

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ

Διπλωματική Εργασία

του

Δημητρίου Στέφου

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2022

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ

Ανάπτυξη συστήματος συνεχούς εξ αποστάσεως παρακολούθησης ασθενών

Δημήτριος Στέφος

Πτυχίο στην Πολιτισμική Τεχνολογία και Επικοινωνία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου 2017

Διπλωματική Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Επιβλέπων/ουσα Καθηγητής/τρια
Ονοματεπώνυμο Καθηγητή/τριας Κωνσταντίνος Ψάννης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

Κωνσταντίνος Ψάννης

Μαυρίδης Ιωάννης

Φουληράς Παναγιώτης

.....

.....

.....

Δημήτριος Στέφος

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Καταρχάς, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ Κωνσταντίνο Ψάννη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ το φίλο μου Γιώργο, για τη συμπαράστασή και υποστήριξη του, όπως και για την παρότρυνσή του να ξεκινήσω το προκείμενο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Θέλω, επίσης, να ευχαριστήσω τη συνάδελφο Καλλιόπη, με την οποία κάναμε μαζί τα πρώτα βήματα στο χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων.

Θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στη Μαργαρίτα, για τη συνεχή υποστήριξη και την ανεκτίμητη βοήθειά της στην διεξαγωγή της έρευνας για την εκπόνηση της εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου και την αδερφή μου Σοφία, οι οποίοι υπήρξαν πάντα το μεγαλύτερο στήριγμα σε όλα τα εγχειρήματά της ζωής μου.

Περιεχόμενα	
Ευχαριστίες	4
Περιεχόμενα.....	5
Πίνακας εικόνων και πινάκων	Error! Bookmark not defined.
Περίληψη	8
Abstract.....	9
Εισαγωγή	10
Σημασία των οξυμέτρων στην οξυμέτρηση και τη μέτρηση του καρδιακού ρυθμού	10
Ανάγκη για αυτοματοποίηση των μετρήσεων.....	10
Παλμική οξυμετρία.....	10
Τι είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)	11
Τι είναι Ιατροφαρμακευτικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Healthcare Internet of Things – HioT)..	13
Υπάρχουσες λύσεις	14
Φορετές συσκευές (Wearables).....	14
Μοντέλα που υπάρχουν στην αγορά	17
iHealth Air Pulse Oximeter	17
Nonin 3240 Bluetooth® Smart Wireless Technology - Wireless Finger Pulse Oximeter	18
Simproware Fingertip Pulse Oximeter with USB and Bluetooth Wireless	18
Aulisa Guardian Angel GA1000 Lite Adult Wireless Pulse Oximeter.....	19
Masimo MightySat 9909 Bluetooth iPhone & Android Finger Oximeter	20
BT-710 Pulse Oximeter	21
Προτεινόμενη λύση	22
Το σύστημα αισθητήρων	22
ESP NOW	22
Φορητή συσκευή (Wearable Component).....	22
Εξαρτήματα.....	23
Κύριος αλγόριθμος της φορητής συσκευής.....	26
Μέτρηση καρδιακού ρυθμού και οξυμέτρηση	29
Αναζήτηση δρομολογητή	32
Αποστολή δεδομένων στο δρομολογητή	34
Δρομολογητής	36
Εξαρτήματα.....	36
Πρωτόκολλο επικοινωνίας και αλγόριθμοι	38
Συγχρονιστής.....	41
Εξαρτήματα.....	41
Πρωτόκολλο επικοινωνίας και αλγόριθμοι	41
Η συνάρτηση uploadToDB(r,w,h,s)	42
Λογισμικό (Software)	42

Διαδικτυακή πλατφόρμα	43
Αρχικοποίηση και ρύθμιση	43
Λειτουργίες.....	46
Προγραμματιστική διεπαφή εφαρμογών (API).....	49
Βάση δεδομένων.....	52
Κύρια – MySQL.....	52
Κρυφή (cache) μνήμη – Redis.....	53
Αποτελέσματα.....	53
Χρηματικό κόστος.....	53
Πειραματικές μετρήσεις.....	54
Συμπεράσματα	58
Αναφορές	59

Εικόνα 1: Διάγραμμα οξυμέτρου (Gabriel Contreras Mota, 2018)	11
Εικόνα 2: Χρονοδιάγραμμα της εξέλιξης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Damini Verma, 2022)	12
Εικόνα 3: Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) (SecNews, 2020)	12
Εικόνα 4: Ιατροφαρμακευτικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Healthcare Internet of Things – HioT) (Rimbe, 2020)	14
Εικόνα 5: Έξυπνο αθλητικό περικάρπιο (skroutz, 2022)	15
Εικόνα 6: Έξυπνο ρολόι (Gadgets Now, 2022)	15
Εικόνα 7: Επίθεμα δέρματος (Nemaura, 2022)	15
Εικόνα 8: Συσκευή κεφαλιού (VR-expert, 2021)	16
Εικόνα 9: Έξυπνο ρούχο (Subrata Chandra Das, 2013)	16
Εικόνα 10: Συσκευή στήθους (μενταγιόν) (Kay, 2015)	17
Εικόνα 11: iHealth Air Pulse Oximeter (oxigo, 2022)	17
Εικόνα 12: Nonin 3240 Bluetooth® Smart Wireless Technology - Wireless Finger Pulse Oximeter (Digas, 2022)	18
Εικόνα 13: Simpro Fingertip Pulse Oximeter with USB and Bluetooth Wireless (home health pavilion, 2022)	19
Εικόνα 14: Aulisa GA1000 (Turner Medical, 2021)	19
Εικόνα 15: Masimo MightySat 9909 Bluetooth iPhone & Android Finger Oximeter (Turner Medical, 2021)	20
Εικόνα 16: BT-710 Pulse Oximeter (Praxisdienst, 2022)	21
Εικόνα 17 Αισθητήρας MAX 30102 (Moon Electronics, 2022), (Voltaat, 2022)	23
Εικόνα 18 Επαφές του αισθητήρα MAX 30102 (Microcontrollerslab, 2022)	24
Εικόνα 19 Μικροελεγκτής ESP32 NodeMCU (AliTools, 2022), (Synacorp, 2022)	25
Εικόνα 20 Επαφές του μικροελεγκτή ESP32 Node MCU (ESPHome, 2022)	26
Εικόνα 21 Μπαταρία CR2477N (https://www.renata.com/en/products/lithium-batteries/cr2477n/)	26
Εικόνα 22 Σύνδεση του μικροελεγκτή ESP32 με τον αισθητήρα MAX 30102 (Microcontrollerslab, 2022)	26
Εικόνα 23 Κύριος αλγόριθμος	28
Εικόνα 24 Μονάδα αισθητήρα MAX 30102 (Microcontrollerslab, 2022)	29
Εικόνα 25 Αλγόριθμος μέτρησης καρδιακού ρυθμού και οξυμέτρησης	32
Εικόνα 26 Αλγόριθμος αναζήτησης δρομολογητή	34
Εικόνα 27 Αλγόριθμος αποστολής δεδομένων στον δρομολογητή	36
Εικόνα 28 USB Micro-B receptacle (Sorter, 2013)	36
Εικόνα 29 SIM800L (Banggood, 2021)	37
Εικόνα 30 Διάγραμμα SIM800L (Sigmanortec, 2022)	37
Εικόνα 31 Σύνδεση ESP32 με SIM800L (Maker Pro, 2021), (Aliexpress, 2022)	38
Εικόνα 32 Αλγόριθμος μεταφόρτωσης δεδομένων από τον δρομολογητή	40
Εικόνα 33 Πλατφόρμα: Εγγραφή	44
Εικόνα 34 Πλατφόρμα: Είσοδος	44
Εικόνα 35 Πλατφόρμα: Αρχική	44
Εικόνα 36 Πλατφόρμα: Προσθήκη δρομολογητή	45
Εικόνα 37 Πλατφόρμα: Προσθήκη φορετής συσκευής	45
Εικόνα 38 Πλατφόρμα: Προσθήκη φορετής συσκευής, Φιλική ονομασία	45
Εικόνα 39 Πλατφόρμα: Αρχική σελίδα δρομολογητή	46
Εικόνα 40 Πλατφόρμα: Ιστορικό ασθενούς, Καρδιακός ρυθμός	46
Εικόνα 41 Πλατφόρμα: Ιστορικό ασθενούς, Κορεσμός οξυγόνου	47
Εικόνα 42 Πλατφόρμα: Όρια ειδοποίησης κινδύνου, Όρια	48
Εικόνα 43 Πλατφόρμα: Όρια ειδοποίησης κινδύνου, Μέθοδος ειδοποίησης	48
Εικόνα 44 Πλατφόρμα: Ειδοποίηση κινδύνου, Επίπεδο Οξυγόνου	49
Εικόνα 45 Πλατφόρμα: Ειδοποίηση κινδύνου, Καρδιακός ρυθμός	49
Εικόνα 46 Οξόμετρο εμπορίου beurer Po35 (Public, 2022)	54

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια με την πανδημία του COVID-19, παρατηρήθηκε σε πολλές μονάδες υγείας παγκοσμίως ότι υπάρχουν ασθενείς που δεν παρακολουθούνται ηλεκτρονικά τα ζωτικά τους σημεία κατά τη διάρκεια της νοσηλείας τους, λόγω έλλειψης ηλεκτρονικών συσκευών παρακολούθησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δαπανώνται πολύτιμοι πόροι ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού προκειμένου να παρασχεθεί συνεχής χειροκίνητη καταγραφή των σημείων αυτών. Κατά συνέπεια, δημιουργείται η ανάγκη για χαμηλού κόστους ηλεκτρονικές συσκευές μαζικής συνεχούς εξ' αποστάσεως παρακολούθησης και καταγραφής των ζωτικών σημείων των ασθενών.

Οι συσκευές που παρέχουν τις απαιτούμενες λειτουργίες και υπηρεσίες χρησιμοποιούν τεχνολογίες Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και συγκεκριμένα τις τεχνολογίες του Ιατροφαρμακευτικού Διαδικτύου των πραγμάτων (HiOT). Το HiOT είναι ένα σύστημα που ενσωματώνει λογισμικό, φυσικά αντικείμενα και υπολογιστικές συσκευές για την επικοινωνία, συλλογή και μεταφορά ιατρικών δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει αυτοματοποίηση και δύναται να βελτιώσει ραγδαία τα περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης.

Η προκείμενη εργασία αξιοποιώντας τις προαναφερθείσες τεχνολογίες προτείνει μια ολοκληρωμένη λύση ενός συστήματος συνεχούς μαζικής εξ' αποστάσεως παρακολούθησης των ζωτικών σημείων ασθενών. Οι συσκευές του προτεινόμενου συστήματος προσφέρουν ακρίβεια ανάλογη με τις αντίστοιχες συσκευές του εμπορίου με πολύ μικρότερο χρηματικό κόστος. Επιπλέον, μέσω της χρήσης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας ESP-NOW, που αναπτύχθηκε και υποστηρίζεται από την Espressif, και ενός καινοτόμου δικτύου συσκευών, επιτυγχάνεται αξιοσημείωτη ενεργειακή οικονομία και διάρκεια ζωής των μπαταριών. Τέλος, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία μηνυμάτων SMS για την υλοποίηση εξ' αποστάσεως επικοινωνίας το σύστημα δύναται να λειτουργήσει χωρίς να απαιτείται παροχή σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Abstract

In recent times with the COVID-19 pandemic, it has been observed in many health facilities around the world that there are patients who do not have their vital signs electronically monitored during their treatment due to a lack of electronic monitoring devices. As a result, valuable resources of medical and nursing staff are spent to provide continuous manual recording of these points. In consequence, there is a need for low-cost electronic devices for massive continuous remote monitoring and recording of patients' vital signs.

The devices, which provide these necessary functions and services, make use of Internet of Things Technologies (IoT) and, more specifically, Healthcare internet of Things Technologies (HiOT). The HiOT is a system that integrates software, physical objects, and computing devices, for communication, collection, and transmittance of medical supplies. This technology offers automation and may rapidly improve healthcare environments.

This Diploma Thesis hereto is aimed at providing an integrated solution of continuous mass remote monitoring of patients' vital signs, by utilizing the aforementioned technologies. The devices of the proposed system offer accuracy similar to the corresponding appliances of the market, but at a much lower monetary cost. In addition, using ESP-NOW communication protocol, which is developed and supported from Espressif, and an innovative network of devices, significant energy savings and battery life are achieved. Finally, by using the SMS messaging technology for the implementation of remote communication, means that the system can function properly without the need for an internet connection.

Εισαγωγή

Σημασία των οξυμέτρων στην οξυμέτρηση και τη μέτρηση του καρδιακού ρυθμού

Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για την ανθρώπινη ζωή. Είναι αναπόσπαστο μέρος για αμέτρητες βιολογικές διεργασίες. Η μεταφορά του οξυγόνου σε όλο το ανθρώπινο σώμα γίνεται από το κυκλοφορικό σύστημα και πιο συγκεκριμένα από την αιμοσφαιρίνη στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Η διατήρηση επαρκούς παροχής οξυγόνου στα ζωτικά όργανα είναι θεμελιώδης ευθύνη όλων των ιατρών. Εάν δεν συμβεί αυτό, μπορεί να προκληθεί θάνατος ή σοβαρή εγκεφαλική βλάβη. Δεδομένου ότι η ανίχνευση της υποξαιμίας μόνο με κλινικά συμπτώματα είναι αναξιόπιστη (J.F.Kidd, 1989), τα παλμικά οξυμέτρα έχουν γίνει ένα ουσιαστικό εργαλείο για την παρακολούθηση ασθενών και έχουν εύρος χρήσης από μονάδες εντατικής θεραπείας και χειρουργεία σε νοσοκομεία έως την επίβλεψη διαταραχών ύπνου στο σπίτι του ασθενούς (A. Von Chong, 2019).

Ανάγκη για αυτοματοποίηση των μετρήσεων

Η συχνότητα των οξυμετρήσεων επιλέγεται σύμφωνα με τις ανάγκες και την κατάσταση του εκάστοτε ασθενούς. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης, η οξυμέτρηση πραγματοποιείται χειροκίνητα από το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό. Δεδομένου ότι υπάρχει περιορισμός στο διαθέσιμο προσωπικό, υπάρχει η ανάγκη είτε να γίνονται τροποποιήσεις στη συχνότητα των μετρήσεων, είτε να αυξάνεται ο φόρτος εργασίας. Κατά συνέπεια, ένα ασύρματο σύστημα το οποίο θα έκανε μετρήσεις ανά μικρότερους χρόνους χωρίς να απασχολεί τόσο προσωπικό, θα ήταν ιδανικό.

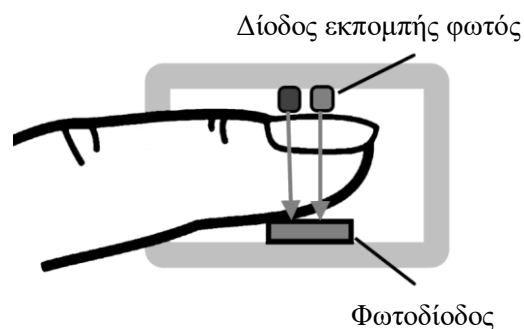
Το σύστημα αυτό, θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μη χρήζει τη συνεχή εποπτεία του ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης, θα έπρεπε να είναι ακριβές και αξιόπιστο έτσι ώστε οι μετρήσεις να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, και να είναι συγκρίσιμες με τις χειροκίνητες μετρήσεις. Η ασύρματη παλμική οξυμετρία προσθέτει πολλά πλεονεκτήματα στις παραδοσιακές ενσύρματες μονάδες. Είναι πιο βολικό για τον ασθενή στη χρήση και πιο άνετο. Οι ασύρματες μονάδες δεν χρειάζεται να επανασυνδέονται κάθε φορά που μετακινείται ο ασθενής.

Παλμική οξυμετρία

Η παλμική οξυμετρία είναι διαθέσιμη από τη δεκαετία του 1980, όταν αναπτύχθηκαν τα πρώτα κλινικά χρησιμοποιήσιμα παλμικά οξυμέτρα από τη Hewlett Packard (Andrew J Deacon, 2021). Βασίζονται στην τεχνική της φωτοπληθυσμογραφίας για τη μη επεμβατική εκτίμηση του κορεσμού του αρτηριακού αίματος με οξυγόνο (SpO_2). Αυτός είναι ένας σημαντικός δείκτης της καρδιοαναπνευστικής κατάστασης ενός ασθενούς, καθώς απεικονίζει το ποσοστό της αιμοσφαιρίνης που συνδέεται με οξυγόνο στο αρτηριακό αίμα. Πράγματι, για υγιείς ασθενείς, η πλειονότητα του μοριακού οξυγόνου (O_2) είναι συνδεδεμένη με την αιμοσφαιρίνη και μόνο ένα μικρό κλάσμα διαλύεται στο πλάσμα. Ωστόσο, οι ασθενείς που υποφέρουν από αναπνευστικά προβλήματα ή ορισμένες μεταβολικές και γενετικές διαταραχές, μπορεί να πέσουν σε επικίνδυνα χαμηλή ποσότητα οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης. Πέρα από αυτές τις εφαρμογές, πρόσθετες πληροφορίες εκτός από την οξυγόνωση μπορούν να ληφθούν με την τεχνική της φωτοπληθυσμογραφίας, όπως ο καρδιακός ρυθμός (A. Von Chong, 2019). Ο καρδιακός ρυθμός υπολογίζεται από τον αντίστροφο χρόνο μεταξύ διαδοχικών παλμών (J.F.Kidd, 1989).

Η τεχνική της φωτοπληθυσμογραφίας βασίζεται στο γεγονός ότι διαφορετικές ουσίες απορροφούν διαφορετικά μήκη κύματος φωτός σε διάφορους βαθμούς. Εάν εκπέμπεται φως δύο (ή περισσότερων) μηκών κύματος μέσω ενός μείγματος ουσιών και γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά απορρόφησης φωτός αυτών των ουσιών, είναι δυνατόν να εξαχθεί η συγκέντρωση κάθε ουσίας στο μείγμα από τη σχετική απορρόφηση κάθε μήκους κύματος φωτός. Προκειμένου να εξαχθούν οι συγκεντρώσεις οξυαιμοσφαιρίνης (HbO₂) και δεοξυαιμοσφαιρίνης (Hb), επιλέγονται μήκη κύματος στα οποία η απορρόφηση του φωτός είναι αρκετά διαφορετική για τις δύο ουσίες (Andrew J Deacon, 2021).

Ένα απλό παλμικό οξύμετρο αποτελείται από δύο διόδους εκπομπής φωτός (LED) που εκπέμπουν φως στα 660nm και 940nm (κόκκινο και υπέρυθρο (IR), αντίστοιχα) (**Error! Reference source not found.**) (Gabriel Contreras Mota, 2018). Αυτά τα μήκη κύματος δεν επιλέγονται μόνο για τα χαρακτηριστικά απορρόφησης τους, αλλά και επειδή τα LED τέτοιου τύπου είναι αξιόπιστα και φθηνά. Μια φωτοδίοδος στην αντίθετη πλευρά της συσκευής ανιχνεύει το εκπεμπόμενο φως. Ο ανιχνευτής δεν μπορεί να διαφοροποιήσει τα δύο μήκη κύματος και ως εκ τούτου κάθε LED ανάβει και σβήνει εναλλάξ, ο χρονισμός του οποίου επιτρέπει στον μικροεπεξεργαστή να προσδιορίζει τους κόκκινους και υπέρυθρους παλμούς και να παράγει ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα μετατρέπεται σε συνιστώσες συνεχούς ρεύματος (DC) και εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), με το DC να αντιπροσωπεύει τον ιστό υποβάθρου, το φλεβικό αίμα και το μη παλμικό αρτηριακό αίμα και το στοιχείο AC να αντιπροσωπεύει το παλλόμενο αρτηριακό αίμα. Η φάση DC αγνοείται και η φάση AC εμφανίζεται ως συνεχές ενισχυμένο σήμα. Το SpO₂ υπολογίζεται συγκρίνοντας το σήμα που έχει ληφθεί, με τις πρότυπες φυσιολογικές τιμές (Andrew J Deacon, 2021).

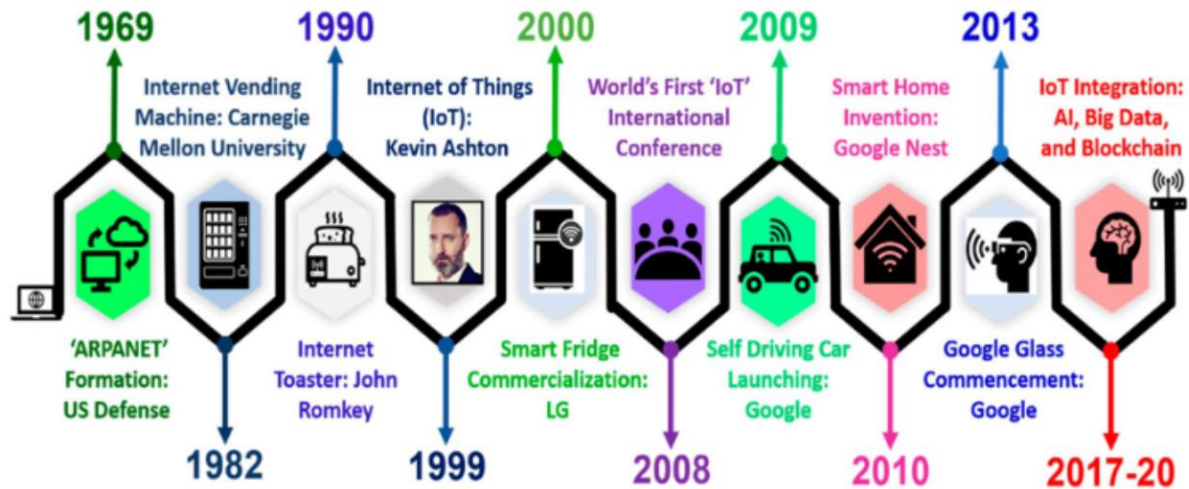


Εικόνα 1: Διάγραμμα οξύμετρον (Gabriel Contreras Mota, 2018)

Τι είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι η εφαρμογή της ιδέας που συνδέει όλες τις ψηφιακές και ηλεκτρονικές συσκευές στον κόσμο της πληροφορίας και προτείνεται για τη βελτίωση της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής και την εξερεύνηση καινοτόμων εφαρμογών πέρα από τις παραδοσιακό τρόπο σκέψης (Chi-Yu Chen, 2022). Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να περιγραφεί ως ένα δίκτυο που συνδέει όλες τις οντότητες με το διαδίκτυο μέσω συσκευών ανίχνευσης πληροφοριών, με σκοπό να πραγματοποιήσει τη λειτουργία της έξυπνης αναγνώρισης, λειτουργίας και διαχείρισης (Yizhou Shen, 2022). Το διεθνές πρότυπο, "ISO/IEC 20924:2018 Τεχνολογία πληροφοριών — Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) — Λεξικό», ορίζει το IoT ως την «υποδομή διασυνδεδεμένων οντοτήτων, ανθρώπινων συστημάτων και πόρων πληροφοριών μαζί με υπηρεσίες που επεξεργάζονται και αντιδρούν σε πληροφορίες από τον φυσικό και εικονικό κόσμο». Με άλλα λόγια, το IoT είναι μια υπερ-συνδεσιμότητα μεταξύ έξυπνων πραγμάτων, υπηρεσιών και ανθρώπων για την παροχή χρήσιμων και απρόσκοπτων υπηρεσιών ανεξάρτητα από τους τύπους δικτύων, συσκευών και πλατφορμών και με

ελάχιστη ανθρώπινη συμμετοχή. Αυτές οι τεχνολογίες, τα σχετικά πρότυπα και οι πλατφόρμες αναπτύσσονται συνεχώς (**Error! Reference source not found.**) (Jahoon Koo, 2021).



Εικόνα 2: Χρονοδιάγραμμα της εξέλιξης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Damini Verma, 2022)

Η μείωση του κόστους των εξαρτημάτων του IoT, οι βελτιωμένες ασύρματες υπηρεσίες, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τα βελτιωμένα επιχειρηματικά μοντέλα έχουν κάνει το όραμα του IoT πραγματικότητα. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως οι τεχνολογίες υπολογιστικού σύννεφου, η ανάλυση δεδομένων, η δικτύωση που βασίζεται στο Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP), η νανοτεχνολογία, οι πλέον ευρέως διαδεδομένοι υπολογιστές και άλλες τεχνολογίες, έχουν τροφοδοτήσει την ταχεία πρόοδο σε διάφορες εφαρμογές IoT. Αυτή η τεχνολογική επανάσταση περιλαμβάνει πλέον σχεδόν κάθε πτυχή της σύγχρονης ζωής μας, όπως έξυπνα σπίτια, αυτοκίνητα, έξυπνες συσκευές με δυνατότητα φωνής και ούτω καθεξής (Renya Nath N, 2022) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) (SecNews, 2020)

Πράγματι, σύμφωνα με στατιστικές εκθέσεις, ο αριθμός των «έξυπνων» συνδεδεμένων συσκευών ήταν 15 δισεκατομμύρια το 2015 και η ετήσια έκθεση διαδικτύου της Cisco (2018–2023) αποκαλύπτει ότι οι συνδεδεμένες συσκευές στο διαδίκτυο θα ξεπεράσουν τα 30 δισεκατομμύρια έως το 2023 και προβλέπεται να είναι 75 δισεκατομμύρια έως το 2025 (Nibir Mandal, 2022) (Renya Nath N, 2022). Οι πλατφόρμες IoT αποτελούν ουσιαστικό παράγοντα για την παροχή διαλειτουργικότητας επειδή υποστηρίζουν τη σύνδεση δικτύου με διάφορες συσκευές (π.χ. αισθητήρες και σημεία πρόσβασης) και παρέχουν υπηρεσίες στους χρήστες. Σύμφωνα με το IoT Platform Companies Landscape & Database 2020, ο επίσημος αριθμός εταιρειών πλατφόρμας IoT στην ανοιχτή αγορά είναι περισσότερες από 620, από 450 που ήταν το 2017 (Jahoon Koo, 2021).

Τι είναι Ιατροφαρμακευτικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Healthcare Internet of Things – HIoT)

Τα τελευταία χρόνια, το IoT διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δυνατότητα της αυτοματοποίησης σε πολλούς τομείς όπως τα απομακρυσμένα και έξυπνα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Στα νοσοκομεία, η περιορισμένη στελέχωση, η μεγάλη ροή ασθενών, η μακροχρόνια νοσηλεία και οι μέθοδοι επικοινωνίας είναι κοινά ζητήματα που σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη. Με σκοπό να γίνει η υγειονομική περίθαλψη πιο εξατομικευμένη, πιο οικονομικά αποδοτική και πιο αποτελεσματική στον τομέα της πρόληψης, το IoT μπορεί να θεωρηθεί και να χρησιμοποιηθεί ως σημαντική τεχνολογία στα συστήματα διαχείρισης υγείας (Mostafa Haghi Kashani, 2021) (Alshamrani, 2021). Οι ειδικοί εκτιμούν ότι το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς IoT σε τομείς της υγειονομικής περίθαλψης θα φτάσει τα 188,2 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025 (Nabila Sabrin Sworna, 2021).

Η χρήση τεχνολογιών IoT μπορεί να βελτιώσει ραγδαία τα περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης, όπως η τεχνολογία Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων (Internet of Medical Things- IoMT) που περιλαμβάνει συνδεδεμένους ιατρικούς αισθητήρες ή ειδικές ιατρικές συσκευές για την παροχή εξατομικευμένης προσέγγισης στην παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Στην υγειονομική περίθαλψη, οι αισθητήρες IoT και οι συσκευές IoT χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις ζωτικές λειτουργίες του ασθενούς. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να είναι ο καρδιακός ρυθμός, η θερμοκρασία, ο κορεσμός οξυγόνου και πολλά άλλα. Η χρήση της τεχνολογίας IoMT στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, που ονομάζεται Ιατροφαρμακευτικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Healthcare Internet of Things - HIoT) εξυπηρετεί στη δημιουργία κατάλληλων θεραπευτικών στρατηγικών για τους ασθενείς συνδέοντας ιατρικές συσκευές στο διαδίκτυο και πραγματοποιώντας διάφορες υπηρεσίες τηλευγείας, όπως η επίβλεψη ηλικιωμένων και η τηλεπαρακολούθηση. Αυτό θα ήταν εξαιρετικά ωφέλιμο για την πρόληψη των προβλημάτων και των επιπλοκών που προκαλούνται από τις ασθένειες (Mostafa Haghi Kashani, 2021) (Vipin Kumar Rathi, 2021) (Εικόνα 4).

Η συνολική ροή εργασίας μιας υποδομής υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στο IoT μπορεί γενικά να χωριστεί σε τέσσερα βήματα: ανίχνευση χρησιμοποιώντας συσκευές IoT, δημιουργία δικτύου και επικοινωνίας, στρατηγικές αποθήκευσης και υπολογισμού και εφαρμογή αλγορίθμων εξόρυξης δεδομένων (Nabila Sabrin Sworna, 2021).



Εικόνα 4: Ιατροφαρμακευτικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Healthcare Internet of Things – HIoT) (Rimbey, 2020)

Υπάρχουσες λύσεις

Φορετές συσκευές (Wearables)

Οι φορετές συσκευές αποτελούν το κομμάτι του IoT που έχει αναπτυχθεί για να βοηθήσει τους ανθρώπους να λάβουν τη σωστή θεραπεία. Οι φορετές συσκευές που βασίζονται στο IoT είναι έξυπνες συσκευές που συνδέονται με το Διαδίκτυο για τη συλλογή και την αποστολή δεδομένων και τη λήψη πληροφοριών για τη λήψη έξυπνων αποφάσεων. Αυτές οι συσκευές έχουν πλέον γίνει ζωτικό κομμάτι της τεχνολογίας IoT και η ανάπτυξή τους στρέφεται προς μια πιο εξειδικευμένη και πρακτική χρησιμότητα από το να είναι απλά αξεσουάρ. Επίσης, αυτές οι έξυπνες συσκευές μπορούν να αλληλεπιδρούν με άλλες ομάδες συσκευών, όπως έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphone) για επικοινωνιακούς και υπολογιστικούς σκοπούς (Damini Verma, 2022).

Στην αγορά καθώς και σε ακαδημαϊκές μελέτες, υπάρχουν οι ακόλουθες έξυπνες φορετές συσκευές οι οποίες παρέχουν πληθώρα λειτουργιών.

- Έξυπνα αθλητικά περικάρπια (Fitness bands):

Τα περικάρπια αυτά, έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τη μέτρηση των δραστηριοτήτων φυσικής κατάστασης και της ανθρώπινης υγείας (Damini Verma, 2022).



Εικόνα 5: Έξυπνο αθλητικό περικάρπιο (skroutz, 2022)

- Έξυπνα ρολόγια (Smartwatches):

Τα έξυπνα ρολόγια έχουν γίνει η πιο ζωτική φορητή συσκευή που ελέγχει την εμβιομηχανική και τα φυσιολογικές λειτουργίες των ανθρώπων στη σύγχρονη καθημερινή ζωή. Ως αποτέλεσμα, λειτουργεί ως αξεσουάρ παρακολούθησης της φυσικής κατάστασης, επιτρέποντας στους χρήστες να καταγράφουν αυτόματα τις καθημερινές τους δραστηριότητες, όπως θερμίδες που καίγονται, μετρήσεις βημάτων, καρδιακούς παλμούς και χρόνους προπόνησης (Damini Verma, 2022).



Εικόνα 6: Έξυπνο ρολόι (Gadgets Now, 2022)

- Επιθέματα δέρματος:

Οι Nyein et al. ανέπτυξε μια εύκαμπτη συσκευή επιθέματος για την εξέταση δειγμάτων ιδρώτα σε πραγματικό χρόνο. Αυτός ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις συγκεντρώσεις ιόντων (Cl^- , K^+ , Na^+ , H^+) και τον ρυθμό ιδρώτα, γεγονός που του επιτρέπει να παρακολουθεί την κλινική κατάσταση και την ανθρώπινη φυσιολογία μέσω παραμέτρων ιδρώτα (Hnin Yin Yin Nyein, 2018). Ομοίως οι Lee et al. και οι Parlak et al. σχεδίασαν ένα επίθεμα για την ανίχνευση της κορτιζόλης (Onur Parlak, 2018) (Han-Byeol Lee, 2020).



Εικόνα 7: Επίθεμα δέρματος (Netaura, 2022)

- Συσκευές κεφαλιού:

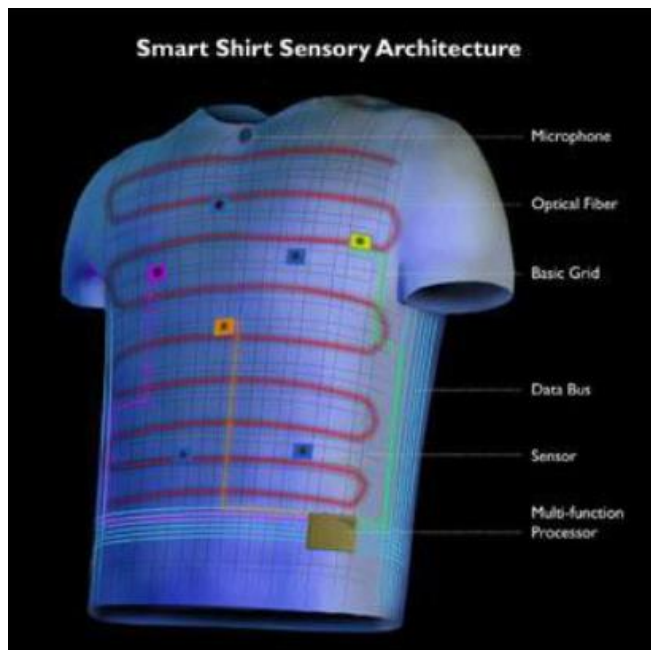
Οι συσκευές που τοποθετούνται στο κεφάλι είναι τα οπτικά εργαλεία που έχουν δυνατότητες hands-free. Γενικώς είναι στερεωμένα στο κεφάλι του ατόμου, όπως καπέλα, γυαλιά και κράνη (Damini Verma, 2022).



Εικόνα 8: Συσκευή κεφαλιού (VR-expert, 2021)

- Έξυπνα ρούχα/ηλεκτρονικά υφάσματα:

Τα έξυπνα ρούχα, επίσης γνωστά ως ηλεκτρονικά υφάσματα, είναι ένας αυξανόμενος διεπιστημονικός τομέας φορητών συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη φυσική κατάσταση και την υγειονομική περίθαλψη. Περιλαμβάνει υλικό ένδυσης που συνδέεται με αγωγίμες συσκευές για την ανίχνευση διαφόρων περιβαλλοντικών καταστάσεων και την απόκριση σε μηχανικές, χημικές ή θερμικές διακυμάνσεις (Ezgi Ismar, 2020).



Εικόνα 9: Έξυπνο ρούχο (Subrata Chandra Das, 2013)

- Συσκευές που τοποθετούνται στο στήθος:

Είναι συσκευές τύπου μενταγιόν, με αισθητήρα ισορροπίας και ένα κουμπί, που το πάτημά του προτρέπει μήνυμα ή αυτόματη κλήση σε έναν αριθμό έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πτώσης (Damini Verma, 2022).



Εικόνα 10: Συσκευή στήθους (μενταγιόν) (Kay, 2015)

Μοντέλα που υπάρχουν στην αγορά

Στην αγορά υπάρχουν πολλά μοντέλα και μάρκες παλμικών οξυμέτρων. Επιλέχθηκαν δειγματοληπτικά κάποια, με βάση τη δημοτικότητα και τα χαρακτηριστικά.

iHealth Air Pulse Oximeter

Το iHealth Air Pulse Oximeter είναι ένα κορυφαίο παλμικό οξύμετρο στον κλάδο. Εμφανίζει τα αποτελέσματά από το παλμικό οξύμετρό αμέσως στην οθόνη LED της συσκευής. Υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης των αποτελεσμάτων ταυτόχρονα με τη δωρεάν εφαρμογή υγείας του iHealth για κινητά, με την οποία επικοινωνεί με Bluetooth.



Εικόνα 11: iHealth Air Pulse Oximeter (oxigo, 2022)

Χαρακτηριστικά:

- Εύρος μέτρησης SpO₂: 70-99%
- Ακρίβεια μέτρησης SpO₂: 70-99%, ±2%; <70%

- Εύρος μέτρησης καρδιακού ρυθμού: 30-250bpm
- Ακρίβεια μέτρησης καρδιακού ρυθμού: ± 2 bpm
- Ενέργεια: Μπαταρία, 3.7V li-ion, 390 mAh
- Εύρος τιμής: 50-100 €

Nonin 3240 Bluetooth® Smart Wireless Technology - Wireless Finger Pulse Oximeter

Το παλμικό οξύμετρο δακτύλου NoninConnect™ Elite εμφανίζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην οθόνη της συσκευής, καθώς επίσης επιτρέπει και στους κλινικούς γιατρούς να βλέπουν εξ αποστάσεως (έως 10 μέτρα) την ένδειξη SpO₂ του ασθενούς τους σε πραγματικό χρόνο. Οι ασθενείς μπορούν να στείλουν και να αποθηκεύσουν το ιστορικό τους SpO₂ μέσω μιας συσκευής Apple®, η οποία μπορεί να βοηθήσει στον προληπτικό εντοπισμό προβλημάτων για έγκαιρη παρέμβαση και στην αποφυγή της εκ νέου νοσηλείας.



Εικόνα 12: Nonin 3240 Bluetooth® Smart Wireless Technology - Wireless Finger Pulse Oximeter (Digas, 2022)

Χαρακτηριστικά:

- Επιτρέπει στους ασθενείς και τους κλινικούς ιατρούς να αποθηκεύουν το ιστορικό SpO₂ τους (μέσω email) χρησιμοποιώντας ένα συμβατό έξυπνο τηλέφωνο ή τάμπλετ Apple.
- Η εφαρμογή NoninConnect™ επιτρέπει στους ασθενείς να μοιράζονται μετρήσεις δειγματοληπτικού ελέγχου με την εφαρμογή Health της Apple.
- Διάρκεια ζωής μπαταρίας – έως 2.200 έλεγχοι με δύο μπαταρίες AAA
- Εύρος τιμής 300-400 €

Simpro Fingertip Pulse Oximeter with USB and Bluetooth Wireless

Το παλμικό οξύμετρο Simpro Fingertip Pulse Oximeter with USB and Bluetooth Wireless, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νοσοκομείο, σπίτι, κοινοτική ιατρική περίθαλψη, αθλητική υγειονομική περίθαλψη κ.λπ. και αποθηκεύει τα δεδομένα. Διαθέτει οθόνη στην οποία εμφανίζεται η μέτρηση του SpO₂ και ο καρδιακός ρυθμός, καθώς επίσης και εμφανίζεται η κυματομορφή του καρδιακού ρυθμού και ένα ραβδόγραμμα. Έχει φιλικό μενού λειτουργίας για τη ρύθμιση της λειτουργίας του και ρυθμιζόμενη φωτεινότητα σε τέσσερα επίπεδα.



Εικόνα 13: Simpro Fingertip Pulse Oximeter with USB and Bluetooth Wireless (home health pavilion, 2022)

Χαρακτηριστικά:

- Λειτουργία παλμικού ήχου.
- Επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου.
- Ένδειξη τάσης μπαταρίας.
- Μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια SpO₂ και καρδιακό ρυθμό.
- Λειτουργία συναγερμού. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει άνω και κάτω όρια.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Σβήνει αυτόματα όταν δεν υπάρχει σήμα.
- Διασύνδεση USB με υπολογιστή. Το λογισμικό μπορεί να αναλύσει, να αποθηκεύσει και να εκτυπώσει τα δεδομένα.
- Εύρος τιμής: 200 – 300€

Aulisa Guardian Angel GA1000 Lite Adult Wireless Pulse Oximeter

Το Aulisa GA1000 είναι ένα σύστημα παλμικού οξυμέτρου που χρησιμοποιεί ένα ασύρματο οξύμετρο καρπού για τη μετάδοση μετρήσεων κορεσμού οξυγόνου (SpO₂) και καρδιακών παλμών χρησιμοποιώντας σύνδεση Bluetooth σε συσκευή Android / Apple IOS. Η μονάδα οθόνης θα ειδοποιήσει (ηχητικά & οπτικά) εάν τα επίπεδα O₂ πέσουν κάτω από μια καθορισμένη τιμή. Το ηχητικό σήμα θα ειδοποιήσει εάν η τιμές των μετρήσεων είναι υψηλότερες ή χαμηλότερες από τα προκαθορισμένα όρια. Το GA1000 LITE καταγράφει δεδομένα οξυμετρίας (έως 30 ημέρες) για έλεγχο ή αναφορά. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν σε μορφή δεδομένων Microsoft Excel.



Εικόνα 14: Aulisa GA1000 (Turner Medical, 2021)

Χαρακτηριστικά:

- Συνεχής παρακολούθηση ζωτικών σημείων, μετρήσεις μία φορά το δευτερόλεπτο (Κορεσμός οξυγόνου SpO₂ και καρδιακός ρυθμός)
- Ασύρματη συσκευή οξυμέτρου με ενσωματωμένη επαναφορτιζόμενη μπαταρία διάρκειας 22 ωρών
- Συναγερμοί - Εύκολη διαμόρφωση συναγερμών και για τις δύο μετρήσεις (επίπεδα O₂ και καρδιακός ρυθμός)
- Συνοδευτική εφαρμογή Android / IOS που επιτρέπει στους χρήστες να συνδέονται στην οθόνη και να προβάλλουν τις ίδιες πληροφορίες
- Εύρος τιμής: 300-400 €

Masimo MightySat 9909 Bluetooth iPhone & Android Finger Oximeter

Από τους κορυφαίους στην παλμική οξυμετρία, το παλμικό οξύμετρο MightySat επιτρέπει την παρακολούθηση της οξυγόνωσης του αίματος (SpO₂), τον καρδιακό ρυθμό (PR) και τον δείκτη διάχυσης (PI) — ακόμη και κατά τη διάρκεια της κίνησης και της χαμηλής ροής αίματος στο δάχτυλο. Με τη δωρεάν εφαρμογή Masimo MightySat, εμφανίζεται γραφικά το ιστορικό μετρήσεων SpO₂ και PR με την πάροδο του χρόνου και υπάρχει δυνατότητα να αποσταλούν αυτά τα δεδομένα μέσω email.



Εικόνα 15: Masimo MightySat 9909 Bluetooth iPhone & Android Finger Oximeter (Turner Medical, 2021)

Χαρακτηριστικά:

- Μετρά τον κορεσμό οξυγόνου και τον ρυθμό παλμών κατά τη διάρκεια της κίνησης
- Η έγχρωμη οθόνη παρέχει μετρήσεις και γραφήματα για την παρακολούθηση των τάσεων με την πάροδο του χρόνου
- Δυνατότητα εξαγωγής ιστορικού δεδομένων σε αρχεία .CSV (τιμές διαχωρισμένες με κόμμα) για χρήση με προγράμματα επεξεργασίας κειμένου και υπολογιστικών φύλλων όπως το Microsoft Excel
- Μπαταρίες (2 x AAA)
- Εύρος τιμής 300-400 €

BT-710 Pulse Oximeter

Το παλμικό οξύμετρο BT-710 είναι εύκολο στο χειρισμό με την οθόνη αφής. Τα όρια και η ένταση του συναγερμού μπορούν να ρυθμιστούν μεμονωμένα από τον χρήστη σύμφωνα με τις ανάγκες του. Το BT-710 είναι εξοπλισμένο με μπαταρία ιόντων λιθίου που παρέχει έως και 8 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν γρήγορα και εύκολα σε υπολογιστή, χρησιμοποιώντας μια κάρτα SD.



Εικόνα 16: BT-710 Pulse Oximeter (Praxisdienst, 2022)

Χαρακτηριστικά:

- Έγχρωμη οθόνη αφής 4,3".
- Κατάλληλο για παρακολούθηση του παλμού και του κορεσμού οξυγόνου σε ενήλικες, παιδιά και βρέφη
- Εμφάνιση δείκτη διάχυσης
- Ενσωματωμένη μπαταρία ιόντων λιθίου
- Έως και 8 ώρες συνεχούς λειτουργίας με μία μόνο φόρτιση
- Ακουστικός και οπτικός συναγερμός
- Ρυθμιζόμενα όρια συναγερμού για SpO₂, ρυθμό σφυγμού και δείκτη διάχυσης
- Αναπαράσταση κυματικής μορφής
- Ένδειξη επιπέδου φόρτισης
- Υποδοχή κάρτας SD
- Εύρος SpO₂: 0 - 100 %
- Δείκτης διάχυσης: 0,05 - 20 %
- Εύρος παλμών: 25 - 250 bpm
- Γλώσσες: Αγγλικά, Γερμανικά, Γαλλικά, Ισπανικά, Πολωνικά, Ιταλικά, Τουρκικά
- Εύρος τιμής: 200-300 €

Οι περισσότερες από τις συσκευές που υπάρχουν ήδη στην αγορά βρίσκονται στο εύρος τιμών 200€-300€, το οποίο είναι ένα αρκετά υψηλό κόστος για τη χρήση τους σε μεγάλη έκταση για εγκαταστάσεις όπως νοσοκομεία και κλινικές. Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους οι συσκευές αυτές έχουν μικρό χρόνο συνεχούς λειτουργίας, ακόμα και όταν πρόκειται για συσκευές με επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Το

εύρος χρόνου λειτουργίας τους κυμαίνεται από οκτώ έως 22 ώρες λειτουργίας. Επίσης, οι συσκευές οι οποίες λειτουργούν με μπαταρίες AAA έχουν μεγαλύτερο όγκο.

Προτεινόμενη λύση

Η λύση που προτείνεται στην προκείμενη διπλωματική εργασία, είναι ένα σύστημα το οποίο θα μετράει σε πραγματικό χρόνο, 24 ώρες το εικοσιτετράωρο και επτά ημέρες την εβδομάδα, τον καρδιακό ρυθμό του ασθενούς και τον κορεσμό του οξυγόνου στο αίμα του. Τα δεδομένα αυτά θα μεταφορτώνονται κάθε λίγα λεπτά σε μία βάση δεδομένων στο διαδίκτυο, ώστε να δοθεί η δυνατότητα στο γιατρό, ή στον οποιονδήποτε εξουσιοδοτημένο ενδιαφερόμενο, να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την τρέχουσα κατάσταση του ασθενούς, όπως και το ιστορικό του έως τώρα.

Το σύστημα αισθητήρων

Το κάθε σύστημα αποτελείται από μία συσκευή δρομολόγησης (server-router), από μία (1) μέχρι είκοσι (20) φορητές (από τους χρήστες) συσκευές και για τη σύνδεση όλων των συστημάτων που δεν έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο με την βάση δεδομένων υπάρχει μία συσκευή συγχρονισμού (μία γενικώς, όχι μία για κάθε σύστημα). Οι φορητές συσκευές επικοινωνούν αμφίδρομα με το δρομολογητή, μέσω του πρωτοκόλλου ανοιχτού κώδικα ESP-NOW, που έχει αναπτυχθεί και υποστηρίζεται από την Expressif, και οι δρομολογητές που δεν έχουν σύνδεση στο διαδίκτυο, επικοινωνούν με τη συσκευή συγχρονισμού μέσω γραπτών μηνυμάτων SMS, η οποία με τη σειρά της μεταφορτώνει τα εισερχόμενα δεδομένα στη βάση δεδομένων.

ESP NOW

Το ESP-NOW είναι ένα πρωτόκολλο που δημιουργήθηκε και αναπτύσσεται από την Espressif, το οποίο επιτρέπει σε πολλαπλές συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους, δίχως να χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο Wi-Fi. Το πρωτόκολλο είναι παρεμφερές με τη χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης ασύρματη επικοινωνία 2.4GHz που χρησιμοποιούν συνήθως τα ασύρματα ποντίκια και πληκτρολόγια.

Πρόκειται για μία γρήγορη, χωρίς σύνδεση, επικοινωνία για μεταφορά πακέτων μικρού μεγέθους. Εφαρμόζεται η τεχνολογία επικοινωνίας IEEE802.11, όπως και η λειτουργία IE, η οποία έχει δημιουργηθεί από τον ίδιο κατασκευαστή, καθώς και η τεχνολογία κρυπτογράφησης CCMP, παρέχοντας μία ολοκληρωμένη και ασφαλή αμφίδρομη επικοινωνία. (Espressif, 2016)

Λόγω της γρήγορης και χωρίς σύνδεση επικοινωνίας, μειώνεται δραματικά ο χρόνος που χρειάζεται να είναι σε λειτουργία οι ασύρματες λειτουργίες του μικροελεγκτή, άρα επιτυγχάνεται επικοινωνία με χαμηλό ενεργειακό κόστος.

Φορητή συσκευή (Wearable Component)

Η φορητή συσκευή αποτελείται από δύο τμήματα, το τμήμα που τοποθετείται στον καρπό και το τμήμα που τοποθετείται στο δάχτυλο, συγκεκριμένα στην άπω φάλαγγα, ώστε να παρέχονται όσο το

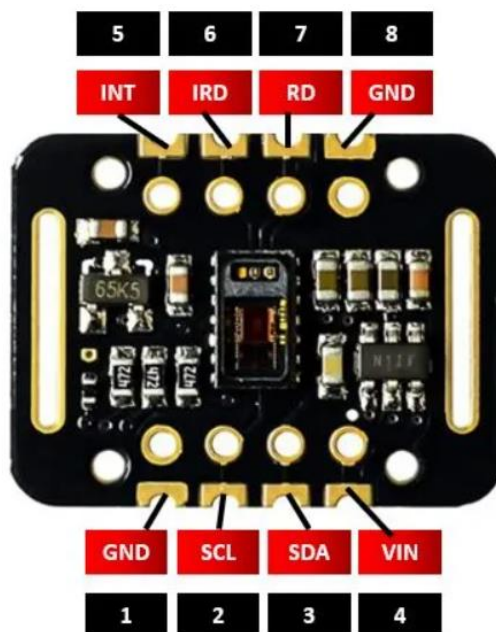
δυνατόν ακριβέστερες και ποιοτικότερες μετρήσεις. Τα δύο τμήματα συνδέονται μεταξύ τους, μέσω ενός τετραπλού καλωδίου.

Εξαρτήματα

Το τμήμα που τοποθετείται στο δάχτυλο, φέρει τον αισθητήρα καρδιακού ρυθμού και κορεσμού οξυγόνου. Συγκεκριμένα, αποτελείται από έναν υφασμάτινο μάντα, μήκους δέκα (10) εκατοστών και πλάτους τριών (3) εκατοστών, πάνω στον οποίο είναι στερεωμένος ο αισθητήρας MAX30102 (Εικόνα 17). Το χρώμα, οι διαστάσεις και το υλικό του μάντα, έχουν επιλεγθεί με σκοπό να παρέχεται στον αισθητήρα σταθερότητα και ευστάθεια και να αποκλείεται όσο το δυνατόν περισσότερο εξωτερικό φως, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν άμεσα και σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα και την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι επαφές Vin, SDA, SCL και GND του αισθητήρα, συνδέονται με το τετραπλό καλώδιο που με τη σειρά του συνδέεται στο τμήμα που τοποθετείται στον καρπό (Εικόνα 18).



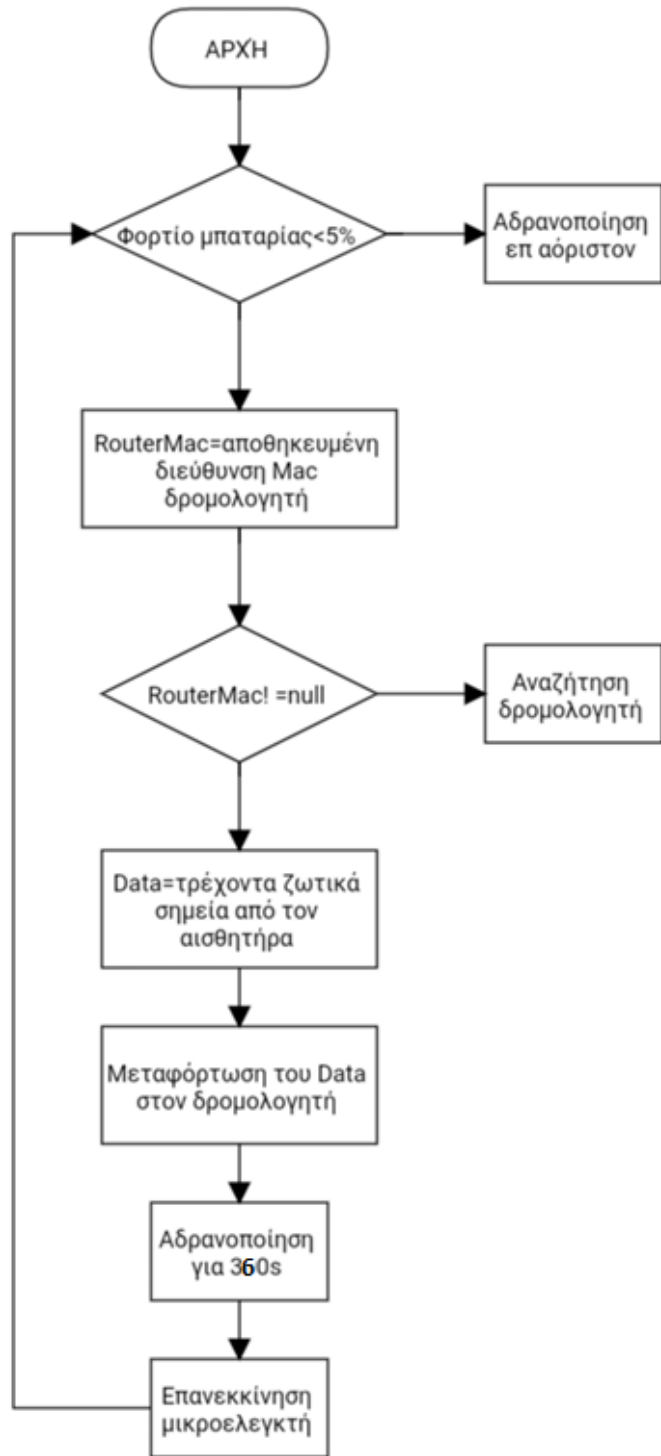
Εικόνα 17 Αισθητήρας MAX 30102 (Moon Electronics, 2022), (Voltaat, 2022)



Εικόνα 18 Επαφές του αισθητήρα MAX 30102 (Microcontrollerslab, 2022)

Το τμήμα που τοποθετείται στον καρπό, αποτελείται από έναν μάντα μήκους 25 εκατοστών και πλάτους δύο (2) εκατοστών και μία συσκευή μήκους 58 χιλιοστών, πλάτους 34 χιλιοστών και ύψους 16.25 χιλιοστών. Η συσκευή φέρει τον μικροελεγκτή ESP32 NodeMCU (Εικόνα 19, Εικόνα 20) και δύο μπαταρίες CR2477N (Εικόνα 21). Δε φέρει κανέναν αισθητήρα, καθώς χρησιμοποιείται για την συλλογή και την ερμηνεία των δεδομένων από τον αισθητήρα του δακτύλου, όπως και για την διαβίβασή τους στον δρομολογητή, ώστε να μεταφορτωθούν στην διαδικτυακή βάση δεδομένων. Η σύνδεση με τον αισθητήρα του δακτύλου επιτυγχάνεται μέσω του τετραπλού καλωδίου, το οποίο συνδέει τις επαφές 3.3v, GPIO22, GPIO21 και GND του μικροελεγκτή ESP32 με τις επαφές Vin, SCL, SDA και GND του αισθητήρα MAX30102, αντίστοιχα (Εικόνα 22).

με τον μικροελεγκτή δρομολογητή και εάν δεν υπάρχει στην εμβέλεια ή δεν έχει προαποθηκευτεί κάποια διεύθυνση στη μνήμη, τότε καλείται η συνάρτηση αναζήτησης δρομολογητή, ώστε να συνδεθεί με έναν από τους δρομολογητές που βρίσκονται στην εμβέλεια του ασύρματου δικτύου της συσκευής. Μόλις επιτευχθεί η σύνδεση με κάποιον δρομολογητή, τότε διαβιβάζονται σε αυτόν οι τρέχουσες μετρήσεις από τον αισθητήρα, οι οποίες στη συνέχεια εάν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση με το διαδίκτυο μεταφορτώνονται απευθείας στη βάση δεδομένων, και εάν δεν υπάρχει τότε αποστέλλονται στο συγχρονιστή, όπου μετά μεταφορτώνονται στην διαδικτυακή βάση δεδομένων. Μετά από κάθε επιτυχή διαβίβαση, η ασύρματες λειτουργίες απενεργοποιούνται και ο μικροελεγκτής τίθεται σε λειτουργία αναμονής για τα επόμενα 6 λεπτά και μετά το πέρας των 6 λεπτών, η συσκευή επανεκκινείται και επαναλαμβάνεται όλη η διαδικασία. Στην περίπτωση που το φορτίο που απομένει στην μπαταρία, είναι λιγότερο από το 5% της συνολικής χωρητικότητας της, η συσκευή τίθεται σε «βαθιά αναμονή» (deep sleep) και αναστέλλονται όλες οι λειτουργίες, έως ότου να αλλαχθεί η μπαταρία και να επανεκκινηθεί η συσκευή εξ ολοκλήρου.

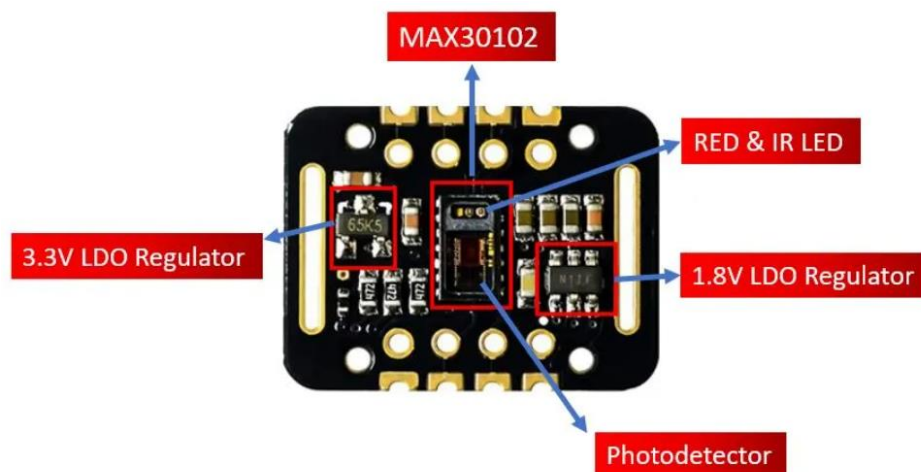


Εικόνα 23 Κύριος αλγόριθμος

Μέτρηση καρδιακού ρυθμού και οξυμέτρηση

Αισθητήρας

Ο MAX30102 είναι ένα είδος αισθητήρα στον οποίο είναι ενσωματωμένο το παλμικό οξύμετρο καθώς και ένας αισθητήρας παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού. Αυτή η μονάδα αποτελείται από δύο βελτιστοποιημένα οπτικά LED και μια αναλογική μονάδα επεξεργασίας σήματος χαμηλού θορύβου για την ανίχνευση του καρδιακού παλμού και των σημάτων SpO₂. Αυτός ο αισθητήρας είναι αποδοτικός σε υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας και υψηλή έξοδο δεδομένων. Η τάση λειτουργίας του είναι 1,8 V έως 5 V. Διαθέτει επίσης ένα ρυθμιστή τάσης για τυχόν θορύβους υψηλής τάσης. Επιπλέον, υπάρχει ένας ενσωματωμένος φωτοαισθητήρας (Εικόνα 24). Η φωτεινότητα του LED, το εύρος ανίχνευσης του φωτοαισθητήρα και ο ρυθμός δειγματοληψίας μπορούν να ελεγχθούν μέσω προγραμματισμού (Kakumanu Vamsi Sree Sai Ganesh, 2021).



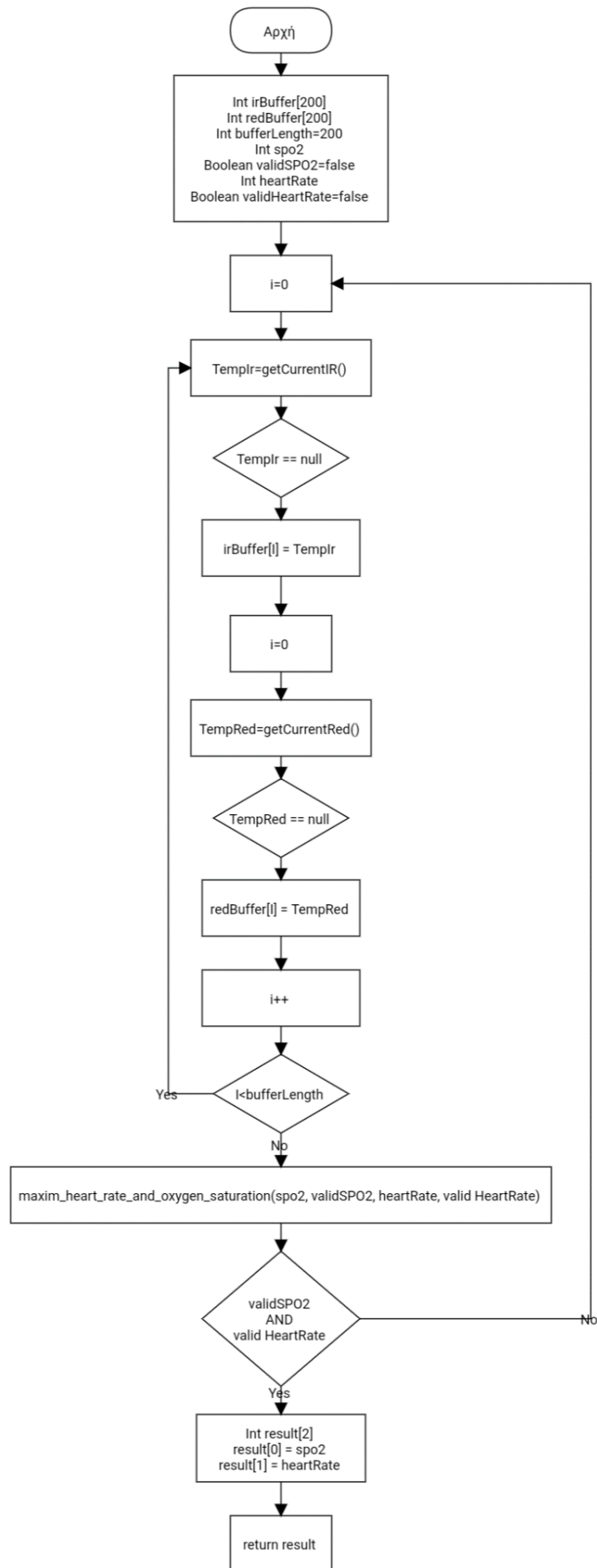
Εικόνα 24 Μονάδα αισθητήρα MAX 30102 (Microcontrollerslab, 2022)

Αυτή η μονάδα παλμικού οξύμετρου διασυνδέεται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο I2C το οποίο χρησιμοποιεί μόνο τέσσερις ακίδες για την επικοινωνία (VCC, GND, SDA, SCL). Επιπλέον, με αυτήν την μονάδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετοί αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για να προβλέψουν τις οριακές συνθήκες όσον αφορά τα προβλήματα υγείας καθώς και άλλα προβλήματα που σχετίζονται με ζωτικές λειτουργίες του σώματος (Kakumanu Vamsi Sree Sai Ganesh, 2021).

Αλγόριθμος

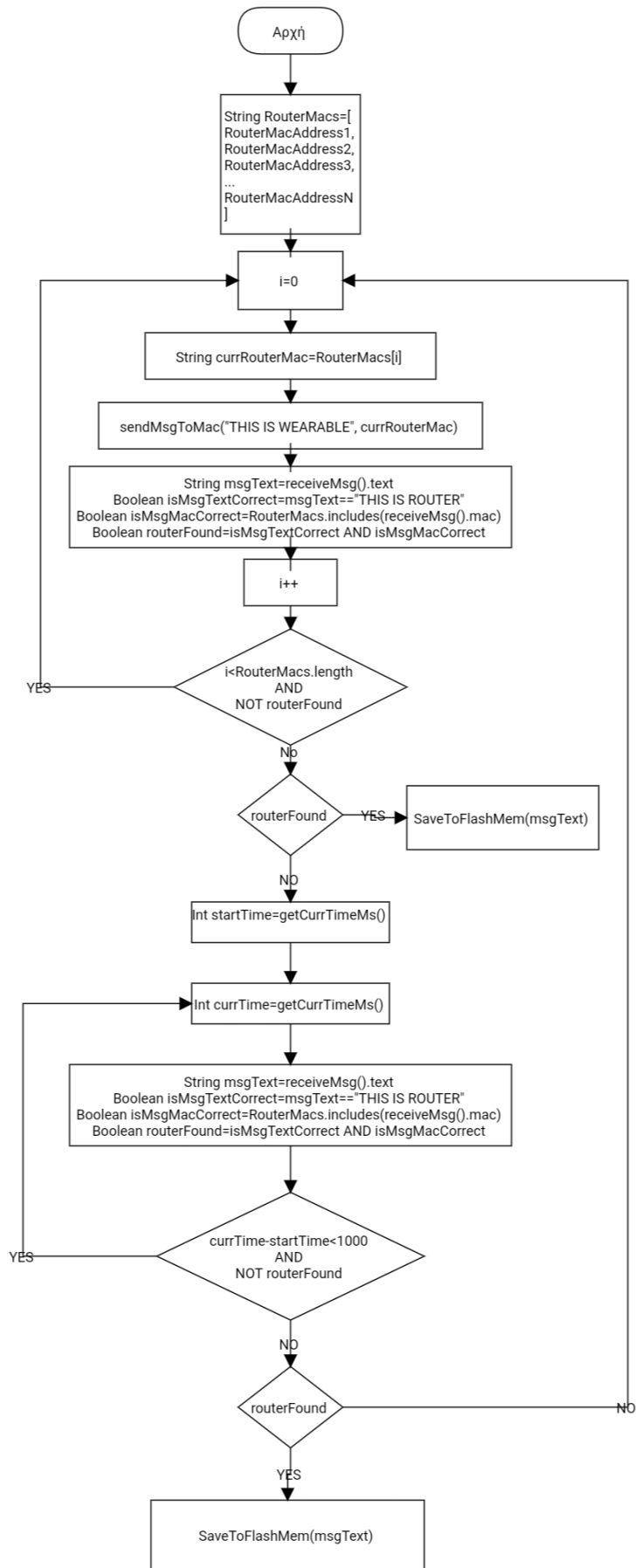
Για να προσπελαστούν και να ερμηνευτούν οι μετρήσεις των ζωτικών σημείων από τους αισθητήρες που βρίσκονται στη φάλαγγα του δαχτύλου, χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη SparkFun MAX3010x Pulse and Proximity Sensor Library, που δημιουργήθηκε και υποστηρίζεται από τη SparkFun Electronics. Κατά την εκκίνηση της φορητής συσκευής, δημιουργείται ένα αντικείμενο της προκαθορισμένης, από την προαναφερθείσα βιβλιοθήκη, κλάσης MAX30105, με όνομα `fingerSensors`, καλείται από αυτό η συνάρτηση `setup()`, ώστε να αρχικοποιηθεί ο αισθητήρας με τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις, δημιουργούνται δύο (2) μονοδιάστατοι πίνακες `irBuffer` και `redBuffer`, μήκους 200, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν για να αποθηκεύονται οι τρέχουσες τιμές της υπέρυθρης και της ερυθρής ακτινοβολίας αντιστοίχως και ορίζεται ο αριθμός των δειγμάτων σε 25 ανά δευτερόλεπτο. Επιπροσθέτως, αρχικοποιούνται οι μεταβλητές `bufferLength`, `spo2`, `validSPO2`, `heartRate`, `validHeartRate` οι οποίες αντιπροσωπεύουν αντιστοίχως τις τιμές του πλήθους των δειγμάτων της τρέχουσας δειγματοληψίας, την τιμή του κορεσμού της οξυγόνωσης της αιμοσφαιρίνης, την εγκυρότητα της, την τιμή της διακύμανσης του καρδιακού ρυθμού και την εγκυρότητά της.

Αρχικά, εξάγονται από τον αισθητήρα 200 συνεχόμενα δείγματα για κάθε ακτινοβολία, που αντιστοιχούν σε χρόνο οκτώ δευτερολέπτων, εισάγονται (`push`) στους αντίστοιχους πίνακες `irBuffer` και `redBuffer` και η τιμή του πλήθους των δειγμάτων της τρέχουσας δειγματοληψίας `bufferLength` ορίζεται σε 200. Στη συνέχεια καλείται η συνάρτηση `maxim_heart_rate_and_oxygen_saturation` η οποία εισήχθη από το αρχείο `spo2_algorithm.h` της βιβλιοθήκης SparkFun MAX3010x Pulse and Proximity Sensor Library (Copyright © 2015 Maxim Integrated Products, Inc.), η οποία υπόλογίζει την τιμή του κορεσμού της οξυγόνωσης της αιμοσφαιρίνης καθώς και την τιμή της διακύμανσης του καρδιακού ρυθμού, με βάση τη δειγματοληψία στους πίνακες `irBuffer` και `redBuffer` και τις αποθηκεύει στις μεταβλητές `spo2` και `&validSPO2` και την εγκυρότητά τους στις μεταβλητές `heartRate` και `validHeartRate`, αντίστοιχα. Όλη η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η τιμές `validSPO2` και `validHeartRate` να είναι και οι δύο έγκυρες. Τέλος επιστρέφεται ένας μονοδιάστατος πίνακας μήκους δύο (2), όπου στην πρώτη θέση (0) βρίσκεται η τιμή της μεταβλητής `spo2` και στην δεύτερη θέση (1) η τιμή της μεταβλητής `hearttrate` (Εικόνα 25).



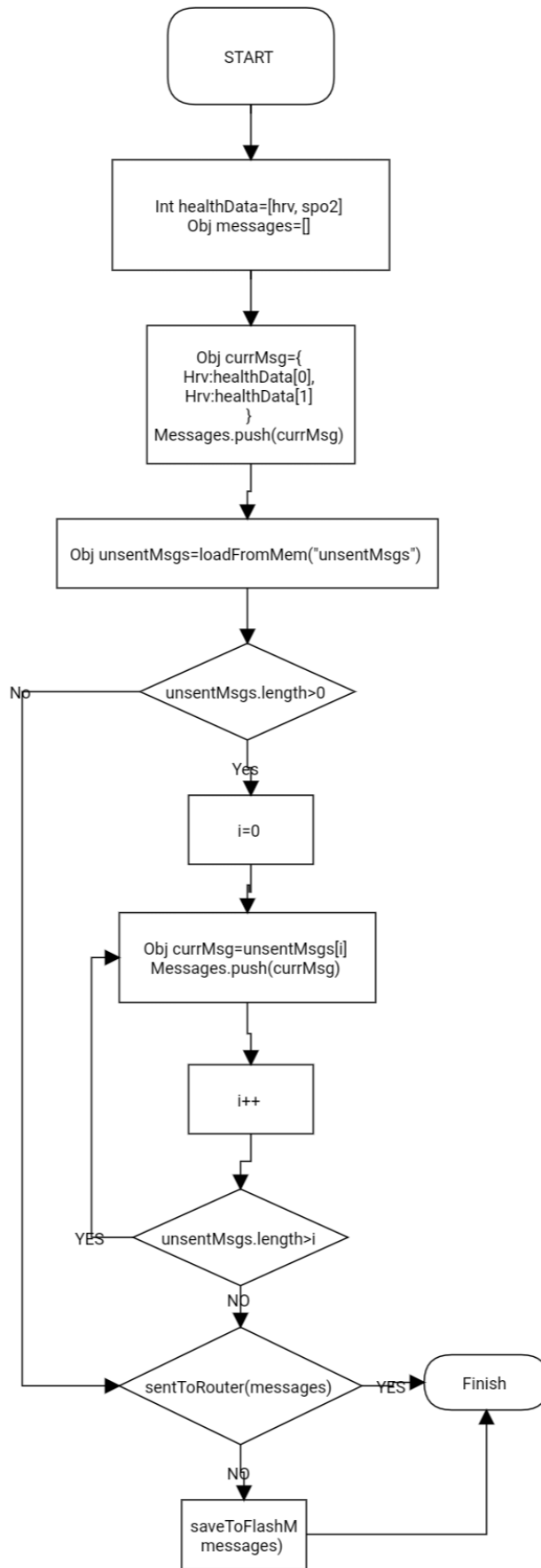
Αναζήτηση δρομολογητή

Ο αλγόριθμος αναζήτησης δρομολογητή είναι η διαδικασία μέσω της οποίας μία φορητή συσκευή ελέγχει εάν υπάρχουν στην εμβέλειά της συσκευές που δύνανται να επικοινωνήσουν με το πρωτόκολλο ESP-NOW, οι οποίες έχουν διευθύνσεις MAC που ανήκουν στην προκαθορισμένη λίστα διευθύνσεων MAC δρομολογητών. Η προκαθορισμένη λίστα διευθύνσεων MAC Address δρομολογητών, είναι ενσωματωμένη στον κώδικα των φορητών συσκευών και περιέχει τις διευθύνσεις από n δρομολογητές και ανανεώνεται κάθε φορά που η συσκευή κάνει διαδικτυακές ενημερώσεις (online updates). Αρχικά ο αλγόριθμος ξεκινάει μία επανάληψη από 0 έως $n-1$, ώστε να προσπελάσει όλες τις προκαθορισμένες διευθύνσεις MAC των δρομολογητών και να ελέγξει για την ύπαρξή τους εντός της εμβέλειας της φορητής συσκευής. Στην κάθε διεύθυνση εκπέμπεται ένα μήνυμα κειμένου “THIS IS WEARABLE” και περιμένει ένα (1) δευτερόλεπτο για να λάβει απάντηση. Εάν πριν το πέρας αυτού του δευτερολέπτου, οποιοσδήποτε από τους δρομολογητές απαντήσει με το κείμενο “THIS IS ROUTER“, τότε η φορητή συσκευή θα αποθηκεύσει τη διεύθυνση MAC του τρέχοντος εν δυνάμει δρομολογητή, στη μόνιμη ενσωματωμένη στον μικροελεγκτή ESP32 μνήμη, ως τη διεύθυνση του δρομολογητή και μέχρι να επαναναζητηθεί και επανασυνδεθεί νέος δρομολογητής, η φορητή συσκευή θα διαβιβάζει όλα τα δεδομένα της σε αυτή. Στην περίπτωση που η συσκευή δεν λάβει καμία απάντηση, η διαδικασία επαναλαμβάνεται εσαεί, μέχρι να συνδεθεί επιτυχώς κάποιος δρομολογητής.



Αποστολή δεδομένων στο δρομολογητή

Για να επιτευχθεί η αποστολή των τρεχόντων δεδομένων της φορητής συσκευής στο δρομολογητή, στο λογισμικό της φορητής συσκευής απαιτείται να εισαχθεί επίσημη και ανεπτυγμένη από τον κατασκευαστή βιβλιοθήκη WiFi.h, η οποία περιλαμβάνει τις απαραίτητες εντολές και πρωτόκολλα για την προβλεπόμενη χρήση του ενσωματωμένου στον μικροελεγκτή esp32 εξαρτήματος wifi, καθώς και η βιβλιοθήκη esp_now.h, η οποία αναπτύσσεται και υποστηρίζεται από την Espressif, την εταιρία που επινόησε και κατέχει πνευματικά το πρωτόκολλο ESP-NOW. Καταρχάς, καλείται η τελευταία αποθηκευμένη στη μόνιμη μνήμη του μικροελεγκτή διεύθυνση MAC του δρομολογητή. Έπειτα, αποθηκεύονται προσωρινά οι τρέχουσες μετρήσεις του καρδιακού ρυθμού και του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα από τον αισθητήρα MAX30102, που βρίσκεται στην άπω φάλαγγα του δαχτύλου, ώστε να χρησιμοποιηθούν για τη σύνταξη του αποστελλόμενου μηνύματος προς τον δρομολογητή. Το αποστελλόμενο μήνυμα πρόκειται ουσιαστικά για ένα αντικείμενο JSON που περιέχει τις τιμές των ζωτικών σημείων που αποθηκεύτηκαν προσωρινά και την τρέχουσα ώρα, και το αντικείμενο προστίθεται σε έναν μονοδιάστατο πίνακα. Τέλος, ανακαλούνται, εάν υπάρχουν, από την ενσωματωμένη μόνιμη μνήμη παλαιότερα μηνύματα που απέτυχαν να αποσταλούν επιτυχώς στον δρομολογητή, και προστίθενται και αυτά στον μονοδιάστατο πίνακα στον οποίο προστέθηκε και το τελευταίως δημιουργηθέν αντικείμενο. Η διαδικασία ολοκληρώνεται, αποστέλλοντας στη διεύθυνση MAC του δρομολογητή τον προαναφερθέντα μονοδιάστατο πίνακα και σε περίπτωση που η αποστολή αποτύχει, ο προκείμενος πίνακας αποθηκεύεται στην ενσωματωμένη μόνιμη μνήμη του μικροελεγκτή, ώστε να ανακληθεί στην επόμενη προσπάθεια επικοινωνίας με τον δρομολογητή.

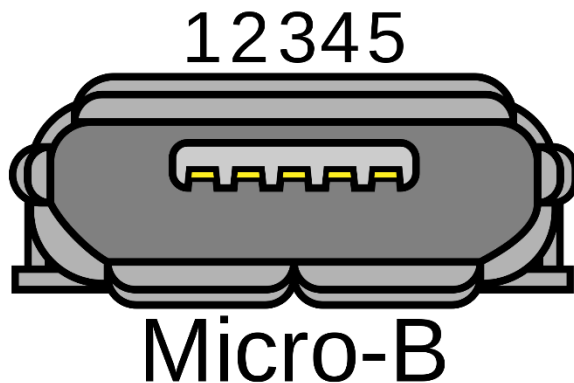


Δρομολογητής

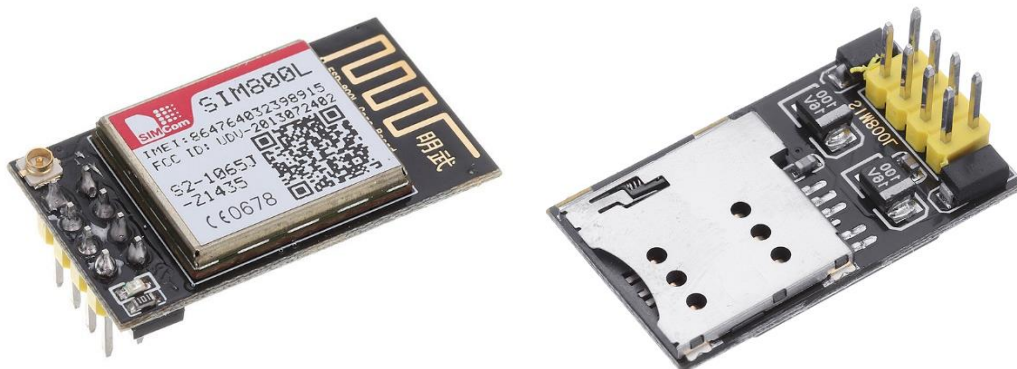
Η συσκευή δρομολόγησης (δρομολογητής, router) λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ της φορητής συσκευής και τη βάση δεδομένων ή το συσκευή συγχρονισμού (συγχρονιστής), είναι ουσιαστικά ο τρόπος επικοινωνίας των φορητών συσκευών με τον έξω κόσμο. Για την επίτευξη αυτής τις επικοινωνίας, η συσκευή δρομολόγησης λαμβάνει τα ζωτικά σημεία από τις φορητές συσκευές και τα μεταφορτώνει μέσω σύνδεσης Wi-Fi ή 4G στη βάση δεδομένων. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση στο διαδίκτυο, τότε ο δρομολογητής στέλνει τα δεδομένα μέσω γραπτού μηνύματος SMS στη συσκευή συγχρονισμού, ώστε να μεταφορτωθούν και να αποθηκευτούν στην διαδικτυακή βάση δεδομένων.

Εξαρτήματα

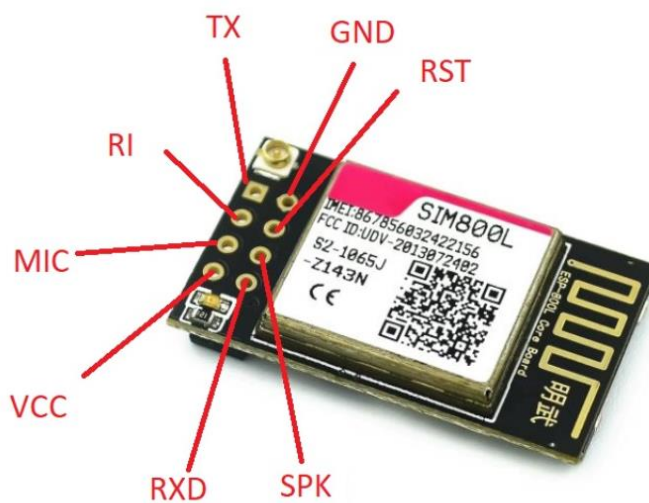
Η συσκευή δρομολόγησης είναι σταθερή και ακίνητη και τροφοδοτείται ενσύρματα από το ηλεκτρικό δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, τάσης 240V. Αποτελείται από τον μικροελεγκτή ESP32 NodeMCU και το εξάρτημα SIM800L ESP-800L GPRS GSM (Εικόνα 29, Εικόνα 30), το οποίο χρησιμοποιείται για να αποστέλλονται με SMS τα ζωτικά δεδομένα στο συγχρονιστή. Τα δύο τελευταία εξαρτήματα συνδέονται μέσω των ακίδων 4,2 και GND στο ESP32 και TX, RX, GND στο SIM800L, αντίστοιχα. Το ESP32 τροφοδοτείται μέσω μετασχηματιστή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα 240v σε συνεχές ρεύμα 5V/2A και καταλήγει σε βύσμα micro usb type b (Εικόνα 28). Το εξάρτημα SIM800L φέρει μία MicroSIM κάρτα, όποιου εθνικού παρόχου κινητής τηλεφωνικής προσφέρει καλύτερη κάλυψη στη γεωγραφική περιοχή στην οποία επρόκειτο να τοποθετηθεί η συσκευή δρομολόγησης, ώστε να καταστεί δυνατή η αποστολή μηνυμάτων κειμένου (SMS) στη συσκευή συγχρονισμού.



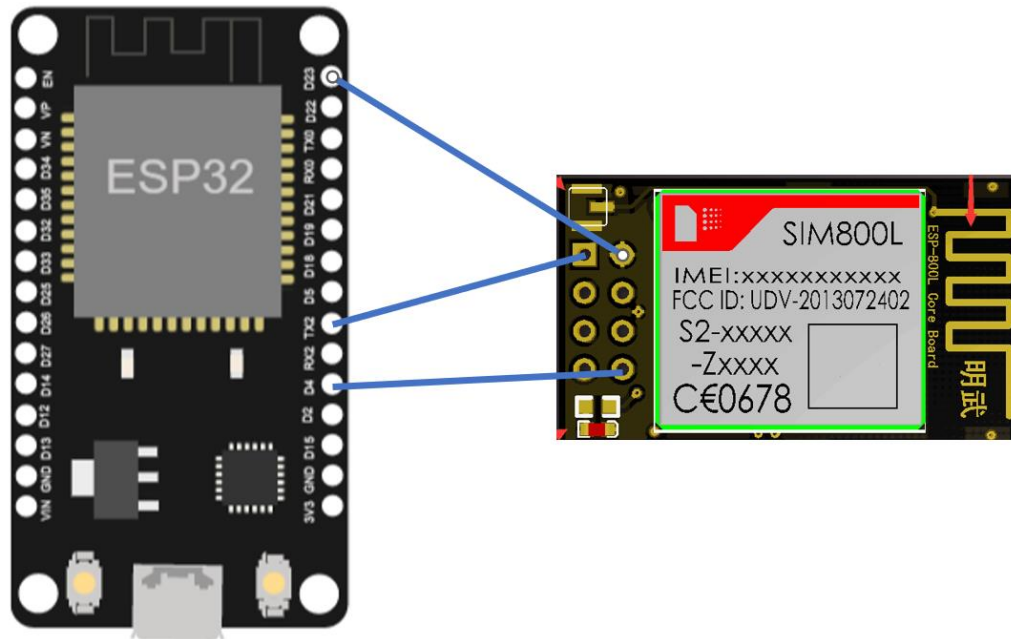
Εικόνα 28 USB Micro-B receptacle (Sorter, 2013)



Εικόνα 29 SIM800L (Banggood, 2021)



Εικόνα 30 Διάγραμμα SIM800L (Sigmanortec, 2022)



Εικόνα 31 Σύνδεση ESP32 με SIM800L (Maker Pro, 2021), (Aliexpress, 2022)

Πρωτόκολλο επικοινωνίας και αλγόριθμοι

Κατά την αρχικοποίηση του λογισμικού του δρομολογητή, εισάγονται οι βιβλιοθήκες `esp_now.h` και `WiFi.h`, που παρέχονται από την Espressif, δηλώνεται η δομή δεδομένων `espMessage`, οποία είναι ένα αντικείμενο με τρεις ιδιότητες και χρησιμοποιείται για να αποθηκεύονται τα δεδομένα ενός εισερχόμενου μηνύματος, μέσω του πρωτοκόλλου ESP-NOW. Οι τρεις ιδιότητες είναι μία σειρά χαρακτήρων μήκους 32, η οποία αντιπροσωπεύει το μοναδικό κωδικό ταυτοποίησης της αποστέλλουσας φορετής συσκευής, έναν ακέραιο αριθμό ο οποίος αντιπροσωπεύει τον τρέχοντα καρδιακό ρυθμό του ασθενούς και έναν πραγματικό αριθμό, οποίος αντιπροσωπεύει τον τρέχοντα κορεσμό του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς. Στη συνέχεια, δηλώνεται μία μεταβλητή `currMessage` του τύπου `espMessage` και μία συνάρτηση `RecievingMsg`. Η συνάρτηση `RecievingMsg` παρέχεται στην προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή συνάρτηση `esp_now_register_recv_cb`, η οποία εισάγεται από τη βιβλιοθήκη `esp_now.h`, ώστε να αναλύσει και να χειριστεί τα εισερχόμενα, από το πρωτόκολλο ESP-NOW, δεδομένα. Η προαναφερθείσα συνάρτηση, δέχεται τρεις παραμέτρους, η πρώτη είναι μία σταθερά `mac_addr`, τύπου `uint8_t`, στην οποία αποθηκεύεται η διεύθυνση MAC της αποστέλλουσας φορετής συσκευής, μία σταθερά `data`, επίσης τύπου `uint8_t`, στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα του εισερχόμενου μηνύματος και ένας ακέραιος αριθμός `len`, ο οποίος αντιπροσωπεύει το μέγεθος, σε bytes, του μηνύματος. Τέλος, εάν έχει προκαθοριστεί κάποιο όνομα σύνδεσης Wi-Fi (SSID) και ο αντίστοιχος κωδικός πρόσβασης, τότε επιχειρείται η σύνδεση με αυτό το Wi-Fi. Εάν δεν έχει προκαθοριστεί, τότε ελέγχεται εάν υπάρχει εγκατεστημένη κάποια κάρτα SIM, και επιχειρείται σύνδεση με το διαδίκτυο μέσω δικτύου 4G.

Κάθε φορά που η συσκευή λαμβάνει ένα νέο μήνυμα, ελέγχεται εάν υπάρχει σύνδεση Wi-Fi με το διαδίκτυο. Εάν υπάρχει, τότε καλείται η συνάρτηση `uploadToDB` με παραμέτρους `r`: μοναδικός κωδικός δρομολογητή, `w`: διεύθυνση MAC της φορετής συσκευής, `h`: τρέχων καρδιακός ρυθμός, `s`: τρέχων κορεσμός οξυγόνου στο αίμα. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση Wi-Fi, τότε ελέγχεται εάν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση με το διαδίκτυο μέσω 4G και εάν υπάρχει, τότε καλείται η τελευταία

συνάρτηση με τις ίδιες παραμέτρους. Εάν δεν υπάρχει σύνδεση με το διαδίκτυο ούτε μέσω 4G, τότε τα δεδομένα της τρέχουσας μέτρησης θα αποσταλούν μέσω γραπτού μηνύματος SMS στη συσκευή συγχρονισμού, ώστε να μεταφορτωθούν από εκεί στη βάση δεδομένων.

Η επικοινωνία μέσω SMS με τον συγχρονιστή, επιτυγχάνεται καλώντας τη συνάρτηση SmsToSynchronizer, με πέντε παραμέτρους, τον μοναδικό κωδικό του δρομολογητή, τη διεύθυνση MAC της αποστέλλουσας φορετής συσκευής και τον τρέχοντα καρδιακό ρυθμό του ασθενούς και την τρέχουσα τιμή του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς. Η συνάρτηση SmsToSynchronizer δημιουργεί μία συμβολοσειρά (string) και εισάγει τις τιμές των παραμέτρων με την ακόλουθη μορφή - τα άγκιστρα ({}) δεν είναι μέρος της συμβολοσειράς, απλώς αντιπροσωπεύουν την μεταβλητή της οποίας η τιμή θα βρίσκεται σε αυτή τη θέση-

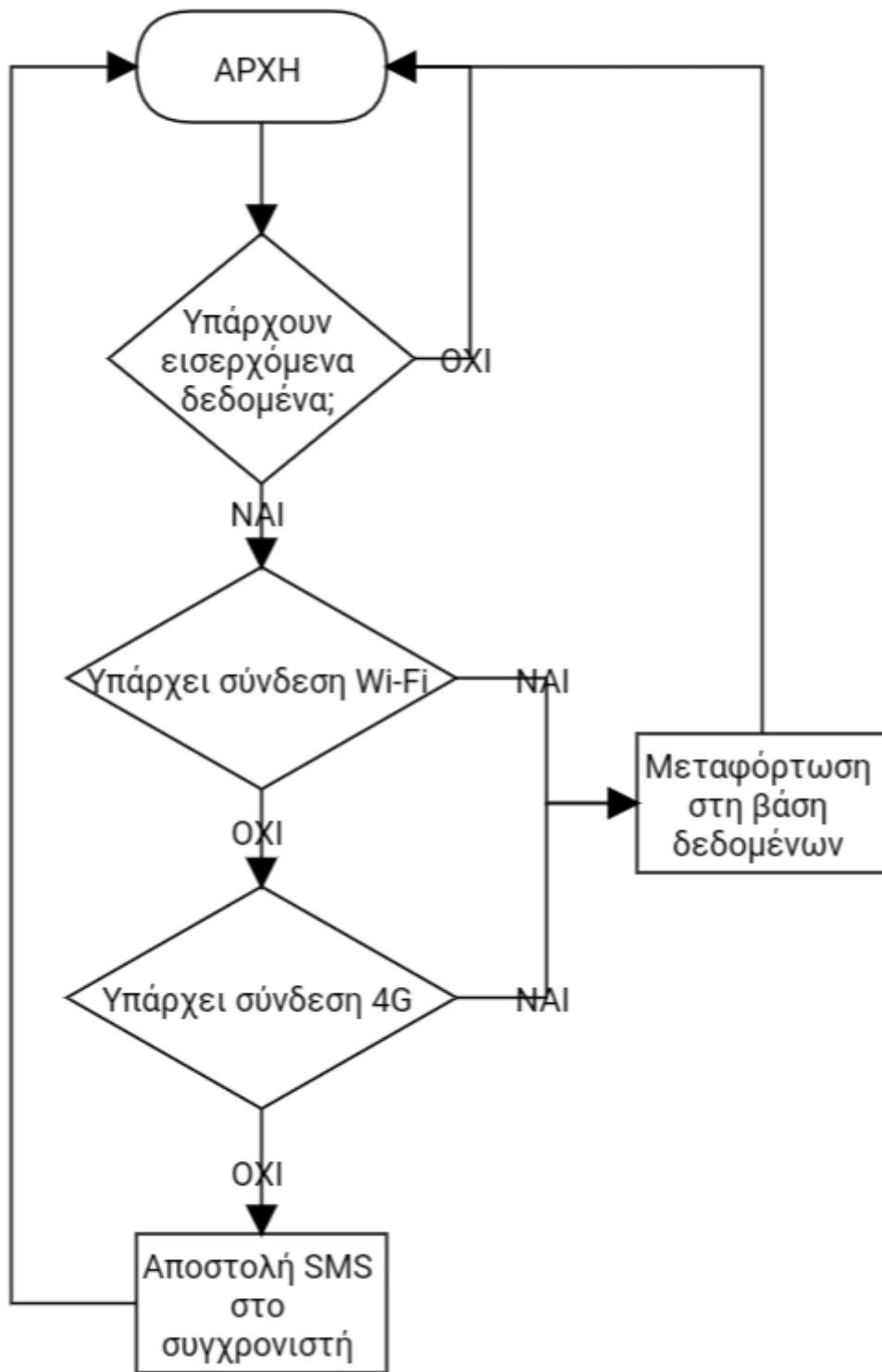
{μοναδικός κωδικός της φορετής συσκευής}

{τρέχων καρδιακός ρυθμός}

{τρέχων κορεσμός οξυγόνου στο αίμα}

Το παραπάνω μήνυμα αποθηκεύεται προσωρινά και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου να αποθηκευτούν 6 σύμβολο σειρές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε αν ληφθούν σχεδόν ταυτόχρονα μηνύματα από 6 διαφορετικές συσκευές ή εάν η συσκευή περιμένει αρκετό χρόνο ώστε να ληφθούν 6 μηνύματα από λιγότερες φορετές συσκευές, δηλαδή παραπάνω από μια μέτρηση για κάθε συσκευή.

Σε αυτό το σημείο, το μήνυμα είναι έτοιμο για αποστολή στον συγχρονιστή, καθώς περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Το SMS θα σταλεί από το εξάρτημα SIM800L ESP-800L GPRS GSM, το οποίο είναι ήδη συνδεδεμένο στον μικροελεγκτή ESP-32. Για να επιτευχθεί η αποστολή του SMS, πρέπει να εισαχθεί η συνάρτηση sendSMS(number,text) από τη βιβλιοθήκη <https://github.com/AyushMarsian/SIM800L>, και να κληθεί αμέσως μετά την σύνταξη του μηνύματος, με πρώτη παράμετρο τον προκαθορισμένο τηλεφωνικό αριθμό που αντιστοιχεί στον συγχρονιστή και δεύτερη παράμετρο το συντεταγμένο μήνυμα.



Εικόνα 32 Αλγόριθμος μεταφόρτωσης δεδομένων από τον δρομολογητή

Συγχρονιστής

Η συσκευή συγχρονισμού (συγχρονιστής) είναι μία και κοινή για όλα τα συστήματα και τοποθετείται από τον διαχειριστή του όλου συστήματος σε μία θέση της επιλογής του, αρκεί να παρέχεται σταθερή σύνδεση στο Internet μέσω WiFi. Λειτουργεί ως μεσολαβητής ανάμεσα σε όλους τους δρομολογητές που δεν έχουν σύνδεση στο διαδίκτυο και στην διαδικτυακή βάση δεδομένων. Ουσιαστικά πρόκειται για μία υπηρεσία που λειτουργεί on-premise και παρέχει απλότητα σταθερότητα και άμεση και εύκολη προσβασιμότητα των δρομολογητών p στην ηλεκτρονική βάση δεδομένων, καθώς η επικοινωνία μεταξύ τους γίνεται μέσω γραπτών μηνυμάτων sms, για τα οποία παρέχεται από τους εθνικούς παρόχους κινητής τηλεφωνίας η μεγαλύτερη κάλυψη στη χώρα και δεν προαπαιτείται οι δρομολογητές να βρίσκονται σε κάποιο σημείο η περιοχή στην οποία παρέχεται σύνδεση στο διαδίκτυο.

Εξαρτήματα

Όπως και οι υπόλοιπες συσκευές του συστήματος έτσι και η συσκευή δρομολόγησης βασίζει τη λειτουργία της στο μικροελεγκτή esp32, ο οποίος συνδέεται με το εξάρτημα SIM800L ESP-800L GPRS GSM, ώστε να έχει τη δυνατότητα να δέχεται γραπτά μηνύματα SMS μέσω του Εθνικού δικτύου GSM. Από την πλευρά του hardware και τις συνδέσεις των εξαρτημάτων, πρόκειται για μία πανομοιότυπη συσκευή με τη συσκευή δρομολόγησης, όμως διαφέρει στο λογισμικό της. Σε αντίθεση με τη συσκευή δρομολόγησης, η συσκευή συγχρονισμού χρησιμοποιεί το εξάρτημα wi-fi που είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή esp32, μόνο για να επιτύχει σύνδεση με το διαδίκτυο και κατ' επέκταση με την διαδικτυακή βάση δεδομένων και δεν κάνει καθόλου χρήση του πρωτοκόλλου ESP-NOW. Επιπλέον χρησιμοποιεί το εξάρτημα sim800l GPRS για να δέχεται αντί να στέλνει SMS μηνύματα.

Πρωτόκολλο επικοινωνίας και αλγόριθμοι

Περιγραφή

Καταρχάς, για να λειτουργήσει με πλήρως αναμενόμενο τρόπο η συσκευή συγχρονισμού, απαιτείται η εισαγωγή κάποιων εξωτερικών βιβλιοθηκών. Για την σύνδεση και επιτυχή επικοινωνία με το εξάρτημα SIM800L ESP-800L GPRS GSM, εισάγεται η ίδια βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται και στο λογισμικό του δρομολογητή, δηλαδή η ανοιχτού κώδικα <https://github.com/AyushMarsian/SIM800L>. Όπως στα λογισμικά της φορητής συσκευής και της συσκευής δρομολόγησης, έτσι και στο λογισμικό του συγχρονιστή, εισάγεται η βιβλιοθήκη WiFi.h για τη διαχείριση της λειτουργίας WiFi. Οι λειτουργίες που σχετίζονται με την επικοινωνία με τη προγραμματιστική διεπαφή API και κατ' επέκταση με τη διαχείριση της διαδικτυακής βάσης δεδομένων, παρέχονται από την εξωτερική βιβλιοθήκη HTTPClient.h, η οποία προτείνεται από την επίσημη ιστοσελίδα και ομάδα της δημοφιλούς εταιρίας ηλεκτρονικών προγραμματιζόμενων πλακετών ανοιχτού κώδικα, Arduino.

Στον κώδικα της συσκευής, προκαθορίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος το SSID και ο κωδικός πρόσβασης για το δίκτυο Wi-Fi που θα είναι συνδεδεμένος ο συγχρονιστής, ώστε να έχει συνεχή και σταθερή πρόσβαση στο διαδίκτυο. Επίσης, προκαθορίζεται από τον διαχειριστή, η διεύθυνση domain της διαδικτυακής προγραμματιστικής διεπαφής API, καθώς και τα στοιχεία πρόσβασης. Η κύρια επανάληψη του αλγορίθμου (loop()), τρέχει ανελλιπώς και ελέγχει εάν υπάρχουν

εισερχόμενα SMS με την εντολή readSMS(1), εάν η εντολή δεν επιστρέψει NULL, τότε σημαίνει πως μόλις ελήφθη ένα sms. Στη συνέχεια το sms χωρίζεται ανά 3 σειρές σε διαφορετικά κομμάτια. Εάν το κάθε κομμάτι έχει την παρακάτω μορφή:

{STRING 5 Χαρακτήρες}

{Integer 3 Ψηφία}

{Integer 3 Ψηφία}

Τότε η μορφή θεωρείται έγκυρη άρα μένει να ελεγχθεί η αυθεντικότητα του αποστολέα. Για να επιτευχθεί αυτό, ελέγχεται εάν το κείμενο στην πρώτη γραμμή, υπάρχει μέσα στην προκαθορισμένη λίστα με μοναδικούς κωδικούς δρομολογητών. Εάν ο έλεγχος είναι επιτυχής, τότε επιβεβαιώνεται η αυθεντικότητα του αποστολέα, επομένως τα δεδομένα του κάθε κομματιού θα μεταφορτωθούν στη βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση uploadToDB(r,w,h,s) με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που χρησιμοποιείται και στο λογισμικό της συσκευής δρομολόγησης.

Η συνάρτηση uploadToDB(r,w,h,s)

Η προσθήκη νέων δεδομένων στη βάση, επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τις λειτουργίες της διεπαφής API, και συγκεκριμένα το τελικό σημείο (endpoint) /storeuserdata. Στους headers του δημιουργούμενου http μηνύματος, προστίθενται οι προαναφερθείσες τιμές username και password και στο σώμα του το παρακάτω JSON αντικείμενο:

```
{  
  R:{r: μοναδικός κωδικός δρομολογητή}  
  W:{w: διεύθυνση MAC της φορητής συσκευής}  
  H:{h: τρέχων καρδιακός ρυθμός}  
  S:{s: τρέχων κορεσμός οξυγόνου στο αίμα}  
}
```

Εφόσον δημιουργηθεί το http μήνυμα, αποστέλλεται στη διεπαφή API μέσω της εντολής post() που παρέχεται από την προαναφερθείσα βιβλιοθήκη HTTPClient.h. Εάν υπάρχουν αποθηκευμένα μηνύματα από παρελθοντικές αποτυχημένες απόπειρες αποστολής, τότε αποστέλονται ένα προς ένα, με τον ίδιο τρόπο και εάν οποιοδήποτε μήνυμα αποσταλεί επιτυχώς, τότε διαγράφεται από τη μνήμη. Σε περίπτωση που η αποστολή είναι ανεπιτυχής, τότε το δημιουργηθέν μήνυμα αποθηκεύεται στη μόνιμη μνήμη της συσκευής, ώστε να συμπεριληφθεί σε κάποια μελλοντική αποστολή.

Λογισμικό (Software)

Το λογισμικό του συστήματος αποτελείται από τρία (3) διαφορετικά μέρη, τη διαδικτυακή πλατφόρμα, την προγραμματιστική διεπαφή εφαρμογών (API) και τη διαδικτυακή βάση δεδομένων. Η διαδικτυακή πλατφόρμα παρέχει στη χρήστη πρόσβαση στα δεδομένα των ασθενών και έχει τη δυνατότητα να ειδοποιεί το χρήστη σε περίπτωση που ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες, που έχουν προκαθοριστεί από αυτόν. Η προγραμματιστική διεπαφή εφαρμογών (API), είναι η διεπαφή που έχει άμεση σύνδεση με τη βάση δεδομένων και συνδέεται σε αυτή η συσκευή συγχρονισμού και η διαδικτυακή πλατφόρμα, ώστε να εισάγουν ή να ανακαλούν δεδομένα από τη βάση δεδομένων. Το τρίτο μέρος του λογισμικού πρόκειται για μία MySQL βάση δεδομένων για την μακροχρόνια αποθήκευση των μετρήσεων των ασθενών, όπως και μία βάση δεδομένων Redis που χρησιμοποιείται ως ενδιάμεση κρυφή μνήμη (cache).

Διαδικτυακή πλατφόρμα

Οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ανακαλέσουν το ιστορικό των ζωτικών σημείων ενός ασθενούς, μέχρι και την τελευταία μέτρηση, καθώς και να ορίσουν τα επικίνδυνα όρια των τιμών των ζωτικών σημείων, ώστε να ειδοποιούνται σε περίπτωση υπέρβασής τους, μέσω ενός λογισμικού εξουσιοδοτημένου να ανακαλεί δεδομένα από τη διαδικτυακή βάση δεδομένων. Το λογισμικό αυτό πρόκειται για μία διαδικτυακή πλατφόρμα η οποία μπορεί να προσπελαστεί από οποιονδήποτε φυλλομετρητή ιστοσελίδων (web browser). Εξουσιοδοτημένοι χρήστες είναι οι χρήστες οι οποίοι ο ασθενής επιθυμεί να τους παρέχει πρόσβαση στη δεδομένα του, όπως συνήθως οι κοντινοί συγγενής ή το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό από το οποίο παρακολουθείται.

Αρχικοποίηση και ρύθμιση

Αρχικά μετά την απόκτηση και ορθή τοποθέτηση μιας συσκευής δρομολόγησης από κάποιον χρήστη, απαιτείται η δημιουργία ενός λογαριασμού στην πλατφόρμα (Εικόνα 33). Κάθε λογαριασμός μπορεί να έχει στην δικαιοδοσία του άπειρες συσκευές δρομολόγησης. Μετά την επιτυχή δημιουργία του λογαριασμού και τη σύνδεση σε αυτόν (Εικόνα 34), ο χρήστης δηλώνει τον μοναδικό αριθμό του δρομολογητή στην πλατφόρμα, ώστε να γίνει η αντιστοίχιση της προκείμενης συσκευής δρομολόγησης με τον τρέχοντα λογαριασμό (



Εικόνα 35,



🕒 Αρχική



Μοναδικός κωδικός δρομολογητή

Φιλική ονομασία

[➕ Προσθήκη](#)



Εικόνα 36). Σε κάθε δρομολογητή μπορούν να συνδεθούν από μία (1) μέχρι είκοσι (20) φορετές συσκευές, άρα από ένας (1) μέχρι είκοσι (20) ταυτόχρονα παρακολουθούμενοι ασθενείς. Μόλις ενεργοποιηθεί μία φορετή συσκευή και συνδεθεί επιτυχώς για πρώτη φορά με έναν δρομολογητή, τότε απαιτείται η ταυτοποίησής της μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας και ο χρήστης ειδοποιείται για αυτό μέσω ενός αναδυόμενου μηνύματος (pop up) (



🕒 Αρχική



Ανιχνεύθηκε απόπειρα σύνδεσης
από φορητή συσκευή με διεύθυνση
MAC:

[Επιβεβαίωση](#)



Εικόνα 37), στο οποίο ερωτάται εάν είναι ενήμερος για την πρόσφατη πρώτη σύνδεση της φορετής συσκευής με τον δρομολογητή του. Εάν ο χρήστης επιβεβαιώσει την ενημέρωσή του για τη σύνδεση, τότε καλείται να επιλέξει ένα αναγνωριστικό όνομα, ή αλλιώς «φιλική ονομασία», ώστε να αναγνωρίζεται η ταυτότητα του παρακολουθούμενου από την προκείμενη φορετή συσκευή χρήστη, για παράδειγμα το όνομά του ή ο αριθμός της κλίνης εάν βρίσκεται σε κλινική κ.α. (



🏠 Αρχική



Φιλική ονομασία φορητής συσκευής



Εικόνα 38). Μετά την ολοκλήρωση της προαναφερθείσας διαδικασίας, εμφανίζεται στην πλατφόρμα το αναγνωριστικό όνομα της φορητής συσκευής (



🏠 Αρχική/Κλινική 2



Εικόνα 39) και ο χρήστης έχει πλέον τη δυνατότητα να ανακαλέσει το ιστορικό του ασθενούς, όπως και να χρησιμοποιήσει όλες τις λειτουργίες που παρέχει η πλατφόρμα.



Εγγραφή



Εικόνα 33 Πλατφόρμα: Εγγραφή

Διαδικτυακή Εφαρμογή Πλατφόρμας

Σύνδεση

email

Κωδικός

Σύνδεση

Εικόνα 34 Πλατφόρμα: Είσοδος

Διαδικτυακή Εφαρμογή Πλατφόρμας

Αρχική

Προσθήκη δρομολογητή

Εικόνα 35 Πλατφόρμα: Αρχική

Διαδικτυακή Εφαρμογή Πλατφόρμας

Αρχική

Προσθήκη δρομολογητή

Μοναδικός κωδικός δρομολογητή

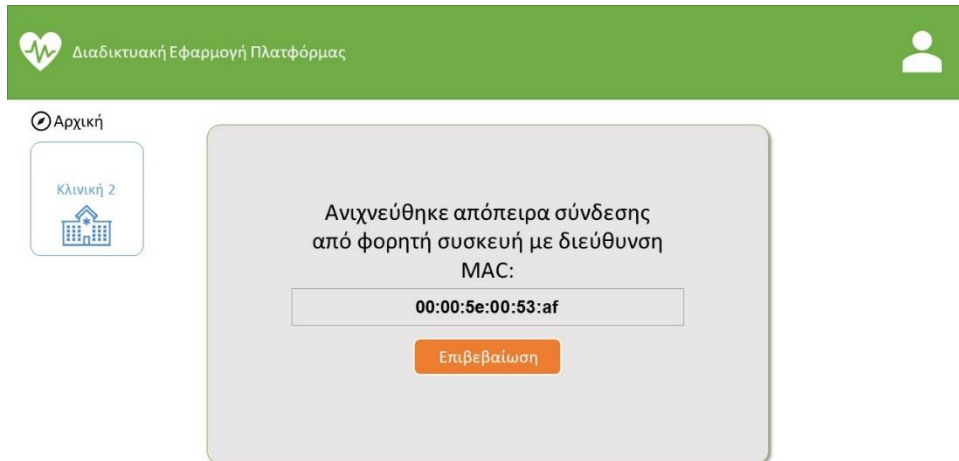
00:00:5e:00:53:af

Φιλική ονομασία

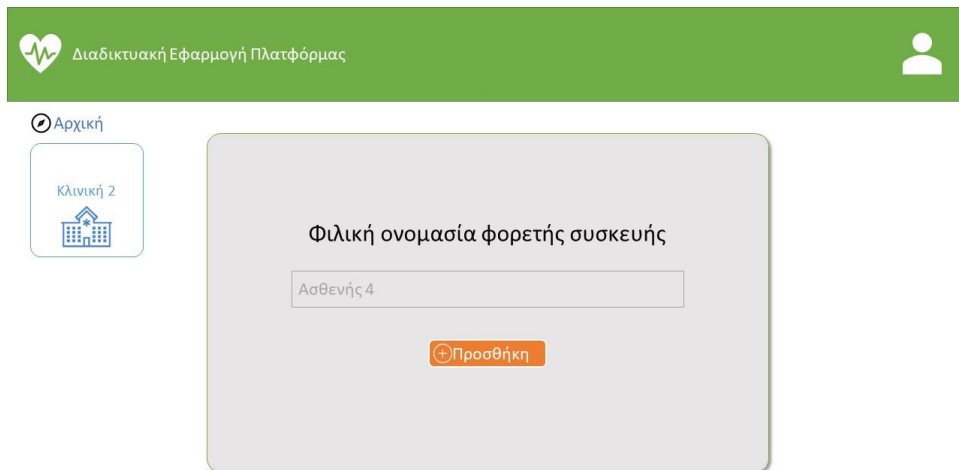
Κλινική 2

Προσθήκη

Εικόνα 36 Πλατφόρμα: Προσθήκη δρομολογητή



Εικόνα 37 Πλατφόρμα: Προσθήκη φορητής συσκευής



Εικόνα 38 Πλατφόρμα: Προσθήκη φορητής συσκευής, Φιλική ονομασία



Λειτουργίες

Ιστορικό ασθενούς

Το ιστορικό ενημερώνεται κάθε περίπου έξι λεπτά, με τις τελευταίες μετρήσεις των ζωτικών σημείων του ασθενούς. Τα δεδομένα είναι ορατά στην πλατφόρμα αμέσως μετά τη μεταφόρτωσή τους στη βάση δεδομένων από τη συσκευή συγχρονισμού και δε διαγράφονται ποτέ αυτομάτως, εκτός εάν ζητηθεί η διαγραφή τους από τον ασθενή τον οποίο αφορούν άμεσα ή οποιοσδήποτε νομικά εξουσιοδοτημένος από αυτόν. Ο εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να ανακαλέσει το ιστορικό από τη σελίδα ιστορικού, στην οποία μεταβαίνει όταν ενώ βρίσκεται στην αρχική σελίδα της πλατφόρμας, πατήσει πάνω στο αναγνωριστικό όνομα της φορητής συσκευής (



Εικόνα 39). Στη σελίδα ιστορικού, υπάρχουν δύο δισδιάστατα ραβδογράμματα, που απεικονίζουν το ιστορικό του καρδιακού ρυθμού (Εικόνα 40) και του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς (



Εικόνα 41), αντιστοίχως. Στον κάθετο άξονα βρίσκεται η τιμή της μέτρησης και στον οριζόντιο η ημερομηνία και η ώρα που λήφθηκε η συγκεκριμένη μέτρηση. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το χρονικό εύρος που έχουν ληφθεί οι μετρήσεις που τον ενδιαφέρουν.



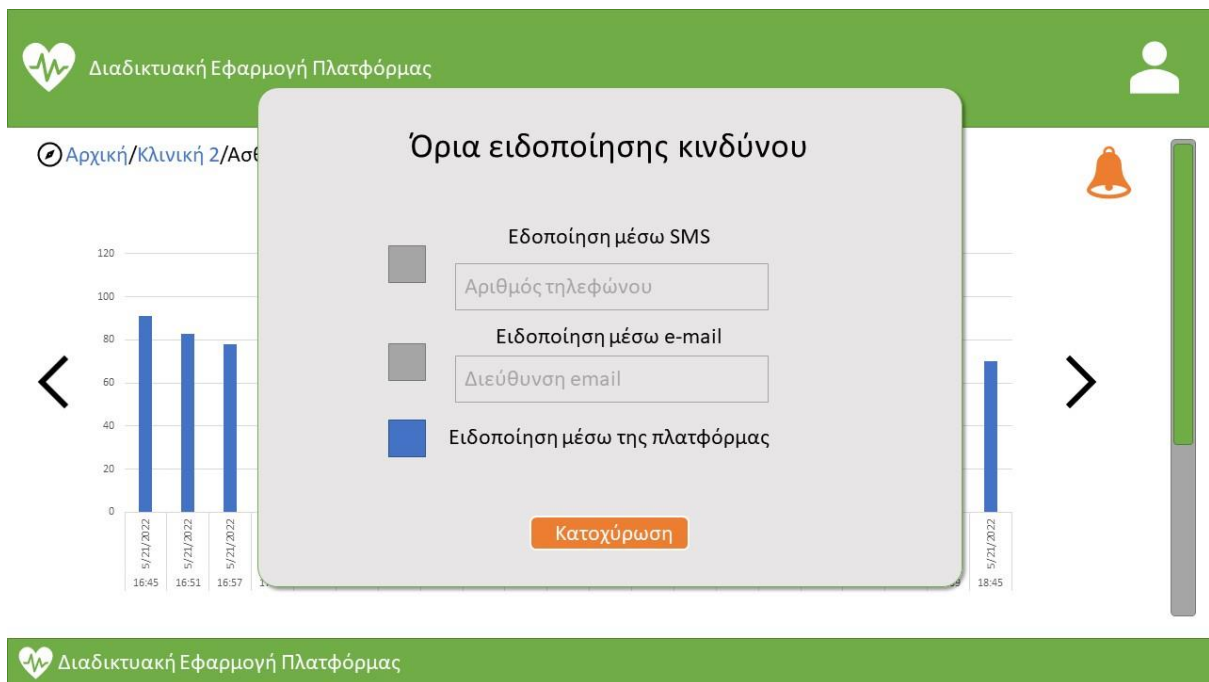
Εικόνα 40 Πλατφόρμα: Ιστορικό ασθενούς, Καρδιακός ρυθμός



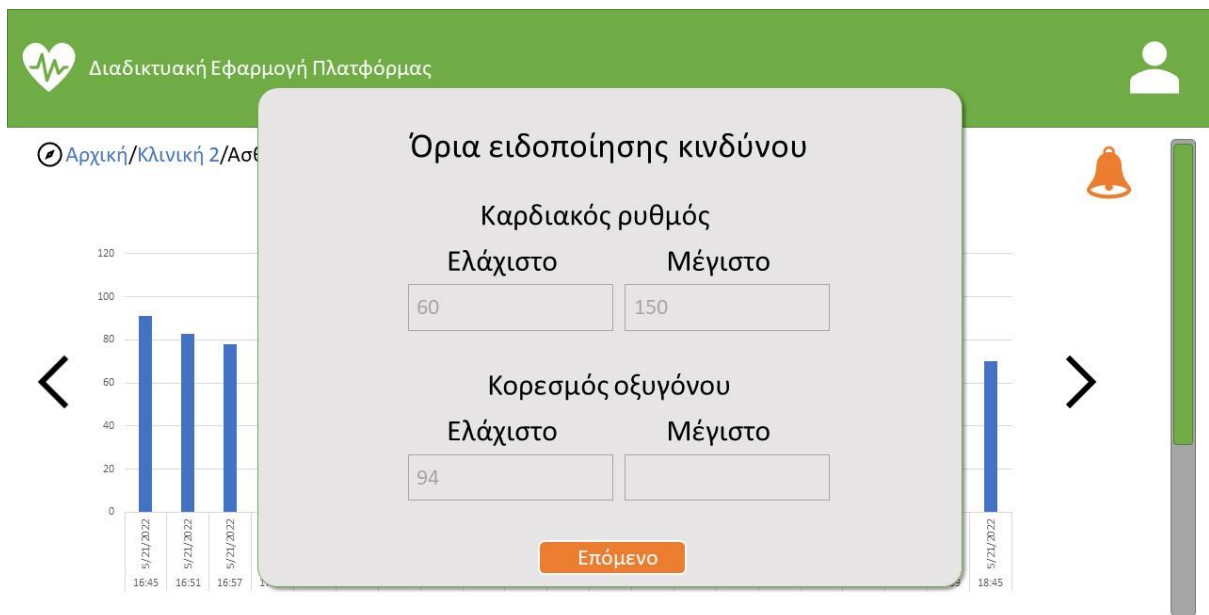
Εικόνα 41 Πλατφόρμα: Ιστορικό ασθενούς, Κορεσμός οξυγόνου

Συνθήκες ειδοποίησης κινδύνου

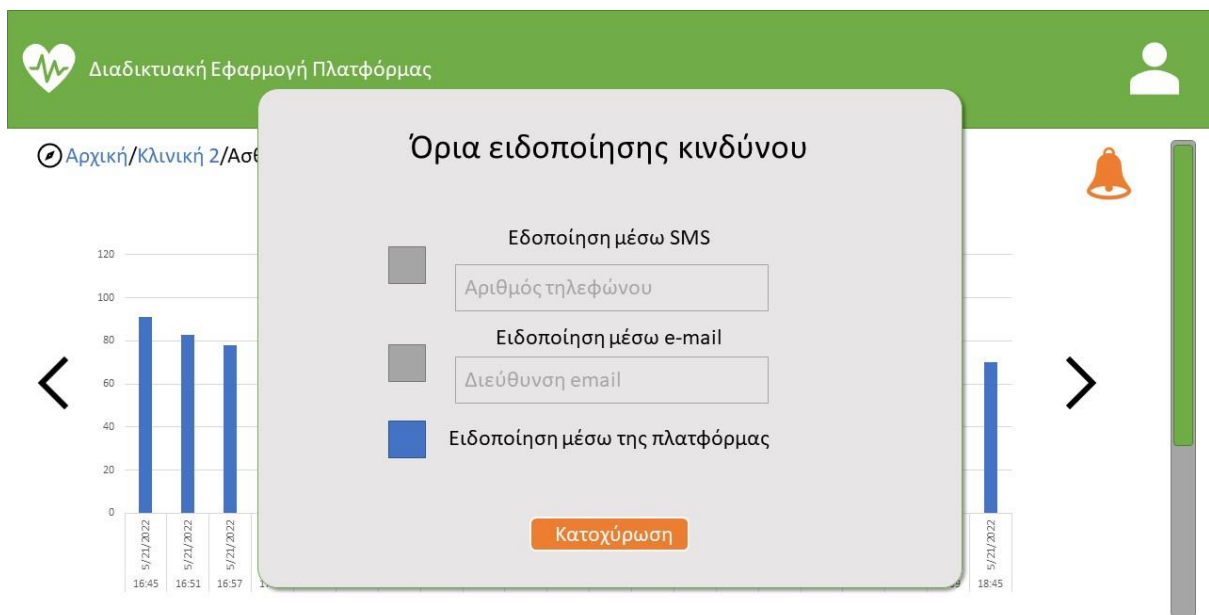
Ο εξουσιοδοτημένος χρήστης, όταν βρίσκεται στη σελίδα ιστορικού, έχει τη δυνατότητα να ορίσει τα «όρια κινδύνου» των τιμών των ζωτικών σημείων του ασθενούς (Εικόνα 42), πατώντας πάνω δεξιά στο σύμβολο με το καμπανάκι, για να μεταφερθεί στη σελίδα ειδοποιήσεων (Εικόνα 40). Σε περίπτωση που κάποια τιμή ζωτικού σημείου υπερβεί αυτά τα όρια, τότε η πλατφόρμα ειδοποιεί το χρήστη με τον τρόπο που ο χρήστης έχει προεπιλέξει να ειδοποιείται. Υπάρχουν τρεις (3) διαθέσιμοι τρόποι ειδοποίησης, μέσω της πλατφόρμας, μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email) και μέσω γραπτού μηνύματος SMS (



Εικόνα 43). Η λειτουργία ειδοποίησης μέσω της πλατφόρμας γίνεται με την ανάδυση ενός επεξηγηματικού της κατάστασης μηνύματος (Εικόνα 44, Εικόνα 45), όμως λειτουργεί μόνο εάν ο χρήστης είναι συνδεδεμένος και έχει ανοιχτή την πλατφόρμα σε έναν φυλλομετρητή ιστοσελίδων, σε αντίθετη περίπτωση θα ειδοποιηθεί εκ των υστέρων όταν συνδεθεί στην πλατφόρμα με προφανή κίνδυνο να μην παρασχεθεί η απαραίτητη βοήθεια στον ασθενή τη στιγμή που απαιτείται. Ο τελευταίος κίνδυνος μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας τους άλλους δύο (2) διαθέσιμους τρόπους ειδοποίησης, καθώς η λήψη των μηνυμάτων επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση από το χρήστη, αρκεί στη μεν περίπτωση να είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο και στη δεύτερη να έχει ενεργοποιημένο το κινητό του τηλέφωνο και επαρκή κάλυψη δικτύου κινητής τηλεφωνίας, γεγονός το οποίο συμβαίνει σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Για την επιλογή των τρόπων ειδοποίησης μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και μέσω μηνύματος κειμένου SMS, απαιτείται από το χρήστη να προκαθορίσει την διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή/και τον τηλεφωνικό αριθμό. Οι 2 προαναφερόμενοι τρόποι ειδοποίησης υλοποιούνται χρησιμοποιώντας τρίτους παρόχους υπηρεσιών αποστολής μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και μηνυμάτων SMS, με τους οποίους επικοινωνεί η πλατφόρμα μέσω προγραμματιστικής διεπαφής εφαρμογών (API). Η ανεξάρτητη από τη σύνδεση του χρήστη ειδοποίηση, επιτυγχάνεται με τη χρήση των workers στον εξυπηρετητή (server). Οι workers γενικώς είναι προγράμματα που εκτελούνται συνεχώς στον ίδιο υπολογιστή που φιλοξενεί την πλατφόρμα και στην προκειμένη περίπτωση ελέγχουν εάν ικανοποιούνται οι συνθήκες οι οποίες έχουν ορίσει οι χρήστες. Εφόσον κάποια συνθήκη ικανοποιηθεί, τότε ενεργοποιείται η διαδικασία της ειδοποίησης μέσω του προεπιλεγμένου από το χρήστη τρόπο.



Εικόνα 42 Πλατφόρμα: Όρια ειδοποίησης κινδύνου, Όρια



Εικόνα 43 Πλατφόρμα: Όρια ειδοποίησης κινδύνου, Μέθοδος ειδοποίησης



🏠 Αρχική



ΠΡΟΣΟΧΗ!
Κλινική 2/Ασθενής 3
Επίπεδο οξυγόνου
 93 SpO₂

Κλείσιμο




Εικόνα 44 Πλατφόρμα: Ειδοποίηση κινδύνου, Επίπεδο Οξυγόνου



🏠 Αρχική



ΠΡΟΣΟΧΗ!
Κλινική 2/Ασθενής 3
Καρδιακός ρυθμός
 158 bpm

Κλείσιμο



Εικόνα 45 Πλατφόρμα: Ειδοποίηση κινδύνου, Καρδιακός ρυθμός

Προγραμματιστική διεπαφή εφαρμογών (API)

Η προγραμματιστική διεπαφή εφαρμογών, ή αλλιώς API, είναι λογισμικό το οποίο λειτουργεί ως μεσάζων στην επικοινωνία μεταξύ της συσκευής συγχρονισμού ή της πλατφόρμας και της βάσης δεδομένων. Επικοινωνεί μέσω αιτημάτων (requests) http και απαντάει μόνο στις προκαθορισμένες διευθύνσεις IP που αντιστοιχούν στη συσκευή δρομολόγησης και στην διαδικτυακή πλατφόρμα, οποιοδήποτε αίτημα προέρχεται από άλλες διευθύνσεις IP, τότε επιστρέφεται στον αιτούντα το

σφάλμα 401. Η προγραμματιστική διεπαφή εφαρμογών, παρέχει τη δυνατότητα σε τρίτους προγραμματιστές να υλοποιήσουν τις δικές τους προτάσεις και λύσεις, υπό τον όρο φυσικά να λάβουν την αντίστοιχη εξουσιοδότηση από το διαχειριστή της. Το API έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το Laravel PHP Framework, καθώς είναι ένα από τα δημοφιλέστερα και πληρέστερα frameworks, με πολύ ισχυρή κοινότητα και πληθώρα βιβλιοθηκών και components. Για τη λειτουργία της διεπαφής, εξυπηρετούνται οι παρακάτω διεθύνσεις-endpoints:

1. Εγγραφή
 - a. url: POST /register
 - b. Body:
 - i. Id (integer)
 - ii. First_name (string) - Όνομα
 - iii. Last_name (string) - Επώνυμο
 - iv. Password (string) – Κωδικός πρόσβασης
 - v. Password_verify – Επαλήθευση κωδικού
 - vi. Email (string) - Διεύθυνση email
 - vii. Tel (string) – Αριθμός τηλεφώνου
 - c. Return:
 - i. JSON object – Ο δημιουργημένος χρήστης
2. Σύνδεση
 - a. url: POST /login
 - b. Body:
 - i. Email (string) - Διεύθυνση email
 - ii. Password (string) – Κωδικός πρόσβασης
 - c. Return:
 - i. String – Auth token
3. Νέος δρομολογητής
 - a. url: POST /router
 - b. Body:
 - i. Mac (string) – Διεύθυνση MAC του κωδικού
 - ii. Alias (string) – Φιλική Ονομασία δρομολογητή
 - c. Headers
 - i. Token – Auth token
 - d. Return:
 - i. JSON Object – Ο δρομολογητής
4. Ανάκληση δρομολογητών
 - a. url: GET /router
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Return:
 - i. Array of JSON Objects – Οι συνδεδεμένοι δρομολογητές
5. Νέα φορητή συσκευή
 - a. url: POST /wearable
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Body:
 - i. Id (string) – Η διεύθυνση MAC της φορητής συσκευής
 - ii. Alias (string) – Φιλική ονομασία φορητής συσκευής
 - iii. Router_id – Το id του τελευταίου δρομολογητή με τον οποίο συνδέθηκε η συσκευή

- d. Return:
 - i. JSON Object – Η φορητή συσκευή
- 6. Ανάκληση όλων των φορητών συσκευών του χρήστη
 - a. url: GET /wearable/{router_id}
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Return:
 - i. Array of JSON Objects – Οι φορητές συσκευές του δρομολογητή με id router_id
- 7. Μεταφόρτωση ρυθμίσεων φορητής συσκευής
 - a. url: POST /wearableOptions
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Body:
 - i. Wearable_id (string) - Το id που αντιστοιχεί στη φορητή συσκευή που αναφέρονται οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις
 - ii. Hrv_max (integer) – Το ανώτατο όριο ασφαλείας του καρδιακού ρυθμού του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - iii. Hrv_min (integer) – Το κατώτατο όριο ασφαλείας του καρδιακού ρυθμού του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - iv. Spro_max (integer) – Το ανώτατο όριο ασφαλείας του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - v. Spro_min (integer) – Το κατώτατο όριο ασφαλείας του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - vi. Notification_email (varchar) – η διεύθυνση email που θα ειδοποιείται ο χρήστης σε περιπτώσεις ανάγκης, εάν είναι null, τότε ο χρήστης δεν επιθυμεί να ειδοποιείται μέσω email
 - d. Return:
 - i. JSON Object – Οι ρυθμίσεις της φορητής συσκευής
- 8. Ανάκληση ρυθμίσεων φορητής συσκευής
 - a. url: GET /wearableOptions
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Return:
 - i. JSON Object – Οι ρυθμίσεις της φορητής συσκευής
- 9. Νέα ειδοποίηση
 - a. url: /notification
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Body:
 - i. Wearable_id (varchar) – Το id που αντιστοιχεί στη φορητή συσκευή που αναφέρεται η ειδοποίηση
 - ii. Type (enum) – Ο τύπος της ειδοποίησης, αποδεκτοί όροι:
 - 1. Hrv_max (integer) – Ο καρδιακός ρυθμός του ασθενούς ξεπέρασε το ανώτατο όριο ασφαλείας
 - 2. Hrv_min (integer) – Ο καρδιακός ρυθμός του ασθενούς ξεπέρασε το κατώτατο όριο ασφαλείας
 - 3. Spro_max (integer) – Ο κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς ξεπέρασε το ανώτατο όριο ασφαλείας

4. Spo_min (integer) – Ο κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς ξεπέρασε το κατώτατο όριο ασφαλείας
 - d. Return:
 - i. JSON Object – Η νέα ειδοποίηση
10. Ανάκληση ειδοποιήσεων
 - a. url: /notification/
 - b. Headers
 - i. Token – Auth token
 - c. Array of JSON Objects – Οι ειδοποιήσεις που αντιστοιχούν στο χρήστη

Βάση δεδομένων

Κύρια – MySQL

Η βασική και κύρια βάση δεδομένων που αποθηκεύονται τα δεδομένα του συστήματος, είναι MySQL λόγω της μεγάλης ταχύτητας ανάγνωσης που προσφέρεται από τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Σε αυτή τη βάση περιέχονται οι παρακάτω πίνακες με τις αντίστοιχες στήλες:

1. Users – Οι χρήστες της πλατφόρμας
 - a. Id (integer)
 - b. First_name (varchar) - Όνομα
 - c. Last_name (varchar) - Επώνυμο
 - d. Password (varchar) - Ένα hash κατασκευασμένο από τον δηλωθέντα κωδικό πρόσβασης
 - e. Email (varchar) - Διεύθυνση email
 - f. Tel (varchar) – Αριθμός τηλεφώνου
 - g. Created_at (DateTime) – Η στιγμή της δημιουργίας αυτής της εγγραφής
2. Wearables
 - a. Id (varchar) – η διεύθυνση MAC της φορητής συσκευής
 - b. Alias (varchar) – Αναγνωριστικό όνομα της φορητής συσκευής
 - c. Router_id – Το id του τελευταίου δρομολογητή στον οποίο συνδέθηκε η φορητή συσκευή
 - d. Created_at (DateTime) – Η στιγμή της δημιουργίας αυτής της εγγραφής
3. WearableOptions – Οι ρυθμίσεις της κάθε φορητής συσκευής, όπως η προτιμώμενη μέθοδος ειδοποίησης κ.α.
 - a. Id (integer)
 - b. Wearable_id (string) - Το id που αντιστοιχεί στη φορητή συσκευή που αναφέρονται οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις
 - c. Hrv_max (integer) – Το ανώτατο όριο ασφαλείας του καρδιακού ρυθμού του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - d. Hrv_min (integer) – Το κατώτατο όριο ασφαλείας του καρδιακού ρυθμού του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - e. Spo_max (integer) – Το ανώτατο όριο ασφαλείας του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - f. Spo_min (integer) – Το κατώτατο όριο ασφαλείας του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς. Εάν είναι null, σημαίνει πως δεν υπάρχει όριο.
 - g. Notification_email (varchar) – η διεύθυνση email που θα ειδοποιείται ο χρήστης σε περιπτώσεις ανάγκης, εάν είναι null, τότε ο χρήστης δεν επιθυμεί να ειδοποιείται μέσω email

- h. Notification_sms (varchar) – ο τηλεφωνικός αριθμός που θα ειδοποιείται ο χρήστης με γραπτό μήνυμα SMS σε περιπτώσεις ανάγκης, εάν είναι null, τότε ο χρήστης δεν επιθυμεί να ειδοποιείται μέσω sms
4. Notifications – Οι ειδοποιήσεις σε περίπτωση που κάποια τιμή ζωτικού σημείου υπερβεί τα όρια ασφαλείας
 - a. Id (integer)
 - b. Wearable_id (varchar) – Το id που αντιστοιχεί στη φορητή συσκευή που αναφέρεται η ειδοποίηση
 - c. Type (enum) – Ο τύπος της ειδοποίησης, αποδεκτοί όροι:
 - i. Hrv_max (integer) – Ο καρδιακός ρυθμός του ασθενούς ξεπέρασε το ανώτατο όριο ασφαλείας
 - ii. Hrv_min (integer) – Ο καρδιακός ρυθμός του ασθενούς ξεπέρασε το κατώτατο όριο ασφαλείας
 - iii. Spo_max (integer) – Ο κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς ξεπέρασε το ανώτατο όριο ασφαλείας
 - iv. Spo_min (integer) – Ο κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς ξεπέρασε το κατώτατο όριο ασφαλείας
 - d. Created_at (DateTime) – Η στιγμή της δημιουργίας αυτής της εγγραφής
 5. Routers – Τα στοιχεία των δρομολογητών
 - a. Id (varchar) – η διεύθυνση MAC του δρομολογητή
 - b. Alias (varchar) – Αναγνωριστικό όνομα του δρομολογητή
 - c. Created_at (DateTime) – Η στιγμή της δημιουργίας αυτής της εγγραφής
 6. RoutersUsers – Ο συγκεντρωτικός πίνακας (pivot table) με τις αντιστοιχίσεις χρηστών και δρομολογητών. Η σχέση είναι many-to-many, δηλαδή σε έναν χρήστη μπορούν να αντιστοιχούν πολλοί δρομολογητές και σε έναν δρομολογητή μπορούν να αντιστοιχούν πολλοί χρήστες.
 - a. User_id (integer) – Το id του χρήστη
 - b. Router_id (varchar) – Το id του δρομολογητή
 7. VitalPoints – Η κάθε μέτρηση των ζωτικών σημείων
 - a. Id (integer)
 - b. Wearable-id (varchar) – Το id της φορητής συσκευής που διενέργησε τη μέτρηση
 - c. Spo2 (integer) – Η τιμή του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς
 - d. Hrv (integer) – Η τιμή του καρδιακού ρυθμού
 - e. Created_at (DateTime) – Η στιγμή της δημιουργίας αυτής της εγγραφής

Κρυφή (cache) μνήμη – Redis

Ένα προσωρινό αντίγραφο τεχνολογίας “Redis” των μεγάλων σε όγκο και συχνότητα ανάγνωσης πινάκων της MySQL από το οποίο ανακαλούνται τα δεδομένα με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα, καθώς αποθηκεύεται στη RAM και όχι στο σκληρό δίσκο. Η τελευταία βάση δεδομένων χρησιμοποιείται ως cache και ο χρήστης ανακαλεί τα δεδομένα από αυτή και όχι από τη MySQL. Οι πίνακες που αντιγράφονται είναι ο VitalPoints, που περιέχει όλες τις μετρήσεις που έχουν διενεργηθεί ποτέ από όλες τις φορητές συσκευές, και όλες τις ειδοποιήσεις ασφαλείας που έχουν δημιουργηθεί έως τώρα.

Αποτελέσματα

Χρηματικό κόστος

Το συνολικό κόστος των εξαρτημάτων είναι:

1. Φορητή συσκευή 4€-7€
 - a. Esp32 2€-3€
 - b. MAX30102 1€-2€
 - c. Λοιπά 1€-2€
2. Δρομολογητής 12€-17€
 - a. Esp32 2€-3€
 - b. SIM800L ESP-800L GPRS GSM 6€-8€
 - c. Τροφοδοτικό 3€-4€
 - d. Λοιπά 1€-2€
3. Συγχρονιστής 12€-17€
 - a. Esp32 2€-3€
 - b. SIM800L ESP-800L GPRS GSM 6€-8€
 - c. Τροφοδοτικό 3€-4€
 - d. Λοιπά 1€-2€

Επισημαίνεται πως η συσκευή συγχρονισμού είναι μόνο μία και την κατέχει ο διαχειριστής όλου του συστήματος, άρα δεν επιβαρύνει οικονομικά κανέναν ασθενή ή φορέα που χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη λύση για να παρέχει συνεχή παρακολούθηση ζωτικών σημείων.

Ο πιο αποδοτικός οικονομικά συνδυασμός συσκευών για έναν φορέα, είναι η απόκτηση του μεγίστου αριθμού υποστηριζόμενων φορητών συσκευών ανά δρομολογητή, δηλαδή ο κάθε δρομολογητής να συνοδεύεται από 20 φορητές συσκευές. Το κόστος του προαναφερθέντα συνδυασμού είναι 92€-157€.

Πειραματικές μετρήσεις

Μετρήθηκαν τρεις άνθρωποι με αυτή τη συσκευή και το οξύμετρο του εμπορίου beurer Po35 (Εικόνα 46).



Εικόνα 46 Οξύμετρο εμπορίου beurer Po35 (Public, 2022)

Διενεργήθηκαν πέντε μετρήσεις στον καθένα, σε διαφορετικούς χρόνους, με την κάθε συσκευή.

Πίνακας 1 Πειραματικά δεδομένα

Δείγμα	Συσκευή	Ζωτικό σημείο	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4	Μέτρηση 5
Δείγμα 1	Πειραματική συσκευή	SpO ₂	96	97	96	97	96
		HRV	82	75	72	79	81
	Οξύμετρο εμπορίου	SpO ₂	96	96	96	97	96
		HRV	85	75	70	78	80
Δείγμα 2	Πειραματική συσκευή	SpO ₂	98	98	97	98	98
		HRV	73	77	75	81	83
	Οξύμετρο εμπορίου	SpO ₂	98	98	98	97	98
		HRV	72	75	75	83	83
Δείγμα 3	Πειραματική συσκευή	SpO ₂	95	94	96	95	95
		HRV	96	88	85	89	91
	Οξύμετρο εμπορίου	SpO ₂	95	94	96	96	95
		HRV	93	88	86	87	90

Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις της πειραματικής συσκευής είναι συγκρίσιμα με τα δεδομένα που προέκυψαν από τη συσκευή του εμπορίου.

Μετρήθηκε η κατανάλωση της φορητής συσκευής κατά τη μέτρηση των ζωτικών σημείων των οποίων η μέτρηση διαρκεί 60s, κατά την αποστολή των δεδομένων η οποία διαρκεί 0,1s, και του χρόνου κατά τον οποίο η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής που είναι 300s.

Διενεργήθηκαν πέντε μετρήσεις για την κάθε κατηγορία κατανάλωσης και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2 Μετρήσεις κατανάλωσης

		Κατανάλωση μAh				
		Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4	Μέτρηση 5
Δείγμα 1	Μέτρηση ζωτικών σημείων 60s	353.3	374.3	420.1	380	361.2
	Αποστολή 0,1s	8.3	8.9	8.6	8.5	9
	Αδράνεια 300s	0.2	0.7	0.2	0.4	0.3
	Σύνολο	361.8	383.9	428.9	388.9	370.5

Δείγμα 2	Μέτρηση ζωτικών σημείων 60s	368.2	382.1	376.8	361.5	358.6
	Αποστολή 0,1s	8.4	9.2	7.9	9.1	8.1
	Αδράνεια 300s	0.3	0.5	0.2	0.2	0.4
	Σύνολο	376.9	391.8	384.9	370.8	367.1
Δείγμα 3	Μέτρηση ζωτικών σημείων 60s	375.2	367.9	360.8	402.4	354.5
	Αποστολή 0,1s	7.8	8.4	8	8.9	11.2
	Αδράνεια 300s	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4
	Σύνολο	383.3	376.8	369.2	411.7	366.1

Οι διάμεσοι της κατανάλωσης για κάθε διαδικασία, καθώς και στο σύνολό τους είναι:

Πίνακας 3 Διάμεσοι κατανάλωσης

	Διάμεσος μAh
Μέτρηση ζωτικών σημείων 60s	368.2
Αποστολή 0,1s	8.5
Αδράνεια 300s	0.4
Σύνολο	377,1
Διάμεσος συνόλων	376,9

Η μπαταρία που επιλέχθηκε για αυτή τη συσκευή είναι η CR2477N. Η τάση της συγκεκριμένης μπαταρίας είναι 3v και η χωρητικότητά της είναι 950mAh. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μπαταρίες CR2477N τοποθετημένες παράλληλα με σκοπό να επιτευχθεί μεγάλος χρόνος διάρκειας χρήσης της συσκευής. Το κόστος της μπαταρίας κυμαίνεται από δύο (2) έως πέντε (5) ευρώ (€), γεγονός που κάνει πολύ οικονομική την αντικατάστασή της.

Διενεργήθηκαν τρεις μετρήσεις χρόνου διάρκειας χρήσης της συσκευής για κάθε νέο ζευγάρι μπαταριών, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4 Χρόνος διάρκειας μπαταριών

	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4
Εκκίνηση	5/4/2022, 11:00:00	20/4/2022, 11:00:00	1/5/2022, 11:00:00	15/5/2022, 11:00:00
Λήξη	21/5/2022, 01:38:00	7/5/2022, 00:52:00	16/5/2022, 17:31:00	2/6/2022, 00:03:00

Χρόνος	22478 λεπτά (3746 μετρήσεις)	23872 λεπτά (3978 μετρήσεις)	21991 λεπτά (3665 μετρήσεις)	25263 λεπτά (4210 μετρήσεις)
	15 ημέρες, 14 ώρες, 38 λεπτά	16 ημέρες, 13 ώρες, 52 λεπτά	15 ημέρες, 6 ώρες, 31 λεπτά	17 ημέρες, 13 ώρες, 3 λεπτά

Η διάμεσος του χρόνου που διήρκεσαν οι μπαταρίες κατά τη διάρκεια χρήσης της συσκευής είναι 23175 λεπτά (3863 μετρήσεις), το οποίο μεταφράζεται σε 16 ημέρες, 2 ώρες και 15 λεπτά.

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις πειραματικές μετρήσεις που διενεργήθηκαν παρατηρείται ότι η προτεινόμενη από την προκειμένη εργασία λύση, παρουσιάζει ακρίβεια μετρήσεων αρκετά ικανοποιητική, ώστε να θεωρείται δόκιμη. Κατά τις πέντε μετρήσεις που διενεργήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές των ζωτικών σημείων είχαν πολύ μικρή, έως αμελητέα απόκλιση από μία δημοφιλή συσκευή του εμπορίου. Οι χρήστες που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα, ανέφεραν πως δεν υπήρχε διαφορά στην άνεση και την ευκολία χρήσης μεταξύ της πειραματικής συσκευής και της συσκευής του εμπορίου.

Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση, παρατηρήθηκε πως η χρήση του πρωτοκόλλου ESP-NOW και ο διαχωρισμός πολλών λειτουργιών μεταξύ των φορητών συσκευών και του δρομολογητή, μείωσε σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές απαιτήσεις. Στις περισσότερες συσκευές τους εμπορίου, όλες οι λειτουργίες εκτελούνται από την ίδια τη φορητή συσκευή, το οποίο κάνει τη συσκευή ενεργοβόρα, άρα και τις μπαταρίες της να εξαντλούνται σε πολύ μικρότερο χρόνο. Στην προκειμένη περίπτωση, δύο μπαταρίες CR2477N είχαν τη δυνατότητα να διατηρήσουν τη φορητή συσκευή εν πλήρη συνεχή λειτουργία για περισσότερες από 15 ημέρες.

Δεδομένου ότι έχει παρατηρηθεί σε πολλούς οργανισμούς υγείας, νοσοκομεία και κλινικές, να μην παρέχεται επαρκής πρόσβαση στο διαδίκτυο, είτε από τον φορέα, είτε από την τηλεφωνική κάλυψη σε 4G και 5G δίκτυο, στην προτεινόμενη από την εργασία λύση δεν απαιτείται πρόσβαση στο διαδίκτυο από το σημείο που βρίσκεται ο ασθενής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των μηνυμάτων SMS από το δρομολογητή για την επικοινωνία του με το συγχρονιστή και κατ' επέκταση με το διαδίκτυο και τη διαδικτυακή βάση δεδομένων. Δεν έχουν παρατηρηθεί άλλες συσκευές στο εμπόριο που να προσφέρουν λύση στο πρόβλημα της έλλειψης επαρκούς σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Η προτεινόμενη λύση παρέχει ένα συνδυασμό λειτουργιών και ευκολιών που συναντώνται σε συσκευές του εμπορίου με κόστος τουλάχιστον 200€, όμως στην προκειμένη περίπτωση το κόστος για την συνεχή παρακολούθηση των ζωτικών σημείων ενός ασθενούς δεν ξεπερνάει τα 90€ και για να καλυφθεί και να παρακολουθείται συνεχώς ένας χώρος με 20 ασθενείς, το κόστος δεν ξεπερνάει τα 1000€.

Αναφορές

- A. Von Chong, M. T. A. H. O. R., 2019. Towards a novel single-LED pulse oximeter based on a multispectral sensor for IoT applications. *Microelectronics Journal*, pp. 128-136.
- Aliexpress, 2022. *Aliexpress*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.aliexpress.com/i/32914953430.html>
- AliTools, 2022. *AliTools*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://alitools.io/en/showcase/esp32-wireless-wifi-bluetooth-2-in-1-dual-core-cpu-nodemcu-4001027569497>
- Alshamrani, M., 2021. IoT and artificial intelligence implementations for remote healthcare monitoring systems: A survey. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*.
- Andrew J Deacon, O. W. P., 2021. Measurement of pulse oximetry, capnography and pH. *Anaesthesia and intensive care medicine*.
- Banggood, 2021. *Banggood*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://gr.banggood.com/SIM800L-ESP-800L-GPRS-GSM-Module-Micro-SIM-Card-Core-Board-Pin-Compatible-ESP8266-ESP32-Wireless-Module-5V-DC-p-1568062.html?cur_warehouse=CN
- Chi-Yu Chen, C.-L. L. Y.-Y. C., 2022. Realization of ideal architecture of IoTs. *Array*.
- Damini Verma, K. R. S. A. K. Y. V. N. J. S. P. R. S. P. R. S. R. P. S., 2022. Internet of things (IoT) in nano-integrated wearable biosensor devices for healthcare applications. *Biosensors and Bioelectronics: X*.
- Digas, 2022. *Digas*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.digas.gr/en/nonin-3240-bluetooth-smart-wireless-technology---wireless-finger-pulse-oximeter>
- ESPHome, 2022. *ESPHome*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://esphome.io/devices/nodemcu_esp32.html
- Espressif, 2016. *ESP-NOW Resources*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-now_user_guide_en.pdf
- Ezgi Ismar, S. K. B. F. K. V. K., 2020. Futuristic Clothes: Electronic Textiles and Wearable Technologies. *Global Challenges*.
- Gabriel Contreras Mota, R. L. L. C. B. R., 2018. Pulse oximeter with Internet data visualization. *Sistemas & Telemática*.
- Gadgets Now, 2022. *Gadgets Now*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.gadgetsnow.com/smartwatch/Apple-Watch>
- Han-Byeol Lee, M. M. T. Q. T. B.-Y. K. N.-E. L., 2020. A wearable lab-on-a-patch platform with stretchable nanostructured biosensor for non-invasive immunodetection of biomarker in sweat. *Biosensors and Bioelectronics*.
- Hnin Yin Yin Nyein, L.-C. T. Q. P. N. M. C. G. B. Z. W. G. M. B. J. B. H. K. H. M. F. A. J., 2018. A Wearable Microfluidic Sensing Patch for Dynamic Sweat Secretion Analysis. *ACS Sens*.

- home health pavilion, 2022. *home health pavilion*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.homehealthpavilion.com/shop/simpro-fingertip-pulse-oximeter-with-usb-and-bluetooth-wireless-each/>
- J.F.Kidd, M., 1989. PULSE OXIMETERS: ESSENTIAL MONITORS WITH LIMITATIONS. *British Journal of Anaesthesia*, 4 4, pp. 355-357.
- Jahoon Koo, Y.-G. K., 2021. Resource identifier interoperability among heterogeneous IoT platforms. *Journal of King Saud University —Computer and Information Sciences*.
- Kay, M., 2015. *gearbrain*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.gearbrain.com/amp/cyber-chic-rings-things-and-other-digital-baubles-1622024316>
- Maker Pro, 2021. *Maker Pro*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://maker.pro/everything-esp/tutorial/virtual-esp32-simulator-online-free-browser-based>
- Microcontrollerslab, 2022. *Microcontrollerslab*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://microcontrollerslab.com/esp8266-heart-rate-pulse-oximeter-max30102/>
- Moon Electronics, 2022. *Moon Electronics*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://moonelectronicsbd.com/shop/sensors/max-30102-heart-rate-sensor-module/>
- Mostafa Haghi Kashani, M. M. M. N. P. A. E. M., 2021. A systematic review of IoT in healthcare: Applications, techniques, and trends. *Journal of Network and Computer Applications*.
- Nabila Sabrin Sworna, A. M. I. S. S. S. I., 2021. Towards development of IoT-ML driven healthcare systems: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*.
- Nemaura, 2022. *Nemaura*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://nemauramedical.com/nemaura-medical/arm-patch-4/>
- Nibir Mandal, G. U., 2022. An empirical study of IoT security aspects at sentence-level in developer textual discussions. *Information and Software Technology*.
- Onur Parlak, S. T. K. A. M. V. F. C. A. S., 2018. Molecularly selective nanoporous membrane-based wearable organic electrochemical device for noninvasive cortisol sensing. *SCIENCE ADVANCES*.
- oxigo, 2022. *oxigo*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.oxigo.co/en/ihealth-air-pulse-oximeter.html>
- Praxisdienst, 2022. *Praxisdienst*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.praxisdienst.com/en/Emergency/Monitoring/Pulse+Oximeters/BT+710+Pulse+Oximeter.html>
- Public, 2022. *Public*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.public.gr/product/prosopiki-frontida-and-omorfia/diagnostika-organa-and-syskeyes-ygeias/oksymetra/oksumetro-daktulou-beurer-po-35/MRK1876745?gclid=CjwKCAjwquWVBhBrEiwAtlKmwqPw51P7-ceaAp4dhN8NplmAGc4Pq91q0UKs1K53opJkiLGXZet3xBoCWa0QAvD_BwE
- Renya Nath N, H. V. N., 2022. Critical analysis of the layered and systematic approaches for understanding IoT security threats and challenges. *Computers and Electrical Engineering*.

- Rimbey, J., 2020. *ValueConnected*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://valueconnected.com/blog/how-the-internet-of-medical-things-benefits-healthcare/>
- SecNews, 2020. *SecNews*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.secnews.gr/284955/dramatikh-ayksisi-iot-syskeywn-poy-exoyn-molynthei-hackers/>
- Sigmanortec, 2022. *Sigmanortec*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.sigmanortec.ro/modul-gsm-gprs-sim8001-format-esp8266>
- skroutz, 2022. *skroutz*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.skroutz.gr/s/23596188/Xiaomi-Mi-Smart-Band-5-%CE%91%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%B2%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%BF-%CE%BC%CE%B5-%CE%A0%CE%B1%CE%BB%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%B F-%CE%9C%CE%B1%CF%8D%CF%81%CE%BF.html>
- Sorter, M., 2013. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/USB#/media/File:USB_Micro-B_receptacle.svg
- Subrata Chandra Das, D. M. P. H. A. C. H. E. E. M. E. H. N., 2013. *Smart Textiles-New Possibilities in Textile Engineering*. Rajshahi, Bangladesh, International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering.
- Synacorp, 2022. *Synacorp*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://synacorp.my/v3/en/internet-of-things-iot-/2564-nodemcu-32s-38p-iot-esp32-s-wifi-bluetooth-development-board.html>
- Turner Medical, 2021. *Turner Medical*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.turnermedical.com/AULISA_GA1000_LITE_WIRELESS_PULSE_OXIMETER_p/aulisa_ga1000_lite.htm
- Turner Medical, 2021. *Turner Medical*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.turnermedical.com/Masimo_MightySat_Bluetooth_IPhone_Pulse_Oximeter_p/masimo_mightysat_9909.htm
- Vipin Kumar Rathi, N. K. R. S. M. B. A. G. P. T. A. K. J. M. S. H., 2021. An edge AI-enabled IoT healthcare monitoring system for smart cities. *Computers and Electrical Engineering*.
- Voltaat, 2022. *Voltaat*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.voltaat.com/products/pulse-oximeter-and-heart-rate-sensor-max30102>
- VR-expert, 2021. *VR-expert*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: [γυαλιά](https://vr-expert.com/an-overview-of-all-smart-glasses-in-2021-22/) (<https://vr-expert.com/an-overview-of-all-smart-glasses-in-2021-22/>)
- Yizhou Shen, S. S. Q. L. H. Z. Z. W. Y. Q., 2022. Evolutionary privacy-preserving learning strategies for edge-based IoT data sharing schemes. *Digital Communications and Networks*.