



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Σύστημα Παρακολούθησης Ιδιοπαθούς Σκολίωσης με Χρήση Αισθητήρα Kinect

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παρασκευάς Σ. Εμμανουηλίδης

Επιβλέπων: Γιώργος Κ. Μασσόπουλος
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Σύστημα Παρακολούθησης Ιδιοπαθούς Σκολίωσης με Χρήση Αισθητήρα Kinect

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παρασκευάς Σ. Εμμανουηλίδης

Επιβλέπων: Γιώργος Κ. Ματσόπουλος
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η Μαΐου 2015

.....
Γιώργος Κ. Ματσόπουλος
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2015

.....

Παρασκευάς Σ. Εμμανουηλίδης

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

Copyright Παρασκευάς Σ. Εμμανουηλίδης

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η πάθηση της ιδιοπαθούς σκολίωσης και μελετώνται τρόποι παρακολούθησής της, χωρίς τη χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Ο ακτινογραφικός έλεγχος αποτελεί τη πιο σαφή μέθοδο διάγνωσης και παρακολούθησης της ιδιοπαθούς σκολίωσης, καθώς η γωνία Cobb που εξάγεται, προσδιορίζει επακριβώς την απόκλιση της σπονδυλικής στήλης από την φυσιολογική της θέση. Η επιβάρυνση όμως της υγείας του εξεταζόμενου λόγω της έκθεσης του, στην ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων διάγνωσης.

Στη σκολίωση παρουσιάζεται μια επιφανειακή αλλαγή της ανθρώπινης πλάτης, η οποία σε ένα βαθμό χαρακτηρίζει τη δομική παραμόρφωση της σπονδυλικής στήλης. Επομένως υπάρχουν προφανείς λόγοι να προσπαθήσει κανείς να αξιολογήσει τη σκολίωση με τη χρήση κατάλληλων δεικτών, που θα εξάγονται από την επιφάνεια της πλάτης του εξεταζόμενου, και θα συσχετιστούν με την γωνία Cobb.

Ο αισθητήρας Kinect αποτέλεσε το βασικό πυρήνα στην αναζήτηση συστήματος με την παραπάνω φιλοσοφία. Η πολύ καλή ακρίβεια και το χαμηλό κόστος του αισθητήρα, κέντρισε το ενδιαφέρον των ερευνητών για νέες καινοτόμες εφαρμογές κυρίως στον τομέα της βιοϊατρικής τεχνολογίας. Ο αισθητήρας κάνει χρήση των υπερύθρων ακτίνων, καθιστώντας τον, ως μία μη επεμβατική επιλογή στη συλλογής τρισδιάστατων δεδομένων, και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο.

Η έρευνα κατάλληλων δεικτών αποτέλεσε και την απαρχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με απώτερο σκοπό τη συσχέτισή τους με τη γωνία Cobb. Η ανάπτυξη της εφαρμογής που ακολούθησε είχε ως σκοπό να ορίσει επακριβώς τις διαδικασίες συλλογής, επεξεργασίας των δεδομένων και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σε μία κοινή πλατφόρμα.

Λέξεις Κλειδιά

Ιδιοπαθής σκολίωση, αισθητήρας Kinect, γωνία Cobb, σύννεφο σημείων, δείκτες σκολίωσης

Abstract

This thesis examines the idiopathic scoliosis and different ways to examine it without using ionized radiation. Using the x-ray machine is the clearer way to examine and investigate idiopathic scoliosis while the Cobb angle that is produced may define the inclination of the spine from its normal position. Due to the consequences of the patients health after extended exposure to ionizing radiation a search for alternative methods of diagnosis is needed.

Given the fact that in scoliosis there is a change in the surface of the human back, to a degree, it defines the structural deformation of the spine. Therefore one may try to evaluate Cobb's angle from the visible changes at the back given the suitable indicators, which will be extracted from the surface back and will simulate the Cobb angle .

The Kinect sensor is at the core of this research based on the philosophy stated above. Its' high accuracy and its low cost has driven the researchers interest to its applications in biomedical technology. The sensor uses infrared rays which categorizes it as a non-invasive method of three dimensional data collection in real time.

The research of the suitable indicators was the goal of this thesis and ultimately evaluating Cobb's angle. The development of an application that followed had the intent to determine the data collection, data process and the evaluation of the results in a sole platform.

Keywords

Idiopathic scoliosis, Kinect sensors, Cobb angle, point cloud, scoliosis indicators

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Ματσόπουλο, επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, για τη συνεργασία μας. Επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Μάριο Λυκίσσα, Διευθυντής του Τμήματος Παιδοορθοπαιδικής και Σπονδυλικής Στήλης του Νοσοκομείου Μετροπόλιταν για την πολύτιμη βοήθεια του. Επιπροσθέτως να ευχαριστήσω τον Αντώνη Σάββα, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής, για τις συζητήσεις μας πάνω σε θέματα εντός και εκτός της διπλωματικής.

Θα ήθελα να αγκαλιάσω θερμά την οικογένεια μου, που δεν αποτελείται μόνο από συγγενικά μου πρόσωπα. Σας ευχαριστώ για την υποστήριξη που μου παρείχατε καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου. Καταλήγοντας θα μου επιτρέψετε να αφιερώσω τη διπλωματική μου εργασία σε όλους όσους πάσχουν από σκολίωση και ευελπιστώ κάποια μέρα να καρπύνε τις εφαρμογές της.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	1
Ενότητα 1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας.....	1
Ενότητα 1.2 Ανασκόπηση Διπλωματικής Εργασίας.....	4
Κεφάλαιο 2 Ιδιοπαθής Σκολίωση.....	5
Ενότητα 2.1 Εισαγωγή.....	5
Ενότητα 2.2 Ανατομία σπονδυλικής στήλης.....	5
Ενότητα 2.3 Αίτια εμφάνισης Ιδιοπαθούς Σκολίωσης.....	8
Ενότητα 2.4 Συμπτώματα Ιδιοπαθούς Σκολίωσης.....	8
Ενότητα 2.5 Τρόποι Μέτρησης Σκολίωσης.....	11
2.5.1 Adam's Test και Σκολιόμετρο.....	11
2.5.2 Ακτινογραφία.....	13
2.5.3 Τοπογραφία Μουαρέ.....	14
2.5.4 Formetric 4D Μέθος Εμβιομηχανικής Ανάλυσης.....	16
Κεφάλαιο 3 Σχεδιασμός Συστήματος.....	18
Ενότητα 3.1 Εισαγωγή.....	18
Ενότητα 3.2 Τρισδιάστατο Νέφος Σημείων (3D PointCloud).....	18
Ενότητα 3.3 Τρισδιάστατοι Σαρωτές.....	19
3.3.1 Επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής.....	20
3.3.2 Σαρωτής χειρός (3D hand scanner).....	23
3.3.3 Κινητός τρισδιάστατος σαρωτής (mobile 3D scanner).....	24
3.3.4 Σαρωτής Kinect.....	25
Ενότητα 3.4 Ανάλυση Αισθητήρα Kinect.....	26
3.4.1 Έγχρωμη κάμερα (RGB Camera).....	26
3.4.2 Πομπός και Αισθητήρας Υπερύθρων (IR emitter and IR depth sensor).....	27
3.4.3 Κινητήρας Κλίσης (Tilt Motor).....	28
3.4.4 Μαθηματικό Μοντέλο Εύρεσης Βάθους.....	32
3.4.5 Βαθμονόμηση Αισθητήρα.....	34
3.4.6 Πηγές σφαλμάτων.....	36
3.4.7 Μοντέλο Θορύβου.....	40
Ενότητα 3.5 Λογισμικό Λήψης 3D Σημείων.....	42
Ενότητα 3.6 Προτεινόμενο Σύστημα.....	43
Ενότητα 3.7 Συμπεράσματα.....	44
Κεφάλαιο 4 Ανάπτυξη Συστήματος.....	45
Ενότητα 4.1 Εισαγωγή.....	45
Ενότητα 4.2 Διαδικασία Λήψης 3D σημείων.....	46
Ενότητα 4.3 Υπολογισμός Χαρακτηριστικών 3D PointCloud.....	47
4.3.1 Υπολογισμός Κάθετων Διανυσμάτων και Καμπυλότητας.....	47
Ενότητα 4.4 Ορισμός Παραμέτρων.....	51
4.4.1 Δείκτης 1 – Κλίση Κορμού (ind1).....	52
4.4.2 Δείκτης 2 – Στροφή Κορμού (ind2).....	53
4.4.3 Δείκτης 3 – Ασυμμετρία Ωμων (ind3).....	54
4.4.4 Δείκτης 4 – Ασυμμετρία Πλευρών (ind4)	56
4.4.5 Δείκτης 5 – Διαφορά όγκου (ind5)	57
4.4.6 Δείκτης 6 – Τοπογραφία Moire (ind6)	58
4.4.7 Δείκτης 7 – Αποκλίσεις Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών (ind7).....	60
4.4.8 Δείκτης 8 – Ιδανικό Πρότυπο Πλάτης - Standard Normal Shape [Sns] (ind8)	61
4.4.9 Δείκτης 9 – Adam's Test (ind9)	62

Ενότητα 4.5 Ανάπτυξη Λογισμικού.....	63
Ενότητα 4.6 Συμπεράσματα.....	66
Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα Εφαρμογής Συστήματος.....	67
Ενότητα 5.1 Εισαγωγή.....	67
Ενότητα 5.2 Συλλογή Πραγματικών Δεδομένων.....	67
Ενότητα 5.3 Εύρεση Συσχέτισης μεταξύ Δεικτών και γωνίας Cobb.....	70
Ενότητα 5.4 Συμπεράσματα	70
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα Διπλωματικής Εργασίας.....	71
Ενότητα 6.1 Αποτελέσματα.....	72
Βιβλιογραφία.....	73

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Ακτινογραφία ασθενή.....	1
Σχήμα 2: Τύποι σκολίωσης.....	2
Σχήμα 3: Σπόνδυλος σε κάτοψη και προφίλ.....	5
Σχήμα 4: Μοίρες σπονδυλικής στήλης.....	6
Σχήμα 5: Περιοχή ενδιαφέροντος.....	7
Σχήμα 6: Συμπτώματα ιδιοπαθούς σκολίωσης.....	9
Σχήμα 7: Ανομοιομορφία πλευρών.....	9
Σχήμα 8: Συμπτώματα ιδιοπαθούς σκολίωσης.....	10
Σχήμα 9: Ανομοιομορφία πλάτης κατά την επίκυψη.....	11
Σχήμα 10: Ένδειξη σκολιωμέτρου κατά την εξέταση του Adam τεστ.....	12
Σχήμα 11: Ακτινογραφία ασθενή με μετρούμενη γωνία Cobb, 80 μοίρες.....	13
Σχήμα 12: Υπέρθωση πλεγμάτων.....	14
Σχήμα 13: Μοτίβα Moire που δημιουργούνται στην πλάτη του ασθενή κατά την εξέταση.....	15
Σχήμα 14: Απεικόνιση του συστήματος.....	16
Σχήμα 15: Δεδομένα που εξάγονται από το σύστημα.....	17
Σχήμα 16: Απεικόνιση νέφους σημείων από προσωπείο.....	18
Σχήμα 17: Μετατροπή νέφους σημείων σε πολυγωνικό πλέγμα.....	19
Σχήμα 18: Επίγειος σαρωτής.....	21
Σχήμα 19: Αντικείμενο.....	23
Σχήμα 20: Λήψη νέφους σημείων.....	23
Σχήμα 21: Νέφος σημείων αντικειμένου.....	23
Σχήμα 22: Κινούμενος τρισδιάστατος σαρωτής προσαρτημένος σε αυτοκίνητο.....	24
Σχήμα 23: Αισθητήρας Kinect.....	25
Σχήμα 24: Οπτικό πεδίο αισθητήρα.....	26
Σχήμα 25: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του πομπού και του αισθητήρα υπερύθρων.....	27
Σχήμα 26: Εικόνα βάθους που λαμβάνεται από τον αισθητήρα υπερύθρων.....	28
Σχήμα 27: Κινητήρας κλίσης στη βάση του Kinect.....	28
Σχήμα 28: Οπτικό πεδίο αισθητήρα Kinect λαμβάνοντας υπόψη και την κίνηση του κινητήρα κλίσης.....	29
Σχήμα 29: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του αισθητήρα Kinect.....	30
Σχήμα 30: Η απόσταση που επιστρέφει ο αισθητήρας, είναι η κάθετη απόσταση από το επίπεδό του.....	31
Σχήμα 31: Κουκίδες υπερύθρων.....	31
Σχήμα 32: Γράφημα για την εξαγωγή της σχέσης που δίνει τη μέτρηση του βάθους, με βάση τη γεωμετρία του χώρου.....	33
Σχήμα 33: (α) Εικόνα υπερύθρων, (β) Αντίστοιχη εικόνα βάθους.....	36
Σχήμα 34: Σφάλμα στον υπολοισμό της απόστασης από το αντικείμενο. Στον οριζόντιο άξονα είναι η ακριβής απόσταση μεταξύ αντικειμένου-αισθητήρα και στον κατακόρυφο άξονα είναι η διαφορά μεταξύ ακριβούς απόστασης και απόστασης όπως την υπολογίζει ο αισθητήρας.....	37
Σχήμα 35: Απόσταση που μετράται από τον αισθητήρα σε σχέση με την πραγματική, όπου έχουν υπερτεθεί τα διαστήματα της τυπικής απόκλισης.....	38
Σχήμα 36: Πλήθος σημείων νέφους για κάθε λήψη.....	39
Σχήμα 37: Μεταβολή στο πλήθος των σημείων του νέφους ανάλογα με το φωτισμό.....	40
Σχήμα 38: Διεπαφή Εφαρμογής Kinect Fusion Explorer.....	42
Σχήμα 39: Block διάγραμμα συστήματος.....	43
Σχήμα 40: Τοποθέτηση ασθενούς με πλάτη προς τον αισθητήρα.....	46
Σχήμα 41: Σύγκριση της επιφάνειας της καμπυλότητας και του λόγου σ_r , (α) αρχική επιφάνεια, (β) αναλυτικός υπολογισμός της καμπυλότητας (γ) και (δ) τιμές του λόγου σ_r ανάλογα με τη γειτονία που χρησιμοποιείται.....	50

Σχήμα 42: Βασικοί άξονες κίνησης.....	51
Σχήμα 43: Μέγιστα κατά τον οβελιαίο άξονα.....	52
Σχήμα 44: Γωνία κλίσης κορμού.....	52
Σχήμα 45: Γωνία στροφής κορμού.....	53
Σχήμα 46: Απεικόνιση της στροφής του κορμού από νέφος σημείων.....	53
Σχήμα 47: Σημεία που ανήκουν στους δύο ώμους (κόκκινο χρώμα) και μοντελοποίηση της καμπύλης στην οποία ανήκουν (μαύρο χρώμα).....	54
Σχήμα 48: Με μπλε χρώμα σημεία που ανήκουν στα όρια, με κόκκινο χρώμα σημεία που ανήκουν στον δεξιό ώμο, με πράσινο χρώμα σημεία που ανήκουν στον αριστερό ώμο και με μαύρο χρώμα μοντελοποίηση των καμπυλών των δύο ώμων.....	55
Σχήμα 49: Σημεία που ανήκουν στις δύο πλευρές του κορμού (κόκκινο χρώμα) και μοντελοποίησή της καμπύλης στην οποία ανήκουν (μαύρο χρώμα).....	56
Σχήμα 50: Απεικονιστικό παράδειγμα της διαδικασία εξαγωγής του δείκτη 5.....	57
Σχήμα 51: Μοτίβα φυσιολογικής πλάτης.....	58
Σχήμα 52: Σημεία με τα οποία εξάγεται ο δείκτης 6.....	59
Σχήμα 53: Απεικονιστικό παράδειγμα κυρίων καμπυλοτήτων k_1 , k_2	60
Σχήμα 54: Μοντελοποίηση χρήσης σκολιομέτρου.....	62
Σχήμα 55: Αρχικό στιγμιότυπο εφαρμογής.....	63
Σχήμα 56: Στιγμιότυπο Επεξεργασίας δεδομένων.....	63
Σχήμα 57: Παράθυρο επιλογής δεδομένων εισόδου.....	64
Σχήμα 58: Στιγμιότυπο εκκίνησης εξαγωγής των δεικτών.....	64
Σχήμα 59: Πρόσθεση των αποτελεσμάτων στη λίστα.....	65
Σχήμα 60: Απεικόνιση του υπολογιζόμενου δείκτη 1.....	65
Σχήμα 61: Τελικό παράθυρο εφαρμογής	66
Σχήμα 62 Αρχικά δεδομένα λήψης.....	69
Σχήμα 63 Αποτέλεσμα της προεπεξεργασίας των δεδομένων λήψης.....	69

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνικές Προδιαγραφές Kinect.....	31
Πίνακας 2: Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του συστήματος.....	68

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Ενότητα 1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Ο όρος σκολίωση προέρχεται από τη λέξη σκολιός που σημαίνει στρεβλός. Η φυσιολογική σπονδυλική στήλη στην προσθιοπίσθια διάστασή της φαίνεται τελείως ευθεία. Σκολίωση [12] ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία η σπονδυλική στήλη παρουσιάζει πλάγια κλίση, στην προσθιοπίσθια διάστασή της, πάνω από 10 μοίρες (Σχήμα 1).

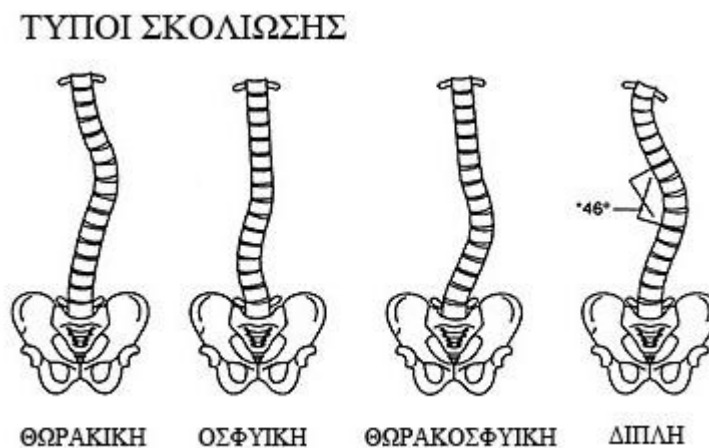


Σχήμα 1: Ακτινογραφία ασθενή

Οι ειδικοί έχουν χωρίσει τη σκολίωση σε τρεις βασικές κατηγορίες: (α) τη **Συγγενή Σκολίωση** (10%-15% των περιπτώσεων), που είναι η αποτυχία σχηματισμού των σπονδύλων κατά την εμβρυϊκή ηλικία, (β) την **Ιδιοπαθή Σκολίωση (ΙΣ)** (85%-90% των περιπτώσεων), αγνώστου αιτιολογίας, που μπορεί να αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου, από τη νηπιακή ως την ενήλικη

ηλικία, (γ) τη **Νευρομυϊκή Σκολίωση**, που προκαλείται ως παράλληλο σύμπτωμα κάποιας άλλης πάθησης του νευρικού ή του μυϊκού συστήματος, όπως π.χ. η εγκεφαλική παράλυση ή η ατροφία ραχιαίων μυών, και (δ) την **Εκφυλιστική ή Σκολίωση των Ενηλίκων**, αναπτύσσεται αργότερα στη ζωή, είτε de novo, είτε σε ασθενείς που είχαν από την παιδική ηλικία σκολίωση που ήταν στάσιμη. Οφείλεται στην εκφύλιση-αρθρίτιδα των αρθρώσεων μεταξύ των σπονδύλων και κυρίως του μεσοσπονδύλιου δίσκου.

Ανάλογα με την περιοχή της σπονδυλικής στήλης στην οποία εμφανίζεται το κύρτωμα ([14], [28], [29]), τη διαχωρίζουμε σε αυχενική, θωρακική και οσφυϊκή σκολίωση [32]. Αρκετά συχνά μπορεί να υπάρξει κύρτωμα που να αφορά σε παραπάνω από μία μοίρα της σπονδυλικής στήλης, οπότε είναι η περίπτωση της θωρακοσφυϊκής σκολίωσης (Σχήμα 2). Ανάλογα με το προς τα πού κλίνει το κυρτό της καμπύλης, χαρακτηρίζουμε την σκολίωση δεξιά ή αριστερή και την αναφέρουμε ως δεξιά θωρακική σκολίωση ή αριστερή οσφυϊκή σκολίωση κ.ο.κ.



Σχήμα 2: Τύποι σκολίωσης

Επίσης ανάλογα με την ηλικία που παρουσιάζεται, χωρίζεται σε νηπιακή, παιδική, και εφηβική σκολίωση. Η τελευταία αποτελεί και το 80% όλων των περιπτώσεων της ιδιοπαθούς σκολιώσεως (ΙΣ). Ο γυναικείος πληθυσμός είναι αυτός που πλήττεται περισσότερο, με 8 στις 10 πιο σοβαρές περιπτώσεις σκολίωσης να αφορούν νεαρά κορίτσια.

Ο ακτινογραφικός έλεγχος αποτελεί τη πιο σαφή μέθοδο διάγνωσης και παρακολούθησης της ΙΣ αλλά η πιθανή επιβάρυνση της υγείας του εξεταζομένου λόγω της έκθεσής του στην ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει οδηγήσει στην αναζήτηση διαφορετικών, μη επεμβατικών και ακίνδυνων μεθόδων

διάγνωσης και παρακολούθησης. Ο αισθητήρας Kinect της Microsoft αποτέλεσε το βασικό πυρήνα ενός από τα συστήματα που αναπτύχθηκαν με την παραπάνω φιλοσοφία. Η δυνατότητα του για συλλογή, σε πραγματικό χρόνο, τρισδιάστατων επιφανειών, ο ανοιχτός κώδικας του λογισμικού του, η φορητότητα του και η προσιτή του τιμή του, κέντρισαν το ενδιαφέρον των ερευνητών του τομέα της επεξεργασίας ιατρικών σημάτων. Το αρχικό στάδιο του συστήματος περιλαμβάνει τη συλλογή ενός τρισδιάστατου σύννεφου σημείων (3D point cloud) από την πλάτη του εξεταζομένου κάνοντας χρήση του αισθητήρα Kinect. Στην συνέχεια τα τρισδιάστατα δεδομένα επεξεργάζονται παράγοντας κατάλληλους δείκτες οι οποίοι σχετίζονται με τις ανομοιομορφίες που παρουσιάζει η πλάτη ενός εξεταζομένου με σκολίωση.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η εύρεση κατάλληλων δεικτών και η δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εφαρμογής, η οποία με την εισαγωγή του τρισδιάστατου σύννεφου σημείων (3D-ΣΣ) του εξεταζομένου θα εξαγάγει τους δείκτες, συμβάλλοντας στην διάγνωση και παρακολούθηση καθώς υποβοηθά τον ιατρό παρέχοντάς του μετρήσιμα χαρακτηριστικά από την πλάτη του εξεταζομένου.

Ενότητα 1.2 Ανασκόπηση Διπλωματικής Εργασίας

Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η ΙΣ καθώς είναι ο τύπος της σκολίωσης με το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης. Στην αρχή του κεφαλαίου παρουσιάζεται η ανατομία της σπονδυλικής στήλης και ακολούθως εξετάζονται τα αίτια εμφάνισης και τα συμπτώματα της ΙΣ. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται παρουσιάζοντας τους τρόπους μέτρησης της ΙΣ.

Στο τρίτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μία αναφορά όλων των συσκευών σάρωσης τρισδιάστατων νεφών σημείων και γίνεται εκτενής ανάλυση του αισθητήρα Kinect που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την λήψη των δεδομένων και στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται το προτεινόμενο σύστημα, προσδιορίζοντας τα επιμέρους υποσυστήματά, που το πλαισιώνουν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη του συστήματος. Αρχικά προβάλλεται η διαδικασία λήψης των δεδομένων και στην συνέχεια διατυπώνονται όλα οι απαραίτητες μαθηματικές σχέσεις που χρειάζονται για την εκτίμηση των τοπικών χαρακτηριστικών τα οποία συλλαμβάνουν τη γεωμετρία της επιφάνειας. Στο κύριο μέρος του κεφαλαίου περιγράφονται οι δείκτες που θα υλοποιεί το σύστημα και παρουσιάζεται για κάθε δείκτη η μέθοδος εξαγωγής του. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται στιγμιότυπα από το γραφικό περιβάλλον του συστήματος και γίνεται μία σύντομη περιγραφή χρήσης της εφαρμογής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος έχοντας ως στόχο την εύρεση συσχέτισης μεταξύ των δεικτών και της γωνίας Cobb. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από ασθενείς με γνωστό βαθμό σκολίωσης θα χρησιμοποιούνται στα πειράματα για την εύρεση συσχέτισης μεταξύ των υπολογιζομένων δεικτών και της γωνίας Cobb.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η σύνοψη της εργασίας, αποτυπώνονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις της εφαρμογής του εγχειρήματος.

Κεφάλαιο 2 Ιδιοπαθής Σκολίωση

Ενότητα 2.1 Εισαγωγή

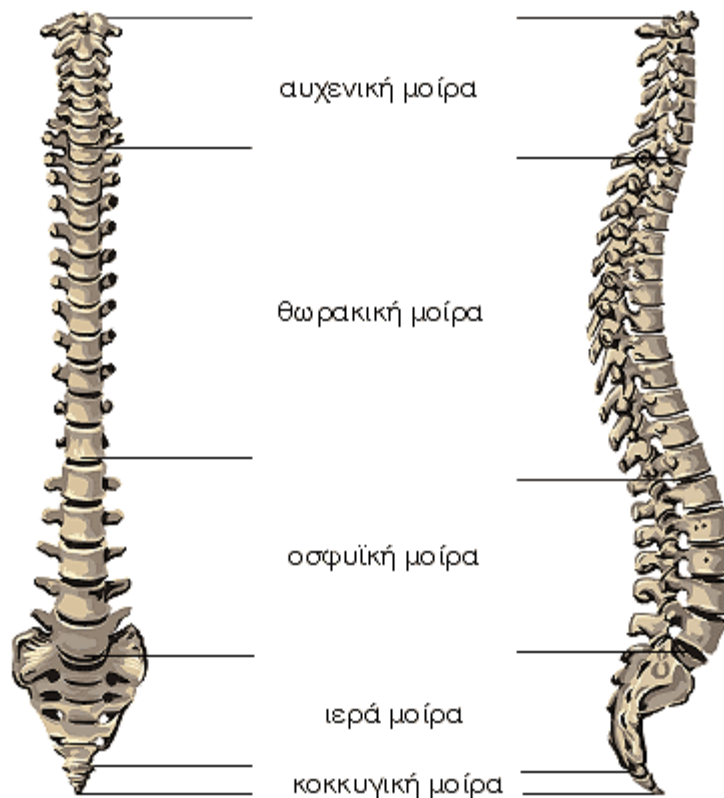
Όπως έχει αναφερθεί η ΙΣ είναι ο τύπος σκολίωσης που εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης (80%) και συνήθως η πιθανότητα εμφάνισης είναι μεγαλύτερη στην προεφηβική ηλικία, δηλαδή την περίοδο της διαμόρφωσης του σώματος. Παρά την μεγάλη ερεύνα, η αιτιοπαθογένεια της ιδιοπαθούς σκολίωσης δεν είναι γνωστή. Πιστεύεται ότι είναι πολυπαραγοντικής αιτιολογίας. Επιπροσθέτως σκολίωση με σημαντικό κύρτωμα εμφανίζεται κυρίως στα κορίτσια που κατά 8 φορές συχνότερα χρειάζονται θεραπεία, γιατί το κύρτωμα εμφανίζει τάση προόδου. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται η ανατομία της σπονδυλικής στήλης και ακολούθως εξετάζονται τα αίτια εμφάνισης και τα συμπτώματα της ΙΣ. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τρόποι διάγνωσης και παρακολούθησης της ΙΣ.

Ενότητα 2.2 Ανατομία σπονδυλικής στήλης

Η σπονδυλική στήλη στον ανθρώπινο σκελετό αποτελείται από 33 (ή 34) συναρθρωμένους σε σειρά σπονδύλους. Κάθε σπόνδυλος περιλαμβάνει ένα ημικυλινδρικό σώμα μεγέθους αναλόγου με το τμήμα στο οποίο ανήκει. Στα πλάγια φέρει δύο εγκάρσιες αποφύσεις και πίσω μια ακανθώδη απόφυση, που χρησιμεύουν για την πρόσφυση μυών και συνδέσμων (Σχήμα 3). Στο κυλινδρικό σώμα επίσης απολήγουν τα σπονδυλικά τόξα που, ενωμένα, σχηματίζουν ένα δακτύλιο. Οι επάλληλοι αυτοί δακτύλιοι δημιουργούν ένα ενιαίο σωλήνα, τον σπονδυλικό σωλήνα, εντός του οποίου φέρεται ο νωτιαίος μυελός. Κάθε σπόνδυλος αρθρώνεται με τον υπερκείμενο και υποκείμενο σπόνδυλο μέσω των αρθρικών αποφύσεων.



Σχήμα 3: Σπόνδυλος σε κάτοψη και προφίλ

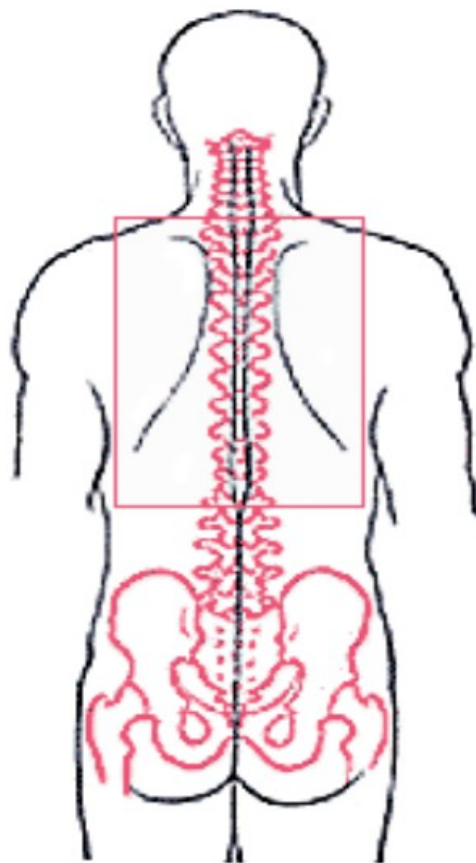


Σχήμα 4: Μοίρες σπονδυλικής στήλης

Οι σπόνδυλοι διακρίνονται επιμέρους ανάλογα της θέσης τους στη σπονδυλική στήλη από άνω προς τα κάτω σε:

1. επτά **αιχενικούς**, οι εγκάρσιες αποφύσεις των οποίων παρουσιάζουν οπή (εγκάρσιο τρήμα) από την οποία και διέρχονται τα αγγεία των σπονδύλων (κωδική ονομασία C1-C7).
2. δώδεκα **θωρακικούς**, στους οποίους αρθρώνονται οι αντίστοιχες πλευρές (κωδική ονομασία T1-T12).
3. πέντε **οσφυϊκούς**, που το σώμα τους είναι μεγαλύτερο όλων των προηγούμενων σπονδύλων (κωδική ονομασία L1-L5).
4. πέντε **ιερούς**, που το μέγεθός τους ελαττώνεται προς τα κάτω και που στην μεν παιδική ηλικία φέρονται ανεξάρτητοι στους δε ενήλικους συνοστεώνονται δημιουργώντας το ιερόν οστό (κωδική ονομασία S1-S4), και
5. 4-5 **κοκκυγικούς**. Οι τελευταίοι αυτοί φέρονται επίσης συνοστεωμένοι αποτελώντας τον κόκκυγα.

Η περιοχή της ανθρώπινης πλάτης που παρουσιάζει ενδιαφέρον στην περίπτωση εξέτασης της σκολίωσης είναι εκείνη η περιοχή που ορίζεται από τους σπονδύλους C7-L1, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5: Περιοχή ενδιαφέροντος

Ενότητα 2.3 Αίτια εμφάνισης Ιδιοπαθούς Σκολίωσης

Η αιτιοπαθογένεια της ιδιοπαθούς σκολίωσης δεν είναι γνωστή [8]. Πιστεύεται ότι είναι πολυπαραγοντικής αιτιολογίας [30]. Προδιαθεσικοί παράγοντες είναι γενετικοί (πιο συχνά ανάμεσα σε μονοωογενή δίδυμα), ορμονικοί (αυξητική ορμόνη, μελατονίνη), εμβιομηχανικοί κ.λ.π. Η ανάπτυξη σκολίωσης δεν έχει συσχετιστεί με διατροφικούς παράγοντες ή στάση του σώματος, άθληση, χρήση σακιδίου ράχης ή μεταφορά βαριάς σχολικής τσάντας.

Η ιδιοπαθής σκολίωση πλήττει κυρίως υγιείς γυναίκες στην εφηβεία, παρ' όλο που μπορεί να παρουσιαστεί και σε άνδρες (ιδιοπαθής εφηβική σκολίωση) και σε μικρότερες ηλικίες: παιδική ιδιοπαθής σκολίωση (πριν την ηλικία των τριών ετών) και νεανική ιδιοπαθής σκολίωση (μεταξύ τριών ετών και εφηβείας). Αν και η αιτία αυτής της σπονδυλικής παραμόρφωσης παραμένει άγνωστη, μπορεί να έχει πολυπαραγοντική προέλευση με ορισμένους γενετικούς και κληρονομικούς παράγοντες να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Περίπου 2 ή 3% των εφήβων έχουν σκολίωση, αλλά μόνο 0,3-0,5% έχουν καμπύλες άνω των 20°.

Ενότητα 2.4 Συμπτώματα Ιδιοπαθούς Σκολίωσης

Η ιδιοπαθής εφηβική σκολίωση είναι μια ανώδυνη παραμόρφωση της σπονδυλικής στήλης. Η σκολιωτική καμπύλη της σπονδυλικής στήλης δεν προκαλεί πόνο. Σε παιδιά με πόνο και σκολίωση, η αιτία του πόνου θα πρέπει οπωσδήποτε να διερευνηθεί περαιτέρω και δεν πρέπει να αποδίδεται στην σκολίωση. Δεδομένου ότι η σκολίωση προκαλεί αλλαγή του σχήματος (κακόηχα ονομάζεται παραμόρφωση-deformity) του σώματος, υπάρχουν επιφανειακά στοιχεία που μπορούν να οδηγήσουν στη διάγνωση της.



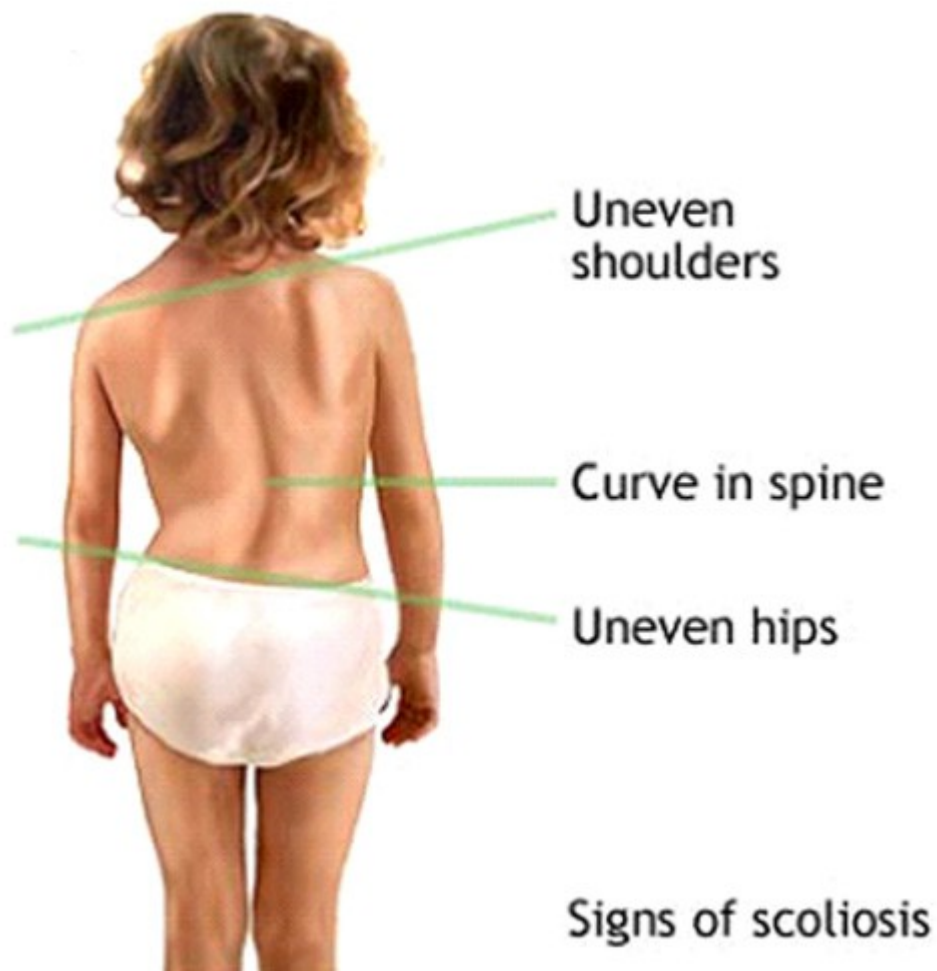
Σχήμα 6: Συμπτώματα ιδιοπαθούς σκολίωσης

Το πιο συχνό σωματικό σημείο της σκολίωσης στους εφήβους είναι η προβολή των πλευρών προς την μια πλευρά (Σχήμα 7) κάτι που φαίνεται περισσότερο όταν ο έφηβος είναι σκυμμένος προς τα εμπρός. Οι πλευρές δηλαδή στην μια πλευρά της πλάτης φαίνονται να βρίσκονται πιο ψηλά σε σύγκριση με τις πλευρές της άλλης μεριάς (Σχήμα 6).



Σχήμα 7: Ανομοιομορφία πλευρών

Αλλα σημεία μπορεί να είναι η προβολή της μιας πλευράς της ωμοπλάτης πιο ψηλά από την άλλη. Με προσεκτική παρατήρηση του εφήβου σε όρθια θέση μπορεί να φαίνεται ο ένας ώμος πιο ψηλά από τον άλλο. Επιπροσθέτως μπορεί να παρουσίαζε ασυμμετρία στην περιοχή της μέσης. Ακόμα το ένα ισχίο μπορεί να φαίνεται πιο ψηλά από το άλλο δίνοντας την εντύπωση ότι το ένα πόδι είναι πιο μακρύ από το άλλο (Σχήμα 8). Επίσης μπορεί τα ρούχα να φαίνεται ότι δεν «πέφτουν» σωστά στο σώμα.



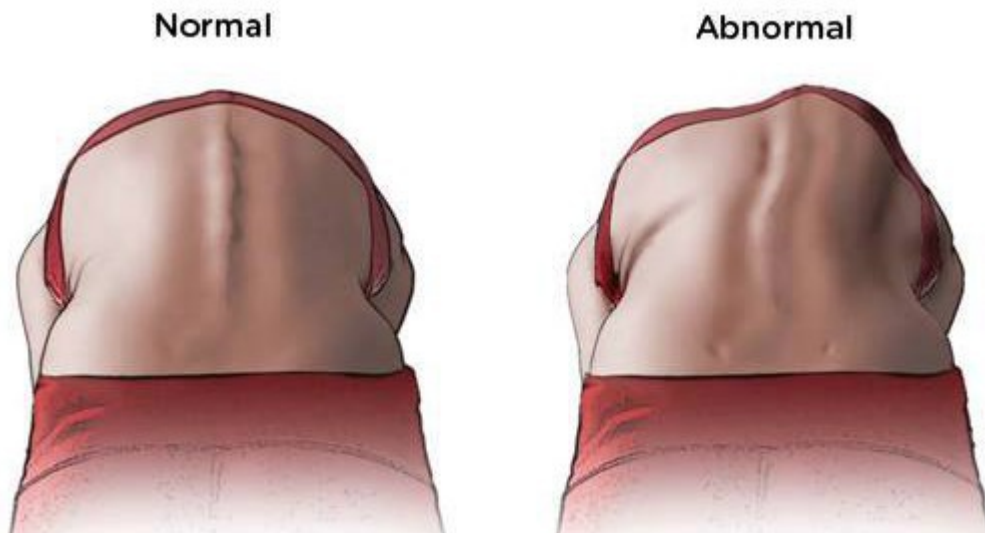
Σχήμα 8: Συμπτώματα ιδιοπαθούς σκολίωσης

Ενότητα 2.5 Τρόποι Μέτρησης Σκολίωσης

Η σκολίωση συνήθως γίνεται αντιληπτή από τους γονείς του παιδιού, λόγω της παραμόρφωσης του κορμού. Σε μεγάλο βαθμού σκολίωση, οι ασυμμετρίες που προκαλούνται στο σώμα είναι ιδιαίτερα εμφανείς.

2.5.1 Adam's Test και Σκολιόμετρο

Η κλινική εξέταση για την έγκαιρη διάγνωση της σκολίωσης, αποτελεί η δοκιμασία επίκυψης (Adam's Test). Πρόκειται για μία απλή, μη επεμβατική και αξιόπιστη εξέταση για την ανεύρεση σκολίωσης. Κατά τη δοκιμασία αυτήν, ο εξεταζόμενος σε όρθια θέση σκύβει προς τα εμπρός, με τα γόνατα τεντωμένα, τις φτέρνες σε ευθεία γραμμή και τα χέρια να κρέμονται χαλαρά προς τα κάτω, με τους ώμους να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με τα ισχία (Σχήμα 9). Στη θέση αυτήν, ο εξεταστής παρατηρεί τη ράχη με προσοχή και κάθε ασυμμετρία του κορμού θεωρείται ύποπτη για σκολίωση, οπότε το παιδί παραπέμπεται για ακτινολογικό έλεγχο.



Σχήμα 9: Ανομοιομορφία πλάτης κατά την επίκυψη

Οι ιατροί χρησιμοποιούν εδώ και πολλά χρόνια το σκολιόμετρο [13] ως αποτελεσματικό εργαλείο παρακολούθησης της σκολίωσης. Η λειτουργία του βασίζεται στον εσωτερικό αύλακα ο οποίος οδηγεί μικρό σφαιρίδιο το οποίο ισορροπεί στην θέση με τη μικρότερη δυναμική ενέργεια, μετρώντας την στροφή που παρουσιάζει η πλάτη, καθώς απεικονίζεται η απόκλιση που υπάρχει από τον οριζόντιο άξονα (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Ένδειξη σκολιωμέτρου κατά την εξέταση του Adam τεστ

Ο ιατρός κατά την διάρκεια του Adam's Test τοποθετεί το σκολιόμετρο [27] σε διάφορα επίπεδα στις πλάτης του εξεταζόμενου αναζητώντας το επίπεδο με την μεγαλύτερη απόκλιση. Στη συγκεκριμένη στάση είναι ορατή οποιαδήποτε ασυμμετρία υπάρχει μεταξύ των ωμοπλάτων. Η διακριτική ικανότητα της απεικονιστικής τεχνικής είναι 3 μοίρες καθώς μία διαφορά έως 2 μοιρών στην ένδειξη μπορεί να οφείλεται σε μικρή αλλαγή της στάσης του εξεταζόμενου. Η ύπαρξη απόκλισης μεγαλύτερης των 5 μοιρών θα πρέπει να διερευνάται με περαιτέρω ακτινολογική εξέταση για την ολοκληρωμένη εικόνα της σπονδυλικής στήλης καθώς επιπροσθέτως έχουν παρατηρηθεί σπάνια περιστατικά ασθενών στα οποία η αύξηση της σκολίωσης δεν συνοδευόταν με την παρατηρούμενη αύξηση της ένδειξης του σκολιόμετρου.

2.5.2 Ακτινογραφία

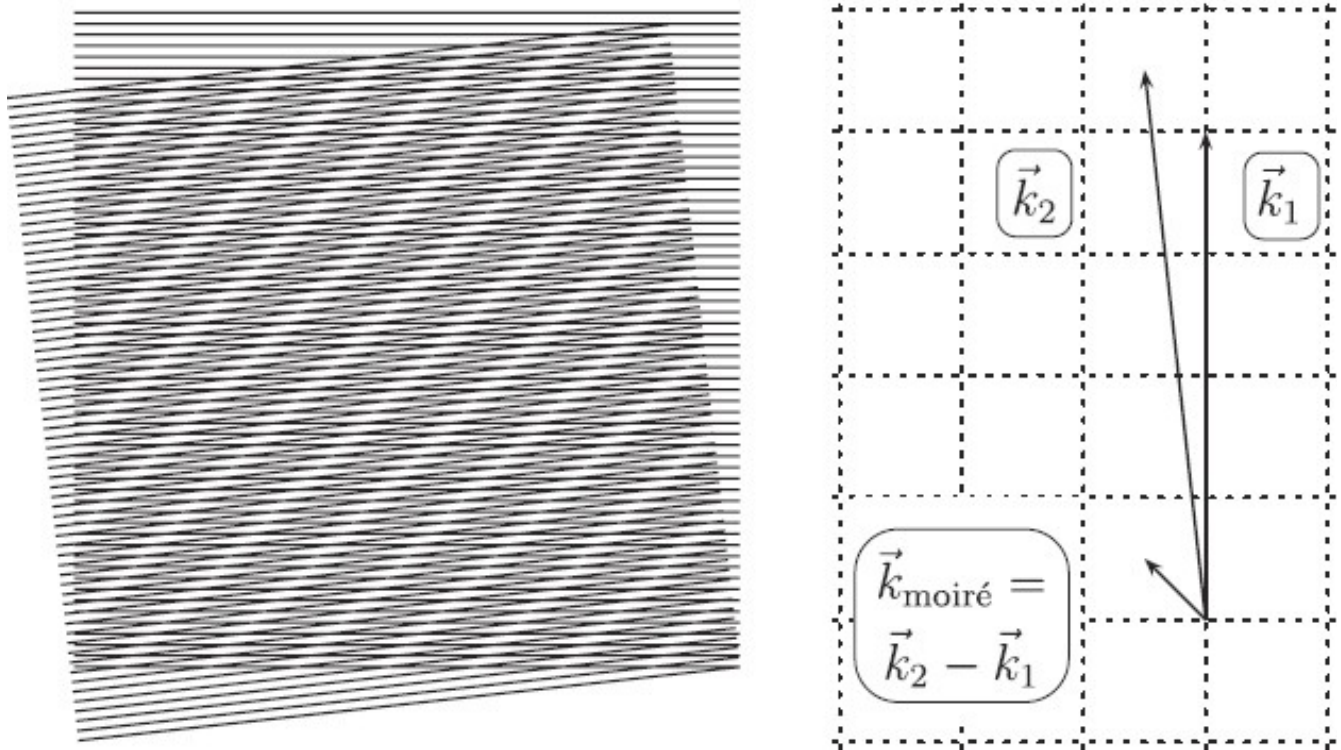
Ο ακτινογραφικός έλεγχος αποτελεί τη πιο σαφή μέθοδο διάγνωσης και παρακολούθησης της ιδιοπαθούς σκολίωσης [41]. Η ακτινογραφία γίνεται στην όρθια θέση (προσθιοπίσθια), για την επιβεβαίωση και την μέτρηση της σκολίωσης (σε μοίρες). Ο δείκτης που μετράται ονομάζεται γωνία Cobb [22], και εμφανίζει ακρίβεια 3 με 5 μοίρες. Στην ακτινογραφία θα πρέπει να περιέχεται και το άνω μέρος της πυέλου, καθώς από το βαθμό, της οστεοποίησης της, μπορεί κανείς να υπολογίσει αδρά το υπολειπόμενο, της ανάπτυξης του παιδιού (Risser sign, με μετρήσεις από 1 έως 5). Σπανίως και κυρίως όταν υπάρχουν συνοδά νευρολογικά ευρήματα (αυξημένα αντανακλαστικά), ή στην παιδική σκολίωση προ κάθε θεραπείας, ή τέλος αν η σκολίωση είναι αριστερή θωρακική (το κύρτωμα δηλαδή στρέφει το κυρτό, στην αριστερή πλευρά του σώματος, ενώ σχεδόν πάντα αναμένεται να είναι δεξιά), απαιτείται η λήψη μαγνητικής τομογραφίας της ΣΣ. Με βάση τα ευρήματα, η αντιμετώπιση χωρίζεται σε παρακολούθηση, τοποθέτηση κηδεμόνα (κορσέ) ακόμα και χειρουργική επέμβαση [34].



Σχήμα 11: Ακτινογραφία ασθενή με μετρούμενη γωνία Cobb, 80 μοίρες

2.5.3 Τοπογραφία Μουαρέ

Το φαινόμενο της δημιουργίας κροσσών Moire ([5], [42], [11], [39]) παρατηρείται κατά την υπέρθεση γραμμικών ή και σημειακών σχηματισμών (πλεγμάτων) όχι πολύ διαφορετικής περιοδικότητας και βήματος. Μπορεί να ερμηνευτεί, για σχετικά αραιά πλέγματα, χωρίς να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο της περίθλασης, θεωρώντας δηλαδή γραμμική διάδοση του φωτός.



Σχήμα 12: Υπέρθεση πλεγμάτων

Ο σχηματισμός των κροσσών οφείλεται [40] στο ότι η αδιαφανείς γραμμές του πλέγματος εμποδίζουν τη διέλευση του φωτός. Η παρεμπόδιση αυτή είναι μέγιστη εκεί που οι γραμμές του ενός πλέγματος καλύπτουν πλήρως τις διαφανείς περιοχές του άλλου (σκοτεινοί κροσσοί). Ένώ είναι ελάχιστη (φωτεινοί κροσσοί) εκεί όπου οι διαφανείς λωρίδες συμπίπτουν ή τα γραμμικά σύνολα τέμνονται.

Η εφαρμογή της τεχνικής σε τρισδιάστατα αντικείμενα και κυρίως στην ιατρική θεωρείται γενικά ότι οφείλεται στον Ιάπωνα μηχανικό H. Takasaki (1926 – 1985). Με βάση την καθοριστική έρευνα του Takasaki, αλλά και των άλλων ερευνητών που καταπιάστηκαν με γενικά προβλήματα της μεθόδου , η μέθοδος Moire εισήχθη με επιτυχία και μαζικότητα στη βιοστερομετρία, με εφαρμογές κυρίως σε μετρήσεις της πλάτης.



Σχήμα 13: Μοτίβα Moire που δημιουργούνται στην πλάτη του ασθενή κατά την εξέταση

Με την χρήση ενός πλέγματος αποτελούμενο από ισαπέχουσες παράλληλες οριζόντιες γραμμές και μίας πηγής φωτός προβάλλονται στην πλάτη του εξεταζομένου τα μοτίβα Moire, δημιουργώντας τις ισουψείς καμπύλες της επιφάνειας της πλάτης. Στη συνέχεια μία συσκευή λήψης εικόνων, συλλέγει τις εικόνες για περαιτέρω επεξεργασία. Η επεξεργασία περιλαμβάνει την εύρεση κατάλληλων δεικτών που σχετίζονται με την γωνία Cobb που εξάγεται από τις ακτινογραφίες.

Αρχικά η τεχνική είχε μεγάλη εφαρμογή στη διάγνωση και παρακολούθηση της σκολίωσης, αλλά λόγω της αδυναμίας της μεθόδου να εξαγάγει δείκτες από εξεταζομένους που έπασχαν από παχυσαρκία, και τις μεγάλες αποκλίσεις των αποτελεσμάτων που προέκυπταν από μικρές μετακινήσεις του ασθενή κατά την διάρκεια της εξέτασης, περιόρισαν την χρήση της τεχνικής.

2.5.4 Formetric 4D Μέθος Εμβιομηχανικής Ανάλυσης.

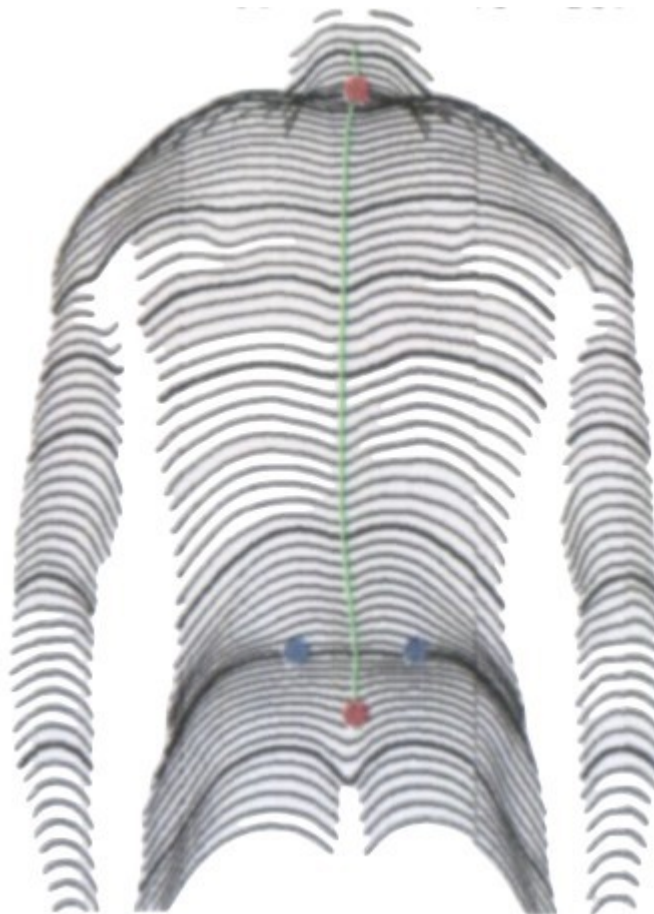
Το formetric 4D Bodyscan System [19] (Σχήμα 14) είναι μια ειδική εξέταση για γρήγορη και χωρίς ακτινοβολία στατική και δυναμική μέτρηση της σπονδυλικής στήλης. Αντικειμενικές κλινικές παράμετροι που περιγράφουν και καταγράφουν την ύπαρξη ανωμαλιών της σπονδυλικής στήλης σε παθήσεις όπως σκολίωση, κύφωση, λόρδωση και άλλες σχετικές ανατομικές ανωμαλίες αναδεικνύονται, με πολύ μεγάλη ακρίβεια και μπορούν να χρησιμοποιούνται στη διάγνωση, διαλογής, μελέτες, φυσιοθεραπεία, αποκατάστασης και άλλες κλινικές εφαρμογές. Το σύστημα formetric αναλύει την επιφάνεια της σπονδυλικής στήλης με εξελιγμένους μεθόδους οπτικής, στατικής και δυναμικής. Στο ανακατασκευασμένο 4D μοντέλο της Σπονδυλικής Στήλης αναδεικνύεται η θέση της λεκάνης και της σπονδυλικής στήλης. Επίσης γίνεται ανάλυση και καταγραφή των κινήσεων της σπονδυλικής στήλης και της λεκάνης καθώς και η σχέση που υπάρχει ανάμεσα τους.



Σχήμα 14: Απεικόνιση του συστήματος

Υπάρχει σημαντική διαφορά αποτελεσμάτων μεταξύ της στατικής αξιολόγησης με την αξιολόγηση μέσω X-Ray και της οπτικής 3D απεικόνισης επίσης. Με τη χρήση του συστήματος 4D αυτό το πρόβλημα φαίνεται να ξεπερνιέται διότι με την νέα τεχνολογία της 4D ανάλυσης όπου είναι εφικτή η λήψη 10 εικόνων ανά δευτερόλεπτο, έχουμε μείωση της πιθανότητας λάθους και αύξηση των κλινικών αποτελεσμάτων. Η πλήρης ανάλυση χρειάζεται μόλις λίγα λεπτά για να πραγματοποιηθεί. Κατά την διάρκεια της όρθιας φυσιολογικής στάσης χρειαζόμαστε περίπου 30-60 δευτερόλεπτα για να καταγραφεί ο συντονισμός και η μυϊκή συμπεριφορά (Romberg test, Matthias test).

Στο παρελθόν οι εμβιομηχανικές μελέτες, στηρίζονταν στην καταγραφή των κινήσεων του σώματος μέσω της σημείωσης, ειδικών ανατομικών στοιχείων, με την χρήση ειδικών δεικτών. Με τη μέθοδο Formetric 4D μέτρησης και τη δυνατότητα τρισδιάστατης ανάλυσης 10000 διαφορετικών στοιχείων, είναι δυνατή πλέον η καταγραφή των κινήσεων της σπονδυλικής στήλης και της λεκάνης με συχνότητα μεγαλύτερη αυτής των 24 εικόνων ανά δευτερόλεπτο με τη χρήση stepper ή διαδρόμου.



Σχήμα 15: Δεδομένα που εξάγονται από το σύστημα

Κεφάλαιο 3 Σχεδιασμός Συστήματος

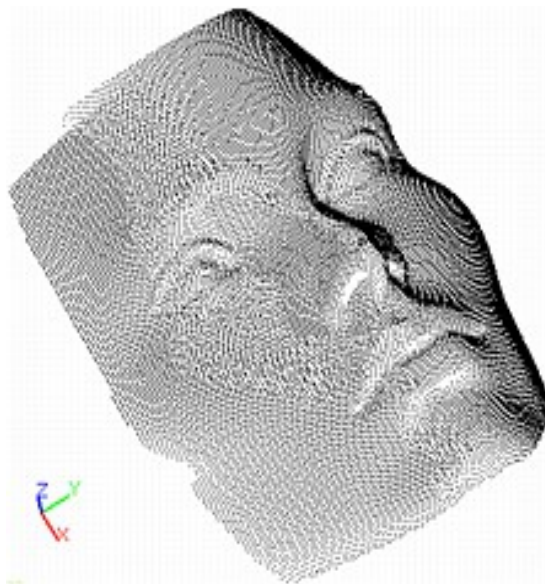
Ενότητα 3.1 Εισαγωγή

Δεδομένου ότι στη σκολίωση παρουσιάζεται μια επιφανειακή αλλαγή του σχήματος της ανθρώπινης πλάτης, η οποία σε ένα βαθμό χαρακτηρίζει τη δομική παραμόρφωση της σπονδυλικής στήλης, υπάρχουν προφανείς λόγοι να προσπαθήσει κανείς να αξιολογήσει τη σκολίωση με τη χρήση πληροφοριών της επιφάνειας της πλάτης. Το θέμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και αποτελεί αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας.

Κατά την επιστημονική έρευνα έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές δομές δεδομένων για την κωδικοποίηση της 3-Δ πληροφορίας που συλλέγεται από την ανθρώπινη πλάτη. Το τρισδιάστατο σύννεφο σημείων (3D point cloud) είναι μία δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται ευρέως σε ιατρικές εφαρμογές.

Ενότητα 3.2 Τρισδιάστατο Νέφος Σημείων (3D PointCloud)

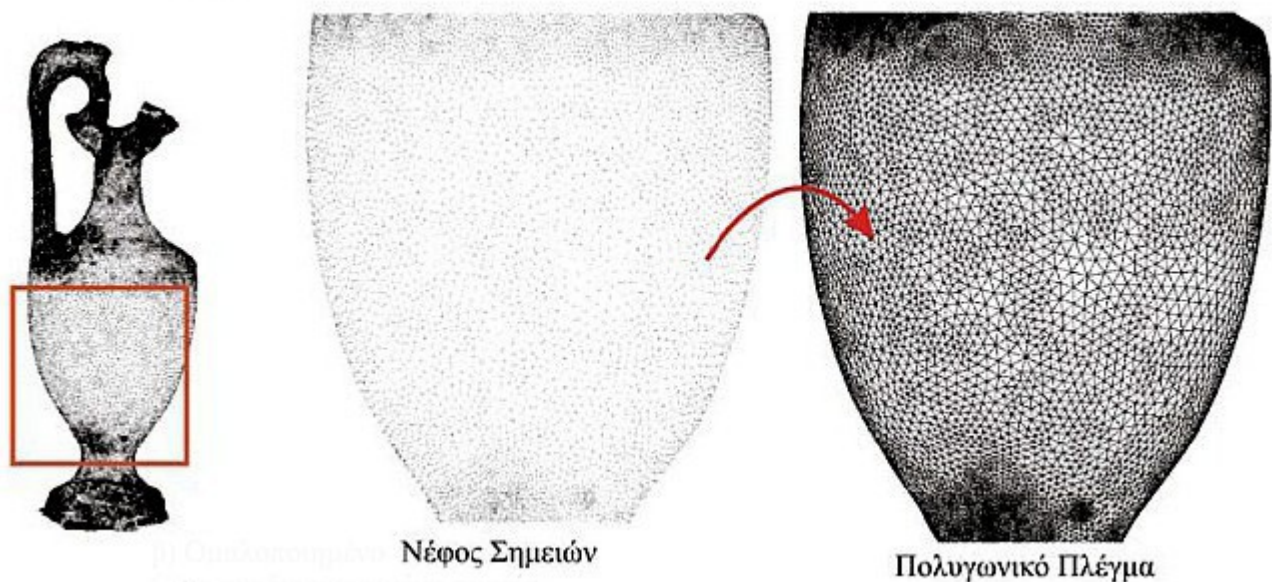
Το νέφος σημείων είναι μία δομή δεδομένων που αποτελείται από ένα σύνολο τρισδιάστατων σημείων (Σχήμα 16). Για κάθε τρισδιάστατο σημείο του συνόλου αποθηκεύονται οι συντεταγμένες του X, Y, Z στο τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς. Επίσης μπορούν να αποθηκεύονται οι τιμές των R, G, B (red, green, blue) δημιουργώντας ένα έγχρωμο σύνολο σημείων.



Σχήμα 16: Απεικόνιση νέφους σημείων από προσωπείο

Τα νέφη χρησιμοποιούνται για πολλούς σκοπούς, όπως για τη δημιουργία 3-Δ σχεδιασμού υποβοηθούμενου από υπολογιστή (CAD) μοντέλου κατασκευαστικού τμήματος, στην μετρολογία και έλεγχο της ποιότητας, καθώς και σε πλήθος εφαρμογών οπτικοποίησης.

Τα σύννεφα σημείων στις περισσότερες εφαρμογές δεν χρησιμοποιούνται απευθείας αλλά μετατρέπονται σε πολυγωνικό ή τριγωνικό πλέγμα, σε μοντέλα NURBS, είτε σε CAD μοντέλα μέσω μίας διαδικασίας που ονομάζεται ανασυγκρότηση επιφάνειας. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για την μετατροπή ενός σύννεφου σημείων σε μία 3-Δ επιφάνεια. Η προσέγγιση της επιφάνειας με τη τριγωνοποίηση Delaunay (Σχήμα 17), δημιουργεί ένα δίκτυο τριγώνων πάνω από τις υπάρχουσες κορυφές των σημείων.



Σχήμα 17: Μετατροπή νέφους σημείων σε πολυγωνικό πλέγμα

Ενότητα 3.3 Τρισδιάστατοι Σαρωτές

Η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων είναι εφικτή, κατά τρόπο γρήγορο και αξιόπιστο, μέσω της χρήσης της τεχνολογίας των σαρωτών. Ένας τρισδιάστατος σαρωτής είναι μια συσκευή που αναλύει ένα πραγματικό αντικείμενο με σκοπό να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με το σχήμα και πιθανόν και την εμφάνιση του (π.χ. χρώμα). Οι πληροφορίες που συλλέγονται μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευαστούν ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, μια μόνο σάρωση δεν μπορεί να παράγει ένα πλήρες μοντέλο του αντικειμένου. Συνήθως απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις, ακόμη και εκατοντάδες, από πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις για να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με όλες τις πλευρές του αντικειμένου. Αυτές οι σαρώσεις θα πρέπει να συγκεντρωθούν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς και στη συνέχεια να συγχωνευθούν για να δημιουργήσουν ένα πλήρες μοντέλο. Η χρήση των στόχων αναφοράς ή τα αντικείμενα στο περιβάλλον σάρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν πολλαπλές σαρώσεις, το καθένα για το δικό του σύστημα συντεταγμένων σε ένα ενιαίο, ευθυγραμμισμένο σύστημα συντεταγμένων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να αναπαρασταθούν γρήγορα και με ακρίβεια εξαιρετικά σύνθετα περιβάλλοντα. Η όλη διαδικασία, είναι συνήθως γνωστή ως 3D scanning pipeline.

Βιομηχανίες και άτομα που παραδοσιακά δουλεύουν με σχέδια δύο διαστάσεων και σχηματικά διαγράμματα, όλο και περισσότερο ανακαλύπτουν τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης σχεδίασης μέσω της χρήσης laser σαρωτών τριών διαστάσεων. Παραδοσιακά, οι μετρήσεις συλλέγονται χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό εργαλείων, όπως ταινίες μέτρησης, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, κ.α., ωστόσο, η χρήση των 3D laser σαρωτών επιτρέπει να συλλέγουν δεδομένα με μία μοναδική λήψη, μειώνοντας παράλληλα σημαντικά τα λάθη συλλογής δεδομένων βοηθώντας έτσι στον εξορθολογισμό της συνολικής ροής εργασίας.

Συλλέγοντας υψηλής ανάλυσης τρισδιάστατες εικόνες σύνθετων χώρων και γεωμετριών, οι 3D σαρωτές λέιζερ παρέχουν ένα γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο συλλογής εκατομμυρίων σημείων δεδομένων για χρήση σε ολοκληρωμένα 3D μοντέλα ή λεπτομερείς αναπαραστάσεις. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλου φάσματος (από ιατροδικαστική έρευνα μέχρι τεχνική διαχείριση και ιστορική συντήρηση). Οι 3D σαρωτές λέιζερ είναι μια ευέλικτη λύση ακριβείας που επιτρέπει να ληφθούν στοιχεία που προηγουμένως ήταν εφικτό, εξοικονομώντας παράλληλα, χρόνο και κεφάλαιο.

3.3.1 Επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής

Οι επίγειοι 3D σαρωτές, χρησιμοποιούν υπέρυθη τεχνολογία λέιζερ για να παράγουν εξαιρετικά λεπτομερείς τρισδιάστατες εικόνες των πολύπλοκων περιβαλλόντων και γεωμετριών σε λίγα μόνο λεπτά. Οι εικόνες που προκύπτουν είναι μια συναρμολόγηση των εκατομμυρίων 3D σημείων μέτρησης, δηλαδή ενός νέφους σημείων (point cloud).

Οι επίγειοι σαρωτές μπορούν να χωριστούν σε σαρωτές βασισμένους στη φάση και σε σαρωτές βασισμένους στην ώρα επιστροφής του σήματος (time of flight - TOF). Οι σαρωτές που είναι βασισμένοι στη φάση μετράνε τη διαφορά φάσης της ακτίνας λέιζερ που εκπέμπεται. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι αυξάνεται σημαντικά ο όγκος πληροφορίας που αποκτάται (>1 000 000 σημεία ανά δευτερόλεπτο). Οι σαρωτές στη δεύτερη κατηγορία (TOF), εκπέμπουν ένα παλμό φωτός και μετρούν το χρόνο ο οποίος θα χρειαστεί για να επιστρέψει πίσω στο σαρωτή.

Ο σαρωτής λέιζερ λειτουργεί εκπέμποντας μια δέσμη υπέρυθρου φωτός λέιζερ και διαβάζοντας την ενέργεια που αντανακλάται πίσω στο σαρωτή, τοποθετεί ένα σημείο σε έναν τρισδιάστατο χώρο. Το λέιζερ στέλνεται από το σαρωτή επάνω σε ένα περιστρεφόμενο καθρέφτη που προβάλλει ένα επίπεδο του λέιζερ φωτός έξω από το σαρωτή. Ολόκληρη η κεφαλή του σαρωτή τότε περιστρέφεται και το λέιζερ σαρώνει όλη την επιθυμητή περιοχή. Τα αντικείμενα που βρίσκονται στην πορεία του λέιζερ αντανακλούν ενέργεια πίσω στο σαρωτή και ο σαρωτής τοποθετεί ένα σημείο σε τρισδιάστατο χώρο.



Σχήμα 18: Επίγειος σαρωτής

Η πυκνότητα των συλλεγόμενων σημείων ελέγχεται από την ταχύτητα περιστροφής του σαρωτή. Όσο πιο αργά περιστρέφεται ο σαρωτής, τόσο πυκνότερο είναι το μοτίβο των σημείων που συλλέγονται, ενώ όσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο σαρωτής, τόσο λιγότερο πυκνό είναι το μοτίβο των σημείων που συλλέγονται. Με τον τρόπο αυτό, εκατομμύρια διακριτών μετρήσεων μπορούν να συλλέγονται μέσα σε λίγα λεπτά.

Τα συλλεχθέντα 3D δεδομένα είναι χρήσιμα για μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται ευρέως από την βιομηχανία του θεάματος στην παραγωγή ταινιών και video-games. Άλλες κοινές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας είναι ο βιομηχανικός σχεδιασμός, η ορθωτική και προσθετική, ο ποιοτικός έλεγχος πολιτιστικών αντικειμένων, κ.α.

Ο σκοπός ενός 3D σαρωτή είναι συνήθως η δημιουργία σημείων των γεωμετρικών δειγμάτων στην επιφάνεια του αντικειμένου. Τα σημεία αυτά μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την αλλαγή του σχήματος του υποκειμένου (μια διαδικασία που ονομάζεται ανακατασκευή). Αν οι πληροφορίες χρώματος συλλέγονται σε κάθε σημείο, τότε τα χρώματα στην επιφάνεια του αντικειμένου μπορούν επίσης να προσδιοριστούν.

Οι 3D σαρωτές έχουν πολλά κοινά με τις φωτογραφικές μηχανές. Όπως και φωτογραφικές μηχανές, έχουν έναν κωνικό οπτικό πεδίο και μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες μόνο για επιφάνειες που δεν κρύβονται. Ενώ μια φωτογραφική μηχανή συλλέγει πληροφορίες σχετικά με το χρώμα επιφάνειες στο οπτικό της πεδίο, ένας 3D σαρωτής συλλέγει πληροφορίες και για την απόσταση των επιφανειών στο οπτικό του πεδίο. Η «εικόνα» που παράγεται από έναν 3D σαρωτή περιγράφει την απόσταση για κάθε σημείο στην εικόνα. Αυτό επιτρέπει τον προσδιορισμό την τρισδιάστατης θέσης κάθε σημείου στην εικόνα.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Ακρίβεια απόστασης μέχρι $\pm 2\text{mm}$
- Ρυθμός μέτρησης έως και 976.000 σημεία/δευτερόλεπτο
- Διαστάσεις 240 x 200 x 100mm και βάρος 5 κιλά
- Εμβέλεια έως 130 μέτρα

3.3.2 Σαρωτής χειρός (3D hand scanner)

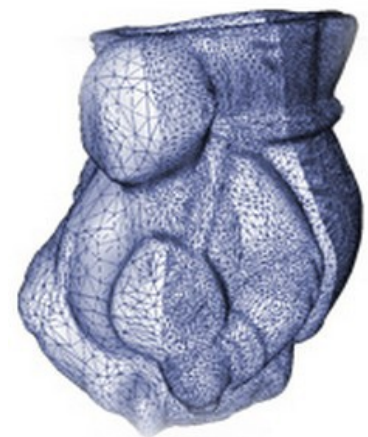
Ο τρισδιάστατος σαρωτής χειρός χρησιμοποιείται για σαρώσεις μικρής απόστασης από το εξεταζόμενο αντικείμενο. Ο σαρωτής αιχμαλωτίζει έως και 16 καρτέ ανά δευτερόλεπτο. Αυτά ευθυγραμμίζονται αυτόματα σε πραγματικό χρόνο, και καθιστούν τη σάρωση εύκολη και γρήγορη. Λόγω της υψηλής ανάλυσης, τα μοντέλα που παράγονται από τα δεδομένα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αρχαιολογία, στην ιατρική, στη βιομηχανική έρευνα, για τη δημιουργία ειδικών εφέ, κ.ά.



Σχήμα 19: Αντικείμενο



Σχήμα 20: Λήψη νέφους σημείων



Σχήμα 21: Νέφος σημείων αντικειμένου

Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Ανάλυση 3D έως 0.5 mm
- Σημειακή 3D ακρίβεια έως 0.1 mm
- Μικρός και συμπαγής με μέγεθος μόνο 26.1 x 15.8 x 6.4 cm και βάρος μόλις 850 gr
- Ιδανικός για ταχύτατες σαρώσεις υψηλής ακρίβειας αντικειμένων, με εμβέλεια έως 1 m, ταχύτητα εως 288.000 σημεία/δευτερόλεπτο.

3.3.3 Κινητός τρισδιάστατος σαρωτής (mobile 3D scanner)

Οι κινητοί τρισδιάστατοι σαρωτές [18] αποτελούνται από ένα κινούμενο όχημα (αυτοκίνητο, ελικόπτερο, σκάφος κ.α.) στο οποίο προσάρταται ένας σαρωτής μεγάλης κλίμακας. Χαρακτηρίζονται για την μεγάλη ακρίβεια, το χαμηλό κόστος και την πολύ γρήγορη συλλογή δεδομένων.



Σχήμα 22: Κινούμενος τρισδιάστατος σαρωτής προσαρτημένος σε αυτοκίνητο

Λόγω των δυνατοτήτων τους οι κινητοί τρισδιάστατοι σαρωτές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαρτογράφησης οδικών δικτύων, παράκτιων περιοχών, βυθών, σιδηροδρομικών δικτύων μέχρι ολόκληρων πόλεων. Στο σύστημα συνήθως προστίθεται GPS για τον προσανατολισμό του οχήματος.

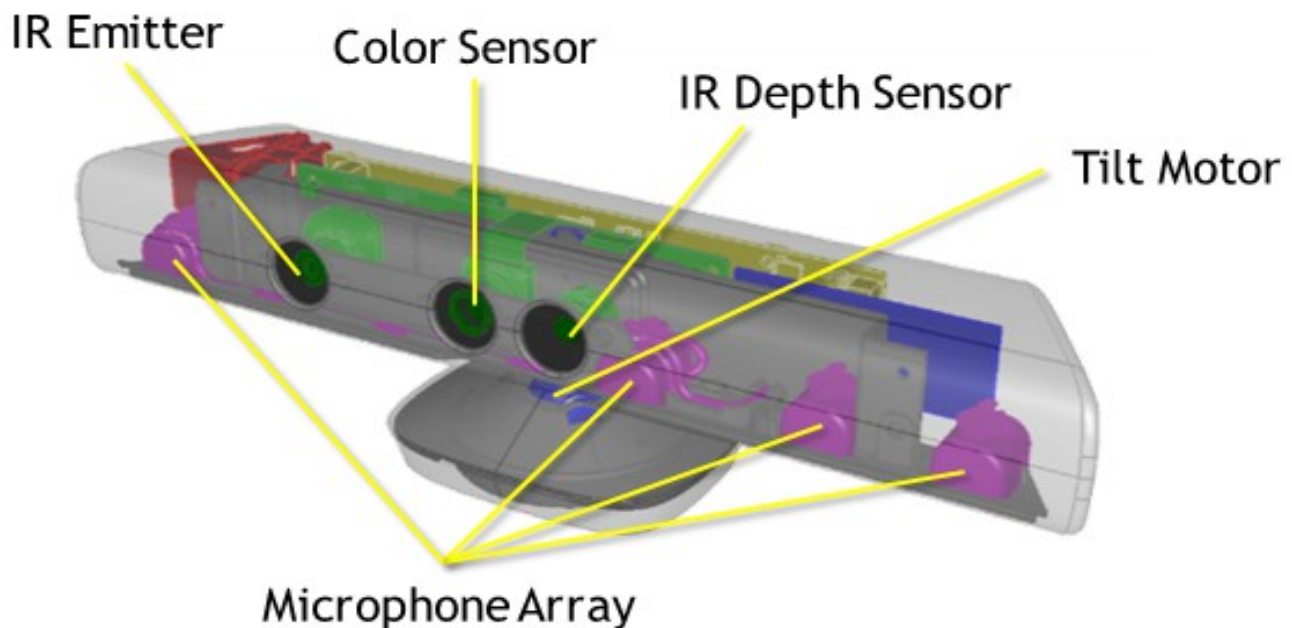
Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Ακρίβεια απόστασης μέχρι 10mm
- Ρυθμός μέτρησης έως και 600,000 σημεία / δευτερόλεπτο
- Εμβέλεια έως 600m

3.3.4 Σαρωτής Kinect

Ο σαρωτής Kinect [2] ήταν γνωστός και ως Project Natal. Πρόκειται για ένα αισθητήρα κίνησης ο οποίος αρχικά παρουσιάστηκε ως τηλεχειριστήριο παιχνιδιών. Στην συνέχεια όμως, με την κάμερα βάθους που παρέχει μια πολύ καλή ακρίβεια και με το χαμηλό κόστος του, κέντρισε το ενδιαφέρον των ερευνητών για νέες καινοτόμες εφαρμογές ή για την αντικατάσταση παλιών μεθόδων με μεθόδους όπου έχουν χαμηλότερο κόστος.

Ο αισθητήρας αυτός αποτελείται από δύο τμήματα. Το μηχανικό τμήμα το οποίο είναι η βάση του και η οποία έχει μηχανισμό που επιτρέπει στο Kinect να αλλάζει την οριζόντια κλίση του. Το τμήμα αυτό στηρίζει το κυρίως κομμάτι του αισθητήρα στο οποίο βρίσκονται οι αισθητήρες και οι κάμερες. Αναλυτικότερα, ένας αισθητήρας Kinect περιλαμβάνει μία RGB κάμερα, ένα πομπό υπέρυθρων (IR emitter), ένα υπέρυθρο αισθητήρα βάθους, μια σειρά από μικρόφωνα και ένα LED το οποίο υποδεικνύει πότε είναι σε λειτουργία.



Σχήμα 23: Αισθητήρας Kinect

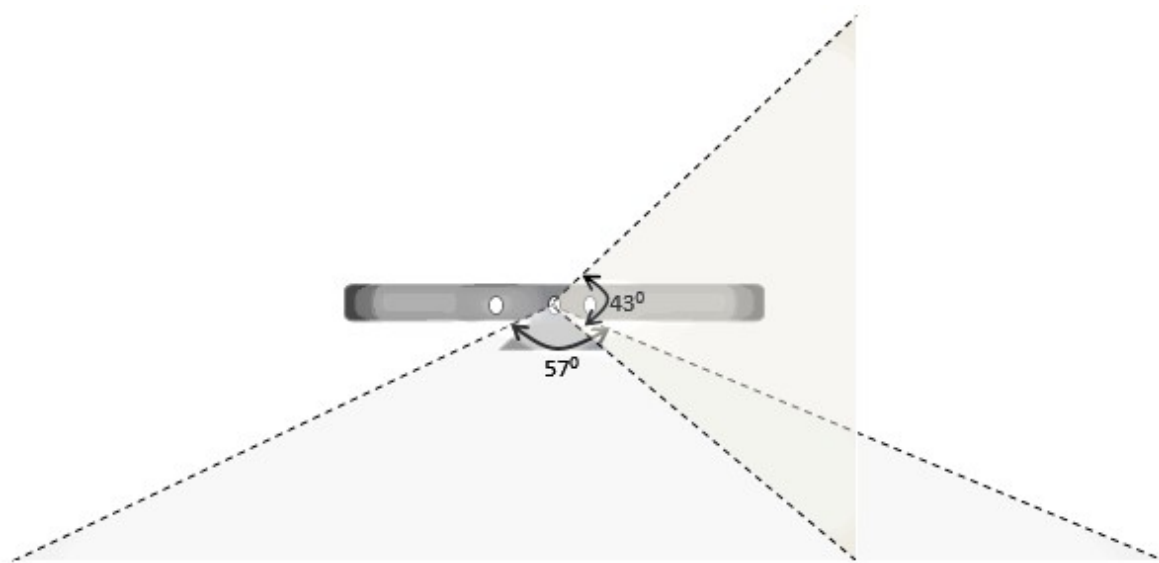
Ενότητα 3.4 Ανάλυση Αισθητήρα Kinect

Παρακάτω γίνεται μια πιο λεπτομερής ανάλυση των συστατικών στοιχείων, από τα οποία αποτελείται ο αισθητήρας Kinect.

3.4.1 Έγχρωμη κάμερα (RGB Camera)

Η έγχρωμη κάμερα είναι υπεύθυνη για τη λήψη και μετάδοση των έγχρωμων δεδομένων. Η λειτουργία της είναι η ανίχνευση των βασικών χρωμάτων, κόκκινου, πράσινου και μπλε από τη σκηνή η οποία θα απεικονιστεί. Η ροή των δεδομένων η οποία μεταδίδεται από την έγχρωμη κάμερα, είναι μια διαδοχή σταθερών εικόνων της σκηνής. Έχει τη δυνατότητα ταχύτητας λήψης 30 καρέ το δευτερόλεπτο με ανάλυση εικόνας 640×480 pixels, ή 12 καρέ το δευτερόλεπτο το οποίο δίνει και την μέγιστη ανάλυσή του η οποία είναι 1280×960 pixels.

Το οπτικό πεδίο της έγχρωμης κάμερας είναι 43° κάθετα και 57° οριζόντια (Σχήμα 24), όταν είναι σταθερός ο μηχανισμός κλίσης που έχει στην βάση του.

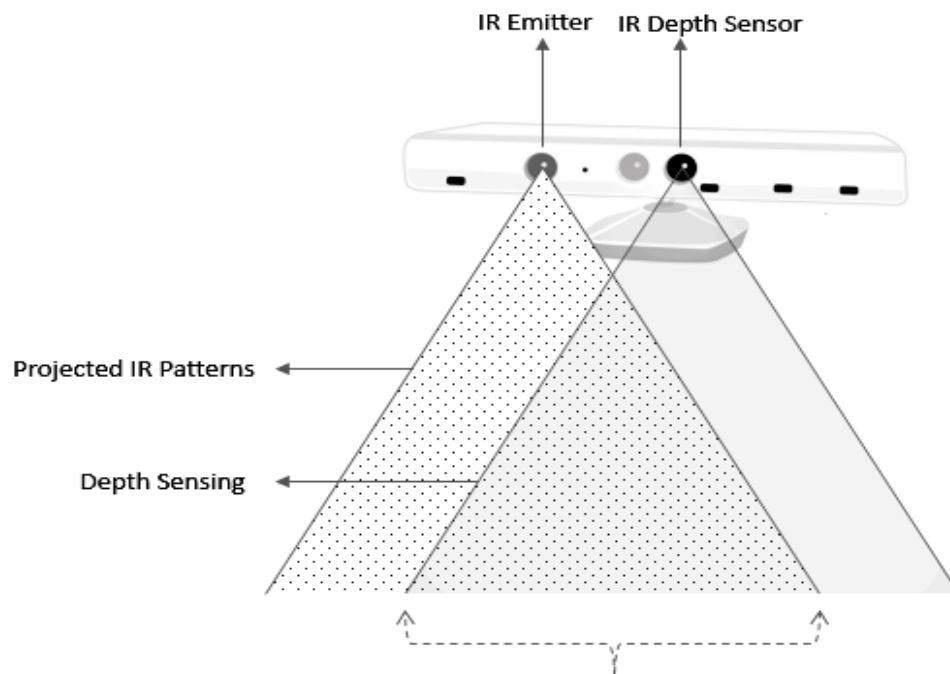


Σχήμα 24: Οπτικό πεδίο αισθητήρα

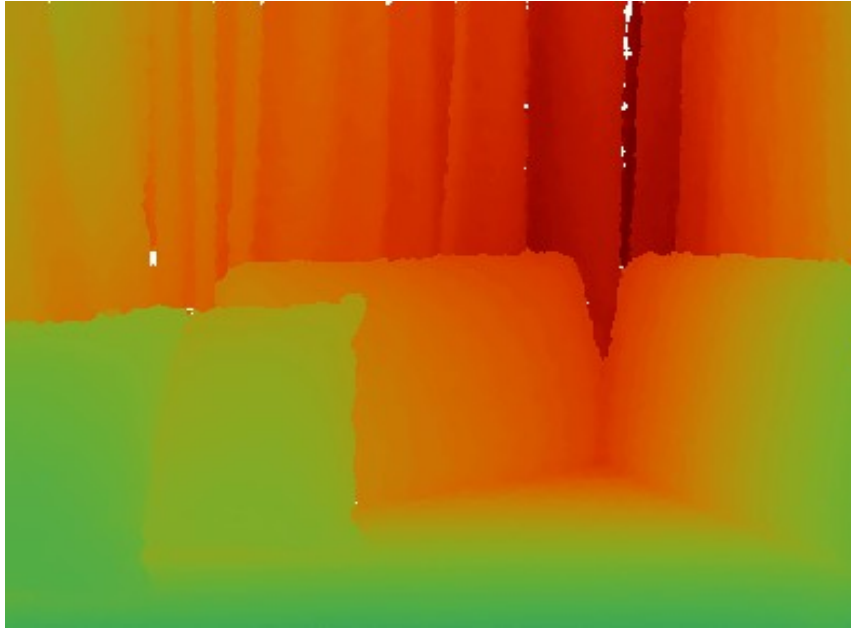
3.4.2 Πομπός και Αισθητήρας Υπερύθρων (IR emitter and IR depth sensor)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο πομπός υπέρυθρων εκπέμπει ένα πλαίσιο από υπέρυθρες κουκκίδες σε όλο το οπτικό πεδίο του αισθητήρα Kinect. Οι υπέρυθρες αυτές κουκκίδες είναι αόρατες στο ανθρώπινο μάτι, αλλά για τον υπέρυθρο αισθητήρα βάθους είναι ορατές, ο οποίος μετά την ανάκλασή τους στο αντικείμενο, τις λαμβάνει και με βάση αυτές παρέχει πληροφορία για το βάθος του αντικειμένου, σε σχέση με τον αισθητήρα, από όπου είχαν ανακλαστεί. Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται ενδεικτικά η λειτουργία του πομπού και του αισθητήρα υπέρυθρων, ενώ στο Σχήμα 26 φαίνεται η εικόνα βάθους όπως λαμβάνεται από τον αισθητήρα υπέρυθρων. Τα διάφορα χρώματα υποδεικνύουν την απόσταση των αντικειμένων του χώρου σε σχέση με τον αισθητήρα. Το πράσινο χρώμα υποδεικνύει κοντινή απόσταση ενώ το κόκκινο πιο μακρινή, σε σχέση με τη θέση που βρίσκεται ο αισθητήρας.

Η υποστηριζόμενη από τον αισθητήρα ανάλυση είναι 640×480 , 320×240 και 80×60 pixels, ενώ το οπτικό πεδίο του αισθητήρα παραμένει το ίδιο με την έγχρωμη κάμερα.

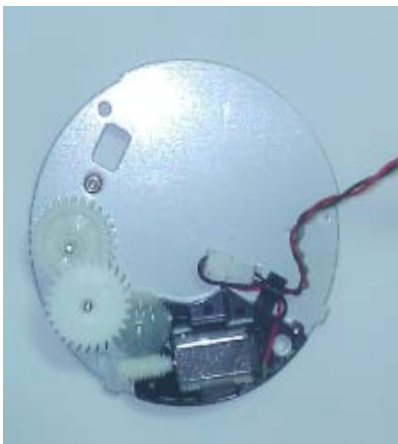


Σχήμα 25: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του πομπού και του αισθητήρα υπέρυθρων



Σχήμα 26: Εικόνα βάθους που λαμβάνεται από τον αισθητήρα υπερύθρων

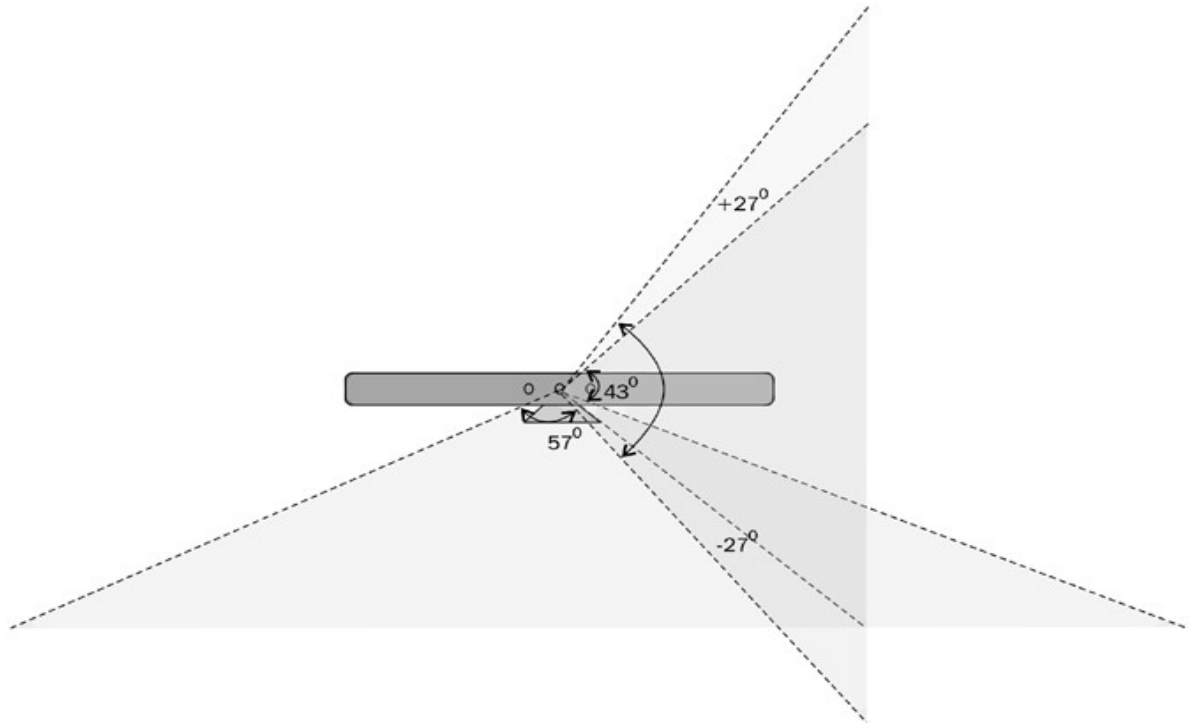
3.4.3 Κινητήρας Κλίσης (Tilt Motor)



Σχήμα 27: Κινητήρας κλίσης στη βάση του Kinect

Η βάση και το σώμα του αισθητήρα Kinect ενώνονται με ένα μικρό κινητήρα, ο οποίος απεικονίζεται στο Σχήμα 27. Η χρήση του είναι για να πετύχει ο αισθητήρας τη σωστή κατακόρυφη κλίση έτσι ώστε το αντικείμενο που θα απεικονιστεί να είναι πλήρως μέσα στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα.

Ο κινητήρας αυτός έχει την δυνατότητα να δώσει κλίση στον αισθητήρα 27° κάθετα προς τα πάνω και προς τα κάτω. Έτσι το δυνατό οπτικό πεδίο του αισθητήρα Kinect όταν αυτός παραμένει σταθερός σε μια συγκεκριμένη θέση αυξάνεται κατά 27° προς τα πάνω και 27° προς τα κάτω, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27



Σχήμα 28: Οπτικό πεδίο αισθητήρα Kinect λαμβάνοντας υπόψη και την κίνηση του κινητήρα κλίσης

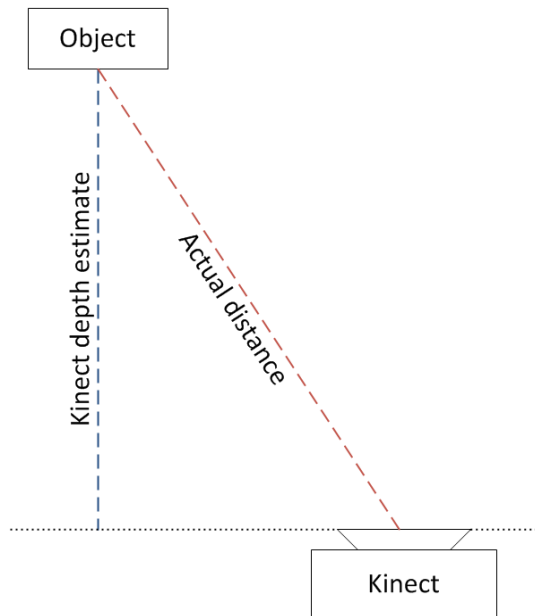
Ο αισθητήρας Kinect μπορεί να “φωτογραφίσει” μια σκηνή και να επιστρέφει ως έξοδο, τις τρισδιάστατες συντεταγμένες της. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό, είναι με χρήση της στερεοσκοπίας. Η στερεοσκοπία συνίσταται στο να συνθέτει πληροφορία από δύο ή περισσότερες δισδιάστατες εικόνες της σκηνής, που έχουν ληφθεί από διαφορετική γωνία, με τελικό αποτέλεσμα την αντίληψη του βάθους. Για αυτό το λόγο, συστήματα τρισδιάστατης απεικόνισης, είναι εφοδιασμένα με πολλές συσκευές λήψης εικόνων.

Οι δύο εικόνες οι οποίες συμβάλλουν στην 3D ανακατασκευή είναι η υπερύθρων και η έγχρωμη. Σχηματικά η λειτουργία αυτή φαίνεται στο Σχήμα 29.

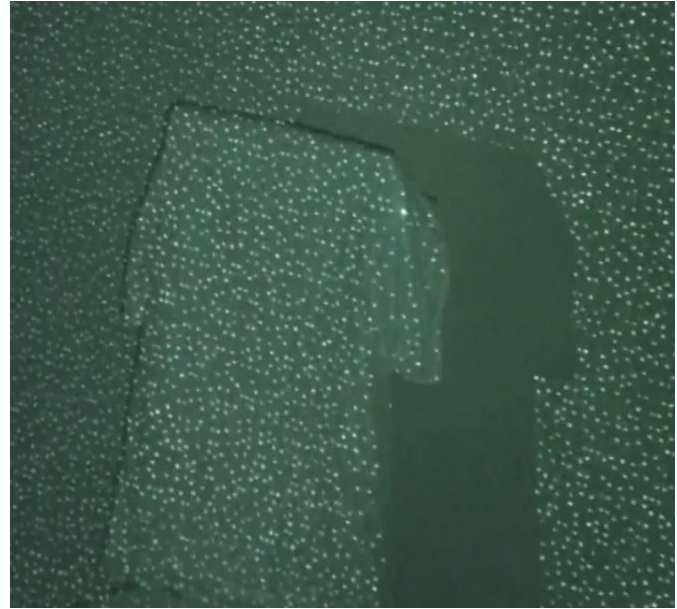


Σχήμα 29: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του αισθητήρα Kinect

Πιο συγκεκριμένα, εκπέμπεται αρχικά ένα IR μοτίβο (Σχήμα 31) από τον πομπό υπερύθρων, το οποίο στη συνέχεια λαμβάνεται από μία CMOS κάμερα. Αυτή η κάμερα έχει ένα ζωνοπερατό φίλτρο που επιτρέπει τις IR ακτίνες να περάσουν. Ο επεξεργαστής του Kinect χρησιμοποιεί τις σχετικές θέσεις των κουκκίδων του IR – μοτίβου για να υπολογίσει το βάθος στο οποίο βρίσκεται το κάθε pixel της εικόνας και έτσι τελικά σχηματίζεται η 3D αναπαράσταση του χώρου. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές βάθους που επιστρέφονται από το Kinect είναι η κάθετη απόσταση από το επίπεδο του αισθητήρα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 30.



Σχήμα 30: Η απόσταση που επιστρέφει ο αισθητήρας, είναι η κάθετη απόσταση από το επίπεδό του



Σχήμα 31: Κουκίδες υπερύθρων

Ο συνδυασμός του αισθητήρα βάθους μαζί με την κανονική κάμερα [17], είναι αυτός που επιτρέπει τελικά, με κατάλληλο λογισμικό, την 3D έγχρωμη ανακατασκευή ενός αντικειμένου του χώρου. Στο Πίνακα Πίνακας 1 συνοψίζονται οι κυριότερες τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα Kinect, οι οποίες ενδιαφέρουν για την ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος .

Ιδιότητα

Οπτικό πεδίο (λαμβάνοντας υπόψη τον κινητήρα κλίσης)

Ανάλυση έγχρωμης κάμερας

Ανάλυση αισθητήρα υπερύθρων

Ονομαστική χωρική ανάλυση (σε απόσταση 2 m)

Ονομαστικό εύρος βάθους

Ονομαστική ανάλυση βάθους (σε απόσταση 2 m)

Προδιαγραφές

57° οριζόντια, 43° ($\pm 27^\circ$)

κάθετα

640×480 με ρυθμό 30Hz

1280×960 με ρυθμό 12Hz

640×480 , 320×240 ,

80×60

3 mm

0.8 m – 3.5 m

1 cm

Πίνακας 1: Τεχνικές Προδιαγραφές Kinect

3.4.4 Μαθηματικό Μοντέλο Εύρεσης Βάθους

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση και επεξήγηση του μαθηματικού μοντέλου, για τον υπολογισμό του βάθους, για κάθε σημείο του νέφους. Στο Σχήμα 32 φαίνεται διαγραμματικά η σχέση μεταξύ της απόστασης ενός αντικειμένου k από τον αισθητήρα, και της επιφάνειας με τις κουκκίδες αναφοράς. Η απόσταση του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο (object plane) με το επίπεδο αναφοράς (reference plane), είναι η διαφορά η οποία θέλουμε να υπολογίσουμε. Ο υπολογισμός γίνεται στον τρισδιάστατο χώρο με αρχή των αξόνων στο κέντρο της κάμερας το οποίο συμπίπτει με το προβολικό κέντρο. Ο άξονας Z είναι κάθετος στο επίπεδο της εικόνας και εκτείνεται προς το αντικείμενο και ο άξονας X είναι παράλληλος με την νοητή γραμμή η οποία ενώνει την κάμερα με τον πομπό υπερύθρων.

Υποθέτουμε ότι η κουκκίδα βρίσκεται στο επίπεδο αναφοράς με απόσταση Z_o από τον αισθητήρα και η απεικόνισή της απεικονίζεται στο επίπεδο της εικόνας. Αν η κουκκίδα μετακινηθεί ως προς τον αισθητήρα, τότε η απεικόνισή της στο επίπεδο της εικόνας θα παρουσιάσει μια μετακίνηση στον άξονα X . Αυτή την μετακίνηση μπορούμε να την υπολογίσουμε με τη βοήθεια όμοιων τριγώνων:

$$\frac{D}{b} = \frac{Z_o - Z_k}{Z_o} \quad (1)$$

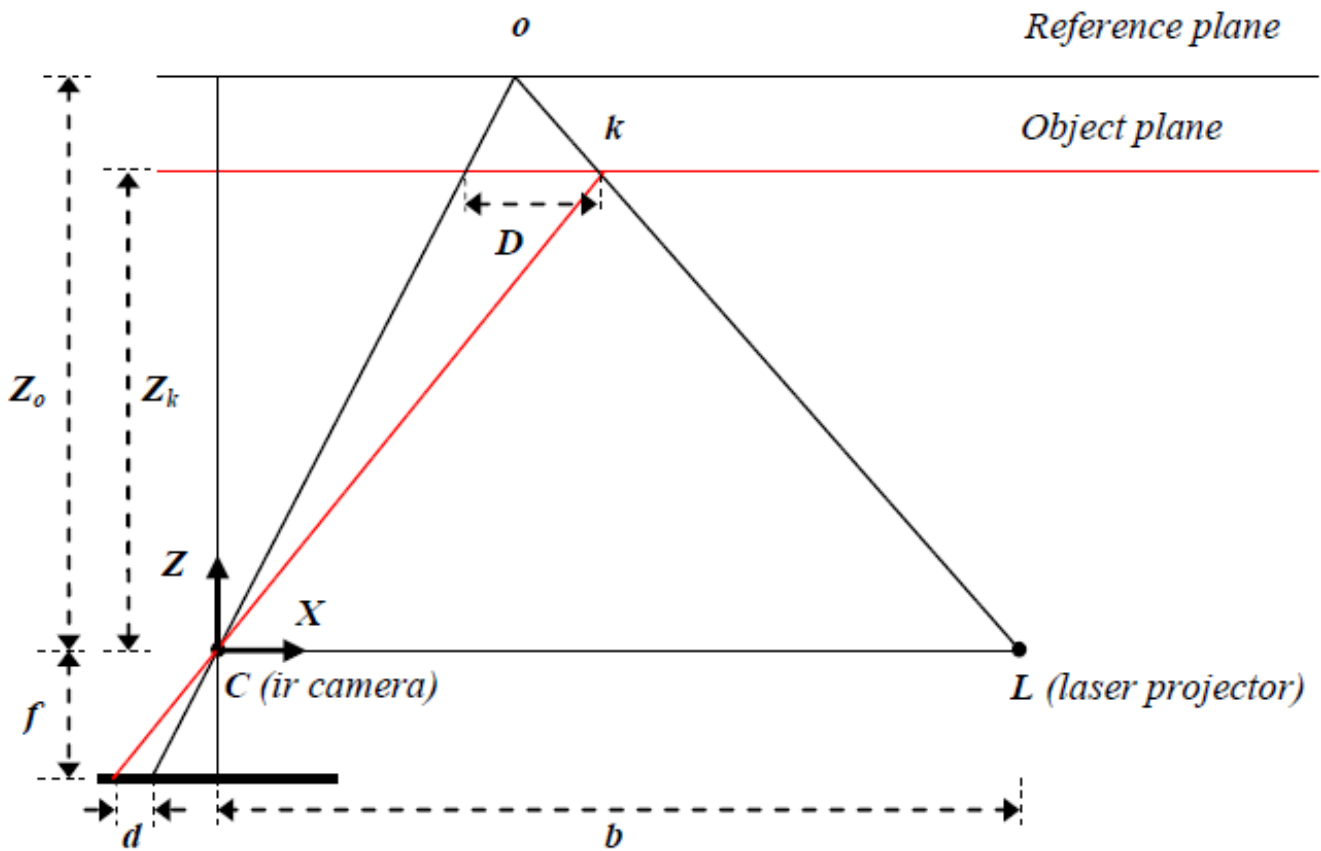
και

$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z_k} \quad (2)$$

Όπου Z_k υποδηλώνει την νέα απόσταση την οποία έχει η κουκκίδα και κατά συνέπεια το επίπεδο του αντικειμένου, b είναι η απόσταση μεταξύ της κάμερας από τον πομπό υπερύθρων, f είναι η εστιακή απόσταση της κάμερας, D είναι η μετακίνηση της κουκκίδας στο επίπεδο του αντικειμένου και d είναι η παρατηρούμενη μετακίνηση της κουκκίδας στο επίπεδο της εικόνας. Συνδυάζοντας τις (1) και (2) λύνοντας ως προς το Z_k έχουμε:

$$Z_k = \frac{Z_o}{1 + \frac{Z_o}{fb} d} \quad (3)$$

Η εξίσωση (3) αποτελεί και το μαθηματικό μοντέλο για την εξαγωγή του βάθους από την παρατηρούμενη διαφορά με όρους οι οποίοι είναι σταθεροί (Z_o, f, b) και μπορούν να υπολογιστούν.



Σχήμα 32: Γράφημα για την εξαγωγή της σχέσης που δίνει τη μέτρηση του βάθους, με βάση τη γεωμετρία του χώρου

Λαμβάνοντας υπόψη και τις εξισώσεις της προοπτικής προβολής (4), τότε οι συντεταγμένες του κάθε σημείου του αντικειμένου μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τις εξισώσεις (5).

$$x_k = \frac{f}{Z_k} X_k \quad (4)$$

$$y_k = \frac{f}{Z_k} Y_k$$

$$X_k = \frac{Z_k}{f} (x_k - x_0 + \delta x) \quad (5)$$

$$Y_k = \frac{Z_k}{f} (y_k - y_0 + \delta y)$$

όπου x_k και y_k είναι οι συντεταγμένες στην εικόνα του σημείου, x_0 και y_0 είναι οι συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας στο επίπεδο εικόνας, δx και δy είναι οι διορθώσεις για την διαταραχή των φακών του αισθητήρα.

3.4.5 Βαθμονόμηση Αισθητήρα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι παράμετροι βαθμονόμησης που εμπλέκονται στο μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό των 3D συντεταγμένων από τις λαμβανόμενες μετρήσεις του αντικειμένου, περιλαμβάνουν :

- εστιακό μήκος (f)
- συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας στο επίπεδο εικόνας (x_0, y_0)
- διορθώσεις για την διαταραχή των φακών του αισθητήρα ($\delta x, \delta y$)
- απόσταση μεταξύ της κάμερας από τον πομπό υπερύθρων (b)
- απόσταση του προτύπου αναφοράς (Z_0)

Επιπλέον, μπορούμε να εξετάσουμε και την ύπαρξη μιας εσφαλμένης γωνίας μεταξύ του άξονα X των συντεταγμένων της εικόνας και της ευθείας b της βάσης. Ωστόσο αυτό δεν επηρεάζει τον υπολογισμό των συντεταγμένων του αντικειμένου αν ορίσουμε το σύστημα συντεταγμένων του βάθους να είναι παράλληλο με σύστημα συντεταγμένων της εικόνας αντί με την ευθεία της βάσης. Έτσι μπορούμε να αγνοήσουμε την πιθανή ύπαρξη εσφαλμένης γωνίας μεταξύ της βάσης και του άξονα X .

Οι παράμετροι, εστιακό βάθος, συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας στο επίπεδο εικόνας και η διαταραχή των φακών του αισθητήρα μπορούν να βαθμονομηθούν εύκολα από τη βαθμονόμηση της υπέρυθρης κάμερας. Σε αντίθεση με αυτά, η ευθεία βάσης και η απόσταση στην οποία αποκτήθηκε το πρότυπο αναφοράς είναι δύσκολο να βαθμονομηθούν. Ο λόγος είναι διότι ο εσωτερικός επεξεργαστής του Kinect κάνει υπολογισμούς σχετικά με το βάθος στο οποίο βρίσκεται το κάθε σημείο, με μικρότερη ανάλυση. Επομένως στην εξίσωση (3), οι ανισότητες (disparities) d αντικαθίστανται από τον όρο $md' + n$, όπου το d' είναι οι κανονικοποιημένες ανισότητες και m, n είναι οι παράμετροι της γραμμικής κανονικοποίησης. Έτσι η εξίσωση (3) μετατρέπεται σε:

$$Z_k^{-1} = \frac{m}{fb} d' + \left(Z_0^{-1} + \frac{n}{fb} \right) \quad (6)$$

Η εξίσωση (6) μας εκφράζει τη γραμμική σχέση μεταξύ του βάθους και της αντίστοιχης κανονικοποιημένης ανισότητας d' . Έτσι παρατηρούμε ότι, με την απεικόνιση ενός αριθμού από σημεία γνωστής απόστασης από τον αισθητήρα, οι παράμετροι της γραμμικής σχέσης μπορούν να υπολογιστούν με την χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων.

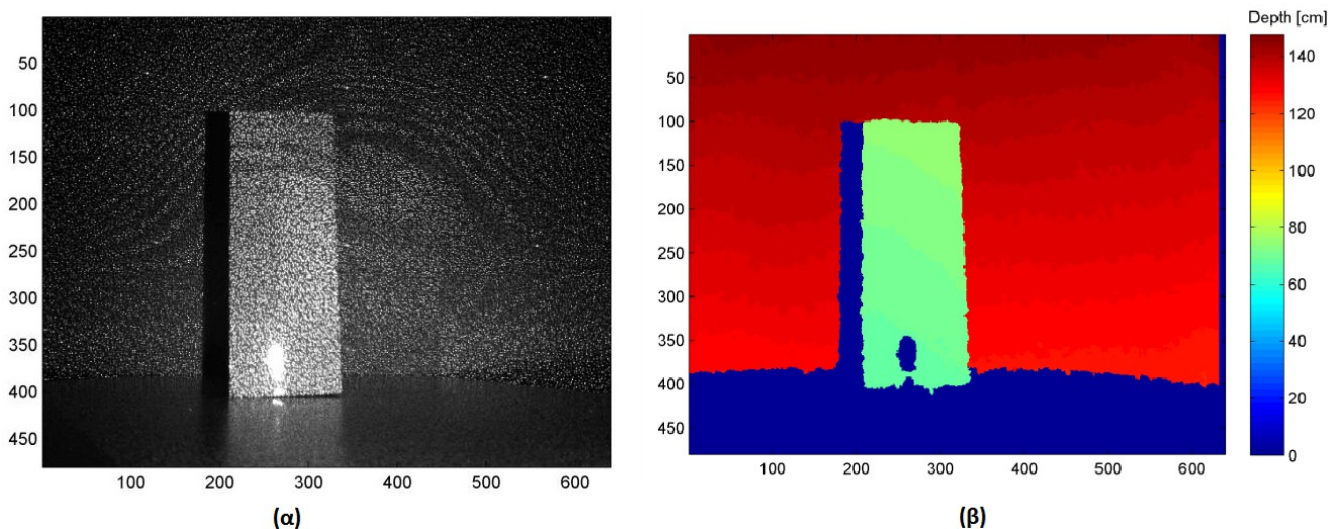
3.4.6 Πηγές σφαλμάτων

Τα σφάλματα στην απεικόνιση του αισθητήρα [16] μπορούν να προέλθουν από διάφορες πηγές όπως είναι από τον ίδιο τον αισθητήρα, από τις συνθήκες στις οποίες κάνουμε μέτρηση και από τις ιδιότητες της επιφάνειας του αντικειμένου προς απεικόνιση.

Τα εγγενή σφάλματα του αισθητήρα οφείλονται στη λανθασμένη βαθμονόμηση και στη λανθασμένη μέτρηση των ανισοτήτων d . Υπό αυτές τις συνθήκες θα οδηγείται ο χρήστης σε συστηματικά σφάλματα στις συντεταγμένες του αντικειμένου. Τα συστηματικά σφάλματα αντιμετωπίζονται με μια σωστή βαθμονόμηση όπως περιγράφηκε παραπάνω.

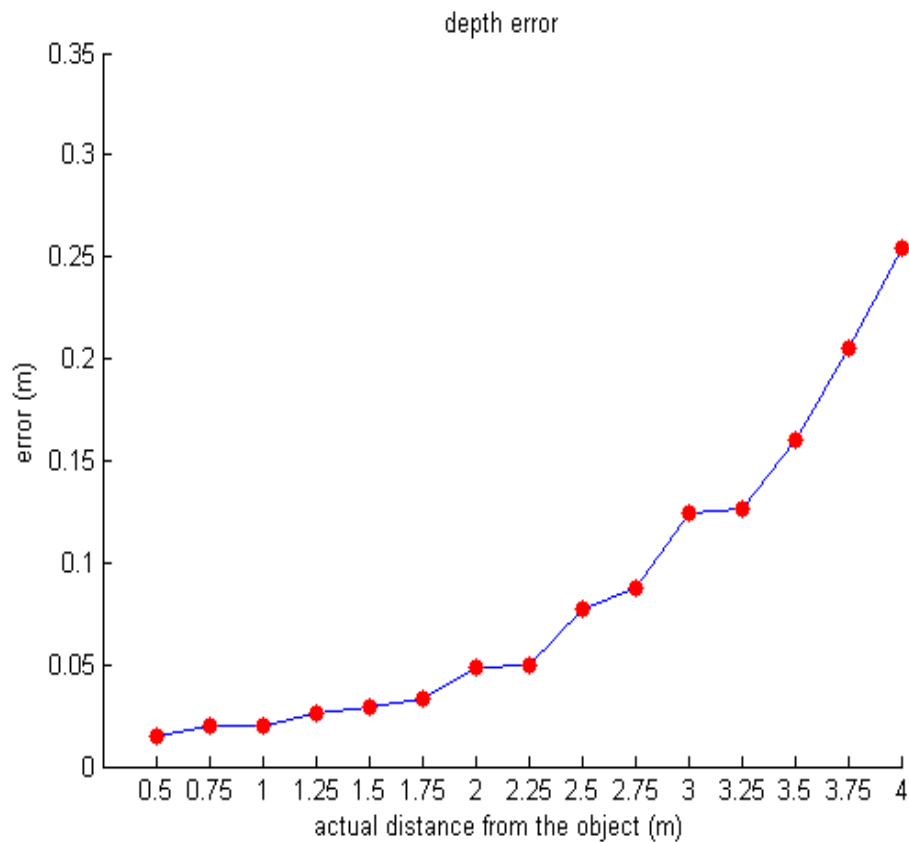
Σφάλματα από τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται ο αισθητήρας, οφείλονται κυρίως στο φωτισμό και τη γεωμετρία της απεικόνισης. Ο δυνατός φωτισμός έχει ως αποτέλεσμα οι κουκκίδες υπερύθρων να εμφανίζονται με χαμηλή αντίθεση στην εικόνα υπερύθρων, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ακραίες τιμές ή/και κενά στο νέφος σημείων. Η γεωμετρία απεικόνισης περιλαμβάνει την απόσταση του αντικειμένου από τον αισθητήρα καθώς επίσης και τον προσανατολισμό του σε σχέση με τον αισθητήρα.

Οι ιδιότητες της επιφάνειας του αντικειμένου επηρεάζουν και αυτές την ποιότητα του νέφους σημείων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 33, λείες και λαμπερές επιφάνειες οι οποίες είναι κατά κάποιο τρόπο υπερεκτεθειμένες στην εικόνα υπερύθρων εμφανίζουν κενά στο νέφος σημείων (κάτω μέρος του αντικειμένου).



Σχήμα 33: (α) Εικόνα υπερύθρων, (β) Αντίστοιχη εικόνα βάθους

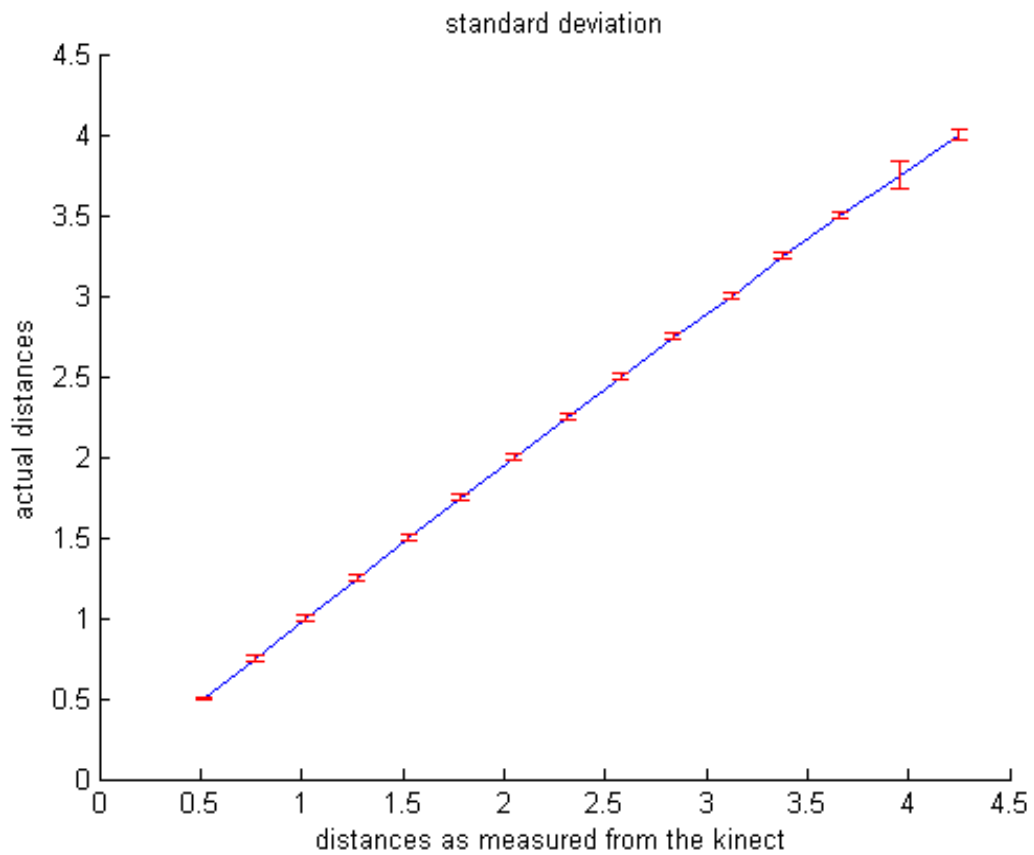
Τέτοιου είδους σφάλματα δεν αναμένεται να υπάρχουν κατά τη λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος, διότι οι μετρήσεις που θα λαμβάνονται αφορούν ανθρώπινες πλάτες, οι οποίες δεν εμπίπτουν στην κατηγορία των λείων και λαμπερών επιφανειών. Για να γίνει εξακρίβωση των σφαλμάτων που υπάρχουν αναφορικά με την απόσταση του αντικειμένου από τον αισθητήρα αλλά και το φωτισμό, λήφθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις:



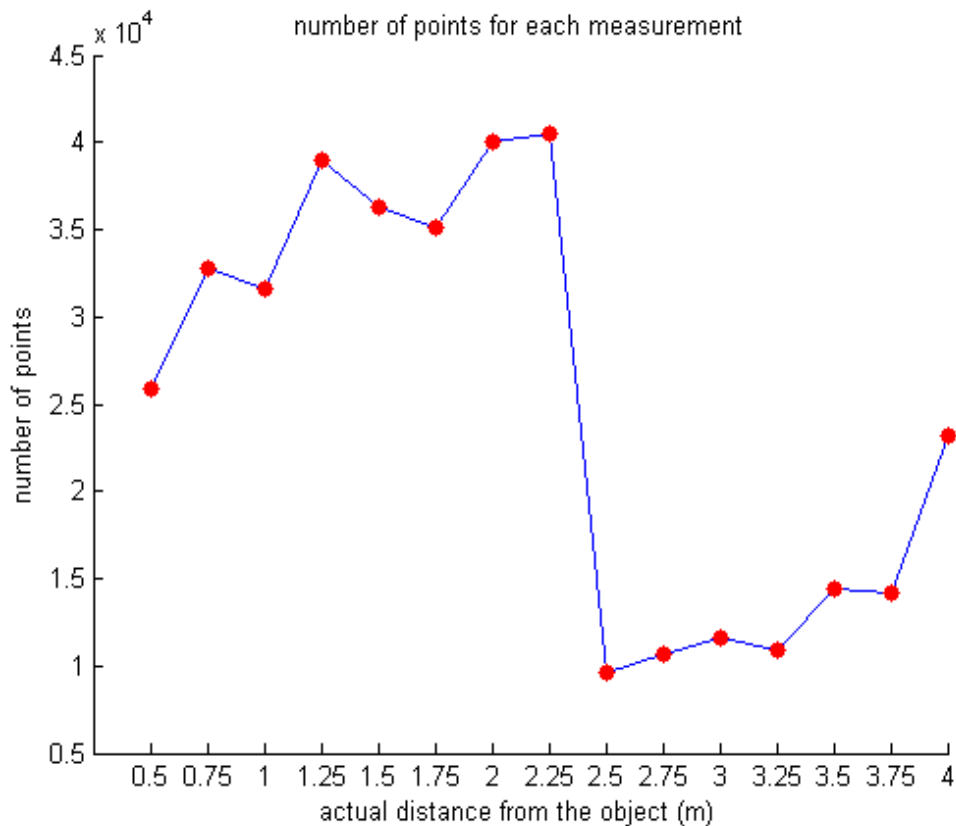
Σχήμα 34: Σφάλμα στον υπολοισισμό της απόστασης από το αντικείμενο. Στον οριζόντιο άξονα είναι η ακριβής απόσταση μεταξύ αντικειμένου-αισθητήρα και στον κατακόρυφο άξονα είναι η διαφορά μεταξύ ακριβούς απόστασης και απόστασης όπως την υπολογίζει ο αισθητήρας

Αρχικά είχαμε ένα αντικείμενο γνωστών διαστάσεων (σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου) ($38\text{cm} \times 15\text{cm} \times 12\text{cm}$) το οποίο είχε περιστραφεί έτσι ώστε η επιφάνεια ($38\text{cm} \times 15\text{cm}$) να είναι στραμμένη προς τον αισθητήρα. Στη συνέχεια το αντικείμενο αυτό τοποθετούνταν σε γνωστή απόσταση κάθετα προς τον αισθητήρα και λαμβάνονταν μετρήσεις. Τέλος υπολογίζονταν για κάθε λήψη ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των σημείων κατά τον άξονα Z.

Ιδανικά, θα έπρεπε η μέση τιμή να ήταν ακριβώς η απόσταση του αντικειμένου από τον αισθητήρα και η τυπική απόκλιση να ήταν μηδενική. Όμως, όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 34 όσο αυξάνεται η απόσταση από τον αισθητήρα αυξάνεται και το σφάλμα. Επιπρόσθετα, στα Σχήμα 35 και Σχήμα 36, φαίνονται η απόσταση που μετράται από τον αισθητήρα σε σχέση με την πραγματική, όπου έχουν υπερτεθεί τα διαστήματα της τυπικής απόκλισης και το πλήθος των σημείων του νέφους για κάθε μια λήψη, αντίστοιχα.



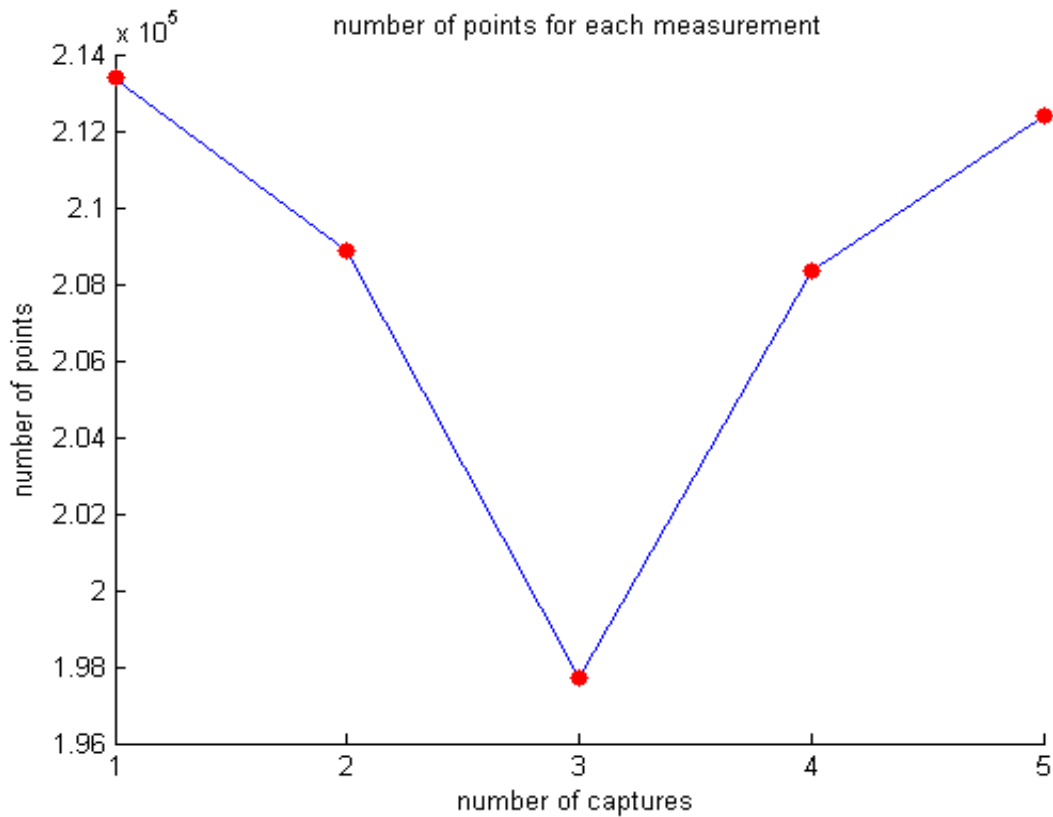
Σχήμα 35: Απόσταση που μετράται από τον αισθητήρα σε σχέση με την πραγματική, όπου έχουν υπερτεθεί τα διαστήματα της τυπικής απόκλισης



Σχήμα 36: Πλήθος σημείων νέφους για κάθε λήψη

Γενικά παρατηρούμε ότι πάνω από τα 2 μέτρα το νέφος σημείων που αναπαριστά το αντικείμενο δεν είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικό είτε λόγω της αύξησης του σφάλματος είτε λόγω της σημαντικής μείωσης στο πλήθος των σημείων που το αποτελούν.

Για να ληφθεί υπόψη η επίδραση του φωτισμού χρησιμοποιήθηκε ως αντικείμενο ένα ανθρώπινο ομοίωμα πλάτης. Οι λήψεις γίνονταν με κανονικό φωτισμό δωματίου ο οποίος μειωνόταν μέχρι να γίνει σκοτάδι. Στο Σχήμα 37 φαίνεται η μεταβολή του πλήθους των σημείων του ανάλογα με το φωτισμό. Η λήψη #1 έγινε σε κανονικές συνθήκες φωτισμού ενώ η λήψη #5 έγινε σε συνθήκες σκοταδιού. Παρατηρούμε ότι η μείωση του φωτισμού δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του νέφους σημείων. Παρόλα αυτά προτείνεται η λήψη των δεδομένων να γίνεται σε συνθήκες κανονικού φωτισμού ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη η οπτικοποίηση τους, αφού θα λαμβάνεται πληροφορία εκτός από το βάθος αλλά και από το χρώμα της επιφάνειας.



Σχήμα 37: Μεταβολή στο πλήθος των σημείων του νέφους ανάλογα με το φωτισμό

3.4.7 Μοντέλο Θορύβου

Υποθέτοντας ότι στην εξίσωση (6), οι παράμετροι βαθμονόμησης είναι με ακρίβεια προσδιορισμένοι και ότι η παράμετρος d είναι τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή, μπορούμε να επεξεργαστούμε τη διακύμανση των μετρήσεων ανισότητας d για τη λήψη της διακύμανσης των μετρήσεων βάθους, με την παρακάτω μεθοδολογία:

Η γενική έκφραση της διακύμανσης των μετρήσεων του βάθους δίνεται από την εξίσωση (7).

$$\sigma_{Z_k}^2 = \left(\frac{\partial Z_k}{\partial d} \right)^2 \sigma_d^2, \quad (7)$$

Λαμβάνοντας υπόψη και την εξίσωση (6) έχουμε τελικά την έκφραση της τυπικής απόκλισης του βάθους.

$$\sigma_{Z_k} = \left(\frac{m}{fb} \right) Z_k^2 \sigma_{d'} \quad (8)$$

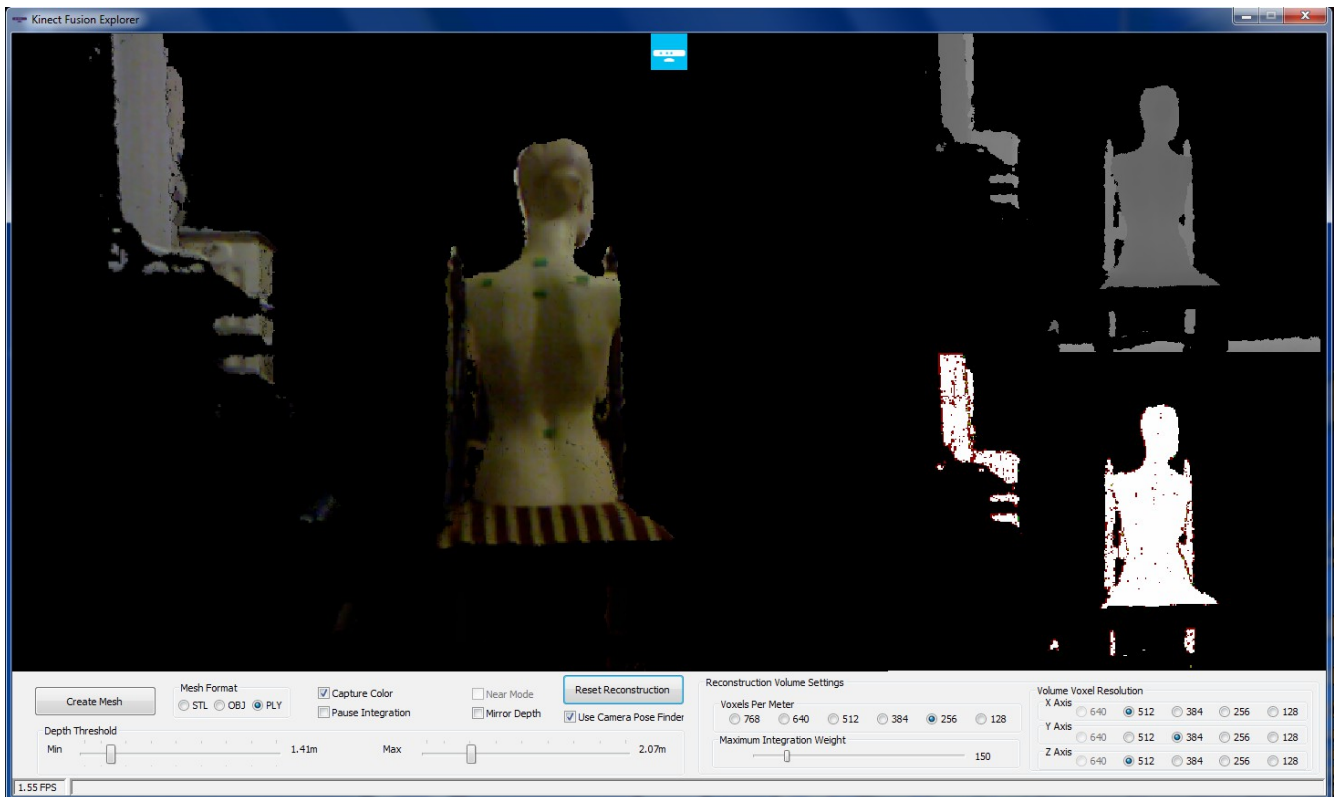
όπου $\sigma_{d'}$ και σ_{Z_k} είναι η τυπική απόκλιση των κανονικοποιημένων μετρήσεων των ανισοτήτων και η τυπική απόκλιση του υπολογισμένου βάθους, αντίστοιχα. Η εξίσωση (8) μας λέει ουσιαστικά, ότι το τυχαίο σφάλμα κατά τη μέτρηση του βάθους είναι ευθέως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης του αντικειμένου από τον αισθητήρα. Αφού το βάθος εμπλέκεται στον υπολογισμό των X_k, Y_k - εξισώσεις (5) αναμένουμε ότι το σφάλμα τους θα είναι ευθέως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης του αντικειμένου από τον αισθητήρα. Διαδίδοντας τα σφάλματα στις εξισώσεις (5) και υποθέτοντας ότι το τυχαίο σφάλμα των συντεταγμένων x, y της εικόνας μπορεί να αγνοηθεί, καταλήγουμε στην έκφραση του τυχαίου σφάλματος για τα X_k, Y_k .

$$\sigma_{X_k} = \left(\frac{mx}{f^2 b} \right) Z_k^2 \sigma_{d'} \quad (9)$$

$$\sigma_{Y_k} = \left(\frac{my}{f^2 b} \right) Z_k^2 \sigma_{d'}$$

Ενότητα 3.5 Λογισμικό Λήψης 3D Σημείων

Η Συλλογή των δεδομένων γίνεται κάνοντας χρήση της εφαρμογής Kinect Fusion Explorer – D2D [7], η οποία διατίθεται δωρεάν. Το Kinect Fusion είναι ένα από τα πιο προσιτά σε επίπεδο κόστους εργαλεία που διατίθενται σήμερα για τη δημιουργία 3D μοντέλων ακριβείας, για αντικείμενα από τον πραγματικό κόσμο. Το Kinect Fusion συγχωνεύει πολλαπλά στιγμιότυπα, τα οποία έχουν καταγραφεί μέσω του αισθητήρα Kinect δημιουργώντας ολοκληρωμένα έγχρωμα 3D μοντέλα.



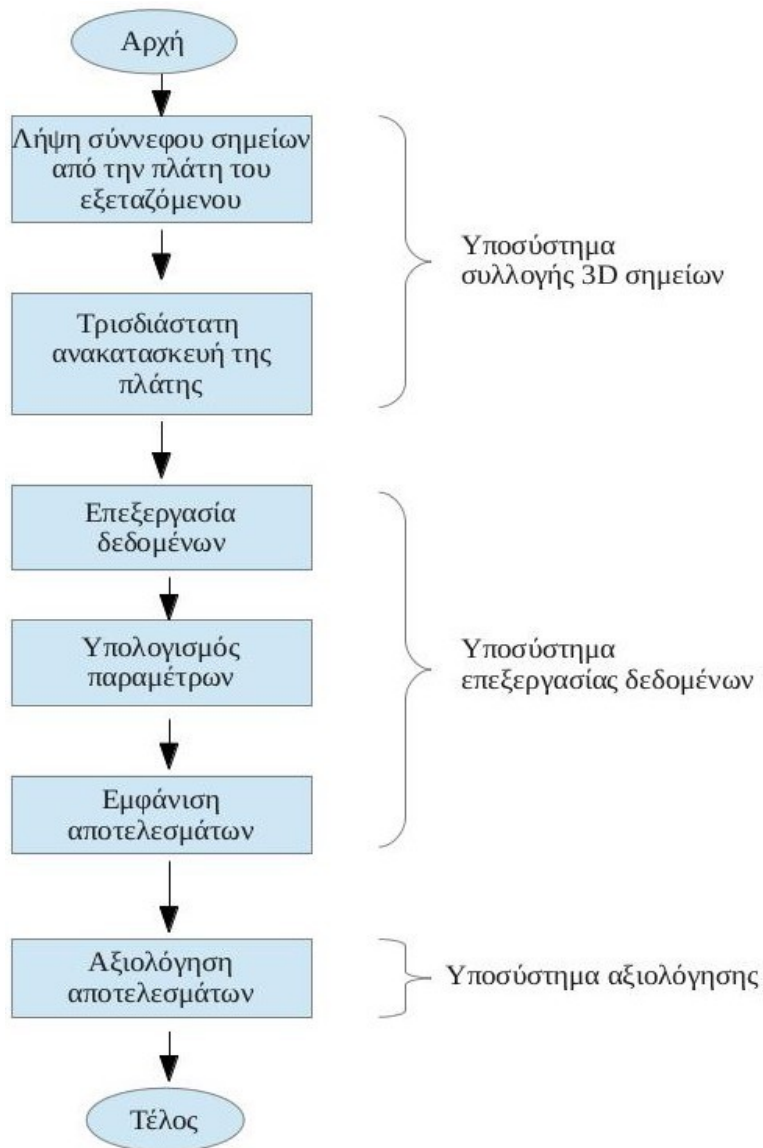
Σχήμα 38: Διεπαφή Εφαρμογής Kinect Fusion Explorer

Ενότητα 3.6 Προτεινόμενο Σύστημα

Το προτεινόμενο σύστημα [36] χωρίζεται στα παρακάτω τρία επιμέρους υποσυστήματα:

- Σύστημα Συλλογής 3D δεδομένων
- Σύστημα Υπολογισμού δεικτών
- Σύστημα Αξιολόγησης

Στην συνέχεια παρουσιάζονται μέσω block διαγράμματος τα συστήματα και η διασύνδεση τους



Σχήμα 39: Block διάγραμμα συστήματος

Μέσω της εφαρμογής Kinect Fusion Explorer γίνεται η συλλογή των δεδομένων. Στην συνέχεια το νέφος σημείων της πλατης του εξεταζομένου που λαμβάνεται, δίνεται ως είσοδος στο σύστημα υπολογισμού δεικτών. Το σύστημα επεξεργάζοντας τα δεδομένα είναι σε θέση να εξάγει κατάλληλους δείκτες.

Με την ολοκλήρωση του υποσυστήματος επεξεργασίας, στη περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα του ασθενή από προηγούμενη εξέταση, οι δείκτες των εξετάσεων συγκρίνονται και εξετάζεται η εξέλιξη της σκολίωσης

Ενότητα 3.7 Συμπεράσματα

Στο τρίτο κεφάλαιο μετά από μία αναφορά όλων των συσκευών σάρωσης τρισδιάστατων νέφων σημείων έγινε εκτενής ανάλυση του αισθητήρα Kinect που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα. Ύστερα από πειραματική αξιολόγηση προτείνεται ο εξεταζόμενος να απέχει 0.8 έως 1 μέτρο από τον αισθητήρα και η λήψη των δεδομένων να γίνεται σε κανονικές συνθήκες φωτισμού.

Στη συνέχεια έγινε η προβολή του λογισμικού που χρησιμοποιείται για την λήψη των δεδομένων και στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάστηκε το προτεινόμενο σύστημα, προσδιορίζοντας τα επιμέρους υποσυστήματά που το πλαισιώνουν.

Κεφάλαιο 4 Ανάπτυξη Συστήματος

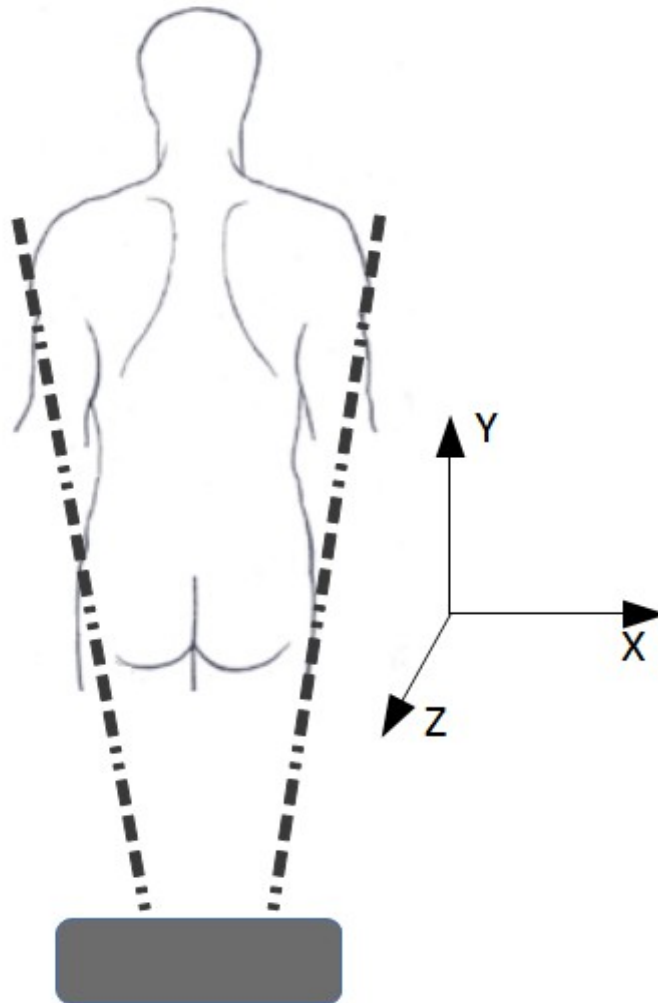
Ενότητα 4.1 Εισαγωγή

Ο ακτινογραφικός έλεγχος αποτελεί τη πιο σαφή μέθοδο διάγνωσης και παρακολούθησης της ΙΣ καθώς η γωνία Cobb που εξάγεται, προσδιορίζει επακριβώς την απόκλιση της σπονδυλικής στήλης από την φυσιολογική της θέση [31]. Η επιβάρυνση όμως της υγείας του εξεταζόμενου λόγω της έκθεσης του στην ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει οδηγήσει στην αναζήτηση κατάλληλων δεικτών, που θα εξάγονται από την επιφάνεια της πλάτης του εξεταζόμενου, και θα παραμετροποιούν την γωνία Cobb.

Η αναζήτηση κατάλληλων δεικτών ([4], [6], [15]) αποτέλεσε και την απαρχή της παρούσας διπλωματική εργασίας, με απώτερο σκοπό την παραμετροποίηση της γωνίας Cobb. Η ανάπτυξη της εφαρμογής που ακολούθησε είχε ως σκοπό να ορίσει επακριβώς τις διαδικασίες συλλογής, επεξεργασίας των δεδομένων και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σε μία κοινή πλατφόρμα.

Ενότητα 4.2 Διαδικασία Λήψης 3D σημείων

Αρχικά ο εξεταζόμενος τοποθετείται με την πλάτη προς τον αισθητήρα Kinect. Μέσω της εφαρμογής Kinect Fusion Explorer λαμβάνονται νέφη σημείων, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται για να αποτελούνται μόνο από τα σημεία που ανήκουν στην πλάτη του εξεταζόμενου.



Σχήμα 40: Τοποθέτηση ασθενούς με πλάτη προς τον αισθητήρα

Το νέφος σημείων της πλάτης του εξεταζόμενου δίνεται ως είσοδος στο σύστημα υπολογισμού δεικτών το οποίο επεξεργάζοντας τα δεδομένα είναι σε θέση να εξάγει κατάλληλους δείκτες που στη συνέχεια δίνονται ως είσοδος στο σύστημα αξιολόγησης.

Ενότητα 4.3 Υπολογισμός Χαρακτηριστικών 3D PointCloud

Για τον ορισμό και τον υπολογισμό των παραμέτρων, χρειάζεται πρώτα να γίνει μια εκτίμηση των τοπικών χαρακτηριστικών τα οποία συλλαμβάνουν τη γεωμετρία της επιφάνειας. Τα τοπικά αυτά χαρακτηριστικά είναι τα κάθετα διανύσματα σε κάθε σημείο του PointCloud, καθώς επίσης και η καμπυλότητά τους.

4.3.1 Υπολογισμός Κάθετων Διανυσμάτων και Καμπυλότητας

Αν και υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των κάθετων διανυσμάτων, εντούτοις η απλούστερη βασίζεται στην προσαρμογή ενός 3D επιπέδου πρώτης τάξης (first order 3D plane fitting), σε μια γειτονιά γύρω από το σημείο. Το πρόβλημα του καθορισμού του κάθετου διανύσματος σε ένα σημείο της επιφάνειας, προσεγγίζεται από το πρόβλημα του υπολογισμού του κάθετου διανύσματος του εφαπτόμενου επιπέδου της επιφάνειας, στο σημείο ενδιαφέροντος. Αυτό με τη σειρά του ανάγεται σε ένα πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων.

Το εφαπτόμενο επίπεδο αναπαρίσταται ως ένα σημείο \mathbf{x} και ένα κάθετο διάνυσμα $\vec{\mathbf{n}}$. Τα σημεία \mathbf{p}_i τα οποία ανήκουν στο επίπεδο, ικανοποιούν την εξίσωση 10.

$$(\mathbf{p}_i - \mathbf{x}) \cdot \vec{\mathbf{n}} = 0 \quad (10)$$

Λαμβάνοντας

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{p}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{p}_i \quad (11)$$

ως το κεντροειδές της γειτονιάς του εκάστοτε σημείου, η οποία καθορίζεται από τους k κοντινότερους γείτονες, η λύση για το $\vec{\mathbf{n}}$ δίνεται μέσω της εύρεσης των ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων του πίνακα συνδιακύμανσης (covariance matrix):

$$C = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \xi_i (\mathbf{p}_i - \bar{\mathbf{p}})(\mathbf{p}_i - \bar{\mathbf{p}})^T \quad (12)$$

Ο όρος ξ_i αντιπροσωπεύει κάποιο πιθανό βάρος για το σημείο \mathbf{p}_i . Συνήθως όμως είναι ίσο με τη μονάδα.

Ελαχιστοποιώντας το κόστος

$$J = \sum_{i=1}^k [\vec{\mathbf{n}} \cdot (\mathbf{p}_i - \mathbf{p})]^2 \quad (13)$$

υπό τον περιορισμό

$$\|\vec{\mathbf{n}}\| = 1 \quad (14)$$

Προκύπτει ότι

$$C \cdot \vec{\mathbf{v}}_j = \lambda_j \cdot \vec{\mathbf{v}}_j, \quad j \in \{0, 1, 2\} \quad (15)$$

το οποίο είναι η εξίσωση εύρεσης ιδιοτιμών – ιδιοδιανυσμάτων.

Ο πίνακας C είναι συμμετρικός και θετικά ημιορισμένος, κατά συνέπεια οι ιδιοτιμές του είναι πραγματικές, $\lambda_j \in \mathbb{R}$. Αν επιπρόσθετα υπάρχει η εξής διάταξη: $0 \leq \lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$, το ιδιοδιάνυσμα $\vec{\mathbf{v}}_0$ που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή λ_0 , είναι μια εκτίμηση του κάθετου διανύσματος $\vec{\mathbf{n}} = \{n_x, n_y, n_z\}$.

Επιπρόσθετα με τον υπολογισμό των κάθετων διανυσμάτων, η ανάλυση ιδιοτιμών – ιδιοδιανυσμάτων, που παρουσιάστηκε πιο πάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαγάγουμε πληροφορία σχετικά με την καμπυλότητα της επιφάνειας γύρω από το σημείο \mathbf{p} . Γενικά υπάρχουν πολλοί τρόποι για να οριστεί η καμπυλότητα γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο, αλλά συνήθως χρειάζεται να έχει ήδη αναπαρασταθεί η επιφάνεια ως ένα τριγωνοποιημένο πλέγμα (triangulated mesh) και όχι απλά σαν σημεία που προκύπτουν από δειγματοληψία.

Η καμπυλότητα εκφράζεται μέσω της Γκαουσιανής και μέσης καμπυλότητας (Gaussian and Mean Curvature) [21] και μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$K = k_1 k_2$$

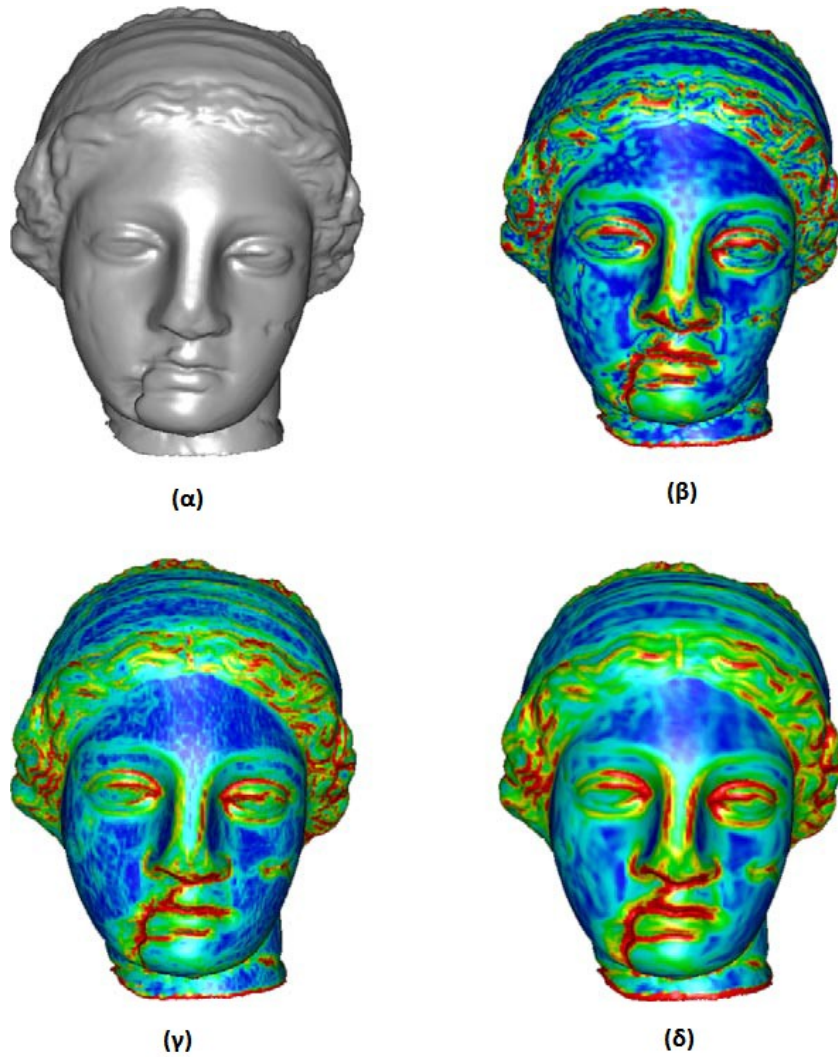
$$\bar{H} = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (16)$$

όπου k_1, k_2 είναι οι κύριες καμπυλότητες (principal curvatures) της επιφάνειας.

Δυστυχώς όμως οι πιο πάνω εκφράσεις είναι ευαίσθητες στην παρουσία θορύβου και έτσι δεν μπορούν να υπολογιστούν κατ' ευθείαν από το σύνολο των σημείων. Μια λύση είναι να χρησιμοποιηθούν οι ιδιοτιμές λ_j του covariance matrix C ως προσέγγιση της τοπικής μεταβολής της επιφάνειας γύρω από το σημείο \mathbf{p} . Αν $\lambda_0 = \min(\lambda_j)$, η μεταβολή του σημείου \mathbf{p} κατά μήκος του κάθετου διανύσματος \vec{n} μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\sigma_p = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2} \quad (17)$$

Αυτός ο λόγος μεταξύ της ελάχιστης ιδιοτιμής και του αθροίσματος των ιδιοτιμών προσεγγίζει την αλλαγή της καμπυλότητας σε μια γειτονιά γύρω από το σημείο \mathbf{p} και είναι αμετάβλητος σε κλιμάκωση της επιφάνειας. Μικρές τιμές του σ_p υποδεικνύουν ότι όλα τα σημεία στη γειτονιά του \mathbf{p} ανήκουν στο εφαπτόμενο επίπεδο της επιφάνειας. Ένα παράδειγμα των τιμών που λαμβάνει ο λόγος σ_p σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές της καμπυλότητας, φαίνεται στο Σχήμα 41. Στο Σχήμα 41β υπολογίζεται η καμπυλότητα με αναλυτικό τρόπο, προσαρμόζοντας κυβικές επιφάνειες στο σύνολο των σημείων της γειτονιάς. Στα Σχήματα Σχήμα 41γ και Σχήμα 41δ, παρουσιάζονται οι τιμές του λόγου σ_p για διαφορετικά μεγέθη της γειτονιάς. Όπως φαίνεται, ο τρόπος αυτός μπορεί να υπολογίζει την καμπυλότητα της επιφάνειας με πολύ καλή ακρίβεια.



Σχήμα 41: Σύγκριση της επιφάνειας της καμπυλότητας και του λόγου σ_p , (α) αρχική επιφάνεια, (β) αναλυτικός υπολογισμός της καμπυλότητας (γ) και (δ) τιμές του λόγου σ_p ανάλογα με τη γειτονία που χρησιμοποιείται

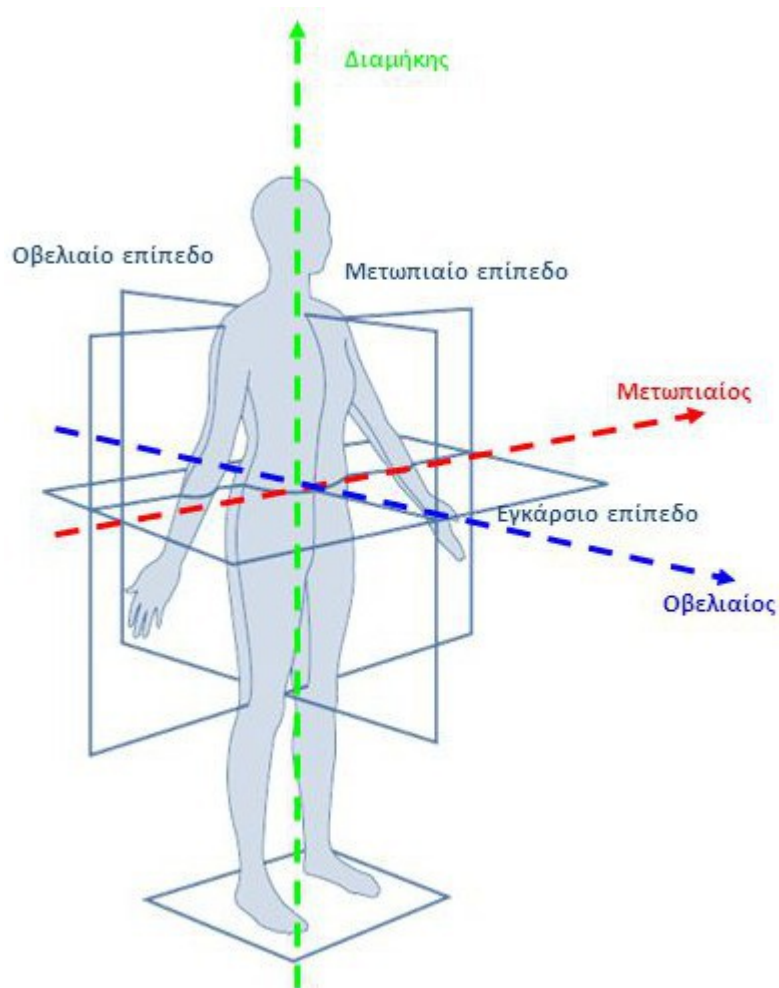
Για τον υπολογισμό των καθέτων διανυσμάτων και της καμπυλότητας, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη PCL, η οποία είναι υλοποιημένη στη γλώσσα C++ και υλοποιεί τους προαναφερθέντες τρόπους υπολογισμού των χαρακτηριστικών ενός 3D PointCloud.

Ενότητα 4.4 Ορισμός Παραμέτρων

Ορολογία – Βασικοί άξονες κίνησης

Υπάρχουν τρεις κύριοι άξονες κίνησης. Κάθε άξονας είναι κάθετος σε ένα από τα επίπεδα κίνησης.

- Μετωπιαίος / οριζόντιος, ο οποίος είναι κάθετος στο οβελιαίο επίπεδο
- Οβελιαίος / προσθιοπίσθιος, ο οποίος είναι κάθετος στο μετωπιαίο επίπεδο
- Διαμήκης / κατακόρυφος, ο οποίος είναι κάθετος στο εγκάρσιο επίπεδο



Σχήμα 42: Βασικοί άξονες κίνησης

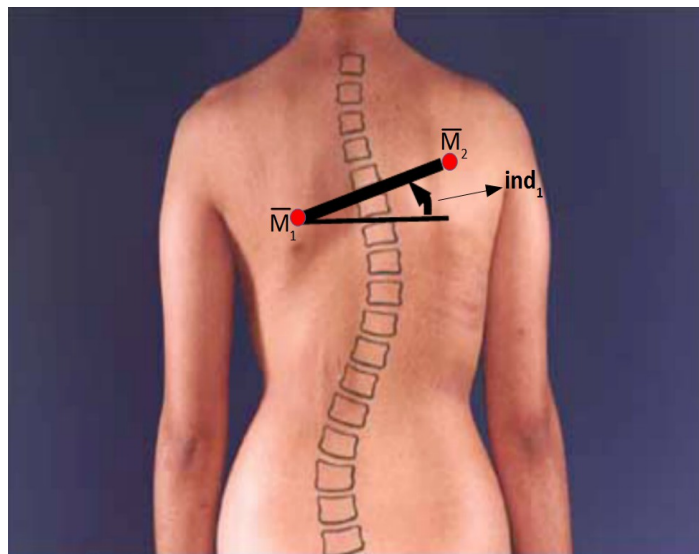
4.4.1 Δείκτης 1 – Κλίση Κορμού (ind1)

Ο δείκτης προσομοιώνει την στροφή του κορμού κατά το μετωπιαίο επίπεδο. Αρχικά αναζητούμε σε κάθε ωμοπλάτη το σημείο που παρουσιάζει μέγιστο κατά τον οβελιαίο άξονα. Το Σχήμα 43 παρουσιάζει ένα παράδειγμα εκτέλεσης του αλγορίθμου, στο οποίο με πράσινο χρώμα φαίνονται τα μέγιστα σημεία σε κάθε ωμοπλάτη.



Σχήμα 43: Μέγιστα κατά τον οβελιαίο άξονα

Στη συνέχεια ορίζεται το διάνυσμα \vec{M}_1M_2 , και η κλίση του κορμού υπολογίζεται από την γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα με τον μετωπιαίο άξονα. Σε άτομα που δεν πάσχουν από ΙΣ το διάνυσμα \vec{M}_1M_2 θα ταυτίζεται με τον μετωπιαίο άξονα. Στις περιπτώσεις με δεξιά σκολίωση η γωνία που θα σχηματίζεται θα είναι θετική καθώς η δεξιά ωμοπλάτη θα είναι ψηλότερα από την αριστερή, αντίθετα στην αριστερή σκολίωση η γωνία που θα σχηματίζεται θα είναι αρνητική.

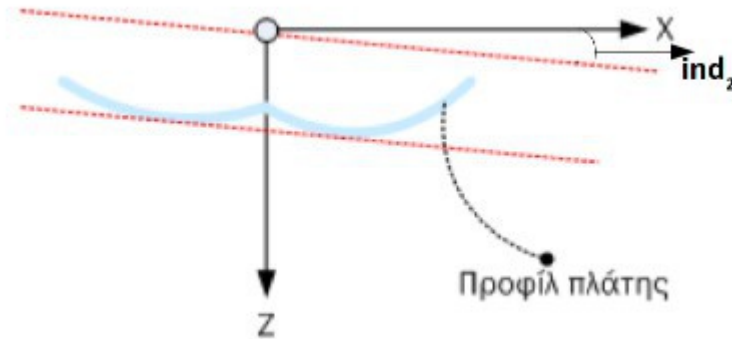


© Mayo Foundation for Medical Education and Research. All rights reserved.

Σχήμα 44: Γωνία κλίσης κορμού

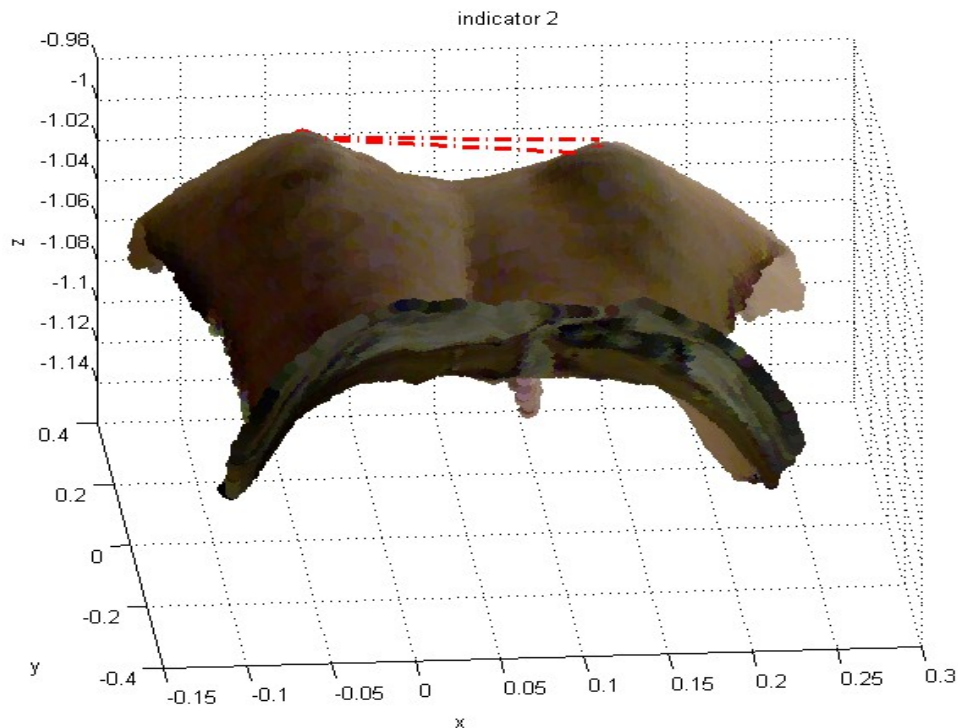
4.4.2 Δείκτης 2 – Στροφή Κορμού (*ind2*)

Ο δείκτης προσομοιώνει την στροφή του κορμού κατά το εγκάρσιο επίπεδο. Η διαδικασία εύρεσης των σημείων M_1 και M_2 είναι ίδια όπως στον Δείκτη 1 αλλά υπολογίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του διανύσματος M_1M_2 και του διαμήκη άξονα.



Σχήμα 45: Γωνία στροφής κορμού

Αρνητική γωνία κατά τον διαμήκη άξονα δηλώνει στροφή του κορμού προς τα δεξιά κατά τον εγκάρσιο επίπεδο, αντίθετα θετική γωνία δηλώνει στροφή προς τα αριστερά



Σχήμα 46: Απεικόνιση της στροφής του κορμού από νέφος σημείων

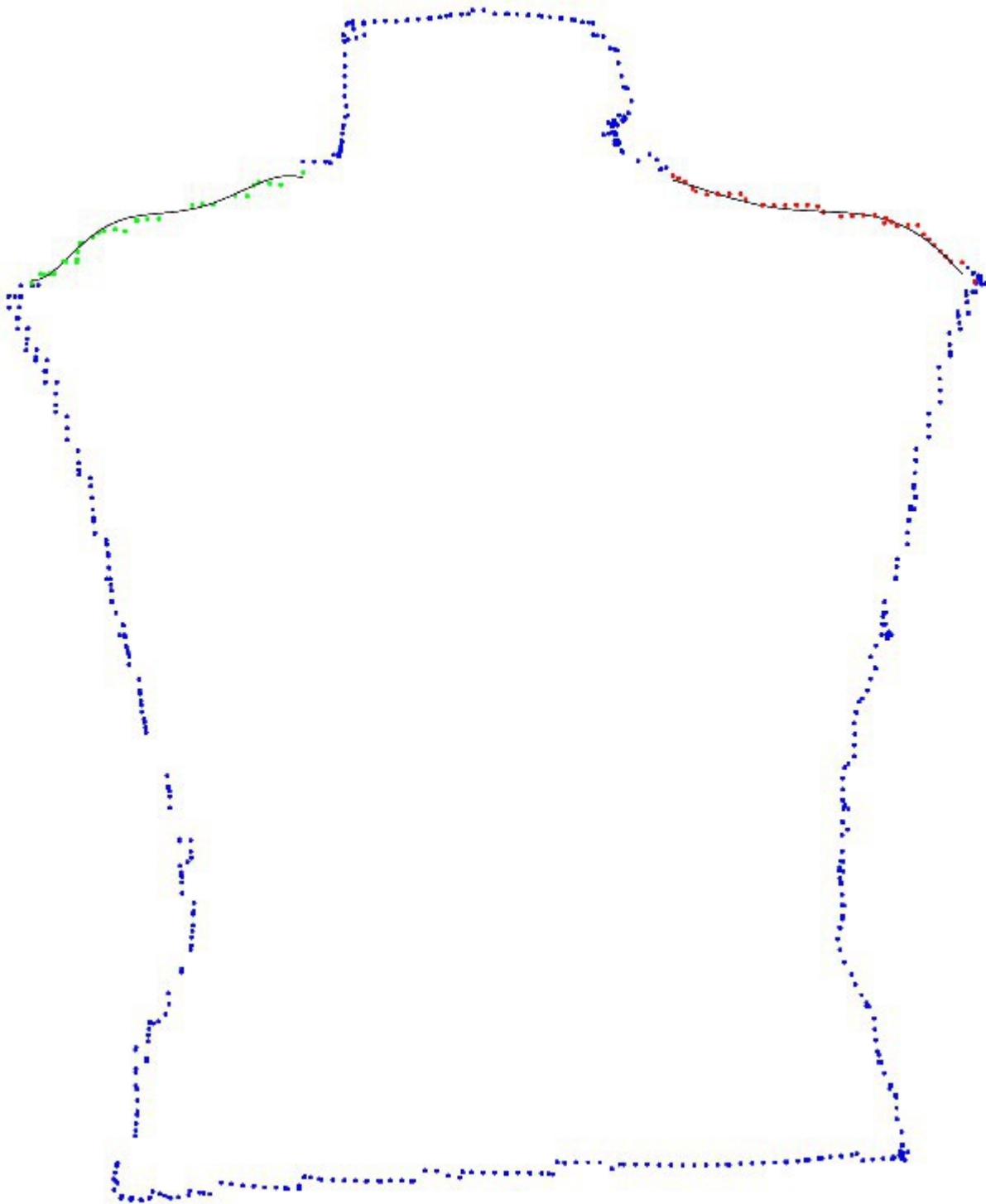
4.4.3 Δείκτης 3 – Ασυμμετρία Ώμων (ind3)

Ο δείκτης προσομοιώνει την ύπαρξη ασυμμετρίας μεταξύ των ώμων. Σε άτομα με σκολίωση συχνά παρατηρείται υψομετρική διαφορά μεταξύ των ώμων λόγω της κλίσης του κορμού και πολλές φορές ακόμα και μορφολογική διαφορά.

Για την εξαγωγή του δείκτη 3 χρειάζεται ο χρήστης (ιατρός, ειδικός) να αλληλεπιδράσει με την εφαρμογή. Αρχικά η εφαρμογή προβάλλει όλα τα σημεία που ανήκουν στα όρια του νέφους σημείων του εξεταζόμενου και προτρέπει τον χρήστη να οριοθετήσει τις περιοχές που ανήκουν στους ώμους. Η οριοθέτηση του κάθε ώμου πραγματοποιείται επιλέγοντας ο χρήστης δύο σημεία, ορίζοντας την αρχή και το τέλος του ώμου. Όλα τα ενδιάμεσα σημεία μεταξύ αρχή και τέλους συμπεριλαμβάνονται στην περιοχή του ώμου και στην συνέχεια μοντελοποιείται η καμπύλη του ώμου με ένα πολυώνυμο 8ου βαθμού. Τα δύο πολυώνυμα των δύο ώμων συγκρίνονται και εξάγεται η διαφορά μεταξύ των καμπυλοτήτων τους.



Σχήμα 47: Σημεία που ανήκουν στους δύο ώμους (κόκκινο χρώμα) και μοντελοποίηση της καμπύλης στην οποία ανήκουν (μαύρο χρώμα)



Σχήμα 48: Με μπλε χρώμα σημεία που ανήκουν στα όρια, με κόκκινο χρώμα σημεία που ανήκουν στον δεξιό ώμο, με πράσινο χρώμα σημεία που ανήκουν στον αριστερό ώμο και με μαύρο χρώμα μοντελοποίηση των καμπυλών των δύο ώμων.

4.4.4 Δείκτης 4 – Ασυμμετρία Πλευρών (*ind4*)

Ο δείκτης προσομοιώνει την ύπαρξη ασυμμετρίας μεταξύ των πλευρών. Η κλίση του κορμού επηρεάζει και την μορφή των δύο πλευρών με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μορφολογικές διαφορές. Για την εξαγωγή του δείκτη 4 ακολουθείται η διαδικασία που χρησιμοποιείται στο δείκτη 3.



Σχήμα 49: Σημεία που ανήκουν στις δύο πλευρές του κορμού (κόκκινο χρώμα) και μοντελοποίησή της καμπύλης στην οποία ανήκουν (μαύρο χρώμα)

4.4.5 Δείκτης 5 – Διαφορά όγκου (ind5)

Οι μορφολογικές αλλαγές της πλάτης λόγω της ύπαρξης σκολίωσης έχουν σαν αποτέλεσμα να παρατηρούνται διαφορές στον όγκο μεταξύ δεξιάς και αριστερής ωμοπλάτης. Ο δείκτης 5 προσπαθεί να ποσοτικοποιήσει αυτές τις ογκομετρικές διαφορές.

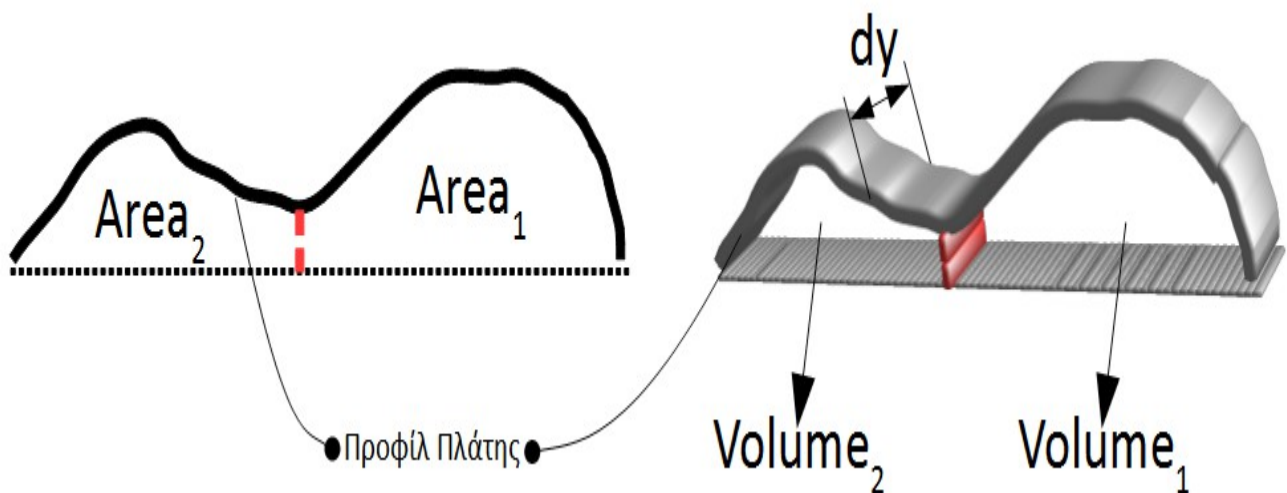
Αρχικά η περιοχή της πλάτη χωρίζεται σε δεξιά και αριστερή ωμοπλάτη. Διατρέχοντας τον διαμήκη άξονα ορίζονται διατεταγμένες λωρίδες μήκους dy . Σε κάθε λωρίδα υπολογίζεται το εμβαδόν της δεξιάς και αριστερής ωμοπλάτης ως εξής:

Όλα τα σημεία του νέφους αποτελούν μία διακριτοποίηση της επιφάνειας της πλάτης. Η συνάρτηση $z = f(x,y)$ που δημιουργείται ορίζει μία καμπύλη στον τρισδιάστατο χώρο. Για κάθε λωρίδα υπολογίζεται το εμβαδόν της κάθε ωμοπλάτης συμπεριλαμβάνοντας όλα τα σημεία που ανήκουν στην λωρίδα κάνοντας χρήση του προσεγγιστικού τύπου του τραπεζίου:

$$Area = (z_i + z_{i+1}) \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{2} \right) \quad (18)$$

Εν συνεχεία τα επιμέρους εμβαδά πολλαπλασιάζονται με dy με αποτέλεσμα να προκύπτουν οι όγκοι που περικλείονται στην λωρίδα. Ο δείκτης 5 ορίζεται ως:

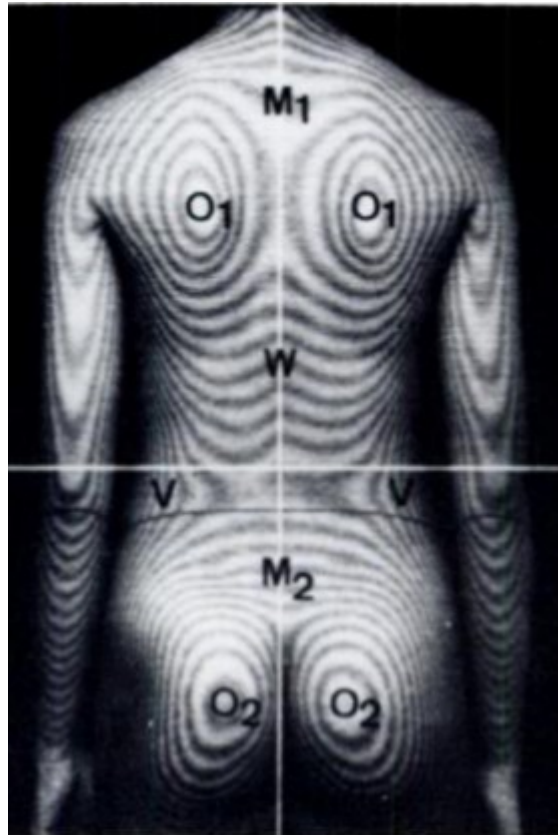
$$Volume = Area \cdot dy \Rightarrow ind_5 = Volume_1 - Volume_2 \quad (19)$$



Σχήμα 50: Απεικονιστικό παράδειγμα της διαδικασίας εξαγωγής του δείκτη 5

4.4.6 Δείκτης 6 – Τοπογραφία Moire (ind6)

Από την τοπογραφία Moire έχουν προταθεί πολύ δείκτες ([37], [38]) αναζητώντας κάποια συσχέτιση με την γωνία Gobb. Ο δείκτης 6 προσομοιώνει τη γωνία Moire. Η εξαγωγή του δείκτη ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:



Σχήμα 51: Μοτίβα φυσιολογικής πλάτης

Τα πρότυπα της τοπογραφίας Moire που σχηματίζονται σε μία κανονική πλάτη παρουσιάζουν καθορισμένα μοτίβα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 51. Στις ωμοπλάτες και στους γλουτούς σχηματίζονται O, στην άνω περιοχή των ωμοπλατών και των γλουτών σχηματίζονται M, ενώ στην κάτω περιοχή των ωμοπλατών σχηματίζονται W και στην περιοχή των πλευρών V. Από τις γεωμετρίες των μοτίβων εξάγεται ο δείκτης 6.

Πιο συγκεκριμένα προβάλλονται οι ισοΰψεις από το νέφος σημείων της πλάτης του εξεταζόμενου και το σύστημα προτρέπει τον χρήστη (ιατρό, ειδικό), να επιλέξει τα παρακάτω σημεία:

Το σημείο G ορίζεται ως το αριστερό τοπικό μέγιστο, του πρώτου M1, ενώ το σημείο D, ως το δεξιό τοπικό μέγιστο του πρώτου M1.

Τα σημεία H, και E ανήκουν στο πρώτο W. Για την ευρεσή τους ακολουθείται η εξής διαδικασία: Φέρονται επίπεδα παράλληλα στο εγκάρσιο επίπεδο και αναζητείται η μέγιστη διαφορά μεταξύ HC και CE, όπου C ανήκει στη φυσιολογική θέση της σπονδυλικής στήλης.

Αντίστοιχα ορίζονται και τα σημεία B, I, F, στο πρώτο M2.

Τα σημεία A, O, B ορίζονται με βάση τα παραπάνω σημεία. Στη συνέχεια ορίζονται:

$$d_1 = (CH + CE) / 2$$

$$d_2 = (AD + AG) / 2$$

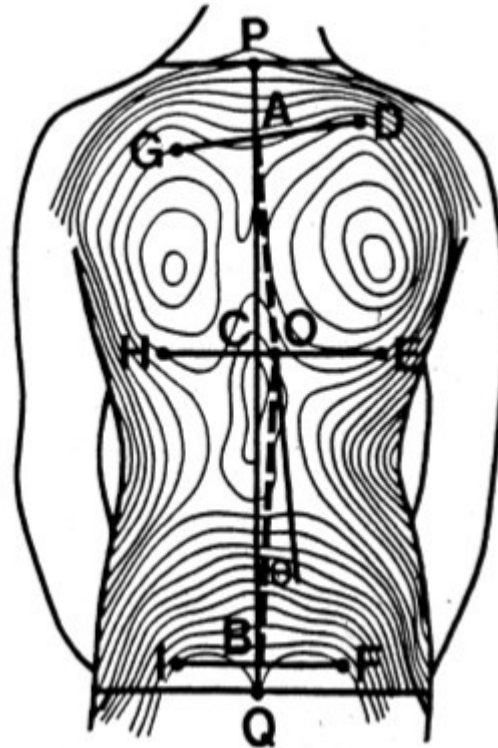
$$d_3 = (BF + BI) / 2$$

$$\varphi = d_1 - d_2 / AC$$

$$\theta = d_1 - d_3 / BC$$

Τέλος η γωνία Moire [10] ορίζεται ως:

$$q = \arctan(\varphi) + \arctan(\theta)$$



Σχήμα 52: Σημεία με τα οποία εξάγεται ο δείκτης 6

4.4.7 Δείκτης 7 – Αποκλίσεις Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών (ind7)

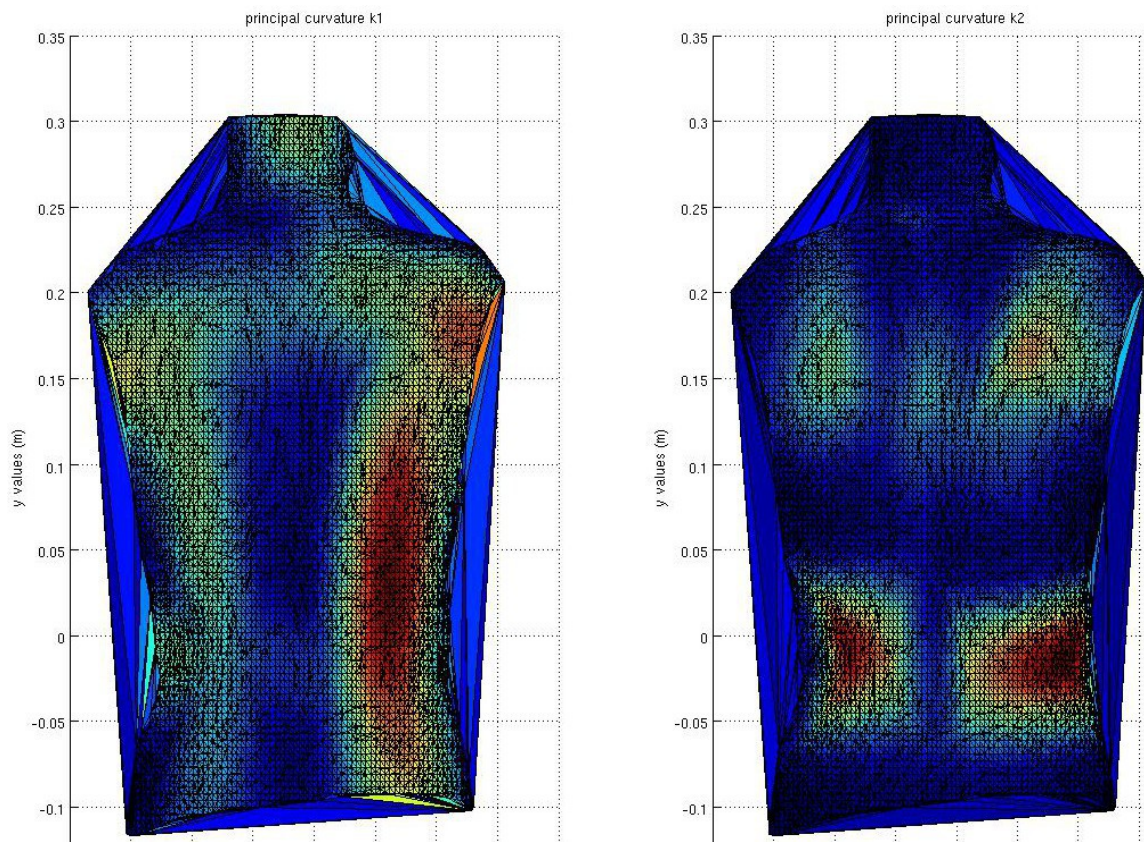
Ο δείκτης προσομοιώνει τις διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ αριστερής και δεξιάς περιοχής της πλάτης [35]. Από τις κύριες καμπυλότητες (k_1 , k_2) της επιφάνειας ορίζονται τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Γκαουσιανή καμπυλότητα:	$K = k_1 * k_2$
Μέση καμπυλότητα:	$H = (k_1 + k_2) / 2$
Shape Index:	$SI = (2/\pi) * \arctan((k_1 + k_2) / (k_1 - k_2))$
Curvedness:	$C = \sqrt{[(k_1 + k_2)^2 + (k_1 - k_2)^2]} / 2$

Για όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ακολουθήτε η παρακάτω διαδικασία.

Η πλάτη κάθε ασθενή χωρίζεται σε άνω και κάτω περιοχή. Σε κάθε περιοχή υπολογίζεται η διαφορά που παρουσιάζει το εξεταζόμενο γεωμετρικό χαρακτηριστικό μεταξύ δεξιάς και αριστερής υποπεριοχής.

Ενδεικτικά στο Σχήμα 53 φαίνονται οι διαφορές που παρουσιάζουν οι κύριες καμπυλότητες.



Σχήμα 53: Απεικονιστικό παράδειγμα κυρίων καμπυλοτήτων k_1 , k_2

4.4.8 Δείκτης 8 – Ιδανικό Πρότυπο Πλάτης - *Standard Normal Shape [Sns] (ind8)*

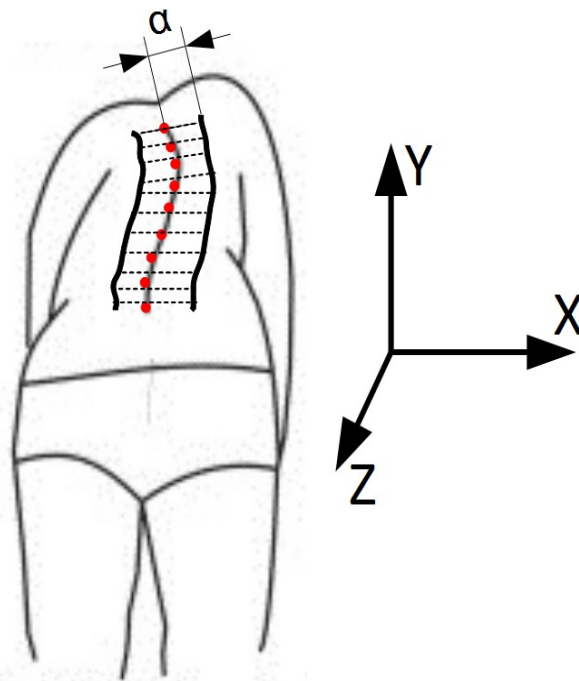
Ο δείκτης προσομοιώνει την απόκλιση που παρουσιάζει η επιφάνεια της πλάτης του εξεταζόμενου από την επιφάνεια της πλάτης πρότυπο ([20], [23]) που έχει εξαχθεί με την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά συλλέγονται δεδομένα από άτομα, διαφορετικού φύλου, ηλικίας και σωματικής διάπλασης, που δεν πάσχουν από σκολίωση. Στη συνέχεια όλα τα δεδομένα μετατοπίζονται σε κοινή αρχή αναφοράς και μετασχηματίζονται σε κοινή κλίματα. Τέλος όλα τα δεδομένα συνδυάζονται για να παράγουν ένα πρότυπο πλάτης. Κάθε μετέπειτα δεδομένα από πλάτη ασθενή συγκρίνονται με το πρότυπο και εξαγεται η απόκλιση.

4.4.9 Δείκτης 9 – Adam's Test (ind9)

Ο δείκτης προσομοιώνει το διαγνωστικό τεστ του Adam. Κατά την συλλογή των δεδομένων, συλλέγονται δύο νέφη σημείων από την πλάτη του εξεταζόμενου, ένα κατά την όρθια στάση και ένα σε θέση επίκυψης. Για την εξαγωγή του δείκτη 9 χρησιμοποιείται το νέφος σημείων από την θέση επίκυψης.

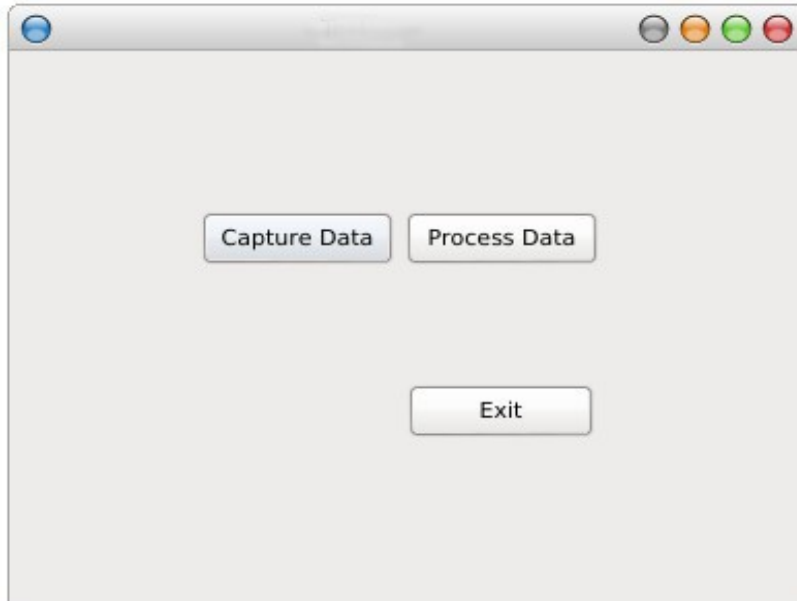
Διατρέχοντας το νέφος σημείων από κάτω προς τα πάνω, ανα τακτά διαστήματα μετράται η στροφή του κορμού. Στο δείκτη 9 αποτυπώνεται η μέγιστη στροφή που παρατηρείται σε όλο το μήκος της πλάτης του εξεταζόμενου.



Σχήμα 54: Μοντελοποίηση χρήσης σκολιομέτρου

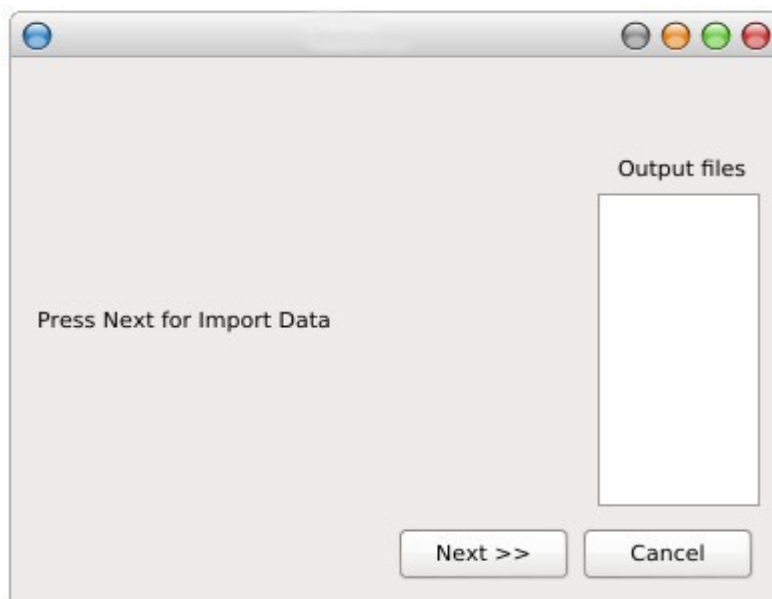
Ενότητα 4.5 Ανάπτυξη Λογισμικού

Η υλοποίηση του συστήματος έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ [1]. Στη συνέχεια ακολουθούν τα κύρια στιγμιότυπα της εφαρμογής. Αρχικά η εφαρμογή προτρέπει το χρήστη να επιλέξει αν επιθυμεί να πραγματοποιήσει λήψη ή επεξεργασία δεδομένων. Με την επιλογή λήψη δεδομένων ο χρήστης οδηγείται στην εφαρμογή Kinect Fusion Explorer (Ενότητα 3.5).



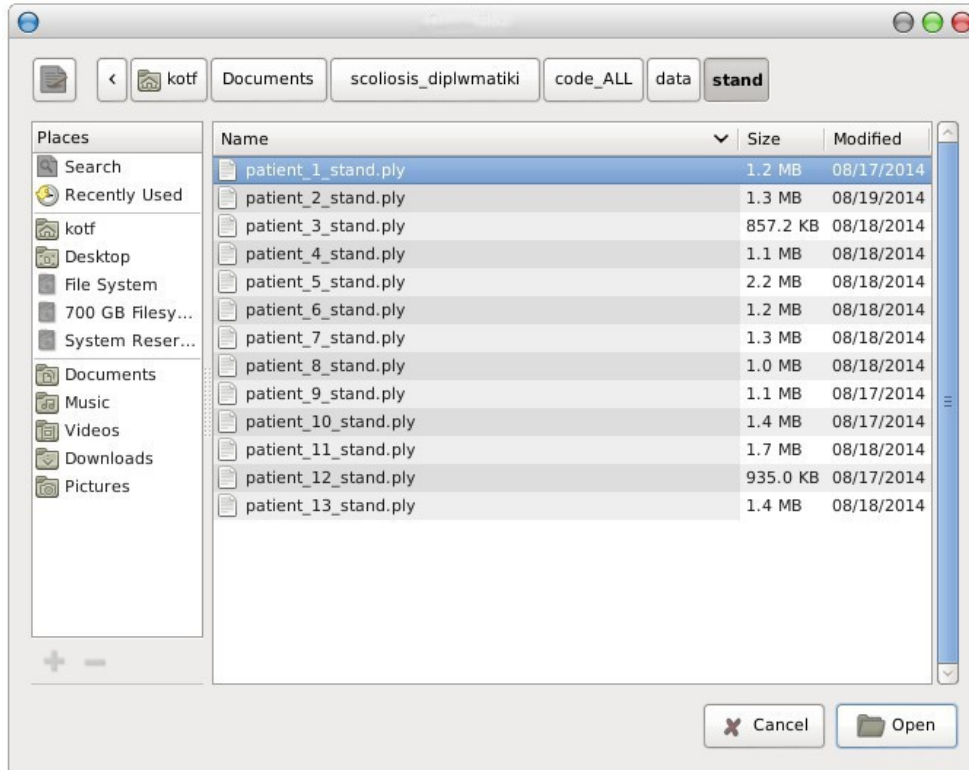
Σχήμα 55: Αρχικό στιγμιότυπο εφαρμογής

Με την επιλογή επεξεργασία δεδομένων ο χρήστης οδηγείται στο παρακάτω παράθυρο, από το οποίο



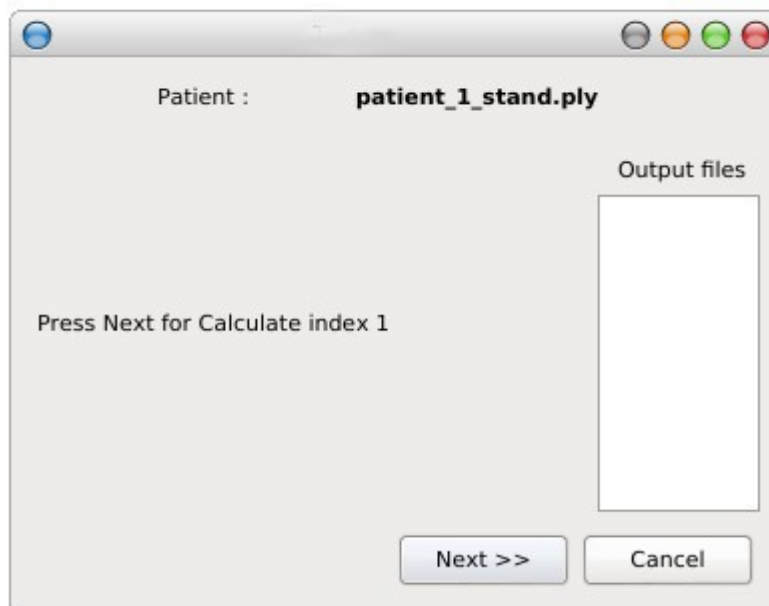
πατώντας *Next>>*, Σχήμα 56: Στιγμιότυπο Επεξεργασίας δεδομένων

προβάλλονται όλα τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα προς επεξεργασία.



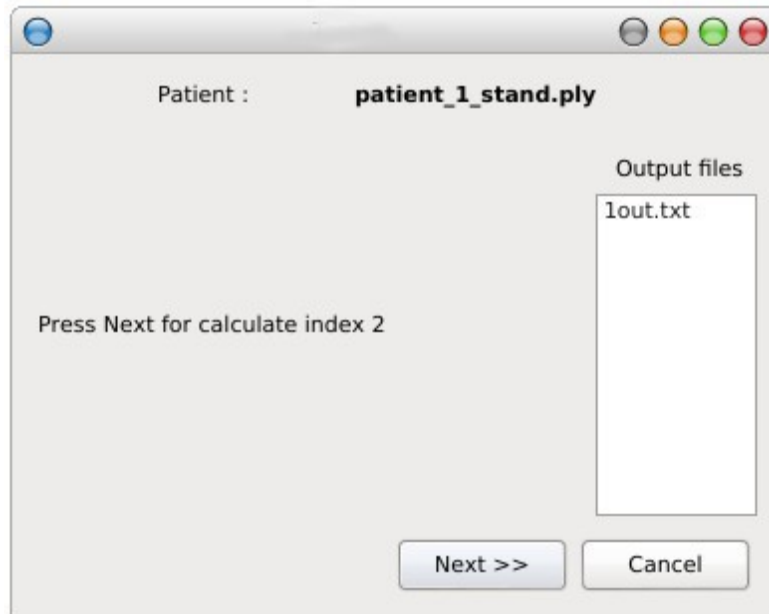
Σχήμα 57: Παράθυρο επιλογής δεδομένων εισόδου

Επιλέγοντας, τα δεδομένα εισάγονται στο σύστημα και η εφαρμογή προτρέπει τον χρήστη να ξεκινήσει τη διαδικασία της επεξεργασίας των εισαχθέντων δεδομένων.



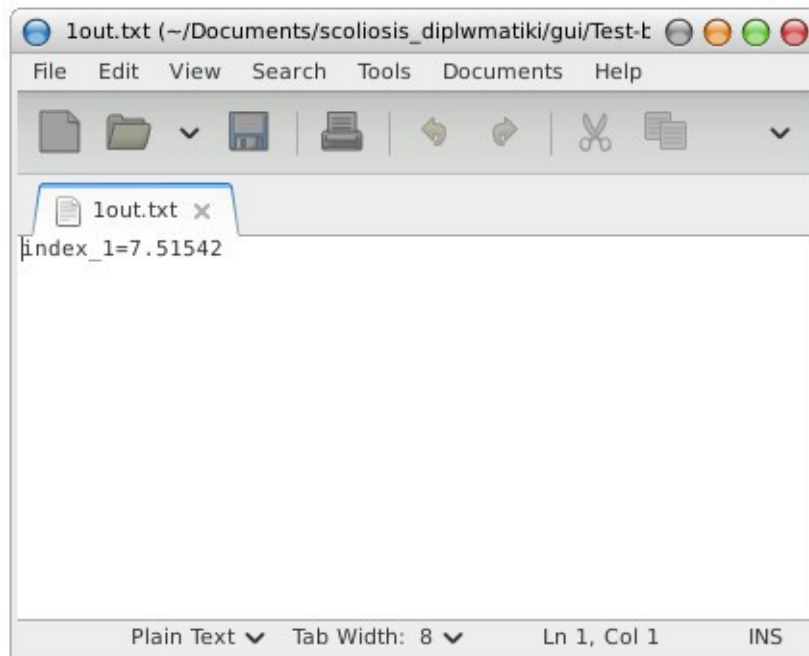
Σχήμα 58: Στιγμιότυπο εκκίνησης εξαγωγής των δεικτών

Με διαδοχικά βήματα υπολογίζονται όλοι οι δείκτες και τα αποτελέσματα προστίθενται στη λίστα *Output files*.



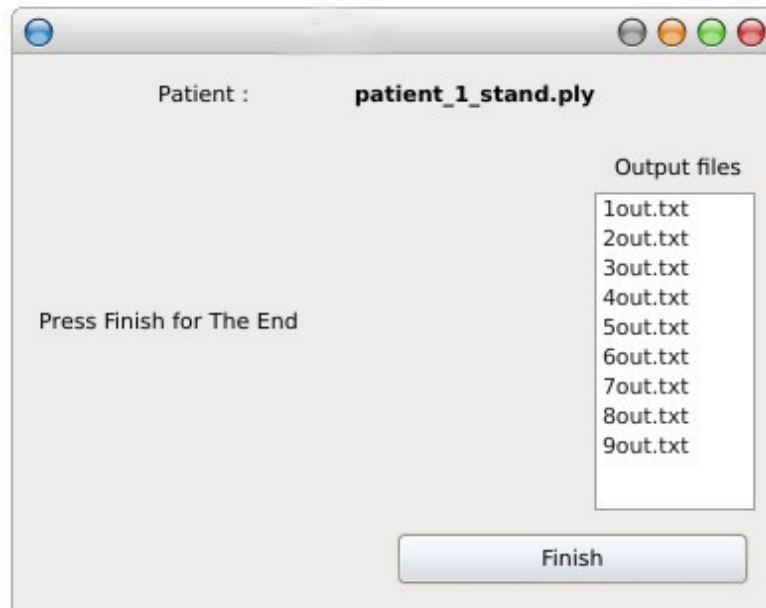
Σχήμα 59: Πρόσθεση των αποτελεσμάτων στη λίστα

Από την λίστα αποτελεσμάτων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει οποιοδήποτε αρχείο και να δει τον αντίστοιχο υπολογιζόμενο δείκτη.



Σχήμα 60: Απεικόνιση του υπολογιζόμενου δείκτη 1

Με τον υπολογισμό και των 9 δεικτών ο χρήστης τερματίζει την εφαρμογή με την επιλογή Finish.



Σχήμα 61: Τελικό παράθυρο εφαρμογής

Ενότητα 4.6 Συμπεράσματα

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η ανάπτυξη του συστήματος. Στην αρχή του κεφαλαίου παρουσιάστηκε η διαδικασία λήψης των δεδομένων και στη συνέχεια διατυπώθηκαν όλες οι απαραίτητες μαθηματικές σχέσεις που χρειάζονται για την εκτίμηση των τοπικών χαρακτηριστικών τα οποία συλλαμβάνουν τη γεωμετρία της επιφάνειας.

Στο κύριο μέρος του κεφαλαίου περιγράφηκαν οι δείκτες που θα υλοποιεί το σύστημα και παρουσιάστηκαν για κάθε δείκτη η μέθοδος εξαγωγής του. Έχοντας ορίσει τους δείκτες στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάστηκαν στιγμιότυπα από το γραφικό περιβάλλον του συστήματος και έγινε μία σύντομη περιγραφή χρήσης της εφαρμογής.

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα Εφαρμογής Συστήματος

Ενότητα 5.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή του συστήματος έχει ως στόχο την εύρεση συσχέτισης μεταξύ των προτεινόμενων δεικτών και της γωνίας Cobb. Για αυτό ακριβώς το λόγο αρχικά πραγματοποιούνται λήψεις δεδομένων από άτομα τα οποία πάσχουν από σκολίωση και είναι γνωστή η τιμή της γωνίας Cobb, ώστε να χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίησή της. Όλα τα δεδομένα δίνονται ως είσοδοι στο σύστημα και τα αποτελέσματα συλλέγονται για την εύρεση συσχέτισης με τη γωνία Cobb.

Ενότητα 5.2 Συλλογή Πραγματικών Δεδομένων

Οι λήψεις των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν στους χώρους του Metroptilan Hospital. Οι εξεταζόμενοι μέχρι την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής ήταν ηλικίας από 6 έως 16 χρονών και η διάρκεια της λήψης των δεδομένων δε διαρκούσε πάνω από 10 λεπτά.

Ασθενής	Φύλο	Ηλικία	Μορφή	Βαθμός Σκολίωσης (μοίρες)
#1	θήλυ	12	ΘΟΑ	20
#2	θήλυ	13	ΘΔ ΘΟΑ	30 34
#3	άρρεν	6	ΟΑ ΘΔ	25 18
#4	θήλυ	9	ΟΑ ΘΔ	20 28
#5	άρρεν	16	ΘΔ ΟΑ	30 33
#6	θήλυ	14	ΘΔ ΟΑ	22 23
#7	θήλυ	14	ΟΑ	20
#8	θήλυ	12	ΘΔ ΟΑ	28 36
#9	θήλυ	11	ΘΔ ΟΑ	19 20
#10	θήλυ	12	ΘΔ ΟΑ	18 24
#11	άρρεν	14	ΘΔ ΟΑ	45 20
#12	θήλυ	9	ΘΔ	30
#13	θήλυ	13	ΘΔ ΟΑ	38 24

Πίνακας 2: Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του συστήματος

Όπου ΘΟΑ: θωρακο-οσφυϊκή αριστερά

ΘΔ: θωρακική δεξιά

ΟΑ: Οσφυϊκή αριστερά

Όπως έχει αναφερθεί, μετά την λήψη, τα δεδομένα επεξεργάζονται μέσω της εφαρμογής MeshLab [3], για να αποτελούνται μόνο από τα σημεία που ανήκουν στην πλάτη του εξεταζόμενου. Στα Σχήμα 62 και Σχήμα 63 παρουσιάζεται ένα τέτοιο παράδειγμα επεξεργασίας των δεδομένων λήψης.



Σχήμα 62 Αρχικά δεδομένα λήψης



Σχήμα 63 Αποτέλεσμα της προεπεξεργασίας των δεδομένων λήψης

Ενότητα 5.3 Εύρεση Συσχέτισης μεταξύ Δεικτών και γωνίας Cobb

Για την εύρεση συσχέτισης των δεικτών με τη γωνία Cobb, θα χρησιμοποιήθουν όλα τα δεδομένα που θα ληφθούν από το προτεινόμενο σύστημα. Εκτιμάται πως θα υπάρχει δείκτης ή κάποιος συνδιασμός δεικτών που θα συσχετίζεται με την γωνία Cobb. Η συσχέτιση θα αναζητηθεί μέσω πειραμάτων που θα διεξαχθούν στα λαμβανόμενα δεδομένα έχοντας και τις αντίστοιχες τιμές της γωνίας Cobb, όπως θα έχει υπολογισθεί ακτινογραφικά.

Ενότητα 5.4 Συμπεράσματα

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος έχοντας ως στόχο την εύρεση συσχέτισης μεταξύ των δεικτών και της γωνίας Cobb. Τα δεδομένα που ληφθήκανε από ασθενείς με γνωστό βαθμό σκολίωσης θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση συσχέτισης των υπολογιζόμενων δεικτών και της γωνίας Cobb.

Κατά τη διάρκεια των πρώτων δοκιμών του συστήματος παρατηρήθηκε μεγάλη απόκλιση στην υπολογιζόμενη τιμή του δείκτη θ (γωνία Moire) ανάλογα με την επιλογή των σημείων από το χρήστη. Επομένως ο υπολογισμός των ισοϋψών θα γίνεται για απεικονιστικούς λόγους παρέχοντας μία ποιοτική εκτίμηση από τον ιατρό (ειδικό).

Με την εύρεση συσχέτισης μεταξύ δεικτών και της γωνίας Cobb, το σύστημα θα είναι σε θέση για κάθε μελλοντική εξέταση ασθενή να εξάγει μία προσέγγιση της γωνίας Cobb, υπολογίζοντάς την από τους μετρούμενους δείκτες ind_i .

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η πάθηση της ιδιοπαθούς σκολίωσης και μελετήθηκαν διαφορετικοί, μη επεμβατικοί και ακίνδυνοι μέθοδοι διάγνωσης και παρακολούθησης της πάθησης.

Ο αισθητήρας Kinect της Microsoft αποτέλεσε το βασικό πυρήνα του προτεινόμενου συστήματος. Η δυνατότητα του για συλλογή, σε πραγματικό χρόνο, τρισδιάστατων επιφανειών κάνοντας χρήση υπερύθρων ακτίνων, ο ανοιχτός κώδικας του λογισμικού του, η προσιτή του τιμή του υπήρξαν τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογή του.

Το αρχικό στάδιο του συστήματος περιλαμβάνει τη συλλογή ενός τρισδιάστατου σύννεφου σημείων (3D point cloud) από την πλάτη του εξεταζόμενου κάνοντας χρήση του αισθητήρα Kinect. Στη συνέχεια τα τρισδιάστατα δεδομένα επεξεργάζονται παράγοντας κατάλληλους δείκτες οι οποίοι σχετίζονται με τις ανομοιομορφίες που παρουσιάζει η πλάτη ενός εξεταζόμενου με σκολίωση.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η εύρεση κατάλληλων δεικτών και η δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εφαρμογής, η οποία με την εισαγωγή του τρισδιάστατου σύννεφου σημείων του εξεταζόμενου θα εξαγάγει τους δείκτες, συμβάλλοντας στην διάγνωση και παρακολούθηση καθώς υποβοηθά τον ιατρό παρέχοντάς του μετρήσιμα χαρακτηριστικά από την πλάτη του εξεταζόμενου. Η εφαρμογή υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και αυτοματοποιεί την εξαγωγή των δεικτών.

Η εφαρμογή του ολοκληρωμένου συστήματος, που περιλαμβάνει τη συλλογή των δεδομένων και την μετέπειτα επεξεργασία τους για την εξαγωγή των δεικτών, τέθηκε σε πραγματικά περιστατικά ασθενών με σκοπό την μοντελοποίηση της γωνίας Cobb.

Ενότητα 6.1 Αποτελέσματα

Σκοπός της δημιουργίας του συστήματος υπήρξε η προσπάθεια μοντελοποίησης της γωνίας Cobb από δείκτες που θα εξάγονται από την επιφάνεια της πλάτης. Για αυτό ακριβώς το λόγο η λήψη των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση της γωνίας Cobb, θα πρέπει να λαμβάνονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ημερομηνία λήψης της αντίστοιχης ακτινογραφίας, ώστε να ελαττώνεται η πιθανότητα εξέλιξης της σκολίωσης και επιπλέον να μην υπάρχει οποιαδήποτε μορφή θεραπείας (κηδεμόνας, φυσικοθεραπεία).

Για την εύρεση συσχέτισης μεταξύ των υπολογιζόμενων δεικτών και της γωνίας Cobb, οι αλγόριθμοι που υλοποιήθηκαν θα χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερο πλήθος πραγματικών περιστατικών ασθενών, ο αριθμός των οποίων όσο αυξάνει τόσο πιο ακριβής θα γίνεται η προσέγγιση της γωνίας Cobb.

Βιβλιογραφία

- [1] PointCloud Library, <http://pointclouds.org/>
- [2] Microsoft, Kinect for Windows Sensor, Components and Specifications, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>
- [3] MeshLab, <http://meshlab.sourceforge.net/>
- [4] Petros Patias, Theodoros Grivas, Angelos Kaspiris, Costas Aggouris, Evangelos Drakoutos, *A review of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices* 2010
- [5] XC Liu, JG Thometz, JC Tassone, LC Paulsen, RM Lyon, *Historical review and experience with use of surface topographic systems in children with idiopathic scoliosis* 2013
- [6] Δρ. Σ. Στυλιανίδης, Β. Τσιούκας, Δρ. Μ. Πατεράκη, Κ. Χατζηγεωργίου, Α. Αγησιλάου, Α. Αναστασιάδης, Γ. Χρυσάνθου, Δ. Μιχαήλ, Π. Χαραλάμπους, Π. Πατιάς, Δρ. Χ. Γεωργιάδης, Α. Τιάλου, Δρ. Κ. Κοντοζής, Θ. Ζαβιτσανάκης, *Φωτογραμμετρική προσέγγιση της ιδιοπαθούς σκολίωσης. Τεχνικές διάγνωσης και παρακολούθησης*, 2008
- [7] Kinect Fusion Explorer, <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn188670.aspx>
- [8] Pruijs JE, Stengs C, Keessen W, *Parameter variation in stable scoliosis* 1995
- [9] Willner S. *Moiré topography for the diagnosis and documentation of scoliosis*, 1979
- [10] Mohsen M. El-Sayyad, *Comparison of Roentgenography and Moire Topography for Quantifying Spinal Curvature*, 1985
- [11] Jan Bartl, Roman Fira, Miroslav Hain, *Inspection of surface by the moire method*, 2001
- [12] Jean Lagaye, *Three-Dimensional Assessment of the Scoliosis*, 2012
- [13] Theodoros Grivas, *Study of trunk asymmetry in normal children and adolescents*, 2006
- [14] Theodorow Grivas, *Back trunk morphology in 3301 children aged 3-9 years old*, d2008
- [15] Thomas M.L. Shannon, *Dynamic Surface Topography And Its Application To The Evaluation of Adolescent Idiopathic Scoliosis*, 2010
- [16] K. Khoshelham, S. O. Elberink, *Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications*, 2012
- [17] M.R. Andersen, T. Jensen, P. Lisouski, A.K. Mortensen, M.K. Hansen, T. Gregersen, P. Ahrendt, *Kinect Depth Sensor Evaluation for Computer Vision Applications*, 2012
- [18] Harri Kaartinen, Juha Hyyppa, Antero Kukko, Antoni Jaakkola, Hannu Hyyppa, *Benchmarking the Performance of Mobile Laser Scanning Systems Using a Permanent Test Field*, 2012

- [19] Formetric 4d bodyscan systems, http://diers.org/Files/Informations/109/DIERS_3D-4D%20spine%20analysis_USA.pdf
- [20] Arif Reza Anwary, *Statistical Shape Analysis for the human Back*, 2012
- [21] B. Drerup, E. Hierholzer, *Automatic localization of anatomical landmarks on the back surface and construction of a body-fixed coordinate system*, 1985
- [22] A. Turner-Smith, J. Harris, G Houghton, and R. Jefferson, *A method for analysis of back shape in scoliosis*, 1988
- [23] Procrustes analysis, https://en.wikipedia.org/wiki/Procrustes_analysis
- [24] R. Burwell, J. Patterson, J. Webb, A. Wojcik, *School sceening for scoliosis – the multiple ATI system of back shape appraisal using the scoliometer with observations on the sagittal declive angle*, 1988
- [25] T. Karachalios, J. Sofianos, N. Roidis, G. Sapkas, D. Korres, K. Nikolopoulos, *Ten year follow-up of a school screening program for scoliosis*, 1999
- [26] Αντώνης Σάββα, *Αναπτυξη Συστήματος Υποστηρίξης της Ιδιοπαθούς Σκολίωσης με Χρήση Αισθητήρα Kinect*, 2014
- [27] Stuart L Weinstein, Lori A Dolan, Jack C Y Cheng, Aina Danielsson, Jose A Morcuende, *Adolescent idiopathic scoliosis*, 2008
- [28] Michael Edgar, *A new classification of adolescent idiopathic scoliosis*, 2002
- [29] Nader M. Hebel, P. Justin Tortolani, *Idiopathic Scoliosis in Adults: Classification, Indications, and Treatment Options*, 2009
- [30] Jacob M. Buchowski, *Adult Scoliosis: Etiology and Classification*, 2009
- [31] Mickaël Begon, Sophie-Anne Scherrer, Christine Coillard, Charles-Hilaire Rivard, Paul Allard, *Three-dimensional vertebral wedging and pelvic asymmetries in the early stages of adolescent idiopathic scoliosis* , 2015
- [32] Zhi-Wei Wang, Wei-Jun Wang, Ming-Hui Sun, Zhen Liu, Ze-Zhang Zhu, Feng Zhu, Xu-Sheng Qiu, Bang-Ping Qian, Shou-Feng Wang, Yong Qiu, *Characteristics of the pelvic axial rotation in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between major thoracic curve and major thoracolumbar/lumbar curve*, 2014
- [33] Korovessis, Piperos, Sidiropoulos, Dimas, *Adult idiopathic lumbar scoliosis: A formula for prediction of progression and review of the literature*. 1994
- [34] S. Moreau, G. Lonjon, K. Mazda, B. Ilharreborde, *Detorsion night-time bracing for the treatment*

of early onset idiopathic scoliosis, 2014

[35] Amin Komeili, Lindsey Westover, Eric C. Parent, Marwan El-Rich, Samer Adeeb, *Monitoring for idiopathic scoliosis curve progression using surface topography asymmetry analysis of the torso in adolescents*, 2015

[36] Mathias M. Adankon, Jean Dansereau, Hubert Labelle, Farida Cheriet, *Non invasive classification system of scoliosis curve types using least-squares support vector machines*, 2012

[37] M. Batouche, R. Benlamri, M.K. Kholadi, *A computer vision system for diagnosing scoliosis using moiré images*, 1996

[38] A Moreno Yeras, R González Peña, R Junco, *Moiré topography: alternative technique in health care*, 2003

[39] Flávia Porto, Jonas Lírio Gurgel, Thais Russomano, Paulo De Tarso Veras Farinatti, *Moiré topography: Characteristics and clinical application*, 2010

[40] Cyril Breque, Jean-Christophe Dupre, Fabrice Bremand, *Calibration of a system of projection moiré for relief measuring: biomechanical applications*, 2004

[41] G. De Korvin, T. Randriaminahisoa, E. Cugy, L. Cheze, M. de Sèze, *Detection of progressive idiopathic scoliosis during growth using back surface topography: A prospective study of 100 patients*, 2014

[42] H. Takasaki, *Moire Topography* 1970