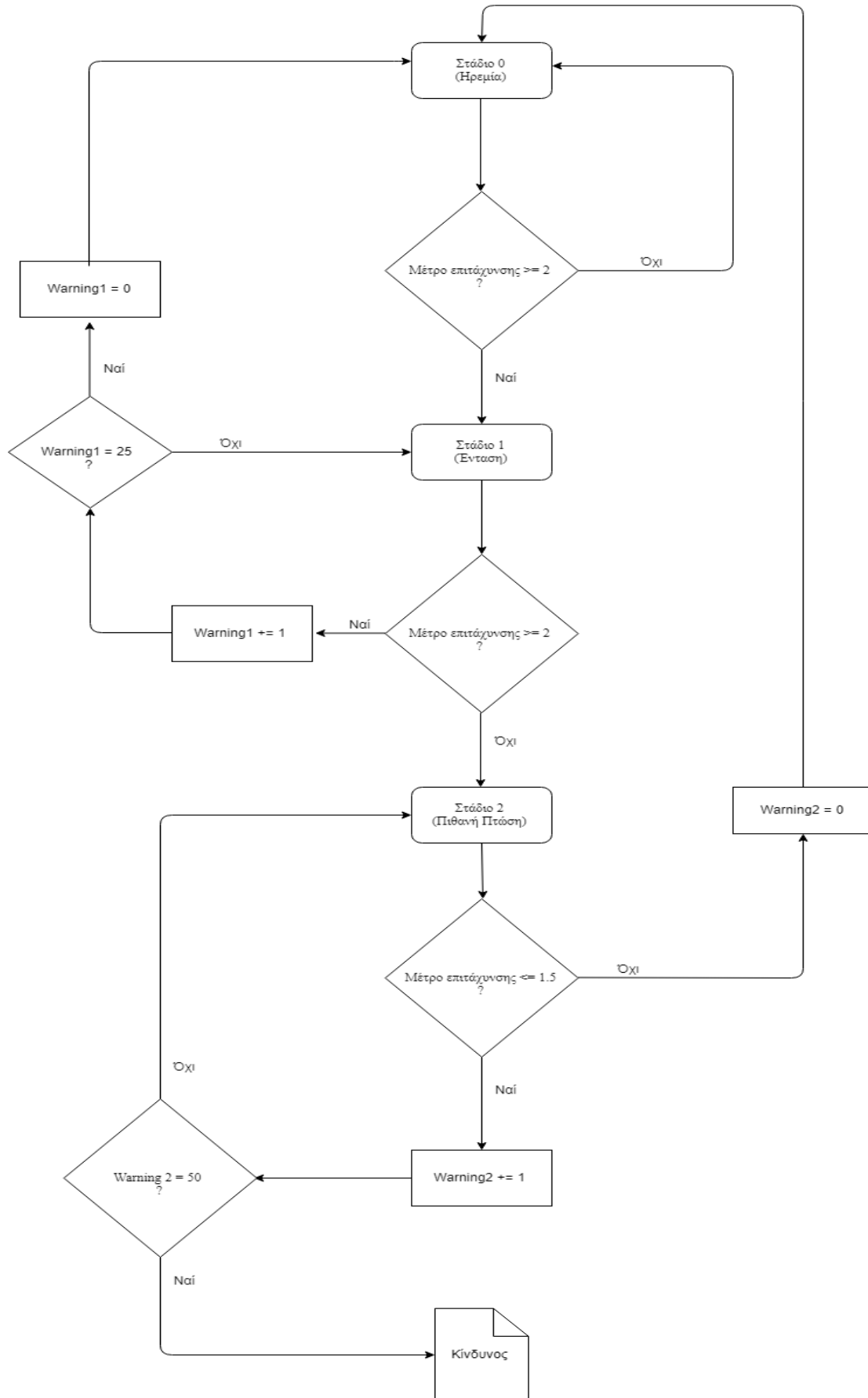
Εικόνα 5.1 : Το υλοποιημένο σύστημα

## 5.1 Αλγόριθμοι ανίχνευσης πτώσης

Στο σύστημα μας χρησιμοποιήσαμε δύο αλγορίθμους για τον έλεγχο και την αναγνώριση επικίνδυνης πτώσης. Στο smartwatch υλοποιήσαμε αλγόριθμο κατωφλίου απλής λογικής ώστε να ξεχωρίζει με ευκίνητο και γρήγορο τρόπο τις πιθανές πτώσεις. Αυτός ο αλγόριθμος δεν είναι πολύ αυστηρός γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να αναγνωρίσει ως πτώση κινήσεις που δεν είναι στην πραγματικότητα

πτώσεις (false positives) αλλά παράλληλα κάθε πραγματική πτώση αναγνωρίζεται σίγουρα ως πτώση. Έπειτα προωθεί τα δεδομένα που αναγνωρίστηκαν ως πιθανή πτώση, για περαιτέρω ανάλυση από τον δεύτερο, πιο πολύπλοκο, στατιστικό αλγόριθμο στο Raspberry.

Ο άνθρωπος στις καθημερινές του κινήσεις αναπτύσσει κατά μέσο όρο μέτρο επιτάχυνσης λίγο πάνω από το 1 g που προκαλείται λόγω της βαρύτητας της γης. Κατα τη διάρκεια μιας πραγματικής πτώσης έχει παρατηρηθεί ότι αναπτύσσεται μέτρο επιτάχυνσης αρκετά μεγαλύτερο των 2 g. Ένδειξη της επικινδυνότητας μιας τέτοιας πτώσης, την οποία μελετάμε σε αυτή τη διπλωματική, είναι όταν το άτομο μετά την πτώση μένει ακίνητο στο έδαφος για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Σε αυτή τη περίπτωση μετά από μια πτώση περιμένουμε το μέτρο της επιτάχυνσης του σώματος να επιστρέφει σε τιμές κοντά στο 1g καθώς το άτομο δεν κινείται. Για αυτό το λόγο υλοποιήσαμε τον αλγόριθμο θεωρώντας τρία στάδια : ηρεμίας (stage0) , έντασης (stage1), πιθανής πτώσης (stage2). Επίσης χρησιμοποιούμε δυο Warning points, το πρώτο ελέγχει αν έχουμε παρατεταμένη έντονη επιτάχυνση (πχ. έντονο τρέξιμο) και το δεύτερο ελέγχει αν μετά την πιθανή πτώση το άτομο βρίσκεται υπό του κάτω κατωφλίου 1.5 g για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 5.2 : Διάγραμμα ροής του Threshold αλγόριθμου

```

if (stage2)
{
    if (!(acc_measure/100) >= 1.5)
    {
        WARNING2 += 1;
    }
    else
    {
        stage2 = false;
        stage0 = true;
    }

    if (WARNING2 == 50)
    {
        WARNING2 = 0;
        if (!(LinkState_connected == watch_CurrentLinkStateGet() )){
            bluetooth_SendToggleAdvModeReq();
            watch_LinkStateUpdate(LinkState_connected);
            BLUE_LED_ON();
            OSA_TimeDelay(500);
            falldetected = true;
            stage2 = false;
            stage0 = true;
            sendFallData(&acc_measureApp, sizeof(uint64_t));
            break;
        }
    }
}

if (stage1)
{
    if ((acc_measure/100) >= 2)
    {
        WARNING1 += 1;
    }
    else
    {
        stage1 = false;
        stage2 = true;
    }

    if (WARNING1 == 25)
    {
        stage1 = false;
        stage0 = true;
    }
}

if (stage0)
{
    if (((acc_measure/100) >= 2) && (WARNING1 != 10))
    {
        WARNING1 += 1;
        stage1 = true;
        stage0 = false;
    }
    else
    {
        WARNING1 = 0;
    }
}
}
}
}

```

Εικόνα 5.3 : Κώδικας του Threshold αλγόριθμου

Το CUSUM [8, 9] όπως υποδεικνύει και το όνομα του είναι το σωρευτικό άθροισμα (cumulative sum) και είναι είδος γραφήματος ελέγχου ικανό για την

ανίχνευση μικρών μετατοπίσεων ( $< 2\sigma$ ) σε σχέση με τον μέσο μιας διεργασίας. Το γράφημα ελέγχου του CUSUM σχηματίζεται με βάση δύο αθροίσματα, το ένα ανιχνεύει θετικές μετατοπίσεις, και το άλλο τις αρνητικές.

$$S_{Li} = -\max[0, (-z_i - k) + S_{Li-1}]$$

$$S_{Hi} = \max[0, (z_i - k) + S_{Hi-1}]$$

*Μαθηματικός τύπος 5.1 : Θετικό και αρνητικό άθροισμα του CUSUM*

Το  $k$  είναι το slack (“επιτρεπόμενη χαλάρωση”) και το  $z$  ορίζεται ως:

$$z_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}}{\hat{\sigma}_{\bar{x}}}$$

*Μαθηματικός τύπος 5.2 : Ορισμός του  $z$*

Όταν το cumulative sum υπερβεί ένα κατώφλι  $h$  τότε θεωρείται ότι η διεργασία είναι εκτός ελέγχου.

Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιώντας ως δείγματα το μέτρο και τη γωνία επιτάχυνσης θα μελετήσουμε την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου για την ανίχνευση πτώσης δοκιμάζοντας διαφορετικά κατώφλια. Προσαρμόσαμε το slack στο  $1/5 \sigma$  (συνηθίζεται να ορίζεται ως  $1/2 \sigma$ ). Ορίσαμε τον μέσο ως το μέσο του ληφθέντος παραθύρου δεδομένων και όχι ως τον μέσο της “in order” διεργασίας ώστε να δημιουργήσουμε ένα πιο αυστηρό αλγόριθμο που θα ξεχωρίζει την πτώση από άλλες έντονες κινήσεις (μεγαλύτερος μέσος άρα μικρότερο shift). Τα κατώφλια δοκιμάστηκαν σε 40 διαφορετικές πραγματικές πτώσεις. Στις 20 από αυτές το smartwatch ήταν φορεμένο στο χέρι και στις άλλες 20 ήταν φορεμένο στην μέση. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της αποδοτικότητας του αλγορίθμου σε κάθε κατώφλι ήταν τα false positives (ο αριθμός των φορών που αναγνωρίστηκε πτώση πριν την στιγμή της πραγματικής πτώσης) και τα false negatives (ο αριθμός των φορών που δεν αναγνωρίστηκε καθόλου η πραγματική πτώση).

Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας για τον υπολογισμό του CUSUM.



```

class cusum(ccharts):
    _title = "CUSUM Chart"

    def __init__(self, target=None, std=None, interval=4):
        super(cusum, self).__init__()

        self.target = target
        self.std = std
        self.interval = interval

    def plot(self, data, size, newdata=None):

        if size > 1:
            data = np.mean(data, axis=1)

        target = self.target
        std = self.std
        interval = self.interval

        if target is None:
            target = np.mean(data)

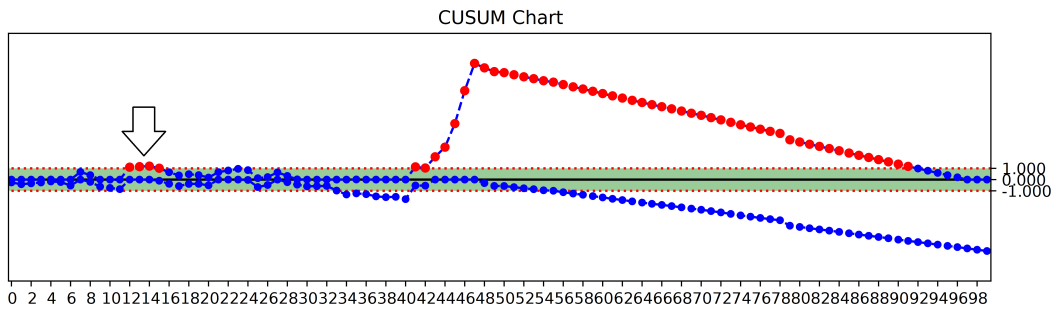
        if std is None:
            rbar = []
            for i in range(len(data) - 1):
                rbar.append(abs(data[i] - data[i + 1]))
            std = np.mean(rbar) / d2[2]

        k = std / 5
        #k = 0
        cplus = [] # values
        cminus = [] # values
        i, j = 0, 0
        for xi in data:
            cplus.append(max([0, xi - (target + k) + i]))
            cminus.append(min([0, xi - (target - k) + j]))
            i, j = cplus[-1], cminus[-1]
        lcl = -3.6
        ucl = 3.6
        center = 0

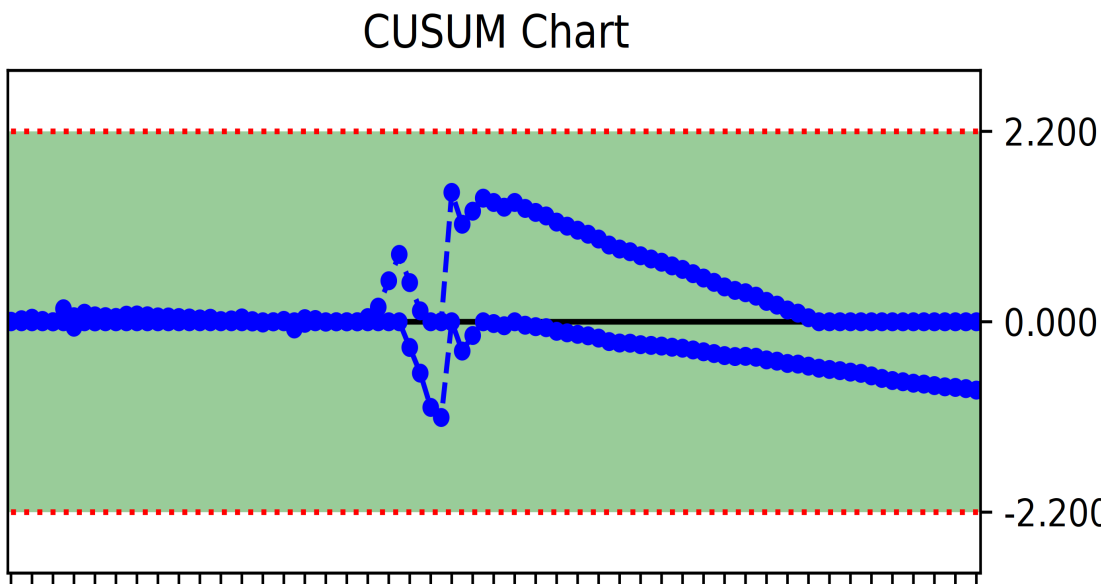
    return ([cplus, cminus], center, lcl, ucl, self._title)

```

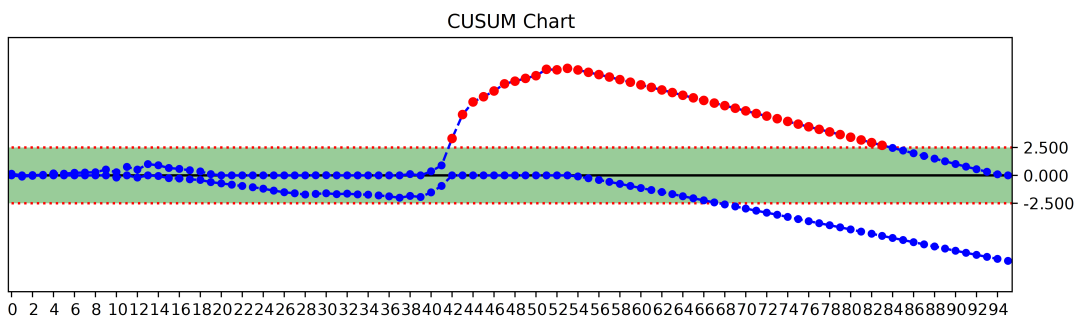
Εικόνα 5.4 : Κώδικας για τον υπολογισμό του CUSUM



Εικόνα 5.5 : Περίπτωση False Positive



Εικόνα 5.6 : Περίπτωση False Negative



Εικόνα 5.7 : Περίπτωση σωστής ανίχνευσης πτώσης

Πίνακας 5.1 : Έλεγχος του αλγορίθμου για το μέτρο της επιτάχυνσης όταν η συσκευή φοριέται στο χέρι

Κατώφλια	0.5	1	2.8	3.2
False Positives	14	9	1	0
False Negatives	0	0	0	1

Πίνακας 5.2 : Έλεγχος του αλγορίθμου για το μέτρο της επιτάχυνσης όταν η συσκευή φοριέται στην μέση

Κατώφλια	0.5	1	1.4	2.2
False Positives	15	3	1	0
False Negatives	0	0	0	2

Πίνακας 5.3 : Έλεγχος του αλγορίθμου για τη διανυσματική γωνία της επιτάχυνσης όταν η συσκευή φοριέται στο χέρι.

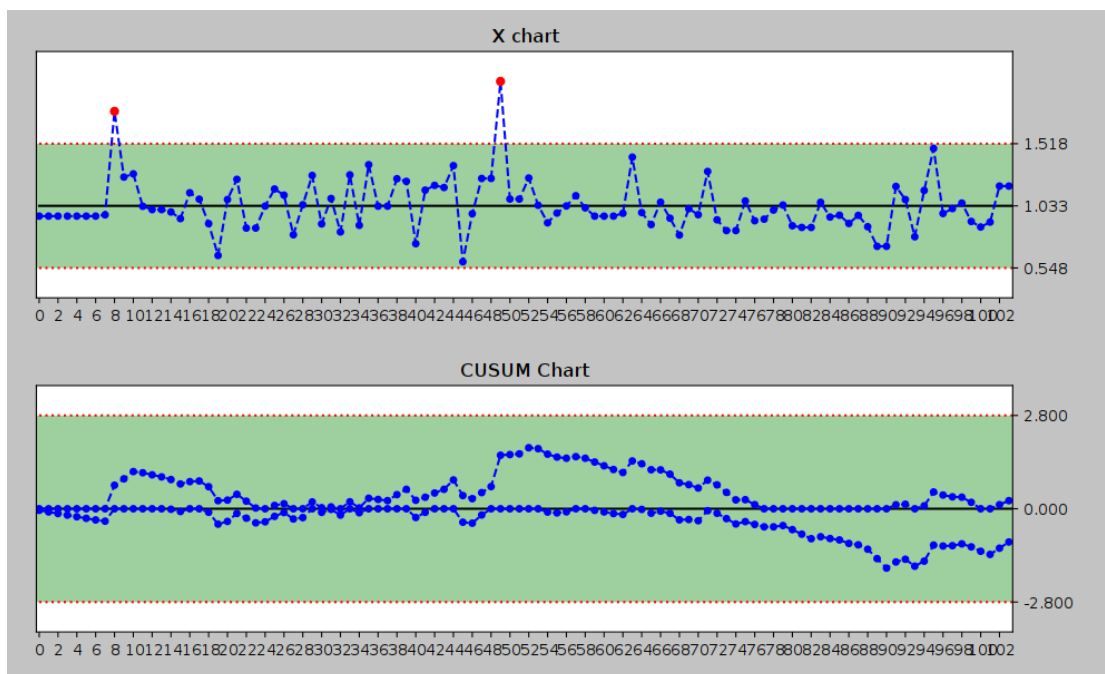
Κατώφλια	1.5	2.5	3.6
False Positives	10	4	0
False Negatives	0	0	0

Πίνακας 5.4 : Έλεγχος του αλγορίθμου για τη διανυσματική γωνία της επιτάχυνσης όταν η συσκευή φοριέται στην μέση.

Κατώφλια	1.5	2.5	2.9
False Positives	10	3	1
False Negatives	0	0	0

Προτεραιότητα του συστήματος μας είναι να έχουμε μηδενικά false negatives ώστε να μην υπάρχει επικίνδυνη πτώση που δεν θα αναγνωριστεί από τον αλγόριθμο και θα θέσει σε κίνδυνο τον χρήστη. Με δεδομένο αυτό στόχος είναι η κατά το βέλτιστο μείωση των false positives. Τα κατώφλια που προσεγγίζουν αυτά τα κριτήρια είναι τα εξής : 2,8 για το μέτρο και 3.6 για την γωνία όταν η συσκευή είναι στο χέρι, 1.4 για το μέτρο και 2.9 για τη γωνία όταν η συσκευή είναι στην μέση.

Εφαρμόζοντας τον CUSUM αλγόριθμο με τα βέλτιστα κατώφλια σε datasets που πέρασαν τον threshold αλγόριθμο αλλά δεν αντιστοιχούσαν σε πραγματική πτώση επιβεβαιώνεται η αποδοτικότητα της μεθοδολογίας που ακολουθήσαμε.



Εικόνα 5.8 : Παράδειγμα έντονης κινητικότητας που δεν αναγνωρίζεται ως πτώση.

Παρατηρήθηκε ότι τα datasets όταν το smartwatch φοριέται στη μέση παρουσιάζουν μικρότερη διακύμανση καθώς αποφεύγονται τις συνεχείς και απότομες κινήσεις που πραγματοποιούνται καθημερινά από τα χέρια. Ωστόσο για την συνολική λειτουργία του συστήματος και για πρακτικούς λόγους θεωρείται δεδομένο ότι ο χρήστης φοράει τη συσκευή στο χέρι του και οπότε η ανίχνευση πτώσης και η έγκαιρη επέμβαση θα ενεργοποιούνται όταν υπάρχει συμφωνία του αλγορίθμου ως προς την πτώση και για το μέτρο και για την γωνία.

Το σύστημα αναγνώρισης πτώσης με την μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω παρουσίασε ιδιαίτερη αποδοτικότητα περιορίζοντας τα false positives ακόμα και σε datastreams έντονης κίνησης. Ο συνδυασμός του αλγορίθμου κατωφλίου και των control charts ικανοποίησε τις ανάγκες για ευχρηστία και

αποδοτικότητα. Προφανώς εφόσον διατίθονταν και άλλα μέσα όπως κάμερες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και μέθοδοι αναγνώρισης προτύπων με machine learning. Εν ολίγοις ο συνδυασμός τεχνικών αναγνώρισης πτώσης έχει περιθώρια επεκτασιμότητας. Προς μεγαλύτερη κατανόηση των αλγορίθμων ανίχνευσης πτώσης σε συνολικότερο επίπεδο παραπέμπουμε στη σχετική βιβλιογραφία μας [10, 11, 12].

## **5.2 Υλοποίηση λειτουργιών**

Πέρα από την ανάλυση υλοποίηση και σύγκριση αλγορίθμων πτώσης σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστεί η υλοποίηση όλων των υπόλοιπων μελών του IoT συστήματος, περιλαμβάνοντας λειτουργίες που υλοποιήθηκαν στο Hexiwear, στο Raspberry-pi και στον Cloud server.

### **. 5.2.1 Hexiwear**

Το Hexiwear είναι ένα open source smartwatch το οποίο δίνει την δυνατότητα δραστηκής τροποποίησης του κώδικα του, επέκτασης του η ακόμα . Χρησιμοποιήσαμε το Kinetis Design Studio 3 IDE για τον προγραμματισμό, το build, και το debugging του project μας, και τη γλώσσα C, η οποία ενδεικνύεται για προγραμματισμό μικροεπεξεργαστών (MCU).

#### **. 5.2.1.1 Εγγραφή των sensor data – biosignals στην flash memory**

Ο μικροεπεξεργαστής NXP Kinetis K64x του Hexiwear διαθέτει 1MB flash memory στην οποία είναι αποθηκευμένο το build και 256KB SRAM για τις τρέχουσες ανάγκες του λειτουργικού και επιπλέον 8 MB flash memory την οποία και θα χρησιμοποιήσουμε για να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα μας. Αυτή η flash

memory είναι χωρισμένη σε 2048 sectors όπου ο καθένας έχει μέγεθος 4096 bytes. Ο λόγος ύπαρξής τους είναι ότι όταν γράφονται δεδομένα σε μια διεύθυνση αυτή πλέον θεωρείται dirty, δηλαδή δεν μπορούμε να σβήσουμε η να κάνουμε overwrite τα δεδομένα της. Αντιθέτως πρέπει να σβηστεί ολόκληρος ο Sector που την περιέχει.. Παρακάτω παρουσιάζεται η function υπεύθυνη για την αποθήκευση αυτών των δεδομένων.

```
void flash_writeSensorData(uint8_t data[], uint64_t length){  
    if (flash_active == 0 ){  
        return;  
    } else if (flash_active > MAX_SAMPLES){  
        flash_active = 0;  
    }  
    else {  
        flash_active++;  
    }  
    if (flash_currentAddress == 0) {  
        flash_active = 0;  
        asm("nop");  
        return;  
    }  
    if ( (flash_currentAddress < bufferStartAddress) || (flash_currentAddress > END_OF_FLASH -1 )){  
        flash_active = 0;  
    } else if ( flash_currentAddress > bufferStartAddress + SECTORSIZE - 1 - length){  
        bufferStartAddress = (flash_currentAddress/4096 + 1) * 4096;  
        flash_currentAddress = flashBlockInit(bufferStartAddress);  
        changesectorcounter = 0;  
        FLASH_WriteData(flash_currentAddress,data,length);  
        flash_currentAddress += length;  
    } else {  
        GREEN_LED_ON();  
        OSA_TimeDelay(10);  
        GREEN_LED_OFF();  
        FLASH_WriteData(flash_currentAddress,data,length);  
        flash_currentAddress += length;  
        changesectorcounter += 1;  
    }  
}
```

Εικόνα 5.9 : Κώδικας για την εγγραφή δεδομένων στην Flash

### 5.2.1.2 Αποστολή παραθύρου δεδομένων πιθανής πτώσης

Σε περίπτωση που ο threshold αλγόριθμος κατωφλίου που περιγράφηκε στην ενότητα 5.1 αναγνωρίσει πιθανή πτώση, στέλνουμε ένα παράθυρο, που έχουμε ορίσει εμείς, των τελευταίων δεδομένων που καταγράφηκαν πριν, κατά την διάρκεια, και μετά την πτώση, προς τον NXP Kinetis KW4x , υπεύθυνο για την προώθηση των πακέτων στο BLE , από όπου τα συλλέγει το Raspberry-pi. Λόγω του ότι στην αρχή κάθε sector αποθηκεύουμε ένα timestamp για να ελέγχουμε αν έχουν ήδη εγγραφεί δεδομένα στον συγκεκριμένο sector, όταν στέλνουμε τα fall data,

προσαρμόζουμε κατάλληλα τις διευθύνσεις τους ώστε να μην το συμπεριλαμβάνουν στις προς αποστολή μετρήσεις.

```
void sendFallData(uint8_t data[], uint64_t length){
    if (changesectorcounter >= 100) {
        alertAddress = flash_currentAddress - (100 * length);
        for (int i=0 ; i<= 99 ; i= i + 1){
            OSA_MutexLock( &taskAccessMutex, OSA_WAIT_FOREVER );
            FLASH_ReadData(alertAddress,&data,length);
            FLASH_SendToKW40(&data,length);
            alertAddress += length;
            OSA_MutexUnlock(&taskAccessMutex); //prosthiki
            OSA_TimeDelay(690);
        }
    }
    else{
        alertAddress = flash_currentAddress - (100 * length) - sizeof(uint32_t) -sizeof(uint16_t) - 2 ;
        for (int i=0 ; i<= 99-changesectorcounter ; i= i + 1){
            OSA_MutexLock( &taskAccessMutex, OSA_WAIT_FOREVER );
            FLASH_ReadData(alertAddress,&data,length);
            FLASH_SendToKW40(&data,length);
            alertAddress += length;
            OSA_MutexUnlock(&taskAccessMutex); //prosthiki
            OSA_TimeDelay(690);
        }
        alertAddress = alertAddress + sizeof(uint32_t) +sizeof(uint16_t) + 2;
        for (int i=0 ; i<= changesectorcounter-1 ; i= i + 1){
            OSA_MutexLock( &taskAccessMutex, OSA_WAIT_FOREVER );
            FLASH_ReadData(alertAddress,&data,length);
            FLASH_SendToKW40(&data,length);
            alertAddress += length;
            OSA_MutexUnlock(&taskAccessMutex); //prosthiki
            OSA_TimeDelay(690);
        }
    }
    falldetected = false;
    if (linkState_connected == watch_CurrentLinkStateGet() ){
        bluetooth_SendToggleAdvModeReq();
        watch_LinkStateUpdate(linkState_disconnected);
        BLUE_LED_OFF();
        RED_LED_ON();
        OSA_TimeDelay(100);
        RED_LED_OFF();
    }
    return ;
}
```

Εικόνα 5.10 : Κώδικας για την προώθηση των δεδομένων στο BLE

### 5.2.1.3 Βηματομέτρηση

Έχουμε επιλέξει να αποθηκεύουμε τα βήματα που έχει διανύσει ο χρήστης μέσα σε μια μέρα, και κάθε βράδυ να στέλνονται αυτόματα στο BLE, όπου τα συλλέγει το raspberry-pi, και με τη σειρά του να τα συλλέξει το site για να εμφανιστούν.

```
int16_t stepsarr[1];
if (stepsdelay <= 0){

    if ((abs((acc_measure) - (old_measure)) > 35) && (stepsflag == 0 )) {

        steps = steps + 1 ;
        stepsflag = 1;
        stepsdelay = 4;

    }
    else if (((acc_measure/100) <= 1.3) && (stepsflag == 1)){
        stepsflag = 0;
    }
}
rtc_datetime_t step_time;
RTC_GetCurrentTime(&step_time);
if ((step_time.hour == 23) && (step_time.minute == 59) && (stepnotsend == 1)){

    stepnotsend=0;
    OSA_MutexLock( &taskAccessMutex, 0 );

    stepsarr[0] = steps;
    if (!(linkState_connected == watch_CurrentLinkStateGet() )){
        bluetooth_SendToggleAdvModeReq();
        watch_LinkStateUpdate(linkState_connected);
    }

    FLASH_SendStepsToKw40(&stepsarr,sizeof(uint16_t));

    OSA_TimeDelay(5000);
    if (linkState_connected == watch_CurrentLinkStateGet() ){
        bluetooth_SendToggleAdvModeReq();
        watch_LinkStateUpdate(linkState_disconnected);
    }
    steps = 0;

    OSA_MutexUnlock(&taskAccessMutex);

}
if ((step_time.hour == 1) && (step_time.minute == 1)){
    stepnotsend=1;
}
}
```

Εικόνα 5.11 : Κώδικας για την βηματομέτρηση

## 5.2.2 Raspberry-pi

### 5.2.2.1 Σύνδεση και λήψη δεδομένων

Το crontab είναι μια λειτουργία που επιτρέπει την αυτόματη εκκίνηση script υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Μέσω αυτού εκκινούμε ένα script το οποίο είναι αρμόδιο για την ανίχνευση BLE pairing request από το Hexiwear και έπειτα την αυτόματη σύνδεση και λήψη δεδομένων από αυτό. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα



χρησιμοποιούμε το gatttool , το οποίο παρέχει την δυνατότητα ανακάλυψης, διαβάσματος και εγγραφής των χαρακτηριστικών.

```
# Run gatttool interactively.
child = pexpect.spawn("gatttool -I")
```

Εικόνα 5.12 : Η εντολή gatttool στο script μας

UUID	Characteristic	Format	Security Mode	R/W permissions	Details
0x2021	Heart Rate	uint8_t	Encryption with authentication	Read	Heart Rate value (beats per minute)
0x2022	Steps	uint16_t	Encryption with authentication	Read	Number of steps measured by pedometer
0x2023	Calorie	uint16_t	Encryption with authentication	Read	Value of kcal

Πίνακας 5.5 : Τα UUID κάποιων χαρακτηριστικών.

Σύμφωνα με το documentation του Hexiwear αναμένουμε το κάθε χαρακτηριστικό σε ένα συγκεκριμένο UUID (Universally Unique Identifier).

```
# HeartRate (0x2021)
try:
    child.sendline("char-read-hnd 0x52")
    child.expect("Characteristic value/descriptor: ", timeout=5)
    child.expect("\r\n", timeout=5)
except pexpect.TIMEOUT:
    print("HeartRate Timeout")
    CONNECTED = 0
    break
else:
    print("HeartRate: "),
    print(child.before),
    print(str(int(child.before[0:2],16)))
    HR = (int(child.before[0:2],16))
    HEARTRATE = (str(int(child.before[0:2],16)))
```

Εικόνα 5.13 : Αποθήκευση των δεδομένων του Heart Rate

Τα δεδομένα που συλλέγουμε είναι σε δεκαεξαδική μορφή , οπότε με την παρακάτω συνάρτηση τα μετατρέπουμε σε δεκαδική signed μορφή.

```
# -----
# function to transform hex string like "0a cd" into signed integer
# -----
def hexStrToInt(hexstr):
    val = int(hexstr[0:2],16) + (int(hexstr[3:5],16)<<8)
    if ((val&0x8000)==0x8000): # treat signed 16bits
        val = -((val^0xffff)+1)
    return val
```

Εικόνα 5.14 : Function για μετατροπή από hex σε dec

Από τα εισερχόμενα δεδομένα επιτάχυνσης βρίσκουμε τη διανυσματική γωνία σε rad.

```
# -----  
# function to return angle of vectors  
# -----  
def unit_vector(vector):  
    """ Returns the unit vector of the vector. """  
    return vector / np.linalg.norm(vector)  
  
def angle_between(v1, v2):  
    """ Returns the angle in radians between vectors 'v1' and 'v2'::  
  
        >>> angle_between((1, 0, 0), (0, 1, 0))  
        1.5707963267948966  
        >>> angle_between((1, 0, 0), (1, 0, 0))  
        0.0  
        >>> angle_between((1, 0, 0), (-1, 0, 0))  
        3.141592653589793  
    """  
    v1_u = unit_vector(v1)  
    v2_u = unit_vector(v2)  
    return np.arccos(np.clip(np.dot(v1_u, v2_u), -1.0, 1.0))  
  
# -----
```

Εικόνα 5.15 : Function για υπολογισμό γωνίας δύο διανυσμάτων σε rad

### 5.2.2.2 Αποθήκευση και προώθηση των δεδομένων

Ελέγχουμε εάν τα εισερχόμενα πακέτα είναι παλμοί καρδιάς, βήματα ή επιτάχυνση στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης και αντιστοίχως τα αποθηκεύουμε σε ξεχωριστά αρχεία csv (comma separated values).

```

if (STEPSS==0 and HR ==0):
    file2 = open("alertdatametro.csv", "a")
    if (os.path.getsize("alertdatametro.csv")==0):
        file2.write("G Acc\n")
    file2.write(str(float(ACCMEAN)))
    file2.write("\n")
    file2.close()

file3 = open("alertdataxyz.csv", "a")
if (os.path.getsize("alertdataxyz.csv")==0):
    file3.write("AccX,AccY,AccZ\n")
file3.write(str(ACCELX))
file3.write(",")
file3.write(str(ACCELY))
file3.write(",")
file3.write(str(ACCELZ))
file3.write("\n")
file3.close()

file4 = open("alertdataangle.csv", "a")
if (os.path.getsize("alertdataangle.csv")==0):
    file4.write("Angle\n")
if (anglecount>0):
    vector2 = vector1
    vector1 = [ACCELX , ACCELY , ACCELZ]
    file4.write(str(angle_between (vector1, vector2)))
    file4.write("\n")
    print("Angle (rad) : ")
    print(angle_between (vector1, vector2))
if (anglecount == 0):
    anglecount = 1
    vector1 = [ACCELX , ACCELY , ACCELZ]
file4.close()
print("done!")

```

*Εικόνα 5.16 : Γράμμα των συλλεχθέντων data σε αντίστοιχα αρχεία*

Όταν τελειώσει η λήψη δεδομένων εισάγουμε τα αρχεία csv ως collection στην βάση δεδομένων (εφόσον λαμβάνουμε παλμούς καρδιάς ή βήματα) ώστε να προωθηθούν ύστερα στη κεντρική βάση δεδομένων. Αν τα δεδομένα αφορούσα πιθανή πτώση, τότε εκκινούμε script για να ελεγχθούν από τον στατιστικό αλγόριθμο πτώσης.

```

else:
    child = 0
    child = pexpect.spawn("gatttool -I")
    try:
        child.sendline("connect {0}".format(DEVICE))
        child.expect("Connection successful", timeout=2)
    except pexpect.TIMEOUT:
        if (senddata == 1):
            senddata = 0
            if (HR != 0):
                print ('SENDING HEARTRATE DATA')
                os.system("mongoimport -h localhost:27017 -d mydb -c todos --type csv --file /home/pi/hearttrate.csv --headerline")
            if (STEPSS==0 and HR ==0):
                print('SENDING ALERT DATA')
                os.system("sudo python3 alert.py")
            if (STEPSS !=0):
                print('SENDING STEP DATA')
                os.system("mongoimport -h localhost:27017 -d mydb -c todos --type csv --file /home/pi/steps.csv --headerline")
        time.sleep(3)
        print"Trying to Reconnect..."
    else:
        print("Reconnected!")
        senddata = 1
        CONNECTED = 1
        anglecount = 0

```

*Εικόνα 5.17: Έλεγχος για περίπτωση απρόσμενης αποσύνδεσης, και αποστολή δεδομένων*

### **5.2.2.3 Αναγνώριση πτώσης και αποστολή μηνύματος κινδύνου**

Τα εισερχόμενα δεδομένα μέτρου και διανυσματικής γωνίας της επιτάχυνσης ελέγχονται από τον αλγόριθμο CUSUM. Σε περίπτωση που η ανάλυση για το μέτρο και για τη γωνία συμφωνούν ότι έγινε πτώση, τότε στέλνονται μηνύματα κινδύνου σε επιλεγμένους αριθμούς τηλεφώνου μέσω της εφαρμογής του Twillio.

```

from pathlib import Path
import time
import os
import sys

file1 = Path("/home/pi/alertdatametro.csv")
file2 = Path("/home/pi/alertdataxyz.csv")
file3 = Path("/home/pi/alertdataangle.csv")
##FOR LEGACY PURPOSES
if file1.is_file():
    print('I-MR')
    from pyspc import *
    a = spc(alertdatamr) + mr() + rules()
    print(a)
    print('ViolationPoints')
    print(a.violationPoints)
    ##metro cusum
    print('Change method -> CUSUM FOR VECTORS')
    from pyspc import *
    c = spc(alertdatamr) + cusum() + rules()
    print(c)
    print('ViolationPoints')
    print(c.violationPoints)
    os.system("sudo rm -rf /home/pi/alertdatametro.csv")
else:
    print("file1 not found")
    time.sleep(2)

if file3.is_file():
    from pyspc import *
    d = spc(alertdataangle) + cusum() + rules()
    print(d)
    print('ViolationPoints')
    print(d.violationPoints)
    os.system("sudo rm -rf /home/pi/alertdataangle.csv")
else:
    print("file3 not found")
    time.sleep(2)
os.system('sudo python send_sms.py')
print('Cusum in xyz')
if file2.is_file():
    from pyspc import *
    b = spc(alertdatacusum) + cusum() + rules()
    print(b)
    print('ViolationPoints')
    print(b.violationPoints)
    os.system("sudo rm -rf /home/pi/alertdataxyz.csv")
else:
    print("file2 not found")
    time.sleep(2)
##CHECK FOR FALL
if (c.violationPoints.length > 0 and d.violationPoints.length > 0):
    os.system('sudo python send_sms.py')

```

Εικόνα 5.18 : Έλεγχος για violation points και εκκίνηση script για την αποστολή μηνύματος

```
# we import the Twilio client from the dependency we just installed
from twilio.rest import Client

# the following line needs your Twilio Account SID and Auth Token
client = Client("AC36576694798a195fb7af2be98c9[REDACTED]", "1444b4d22b654806a64e78df[REDACTED]")

# change the "from_" number to your Twilio number and the "to" number
# to the phone number you signed up for Twilio with, or upgrade your
# account to send SMS to any phone number
client.messages.create(to="+30697609[REDACTED]",
                      from_="+13016850[REDACTED]",
                      body="Falling Alert... contact immediately!")
```

*Εικόνα 5.19 : Αποστολή μηνύματος μέσω του twillio.*

### 5.2.3 Cloud Server

Ο κεντρικός εξυπηρετητής cloud server έχει υλοποιηθεί σε λειτουργικό σύστημα Linux Ubuntu 16.04.4 LTS και φιλοξενείται στον “Ωκεανό”, μια υπηρεσία cloud για την ελληνική έρευνα και ακαδημαϊκή κοινότητα που προσφέρει τη δυνατότητα απόκτησης VM.

#### 5.2.3.1 Χρήστης

Κάθε εγγεγραμμένος χρήστης διαθέτει ονοματεπώνυμο, e-mail, όνομα χρήστη, κωδικό, ρόλο (γιατρός, ασθενής) και χαρακτηριστικό της συσκευής του (id του Hexiwear).

```
//User Schema
const UserSchema = mongoose.Schema({
  name: {
    type: String
  },
  email: {
    type: String,
    require: true
  },
  username: {
    type: String,
    require: true
  },
  password: {
    type: String,
    required: true
  },
  role: {
    type: String,
    required: true
  },
  device: {
    type: String,
    required: false
  }
});
```

Εικόνα 5.19 : User Schema, διάθροση αποθηκευμένων αρχείων στην MongoDB

Greetings Kostas Papageorgiou !!

Username : Kostas
Email : kostasp@gmail.com
Role : Patient
Device : 00:1F:40:0C:00:1G

**Old Password**

**New Password**

**Re-enter New Password**

**SUBMIT**

Εικόνα 5.20 : Profile page στο site

### 5.2.3.2 Προστασία δεδομένων

Για την προστασία των δεδομένων μας στο site κρυπτογραφούμε τον κωδικό πρόσβασης με το bcrypt και παράλληλα χρησιμοποιούμε τα JWT Tokens για το authentication της σύνδεσης.

```
module.exports.addUser = function (newUser, callback) {
  bcrypt.genSalt(10, (err, salt) => {
    bcrypt.hash(newUser.password, salt, (err, hash) => {
      if(err) throw err;
      newUser.password = hash;
      newUser.save(callback);
    });
  });
}

module.exports.comparePassword = function(candidatePassword, hash, callback){
  bcrypt.compare(candidatePassword, hash, (err, isMatch) => {
    if(err) throw err;
    callback(null, isMatch);
  });
}
```

Εικόνα 5.21 : Κρυπτογράφηση κωδικού user, και έγκριση για προσθήκη στην database

Τα Tokens δίνουν δικαιώματα στη σύνδεση του χρήστη και καθορίζουν τη διάρκεια της σύνδεσης.



```

//Authenticate
router.post('/authenticate', (req, res, next) => {
  const username = req.body.username;
  const password = req.body.password;

  User.getUserByUsername(username, (err, user) => {
    if(err) throw err;
    if(!user){
      return res.json({success: false, msg: 'User not found'});
    }

    User.comparePassword(password, user.password, (err, isMatch) => {
      if(err) throw err;
      if(isMatch){
        const token = jwt.sign({data: user}, config.secret, {
          expiresIn: 604800 //1 week
        });

        res.json({
          success: true,
          token: `Bearer ${token}`,
          user: {
            id: user._id,
            name: user.name,
            username: user.username,
            email: user.email,
            role: user.role,
            device: user.device
          }
        });
      } else {
        return res.json({success: false, msg: 'Wrong password'});
      }
    });
  });
});

```

*Εικόνα 5.22 : Αποθήκευση στοιχείων user και προσθήκη στην database*

Στον κώδικα από πάνω φαίνεται πώς γίνεται το authentication και η ενεργοποίηση του token backend και στο επόμενο κομμάτι κώδικα πώς συνδέεται με το frontend μέρος.

```

authenticateUser(user) {
  let headers = new Headers();
  headers.append('Content-Type', 'application/json');
  return this.http.post('http://83.212.106.189:3000/users/authenticate', user, {headers: headers})

  .map(res => res.json());
}

```

*Εικόνα 5.23: Έλεγχος ενεργής σύνδεσης*

```

storeUserData(token, user) {
  localStorage.setItem('id_token', token);
  localStorage.setItem('user', JSON.stringify(user));
  this.authToken = token;
  this.user = user;
}

loadToken() {
  const token = localStorage.getItem('id_token');
  this.authToken = token;
}

loggedIn() {
  return tokenNotExpired('id_token');
}

```

*Εικόνα 5.24: Αποθήκευση και φόρτωση token από/στο localStorage*

```

export class AuthGuard implements CanActivate {
  constructor (private authService:AuthService, private router:Router){

  }

  canActivate() {
    if(this.authService.loggedIn()) {
      return true;
    } else {
      this.router.navigate(['/login']);
      return false;
    }
  }
}

```

*Εικόνα 5.25: Μέσω authentication guards γίνεται δυνατή η περιήγηση στο site*

### **5.2.3.3 Γραφήματα προβολής ιστορικού**

Για να προβάλλουμε το ιστορικό του κάθε χρήστη χρησιμοποιήσαμε το chart.js που δίνει διαδραστικότητα στα γραφήματα και ωραία εμφάνιση. Ένας χρήστης μπορεί να δει τα γραφήματα του είτε πατώντας στο navbar την επιλογή medical history ώστε να ανακατευθυνθεί είτε πατώντας απευθείας το url του site /dashboard εφόσον είναι συνδεδεμένος. Εμφανίζεται warning message όταν ο χρήστης δεν έχει στείλει παλμούς καρδιάς για παραπάνω από μία μέρα.

```

const appRoutes: Routes = [
  {path:'', component: HomeComponent},
  {path:'register', component: RegisterComponent},
  {path:'login', component: LoginComponent},
  {path:'dashboard', component: DashboardComponent, canActivate:[AuthGuard]},
  {path:'profile', component: ProfileComponent, canActivate:[AuthGuard]},
  {path:'caloricneeds', component: CaloricneedsComponent, canActivate:[AuthGuard]},
  {path:'chat', component: ChatComponent, canActivate:[AuthGuard]}
]

```

Εικόνα 5.26: Ορισμός των διαθέσιμων routes , απαραίτητα για την σωστή περιήγηση



Εικόνα 5.27 : Το πανbar από όπου γίνεται πρόσβαση στις επιμέρους σελίδες του site

Ανάλογα με το εάν έχει ρόλο γιατρού ή ασθενή θα του προβληθεί διαφορετικό μενού. Εάν είναι ασθενής μπορεί να διαλέγει αν θα βλέπει τα γραφήματα παλμών καρδιάς ή τα βήματα του, ενώ αν είναι γιατρός μπορεί να επιλέξει να δει τα αντίστοιχα ιστορικά ενός εκ των πελατών του.

```

HexiData(pname) {
  let Hexidata = this.HexiHistory(pname); //Fetch Data as Object in Hexidata
  let hexiDates = []
  let time = []
  let Pressure = []
  let HeartRate = []
  let jsdate = []
  var startdate = localStorage.getItem('StartDate') ;
  var enddate = localStorage.getItem('EndDate') ;
  if (startdate == '0' || enddate == '0') {
    this.flashMessage.show('Please enter Start and/or End date.', {cssClass: 'alert-danger', timeout: 3000});
    return null;
  }
  var SdateEntered = new Date(startdate).getTime();
  let SdateUnix = Math.floor(SdateEntered/1000);
  var EdateEntered = new Date(enddate).getTime();
  let EdateUnix = Math.floor(EdateEntered/1000);
  if (this.HexiData == null){
    this.flashMessage.show('No Data', {cssClass: 'fadeOut', timeout: 2000});
    return null;
  }
  var heartORsteps = localStorage.getItem('heartORsteps');
  if (heartORsteps == '0' ) {
    this.flashMessage.show('Please select chart to show.', {cssClass: 'alert-danger', timeout: 3000});
    return null;
  }
}

```

```

if (heartORsteps == "HeartRate"){
var dummycounter = 0 ;
var fakei = 0;
var fakei2 = 0;
for (var i in Hexidata) {
fakei2 = fakei - dummycounter;
if (SdateUnix < Hexidata[i].time && EdateUnix > Hexidata[i].time){
if (Hexidata[i].HeartRate == undefined){
dummycounter = dummycounter +1 ;
}
else{
HeartRate[fakei-dummycounter] = Hexidata[i].HeartRate;
time[fakei-dummycounter] = Hexidata[i].time;
}

fakei = fakei +1 ;
} else {
fakei = fakei +1;
dummycounter = dummycounter +1 ;
}
}

time.forEach((res) => {
jsdate[i] = new Date(res*1000);
hexiDates.push(jsdate[i].toISOString('en', { year: 'numeric', month: 'short', day: 'numeric'}))
})
this.canvas = document.getElementById('canvas');
if (this.canvas){
if (this.chart){
this.chart.destroy();
}
this.mybool = false;
this.chart = new Chart(this.canvas.getContext('2d'), {
type: 'line',
data: {
labels: hexiDates,
datasets: [
{
data: HeartRate,
borderColor: '#3cba9f',
label: "HeartRate",
fill: false
},
],
},
options: {
legend: {
display: true
},
scales: {
xAxes: [{
display: true
}],
yAxes: [{
display: true
}]
}
}
})
}
}
}

```

Εικόνα 5.28 : Ο κώδικας σε typescript που δημιουργεί το chart

```

<!DOCTYPE HTML>
<html>
<head>
  <link rel="stylesheet" href="dashboard.component.css">
</head>
<body>
<h2 class="page-header" >Data</h2>
<div *ngIf="user">
<div *ngIf="user.role == 'Patient'">
<p>Welcome to your Data </p>

  <canvas id="canvas">{{ chart }}</canvas>
<input type="button" value="Get Your Data" id="coolbutton">
<p id="ChartHeader">Select Chart </p>
<select id="heartORsteps" >
<option style="display:none" disable selected value>Please select option</option>
<option value="HeartRate">HeartRate</option>
<option value="Steps">Steps</option>
</select>
<br>
<input type="datetime-local" id="StartDate" value="2018-01-01" />
<input type="datetime-local" id="EndDate" value="2018-01-01" />
</div>
</div>

<div *ngIf="users">
<div *ngIf="user">
<div *ngIf="user.role == 'Doctor'">
<p id="DataHeader">Select Patients Data </p>
<select id="DropDown" >
<option *ngFor="let users of users.users">
  {{users.name}}
</option>
</select>
<br>
<input type="button" value="Get Patients Data" id="coolbutton">
<p id="ChartHeader">Select Chart </p>
<select id="heartORsteps" >
<option style="display:none" disable selected value>Please select option</option>
<option value="HeartRate">HeartRate</option>
<option value="Steps">Steps</option>
</select>
<br>
<input type="datetime-local" id="StartDate" value="2018-01-01" />
<input type="datetime-local" id="EndDate" value="2018-01-01" />

  <canvas id="canvas">{{ chart }}</canvas>

</div>
</div>
</div>
</body>
</html>

```

Εικόνα 5.29 : Ο κώδικας σε html που δημιουργεί το chart

## Data

Select Patients Data

Kostas Papageorgiou ▾

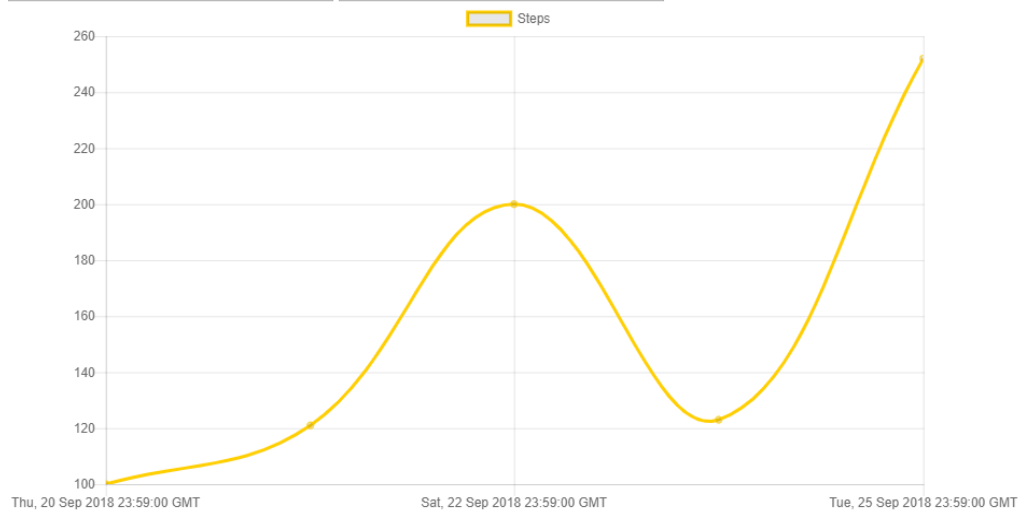
Get Patients Data

Select Chart

Steps ▾

10/08/2017 01:00 AM

10/16/2018 01:00 AM



Εικόνα 5.29 : Το chart για τα steps του user

### 5.2.3.4 Υπολογισμός *BMI*, *BMR*, *TDEE*

Τέλος, ως επιπλέον εφαρμογή έχουμε ένα μικρό app το οποίο υπολογίζει τον δείκτη μάζα σώματος (Body Mass Index, BMI), τον βασικό ρυθμό μεταβολισμού (Basal Metabolic Rate, BMR) και την συνολική καθημερινή κατανάλωση ενέργειας (Total Daily Energy Expenditure, TDEE). Για τα δύο πρώτα οι χρήστης καταχωρεί κάποιες απαραίτητες πληροφορίες όπως ύψος και βάρος σε μία φόρμα και μετά με βάση του παρακάτω αλγόριθμους υπολογίζονται το BMI και το BMR αντίστοιχα.

$$\text{BMI} = \frac{(\text{weight in kilograms})}{\text{height in meters}^2}$$

Μαθηματικός τύπος 5.3 : Υπολογισμός του BMI

$$\text{BMR} = \left( \frac{13.397 * m}{1 \text{ kg}} + \frac{4.799 * h}{1 \text{ cm}} - \frac{5.677 * a}{1 \text{ year}} + 88.362 \right) \frac{\text{kcal}}{\text{day}}$$

Μαθηματικός τύπος 5.4 : Υπολογισμός του BMR

Το TDEE υπολογίζεται με την βοήθεια του BMR και σε συνάρτηση με το βαθμό δραστηριότητας του κάθε ατόμου, η οποία επίσης παρέχεται στην προαναφερθείσα φόρμα. Οι βαθμοί δραστηριότητας είναι sedentary (καθιστική ζωή), light (1-2 φορές άσκηση την εβδομάδα), active (3-5 φορές άσκηση την εβδομάδα), και heavy (6+ φορές άσκηση την εβδομάδα). Υπολογίζεται ως εξής:

<b>Exercise Levels</b>	<b>Daily Calorie Needs</b>
Little to no exercise	BMR x 1.2
Light (1-2 days per week)	BMR x 1.375
Moderate (3-5 days per week)	BMR x 1.55
Heavy (6+ days per week)	BMR x 1.725

Πίνακας 5.6 : Υπολογισμός TDEE

Επιπλέον υπολογίζεται με βάση τα τελευταία steps του χρήστη (αν είναι διαθέσιμα) οι θερμίδες που έκαψε ο χρήστης.

Health and Care HOME CALORIC NEEDS MEDICAL HISTORY CHAT PROFILE LOGOUT

## BMI and BMR

The abbreviations BMI and BMR sound similar, but they stand for two separate things. Your BMI, or **body mass index**, is a number calculated from your height and weight which is then used to assess your body composition. Your BMR, or **basal metabolic rate**, is the number of calories you burn when your body is at rest. Although the two terms are independent of each other, your BMI may indirectly affect your BMR.

While BMI and BMR can be used separately as guidelines that allow oneself to make an educated determination about his/hers body composition and calorie burn, by knowing both one can make an even better estimation on what his/hers calorie goals and diet plans should be.

Calculate your BMR

**Gender**

Male  Female

**Daily Activity**

Sedentary  Light  Active  Heavy

**Height**

Height in cm.

**Weight**

Weight in kg.

**Age**

**SUBMIT**

Based on your last recorded steps (252) you burned 12.6 Calories.  
Your BMR is: 1785  
Your Total Daily Energy Expenditure is: 2766.75

Calculate your BMI

Εικόνα 5.30 : Προβολή καμμένων θερμίδων βάσει των steps, BMR και TDEE στο site

### 5.2.3.5 Private Chat

Για την επικοινωνία μεταξύ γιατρού και ασθενή δημιουργήθηκε το message schema με ορίσματα αποστολέα, παραλήπτη, μήνυμα και χρόνο που στάλθηκε το μήνυμα. Κάθε φορά που επιλέγεται η επικοινωνία με ένα συγκεκριμένο άτομο ανακτούνται όλα τα μηνύματα, σταλθέντα ή εισερχόμενα.



## Send Private Message

doc ▾

↻

10/16/2018, 3:50:14 PM

doc: Γειά σου κώστα. Ολα καλά;

10/16/2018, 4:19:44 PM

Kostas Papageorgiou: Μια χαρά γιατρέ. Ποτε θα κάνουμε εκείνες τις εξετάσεις που λέγαμε;

10/16/2018, 4:20:31 PM

doc: Θα σου στείλω μέχρι το βράδυ να σε ενημερώσω.

---

Message

Enter Message

SEND

*Εικόνα 5.31: Απο τη μεριά του patient*

## Send Private Message

Kostas Papageorgiou ▾

↻

10/16/2018, 3:50:14 PM

doc: Γειά σου κώστα. Ολα καλά;

10/16/2018, 4:19:44 PM

Kostas Papageorgiou: Μια χαρά γιατρέ. Ποτε θα κάνουμε εκείνες τις εξετάσεις που λέγαμε;

10/16/2018, 4:20:31 PM

doc: Θα σου στείλω μέχρι το βράδυ να σε ενημερώσω.

---

Message

Enter Message

SEND

*Εικόνα 5.32: Απο τη μεριά του doctor*

# 6

## *Επίλογος*

### **6.1 Το τελικό σύστημα - Σύνοψη**

Το τελικό σύστημα όπως υλοποιήθηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία παρέχει δυνατότητες εξ αποστάσεως εποπτείας της υγείας των ατόμων και παράλληλα φροντίζει για την σωστή ανίχνευση επικίνδυνων πτώσεων και για την άμεση δράση σε μια τέτοια περίπτωση. Η βασική λογική πίσω από την υλοποίηση είναι η αυτοματοποίηση των λειτουργιών και η αξιοποίηση τεχνικών IoT. Ως προς την ανίχνευση επικίνδυνων πτώσεων παρατέθηκαν και συγκρίθηκαν πλήθος αλγορίθμων και εν τέλει υλοποιήθηκε πρωτότυπος συνδυασμός αλγορίθμου κατώφλιου με cusum control chart, δίνοντας θετικά αποτελέσματα. Η ανάλυση των αλγορίθμων έγινε και με θεωρητικό και με πρακτικό τρόπο, στην οποία σημαντική βοήθεια συνείσφερε η σχετική αρθρογραφία της ακαδημαϊκής και ερευνητικής κοινότητας.

Τέλος προφανώς υπάρχουν πολλές δυνατότητες επεκτασιμότητας του συστήματος και με υλικοτεχνικές προσθήκες σε αυτό αλλά και με νέες ιδέες και μεθοδολογίες.

## 6.2 Προτάσεις για την επέκταση του συστήματος

Το IoT σύστημα που υλοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να θεωρηθεί ως μια βάση ώστε να επεκταθεί και να εμπλουτιστεί με νέα μέσα, τεχνικές και ιδέες. Μερικές προτάσεις για την βελτίωση και διεύρυνση των υπηρεσιών που προσφέρει το σύστημα είναι :

- Προσθήκη νέων συσκευών, ακριβέστερων αισθητήρων-smartwatch ή και on-click boards του Hexiwear για τη λήψη επιπλέον μετρήσεων και βιοσημάτων, και μάλιστα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι εφικτή η πρόσβαση σε μια συνολικότερη εποπτεία της υγείας ενός ατόμου και πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων και ενεργοποίηση μηχανισμών άμεσης αντιμετώπισης (πχ. Πιεσόμετρο, οξύμετρο).
- Βελτίωση του συστήματος αναγνώρισης πτώσης υλοποιώντας συνδυασμούς με νέες τεχνικές όπως είναι η αναγνώριση προτύπων με machine learning μέσω κάμερας, αναγνώριση θορύβου πτώσης μέσω αισθητήρων, αξιοποίηση smart floor ή ακόμα και συνδυάζοντας αλγορίθμους που μελετάνε κι άλλα μεγέθη όπως GSV(gravity weighted sum vector) / DSV(differentiated sum vector) της επιτάχυνσης, την αλλαγή γωνίας ως προς το δάπεδο χρησιμοποιώντας γυροσκόπιο κοκ.
- Προσθήκη στο smartwatch επιλογής απενεργοποίησης τυχόν λάθους συναγερμού πτώσης από τον ίδιο το χρήστη.
- Δυνατότητα αποστολής sensor data και εντοπισμού της τοποθεσίας του χρήστη μέσω απομακρυσμένης ασύρματης σύνδεσης (πχ. Εκτός σπιτιού).
- Επικοινωνία της ηλεκτρονικής πλατφόρμας με νοσοκομεία για τη διαρκή ενημέρωση και καταγραφή όλου του ιστορικού εξετάσεων του χρήστη σε ηλεκτρονική μορφή, όπως ακτινογραφίες και εξετάσεις αίματος.
- Προσθήκη στο site δυνατότητας υπενθύμισης κωδικού ή του ονόματος του χρήστη μέσω e-mail.

- Δυνατότητα social login ( με facebook, twitter accounts) στην ηλεκτρονική πλατφόρμα.
- Υλοποίηση forum στο site για συζήτηση και ενημέρωση της κοινότητας.

.

# 7

## *Βιβλιογραφία*

- [1] Raul Igual, Carlos Medrano, and Inmaculada Plaza (2013). *Challenges, issues and trends in fall detection systems* [online]. BioMedical Engineering OnLine, available from: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-12-66>
  
- [2] Bagalà F., Klenk J., Cappello A., Chiari L., Becker C., Lindemann U.(2013) *Quantitative Description of the Lie-to-Sit-to-Stand-to-Walk Transfer by a Single Body-Fixed Sensor*. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng Journal
  
- [3] Dongha Lim, Chulho Park, Nam Ho Kim, Sang-Hoon Kim, Yun Seop Yu (2014). *Fall-Detection Algorithm Using 3-Axis Acceleration: Combination with Simple Threshold and Hidden Markov Model*. Journal of Applied Mathematics 2014, Special Issue
  
- [4] Fabio Bagalà , Clemens Becker, Angelo Cappello, Lorenzo Chiari, Kamiar Aminian, Jeffrey M. Hausdorff, Wiebren Zijlstra, Jochen Klenk (2012). *Evaluation of Accelerometer-Based Fall Detection Algorithms on Real-World Falls*. PLOS ONE Open Access journal
  
- [5] Simon Johansson, Tor Carlsson (2015). *A machine-learning based approach to pre-impact fall detection with wearable devices: Motion Monitoring using sensor fusion and the support vector machine*. KTH

Royal Institute of Technology, ITM School of Industrial Engineering and Management , Stockholm, Sweden

- [6] iSixSigma. *A guide to control charts* [online]. Available from: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/a-guide-to-control-charts/>
- [7] Angular Templates (2018). *Learn how to build a MEAN stack application* [online]. Available from: <https://angular-templates.io/tutorials/about/learn-how-to-build-a-mean-stack-application>
- [8] NCSS Statistical Software. *Cumulative Sum (CUSUM) Charts: Chapter 247* [online]. Available from: [http://ncss.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/CUSUM\\_Charts.pdf](http://ncss.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/CUSUM_Charts.pdf)
- [9] S.K. Tasoulis, C.N. Doukas, I. Maglogiannis, V.P. Plagianakos (2011). *Statistical Data Mining of Streaming Motion Data for Fall Detection in Assistive Environments*. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
- [10] Falin Wu, Hengyang Zhao , Yan Zhao, Haibo Zhong (2015). *Development of a Wearable-Sensor-Based Fall Detection System*. International Journal of Telemedicine and Applications, vol. 2015, no. 2
- [11] Eduardo Casilari, José-Antonio Santoyo-Ramón, José-Manuel Cano-García (2017). *Analysis of Public Datasets for Wearable Fall Detection Systems*. Universidad de Málaga, Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech, Málaga, Spain.
- [12] Panagiotis Kostopoulos, Tiago Nunes, Kevin Salvi, Michel Deriaz, Julien Torrent (2015). *Increased Fall Detection Accuracy in an Accelerometer-Based Algorithm Considering Residual Movement*. ICPRAM - 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, Proceedings