



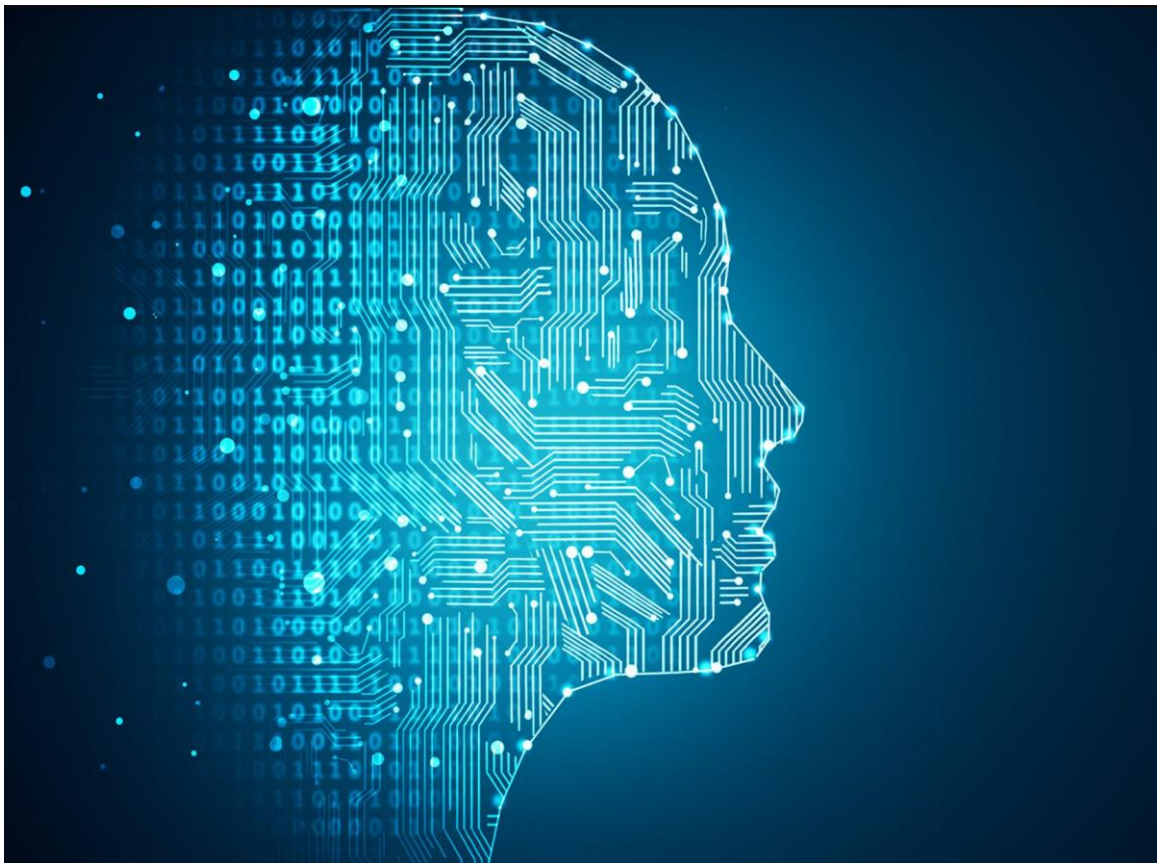
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας  
ανθρώπου μέσω webcam**



[Πηγή](#)

**Φοιτητής: Κατσουλάκος Πέτρος**

**ΑΜ: 50106804**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ. Ηλίας Ζώης**

**Επικουρος Καθηγητής**

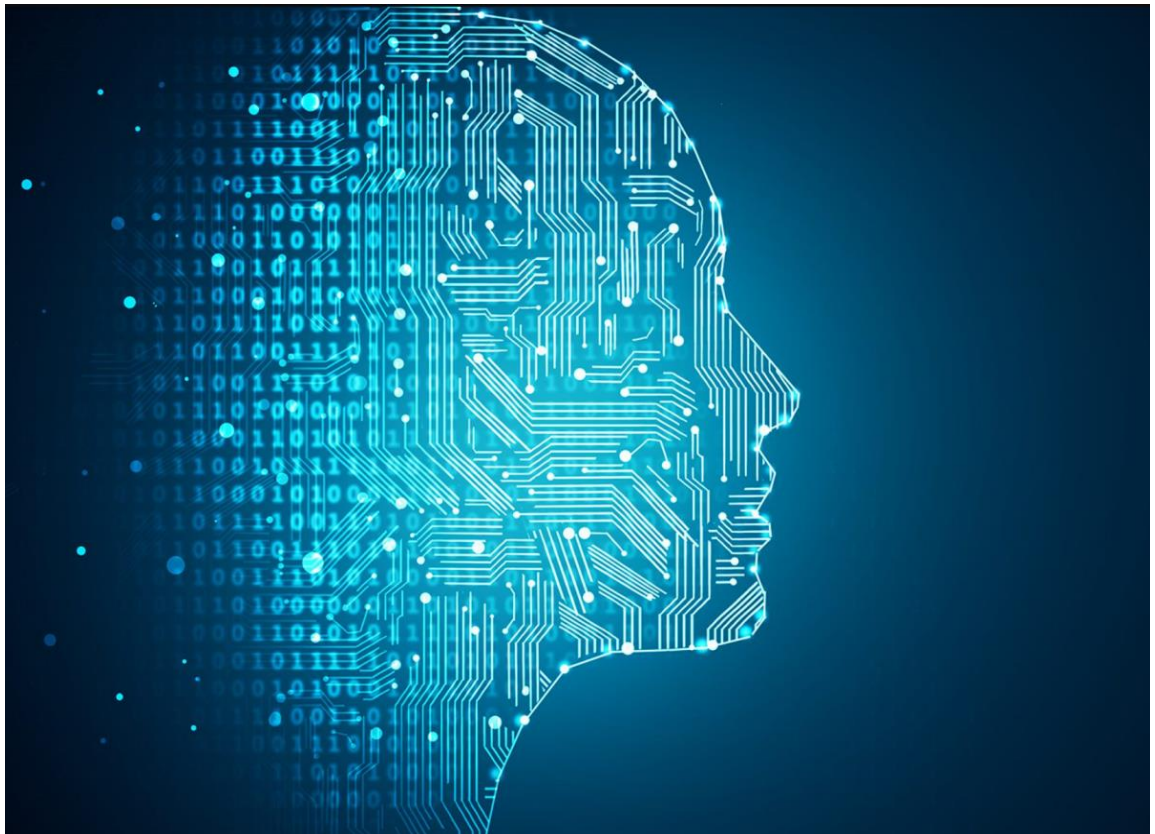
**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

### **Measuring remotely human biometrics signs with a webcam**



[Source](#)

**Student: Katsoulakos Petros**  
**Registration Number: 50106804**

**Supervisor**

**Dr. Ilias Zois**  
**Assistant Professor**

**ATHENS-EGALEO, JULY 2022**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Δημήτριος Καλύβας, Καθηγητής	Γρηγόρης Κουλούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής	Ηλίας Ζώης, Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΝΑΤΤΙΚΗΣ και Πέτρος Κατσουλάκος, Ιούλιος, 2022

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπόγραφα ότι η παρούσα εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα αποκλειστικά και ότι είμαι ο αποκλειστικός συγγραφέας του κειμένου της.

Η εργασία μου δεν προσβάλλει οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας ή προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής ή λογοκλοπής.

Κάθε βοήθεια που έλαβα για την ολοκλήρωση της εργασίας είναι αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στο κείμενό της. Ειδικότερα, έχω αναφέρει ευδιάκριτα μέσα στο κείμενο και με την κατάλληλη παραπομπή όλες τις πηγές δεδομένων, κώδικα προγραμματισμού Η/Υ, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης, και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Επιπλέον, όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης κατά τα διεθνή πρότυπα.

Τέλος δηλώνω ενυπόγραφα ότι αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ημερομηνία 21/7/2022

Πέτρος Κατσουλάκος

Θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την διπλωματική εργασία στην οικογένεια μου για την υποστήριξη τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, Δρ. Ηλία Ζώη για την βοήθεια του και την καθοδήγηση του για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη μιας προσιτής, απλής και χαμηλού κόστους μεθόδου μέτρησης και υπολογισμού διαφόρων χαρακτηριστικών της φυσιολογίας ανθρώπου χρησιμοποιώντας μια τυπική και απλή κάμερα διαδικτύου (web-camera). Με την χρήση της κάμερας εξάγεται μια ακολουθία-βίντεο προσώπου που απαρτίζεται από εικόνες οι οποίες περιέχουν στα σύνορα τους την περιοχή του προσώπου από την οποία υπολογίζονται οι καρδιακοί παλμοί (Heart rate). Ο υπολογισμός των καρδιακών παλμών είναι σημαντικός για τον προσδιορισμό των επιπλέον διαφόρων φυσιολογικών παραμέτρων ενός ανθρώπου. Η διαδικασία αυτής της μεθόδου χρησιμοποιεί την περιοχή του προσώπου στην οποία βασίζεται ο αλγόριθμος για την εύρεση των φυσιολογικών μεγεθών. Στην συνέχεια εφαρμόζοντας τεχνικές επεξεργασίας εικόνας (image processing) εξάγονται τα τρία βασικά χρωματικά κανάλια, τα οποία περιέχουν την κόκκινη, την πράσινη και την μπλέ πληροφορία. Από αυτά τα τρία διαφορετικά σήματα-εικόνες που προκύπτουν μπορούμε να εξαγωγήμε την πληροφορία που θα μας χρησιμεύσει στον υπολογισμό των καρδιακών παλμών (Heart Rate-HR). Τα σήματα αυτά, στην συνέχεια, με τεχνικές επεξεργασίας σήματος διαμορφώνονται καταλληλα ώστε να τροφοδοτήσουν τον αλγόριθμο Independent Component Analysis (ICA). Συγκεκριμένα, η ανάλυση ICA εφαρμόζεται σε ένα μέγεθος το οποίο εξάγεται από τα κανάλια χρώματος, με σκοπό να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή των χαρακτηριστικών που απεικονίζουν αρχικά τον Ογκομετρικό Παλμό Αίματος- Blood Volume Pulse (BVP). Στο τέλος, καθορίζονται τα υπόλοιπα μεγέθη όπως ο Καρδιακός ρυθμός (Heart Rate), ο αναπνευστικός ρυθμός (Respiratory Rate) καθώς και η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού HR (Heart Rate Variability-HRV, δείκτης καρδιακής αυτόνομης δραστηριότητας). Η τεχνολογία αυτή φαίνεται να παρουσιάζει ενδιαφέρουσες προοπτικές σε ποικίλες εφαρμογές που έχουν να κάνουν με τον τομέα της προσωπικής υγειονομικής περίθαλψης, της τηλεϊατρικής αλλά και σε τομείς επιστημών σε συνδυασμό με την εφαρμογή άλλων αναπτυσσόμενων τεχνολογιών όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων και η μηχανική μάθηση- τεχνητή νοημοσύνη.

## Λέξεις – κλειδιά

Καρδιακός παλμός, αναπνευστικός ρυθμός, μεταβλητότητα της καρδιάς, ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, ψηφιακή επεξεργασία σήματος, καρδιογράφημα

## **Abstract**

This thesis aims to develop a robust, but at the same time simple and low-cost method of measuring and calculating multiple physiological parameters using an affordable and easy-to-use webcam. With the use of a web camera we extract a video that is composed by images that have at their boundaries the area of the face from which the heart rate is calculated. The calculation of the heart rate is important for the determination of many different physiological diseases of a person. The algorithm of this method utilizes the area of the face in order to find the requested physiological values. Then, with image processing techniques the three color channels (red, green and blue) are extracted. From these three different image signals that emerge, one may mine the information that is needed to calculate the heart rate (HR). These types of signals are then processed to be suitable for processing with Independent Component Analysis (ICA) algorithm. In our case, the ICA analysis is applied to the color channels recorded by the camera, in order to perform the extraction of the characteristics initially displayed in the Blood Volume Pulse (BVP). Other measurements such as heart rate (HR), respiratory rate (RR) and heart rate variability (HRV, heart rate variability) are then determined by properly processing aforementioned signals. This type of process seems to be an interesting approach with potential applications in various topics related to personal healthcare, telemedicine and other sciences. In addition, it can be applied in cooperation with other emerging technologies such as the internet of things and machine learning- artificial intelligence.

## **Keywords**

Heart rate, respiratory rate, heart transient, digital image processing, digital signal processing, cardiogram



## Περιεχόμενα

<b>Κατάλογος Πινάκων.....</b>	<b>10</b>
<b>Κατάλογος Εικόνων (με πηγές) .....</b>	<b>10</b>
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή .....</b>	<b>12</b>
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....	12
1.2 Σκοπός και στόχοι .....	12
1.3 Μεθοδολογία .....	13
1.4 Καινοτομία .....	13
1.5 Δομή.....	13
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Φυσική μορφή του προβλήματος.....</b>	<b>14</b>
2.1 Λειτουργία της καρδιάς.....	14
2.2 Πρόσωπο- Φυσική έννοια του προβλήματος .....	15
2.2.1 Αναπνευστικός ρυθμός.....	15
2.2.2 Μεταβλητότητα της καρδιάς.....	17
2.3 Διαδικασία μέτρησης των πειραματικών τιμών .....	18
2.3.1 Εξαγωγή της πληροφορίας από την κάμερα .....	19
2.3.2 Εξυπνο ρολοι.....	19
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Αλγόριθμος επεξεργασίας.....</b>	<b>21</b>
3.1 Βίντεο- Matlab .....	21
3.2 Ανάλυση Βίντεο .....	21
3.2.1 Εντοπισμός προσώπου .....	21
3.2.2 Επεξεργασία βίντεο .....	24
3.3 ICA – Επεξεργασία μετά απο το ICA .....	25
3.3.1 Επεξεργασία στο σήμα του ICA .....	27
3.3.2 Καθορισμός του καρδιακού παλμού.....	28
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Αποτελέσματα.....</b>	<b>30</b>
4.1 Αποτελέσματα του αλγορίθμου .....	30
4.2 Σύγκριση του κώδικα με τις συμβατικές τεχνικές .....	36
4.2.1 Ηλεκτροκαρδιογράφημα .....	37
4.2.2 Φωτοπληθυσμογραφία .....	39
4.2.3 Μέτρηση της μεταβλητότητας της καρδιάς .....	40
4.3 Ο κώδικας.....	42
4.3.1 Αποτελέσματα του κώδικα .....	44
4.3.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα .....	47
<b>5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>48</b>
<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές .....</b>	<b>49</b>
<b>Παράρτημα Κώδικα.....</b>	<b>50</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1 Πίνακας μετρήσεων .....[σελ 44]

## Κατάλογος Εικόνων (με πηγές)

Εικόνα 2.1 [Απεικόνιση κυρίων μερών της καρδιάς](#)..... [σελ 14]

Εικόνα 2.2 [Απεικόνιση αναπνευστικού συστήματος](#)..... [σελ 16]

Εικόνα 2.3 [Απεικόνιση του χρόνου μεταξύ των παλμών της καρδιάς](#)..... [σελ 17]

Εικόνα 2.4 [Απεικόνιση της κάμερας με την οποία έγιναν οι μετρήσεις](#).....[σελ 19]

Εικόνα 2.5 [Απεικόνιση του έξυπνου ρολογιού με το οποίο έγιναν οι μετρήσεις](#) ..... [σελ 20]

Εικόνα 3.1 [Στην εικόνα απεικονίζονται τα ορθογώνια που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση προτύπων](#) .....[σελ 22]

Εικόνα 3.2 [Απεικόνιση της χρήσης των ορθογώνιων για την ανίχνευση προσώπου\(1\)](#) .....[σελ 23]

Εικόνα 3.3 [Απεικόνιση της χρήσης των ορθογώνιων για την ανίχνευση προσώπου\(2\)](#)..... [σελ 23]

Εικόνα 3.4 [Απεικόνιση των σημείων που παρακολουθούν το πρόσωπο](#) .....[σελ 24]

Εικόνα 3.5 [Απεικόνιση των τριών καναλιών χρώματος που έχει μια εικόνα](#) .....[σελ 25]

Εικόνα 3.6 [Απεικόνιση παραδείγματος του αλγορίθμου ICA](#) ..... [σελ 26]

Εικόνα 3.7 [Απεικόνιση της επεξεργασίας των χρωματικών σημάτων με τον αλγόριθμο ICA](#)  
.....[σελ 27]

Εικόνα 4.1 Απεικόνιση αναγνώρισης προσώπου από τον αλγόριθμο .....[σελ 30]

Εικόνα 4.2 Απεικόνιση της μέση τιμή των τριών καναλιών χρώματος.....[σελ 31]

Εικόνα 4.3 Απεικόνιση με το κανονικοποιημένο κόκκινο σήμα.....[σελ 32]

Εικόνα 4.4 Απεικόνιση με το κανονικοποιημένο πράσινο σήμα..... [σελ 32]

Εικόνα 4.5 Απεικόνιση με το κανονικοποιημένο μπλέ σήμα.....[σελ 33]

Εικόνα 4.6 Απεικόνιση με το επεξεργασμένο σήμα με κινητό μέσο όρο.....[σελ 33]

Εικόνα 4.7 Απεικόνιση με το σήμα από φίλτρο με παράθυρο Hamming.....[σελ 34]

Εικόνα 4. Απεικόνιση με το interpolated σήμα της συνάρτησης spline.....[σελ 35]

Εικόνα 4.9 Απεικόνιση με το σήμα IBI με εύρεση των παλμών.....[σελ 35]

Εικόνα 4.10 Απεικόνιση με το περιοδόγραμμα Lomb με PSD.....[σελ 36]

Εικόνα 4.11 [Απεικόνιση του σήματος των καρδιακών παλμών σε παλμογράφο](#) .....[σελ 37]

- Εικόνα 4.12 [Απεικόνιση ενός Ηλεκτροκαρδιογράφου](#) .....[σελ 38]
- Εικόνα 4.13 [Απεικόνιση της μέτρησης των καρδιακών παλμών με ηλεκτροκαρδιογράφο](#) ...[σελ 38]
- Εικόνα 4.14 [Απεικόνιση της ανίχνευσης της ροής αίματος με οπτικό αισθητήρα](#) .....[σελ 39]
- Εικόνα 4.15 [Απεικόνιση αισθητήρων ενός έξυπνου ρολογιού για την καταγραφή των καρδιακών παλμών](#) .....[σελ 40]
- Εικόνα 4.16 [Απεικόνιση της συσκευής Holter τοποθετημένη για την καταγραφή των καρδιακών παλμών](#) .....[σελ 41]
- Εικόνα 4.17 [Απεικόνιση έξυπνου ρολογιού με την δυνατότητα καταγραφής της μεταβλητότητας της καρδιάς](#) .....[σελ 42]
- Εικόνα 4.18 Διάγραμμα ροής κώδικα.....[σελ 43]
- Εικόνα 4.19 Απεικόνιση των τιμών των καρδιακών παλμών από τα αποτελέσματα του κώδικα και του έξυπνου ρολογιού.....[σελ 44]
- Εικόνα 4.20 Απεικόνιση των τιμών των καρδιακών παλμών από τα αποτελέσματα του κώδικα και του έξυπνου ρολογιού.....[σελ 46]

## 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο, να διερευνήσει και να δείξει ότι με τεχνικές επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας και σήματος είναι δυνατή η απομακρυσμένη αλλά και ανέπαφη μέτρηση χαρακτηριστικών της φυσιολογίας ενός ανθρώπου, όπως είναι η μέτρηση των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού αλλά και της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού. Ο κώδικας της παρούσας διπλωματικής εργασίας υλοποιεί κατά ένα μεγάλο μέρος το θεωρητικό πλαίσιο που πρωτοπαρουσιάστηκε στην επιστημονική μελέτη: “Advancements in Noncontact, Multiparameter Physiological Measurements Using a Webcam” [1], των Ming-Zher Poh, Daniel j. McDuff και Rosalind W. Picard για την μέτρηση πολύ-παραμετρικών χαρακτηριστικών φυσιολογίας. Ο κώδικας μπορεί να αναζητηθεί στην διεύθυνση του github <https://github.com/ee06804/DiplomaCode>. Ως εκ τούτου, με την μέτρηση των ζωτικών λειτουργιών ενός ανθρώπου, επιτυγχάνεται μια ουσιαστική ανάλυση των μετρήσεων που θα μπορούσε να επικουρήσει στον καθορισμό συγκεκριμένων ιατρικών δράσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν εξ αποστάσεως. Επίσης, η επίτευξη όλων των παραπάνω διαδικασιών γίνεται εύκολα με χαμηλό κόστος κάνοντας χρήση μιας τυπικής κάμερας Διαδικτύου, που συνήθως είναι ευχερή σε πολύ κόσμο.

### 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας πραγματεύεται την απλούστευση βασικών μετρήσεων που πραγματοποιούνται, συνήθως δια ζώσης, από ιατρικό προσωπικό, όπως ιατροί, νοσηλεύτες οι οποίοι που εργάζονται στον ιατρικό κλάδο για την λήψη αποφάσεων σε ότι αφορά τις διάφορες παθήσεις που μπορεί να εμφανίσει ένας άνθρωπος. Τα τελευταία χρόνια φαίνεται να υπάρχει αυξημένη ζήτηση στην χρησιμότητα της εξ αποστάσεως εξέτασης, λόγω των τεχνολογιών που έχουν καταστήσει αυτή την δυνατότητα πιο πιθανή, αλλά και λόγω εξωτερικών παραγόντων που καθιστούν αδύνατη την εξέταση διά ζώσης. Εδώ μπορούμε να αναλογιστούμε την περίπτωση της πανδημίας COVID-19 η οποία κατέστησε παρόμοιες τεχνολογίες, όπως αυτή που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική, κρίσιμη και αναγκαία.

### 1.2 Σκοπός και στόχοι

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίτευξη ενός εναλλακτικού τρόπου για την αρχική αξιολόγηση της καρδιακής και αναπνευστικής υγείας ενός ανθρώπου με ένα απλό και συνάμα αξιόπιστο τρόπο. Ο στόχος που έχει τεθεί για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου που θα καθιστά δυνατή την πραγματοποίηση μιας απομακρυσμένης διάγνωσης η οποία θα είναι ορθή διότι θα βασίζεται και σε μετρήσεις οι οποίες θα είναι αντικειμενικές και ακέραιες. Με την δυνατότητα που παρέχουν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, γίνεται δυνατό να μειωθεί ο αριθμός των οργάνων που χρειάζονται για να πραγματοποιηθούν οι διάφορες αυτές μετρήσεις, ταυτόχρονα να βελτιωθεί και η διαδικασία που χρειάζεται για να πραγματοποιηθούν αυτές οι μετρήσεις. Όλα αυτά λοιπόν θα συμπεκνώνονται σε ένα ευέλικτο και μικρό πακέτο, χρησιμοποιώντας ουσιαστικά έναν αισθητήρα μιας κάμερας διαδικτύου που είτε υπάρχει ήδη στα περισσότερα σπίτια είτε μπορεί να αγοραστεί σχετικά φθηνά και εύκολα. Αυτό κάνει τον τελικό χρήστη να μην χρειάζεται να παρέχει κάποια ιδιαίτερη προσπάθεια ή επιπλέον πόρους για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

### 1.3 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας ήταν η καταγραφή ενός βίντεο διάρκειας ενός λεπτού, σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και ώρας. Στην συνέχεια τα βίντεο ενσωματώθηκαν σε αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον του προγράμματος MATLAB. Έπειτα, έγινε η ανάπτυξη του κώδικα μαζί με τις διάφορες τροποποιήσεις που χρειάστηκαν ώστε να αναπτυχθεί ο αλγόριθμος για να παράγει ορθά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, αφού ο κώδικας είχε ολοκληρωθεί, δοκιμάστηκαν όλα τα υπόλοιπα βίντεο τα οποία είχαν καταγραφεί για να διαπιστωθεί το πόσο ακριβής είναι ο κώδικας σε διαφορετικές μετρήσεις διαφορετικών ανθρώπων. Τέλος, δοκιμάστηκαν κλασικά όργανα μέτρησης για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα του κώδικα σε σχέση με τους συνηθισμένους τρόπους που γίνονται ίδιες μετρήσεις. Συνεπώς, η επικύρωση – βαθμονόμηση των μετρήσεων μας έγινε με ταυτόχρονες μετρήσεις με κλασικά όργανα μέτρησης, ειδικά προσανατολισμένα για αυτό τον σκοπό.

### 1.4 Καινοτομία

Η καινοτομία της διπλωματικής εργασίας είναι ότι χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα εικόνας - βίντεο που κατά κόρον χρησιμοποιείται για άλλο σκοπό, όπως είναι μια κάμερα και μέσω βασικών τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας και σήματος παρουσιάζεται μια καινούργια και καινοτόμα χρήση πάνω σε έναν ήδη προϋπάρχον αισθητήρα.

### 1.5 Δομή

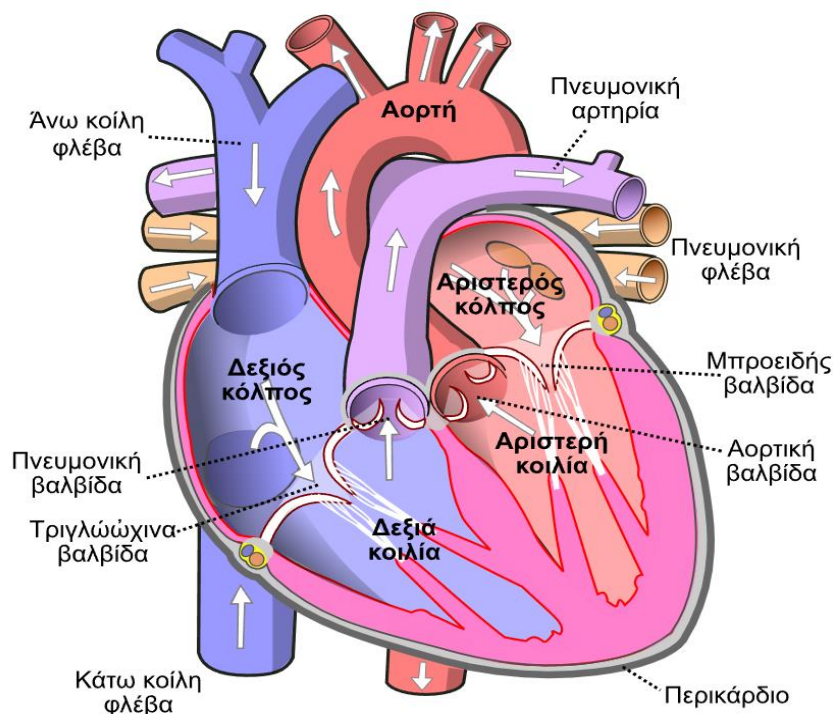
Η δομή της διπλωματικής εργασίας οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή για την φυσική υπόσταση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το δεύτερο κεφάλαιο λοιπόν, αποτελείται από ενότητες που περιγράφουν την λειτουργία της καρδιάς ενός ανθρώπου καθώς και το πως είναι εφικτό να συλλεχθεί η απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται για να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί για τους καρδιακούς ρυθμούς, τον αναπνευστικό ρυθμό και την μεταβλητότητα της καρδιάς. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται ο κώδικας και η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε με περιγραφή του κώδικα και των βημάτων που ακολουθήθηκαν για να κατάληξη στο τελικό αποτέλεσμα. Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται η μελέτη των αποτελεσμάτων του κώδικα και η σύγκριση – βαθμονόμηση του με άλλα συμβατικά όργανα μέτρησης των παραπάνω μεγεθών. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, συνοψίζεται η διπλωματική εργασία και παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της μελέτης του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Φυσική μορφή του προβλήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση του φυσικού προβλήματος του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί η ανθρώπινη καρδιά. Έπειτα, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο εξάγεται η πληροφορία για τον καρδιακό ρυθμό από την ανάλυση της εικόνας που αποτυπώνεται στην κάμερα διαδικτύου (webcam) και ουσιαστικά ποια είναι η πραγματική φυσική υπόσταση του θέματος της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, παρουσιάζονται οι πιθανές ασθένειες οι οποίες μπορούν να προκύψουν από την ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν μέσω της κάμερας διαδικτύου.

### 2.1 Λειτουργία της καρδιάς

Η καρδιά είναι ένας οργανικός μυς που λειτουργεί σαν μια φυσική αντλία για να παρέχει αίμα σε όλα τα υπόλοιπα όργανα ενός ανθρώπινου οργανισμού. Λειτουργεί σαν μια αντλία που αν μεταθέτει το αίμα από τις φλέβες που έχουν λιγότερη πίεση και θα το αποστείλει στις αρτηρίες που έχουν υψηλότερη πίεση, με την διαδικασία της συστολής και διαστολής. Αυτό πραγματοποιείται ακατάπαυστα καθόλη την διάρκεια ζωής ενός ανθρώπου [2].



Εικόνα 2.1 Τα κύρια μέρη της καρδιάς<sup>1</sup>

Η καρδιά αναλύεται σε δυο πλευρές, την δεξιά πλευρά και την αριστερή πλευρά. Η κάθε μια από αυτές τις πλευρές απαρτίζεται από έναν κόλπο και μια κοιλία. Ο δεξιός κόλπος υποδέχεται το

<sup>1</sup> [Απεικόνιση κυρίων μερών της καρδιάς](#)

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam μη οξυγονωμένο αίμα από τις φλέβες μέσα από τη τριγλώχινα βαλβίδα το οποίο οδηγείτε στην δεξιά κοιλιά. Έπειτα, από την δεξιά κοιλιά το αίμα θα οδηγηθεί στους πνεύμονες του οργανισμού για ανταλλαγή αερίων. Η αριστερή πλευρά της καρδιάς υποδέχεται το αίμα από τους πνεύμονες το οποίο έχει πια οξυγονωθεί μέσω της πνευμονικής φλέβας και θα οδηγηθεί από τον αριστερό κόλπο στην αριστερή κοιλιά μέσω της μιτροειδής βαλβίδας. Η καρδιά για να μπορεί να μεταφέρει στο υπόλοιπο σώμα το αίμα, πρέπει να συσπαστεί με ρυθμικό τρόπο, δημιουργώντας δύο φάσεις: την διαστολή και την συστολή. Με την διαδικασία της διαστολής η καρδιά γεμίζει με αίμα το οποίο κατά την διαδικασία της συστολής προωθείται στα όργανα του σώματος.

Από την συστολή και την διαστολή δημιουργούνται οι καρδιακοί παλμοί. Ένας καρδιακός παλμός αποτελείται από καρδιακούς ήχους. Ο πρώτος ήχος που έχει χαμηλή συχνότητα δημιουργείται από τις βαλβίδες που υπάρχουν στην κολποκοιλιακή περιοχή της καρδιάς. Ο δεύτερος ήχος που έχει υψηλότερη συχνότητα δημιουργείται από την σύγκλιση των μηννοειδών βαλβίδων κατά την διάρκεια της προώθησης του αίματος από τις κοιλίες στο σωμα.

Κατά την διάρκεια των παλμών το αίμα ρέει από τις αρτηρίες σε όλο το σώμα και στα όργανα του ανθρώπινου οργανισμού. Έπειτα, από τις φλέβες το αίμα που υπάρχει στα όργανα του σώματος επιστρέφει πίσω στην καρδιά. Όταν συμβαίνει αυτή η διαδικασία μπορεί να παρατηρηθεί μια πολύ μικρή αύξηση του όγκου στην επιφάνεια της επιδερμίδας.

## **2.2 Πρόσωπο- Φυσική έννοια του προβλήματος**

Η φυσική έννοια του προβλήματος για το πως είναι δυνατό να αντληθεί η πληροφορία που χρειάζεται για την μέτρηση των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς περιγράφεται σε αυτή την υποενότητα. Ο φυσικός τρόπος που καθίσταται δυνατό ώστε να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της επεξεργασίας δεδομένων που καταγράφονται σε ένα βίντεο για την δημιουργία μετρήσεων χωρίς φυσική επαφή του ασθενή με κάποιο όργανο μέτρησης, είναι απλός.

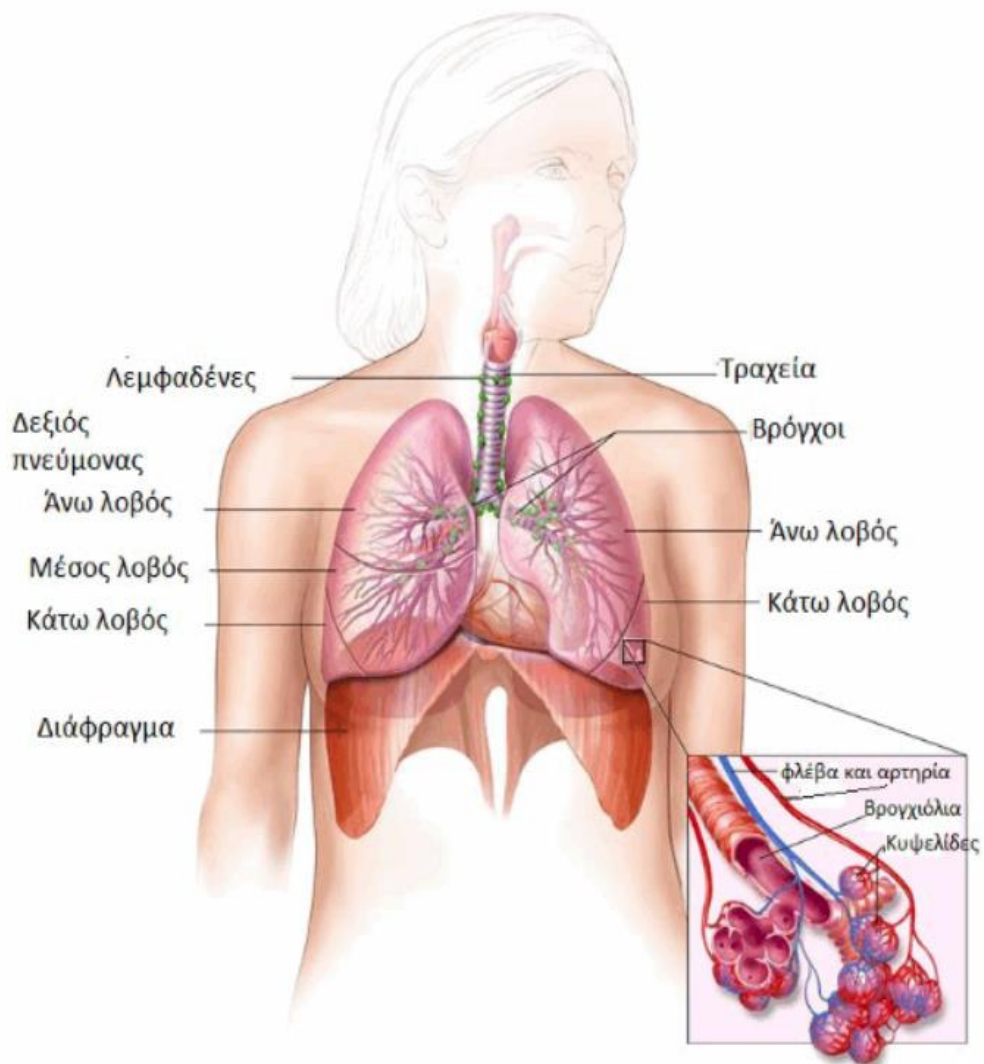
Έχοντας, έναν άνθρωπο να κάθεται σε μια απόσταση της τάξης των 40 με 60 εκατοστών από μια διαδικτυακή κάμερα με το πρόσωπο του να είναι προσανατολισμένο προς την κάμερα, καταγράφονται οι πληροφορίες που θα χρειαστούν για την επεξεργασία και τον υπολογισμό των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς. Για αυτή την διαδικασία χρειάζεται αρκετό φως ειδικά στην περιοχή ενδιαφέροντος που είναι το πρόσωπο του ανθρώπου. Το φως που χρειάζεται για την διαδικασία παρέχεται συνήθως είτε φυσικά από τον ήλιο είτε από τεχνητές πηγές.

Οι ηλιακές ακτίνες αντανakλώνται από την επιδερμίδα του προσώπου και έπειτα πέφτουν στον αισθητήρα της διαδικτυακής κάμερας. Η επιδερμίδα κατά την διάρκεια πραγματοποίησης της διαδικασίας της διαστολής και συστολής αλλάζει τον όγκο του προσώπου με τον ίδιο ρυθμό που δημιουργούνται οι καρδιακοί παλμοί [3]. Αυτή η αλλαγή του όγκου είναι η κρίσιμη πληροφορία που καταγράφεται από την διαδικτυακή κάμερα μαζί με οτιδήποτε άλλες κινήσεις που μπορεί να είναι μικρές ή μεγάλες. Η επεξεργασία που θα γίνει στην συνέχεια έχει ως σκοπό να εμφανίσει αυτή την πληροφορία με τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας ώστε να υπολογιστούν οι τιμές των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς.

### **2.2.1 Αναπνευστικός ρυθμός**

Η μέτρηση της τιμής του αναπνευστικού ρυθμού είναι ιδιαίτερα σημαντική για την δημιουργία αρχικών ενδείξεων, συμπερασμάτων και εκτιμήσεων που έχουν να κάνουν με πιθανές

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam διάφορες ανωμαλίες της καρδιάς και του αναπνευστικού συστήματος. Ο αναπνευστικός ρυθμός αποτελείται από μια εισπνοή και μια εκπνοή, και μπορεί να διαφέρει αρκετά από άτομο με άτομο. Είναι ένας ρυθμός που σε αντίθεση με τους καρδιακούς παλμούς είναι δυνατό να λειτουργεί και αυτόνομα αλλά και να ελεγχθεί σε επίπεδα του ρυθμού της αναπνοής όσο και στο επίπεδο του όγκου της αναπνοής.



Εικόνα 2.2 Το αναπνευστικό σύστημα<sup>2</sup>

Όταν ο αναπνευστικός ρυθμός αναλύεται φασματικά, ήτοι στο επίπεδο της συχνότητας παρατηρούνται δυο τμήματα ενδιαφέροντος: α) στις συχνότητες 0.04-0.15Hz και β) στις συχνότητες 0.15-0.4Hz. Το «χαμηλό» κομμάτι των συχνοτήτων μπορεί να υποδείξει διάφορες συμπαθητικές και παρασυμπαθητικές επιρροές στο αναπνευστικό σύστημα [4]. Το «υψηλό» κομμάτι των συχνοτήτων μπορεί να υποδείξει επιρροές που υπάρχουν στο καρδιολογικό σύστημα και συνδέεται με την αναπνευστική αρρυθμία.

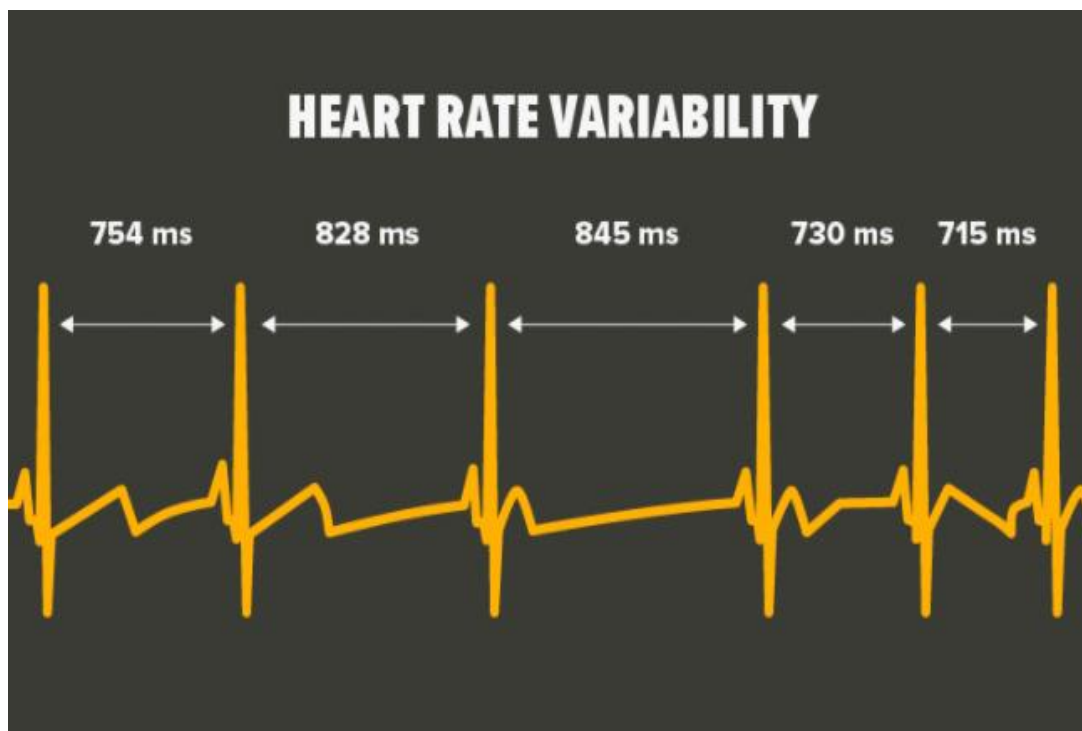
Οι υψηλές συχνότητες που δημιουργούνται από την κατανομή του φάσματος των καρδιακών παλμών, ταυτίζονται με τις διαφοροποιήσεις ανάμεσα στους χτύπους της καρδιάς και είναι σε φάση με την εισπνοή και την εκπνοή [4]. Ως αποτέλεσμα, διαθέτοντας τους καρδιακούς παλμούς και με χρήση υπολογιστικής ισχύος να γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός του καρδιακού παλμού ενός ατόμου.

<sup>2</sup> [Απεικόνιση αναπνευστικού συστήματος](#)



## 2.2.2 Μεταβλητότητα της καρδιάς

Η μεταβλητότητα της καρδιάς είναι ένα μέγεθος αρκετά χρήσιμο για τον καθορισμό της δύναμης και της υγείας της καρδιάς. Η καρδιά πρέπει να έχει την δυνατότητα να αλλάζει τον ρυθμό των χτύπων της ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες που μπορεί να προκύπτουν από περιβαντολλογικές συνθήκες και ψυχολογικά ερεθίσματα [5]. Μια υγιής καρδιά, λειτουργεί σωστά και μπορεί να διαθέτει αυξημένη μεταβλητότητα.



Εικόνα 2.3 Ο χρόνος μεταξύ των παλμών της καρδιάς<sup>3</sup>

Η μεταβλητότητα της καρδιάς ορίζεται από την δυνατότητα της να αλλάζει τον ρυθμό ανάμεσα στους καρδιακούς παλμούς. Αυτή η διαφορά ανάμεσα από τους χτύπους της καρδιάς μετριέται και είναι αυτό που ονομάζουμε καρδιακή μεταβλητότητα (HRV). Η περίοδος για η οποία χρειαζόμαστε να κάνουμε αυτή την μέτρηση μπορεί να από 5 λεπτά έως 24 ώρες.

Η μέτρηση της καρδιακής μεταβλητότητας προσφέρει μεγάλη διορατικότητα για το πως λειτουργεί το αυτόνομο νευρικό σύστημα ενός ανθρώπου. Καθώς το ανθρώπινο σώμα διαθέτει πολλές αυτόνομες λειτουργίες που επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες, η δυνατότητα του ανθρώπινου οργανισμού να προσαρμόζεται αυτόνομα για να ανταπεξέλθει σε πιέσεις που προκύπτουν από εξωτερικούς παράγοντες είναι πολύ σημαντική.

Οι αυτόνομες νευρικές λειτουργίες είναι συνδεδεμένες με το καρδιολογικό, νευρικό και αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού. Παράλληλα, συμβάλουν στην σταθερή πίεση του αίματος, στην διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος και στην διατήρηση του επιπέδου ζαχάρου στο αίμα. Αυτό σημαίνει ότι μετρώντας και αποκτώντας τα δεδομένα της καρδιακής μεταβλητότητας ενός ανθρώπου μπορούμε να εξάγουμε αρχικές εκτιμήσεις και στοιχεία

<sup>3</sup> [Απεικόνιση του χρόνου μεταξύ των παλμών της καρδιάς](#)

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam τόσο για την φυσική τους κατάσταση όσο και για την ψυχολογική του κατάσταση, εφόσον οι εξωτερικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την ιδιοσυγκρασία του.

Η μέτρηση της καρδιακής μεταβλητότητας απαιτεί την αναλυτική μέτρηση του καρδιακού ρυθμού. Αυτό γίνεται με πολλούς τρόπους, όπως με οπτικούς αισθητήρες ή το παραδοσιακό ηλεκτροκαρδιογράφημα μέσω ενός παλμογράφου-καρδιογράφου. Αυτοί οι τρόποι λειτουργούν αλλά χρειάζονται α) φυσική επαφή με το άτομο στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις και β) απαιτούνται άτομα – χειριστές που κατέχουν τις απαραίτητες γνώσεις για να τοποθετήσουν τους αισθητήρες πάνω στο άτομο που πραγματοποιούνται η μετρήσεις.

Με τον κώδικα που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, αυτές οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν εξ αποστάσεως χωρίς κάποιες ιδιαίτερες γνώσεις ή κάποιο διαφορετικό ειδικό αισθητήρα. Οπότε, αφενός επιτυγχάνεται η μέτρηση μιας λειτουργίας της καρδιάς που μπορεί να προσφέρει διάφορα στοιχεία για την λειτουργία ενός ανθρώπινου οργανισμού και αφετέρου μπορεί να έχουμε μια αρχική εκτίμηση για την διάγνωση διαφόρων παθήσεων που έχουν να κάνουν με το νευρικό και καρδιολογικό σύστημα, όπως κατάθλιψη, άγχος ή/και παθολογικές καταστάσεις της καρδιάς.

### **2.3 Διαδικασία μέτρησης των πειραματικών τιμών**

Η διαδικασία με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για να υπολογιστούν οι τιμές των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς έγιναν ως εξής: Το υποκείμενο του πειράματος ήταν ένας άνθρωπος. Το υποκείμενο κάθεται περίπου σε μια αποσταση της τάξης των 50 εκατοστών από την διαδικτυακή κάμερα. Για την μέτρηση υπάρχει ένα δεύτερο άτομο το οποίο ελέγχει από ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο μια εφαρμογή που συνδέεται με ένα έξυπνο ρολόι που έχει την δυνατότητα να καταγράψει του καρδιακούς παλμούς.

Η καταγραφή του βίντεο γίνεται ταυτόχρονα με την μέτρηση των καρδιακών παλμών που μετριοούνται από το έξυπνο ρολόι. Καθώς πραγματοποιείται η καταγραφή του βίντεο του ενός λεπτού, το υποκείμενο μετράει συνειδητά τις αναπνοές που πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια τους ενός λεπτού που γίνεται η μέτρηση.

Στο υποκείμενο κατά την διάρκεια της μέτρησης του έχει ζητηθεί να μην πράξει κάποια άσκοπη κίνηση προς κατεύθυνση στην οποία το πρόσωπο του δεν θα είναι μετωπικό ή δεν φαίνεται αρκετά στην διαδικτυακή κάμερα. Το δωμάτιο στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση είναι αρκετά φωτισμένο με φυσικό φως ή αν χρειάζεται χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός.

Προτού, καταγραφεί το βίντεο γίνεται έλεγχος της εικόνας που θα καταγράψει η καμερα ώστε στο βίντεο να μην υπάρχουν σημεία μεγάλης αντίθεσης, από τα οποία θα δημιουργηθούν εικονοστοιχεία (pixel) τα οποία θα είναι λευκά λόγω του άπλετου φωτός, με αποτέλεσμα να χάνεται σημαντικό μέρος της πληροφορίας που χρειάζεται για τους υπολογισμούς που θα πραγματοποιηθούν από τον κώδικα.

Στις μετρήσεις έλαβε μέρος ένα άτομο. Για τις πρώτες δυο μετρήσεις, καταγράφηκε ένα βίντεο ώστε να ελεγχθεί η απόδοση και η ακρίβεια του κώδικα σε σχέση με την τα αποτελέσματα που προέρχονται από το έξυπνο ρολόι. Τα δυο διαφορετικά βίντεο καταγράφηκαν μαζί με την ταυτόχρονη μέτρηση του έξυπνου ρολογιού. Αυτό πραγματοποιήθηκε ώστε να δεδομένα που συλλέγονται για ένα άτομο με δυο μετρήσεις να μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλυθούν για την βελτίωση της ευαισθησίας που έχει ο κώδικα για να εντοπίζει τους παλμούς της καρδιάς.

### 2.3.1 Εξαγωγή της πληροφορίας από την κάμερα

Η καταγραφή του βίντεο πραγματοποιήθηκε από την κάμερα Microsoft VX 2000, η οποία είναι μια κάμερα διαδικτυακής χρήσης, με τον αισθητήρα της κάμερας να έχει ανάλυση 2MP, που είναι ικανή να καταγράψει έγχρωμο βίντεο. Η καταγραφή του βίντεο έγινε σε ανάλυση 640x480 σε RGB, από το πρόγραμμα Debut Video Capture Software που διατίθεται δωρεάν [6]. Το βίντεο καταγράφηκε στην μορφή AVI. Η μορφή AVI επιλέχτηκε γιατί δεν χρησιμοποιεί τόσο μεγάλη συμπίεση, όπως άλλες μορφές καταγραφής βίντεο, με αποτέλεσμα να παραμένει η κρίσιμη πληροφορία που χρειάζεται για να γίνουν οι υπολογισμοί μέσω του κώδικα χωρίς να χάνεται πληροφορία λόγω συμπίεσης. Όταν έγινε η καταγραφή του βίντεο, ο ήχος ήταν απενεργοποιημένος διότι δεν χρειαζόταν για να γίνουν οι υπολογισμοί των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς. Το μέγεθος των αρχείων διέφερε ανάλογα με τις επιλογές του προγράμματος Debut Video Capture Software. Στα βίντεο επιλέχτηκε η ρύθμιση για μεγάλα αρχεία που κρατάνε και αρκετή περισσότερη πληροφορία.



Εικόνα 2.4 Κάμερα Microsoft VX 2000<sup>4</sup>

### 2.3.2 Έξυπνο ρολοι

Το έξυπνο ρολόι με το οποίο καταγράφηκαν οι μετρήσεις των καρδιακών παλμών ήταν το Xiaomi Mi Band 3, που ανήκει στην κατηγορία των wearable activity trackers, που είναι κατασκευασμένα να καταγράφουν τους καρδιακούς παλμούς κατά την διάρκεια σωματικών ασκήσεων. Έξυπνα ρολόγια όπως με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία λειτουργούν με έναν οπτικό αισθητήρα που λαμβάνει φως που αντανακλάται από το δέρμα. Το φως δημιουργείται από ένα LED το οποίο παράγει πράσινο φως. Από την φασματοσκόπια είναι γνωστό ότι το πράσινο φως που εκπέμπει το LED απορροφάται από το αίμα επειδή είναι κόκκινο και είναι αντίθετο από το πράσινο. Επειδή, δημιουργούνται κενά από τις αντανακλάσεις το έξυπνο ρολόι είναι ικανό να μετρήσει τους καρδιακούς παλμούς με αρκετή ακρίβεια [7].

<sup>4</sup> [Απεικόνιση της κάμερας με την οποία έγιναν οι μετρήσεις](#)



Εικόνα 2.5 Έξυπνο ρολόι<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> [Απεικόνιση του έξυπνου ρολογιού με το οποίο έγιναν οι μετρήσεις](#)

### **3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Αλγόριθμος επεξεργασίας**

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζεται η επεξεργασία που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί από το αρχικό βίντεο. Έπειτα, η επεξεργασία εικόνας που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος για την δημιουργία σημάτων, που θα επεξεργαστούν μέσω του κώδικα ICA για να υπολογιστεί η πληροφορία που χρειάζεται για να πραγματοποιηθούν οι υπόλοιποι υπολογισμοί. Τέλος, η τελική επεξεργασία για την δημιουργία των αποτελεσμάτων όπως οι καρδιακοί παλμοί, ο αναπνευστικός ρυθμός και η μεταβλητότητα της καρδιάς.

#### **3.1 Βίντεο- Matlab**

Το Matlab είναι ένα εργαλείο σχεδιασμένο να εξυπηρετεί τις ανάγκες μηχανικών και επιστημόνων. Η επιλογή του για την ανάπτυξη του κώδικα πραγματοποιήθηκε διότι το προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab παρέχει στην βασική του μορφή όλα τα εργαλεία που χρειαζόντουσαν για την ανάπτυξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Έχει ενσωματωμένες βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας και σήματος που υλοποιεί ο αλγόριθμος. Είναι ιδανικό για το προγραμματισμό του κώδικα γιατί λειτουργεί με βάση τα μαθηματικά και μπορεί να πραγματοποιήσει εύκολα μαθηματικές πράξεις αλγεβρικών πινάκων που είναι κρίσιμες και αναπόσπαστες για την επεξεργασία εικόνας και σήματος. Η επιλογή άλλου προγραμματιστικού περιβάλλοντος θα προκαλούσε καθυστερήσεις στην ενσωμάτωση των διαφόρων βιβλιοθηκών που θα χρειαζόντουσαν αλλά και στην επιβεβαίωση του κώδικα που έχει προγραμματιστεί. Επίσης, αφού έχει αναπτυχθεί πλήρως ο αλγόριθμος χρησιμοποιώντας τις διάφορες συναρτήσεις και βιβλιοθήκες του προγραμματιστικού περιβάλλοντος του Matlab, υπάρχει η δυνατότητα να γεννηθεί κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού C/C++ με την χρήση του MATLAB Coder.

#### **3.2 Ανάλυση Βίντεο**

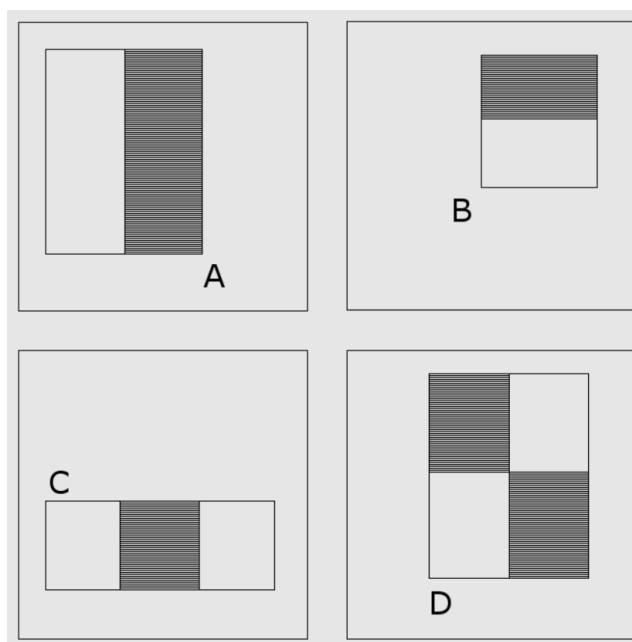
Ένα βίντεο από τα βίντεο που καταγράφηκαν συνολικά από το πρόγραμμα VHS τοποθετείται στο Matlab. Το κάθε βίντεο είναι έγχρωμο με τρία κανάλια χρώματος το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Το καρέ του βίντεο είναι ρυθμισμένο στα 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο με ανάλυση των εικονοστοιχείων 640x480. Το βίντεο έχει καταγράψει και αποθηκευτεί με το πρότυπο AVI. Το πρότυπο AVI είναι ικανό να κρατήσει αρκετή πληροφορία στις εικόνες χωρίς να συμπιεστεί το τελικό αρχείο του βίντεο κάτι το οποίο θα οδηγούσε στην απώλεια χρήσιμης πληροφορίας για την επεξεργασία που θα πραγματοποιηθεί. Το μέγεθος του τελικού αρχείου που προκύπτει παρόλο που είναι αρκετά μεγάλο εμπεριέχει και αρκετή πληροφορία. Το πρόσωπο σε κάθε ένα από τα βίντεο, είναι εμφανές καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου που καταγράφεται το βίντεο.

##### **3.2.1 Εντοπισμός προσώπου**

Αφού το βίντεο έχει φορτωθεί στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab, αρχίζει η επεξεργασία του. Επειδή, ο όγκος του αρχείου είναι αρκετά μεγάλος ώστε να δημιουργηθεί ένας κώδικας που θα κάνει αυτή την επεξεργασία γρήγορα και επειδή η χρήσιμη πληροφορία που χρειάζεται ο αλγόριθμος που υπάρχει σε κάθε καρέ του βίντεο, βρίσκεται στο πρόσωπο και όχι στην υπόλοιπη εικόνα του βίντεο που έχει καταγράψει. Συνεπώς, όπως είναι λογικό, ο αλγόριθμος

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam έχει αναπτυχθεί ώστε να κρατήσει το κομμάτι της εικόνα που εμπεριέχει το πρόσωπο να συνεχίσει να κάνει του υπολογισμούς με αυτή την περιοχή ενδιαφέροντος.

Ο εντοπισμός του προσώπου πραγματοποιείται από ένα αντικείμενο cascade που μπορεί να ανιχνεύσει το πρόσωπο ενός ανθρώπου και διαφορά σημεία της ανατομίας του προσώπου όπως η μύτη, τα μάτια και το στόμα ενός ανθρώπου. Το cascade αντικείμενο λειτουργεί με βάση τον αλγόριθμο Viola-Jones που τον καθιστά αρκετά σωστό για τον εντοπισμό του προσώπου σε πραγματικό χρόνο ή σε βίντεο, με μεγάλη αποτελεσματικότητα [8].



Εικόνα 3.1 Ορθογώνια που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση προτύπων<sup>6</sup>

Ο αλγόριθμος Viola-Jones δουλεύει με τις ίδιες αρχές που χρησιμοποιούν οι συναρτήσεις Haar basis functions για την εύρεση αντικειμένων πάνω σε εικόνες [9]. Ωστόσο, ο αλγόριθμος Viola-Jones τείνει να είναι περισσότερο πολύπλοκος από τις συναρτήσεις Haar basis functions. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο αλγόριθμος Viola-Jones είναι η κατασκευή περισσότερων από ενός ορθογώνιων τμημάτων, που εμπεριέχουν τμήματα που είναι φωτεινά και σκοτεινά, με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας τιμής που προέρχεται από το άθροισμα των φωτεινών εικονοστοιχείων που αφαιρούνται από το άθροισμα των σκοτεινών σημείων [8].

<sup>6</sup> [Στην εικόνα απεικονίζονται τα ορθογώνια που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση προτύπων](#)



Εικόνα 3.2 Η χρήση των ορθογώνιων για την ανίχνευση προσώπου(1)<sup>7</sup>



Εικόνα 3.3 Η χρήση των ορθογώνιων για την ανίχνευση προσώπου (2)<sup>8</sup>

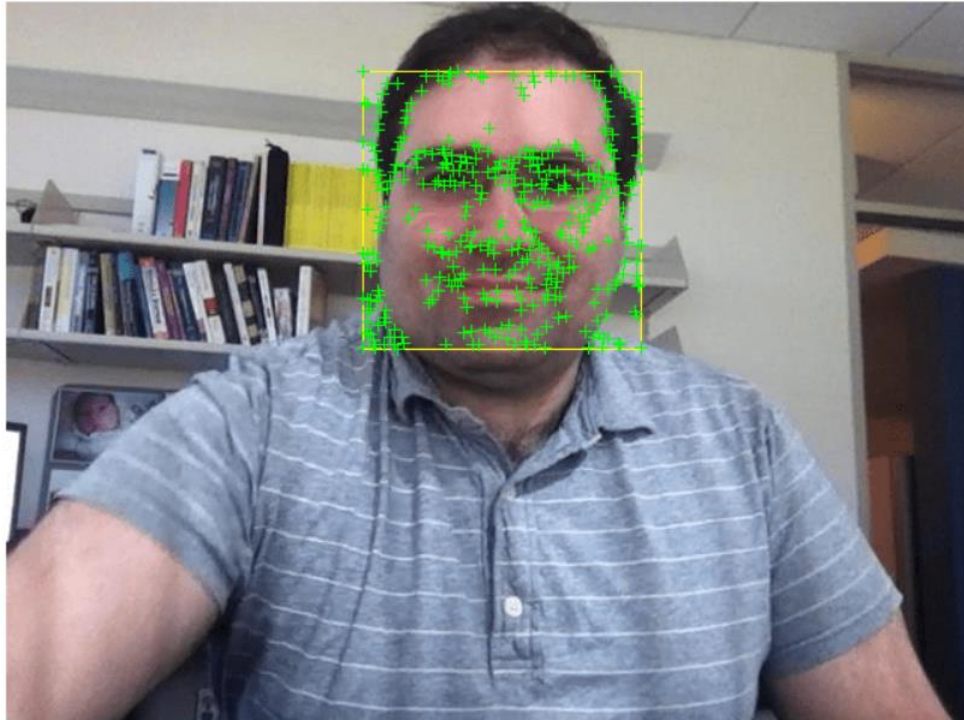
Για να υπάρξει αναγνώριση των στοιχείων από τον αλγόριθμο, πρέπει ο αλγόριθμος να έχει εκπαιδευτεί στο να αναγνωρίζει χαρακτηριστικά από μια σειρά εικόνων που του είναι ήδη γνωστή. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργεί διαφορετικές κλάσεις ώστε να είναι ικανός να αποκλείσει αντικείμενα και να μπορεί να αποφανθεί με βεβαιότητα ότι έχει βρει το ανθρώπινο πρόσωπο.

Η επεξεργασία που κάνει ο αλγόριθμος Viola-Jones, αν και είναι αποτελεσματική, χρησιμοποιεί αρκετή επεξεργαστική ισχύ. Οπότε, η χρήση του αλγορίθμου Viola-Jones για τον εντοπισμό του προσώπου για 30 διαφορετικά καρέ το δευτερόλεπτο επιβραδύνει τον χρόνο ολοκλήρωσης του αλγορίθμου και απαιτεί πολλούς πόρους του υπολογιστή για την επεξεργασία. Μολονότι, είναι δυνατόν να γίνει με τον αλγόριθμο Viola-Jones για την παρακολούθηση του προσώπου κατά την πάροδο του χρόνου έχει επιλέγει ο αλγόριθμος Kanade-Lucas-Thomas [10].

---

<sup>7</sup> [Απεικόνιση της χρήσης των ορθογώνιων για την ανίχνευση προσώπου\(1\)](#)

<sup>8</sup> [Απεικόνιση της χρήσης των ορθογώνιων για την ανίχνευση προσώπου\(2\)](#)



Εικόνα 3.4 Σημεία που παρακολουθούν το πρόσωπο<sup>9</sup>

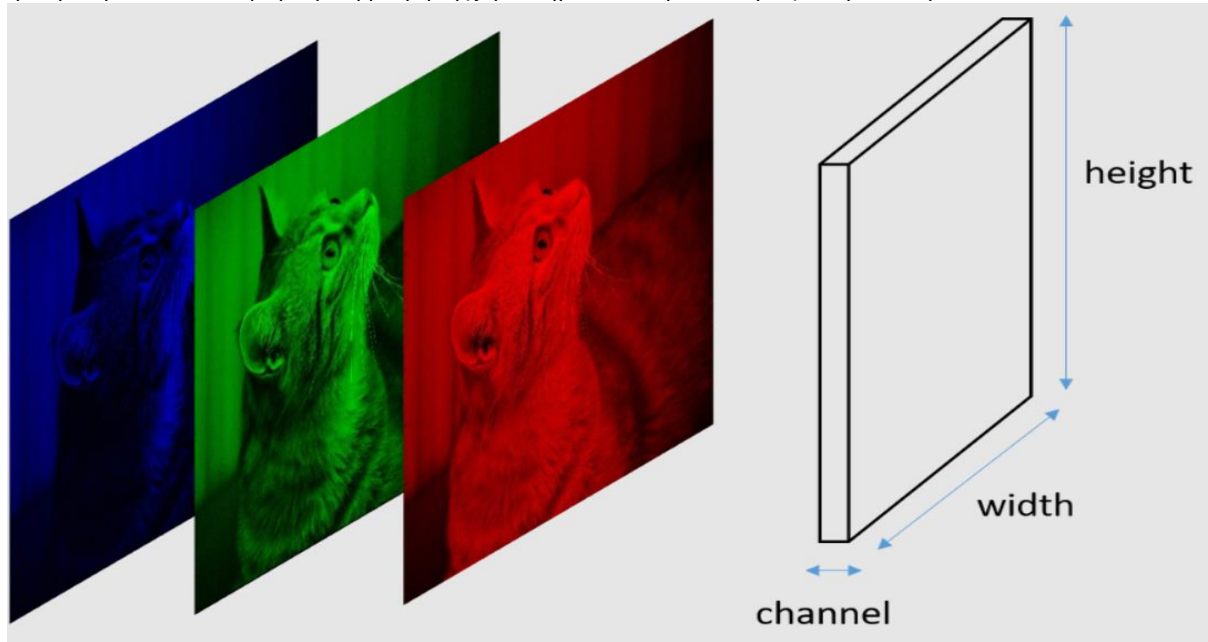
Ο αλγόριθμος Kanade-Lucas-Thomas δουλεύει σε συνεργασία με τον αλγόριθμο Viola-Jones ώστε να γίνει εντοπισμός του προσώπου στο βίντεο με τον αλγόριθμο Viola-Jones και να γίνει μετέπειτα παρακολούθηση με τον αλγόριθμο Kanade-Lucas-Thomas κατά την διάρκεια του βίντεο. Ο αλγόριθμος Kanade-Lucas-Thomas δημιουργεί με σειρά από σημεία τα οποία τοποθετούνται πάνω σε σημεία του ώστε να μπορούν να ανίχνευση του προσώπου με ακρίβεια. Ο αλγόριθμος Kanade-Lucas-Thomas χρησιμοποιεί την μέθοδο που αναπτύχθηκε από τους Shi Tomasi για την παρακολούθηση καλών στοιχείων που υπάρχουν στο πρόσωπο [10].

### 3.2.2 Επεξεργασία βίντεο

Με τον εντοπισμό του προσώπου που έγινε με τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη υπό ενότητα, κατασκευάζεται ένα βίντεο με το πλαίσιο του να έχει μειωθεί στις διαστάσεις του προσώπου. Υστέρα, γίνεται η μετατροπή του βίντεο που είναι ένα αντικείμενο που έχει τρεις διαστάσεις, οι οποίες αποτελούνται από την ανάλυση των εικονοστοιχείων του προσώπου και την τιμή του καρέ που έχουν, σε έναν δισδιάστατο αντικείμενο. Ταυτόχρονα, για την επεξεργασία που θα ακολουθήσει, από το αρχικό βίντεο φτιάχνονται τρεις διαφορετικοί πίνακες που αποτελούνται από δυο διαστάσεις. Αυτοί οι τρεις πίνακες των δυο διαστάσεων χωρίζονται στα επιμέρους χρώματα από τα οποία φτιάχνεται η αρχική τους εικόνα σε κάθε καρέ του βίντεο, τα οποία είναι το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε.

<sup>9</sup> [Απεικόνιση των σημείων που παρακολουθούν το πρόσωπο](#)





Εικόνα 3.5 Τα τρία κανάλια χρώματος που έχει μια εικόνα<sup>10</sup>

Έχοντας τους τρεις πίνακες δημιουργούνται τρία διαφορετικά σήματα, για κάθε κανάλι χρώματος, που αποτελούνται από την μέση τιμή των εικονοστοιχείων σε κάθε καρέ του βίντεο. Έπειτα, σε κάθε κανάλι χρώματος γίνεται επεξεργασία με την μέθοδο detrend [11]. Με αυτή την μέθοδο στα τρία σήματα, που έχουν δημιουργηθεί από τα τρία κανάλια χρώματος, αφαιρείται η μέση τιμή που θα είχαν τα σήματα, ώστε να απομακρυνθούν τάσεις οι οποίες επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά τα σήματα και να προκύψουν σήματα στα οποία θα φαίνονται αναλυτικότερα οι καθαρές διακυμάνσεις που έχουν.

Εφόσον, έχουν κατασκευαστεί από τον αλγόριθμο τα τρία σήματα στα οποία φαίνονται οι διακυμάνσεις κατά την περίοδο του ενός λεπτού που είναι το αρχικό βίντεο, τότε συνεχίζεται η επεξεργασία και τον τριών σημάτων ξεχωριστά. Σε κάθε σήμα που έχει προκύψει επεξεργάζεται με την διαδικασία της κανονικοποίησης. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται οι συντελεστές των κανονικοποιημένων τιμών.

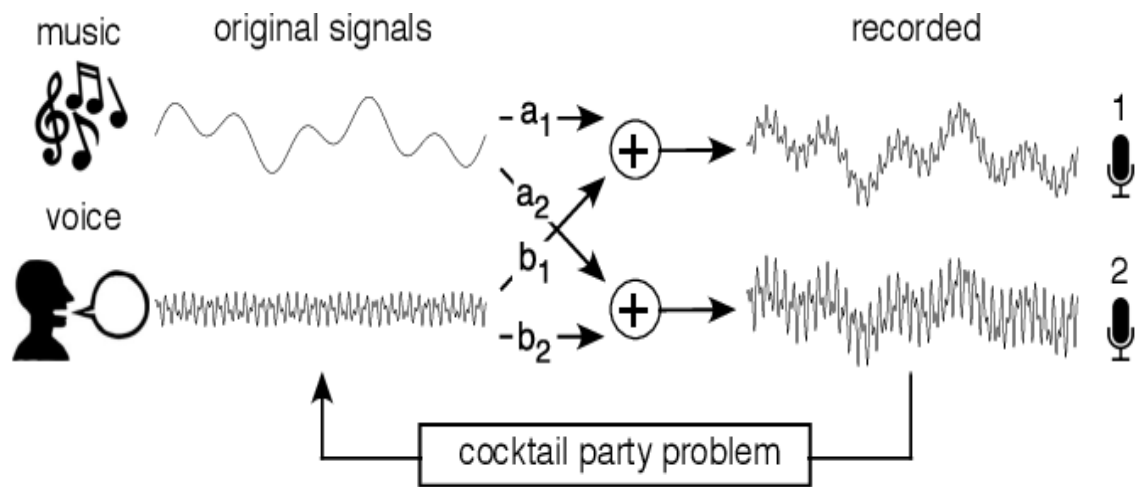
### 3.3 ICA – Επεξεργασία μετά από το ICA

Ένα μεγάλο και σημαντικό κομμάτι του κώδικα είναι η επεξεργασία των τριών σημάτων που έχουν δημιουργηθεί με χρήση κώδικα που υλοποιεί την ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών (ICA). Ο κώδικας ICA είναι πολύ σημαντικός και βοηθάει την ανάκτηση του σήματος που εμπεριέχει του καρδιακούς παλμούς [12]. Η εικόνα 3.6 παρουσιάζει την βασική μεθοδολογία του αλγορίθμου ICA για το πολύ γνωστό “cocktail party problem” [13].

Το “cocktail party problem” που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6 απεικονίζει δύο διαφορετικά σήματα. Το ένα σήμα παράγεται από την μουσική που υπάρχει σε ένα πάρτυ. Το δεύτερο σήμα προέρχεται από κάποιον άνθρωπο που είναι στο πάρτυ και μιλάει. Αυτά τα δύο σήματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές αναμειγνύονται και καταγράφονται από δύο διαφορετικά μικρόφωνα. Ο σκοπός της χρήσης του αλγορίθμου ICA είναι η ανάκτηση των αρχικών σημάτων, του

<sup>10</sup> [Απεικόνιση των τριών καναλιών χρώματος που έχει μια εικόνα](#)

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam ήχου της μουσικής και της ομιλίας του ανθρώπου, από τα αναμειγμένα σήματα που έχει καταγράψει το κάθε μικρόφωνο.



Εικόνα 3.6 Παράδειγμα αλγόριθμου ICA<sup>11</sup>

Η χρήση του αλγορίθμου ICA βοηθάει την ανακατασκευή του σήματος ενδιαφέροντος που περιέχει τις μεταβολές του όγκου του κεφαλιού, λόγω των αυξομειώσεων αίματος από τους παλμούς της καρδιάς. Σε συγκεκριμένη περίπτωση, δεν γίνεται χρήση σημάτων που προέρχονται από μικρόφωνα αλλά αναλύεται η εικόνα που καταγράφεται από την κάμερα σε τρία διαφορετικά σήματα που εκπροσωπούν τα χρωματικά κανάλια.

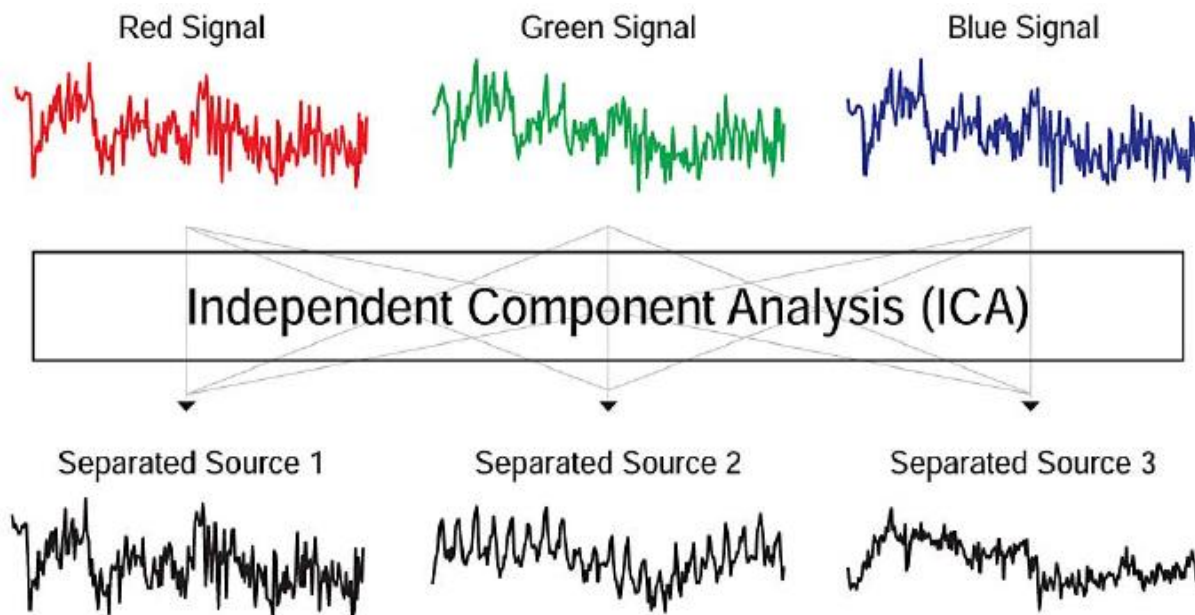
Ουσιαστικά, όταν γίνεται η καταγραφή του βίντεο στα καρέ των εικόνων αποτυπώνονται διάφορες μικρό-κινήσεις που γίνονται ασυνείδητα μαζί με κινήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί άθελα από τον άνθρωπο που του γίνεται η καταγραφή. Όλες αυτές οι κινήσεις καλύπτουν το σήμα ενδιαφέροντος που χρειάζεται για να γίνουν οι υπολογισμοί του καρδιακού παλμού, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς. Το σήμα ενδιαφέροντος προκύπτει όταν ο όγκος του προσώπου μεγαλώνει λόγω του αίματος που προκύπτει από τον καρδιακό παλμό. Αυτή η διαδικασία της μεταβολής του όγκου του προσώπου είναι συμμασική με τον καρδιακό παλμό και αποτελεί μέρος όλων των διαφορετικών σημάτων που έχουν ανακατευτεί μαζί.

Η μέθοδος ICA είναι μια τεχνική που δουλεύει για να αποκαλύψει σήματα τα οποία είναι στην περιοχή ενδιαφέροντος από μια σειρά διαφορετικών γραμμικών και ανακατεμένων σημάτων που προκύπτουν από διάφορες πηγές. Με αυτή την μέθοδο μπορούμε να ανακαλύψουμε το σήμα ενδιαφέροντος από τα αναμειγμένα σήματα που φαίνονται στο αρχικό βίντεο. Για να λειτουργήσει αυτή η μέθοδος με την βέλτιστη ακρίβεια πρέπει να έχουμε ίσες πηγές με σήματα.

Η λειτουργία του ICA είναι να αναλύσει και να αφαιρέσει από τα τρία καθαρά σήματα τις διακυμάνσεις που έχουν προέλθει από κινήσεις και να ξεχωρίσει το σήμα ενδιαφέροντος που είναι το BVP. Τα τρία σήματα στα τρία κανάλια χρώματος που έχουν δημιουργηθεί κρατάνε μέρος της πληροφορίας που πρέπει να βρεθεί για να συνεχιστούν οι υπολογισμοί.

<sup>11</sup> [Απεικόνιση παραδείγματος του αλγορίθμου ICA](#)

Τα σήματα στα τρία κανάλια χρώματος αναλύονται ως προς τις  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$  και  $y_3(t)$ . Με τιμή το πλάτος τους την χρονική στιγμή ίση με  $t$ . Ο ICA υποθέτει ότι η πληροφορία για το σήμα ενδιαφέροντος χωρίζεται σε τρία γραμμικά σήματα, τα  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  και  $x_3(t)$  τα οποία έχουν αναμειχθεί με έναν πίνακα  $A$ , διαστάσεων  $3 \times 3$  που εμπεριέχει τους συντελεστές αναμειξίς των σημάτων  $a_{ij}$ . Το μοντέλο αυτό περιγράφεται από την εξίσωση  $y(t) = Ax(t)$ .



Εικόνα 3.7 Απεικόνιση της επεξεργασίας των χρωματικών σημάτων με τον αλγόριθμο ICA<sup>12</sup>

Για την εύρεση του σήματος ενδιαφέροντος πρέπει να γίνει η απόμιξη του από τα καθαρά σήματα που είχαν δημιουργηθεί. Ο αλγόριθμος ICA πραγματοποιεί τους υπολογισμούς για την εύρεση του πίνακα  $W$ , που ουσιαστικά είναι η προσέγγιση του αντίστροφου πίνακα  $A$  με τον οποίο έχουν αναμειχθεί τα καθαρά σήματα. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται από την εξίσωση  $x(t) = Wy(t)$ , με το σήμα  $x(t)$  να περιέχει την πληροφορία ενδιαφέροντος που έρχεται από το πρόσωπο που έχει καταγράψει.

Ο αλγόριθμος ICA αφού πραγματοποιήσει τους υπολογισμούς επιστρέφει τρία σήματα που τους έχει γίνει απόμιξη και τα οποία πλέον κρατάνε την πληροφορία ενδιαφέροντος. Για την συνέχεια των υπολογισμών επιλέγεται ένα σήμα από αυτά τα τρία. Επειδή τα σήματα που επιστρέφει ο κώδικας ICA είναι σε τυχαία σειρά το σήμα που επιλέγεται για περαιτέρω ανάλυση που πρέπει να γίνει είναι αυτό που έχει την μεγαλύτερη δύναμη-συνιστώσα στο φασματικό επίπεδο. Η εφαρμογή του ICA είναι ένα καθοριστικό και αναπόσπαστο κομμάτι για την λειτουργία και την εφαρμογή του αναπτύχθηκε για το σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 3.3.1 Επεξεργασία στο σήμα του ICA

Μετά την επεξεργασία των σημάτων από τον κώδικα του ICA, προκύπτει ένα σήμα. Σε αυτό το σήμα υπάρχει η πληροφορία για να πραγματοποιηθεί η ανάκτηση του καρδιακού ρυθμού. Για να γίνει η ανάκτηση του καρδιακού ρυθμού πρέπει το σήμα να περάσει από την κατάλληλη διαδικασία. Για την εξομάλυνση του σήματος, το σήμα φιλτράρεται από την μέθοδο του κινητού

<sup>12</sup> [Απεικόνιση της επεξεργασίας των χρωματικών σημάτων με τον αλγόριθμο ICA](#)

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam μέσου όρου με ένα παράθυρο πέντε σημείων. Ο κινητός μέσος όρος υπολογίζει τις πέντε αρχικές τιμές που είναι στο παράθυρο του και έπειτα το παράθυρο των πέντε σημείων προχωράει αφήνοντας την πρώτη τιμή από της πέντε και προσθέτοντας την επόμενη τιμή.

Με τον κινητό μέσο όρο επιτυγχάνεται η εξομάλυνση του σήματος καθώς αποκόπτονται τιμές που έχουν μεγάλη απόκλιση από τον μέσο όρο. Εδώ λοιπόν φαίνεται η βαθυπερατή φασματική συνιστώσα του σήματος υπό επεξεργασία καθώς πολλές διακυμάνσεις οι οποίες είναι πολύ μικρές δεν συνεισφέρουν για τον υπολογισμό των καρδιακών παλμών και εξαλείφονται.

Ύστερα, το σήμα φιλτράρεται από ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης που χρησιμοποιεί ένα Hamming παράθυρο των 128 σημείων για το εύρος ζώνης από 0.7 Hz έως 4 Hz. Με αυτό το φίλτρο επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των συχνοτήτων που έχουν νόημα σαν συχνότητες λειτουργίας της καρδιάς. Για συχνότητα 0.7Hz οι παλμοί της καρδιάς θα ήταν γύρω στους 40 παλμούς και για συχνότητα 4Hz, οι παλμοί της καρδιάς θα ήταν 240. Αυτό το εύρος συχνοτήτων είναι ικανοποιητικό για τη μέτρηση των παλμών της ανθρώπινης καρδιάς, αφού κάτω από τους 40 παλμούς δεν είναι στα όρια της φυσιολογικής λειτουργίας της καρδιάς όπως και για παλμούς άνω των 240. Εφόσον, το σήμα περάσει από αυτό το φίλτρο τότε το σήμα που δημιουργείται αντιπροσωπεύει σε συχνότητα τις φυσιολογικές τιμές μιας ανθρώπινης καρδιάς.

Επιπλέον, το σήμα πρέπει να επεξεργαστεί ώστε να αντλήσουμε την πληροφορία του BVP. Με την μέθοδο της κυβικής spline interpolation γίνεται να καθοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι κορυφές που σχηματίζονται από το σήμα του BVP. Κάνοντας χρήση της κυβικής spline interpolation, εκτιμώνται καινούργια σημεία που έχουν ως βάση τους το εύρος των σημείων που είναι ήδη γνωστά. Τα σημεία αυτά δειγματοληπτούνται με συχνότητα δειγματοληψίας τα 256 Hz.

### 3.3.2 Καθορισμός του καρδιακού παλμού

Ο καθορισμός του καρδιακού παλμού επιτυγχάνεται όταν βρίσκονται οι κορυφές που υπάρχουν στο σήμα του BVP. Οι κορυφές που έχουν δημιουργηθεί στο σήμα του BVP είναι όταν ο όγκος του προσώπου έχει μεγαλώσει λόγω του αίματος και είναι συμφασικές με του παλμούς της καρδιάς. Για μεγαλύτερη ακρίβεια του αλγορίθμου δεν μετριοούνται απλά οι κορυφές που προκύπτουν κατά την διάρκεια του ενός λεπτού που είναι το σήμα, διότι κατά την επεξεργασία του αλγορίθμου αλλά και λόγω άλλων σφαλμάτων που τυχόν έχουν προκύψει το αποτέλεσμα θα έβγαινε με σφάλμα. Αντ' αυτού, αναπτύχθηκε αλγόριθμος που μετράει την διαφορά των χρονικών διαφορών που υπάρχουν ανάμεσα μέσα στην καρδιά. Εξαιτίας αυτού, δημιουργείται ένα άλλο σήμα με τις χρονικές διαφορές ανάμεσα στους καρδιακούς παλμούς που ονομάζεται IBI.

Ο καρδιακός παλμός υπολογίζεται όταν τα 60 δευτερόλεπτα διαιρούνται από την τιμή του χρόνου που υπάρχει ανάμεσα στους καρδιακούς παλμούς. Έτσι, βρίσκεται με μεγαλύτερη ακρίβεια ο καρδιακός παλμός από την σχέση  $60/IBI$ . Το σήμα έπειτα επεξεργάζεται με την διαδικασία του detrend [11]. Μετά από αυτή την διαδικασία το σήμα δεν θα έχει τάσεις, οι οποίες εμποδίζουν την ανάλυση του. Στο σήμα θα φαίνονται οι διακυμάνσεις που χρειάζονται για την επεξεργασία με το περιοδόγραμμα του Lomb [14].

Με την χρήση του περιοδογράμματος του Lomb υπολογίζεται η πυκνότητα της δύναμης του φάσματος για το σήμα του IBI. Από το περιοδόγραμμα Lomb δημιουργούνται δυο ζώνες ενδιαφέροντος που έχουν τα κομμάτια της χαμηλής συχνότητας και της υψηλής συχνότητας. Η χαμηλή συχνότητα βρίσκεται στο φάσμα του PSD ανάμεσα στις συχνότητες 0,04 Hz και 0.15 Hz και συνδέεται με συμπαθητικές και παρασυμπαθητικές παθήσεις [4]. Η υψηλή συχνότητα βρίσκεται στο φάσμα του PSD ανάμεσα στις συχνότητες 0,15 Hz και 0,4 Hz και είναι αυτή που συνδέεται με την εισπνοή και την εκπνοή. Για τον υπολογισμό του αναπνευστικού ρυθμού

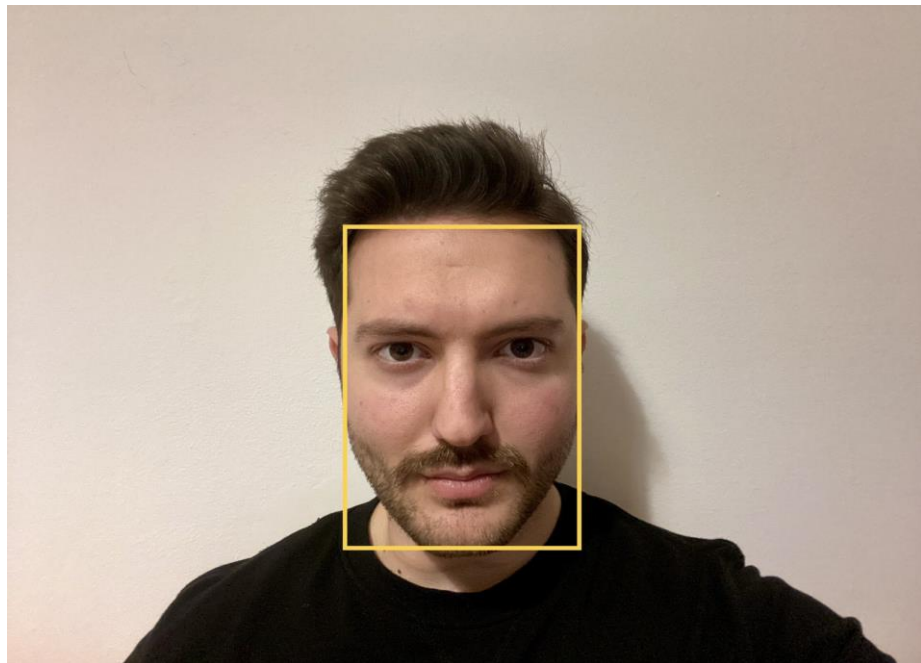
Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam επιλέγεται η μεγαλύτερη συχνότητα ανάμεσα στις συχνότητες 0,15 Hz και 0,4 Hz και υπολογίζεται από την σχέση  $60/f_{Hfpeak}$ .

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πρώτα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που υπολογίζονται μέσω του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία. Μετέπειτα, γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων του κώδικα σε σχέση με τα συνηθισμένα όργανα μετρήσεις των αντίστοιχων τιμών. Τέλος, μελετάται η απόδοση που έχει ο κώδικας σε σχέση με άλλους αισθητήρες και μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση των ίδιων τιμών.

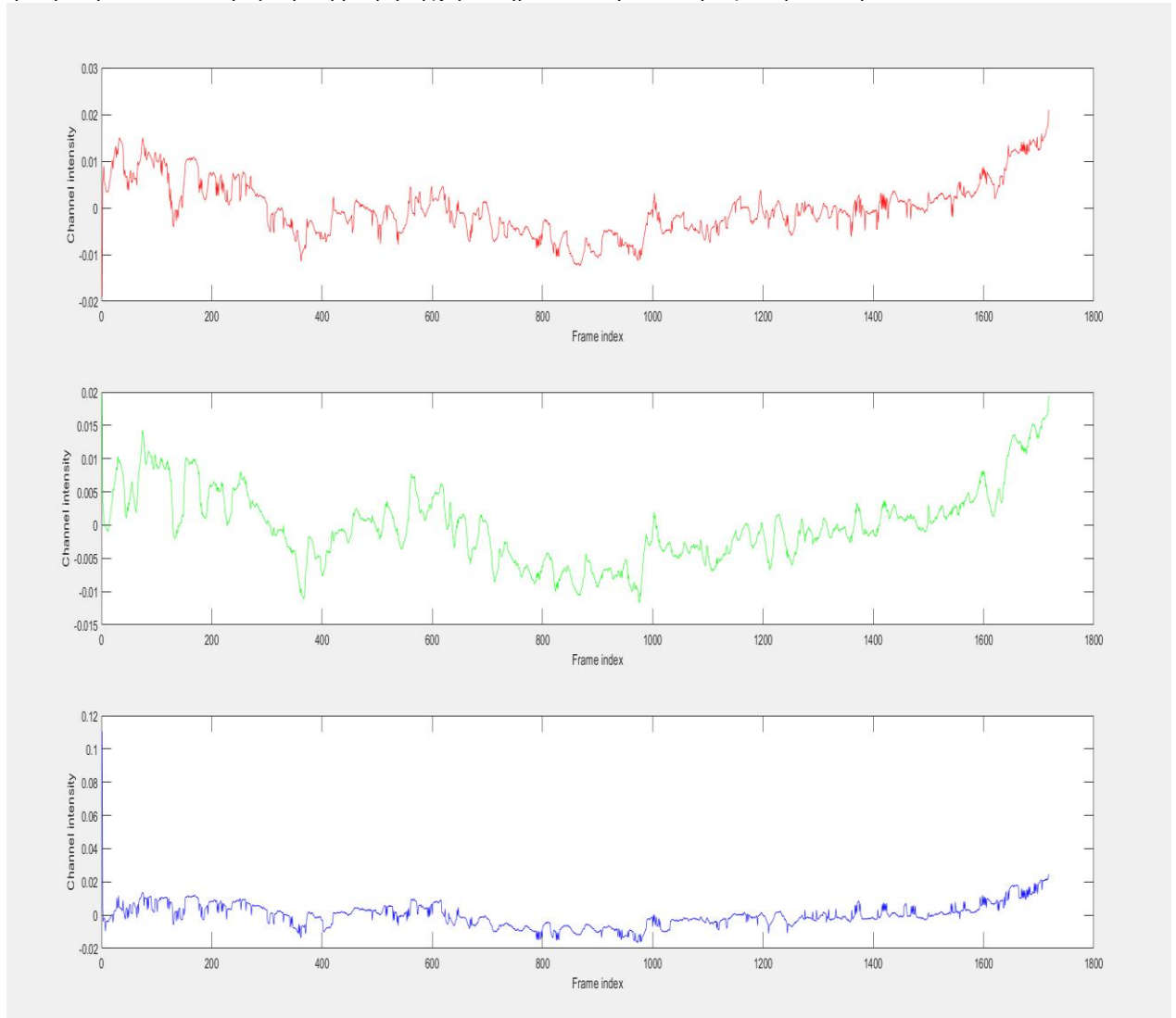
### 4.1 Αποτελέσματα του αλγορίθμου

Ο κώδικας συμπιέζει το μέγεθος της ανάλυσης της εικόνας και επικεντρώνεται στο πρόσωπο. Αυτές οι εικόνες δημιουργούν ένα νέο βίντεο στο οποίο το υπόλοιπο μέρος της εικόνας που δεν χρειάζεται για την επεξεργασία, αποκόπτεται.



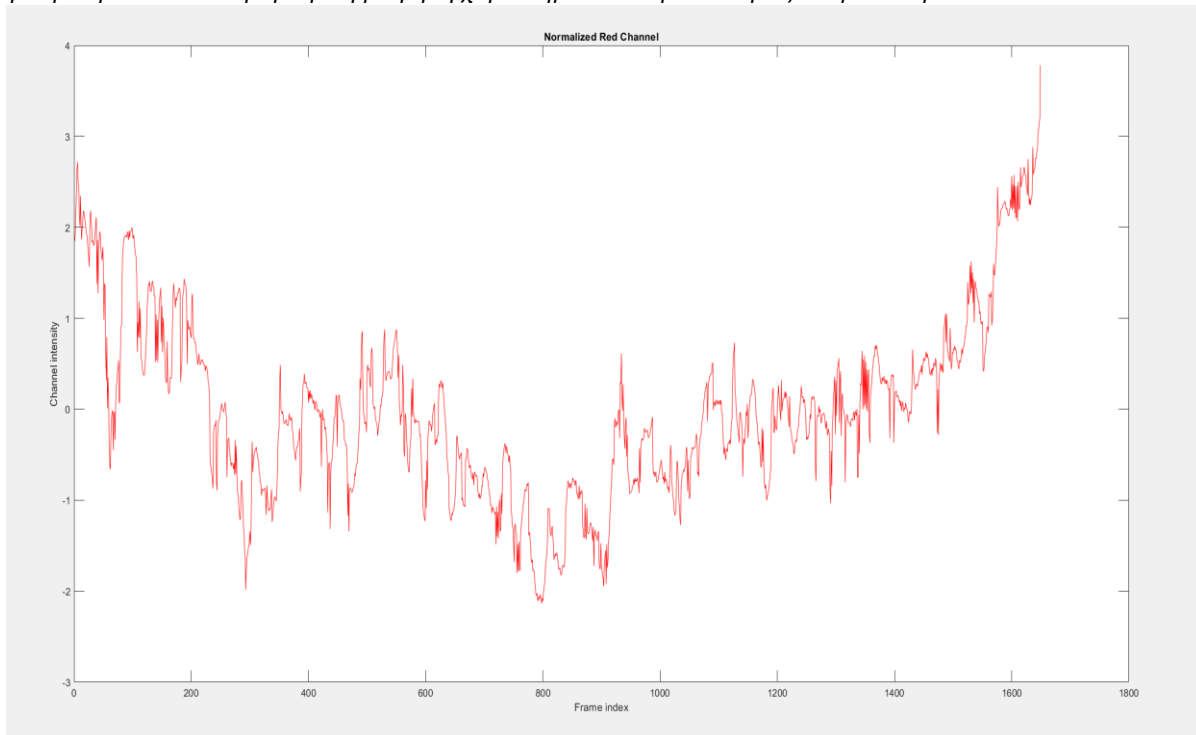
Εικόνα 4.1 Η αναγνώριση προσώπου από τον αλγόριθμο

Οι εικόνες χωρίζονται σε τρία διαφορετικά σήματα και βρίσκεται η μέση τιμή των εικονοστοιχείων ανά καρέ του βίντεο.

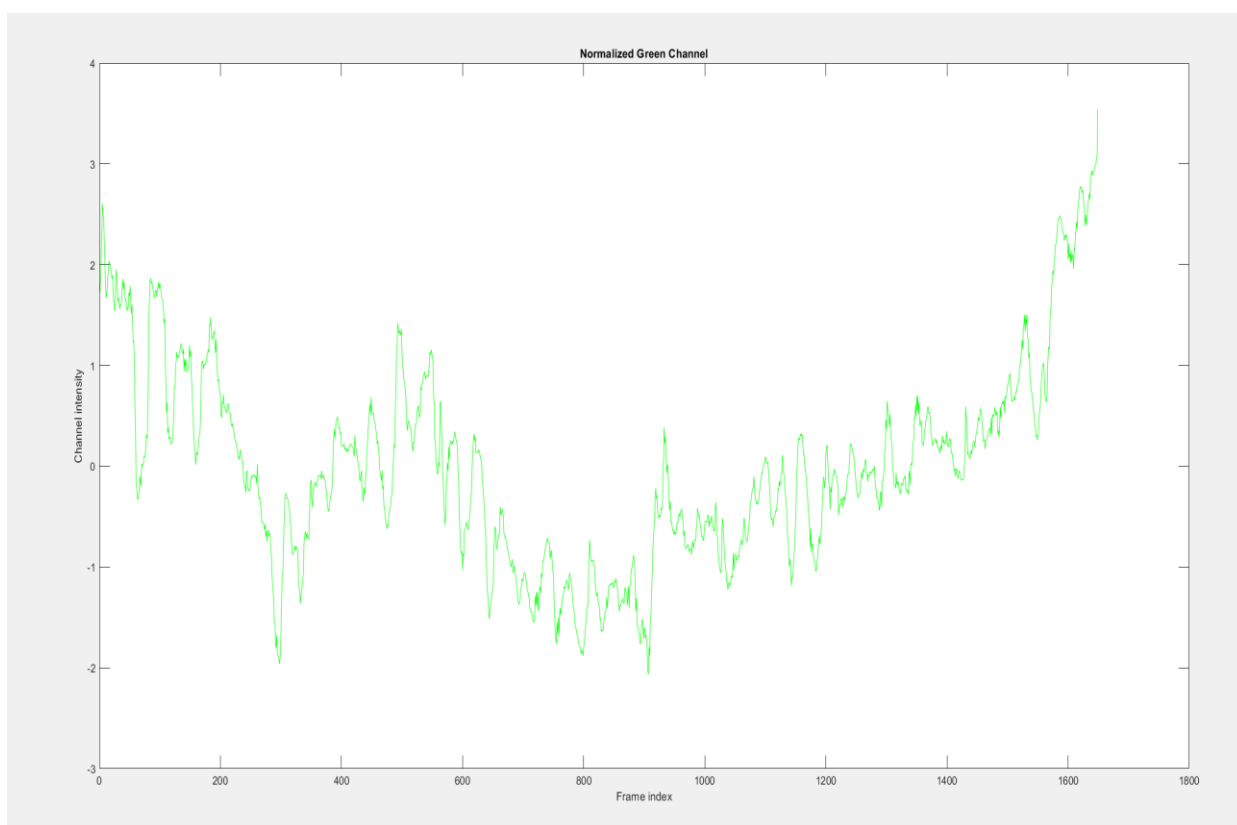


Εικόνα 4.2 Η μέση τιμή των τριών καναλιών χρώματος

Έπειτα από τα σήματα που δημιουργούνται, κατασκευάζονται τα σήματα που έχουν επεξεργαστεί με την μέθοδο detrend [11][15]. Επίσης, τα σήματα κανονικοποιούνται με την μέθοδο της standard κανονικοποίησης [16].

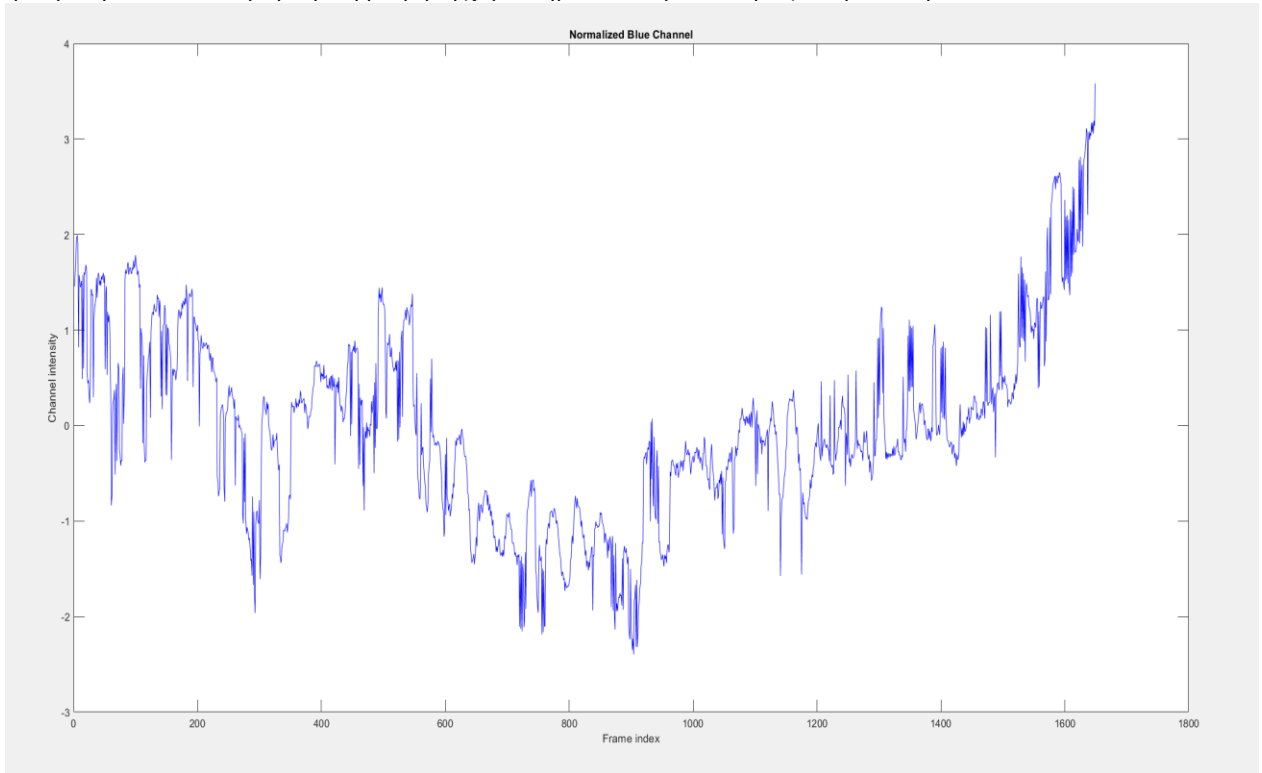


Εικόνα 4.3 Κανονικοποιημένο κόκκινο σήμα



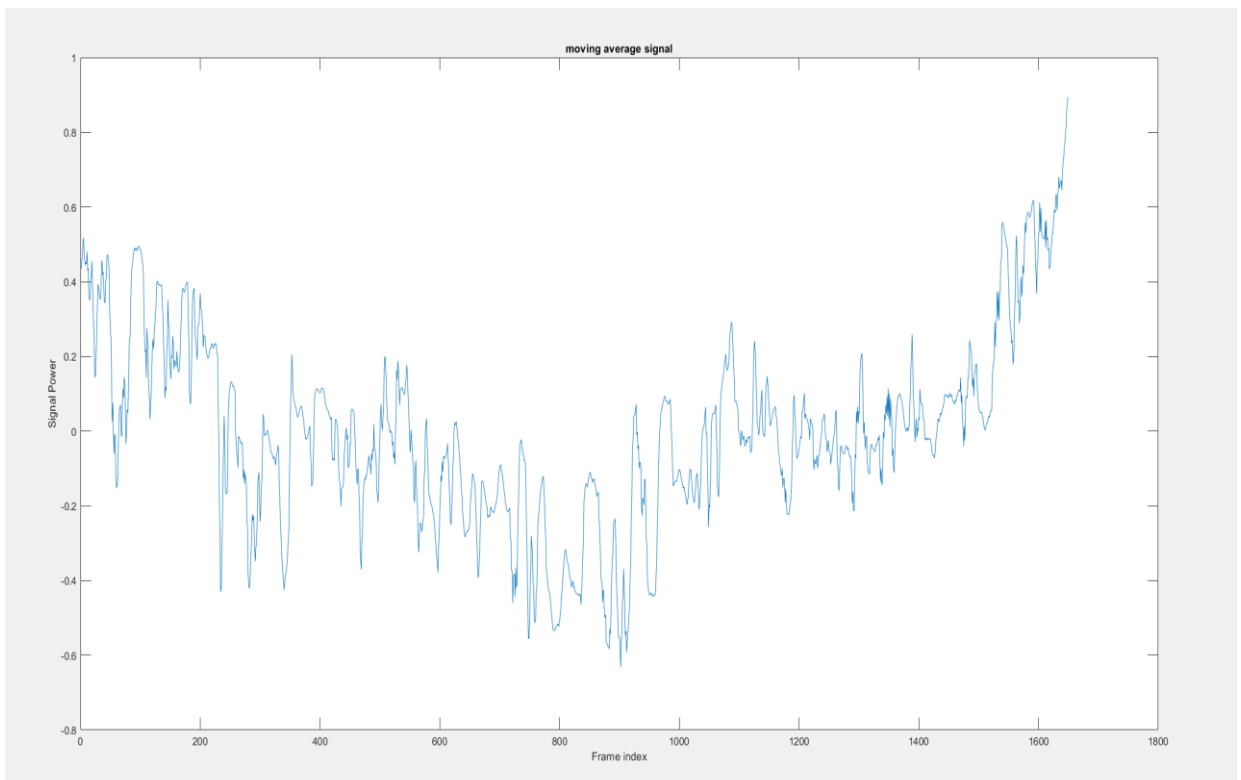
Εικόνα 4.4 Κανονικοποιημένο πράσινο σήμα





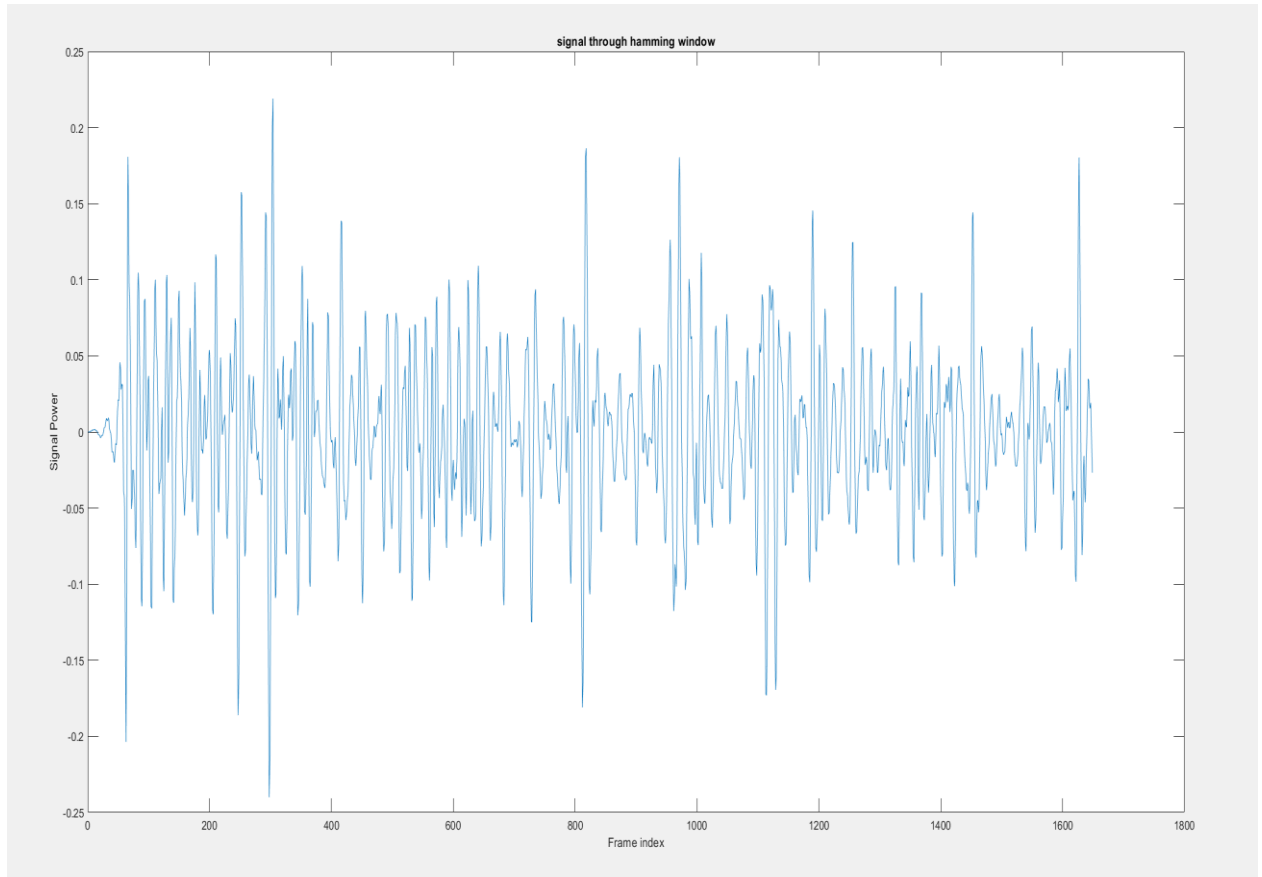
Εικόνα 4.5 Κανονικοποιημένο μπλέ σήμα

Η επεξεργασία των κανονικοποιημένων σημάτων από τον αλγόριθμο ICA παράγει ένα σήμα με την μεγαλύτερη ισχύ στο φασματικό επίπεδο για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό το σήμα που παράγει ο κώδικας ICA έχει τις πληροφορίες που χρειάζονται και είναι χρήσιμο για τον υπολογισμό των τιμών των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς. Η επεξεργασία που χρειάζεται για την ποσοτικοποίηση των τιμών, είναι το σήμα να εξομαλυνθεί με κινητό μέσο όρο με μέγεθος παραθύρου 5 [17].



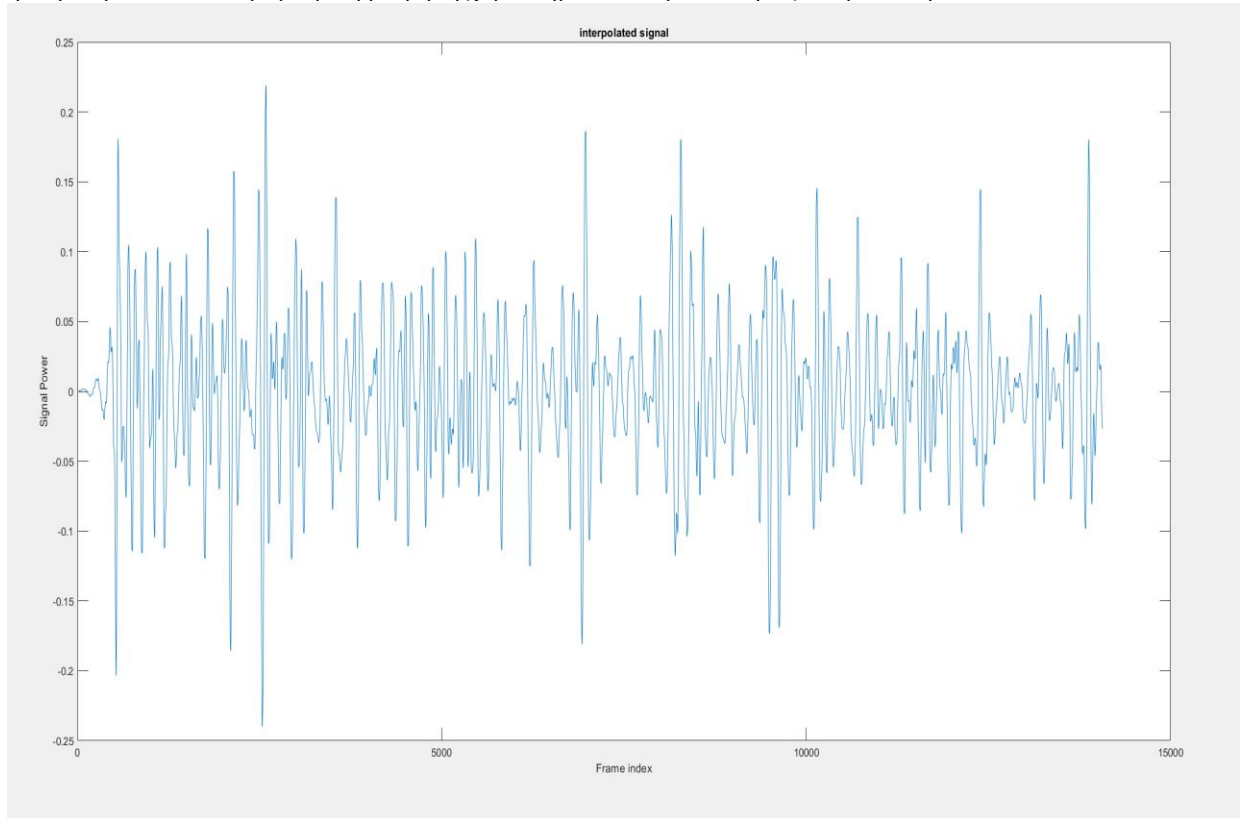
Εικόνα 4.6 Σήμα επεξεργασμένο με κινητό μέσο όρο

Το εξομαλυμένο σήμα πρέπει να περάσει από ένα φίλτρο εύρος ζώνης που έχει εύρος της συχνότητας 0,7 Hz και 4 Hz, ώστε οι συχνότητες του σήματος να ανταποκρίνονται και να καλύπτουν τις συχνότητες λειτουργίας της ανθρώπινης καρδιάς [18].



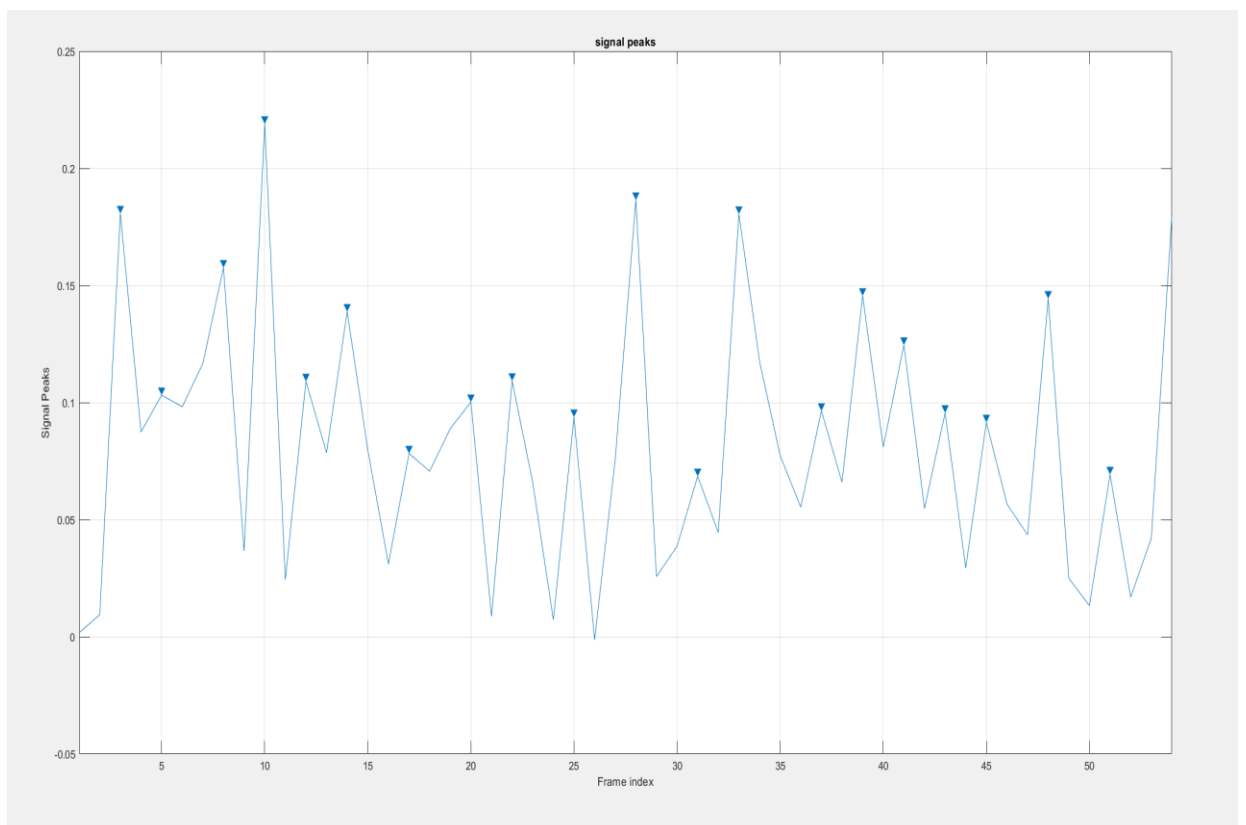
Εικόνα 4.7 Σήμα από φίλτρο με παράθυρο Hamming

Το σήμα έπειτα επεξεργάζεται με την κυβική μορφή της συνάρτησης spline που κάνει interpolation στα 256 Hz [19]. Με αυτή την μέθοδο το σήμα γίνεται ευδιάκριτο και πιο σαφή διότι το βίντεο έχει συχνότητα δειγματοληψίας τα 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο ενώ για μεγαλύτερη ακρίβεια θα του σήματος θα ήταν καλύτερο μια συχνότητα δειγματοληψίας άνω των 250 Hz.



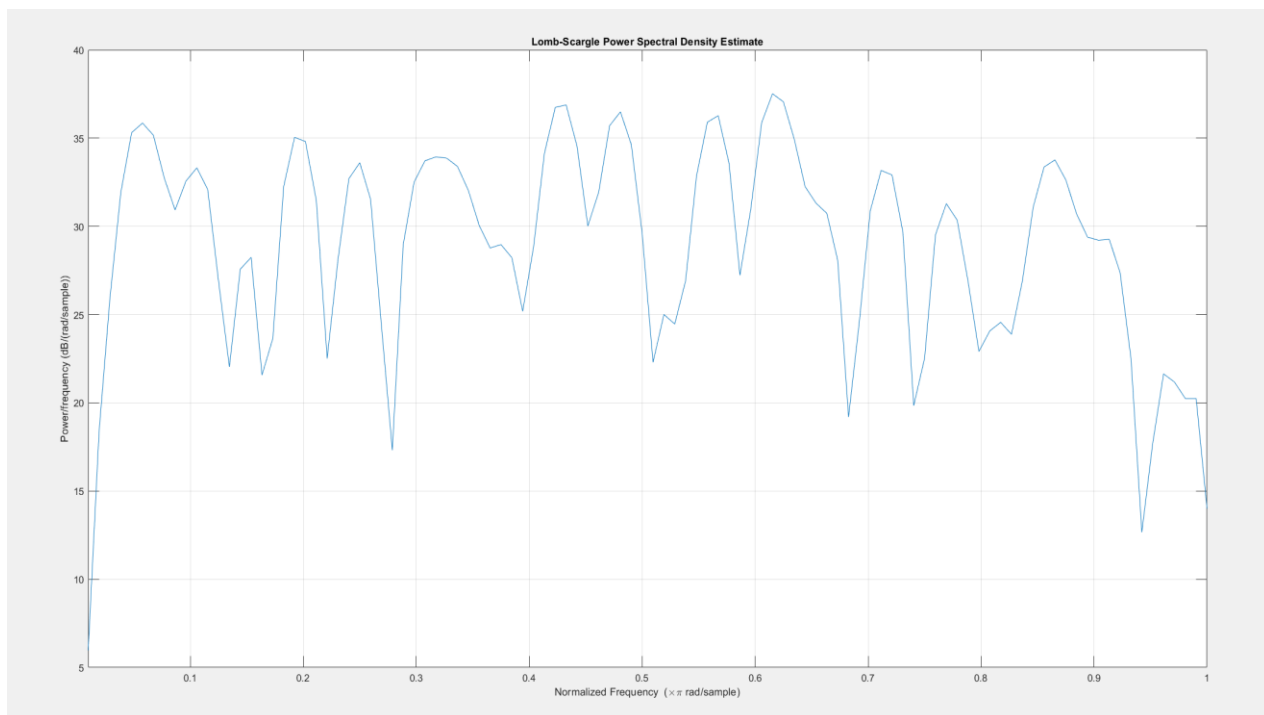
Εικόνα 4.8 Το interpolated σήμα της συνάρτησης spline

Οι καρδιακοί παλμοί υπολογίζονται από αριθμητικές πράξεις που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος, κάνοντας την μετατροπή των καρτέ ανά δευτερόλεπτο σε χρόνο που διαιρείται από την μέση τιμή ανάμεσα στους παλμούς του σήματος IBI.



Εικόνα 4.9 Σήμα IBI με εύρεση των παλμών

Αφού το σήμα γίνει detrend [11] [15], επεξεργάζεται από το περιοδόγραμμα Lomb για να βρεθούν οι συχνότητες στο χαμηλό τμήμα και στο υψηλό τμήμα που έχουν την περισσότερη ισχύ [20]. Από το τμήμα της υψηλής συχνότητας βρίσκεται η συχνότητα που συνδέεται με το κομμάτι του αναπνευστικού ρυθμού



Εικόνα 4.10 Περιοδόγραμμα Lomb με PSD

## 4.2 Σύγκριση του κώδικα με τις συμβατικές τεχνικές

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε κατά την παρούσα διπλωματική εργασία προσφέρει μια απλή, χρήσιμη και εναλλακτική λύση για την μέτρηση πολλών χαρακτηριστικών της φυσιολογίας του ανθρώπου. Καθιστά την διαδικασία μέτρησης των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς δυνατή μέσω του αισθητήρα που υπάρχει σε μια κάμερα διαδικτύου με μια διαδικασία που φαντάζει εύκολη καθώς και μπορεί να υλοποιηθεί από τον καθένα για την μέτρηση των χαρακτηριστικών της φυσιολογίας του. Επίσης, ένα μεγάλο μέρος της διπλωματικής εργασίας είναι ότι η διαδικασία των διαγνώσεων είναι ικανή να γίνει εξ αποστάσεως. Φαίνεται λοιπόν, ότι με αυτόν τον τρόπο πολλές περιπτώσεις στις οποίες το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να βοηθήσει και να συνεισφέρει με νέους τρόπους αρχικής διάγνωσης σε σχέση με τυπικές μεθόδους που υπάρχουν. Τουλάχιστον, ακόμα και αν δεν αντικαταστήσει αυτές τις μεθόδους μπορεί να αποτελέσει μια συμπληρωματική μέθοδο και να δουλεύει παράλληλα με αυτές

Η σύγκριση και βαθμονόμηση της μεθόδου αποτελεί ένα επιπλέον θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς βοηθάει στην κατανόηση και την σημαντικότητα της σαν ένα χρήσιμο εργαλείο.

#### 4.2.1 Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι μια συνηθισμένη διαδικασία που ακολουθείται για την διάγνωση καρδιακών παθήσεων. Είναι μια εξέταση που είναι ανώδυνη και ασφαλής που μετράει τους καρδιακούς παλμούς και τον ρυθμό της καρδιάς. Η εξέταση γίνεται με την χρήση ηλεκτροδίων που τοποθετούνται από εξειδικευμένο προσωπικό στο στήθος, στα χέρια και τα πόδια του ασθενή. Η συνολικός χρόνος της εξέτασης δεν ξεπερνάει τον χρόνο των 5 λεπτών, με τον ασθενή να πρέπει να μείνει ακίνητος κατά την διάρκεια της εξέτασης [21].



Εικόνα 4.11 Σήμα παλμών σε παλμογράφο<sup>13</sup>

Ο τρόπος που καταγράφονται οι παλμοί της καρδιάς σε ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι με την ηλεκτρική καταγραφή της δραστηριότητας των μυών της καρδιάς από τα ηλεκτρόδια. Τα μικρά ηλεκτρικά σήματα έπειτα στέλνονται σε ένα μηχάνημα που τα επεξεργάζεται και τα απεικονίζει σε μια ψηφιακή οθόνη ή σε χαρτί. Το μηχάνημα για να απεικονίσει το ηλεκτροκαρδιογράφημα χρησιμοποιεί DSP τσιπ που επεξεργάζεται τα ηλεκτρικά σήματα, και είναι ένα εξειδικευμένο μηχάνημα που συνήθως υπάρχει σε ιατρεία ή κλινικές.

<sup>13</sup> [Απεικόνιση του σήματος των καρδιακών παλμών σε παλμογράφο](#)



Εικόνα 4.12 Ηλεκτροκαρδιογράφος<sup>14</sup>

Τα ηλεκτρόδια που τοποθετούνται είναι δέκα. Η τοποθέτησή τους γίνεται στους καρπούς και των δυο χεριών και στους αστραγάλους και των δυο ποδιών. Τα υπόλοιπα έξι ηλεκτρόδια τοποθετούνται στον θώρακα του ασθενή γύρω από την καρδιά και τα πλευρά σε συγκεκριμένες θέσεις. Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων απαιτεί γνώση για να γίνει από κάποιον που δεν είναι στον τομέα της ιατρικής. Επίσης, για να ερμηνευτεί το ηλεκτροκαρδιογράφημα και να μπορέσει να αντλήσει χρήσιμες πληροφορίες πάλι απαιτούνται περαιτέρω γνώσεις.



Εικόνα 4.13 Μέτρηση καρδιακών παλμών με ηλεκτροκαρδιογράφο<sup>15</sup>

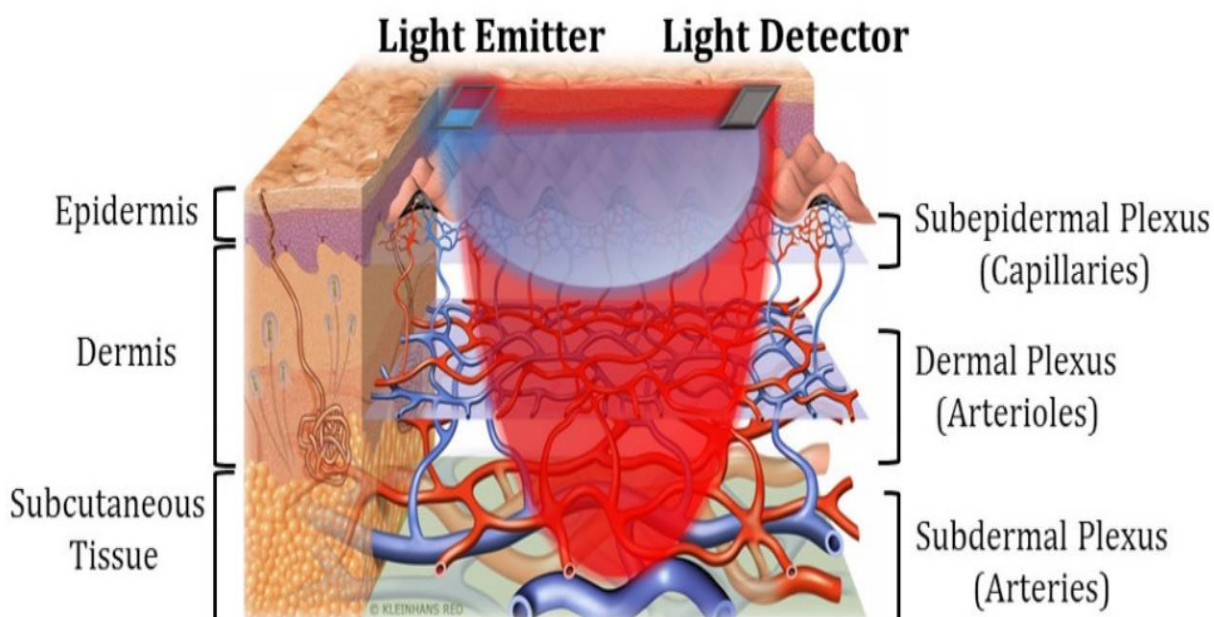
<sup>14</sup> [Απεικόνιση ενός Ηλεκτροκαρδιογράφου](#)

<sup>15</sup> [Απεικόνιση της μέτρησης των καρδιακών παλμών με ηλεκτροκαρδιογράφο](#)

Ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα συνήθως γίνεται σε κάποια κλινική ή σε κάποιο ιατρείο που έχει το εξειδικευμένο μηχάνημα για την δημιουργία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Για αυτή την εξέταση απαιτείται η διάθεση κάποιου χρηματικού ποσού προς την κλινική ή τον γιατρό. Επιπλέον, για να πραγματοποιηθεί η εξέταση, ο ασθενής θα πρέπει να μεταβεί στην κλινική ή στο ιατρείο ώστε να γίνει η εξέταση του με φυσική παρουσία.

#### 4.2.2 Φωτοπληθυσμογραφία

Ένας πολύ διαδεδομένος τρόπος για την μετρηση των καρδιακών παλμών, είναι αυτός της φωτοπληθυσμογραφίας. Με αυτόν το τρόπο έγιναν και οι μετρήσεις με τις οποίες συγκρίνονται οι μετρήσεις που παράγει ο κώδικας της διπλωματικής. Η μέθοδος με την οποία γίνονται οι μετρήσεις είναι με την βοήθεια ενός LED που εκπέμπει φως με χρώμα πράσινο [7]. Το πράσινο φως αλληλοεπιδρά με το αίμα του ανθρώπου που είναι κόκκινο. Σαν αποτέλεσμα, όταν από το αίμα αυξάνεται και μειώνεται κάτω από την επιδερμίδα η αντανάκλαση του πρασίνου φως που λαμβάνει ο οπτικός αισθητήρας να αυξομειώνεται συμφασικά με τους χτύπους της καρδιάς.



Εικόνα 4.14 Ανίχνευση ροής αίματος με οπτικό αισθητήρα<sup>16</sup>

Με αυτόν το τρόπο κάποιος ασθενής θα μπορούσε να μετράει του καρδιακούς του παλμούς μόνος του χωρίς την βοήθεια από εξειδικευμένο προσωπικό. Το κόστος αυτής της τεχνολογίας αυξάνεται αναλογικά με την ακρίβεια των μετρήσεων που στοχεύει ο ασθενής. Η διαδικασία της φωτοπληθυσμογραφίας είναι ο τρόπος που χρησιμοποιούν τα έξυπνα ρολόγια για την μέτρηση των καρδιακών παλμών και της μεταβλητότητας της καρδιάς [22].

<sup>16</sup> [Απεικόνιση της ανίχνευσης της ροής αίματος με οπτικό αισθητήρα](#)



Εικόνα 4.15 Αισθητήρες έξυπνου ρολογιού για την καταγραφή των καρδιακών παλμών<sup>17</sup>

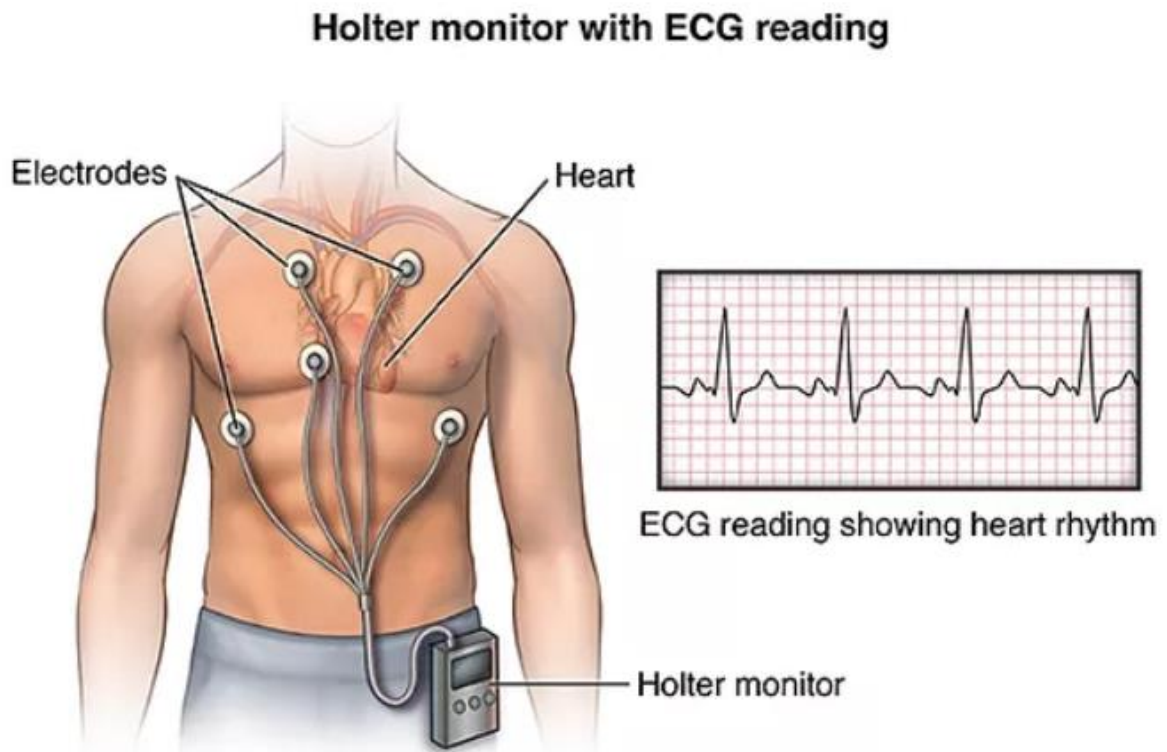
Ο κώδικας που αναπτύχθηκε είναι μια φθηνή και εύκολη λύση γιατί χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα διαδικτυακής κάμερας. Οι κάμερες πια είναι αναπόσπαστο κομμάτι των τεχνολογιών που χρησιμοποιεί ο μέσος άνθρωπος καθημερινά. Πλέον, στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα υπάρχουν πάνω από δυο κάμερες, όπως υπάρχουν και σε φορητούς υπολογιστές και tablet. Ο ρυθμός αναπτύξεις των ικανοτήτων των καμερών ξεπερνάει την ανάπτυξη άλλων αισθητήρων. Επίσης, τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και τα tablet έχουν αρκετή επεξεργαστική ισχύ για τον υπολογισμό των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς με τον τρόπο που αναπτύχθηκε σε αυτή την διπλωματική εργασία.

#### 4.2.3 Μέτρηση της μεταβλητότητας της καρδιάς

Η μέτρηση της μεταβλητότητας της καρδιάς είναι ένα μεγάλο κομμάτι για την κατανόηση της άρτιας λειτουργίας της. Αυτή η μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Για αυτή την μέτρηση ιατρικά χρησιμοποιείτε η συσκευή Holter [23]. Το Holter είναι ένα φορητό μηχανήμα που είναι ικανό να παρακολουθήσει τους καρδιακούς παλμούς ενός ασθενή για το χρονικό διάστημα των 22 ωρών, 48 ωρών ή ακόμα και 72 ωρών. Το Holter καταγράφει τους καρδιακούς παλμούς ενός ασθενή με την ίδια τεχνική που λειτουργεί το ηλεκτρογράφημα. Ο ασθενής το φοράει συνεχόμενα για όλο το χρονικό διάστημα που γίνεται η εξέταση ώστε να καταγραφούν οι καρδιακοί παλμοί του σε συνθήκες καθημερινής δραστηριότητας.

<sup>17</sup> [Απεικόνιση αισθητήρων ενός έξυπνου ρολογιού για την καταγραφή των καρδιακών παλμών](#)





Εικόνα 4.16 Η συσκευή Holter τοποθετημένη για την καταγραφή των καρδιακών παλμών<sup>18</sup>

Η συσκευή Holter έχει μικρό μέγεθος και χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια όπως ένας ηλεκτροκαρδιογράφος. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται με αυτοκόλλητα σε συγκεκριμένες περιοχές του θώρακα του ασθενή. Η ανάλυση των δεδομένων που αποθηκεύει η συσκευή Holter κατά την διάρκεια της λειτουργίας του γίνεται από καρδιολόγο ώστε να ολοκληρωθεί η τελική διάγνωση. Αν και, η συσκευή Holter έχει μεγάλη ακρίβεια, η χρήση της χρειάζεται τεχνογνωσία μεγαλύτερου επιπέδου από αυτή που μπορεί να έχει ένας απλός ασθενής. Επίσης, ο ασθενής θα πρέπει να έχει την συσκευή μαζί του καθ' όλη την διάρκεια της εξέτασης, αυτό μπορεί να επιφέρει δυσκολίες στον τρόπο που ο ασθενής εκτελεί τις καθημερινές του δραστηριότητες.

<sup>18</sup> [Απεικόνιση της συσκευής Holter τοποθετημένη για την καταγραφή των καρδιακών παλμών](#)



Εικόνα 4.17 Έξυπνο ρολόι με την δυνατότητα καταγραφής της μεταβλητότητας της καρδιάς<sup>19</sup>

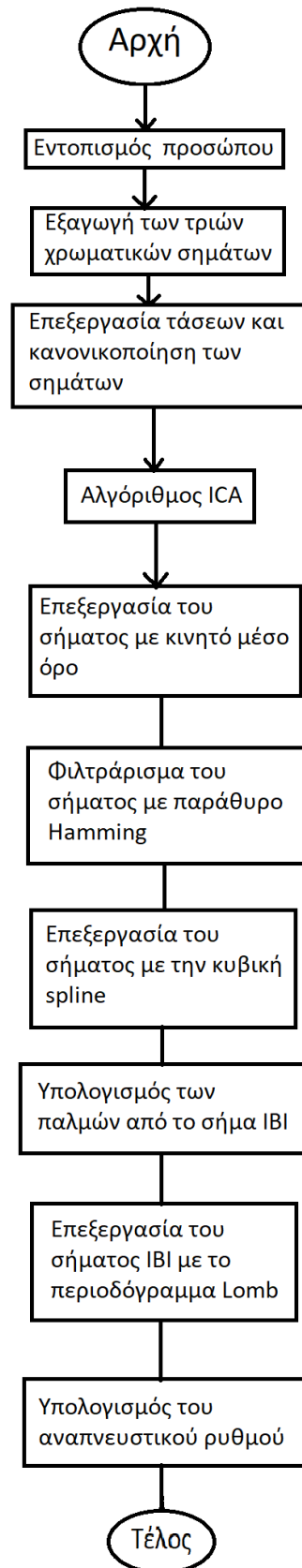
Η συσκευή Holter δεν είναι ο μόνος τρόπος για την παρακολούθηση της μεταβλητότητας της καρδιάς. Ένας άλλος τρόπος είναι με την χρήση κάποιων έξυπνων ρολογιών που είναι ικανά να πραγματοποιήσουν αυτή την μέτρηση. Αυτά τα έξυπνα ρολόγια καταγράφουν τους καρδιακούς παλμούς με την μέθοδο της φωτοπληθυσμογραφίας [7] [22]. Έπειτα, με την χρήση αλγορίθμων καταγράφουν την διάρκεια ανάμεσα στους χτύπους της καρδιάς. Η ακρίβεια τους δεν φτάνει το επίπεδο της συσκευής Holter, αλλά προσφέρουν και αυτά την δυνατότητα της μέτρησης της μεταβλητότητας της καρδιάς.

### 4.3 Ο κώδικας

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε σε αυτή την διπλωματική εργασία έχει ο σκοπό να προσφέρει μια εναλλακτική μέθοδο για την μέτρηση των καρδιακών παλμών, του αναπνευστικού ρυθμού και της μεταβλητότητας της καρδιάς. Ο κώδικας διαμορφώθηκε με τον σκοπό να είναι ένας εύκολος και γρήγορος τρόπος για την μέτρηση χαρακτηριστικών της φυσιολογίας του ανθρώπου μέσω κάμερας. Με την χρήση της κάμερας δίνεται η δυνατότητα της εξ αποστάσεως μέτρησης που βοηθάει στο να γίνει η απόφαση για μια διάγνωση.

Η δομή του κώδικα που αναπτύχθηκε για την διπλωματική εργασία φαίνονται στο διάγραμμα ροής της εικόνας 4.18. Ο κώδικας έχει απλή δομή, παρόλο που πραγματοποιεί περίπλοκους υπολογισμούς. Με αυτή τη δομή είναι δυνατό να επιτευχθεί ένας κώδικας που μπορεί να εκτελέσει αυτή τη διαδικασία αρκετά γρήγορα χωρίς την δημιουργία περαιτέρω προβλημάτων.

<sup>19</sup> [Απεικόνιση έξυπνου ρολογιού με την δυνατότητα καταγραφής της μεταβλητότητας της καρδιάς](#)



Εικόνα 4.18 Διάγραμμα ροής κώδικα

**4.3.1 Αποτελέσματα του κώδικα**

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον κώδικα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι μετρήσεις που φαίνονται στον πίνακα έγιναν σε ένα άτομο, για κάθε μέτρηση καταγράφηκε ένα βίντεο ταυτόχρονα με την μέτρηση των καρδιακών παλμών από το έξυπνο ρολόι που χρησιμοποιεί την μέθοδο της φωτοπληθυσμογραφίας. Οι μετρήσεις υλοποιήθηκαν με αυτόν τον τρόπο ώστε οι μετρήσεις που υπολογίζονται από τον κώδικα να μπορούν να συγκριθούν με μια παρόμοια μέθοδο. Λόγω του μεγέθους των συμμετεχόντων στην πειραματική διαδικασία και για την δημιουργία αρκετών δεδομένων για την ανάλυση της αποτελεσματικότητας του κώδικα, καταγράφηκαν αρκετές μετρήσεις για τον ένα συμμετέχοντα.

Στον πίνακα αναγράφονται οι τιμές που υπολογίζονται από τον κώδικα μαζί με τις τιμές που καταγράφηκαν από το έξυπνο ρολόι. Ο υπολογισμός του αναπνευστικού ρυθμού πραγματοποιείται από τον κώδικα με την χρήση του περιοδογράμματος Lomb [20]. Η πειραματική τιμή του αναπνευστικού ρυθμού υπολογίζεται εμπειρικά κατά την μέτρηση των φυσιολογικών παραγόντων που πραγματοποιούνται από την κάμερα διαδικτύου και του έξυπνου ρολογιού. Στον πίνακα αναγράφονται τα ποσοστά των μετρήσεων που υπολογίστηκαν από τον κώδικα σε σχέση με τις μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά την πειραματική διαδικασία.

α/α Μέτρησης	Καρδιακοί Παλμοί Πειραματικό (bpm)	Καρδιακοί Παλμοί (Διαδικασία βαθμονόμησης - Έξυπνο Ρολόι)	Αναπνευστικός Ρυθμός (Διαδικασία βαθμονόμησης)	Αναπνευστικός Ρυθμός (Πειραματικό)	Ποσοστό ακρίβειας Καρδιακοί παλμοί (%)	Ποσοστό ακρίβειας Αναπνευστι- κός Ρυθμός (%)
1	60	66	12	15	91	80
2	60	60	13	17	100	76
3	78	81	12	15	96	80
4	58	64	11	14	90	78
5	62	72	12	16	86	75
6	75	78	12	15	96	80
7	65	66	11	15	98	73
8	70	75	12	16	93	75
9	73	78	14	17	93	82
10	68	75	12	14	90	85
11	66	75	12	13	88	92
12	71	77	13	15	92	86
13	70	78	14	14	89	100
14	78	82	14	15	95	93
15	73	78	13	15	93	86
16	61	70	12	16	87	75
17	65	73	11	14	89	78
18	61	61	12	15	100	80
19	58	65	13	16	89	81
20	59	66	12	14	89	85
21	63	63	13	16	100	81

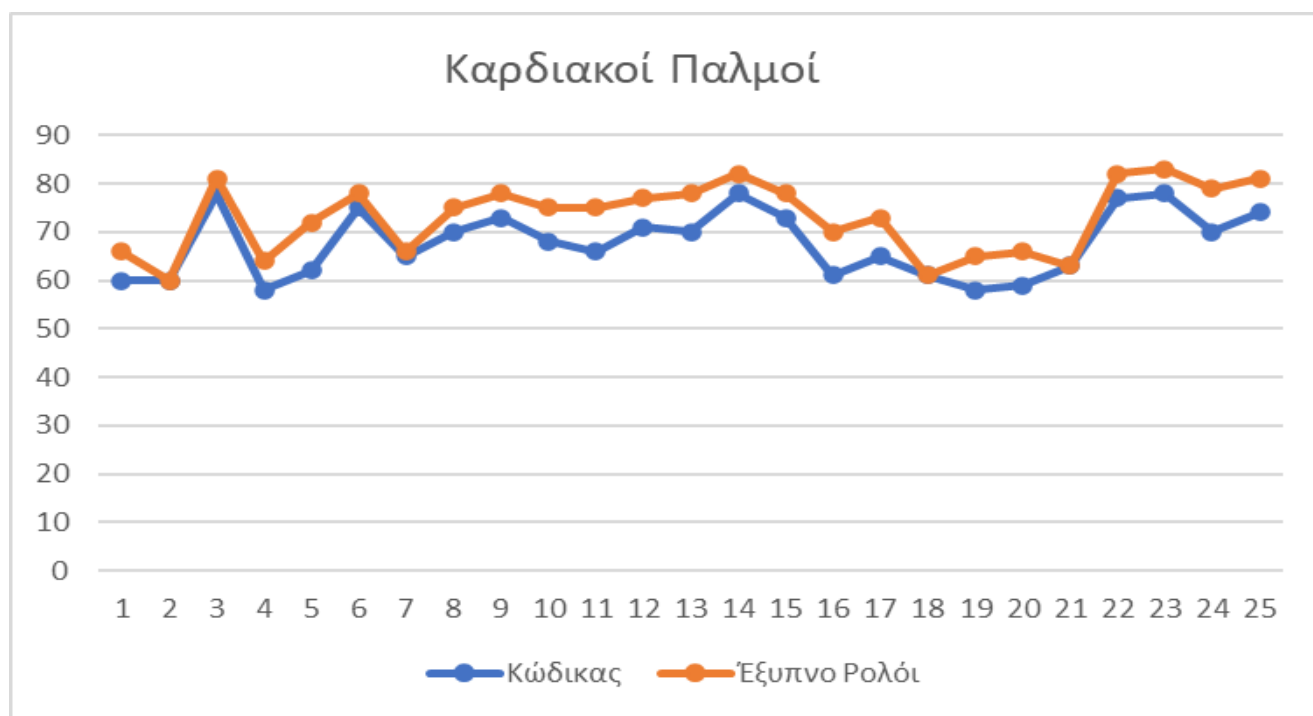
22	77	82	13	15	93	86
23	78	83	12	16	93	75
24	70	79	14	17	88	82
25	74	81	13	16	91	81

Πίνακας 4.1 Πίνακας μετρήσεων

Ο κώδικας κατά την εκτέλεση του δημιουργεί διάφορες παραμέτρους. Αυτοί οι παράμετροι σχετίζονται με την ακρίβεια που θα έχει ο κώδικας στα αποτελέσματα που θα αναπτύξει. Οι αρχικές τιμές αυτών των παραμέτρων ρυθμίζονται κατά την εκτέλεση του κώδικα. Υπάρχουν μεταβλητές που μπορούν να τροποποιηθούν για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση, η οποία θα είναι όσο πιο κοντά στην πραγματική τιμή και θα αντιστοιχεί στους καρδιακούς παλμούς του κάθε συμμετέχοντα. Η ρύθμιση της τιμής που επηρεάζει την ευαισθησία στους καρδιακούς παλμούς, έγινε στην πρώτη μέτρηση.

Από τον πίνακα των μετρήσεων παρατηρείται ότι το εύρος των καρδιακών παλμών του συμμετέχοντα ανήκει σε ένα εύρος μεταξύ των 60 με 80 παλμών. Αλλάζοντας την ευαισθησία του κώδικα είναι δυνατόν να επιτευχθούν καλύτερες τιμές των μετρήσεων που να αντιστοιχούν στις τιμές των πραγματικών μετρήσεων. Αν η ρύθμιση πραγματοποιηθεί για χαμηλούς παλμούς, ο κώδικας έχει λιγότερη ευαισθησία με αποτέλεσμα να μην είναι ικανός να υπολογίσει όλους τους παλμούς. Αν η ρύθμιση πραγματοποιηθεί για υψηλούς παλμούς, τότε ο κώδικας είναι ικανός να μετρήσει λανθασμένα παραπάνω παλμούς από τους πραγματικούς παλμούς.

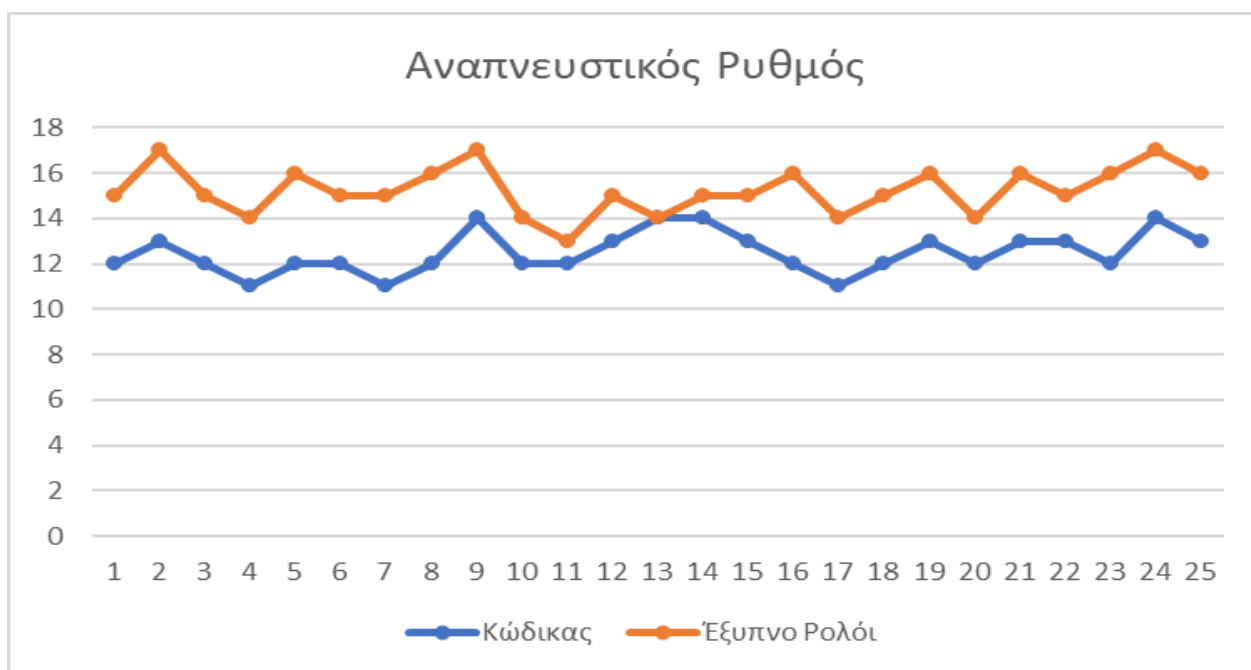
Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν από τον κώδικα έγιναν με την ευαισθησία του να έχει ρυθμιστεί από την πρώτη μέτρηση, όπου η πραγματική τιμή των καρδιακών παλμών που μετρήθηκε από το έξυπνο ρολόι είναι 66 χτύπους ανά λεπτό με την ρύθμιση της ευαισθησίας να μην αλλάζει κατά την διάρκεια όλων των μετρήσεων. Στα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι φανερό ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση από τα πειραματικά αποτελέσματα που προκύπτουν από το έξυπνο ρολόι. Αυτή η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων κυμαίνεται στο 10%. Στα αποτελέσματα του κώδικα παρατηρείται ότι υπάρχουν τιμές που είναι αρκετά κοντά στην τιμή που υπολογίζεται από το έξυπνο ρολόι χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η ευαισθησία του κώδικα.



Εικόνα 4.19 Οι τιμές των καρδιακών παλμών από τα αποτελέσματα του κώδικα και του έξυπνου ρολογιού

Από το διάγραμμα στην εικόνα 4.19 παρατηρείται το εύρος των τιμών που έχουν οι καρδιακοί παλμοί. Από την απεικόνιση τους γίνεται αντιληπτό το πόσο κοντά είναι οι μετρήσεις που υπολογίζονται από τον κώδικα σε σχέση με τις μετρήσεις που καταγράφονται από το έξυπνο ρολόι. Η ικανότητα του κώδικα να υπολογίσει τους καρδιακούς ρυθμούς ενός ανθρώπου εξ αποστάσεως χωρίς να κάνει χρήση επιπλέον αισθητήρων επιδεικνύει τις επιδόσεις και το επίπεδο του κώδικα στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Με τις δυνατότητες του κώδικα να είναι πολλαπλές και χρήσιμες για διάφορες εφαρμογές.

Με αυτές τις δυνατότητες του να μπορούν να αναπτυχθούν με διάφορους τρόπους χωρίς κάποια αλλαγή στον κύριο κώδικα. Αυτές οι αλλαγές θα μπορούσαν να γίνουν με την αλλαγή της κάμερας καταγραφής του βίντεο με μια κάμερα υψηλότερης ανάλυσης. Η ταχύτητα με την οποία ο κώδικας υπολογίζει τις τιμές των καρδιακών παλμών θα μπορούσε να μειωθεί με την χρήση πιο γρήγορων υπολογιστών. Με την προσθήκη αυτών των αλλαγών ο κώδικας θα γινόταν πιο αποδοτικός στο να υπολογίσει τους καρδιακούς παλμούς, τον αναπνευστικό ρυθμό και την μεταβλητότητα της καρδιάς χωρίς αλλαγές στον υπάρχον κώδικα ή στην μέθοδο λειτουργίας του.



Εικόνα 4.20 Οι τιμές του αναπνευστικού ρυθμού από τα αποτελέσματα του κώδικα και από τις μετρήσεις της πειραματικής διαδικασίας

Από το διάγραμμα των δεδομένων του αναπνευστικού ρυθμού που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.20, παρατηρείται το εύρος των τιμών του αναπνευστικού ρυθμού ανάμεσα στις μετρήσεις των πειραματικών τιμών και των τιμών που υπολογίστηκαν από τον κώδικα. Ο αναπνευστικός ρυθμός υπολογίζεται από τον κώδικα με βάση τους καρδιακούς παλμούς. Ο αναπνευστικός ρυθμός παρέχει πολλά στοιχεία για την λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού και είναι κατάλληλο στο να αναδείξει προβλήματα της φυσιολογίας ενός ανθρώπου. Στα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι μετρήσεις ακολουθούν την ίδια τάση με τις πειραματικές μετρήσεις αν και παρατηρείται ότι το σφάλμα είναι λίγο μεγαλύτερο από το σφάλμα που δημιουργείται στο διάγραμμα των καρδιακών παλμών.

Η μεταβλητότητα της καρδιάς είναι μια άλλη σημαντική μέτρηση για να την λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος ενός ανθρώπου. Κατά την λειτουργία του κώδικα δημιουργείται ένας πίνακας που εμπεριέχει τις τιμές των χρόνων ανάμεσα στους καρδιακούς παλμούς. Από αυτόν τον πίνακα φαίνεται η μεταβλητότητα της καρδιάς κατά την διάρκεια του βίντεο. Το βίντεο έχει διάρκεια ενός λεπτού και τα δεδομένα που παρέχει είναι πολύ λιγότερα από τα αυτά που χρειάζονται σε σχέση με την τυπική εξέταση. Ωστόσο, η μέτρηση της μεταβλητότητας της καρδιάς

Απομακρυσμένη και πολύ-παραμετρική μέτρηση χαρακτηριστικών φυσιολογίας ανθρώπου μέσω webcam είναι πολύ σημαντική στο να επιδείξει προβλήματα με την λειτουργία της καρδιάς, ακόμα και αν η μέτρηση γίνεται για μικρό χρονικό διάστημα.

#### **4.3.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα**

Τα αποτελέσματα της μεθόδου που αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας δείχνουν ότι η μέθοδος λειτουργεί και είναι ικανή να μετρήσει τους καρδιακούς παλμούς με αρκετή ευστοχία σε σχέση με τον τρόπο της φωτοπληθυσμογραφίας που υπάρχει για περισσότερο καιρό και να αναπτυχθεί με το σκοπό να υπολογίζει τους καρδιακούς παλμούς ενός ανθρώπου.

Μέσα από την παρούσα διπλωματική φαίνεται η δυνατότητα που προσφέρει ο αλγόριθμος στο να υπολογίσει τους καρδιακούς παλμούς, τον αναπνευστικό ρυθμό και την μεταβλητότητα της καρδιάς. Ο αλγόριθμος συγκεντρώνει διαφορετικές μετρήσεις που πραγματοποιούνται από διαφορετικά όργανα. Για την μέτρηση των τιμών που υπολογίζονται μέσω του αλγορίθμου θα χρειαζόντουσαν τουλάχιστον δυο όργανα. Παρότι, ο αλγόριθμος έχει περιθώριο βελτίωσης στην ακρίβεια του, είναι ικανός στο να υπολογίζει σύνθετα πράγματα εξ αποστάσεως εξαλείφοντας την ανάγκη εξειδικευμένων γνώσεων και οργάνων.

Οι δυνατότητες του αλγορίθμου είναι πολλά υποσχόμενες και έχουν περιθώριο για εξέλιξη σε διάφορων ειδών εφαρμογές. Η χρήση του αλγορίθμου σαν κομμάτι κώδικα μιας μεγαλύτερης εφαρμογής είναι ικανή να δημιουργήσει ένα εύρος καινοτόμων εφαρμογών που πραγματοποιούν διαφορετικές λειτουργίες που έχουν ως κομμάτι τους, την καταγραφή των καρδιακών παλμών ενός ανθρώπου.

Η ανάπτυξη νέων μεθοδων επεξεργασιας σηματος και εικονας μπορει να βοηθησει στην βελτιστοποίηση της ακριβειας του αλγορίθμου, όπως και στην ταχυτητα του. Η αποδοση του αλγορίθμου είναι αρκετα καλη σαν μια λυση για εξ αποστασεως μετρηση των καρδιακων παλμων, του αναπνευστικου ρυθμου και της μεταβλητότητας της καρδιας.

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε κώδικας με σκοπό να μελετηθεί το αντικείμενο της απομακρυσμένης και πολύ-παραμετρικής μέτρησης χαρακτηριστικών της φυσιολογίας του ανθρώπου μέσω διαδικτυακής κάμερας με τεχνικές ανάλυσης επεξεργασίας εικόνας και επεξεργασίας σήματος. Η μελέτη υλοποιήθηκε με την ανάπτυξη του κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον του MATLAB, παράλληλα με την καταγραφή βίντεο για το ένα άτομο που έλαβε μέρος για την ανάπτυξη της τεχνικής που υλοποιήθηκε κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Η διαδικασία με την οποία λειτουργεί ο κώδικας για να μετρήσει τους παλμούς της καρδιάς, τον αναπνευστικό ρυθμό και την μεταβλητότητα της καρδιάς, είναι με την ανάλυση βίντεο που εμπεριέχει το πρόσωπο του ατόμου που λαμβάνει μέρος στην διαδικασία [1]. Όταν, η καρδιά χτυπάει το αίμα κυλάει σε όλο το σώμα όπως και το πρόσωπο. Με αποτέλεσμα ο όγκος του προσώπου να μεταβάλλεται ελάχιστα [3]. Έπειτα, ακολουθεί η επεξεργασία του βίντεο, στα τρία κανάλια χρώματος, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε για να υπολογιστεί το σήμα που εμπεριέχει την αλλαγή του όγκου του προσώπου που γίνεται από το αίμα και είναι συμφασική με τους καρδιακούς παλμούς [24]. Όταν το σήμα αναλυθεί ως προς την συχνότητα τότε αντλούνται συμπεράσματα για τον αναπνευστικό ρυθμό. Η μεταβλητότητα της καρδιάς αναλύεται από το φάσμα του σήματος IBI. Από τα αποτελέσματα της τεχνικής που αναπτύχθηκε προκύπτει ότι η μέθοδος είναι αποτελεσματική, καθώς αναγνωρίζει το ανθρώπινο πρόσωπο και είναι ικανή να υπολογίσει τα χαρακτηριστικά της φυσιολογίας του ανθρώπου. Βέβαια, υπάρχει αρκετός χώρος για τη βελτίωση της ακρίβειας του κώδικα, με την χρήση αισθητήρων κάμερας καλύτερης ανάλυσης και βέβαια με την συλλογή περισσότερων δεδομένων από περισσότερα άτομα θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί βελτιστοποίηση των μεταβλητών που έχουν οι συναρτήσεις του κώδικα για καλύτερη ακρίβεια. Αν και υπάρχουν πράγματα που μπορούν να βελτιωθούν ακόμα παραπάνω σε αυτή την τεχνική, η μέθοδος αυτή προσφέρει έναν εναλλακτικό τρόπο, που δεν απαιτεί κάποια χρέωση ή κάποιο χρηματικό ποσό, παράλληλα με το να προσφέρει την καινοτομία της δυνατότητας της εξ αποστάσεως εξέτασης. Με τις νέες τεχνολογίες που βασίζονται σε γρήγορες ταχύτητες όπως το 5G και τεχνολογίες όπως η νεφοϋπολογιστική, η δυνατότητα της επεξεργασίας εικόνας και σήματος που χρειάζεται ο κώδικας για να τους καρδιακούς παλμούς, τον αναπνευστικό ρυθμό και τη μεταβλητότητα της καρδιάς γίνεται ακόμα πιο εφικτός. Τέλος, η ένωση του κώδικα που είναι το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσε να παράξει αλγόριθμους θα είχαν την ικανότητα να κάνουν μέχρι και διαγνώσεις σε περιπτώσεις ασθενειών που είναι εύκολο να διαγνωστούν με βάση τις πληροφορίες που υπολογίζονται από τον κώδικα, όπως αρρυθμίες, βραδυκαρδίες, ταχυπαλμίες, άγχος αλλά και την γενική φυσική κατάσταση ενός ατόμου.



## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

1. Ming-Zher Poh, Daniel J. McDuff, Rosalind W. Picard, “Advancements in Noncontact, Multiparameter Physiological Measurements Using a Webcam”, IEEE Trans. Biomed. Eng. , vol. 58, no. 1, pp. 7-11, Jan 2011.
2. *Λειτουργία της καρδιάς*. Ανάκτηση 05.06.2022 από τον ιστότοπο [Link Λειτουργία της καρδιάς](#)
3. W. Verkruysse, L. O. Svaasand, and J. S. Nelson, “Remote plethysmographic imaging using ambient light,” Opt. Expr., vol. 16, pp. 21434–21445, Dec. 2008.
4. T. Brown, L. Beightol, J. Koh, and D. Eckberg, “Important influence of respiration on human RR interval power spectra is largely ignored,” J. Appl. Physiol., vol. 75, pp. 2310–2317, 1993.
5. *Μεταβλητότητα της καρδιάς*. Ανάκτηση 05.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Μεταβλητότητα της καρδιάς](#)
6. *Πρόγραμμα καταγραφής βίντεο*. Ανάκτηση 05.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Πρόγραμμα καταγραφής βίντεο](#)
7. *Φωτοπληθυσμογραφία*. Ανάκτηση 06.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Φωτοπληθυσμογραφία](#)
8. P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” in Proc. IEEE Conf Comput. Vis. Pattern Recognit., 2001, pp. I-511–I-518.
9. *Haar-like χαρακτηριστικά*. Ανάκτηση 08.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Haar-like feature](#)
10. *Tracker χαρακτηριστικών των Kanade, Lucas and Tomasi*. Ανάκτηση 09.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Kanade, Lucas and Tomasi feature tracker](#)
11. M. P. Tarvainen, P.O. Ranta-Aho, and P.A.Karjalainen, “An advanced detrending method with application to HRV analysis,” IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 49, no. 2, pp. 172–175, Feb. 2002.
12. P. Comon, “Independent component analysis, a new concept?” Signal Process., vol. 36, pp. 287–314, 1994.
13. *Πρόβλημα κοκτέιλ πάρτυ*. Ανάκτηση 10.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Cocktail party problem](#)

14. S. Akselrod, D. Gordon, F. A. Ubel, D. C. Shannon, A. C. Berger, and R. J. Cohen, “Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control,” *Science*, vol. 213, pp. 220–222, Jul. 1981.
15. *Detrending δεδομένων*. Ανάκτηση 12.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Detrending data](#)
16. *Κανονικοποίηση δεδομένων*. Ανάκτηση 13.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Normalize data](#)
17. *Κινητός μέσος όρος*. Ανάκτηση 14.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Moving average](#)
18. *Παράθυρο Hamming*. Ανάκτηση 15.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Hamming window](#)
19. *Συνάρτηση Spline*. Ανάκτηση 16.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Spline function](#)
20. *Συνάρτηση Plomb*. Ανάκτηση 18.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Plomb function](#)
21. *Ηλεκτροκαρδιογράφημα*. Ανάκτηση 19.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Ηλεκτροκαρδιογράφημα](#)
22. *Μέτρηση της μεταβλητότητας της καρδιάς με Smart Watch*. Ανάκτηση 21.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link HRV with Smart Watch](#)
23. *Η συσκευή Holter*. Ανάκτηση 21.06.2022 από τον ιστότοπο: [Link Συσκευή Holter](#)
24. M. Z. Poh, D. J. McDuff, and R. W. Picard, “Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation,” *Opt. Expr.*, vol. 18, pp. 10762–10774, May 2010.

## Παράρτημα Κώδικα

Ο κώδικας μπορεί να αναζητηθεί στην ακόλουθη ηλεκτρονική διεύθυνση github. Το repository είναι private, οπότε θα χρειαστείτε άδεια για πρόσβαση.

<https://github.com/ee06804/> (παρακαλώ ζητήστε την άδεια μέσω github ή email στο [petroskats12@gmail.com](mailto:petroskats12@gmail.com) για να σας δοθεί πρόσβαση)

<https://github.com/ee06804/DiplomaCode> (ο ιδιωτικός φάκελος του έργου, μόλις σας δοθεί πρόσβαση, μπορείτε να τον προσπελάσετε)