



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

**Υπολογισμός θέσης και προσανατολισμού ενδοσκοπικής
κάμερας στον χώρο με χρήση υπέρυθρων αισθητήρων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Αθανάσιου Σ. Βουζαλή

Επιβλέπων : Διονύσιος-Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011



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

Υπολογισμός θέσης και προσανατολισμού ενδοσκοπικής κάμερας στον χώρο με χρήση υπέρυθρων αισθητήρων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Αθανάσιου Σ. Βουζαλή

Επιβλέπων : Διονύσιος-Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Οκτωβρίου 2011.

.....
Διονύσιος-Δημήτριος
Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....
Γιώργος Ματσόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

.....
Αθανάσιος Σ. Βουζαλής

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

Copyright © Αθανάσιος Σ. Βουζαλής 2011

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

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος προσδιορισμού της θέσης και του προσανατολισμού της ενδοσκοπικής κάμερας στον χώρο με χρήση υπέρυθρων αισθητήρων. Η ενδοσκοπική κάμερα που αναφέρεται είναι αυτή που διαθέτει το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Da Vinci. Έγινε περιγραφή της υπάρχουσας τεχνολογίας στον τομέα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής και παρουσιάστηκε το σύστημα Da Vinci. Έπειτα μελετήθηκαν διάφορες τεχνικές προσδιορισμού θέσης αλλά και συστήματα που εξυπηρετούν τον σκοπό αυτό. Επιλέχθηκε η τεχνολογία του εντοπισμού θέσης με υπέρυθρη ακτινοβολία εξ' αιτίας της καταλληλότητάς της για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Επίσης το κόστος για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος είναι αρκετά προσιτό μιας και χρησιμοποιήσαμε την υπέρυθρη κάμερα που διαθέτει το χειριστήριο της κονσόλας Nintendo Wii (wii remote).

Τα wii remotes είναι συσκευές με πολλαπλές δυνατότητες σε είσοδο και έξοδο δεδομένων (συμβατές με τεχνολογία Bluetooth κ.α.) και γι' αυτό το λόγο μπορούν να υποστηρίξουν πολλές εφαρμογές πέρα απ' την αρχική προβλεπόμενη χρήση τους. Το σύστημα εντοπισμού θέσης του εργαστηρίου κατασκευάστηκε τοποθετώντας δύο wii remotes σε κατάλληλες θέσεις. Η δυνατότητα σύνδεσής τους με Η/Υ μέσω τεχνολογίας Bluetooth, έχει ωθήσει στην ανάπτυξη πολλών βιβλιοθηκών σε γλώσσα matlab για τον χειρισμό τους και την επεξεργασία των δεδομένων που παρέχουν. Έτσι χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό πακέτο matlab για τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων θέσης του αντικειμένου προς ανίχνευση.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν κρίθηκαν ικανοποιητικά συνυπολογίζοντας τον ερασιτεχνικό εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε και το χαμηλό του κόστος. Υπάρχουν βεβαίως πολλά περιθώρια βελτίωσης, κυρίως στο θέμα της ακρίβειας, μιας και το σύστημα προορίζεται να εφαρμοστεί σε χειρουργικό σύστημα. Τέλος παρουσιάζουμε πολλές βελτιώσεις του συστήματος, αλλά και ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις του, ώστε να αποτελέσει η εργασία αυτή πραγματικό εφιαλτήριο για μετέπειτα έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά: <<ρομποτική χειρουργική, εντοπισμός θέσης, τριγωνοποίηση, wii remote, υπέρυθρη ακτινοβολία>>

Abstract

The purpose of this thesis was to develop a system for determining the position and orientation of the endoscopic camera in space using infrared sensors. The endoscopic camera that is mentioned is the one that has the robotic surgical system Da Vinci .It was described the existing technology in the field of minimally invasive surgery and was presented the system Da Vinci. Then were studied various techniques of positioning and systems that serve this purpose.It was selected the technology of positioning with infrared because of its suitability for use indoors. Also the cost of implementing such a system is quite affordable since we used the infrared camera that has the joystick of console Nintendo Wii (wii remote).

The wii remotes are devices with multiple opportunities to input and output data (compatible with Bluetooth technology, etc.) and for this reason can support many applications beyond its original intended use. The positioning system of the laboratory was constructed by placing two wii remotes at appropriate locations. The ability to connect with PC using Bluetooth technology ,has pushed the development of many libraries in matlab language for handling them and processing the data they provide. So we used the software package of matlab for collecting and processing the location data of the object that is being detected.

The results of the experiments were considered sufficient taking into account the amateurish equipment that we used and its low cost. There is certainly much room for improvement, particularly in terms of accuracy, since the system is intended to be applied at a surgical system. Finally we present several improvements of the system and ideas for future extensions, so as this work to constitute a real springboard for subsequent research.

Keywords: <<Robotic surgery, positioning, triangulation,wii remote, infrared >>

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Βασίλη Μπαλντά και τον Χάρη Τσίρμπα για την πολύτιμη βοήθεια και την αμέριστη υποστήριξη που μου έδειξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	10
1.1	Ρομποτική χειρουργική		10
1.2	Πλεονεκτήματα ρομποτικής χειρουργικής		11
1.3	Εξέλιξη ρομποτικής χειρουργικής		12
1.4	Αντικείμενο διπλωματικής και οργάνωση κειμένου		14
2	Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα και ενδοσκοπικές κάμερες		16
2.1	Ενδοσκοπικές κάμερες		16
2.2	Ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci		19
3	Προσδιορισμός θέσης		23
3.1	Τεχνικές προσδιορισμού θέσης		23
3.2	Γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων προσδιορισμού θέσης		26
3.3	Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης		28
3.4	Συστήματα εντοπισμού θέσης		31
4	Περιγραφή του συστήματος εντοπισμού θέσης που αναπτύχθηκε, με εφαρμογή σε ρομποτικό βραχίονα		35
4.1	Περιγραφή της κονσόλας nintendo wii		35
4.2	Σύστημα εργαστηρίου βασισμένο στα χειριστήρια wii remotes		40
5	Τεχνολογία υλοποίησης (γλώσσα matlab)		50
5.1	Περιγραφή γλώσσας προγραμματισμού matlab		50
5.2	Κώδικας σε matlab που χρησιμοποιήθηκε		52
6	Πειραματική αξιολόγηση		59
6.1	Παράμετροι αξιολόγησης		59
6.2	Αποτελέσματα		60
6.3	Σύνοψη συμπερασμάτων αξιολόγησης		61
7	Συμπεράσματα και μελλοντική δουλειά		63
7.1	Σύνοψη και συμπεράσματα		63
7.2	Βελτιώσεις και μελλοντικές επεκτάσεις		64
8	Παράρτημα		66

8.1	Datasheets ir led και bluetooth device	66
9	Βιβλιογραφία.....	71

1

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε γενικά τη ρομποτική χειρουργική στις μέρες μας και θα αναφέρουμε τα πλεονεκτήματά της τόσο για τον ασθενή όσο και για τον χειρουργό. Επίσης θα εστιάσουμε στην εξέλιξη της ρομποτικής χειρουργικής και τέλος θα αναφερθούμε στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας και πώς οργανώνεται σε κάθε κεφάλαιο.

Τα τελευταία χρόνια υπήρξε μια επανάσταση στη χειρουργική. Από τις παραδοσιακές ανοικτές χειρουργικές επεμβάσεις οδηγηθήκαμε στην λαπαροσκοπική και στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική. Αρωγός στην επανάσταση αυτή υπήρξε φυσικά η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ως συνέπεια της εξέλιξης αυτής ο χειρουργός χειρίζεται τους ιστούς του ασθενή μέσω μιας οθόνης και με ειδικά εργαλεία χωρίς να έχει άμεση επαφή. Το 1987 υπήρξε το έτος που έγινε η πρώτη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή από τον Mouret, ενώ το 1985 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το ρομπότ PUMA 560 για την εκτέλεση νευροχειρουργικών βιοψιών με μεγαλύτερη ακρίβεια. Από τότε η ενδοσκοπική αυτή τεχνική έχει οδηγήσει σε πραγματική επανάσταση την χειρουργική πράξη. Η ρομποτική χειρουργική, δηλαδή η χρήση ρομποτικών συστημάτων καθοδηγούμενων από ηλεκτρονικούς υπολογιστές αποτελεί μια συνέχεια της επανάστασης αυτής τον 21^ο αιώνα. Το πραγματικό όνομα της ρομποτικής τεχνικής είναι ρομποτικώς υποβοηθούμενη λαπαροσκοπική χειρουργική, γιατί στην ουσία πρόκειται για μια εξελιγμένη μορφή λαπαροσκοπικής χειρουργικής. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρέχονται στον χειρουργό αλλά και στον ασθενή από την ρομποτική είναι η βελτίωση των παρεχόμενων χειρουργικών υπηρεσιών στον ασθενή με ταυτόχρονη ενίσχυση της απόδοσης της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής. Τα προηγούμενα αλλά και πολλά ακόμα πλεονεκτήματα συμβάλλουν ώστε η ρομποτική χειρουργική να είναι μια από τις πιο συναρπαστικές και πολλά υποσχόμενες νέες τεχνικές στο πεδίο της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (minimally invasive surgery).

1.1 Ρομποτική χειρουργική

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως η εξέλιξη της τεχνολογία έχει φέρει επανάσταση και στην γενική χειρουργική. Από την κλασική χειρουργική με τις μεγάλες τομές και τα επακόλουθά τους (βραδεία και επίπονη ανάρρωση, πολλές ημέρες στο νοσοκομείο κ.ά) οδηγηθήκαμε στη λαπαροσκοπική και ελάχιστα τραυματική χειρουργική (minimally invasive surgery) τη δεκαετία του '90 και τελευταία

στη ρομποτική χειρουργική (μέσα του 2000). Ρομποτική χειρουργική ονομάζεται η χειρουργική με τη χρήση ρομπότ. Κατά τη ρομποτική χειρουργική, ο χειρουργός βρίσκεται μπροστά σε μια χειρουργική κονσόλα-H/Y, όπου βλέπει σε μια οθόνη το χειρουργικό πεδίο, τρισδιάστατο και μεγεθυμένο, και πραγματοποιεί την επέμβαση κινώντας ειδικούς μοχλούς, που μοιάζουν με joysticks. Οι εντολές που δίνει ο χειρουργός μέσω των μοχλών αυτών μεταφέρονται ψηφιακά, ταυτόχρονα και με θαυμαστή ακρίβεια, στους αρθρωτούς χειρουργικούς βραχίονες ενός ρομπότ, οι οποίοι εκτελούν τις κινήσεις στο χειρουργικό πεδίο. Οι κινήσεις των βραχιόνων του ρομπότ ελέγχονται 100% από τον χειρουργό, ο οποίος πρέπει να είναι ειδικά εκπαιδευμένος στη χρήση του ρομποτικού συστήματος .

Η ρομποτική χειρουργική είναι εξέλιξη της ενδοσκοπικής χειρουργικής. Είναι μια ελάχιστη επεμβατική και ελάχιστη τραυματική χειρουργική μέθοδος που θέτει στην διάθεση του χειρουργού εξαιρετικά λεπτά και εύκαμπτα εργαλεία που εκτελούν τις χειρουργικές κινήσεις με πρωτοποριακή ακρίβεια, μέσα από μικροσκοπικές τομές στο δέρμα του ασθενούς(μισού έως το πολύ δύο εκατοστών) ,αντί για τις μεγάλες και δύσμορφες χειρουργικές τομές (των 15 τουλάχιστον εκατοστών περίπου) που γίνονταν στην ανοιχτή χειρουργική τεχνική παλιότερα.

1.2 Πλεονεκτήματα ρομποτικής χειρουργικής

Πολλά είναι τα πλεονεκτήματα που παρέχει η ρομποτική χειρουργική τόσο για τον ασθενή όσο και για τον χειρουργό. Αρχικά είναι μια ελάχιστη επεμβατική και ελάχιστη τραυματική μέθοδος, εξαιτίας της ακρίβειας με την οποία γίνονται οι κινήσεις του γιατρού. Επίσης τα ενδοσκοπικά εργαλεία στηρίζονται στους ρομποτικούς βραχίονες και δεν χρησιμοποιούν το σημείο εισόδου στο σώμα του ασθενούς ως υπομόχλιο με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η βλάβη των ιστών στο σημείο εισόδου των εργαλείων, κάτι που συμβαίνει στην παραδοσιακή λαπαροσκοπική χειρουργική. Ακόμα εξασφαλίζει ελάχιστη απώλεια αίματος και λιγότερο πόνο για τον ασθενή. Επίσης ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διεγχειρητικών και μετεγχειρητικών επιπλοκών και μειώνει σημαντικά το χρόνο παραμονής στο νοσοκομείο εξασφαλίζοντας ταχύτερη ανάρρωση. Τέλος, όσων αφορά τον ασθενή, παρέχει καλύτερα αισθητικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια αναφερόμαστε στα πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής για τον χειρουργό. Αρχικά επιτρέπει στον χειρουργό να έχει τρισδιάστατη (3D) εικόνα του χειρουργικού πεδίου, σε πολύ μεγάλη μεγέθυνση. Με το σύστημα φακών τρισδιάστατης απεικόνισης που διαθέτει η ρομποτική κονσόλα επιτυγχάνεται μεγέθυνση έως και 15 φορές με αποτέλεσμα ο χειρουργός να πλησιάζει πιο κοντά στο σημείο της επέμβασης από ό,τι επιτρέπει η ανθρώπινη όραση και να εργάζεται σε μικρότερα κλίματα σε σχέση με τη συμβατική χειρουργική. Επίσης εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές κινήσεις. Καθώς οι χειρισμοί του χειρουργού στην κονσόλα μετατρέπονται σε κίνηση των χειρουργικών βραχιόνων μειώνεται στο ελάχιστο και σχεδόν εξαλείφεται το φυσιολογικό τρέμουλο των χεριών, με αποτέλεσμα μια πρωτοφανή χειρουργική δεξιότητα. Έτσι παρέχεται στον χειρουργό η δυνατότητα να πραγματοποιεί δύσκολους χειρουργικούς χειρισμούς. Τα χειρουργικά εργαλεία των ρομποτικών βραχιόνων βοηθούν στην κατεύθυνση αυτή, αφού μπορούν να πραγματοποιήσουν όλες τις κινήσεις που πραγματοποιεί το ανθρώπινο χέρι (7 βαθμοί ελευθερίας στην κίνηση), με μεγαλύτερη δεξιότητα και ακρίβεια, ενώ περιστρέφονται σχεδόν 360° μέσα στο χειρουργικό πεδίο. Ακόμα παρέχει στον χειρουργό μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Σε αντίθεση με την συνηθισμένη χειρουργική πρακτική, η ρομποτική χειρουργική επιτρέπει στον χειρουργό να πραγματοποιεί τις επεμβάσεις καθισμένος, μέσα σε ένα προσεκτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο κάματος του χειρουργού, με πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δύσκολων και πολύωρων επεμβάσεων. Τέλος, ένα ακόμα πλεονέκτημα της ρομποτικής χειρουργικής για τον χειρουργό είναι η δυνατότητα που του παρέχεται να προετοιμάσει την επέμβαση στον H/Y, χρησιμοποιώντας τις εικόνες των εσωτερικών οργάνων των ασθενών που

προκύπτουν από τις εξετάσεις τους. Ο χειρουργός μπορεί επίσης και κατά τη διάρκεια της επέμβασης να ανακαλέσει στην οθόνη του και να συμβουλευτεί χρήσιμες εικόνες.

1.3 Εξέλιξη ρομποτικής χειρουργικής

Η λαπαροσκοπική χειρουργική είναι ίσως η σημαντικότερη εξέλιξη της γενικής χειρουργικής κατά τον 20^ο αιώνα. Κυρίως αναπτύχθηκε την τελευταία δεκαετία με την εξέλιξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών και της τεχνολογίας video. Ο όρος «λαπαροσκόπηση» προέρχεται από το λαπάρα = κοιλιά και σκοπώ = παρατηρώ. Επομένως κατά τη λαπαροσκόπηση βλέπουμε μέσα στην κοιλιά ,με τη βοήθεια οθόνης που παρέχει μεγεθυμένη εικόνα και έτσι δεν απαιτούνται πλέον χειρουργικές τομές για να ανοιχθεί η κοιλιά ώστε να υπάρξει άμεση όραση.

Παρά την ευρεία χρήση της λαπαροσκοπικής χειρουργικής σε όλα τα νοσοκομεία του κόσμου ,η εφαρμογή της λαπαροσκοπικής τεχνικής έχει περιορισθεί σε ορισμένες μόνο επεμβάσεις ρουτίνας . Αυτό συμβαίνει κυρίως εξαιτίας της περιορισμένης ικανότητας της παραδοσιακής λαπαροσκοπικής τεχνολογίας ,η οποία περιλαμβάνει το κλασικό βίντεο και τα άκαμπτα όργανα ,πάνω στα οποία βασίζεται ο χειρουργός για να πραγματοποιήσει την επέμβαση μέσω μικρών οπών. Στην παραδοσιακή ελάχιστη επεμβατική χειρουργική ούτε τα λαπαροσκοπικά όργανα αλλά ούτε και η οθόνη του βίντεο μπορούν να εξασφαλίσουν στον χειρουργό τέλεια ορατότητα και ακρίβεια κινήσεων ,που είναι απαραίτητες για την πραγματοποίηση περίπλοκων επεμβάσεων όπως η αποκατάσταση μιας καρδιακής βαλβίδας. Επομένως γίνεται φανερή η αδυναμία της λαπαροσκοπικής χειρουργικής που δεν είναι άλλη απ' τον ίδιο τον χειρουργό [1]. Για να ξεπεραστούν οι ανθρώπινες αδυναμίες του χειρουργού προτάθηκαν δύο λύσεις ,απ' τις οποίες με την κατάλληλη έρευνα προέκυψαν δύο παράλληλες τεχνολογίες. Η πρώτη λύση αφορούσε τη βοήθεια του χειρουργού ώστε να βελτιώσει και να διευρύνει τις ικανότητές του και η δεύτερη πρότεινε την αντικατάσταση του χειρουργού από κάποια αυτόματα μηχανή. Δημιουργήθηκαν λοιπόν οι δύο τεχνολογίες:

A. Υποβοηθούμενη από υπολογιστή χειρουργική (Computer –Assisted Surgery – CAS) η οποία έχει στόχο την ποιοτική αναβάθμιση των αισθήσεων του χειρουργού ώστε να αυξηθεί η ικανότητα και η απόδοσή του στο χειρουργείο (τρισδιάστατη όραση ,αφή και 3D διαγνωστικά βοηθήματα της απεικονιστικής τεχνολογίας).

B. Ρομποτική χειρουργική η οποία ενσωματώνει πολλές εφαρμογές της CAS με τη διαφορά ότι ο ρόλος του χειρουργού υποβαθμίζεται. Η σύγχρονη ρομποτική τεχνολογία μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις βασικές υποκατηγορίες ,ανάλογα με το βαθμό εμπλοκής του χειρουργού στο χειρουργείο. Αυτές είναι:

- το ρομποτικό σύστημα χειρουργός (supervisory-controlled system) όπου ο χειρουργός προγραμματίζει και επιβλέπει την επέμβαση και το ρομπότ την εκτελεί αυτόματα σύμφωνα με το πρόγραμμα του υπολογιστή. Παραμένει ανεφάρμοστη λόγω οικονομικού κόστους και μεγάλου όγκου των απαιτούμενων πληροφοριών.
- Το ρομποτικό σύστημα τηλεχειρουργικής (telesurgical system) όπου ο χειρουργός χειρίζεται τους βραχίονες του ρομπότ χωρίς να απαιτείται η φυσική του παρουσία στο χειρουργείο. Έτσι οι επεμβάσεις μπορούν να γίνουν από οποιαδήποτε απόσταση χάρη στους εξελιγμένους αισθητήρες του συστήματος. Εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας αποτελεί το σύστημα Da Vinci.
- Το ρομποτικό σύστημα βοηθός (shared-control system) όπου ο χειρουργός πραγματοποιεί ο ίδιος την επέμβαση ενώ ο ρόλος του ρομπότ περιορίζεται στην παροχή βοήθειας ώστε να

γίνουν πιο σταθερές και ακριβείς οι κινήσεις του χεριού. Αποτελεί τεχνολογία που βασίζεται στη φιλοσοφία της CAS [1].

Η πρώτη πρόκληση της ρομποτικής χειρουργικής σχετίζεται με την τηλε-ιατρική. Μέχρι σήμερα ήταν αδιανόητο να πραγματοποιηθεί επέμβαση από μακριά, χωρίς δηλαδή να συνυπάρχουν ο ασθενής και ο χειρουργός στον ίδιο χώρο. Αυτός ο περιορισμός οδήγησε την NASA και τον στρατό να ξεκινήσουν έρευνες ώστε να δημιουργηθεί ένας τρόπος να χειρουργούνται οι αστροναύτες από γιατρούς που βρίσκονταν στη γη, και αντίστοιχα οι στρατιώτες, που κινδύνευε η ζωή τους στο πεδίο της μάχης, από γιατρούς που βρίσκονταν σε κάποιο απομακρυσμένο και ασφαλές σημείο. Έτσι γεννήθηκε η ανάγκη της τηλε-ιατρικής, που έθεσε τις βάσεις για τη δημιουργία της ρομποτικής χειρουργικής.

Ένας ακόμη περιορισμός που κλήθηκε και κατόρθωσε να ξεπεράσει η ρομποτική χειρουργική είναι ο περιορισμός που έθετε ο σχεδιασμός των λαπαροσκοπικών εργαλείων, τα οποία δεν ήταν αρκετά εύκαμπτα ώστε να πραγματοποιήσουν ορισμένες κινήσεις. Με την συντριπτική αποδοχή της λαπαροσκοπικής χειρουργικής από τη χειρουργική κοινότητα, εξαιτίας των μοναδικών πλεονεκτημάτων που προσφέρει στον ασθενή, ήταν απαραίτητο να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός, όπως και συνέβη με την εξέλιξη της ρομποτικής χειρουργικής.

Η ρομποτική χειρουργική επέτρεψε ακόμη να αρθούν οι περιορισμοί που υπήρχαν στην πραγματοποίηση επεμβάσεων σε μικροσκοπικά και περιορισμένα χειρουργικά πεδία. Η μοναδική ακρίβεια των κινήσεων των χειρουργικών βραχιόνων επιτρέπει στους χειρουργούς και τους παιδοχειρουργούς να πραγματοποιούν επεμβάσεις σε σημεία του σώματος όπου παλαιότερα δε θα τολμούσαν, και να σώζουν περισσότερες ζωές με ελάχιστο κίνδυνο.

Επομένως η ρομποτική χειρουργική επέτρεψε να ξεπεραστούν και οι τρεις βασικοί περιορισμοί που υπήρχαν μέχρι τώρα. Έτσι ο κύριος λόγος για την καθιέρωση των συστημάτων ρομποτικής χειρουργικής είναι τα σημαντικά πλεονεκτήματα που εξασφαλίζουν στο χειρουργό για την επιτυχή και ασφαλή διεξαγωγή της επέμβασης. Βέβαια το ρομπότ δεν αντικαθιστά το χειρουργό ,αποτελεί όμως ένα νέο σημαντικό εργαλείο και εφόδιο ,που διευκολύνει το έργο του και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για πιο αποτελεσματικές επεμβάσεις [1].

Στο σημείο αυτό αναφέρουμε συνοπτικά τρία ρομποτικά συστήματα εκτός του συστήματος Da Vinci για το οποίο θα γίνει αναλυτική περιγραφή στο επόμενο κεφάλαιο. Το σύστημα Aesop (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) εγκρίθηκε απ' τον παγκόσμιο οργανισμό FDA το 1994 και έγινε το πρώτο ρομπότ που βοήθησε τους χειρουργούς στο χειρουργείο. Πάνω από 70.000 επεμβάσεις έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα με τη βοήθειά του, κάτι που υποδηλώνει την επιτυχή του πορεία στον χώρο της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τον έλεγχο της πορείας μιας μικροσκοπικής κάμερας στο εσωτερικό του ασθενή, από τη φωνή του χειρουργού. Έτσι δεν απαιτείται ο χειρισμός του ενδοσκοπίου από κάποιον άλλον ,ίσως νοσηλεύτη, αφού οι φωνητικές εντολές του χειρουργού αρκούν για κάτι τέτοιο. Στις μέρες μας χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο ποσοστό (περίπου 35%) των ελάχιστα επεμβατικών εγχειρήσεων, για τον έλεγχο του ενδοσκοπίου. Το κόστος του συστήματος αυτού δεν είναι αρκετά υψηλό (περίπου 65.000\$)και σε συνδυασμό με τις πολλές εφαρμογές του σε τεχνικές bypass κλειστού θώρακος ,έχει τη δυνατότητα να κυριαρχήσει στην αγορά της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής.

Το χειρουργικό σύστημα Zeus είναι ένα σύγχρονο και τεχνικά προηγμένο ρομποτικό βοήθημα. Μοιάζει αρκετά με το σύστημα Da Vinci αφού διαθέτει ρομποτικούς βραχιόνες οι οποίοι χειρίζονται από τον χειρουργό με ειδικές χειρολαβές. Επίσης προσφέρει καλή ορατότητα του χειρουργικού πεδίου μέσω ειδικής οθόνης που διαθέτει ,ενώ μειώνει σημαντικά τον τρόπο τον χεριών του χειρουργού αυξάνοντας έτσι την επιδεξιότητά του.

Το σύστημα Hermes διαφέρει σημαντικά από το Zeus και το Aesop μιας και δεν χρησιμοποιεί ρομποτικούς βραχίονες. Πρόκειται για μια πλατφόρμα που επιτρέπει τη δικτύωση του χειρουργείου με τις χειρουργικές συσκευές. Οι συσκευές αυτές ελέγχονται με απλές φωνητικές εντολές του χειρουργού και έτσι προσφέρει τη δυνατότητα του χειρισμού όλου του χειρουργικού εξοπλισμού από έναν άνθρωπο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά το προσωπικό στο χειρουργείο και να το οργανώσει μέσω της δικτύωσης που παρέχει.



Εικόνα 1: Χειρουργικό σύστημα Aesop (αριστερά) και Zeus (δεξιά).

1.4 Αντικείμενο διπλωματικής και οργάνωση κειμένου

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος εντοπισμού της θέσης και του προσανατολισμού της ενδοσκοπικής κάμερας του συστήματος Da Vinci. Όπως θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο, το σύστημα Da Vinci δεν δίνει τη δυνατότητα στον χειρουργό να γνωρίζει την ακριβή θέση του ενδοσκοπίου, κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης. Κάτι τέτοιο δεν είναι απαγορευτικό για τη χρήση του συστήματος αυτού, μιας και το ενδοσκόπιο αυτό παρέχει στον χειρουργό τρισδιάστατη απεικόνιση του εσωτερικού του ασθενή. Παρόλα αυτά με την βελτίωση του συστήματος που παρουσιάζουμε θα μπορούσε ο χειρουργός να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο πού βρίσκεται το ενδοσκόπιο σε σχέση με τον ασθενή, αν προσεγγίζει κάποιο ευαίσθητο ίσως όργανο κ.α. Γενικά θα έδινε μια επιπλέον βοήθεια στον γιατρό να βλέπει πέρα από όσα βλέπει το ενδοσκόπιο και να μπορεί να προβλέψει καλύτερα πιθανά σφάλματα, αλλά και γενικότερα να οργανώσει πιο αποτελεσματικά την επέμβαση.

Πιστεύουμε λοιπόν ότι η συνεισφορά του συστήματος που θα παρουσιάσουμε είναι πολύ σημαντική και ανοίγει νέες δυνατότητες στον τομέα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής. Μελλοντικά με την εξέλιξη του συστήματος αυτού, θα μπορούσαμε να το συνδυάσουμε με εικόνες από μαγνητική τομογραφία (MRI) ή άλλη απεικονιστική μέθοδο ώστε να δίνεται ακόμα περισσότερο ολοκληρωμένη εικόνα στον χειρουργό για τη θέση του ενδοσκοπίου στο εσωτερικό του ασθενή που χειρουργεί.

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται ως εξής:

- Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζουμε την υπάρχουσα τεχνολογία στις ενδοσκοπικές κάμερες και περιγράφουμε το χειρουργικό σύστημα Da Vinci.

- Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης γενικά ,περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των συστημάτων εντοπισμού θέσης και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα για εντοπισμό θέσης όπως RFID κ.τ.λ. Τέλος γίνεται αναφορά σε κάποια συστήματα προσδιορισμού θέσης που χρησιμοποιούνται εμπορικά ή ερευνητικά.
- Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η περιγραφή του συστήματος του εργαστηρίου. Αρχικά παρουσιάζουμε τα χαρακτηριστικά της κονσόλας Nintendo wii και στη συνέχεια περιγράφουμε το σύστημα του εργαστηρίου που στηρίχθηκε στα χειριστήρια Nintendo wii remotes.
- Στο κεφάλαιο 5 αναλύουμε την τεχνολογία που χρησιμοποιήσαμε. Πιο συγκεκριμένα περιγράφουμε τη γλώσσα προγραμματισμού matlab και στη συνέχεια παραθέτουμε τον κώδικα που χρησιμοποιήσαμε με τα απαραίτητα σχόλια.
- Στο κεφάλαιο 6 περιγράφεται η πειραματική αξιολόγηση του συστήματός μας παραθέτοντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων και σχολιάζοντας τα συμπεράσματα που προκύπτουν απ' αυτά.
- Στο κεφάλαιο 7 συνοψίζεται η παρούσα εργασία και αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν αλλά και πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις του συστήματος.

2

Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα και ενδοσκοπικές κάμερες

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την υπάρχουσα τεχνολογία στις ενδοσκοπικές κάμερες και στη συνέχεια το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Da Vinci.

2.1 Ενδοσκοπικές κάμερες

Ο όρος ενδοσκόπηση σημαίνει παρατηρώ ή εξετάζω μια εσωτερική κοιλότητα του σώματος μέσω οπτικού σωλήνα εφοδιασμένου με σύστημα φωτισμού συνήθως για ιατρικούς λόγους. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το ενδοσκόπιο το οποίο είναι ένα όργανο που μπορεί να εξετάζει το εσωτερικό ενός κοίλου οργάνου ή μια κοιλότητα του ανθρώπινου σώματος. Αντίθετα με τις υπόλοιπες συσκευές ιατρικής απεικόνισης τα ενδοσκόπια εισάγονται απευθείας στο υπό εξέταση όργανο.

Το πρώτο ενδοσκόπιο αναπτύχθηκε το 1806 απ' τον Philipp Bozzini στο Mainz και το ονόμασε αγωγό φωτός για να πραγματοποιεί εξετάσεις στα κανάλια και τις κοιλότητες του ανθρώπινου σώματος. Η πρώτη φορά που εισήχθη ένα ενδοσκόπιο σε άνθρωπο ήταν το 1822 απ' τον William Beaumont έναν στρατιωτικό χειρουργό στο νησί Mackinac στο Michigan.

Ένα ενδοσκόπιο μπορεί να αποτελείται από [2] :

- έναν άκαμπτο ή εύκαμπτο σωλήνα
- ένα σύστημα μεταφοράς φωτός για τον φωτισμό του υπό έλεγχο οργάνου (συνήθως η πηγή του φωτός είναι έξω απ' το ανθρώπινο σώμα και το φως κατευθύνεται μέσω ενός συστήματος οπτικών ινών)
- ένα σύστημα φακών που μεταδίδουν την εικόνα στον ιατρό, συνήθως ένα σύστημα φακών μετάδοσης στην περίπτωση των άκαμπτων ενδοσκοπίων ή μια δέσμη οπτικών ινών στην περίπτωση του εύκαμπτου ενδοσκοπίου
- ένα προσοφθάλμιο
- έναν επιπρόσθετο κανάλι για να επιτραπεί η είσοδος ιατρικών οργάνων ή βραχιόνων

Παρακάτω φαίνεται ένα εύκαμπτο ενδοσκόπιο οπτικών ινών :



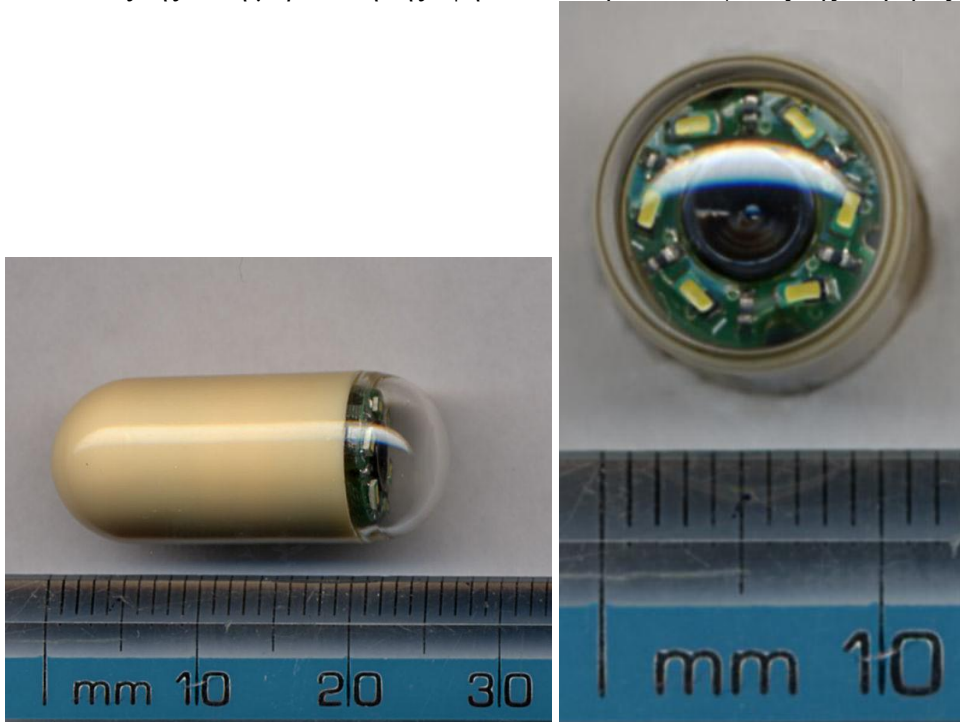
Εικόνα 2:Εύκαμπτο ενδοσκόπιο

Γενικά υπάρχουν δύο ρομποτικές προσεγγίσεις ενδοσκοπίων. Η πρώτη είναι ένας μηχανισμός με πολλές αρθρώσεις που μπορεί να εφαρμοστεί στις περιοχές του εντέρου. Αυτό το είδος ενδοσκοπίου απαιτεί μεγάλο πλήθος μηχανισμών κίνησης και αισθητήρων. Η άλλη προσέγγιση είναι ένα μικροσκοπικό αυτοπροωθούμενο ρομπότ που μπορεί να καλύψει όλο το μήκος του γαστροεντερικού κομματιού. Ο Slatkin και ο Corrozza χρησιμοποιούν στα συστήματά τους έναν μηχανισμό προώθησης που ονομάζεται inchworm σύμφωνα με τον οποίο υπάρχουν ειδικά κολάρα στις άκρες κάθε τμήματος, τα οποία διογκώνονται με κατάλληλη σειρά ώστε να «πιάσουν» τα τοιχώματα του εντέρου και στη συνέχεια εκτείνονται ώστε να προκαλέσουν την κίνηση του ρομπότ εμπρός ή πίσω. Οι μηχανισμοί κίνησης χρησιμοποιούν πνευματική δύναμη χαμηλής πίεσης ώστε να αποφεύγονται τραυματισμοί των ιστών.

Οι ενδοσκοπήσεις χωρίζονται σε διαγνωστικές και θεραπευτικές. Η διαγνωστική ενδοσκόπηση έχει κυρίως τρεις δημοφιλείς εφαρμογές, τη γαστροσκόπηση, την κολονοσκόπηση και την ενδοσκοπική χολαγγειοπαγκρεατογραφία (ERCP). Με τον όρο γαστροσκόπηση εννοούμε τη διαγνωστική ενδοσκόπηση του ανώτερου πεπτικού συστήματος. Συνήθως είναι γρήγορη (διαρκεί 3-5 λεπτά) και ανώδυνη εξέταση ενώ η μόνη προετοιμασία που απαιτεί απ' τον ασθενή είναι νηστεία 7-8 ωρών. Η γαστροσκόπηση είναι απαραίτητη για τη διάγνωση νοσημάτων όπως το έλκος και ο καρκίνος του στομάχου, και για τη διερεύνηση ασθενών με σιδηροπενική αναιμία, δυσκολία ή πόνο στην κατάποση της τροφής κ.α. Επίσης είναι απαραίτητη εξέταση σε περιπτώσεις ασθενών που έχουν υποβληθεί σε εγχείρηση στομάχου. Με τον όρο κολονοσκόπηση νοείται ο ενδοσκοπικός έλεγχος του παχέος εντέρου. Η εξέταση διαρκεί 15-30 λεπτά ενώ στόχος της είναι η επιθεώρηση, η βιοψία ή η επεξεργασία της περιοχής εξέτασης. Είναι απαραίτητη εξέταση για τη διάγνωση και παρακολούθηση νοσημάτων όπως ο καρκίνος και οι πολύποδες του παχέος εντέρου, η ελκώδης κολίτιδα και η νόσος του Chron.

Τέλος μία άλλη πολύ σημαντική ενδοσκοπική εξέταση είναι η ενδοσκοπική χολαγγειοπαγκρεατογραφία (ERCP), που απαιτεί νοσηλεία του ασθενούς στο νοσοκομείο. Η εξέταση αυτή αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο απεικόνισης των χοληφόρων οδών και των παγκρεατικών πόρων (όπως και η μαγνητική χολαγγειοπαγκρεατογραφία MRCP). Είναι αναντικατάστατη μέθοδος για τη σωστή διάγνωση και ενδοσκοπική θεραπεία νόσων που εκδηλώνονται με συμπτώματα μετά από χειρουργική αφαίρεση της χοληδόχου κύστεως, σε ίκτερο αδιευκρίνιστης αιτιολογίας, όπως και σε οξεία ή χρόνια παγκρεατίτιδα και σε καρκίνο του παγκρέατος. Στη διαγνωστική ενδοσκόπηση ανήκει και η εντεροσκόπηση με βιντεο-κάψουλα. Η κατασκευή της βίντεο-κάψουλας επιτεύχθηκε με την πρόοδο της ηλεκτρονικής τεχνολογίας, ώστε στις διαστάσεις της κάψουλας (11x30 χιλιοστά) να χωρέσουν μπαταρία ρεύματος διάρκειας οκτώ ωρών και σύστημα συνεχούς λήψεως και εκπομπής ηλεκτρονικών εικόνων καλής ποιότητας. Οι εικόνες μεταβιβάζονται σε δέκτη που φορά στη μέση του ο ασθενής. Ο ασθενής καταπίνει τη

βίντεο-κάψουλα, η οποία με τις περισταλτικές κινήσεις του πεπτικού σωλήνα προωθείται κατά μήκος του λεπτού εντέρου, ενώ συγχρόνως εκπέμπει συνεχώς ηλεκτρονικές εικόνες του βλεννογόνου, οι οποίες αποθηκεύονται στο δέκτη. Η βίντεο-κάψουλα είναι μιας χρήσεως και αποβάλλεται με τα κόπρανα του ασθενούς. Παρακάτω φαίνεται μια βίντεο κάψουλα με τις διαστάσεις της και η μπροστινή της όψη όπου διακρίνεται ο φακός της κάμερας και τα 6 leds :



Εικόνα 3: Βίντεο-κάψουλα ενδοσκοπήσεως και μπροστινή όψη φακού κάμερας

Όσον αφορά τις θεραπευτικές ενδοσκοπήσεις αυτές σχετίζονται με την αφαίρεση πολυπόδων και τη διαστολή στενώσεων. Συνήθως εφαρμόζεται σε αφαιρέσεις ξένων σωμάτων απ' τον οισοφάγο ή το στομάχι ,στην περιίδεση ή σκλήρυνση των κιστών του οισοφάγου ή έλκους και σε διαστολή στενώσεων του οισοφάγου.

Ενδοσκόπηση εφαρμόζεται επίσης εκτός απ' τις παραπάνω περιπτώσεις και στο αναπνευστικό σύστημα ,στη μύτη ,στο κατώτερο αναπνευστικό (βρογχοσκόπηση) ,στο αυτί, στο ουροποιητικό σύστημα ,στη γυναικολογία ,στην κοιλιακή χώρα ,στον θώρακα ,στο έμβρυο κατά τη διάρκεια εγκυμοσύνης ,στην πλαστική χειρουργική ,στην ορθοπεδική χειρουργική κ.α. Παρακάτω φαίνεται το τρισδιάστατο ενδοσκόπιο που χρησιμοποιεί το χειρουργικό σύστημα Da Vinci για το οποίο θα γίνει λόγος στο αμέσως επόμενο υποκεφάλαιο :



Εικόνα 4: Ενδοσκόπιο 3-D που χρησιμοποιείται στο σύστημα Da Vinci (διαθέτει δύο κάμερες για τρισδιάστατη απεικόνιση

2.2 Χειρουργικό σύστημα Da Vinci

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε την υπάρχουσα τεχνολογία στα χειρουργικά ρομποτικά συστήματα και πιο συγκεκριμένα το χειρουργικό σύστημα Da Vinci. Το χειρουργικό σύστημα Da Vinci είναι το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής που εγκρίθηκε από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών (FDA) για την πραγματοποίηση επεμβάσεων με ελάχιστο επεμβατικό τρόπο. Το σύστημα ελέγχεται από τον χειρουργό που παρακολουθεί την ειδική κονσόλα. Συνήθως χρησιμοποιείται σε προστατεκτομές και σταδιακά σε επιδιορθώσεις της καρδιακής βαλβίδας και στη γυναικολογία. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή ονομάστηκε σύστημα da Vinci επειδή ο Leonardo da Vinci εφηύρε το πρώτο ρομπότ και επειδή ο ίδιος χρησιμοποιούσε ανατομική ακρίβεια και τρισδιάστατα στοιχεία για να κατασκευάσει τα έργα του[2].

Αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη ρομποτική κονσόλα του χειρουργού, όπου κάθεται ο χειρουργός και, έχοντας στην οθόνη μπροστά του μια μεγεθυμένη και τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου, κινεί τους ειδικούς μοχλούς που δίνουν εντολή στους χειρουργικούς βραχίονες του ρομπότ. Η μονάδα των ρομποτικών βραχιόνων (τροχήλατο) όπου βρίσκονται τα χειρουργικά εργαλεία τύπου EndoWrist και το ενδοσκόπιο (κάμερα) που τοποθετείται δίπλα στον ασθενή, λίγα μέτρα μακριά από την κονσόλα του χειρουργού. Εκεί βρίσκεται και η ομάδα του χειρουργού. Τέλος η εικόνα που βλέπει ο χειρουργός είναι τρισδιάστατη και μεγεθυμένη χάρη στο υψηλών προδιαγραφών σύστημα όρασης InSite Vision System.



Εικόνα 5: Η κονσόλα του χειρουργού που περιλαμβάνει ένα διοπτρικό σύστημα οθονών για τρισδιάστατη απεικόνιση (InSite Vision System)

Ο χειρουργός όπως είπαμε, ελέγχει όλο το ρομποτικό σύστημα μέσω της ρομποτικής κονσόλας, η οποία διαθέτει στο πάνω μέρος τις ειδικές χειρολαβές τις οποίες χειρίζεται με τα δάχτυλά του, και στο κάτω μέρος τους ποδοδιακόπτες για το συντονισμό των κινήσεων και άλλες λειτουργίες. Έτσι όλες οι κινήσεις του χεριού, του καρπού και των δακτύλων του χειρουργού μετατρέπονται με απόλυτη ακρίβεια και σταθερότητα απ' το ρομποτικό σύστημα σε κινήσεις πραγματικού χρόνου από τους χειρουργικούς βραχιόνες μέσα στο χειρουργικό πεδίο [1]. Η μονάδα των ρομποτικών βραχιόνων διαθέτει 3 ή 4 βραχιόνες εκ των οποίων ο ένας είναι για το ενδοσκόπιο και οι υπόλοιποι για τα ενδοσκοπικά εργαλεία. Τα ειδικά ενδοσκοπικά ρομποτικά εργαλεία τύπου EndoWrist διαθέτουν 7 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων και μιμούνται με μεγάλη ακρίβεια την ευκινησία του ανθρώπινου χεριού και καρπού. Το καθένα απ' αυτά έχει συγκεκριμένη χειρουργική αποστολή όπως να κόβει, να ράβει κ.τ.λ. Ο ενδοσκοπικός πύργος διαθέτει μια μεγάλη οθόνη υψηλής ευκρίνειας, δύο βιντεοκάμερες, σύστημα φωνητικής επικοινωνίας μέσω μεγαφώνων του χειρουργού με το βοηθό του και τη νοσοκόμα και άλλες ειδικές συσκευές. Τέλος το σύστημα όρασης InSite διαθέτει ένα υψηλής ευκρίνειας τρισδιάστατο ενδοσκόπιο και σύγχρονους επεξεργαστές εικόνας ώστε να παρέχει πραγματική τρισδιάστατη απεικόνιση του πεδίου εγχείρησης.

Οι επεμβάσεις που μπορούν να γίνουν με το σύστημα Da Vinci ανήκουν στις ειδικότητες της γενικής χειρουργικής, της καρδιοχειρουργικής, της ουρολογίας και της γυναικολογίας. Στη γενική χειρουργική έχει εφαρμοστεί στις εξής [1]:

- Τοποθέτηση δακτυλίου στομάχου Lap Band ή γαστρικού bypass για νοσογόνο παχυσαρκία
- Διόρθωση διαφραγματοκήλης και γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης
- Αποκατάσταση αχαλασίας οισοφάγου
- Χολοκυστεκτομή, μετεγχειρητικές κήλες, βουβωνοκήλες, κισσοκήλες
- Διεύρυνση χοληδόχου πόρου
- Εκτομές κύστεων ήπατος, νεφρού, παγκρέατος, σπλήνας
- Αφαίρεση παγκρέατος
- Επινεφριδεκτομή
- Αποκατάσταση βουβωνοκήλης και κοιλιοκήλης με πλέγμα
- Κολεκτομή, σπληνεκτομή, παγκρεατεκτομή, ηπατεκτομή, γαστρεκτομή, σκωληκοειδεκτομή, λύση συμφύσεων κ.α.

Στην καρδιοχειρουργική και θωρακοχειρουργική έχουμε :

- Αντικατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας, by pass στεφανιαίας αρτηρίας
- Αποκατάσταση μεσοκοιλιακής επικοινωνίας κ.α.

Στην ουρολογία έχουμε:

- Προστατεκτομή με διατήρηση των στυτικών νευρών αποφεύγοντας έτσι την απώλεια της στυτικής λειτουργίας σε ποσοστό άνω του 95%, νεφρεκτομή κ.α.
- Πυελοπλαστική
- Αφαίρεση λίθων από τον ουρητήρα, λεμφαδένων, κύστεων νεφρού
- Αποκατάσταση κισσοκήλης κ.α.

Στη γυναικολογία τέλος εφαρμόζεται στα εξής:

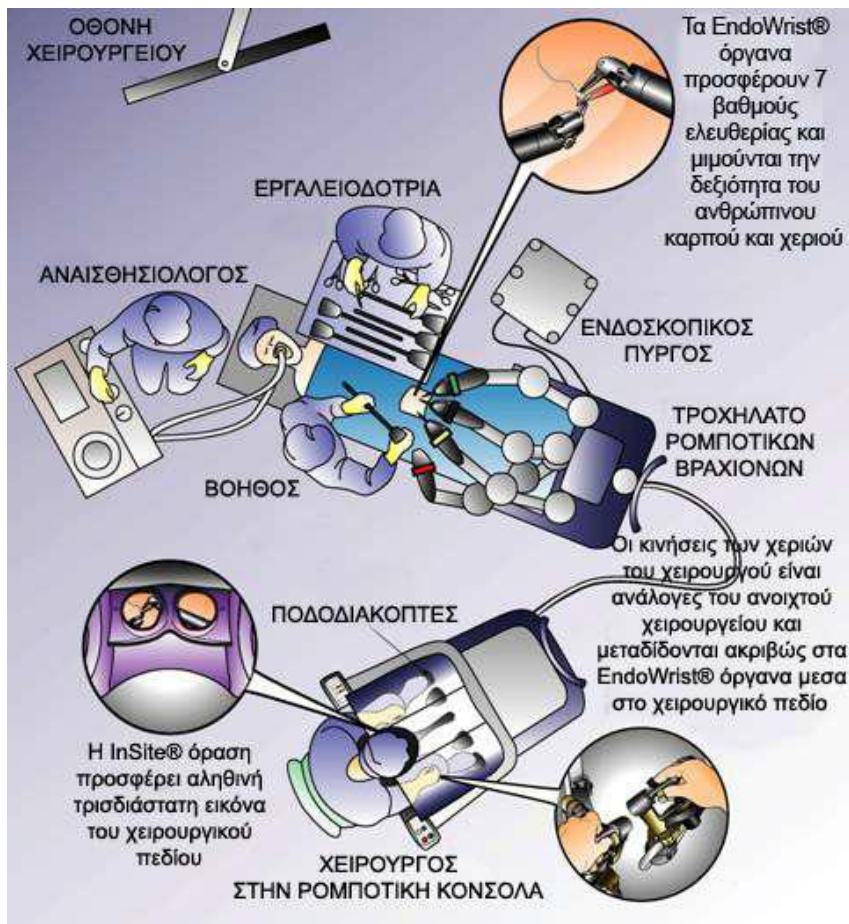
- Αφαίρεση κύστεων ωοθηκών, ινομυωμάτων, σαλπίνγων, εξωμητρίου κύστεως
- Λεμφαδενικό καθαρισμό, υστερεκτομή κ.α.

Τέλος έχει εφαρμογές στην Παιδοχειρουργική, την Αγγειοχειρουργική και τη Νευροχειρουργική. Παρά τις πολλές εφαρμογές του συστήματος Da Vinci υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να ολοκληρωθεί πλήρως στα πλαίσια του υπάρχοντος υγειονομικού συστήματος. Το κόστος αγοράς αλλά και συντήρησης του εξοπλισμού είναι αρκετά υψηλό. Επίσης υπάρχει έλλειψη απτικής αίσθησης κάτι που δυσκολεύει τον χειρουργό, ενώ το μεγάλο του μέγεθος το καθιστά δύσκολο στην εγκατάσταση και απαιτεί ειδικούς χώρους εγκατάστασης στα νοσοκομεία. Τέλος μία αδυναμία του συστήματος Da Vinci φιλοδοξεί να διορθώσει η εργασία αυτή. Αυτή είναι η ανικανότητα του συστήματος να εντοπίζει σε πραγματικό χρόνο τη θέση της ενδοσκοπικής κάμερας στον χώρο, με αποτέλεσμα ο χειρουργός να μην γνωρίζει την ακριβή της θέση και να περιορίζεται μόνο σε ό,τι βλέπει. Θα ήταν λοιπόν σημαντικό να υπήρχε η δυνατότητα για τον χειρουργό, ενώ πραγματοποιεί την επέμβαση, να ξέρει πού ακριβώς βρίσκεται η ενδοσκοπική κάμερα ή ενδεχομένως σε ποιο όργανο προσεγγίζει ώστε να μπορεί να προετοιμαστεί κατάλληλα. Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης της ενδοσκοπικής κάμερας περιγράφεται με την παρούσα εργασία.

Ο σχεδιασμός του χειρουργικού συστήματος Da Vinci ξεκίνησε το 1995 και από το 2000 μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται σε περισσότερα από 350 νοσοκομεία παγκοσμίως, ενώ η χρήση του εξαπλώνεται με ταχύτερους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας των σημαντικών πλεονεκτημάτων του. Δημιουργήθηκε απ' την εταιρεία Intuitive Surgical και στην Ελλάδα εισάγεται απ' την εταιρεία Plus Medica ΕΠΕ. Το πρωτοποριακό αυτό σύστημα ρομποτικής χειρουργικής έρχεται να προσφέρει περισσότερη ακρίβεια και ασφάλεια στην καθημερινή χειρουργική πρακτική. Η ανάπτυξη και η υιοθέτηση της ρομποτικής χειρουργικής έρχεται να επαληθεύσει τα πιο ελπιδοφόρα σενάρια για το μέλλον της ιατρικής.



Εικόνα 6: Ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci



Εικόνα 7: Τοποθέτηση χειρουργικού συστήματος da Vinci και των εξαρτημάτων του και θέση ιατρών και νοσηλευτών κατά τη διάρκεια επέμβασης [1].

3

Προσδιορισμός θέσης

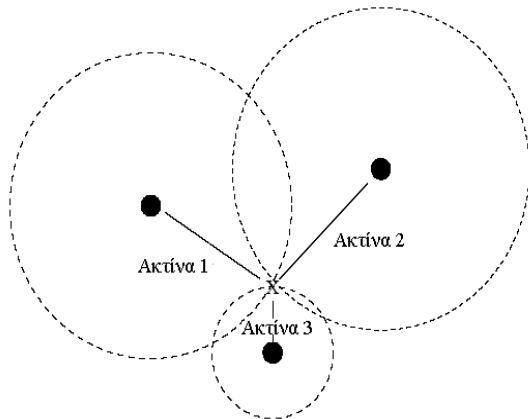
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό θέσης καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων εντοπισμού θέσης. Επίσης θα γίνει μια περιγραφή των υπαρχουσών τεχνολογιών που μας επιτρέπουν να υλοποιήσουμε τις προηγούμενες τεχνικές όπως είναι οι υπέρυθρες και τα ραδιοκύματα. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου είναι πολύ δημοφιλή τα τελευταία χρόνια. Αυτά τα συστήματα παρέχουν έναν νέο τομέα αυτοματισμού που λέγεται αυτόματος εντοπισμός θέσης αντικειμένων. Ενδεικτικά κάποιες εφαρμογές των τεχνικών εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου στην καθημερινή ζωή είναι ο εντοπισμός θέσης των προϊόντων σε μια αποθήκη, του ιατρικού προσωπικού ή του εξοπλισμού σε ένα νοσοκομείο, των πυροσβεστών σε ένα φλεγόμενο κτήριο κ.α. [3].

3.1 Τεχνικές προσδιορισμού θέσης

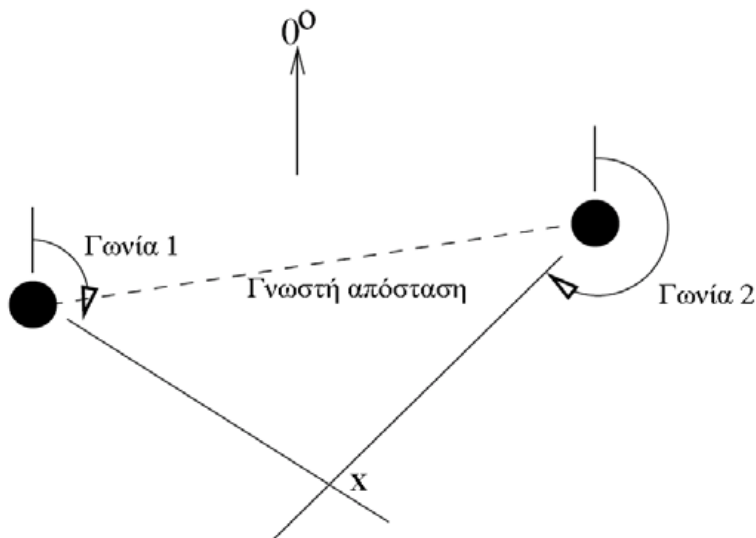
Οι τρεις κυριότερες τεχνικές για προσδιορισμό θέσης γενικά είναι η **τριγωνοποίηση (triangulation)**, η **ανάλυση σκηνών (scene analysis)** και η **εγγύτητα (proximity)**. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης μπορεί να υλοποιούν τις τεχνικές αυτές ξεχωριστά ή σε συνδυασμό. Γενικά συνδυάζοντας ταυτόχρονα 2 ή περισσότερες τεχνικές μπορούμε να επιτύχουμε καλύτερα αποτελέσματα [3].

Η **τριγωνοποίηση** χρησιμοποιεί τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων ώστε να εκτιμήσει τη θέση του αντικειμένου - στόχου. Η μέθοδος αυτή διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: μέτρηση των αποστάσεων (lateration) και μέτρηση των γωνιών (angulation). Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο χρησιμοποιούνται διάφορα σημεία αναφοράς και στη συνέχεια γίνονται μετρήσεις της απόστασης του αντικειμένου από αυτά τα σημεία. Για το λόγο αυτό ονομάζονται τεχνικές μέτρησης εύρους. Αντί να μετρηθεί άμεσα η απόσταση, εκμεταλλευόμενοι την εξασθένιση του σήματος (RSS- received signal strength) συχνά μετράμε τον χρόνο άφιξης (TOA- time of arrival) ή τη διαφορά του χρόνου άφιξης (TDOA –time difference of arrival) και η απόσταση προκύπτει υπολογίζοντας την απόσβεση της ισχύος του σήματος εκπομπής ή πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα του ραδιοκύματος με τον χρόνο διάδοσης του κύματος. Με τη δεύτερη μέθοδο της μέτρησης των γωνιών προσδιορίζουμε τη θέση ενός αντικειμένου υπολογίζοντας τις γωνίες που

σηματίζει σε σχέση με πολλαπλά σημεία αναφοράς [3]. Παρακάτω φαίνονται σχηματικά οι δύο παραπάνω μέθοδοι [4]:



Εικόνα 8: Μέτρηση των αποστάσεων (απαιτούνται τρία σημεία αναφοράς για δισδιάστατο χώρο)



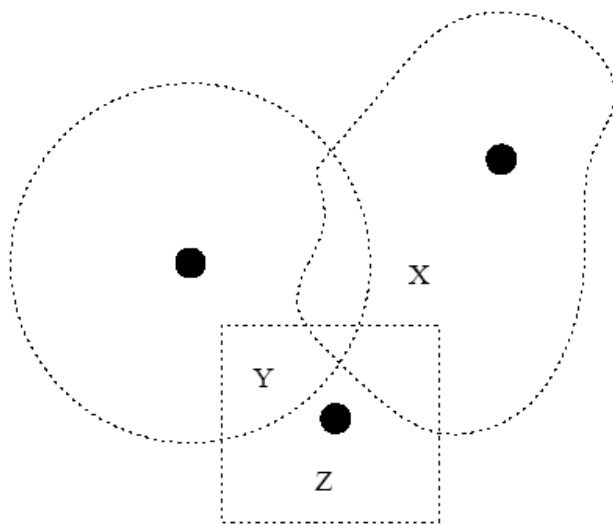
Εικόνα 9: Μέτρηση των γωνιών (απαιτούνται δύο μετρήσεις γωνιών και μία μέτρηση απόστασης για δισδιάστατο χώρο)

Η RF **ανάλυση σκηνών** (ανάλυση σκηνών ραδιοσυχνοτήτων) αναφέρεται στον τύπο των αλγορίθμων που αρχικά συλλέγουν χαρακτηριστικά (fingerprints) μιας περιοχής –σκηνής και στη συνέχεια εκτιμούν τη θέση του αντικειμένου ταιριάζοντάς τα με μετρήσεις απευθείας σύνδεσης (online) ή με τα πλησιέστερα χαρακτηριστικά της περιοχής που έχουν ληφθεί προηγουμένα. Συνήθως στην ανάλυση σκηνών χρησιμοποιείται συλλογή χαρακτηριστικών με τη μέθοδο της απόσβεσης του σήματος λήψης. Υπάρχουν δύο στάδια στη μέθοδο αυτή, το στατικό και το απευθείας σύνδεσης στάδιο (στάδιο πραγματικού χρόνου). Στο στατικό στάδιο ερευνώνται κάποια χαρακτηριστικά μιας περιοχής και συλλέγονται απ' τους σταθμούς βάσης οι συντεταγμένες/ετικέτες και οι αντίστοιχες τιμές

ισχύος σήματος της περιοχής. Στο στάδιο πραγματικού χρόνου μια τεχνική προσδιορισμού θέσης χρησιμοποιεί την ισχύ του παρατηρούμενου σήματος και πληροφορίες που έχουν ληφθεί προηγουμένως ώστε να εντοπίσει την τοποθεσία. Η κύρια πρόκληση στην τεχνική ανάλυσης σκηνών είναι ότι η ισχύς του σήματος λήψης μπορεί να επηρεάζεται από ανακλάσεις, διαθλάσεις και σκεδάσεις κατά τη διάδοση σε εσωτερικούς χώρους [3]. Στη στατική ανάλυση περιοχής παρατηρούνται κάποια χαρακτηριστικά μιας περιοχής τα οποία αναζητούνται σε ένα σύνολο δεδομένων, ενώ στη διαφορική ανάλυση παρακολουθείται η διαφορά μεταξύ διαδοχικών σκηνών ώστε να εκτιμηθεί η τοποθεσία [4].

Η μέθοδος της **εγγύτητας** χρησιμοποιεί πληροφορίες σχετικής θέσης του αντικείμενου όσον αφορά γνωστά σημεία. Συνήθως αυτά τα σημεία είναι ένα πυκνό δίκτυο κεραιών καθεμία απ' τις οποίες έχει γνωστή θέση και η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται είτε με αναγνώριση φυσικής επαφής (αισθητήρες πίεσης, αφής κ.α.), είτε με παρατήρηση σταθμών βάσης ή φάρων (access points, beacons), είτε με παρακολούθηση αυτόματων συστημάτων αναγνώρισης (σαρωτής πιστωτικών καρτών κ.α.). Όταν ένα κινητό αντικείμενο ανιχνεύεται από μόνο μία κεραία θεωρείται ότι αυτό βρίσκεται στη θέση της κεραίας. Όταν περισσότερες από μία κεραιές ανιχνεύουν τον κινητό στόχο θεωρείται ότι βρίσκεται στη θέση της κεραίας που λαμβάνει το ισχυρότερο σήμα. Αυτή η μέθοδος είναι σχετικά απλή στην εφαρμογή της και μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικούς τύπους φυσικών μέσων. Ειδικότερα τα συστήματα που χρησιμοποιούν υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) και τα συστήματα αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) συχνά βασίζονται σε αυτή τη μέθοδο. Επίσης η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή στα κυβελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όπου είναι εύκολο να εντοπιστεί η θέση ενός κινητού τηλεφώνου γνωρίζοντας ποιά κυψέλη χρησιμοποιείται στον εκάστοτε χρόνο. Αυτό λέγεται Cell-ID και ήδη χρησιμοποιείται σήμερα υποστηριζόμενο από όλες τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας [3].

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η μέθοδος της εγγύτητας [4]:



Εικόνα 10: Μέθοδος της εγγύτητας

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τριγωνοποίησης με μέτρηση των αποστάσεων. Στην ουσία έχοντας σταθερές τις δύο κάμερες υπέρυθρου (wii remotes) υπολογίζαμε τη θέση του

αντικειμένου στον χώρο βρίσκοντας το σημείο τομής δύο ευθειών. Περαιτέρω επεξήγηση θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2 Γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων προσδιορισμού θέσης

Φυσική και συμβολική θέση

Ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης μπορεί να παρέχει τη φυσική ή τη συμβολική θέση ενός αντικειμένου. Για παράδειγμα το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) παρουσιάζει τη φυσική θέση ενός αντικειμένου (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και ύψος). Αντιθέτως η συμβολική θέση περιλαμβάνει αφηρημένες ιδέες για το πού μπορεί να βρίσκεται κάτι (σε ένα δωμάτιο, στο διάδρομο, κτλ.) [4]. Ένα σύστημα που παρέχει φυσικές θέσεις πολλές φορές μπορεί να παρέχει και πληροφορία για τις αντίστοιχες συμβολικές θέσεις του αντικειμένου.

Γενικά ανάλογα την τεχνολογία που χρησιμοποιείται υπάρχει διάκριση της φυσικής απ' τη συμβολική θέση. Τεχνολογίες όπως το GPS είναι καθαρά για εντοπισμό φυσικής θέσης, ενώ οι σαρωτές γραμμοκωδίκων (bar-code scanners) ή οι φάροι υπερύθρων (IR beacons) παρέχουν τη συμβολική θέση του αντικειμένου βασιζόμενοι στην εγγύτητα με αντικείμενα με γνωστή εκ των προτέρων θέση. Οι δύο αυτές τεχνολογίες δεν είναι ανεξάρτητες γι' αυτό και η ανάλυση και η ακρίβεια των συστημάτων εντοπισμού φυσικής θέσης μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα για την συμβολική θέση.

Απόλυτη και σχετική θέση

Σχετική με την προηγούμενη διάκριση σε φυσική και συμβολική θέση είναι και η διάκριση σε απόλυτη και σχετική θέση. Με τον όρο απόλυτη θέση εννοούμε τον εντοπισμό της θέσης με χρήση ενός και μόνο σημείου αναφοράς για όλα τα αντικείμενα (π.χ. το GPS χρησιμοποιεί μόνο γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ύψος για τον εντοπισμό της θέσης όλων των αντικειμένων). Αντίθετα με τον όρο σχετική θέση εννοούμε εντοπισμό της θέσης με την προϋπόθεση ότι κάθε αντικείμενο μπορεί να έχει το δικό του σημείο αναφοράς. Είναι κατανοητό ότι μία απόλυτη θέση μπορεί να μετατραπεί σε σχετική. Αντιθέτως χρειάζεται η χρήση πολλών σχετικών θέσεων για να προσδιορίσουμε την απόλυτη θέση ενός αντικειμένου (απαιτείται χρήση της μεθόδου της τριγωνοποίησης). Βέβαια για να γίνει κάτι τέτοιο πρέπει να είναι γνωστή η απόλυτη θέση των σημείων αναφοράς κάτι που δεν είναι πάντα εύκολο καθώς τα σημεία αυτά είναι συνήθως κινητά.

Τοπικός υπολογισμός θέσης

Με τον όρο τοπικό υπολογισμό θέσης εννοούμε ότι σε πολλά συστήματα υπάρχει η δυνατότητα το αντικείμενο να υπολογίζει από μόνο του τη θέση του εξασφαλίζοντας έτσι ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί αν το αντικείμενο δεν επιλέξει να δημοσιοποιήσει τη θέση του τότε κανείς δεν μπορεί να την γνωρίζει. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχουν συστήματα τα οποία απαιτούν απ' το αντικείμενο να παρέχει στο σύστημα πληροφορία σε τακτά χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα το σύστημα να γνωρίζει κάθε στιγμή την ακριβή θέση

του αντικειμένου. Με αυτόν τον τρόπο η εξωτερική υποδομή έχει την ευθύνη για τον εντοπισμό της θέσης των αντικειμένων και όχι τα αντικείμενα από μόνα τους, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας απ' τις κινητές συσκευές των αντικειμένων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα συστήματα με γραμμωκώδικες και οι αναγνώστες RFID ετικετών.

Ορθότητα (accuracy)

Η ορθότητα ή σφάλμα θέσης είναι η πιο σημαντική προδιαγραφή ενός συστήματος εντοπισμού θέσης. Συχνά εννοούμε το σφάλμα της απόστασης δηλαδή τη μέση ευκλείδεια απόσταση μεταξύ της εκτιμώμενης και της πραγματικής θέσης. Συνήθως η ορθότητα ενός συστήματος προκύπτει από ένα συστηματικό σφάλμα στο σύστημα και γι' αυτό είναι κάτι που μπορεί να αντισταθμιστεί σχετικά εύκολα [3]. Φυσικά όσο μεγαλύτερη ορθότητα έχει ένα σύστημα τόσο καλύτερο είναι. Παρ' όλα αυτά επειδή υπάρχει στενή σχέση της ορθότητας με άλλα χαρακτηριστικά συνήθως απαιτείται κάποιος συμβιβασμός για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα ένας φτηνός δέκτης GPS μπορεί να εντοπίζει θέσεις με ορθότητα μικρότερη των 10 μέτρων ενώ ένας πιο ακριβός μπορεί να έχει ορθότητα 1-3 μέτρα.

Ακρίβεια (precision)

Η ακρίβεια ενός συστήματος λαμβάνει υπόψη της τη τιμή των μέσων σφαλμάτων απόστασης. Έτσι η ακρίβεια δείχνει με πόση συνέπεια λειτουργεί το σύστημα είναι δηλαδή ένα μέτρο της ευρωστίας του. Στην ουσία αναφέρεται στην κατανομή του σφάλματος θέσης ανάμεσα στην εκτιμώμενη και την πραγματική θέση γι' αυτό και για τον υπολογισμό της συχνά χρησιμοποιείται η συνάρτηση αθροιστικής πιθανότητας [3]. Για παράδειγμα ένας δέκτης GPS έχει ορθότητα μικρότερη των 10 μέτρων για το 95% των μετρήσεων. Το ποσοστό αυτό υποδηλώνει την ακρίβεια του συστήματος δηλαδή το πόσο συχνά (ποσοστό του χρόνου) μπορούμε να επιτύχουμε τη συγκεκριμένη ορθότητα. Παρατηρούμε ότι υπάρχει στενή σχέση μεταξύ ορθότητας και ακρίβειας και μπορούμε να αυξήσουμε την ακρίβεια ενός συστήματος μειώνοντας παράλληλα την ορθότητά του.

Κλίμακωση (Scalability)

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει αντικείμενα σε όλο τον κόσμο, σε μία μεγάλη περιοχή, σε ένα κτίριο ή σε ένα δωμάτιο. Επιπλέον ο αριθμός των αντικειμένων που μπορεί να εντοπίσει χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη υποδομή ή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορεί να είναι περιορισμένος[4]. Έτσι έχουμε διάκριση της κλιμάκωσης στους δύο άξονες της γεωγραφίας και της πυκνότητας. Με τον όρο γεωγραφική κλιμάκωση εννοούμε την περιοχή ή τον όγκο που καλύπτεται, ενώ με την κλιμάκωση πυκνότητας εννοούμε το πλήθος των μονάδων που βρίσκονται ανά γεωγραφική περιοχή και ανά χρονική περίοδο. Επίσης μια άλλη μέτρηση της κλιμάκωσης είναι οι διαστάσεις του χώρου που υποστηρίζει π.χ. τρισδιάστατο ή δισδιάστατο χώρο. Για να ορίσουμε το μέγεθος της κλίμακας ενός συστήματος λαμβάνουμε υπόψη μας την περιοχή κάλυψης ανά μονάδα υποδομής καθώς και τον αριθμό των αντικειμένων που το σύστημα μπορεί να εντοπίσει ανά μονάδα υποδομής ή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Καθώς καλύπτεται όλο και μεγαλύτερη περιοχή ή οι μονάδες συνωστίζονται σε μια περιοχή, τα κανάλια ασύρματου σήματος ίσως να παρουσιάσουν συμφόρηση, θα χρειαστούν περισσότεροι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της θέσης ή θα απαιτούνται

μεγαλύτερες υποδομές επικοινωνίας [3]. Όλα αυτά μπορεί να προκαλέσουν καθυστέρηση στον υπολογισμό της θέσης ή μείωση της ακρίβειας αφού οι θέσεις των αντικειμένων θα υπολογίζονται λιγότερο συχνά.

Αναγνώριση

Σε κάποιες εφαρμογές χρειάζεται να γίνει αναγνώριση ή κατάταξη των αντικειμένων σε κατηγορίες με αποτέλεσμα να απαιτείται ένας αυτόματος μηχανισμός αναγνώρισης. Σε συστήματα όπως το GPS δεν υπάρχει κανένας τέτοιος μηχανισμός, ενώ συστήματα όπως οι αναγνώστες γραμμοκωδίκων έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν μεμονωμένους δέκτες και να τους κατατάσσουν σε ομάδες. Επίσης με την ανάθεση σε κάθε αντικείμενο ενός μοναδικού κωδικού ID μπορεί το σύστημα να ανακτήσει τις πληροφορίες που σχετίζονται με το συγκεκριμένο αντικείμενο αφού πρώτα τις έχει αναζητήσει σε μια βάση δεδομένων.

Κόστος

Γενικά το κόστος ενός συστήματος εντοπισμού θέσης περιλαμβάνει σημαντικούς παράγοντες όπως τα χρήματα, τον χρόνο, το χώρο, το βάρος και την ενέργεια. Ο χρόνος αναφέρεται κυρίως στη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την εγκατάσταση και τη διαχείριση του συστήματος, ο χώρος στο μέγεθος των δομικών μονάδων του συστήματος, τα χρήματα στο κεφάλαιο για την αγορά του εξοπλισμού και τις αμοιβές του προσωπικού που διαχειρίζεται το σύστημα. Επίσης η ενέργεια είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κόστους του συστήματος. Για παράδειγμα μερικές κινητές μονάδες όπως τα συστήματα αναγνώρισης ετικετών RFID είναι παθητικά στοιχεία και ανταποκρίνονται σε εξωτερικά πεδία με αποτέλεσμα να μπορούν να έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Άλλες κινητές μονάδες όπως συσκευές με επαναφορτιζόμενη μπαταρία έχουν διάρκεια ζωής μερικές ώρες χωρίς επαναφόρτιση [3].

Περιορισμοί

Μερικά συστήματα δεν μπορούν να λειτουργήσουν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Για παράδειγμα το GPS έχει την αδυναμία να εντοπίζει αντικείμενα σε εσωτερικούς χώρους. Γενικά μπορούμε να προσδιορίσουμε τους περιορισμούς ενός συστήματος εντοπισμού θέσης αν εξετάσουμε τις υποκείμενες τεχνολογίες που χρησιμοποιεί [4].

3.3 Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης αντικειμένων σε εσωτερικούς χώρους (indoor positioning technologies) και περιγράφουμε τα χαρακτηριστικά τους καθώς και γιατί επέλεξα τη συγκεκριμένη τεχνολογία για το εργαστηριακό μέρος της εργασίας.

Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs)

Με τον όρο ασύρματο τοπικό δίκτυο εννοούμε ένα επικοινωνιακό σύστημα που επιτρέπει στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων, το οποίο λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4 GHz στη ζώνη ISM (Industrial, Scientific and Medical). Οι ρυθμοί που υποστηρίζει το WLAN είναι 11,54 και 108 Mbps και

καλύπτει εύρος 50-100m. Το πιο κοινό πρότυπο των ασύρματων τοπικών δικτύων είναι το IEEE 802.11 ενώ υπάρχουν και αρκετά υπο-πρότυπα όπως το 802.11a τα οποία διαφέρουν ως προς τη συχνότητα και τις επιδόσεις. Η ορθότητα ενός τυπικού WLAN συστήματος εντοπισμού θέσης κυμαίνεται περίπου μεταξύ 3 και 30 μέτρων με ρυθμό ανανέωσης της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Είναι πολύ δημοφιλές σύστημα επικοινωνίας σε δημόσιους χώρους (hotspots) και επιχειρήσεις λόγω χαμηλού κόστους των σταθμών βάσης αλλά και του εξοπλισμού που απαιτείται για μια συσκευή ώστε να έχει σύνδεση (απαιτείται μόνο μια ασύρματη κάρτα δικτύου). Ο προσδιορισμός της θέσης ενός χρήστη από κάποιο κατάλληλο σύστημα που χρησιμοποιεί τεχνολογία WLAN (wi-fi) γίνεται μετρώντας την ισχύ του σήματος που εκπέμπουν οι σταθμοί βάσης (Received Signal Strength RSS).

Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα νέο ασύρματο πρότυπο επικοινωνίας, πιο «ελαφρύ» απ' το wi-fi και ιδιαίτερα διαδεδομένο κυρίως στα κινητά τηλέφωνα, στους προσωπικούς υπολογιστές στους εκτυπωτές και στους υπολογιστές PDAs. Λειτουργεί στη ζώνη ISM των 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης 1Mbps. Έχει εμβέλεια μικρότερη απ' τα δίκτυα WLAN περίπου 10-15 μέτρα. Υποστηρίζει και άλλες υπηρεσίες δικτύωσης εκτός απ' το πρωτόκολλο IP και επίσης υπάρχουν οι ετικέτες Bluetooth οι οποίες είναι μικροί δέκτες καθεμία απ' τις οποίες έχει ένα μοναδικό κωδικό ID. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε χρησιμοποιώντας το κατάλληλο σύστημα να εντοπίζουμε τη θέση αντικειμένων που διαθέτουν προσαρμοσμένες τις ετικέτες Bluetooth.

RFID

Η RFID (Radio Frequency Identification-αναγνώριση μέσω ραδιοκυμάτων) είναι ένα μέσο αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων μέσω ηλεκτρομαγνητικής μετάδοσης σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα συμβατό με RF ακτινοβολία. Ένα σύστημα RFID διαθέτει πολλά βασικά συστατικά όπως αναγνώστες RFID, ετικέτες RFID καθώς και διάφορα στοιχεία που καθιστούν δυνατή την επικοινωνία μεταξύ τους. Οι αναγνώστες RFID (RFID readers) μπορούν να διαβάσουν τα δεδομένα που εκπέμπουν οι ετικέτες RFID οι οποίες ενσωματώνουν μικροεπεξεργαστή και κεραία. Αναγνώστες και ετικέτες υποστηρίζουν συγκεκριμένη συχνότητα RF και πρωτόκολλο επικοινωνίας για αποστολή και λήψη δεδομένων, ενώ οι ετικέτες μπορούν να λειτουργούν ενεργητικά και παθητικά. Οι ετικέτες μπορούν να ανιχνευθούν αυτόματα από σταθερούς ή φορητούς αναγνώστες (RFID tag readers), χωρίς να είναι απαραίτητη η σάρωση του κάθε μεμονωμένου αντικειμένου. Η κεραία επιτρέπει στο μικροεπεξεργαστή να μεταφέρει τις πληροφορίες αναγνώρισης στον αναγνώστη, ο οποίος με τη σειρά του μετατρέπει τα ραδιοκύματα που "αντανακλώνται" από την ετικέτα RFID σε ψηφιακές πληροφορίες [4].

Τα συστήματα RFID υποστηρίζουν κυρίως 4 ζώνες συχνοτήτων: τη χαμηλή συχνότητα (περίπου 125KHz-LF), την υψηλή συχνότητα (13,56MHz-HF), την υπερ-υψηλή συχνότητα ή UHF (433, 868-915MHz) και τέλος την μικροκυματική συχνότητα των 2,45GHz.

Υπέρυθρη ακτινοβολία

Η υπέρυθρη ακτινοβολία (infrared radiation – IR) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος 750nm - 1mm. Ασύρματη επικοινωνία με υπέρυθρη ακτινοβολία είναι η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας σε συσκευές ή συστήματα που μεταδίδουν δεδομένα μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η IR ακτινοβολία

χρησιμοποιείται σε ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN) αφού είναι μια μικρού εύρους και στενής γωνίας δέσμη μετάδοσης, κατάλληλη για στόχευση και επιλεκτική λήψη σημάτων [3]. Πολλές συσκευές όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, έχουν ενσωματωμένη θύρα υπέρυθρων και υποστηρίζουν ασύρματη επικοινωνία (μικρών αποστάσεων) μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας πρότυπα όπως το IRDA (Infrared Data Association) το οποίο βασίζεται στη λειτουργία LOS. Λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή ακρίβεια του IR εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους και την υψηλή διαθεσιμότητα στη UHF περιοχή συχνοτήτων έχει νόημα ο συνδυασμός των δύο μεθόδων (IR και RFID) ώστε να επιτευχθεί εντοπισμός θέσης. Με τη χρήση RFID συστήματος μπορούμε να έχουμε εντοπισμό γενικής θέσης (π.χ. όροφος) ενώ με τον IR εντοπισμό θέσης μπορούμε να έχουμε πρόσθετη ανάλυση (π.χ. δωμάτιο). Εκτός απ' τις συσκευές που αναφέραμε προηγουμένως υπάρχουν και οι φάροι υπέρυθρων (IR Beacons). Αυτοί είναι συσκευές που εκπέμπουν περιοδικά υπέρυθρη ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος. Είναι ενεργητικές συσκευές επομένως απαιτούν εξωτερική τροφοδότηση ή μπαταρία, έχουν εμβέλεια λίγα μέτρα (10 -20 μέτρα) και απαιτούν οπτική επαφή με τον δέκτη ώστε να υπάρχει επικοινωνία. Για εφαρμογές εσωτερικού χώρου, όπου και χρησιμοποιούνται, πολλές φορές δεν απαιτείται οπτική επαφή λόγω ανακλάσεων σε επιφάνειες.

Υπερηχητικά σήματα

Οι υπέρηχοι είναι κύματα τα οποία διαδίδονται σε συχνότητα μεγαλύτερη απ' το όριο της ανθρώπινης ακοής. Οι μετατροπείς είναι οι συσκευές που μπορούν να λαμβάνουν και να εκπέμπουν ένα τέτοιο σήμα και λειτουργούν σε συχνότητες 40-250 kHz. Οι συσκευές που εκμεταλλεύονται αυτή την τεχνολογία διαθέτουν αισθητήρα – μετατροπέα για αποστολή και λήψη υπερήχων και αισθητήρα αποστολής RF ή IR σημάτων. Ο πομπός στέλνει ταυτόχρονα υπερηχητικά και RF σήματα. Έπειτα ο δέκτης λαμβάνει πρώτα τα RF σήματα τα οποία ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός και στη συνέχεια τα υπερηχητικά σήματα. Μετρώντας τη διαφορά του χρόνου άφιξης των δύο διαφορετικού τύπου σημάτων, υπολογίζει την απόσταση του χρήστη από κάποιο γνωστό σημείο όπου βρίσκεται προσαρμοσμένος ο πομπός ή ο δέκτης (αφού είναι γνωστή η ταχύτητα του υπερήχου) και εφαρμόζοντας τριγωνοποίηση υπολογίζεται η θέση του χρήστη [4].

Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο για τον προσδιορισμό της θέσης της ενδοσκοπικής κάμερας στον χώρο είναι η υπέρυθρη ακτινοβολία. Επίσης χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία Bluetooth για την επικοινωνία μεταξύ των υπέρυθρων καμερών τύπου nintendo wii (wii remotes). Ο λόγος για τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι αρχικά το χαμηλό κόστος του αναγκαίου εξοπλισμού (υπέρυθρες κάμερες της κονσόλας Nintendo wii και ανακλαστήρες υπέρυθρου). Επίσης το μικρό εύρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας (περίπου 10 μέτρα) δεν ήταν απαγορευτικό για την εφαρμογή του συστήματος σε εσωτερικό χώρο μεγέθους δωματίου. Επίσης η στενή γωνία υπέρυθρη δέσμη μετάδοσης μας επέτρεψε να έχουμε την επιθυμητή στόχευση προς τον χώρο κίνησης του ενδοσκοπίου και έτσι επιλεκτική λήψη των υπέρυθρων σημάτων σχεδόν απαλλαγμένων από κάθε είδους ανακλάσεις. Τέλος η ακρίβεια που μας παρείχε κρίνεται ικανοποιητική αν σκεφθεί κανείς και το κόστος απόκτησης και χρήσης του εξοπλισμού.

3.4 Συστήματα εντοπισμού θέσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά στα υπάρχοντα συστήματα εντοπισμού θέσης (εμπορικά και ερευνητικά) και θα τα ταξινομήσουμε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.

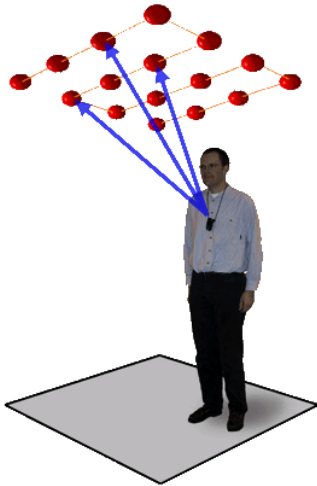
Active Badge

Το Active Badge είναι το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους που αναπτύχθηκε στο Olivetti Research Laboratory τις χρονιές 1989-1992. Πρόκειται για σύστημα κυψελοειδούς εγγύτητας που χρησιμοποιεί τεχνολογία διάχυσης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Χρησιμοποιήθηκε για εντοπισμό ατόμων μέσα σε ένα κτήριο. Τα άτομα αυτά φορούσαν μια μικρή συσκευή-κονκάρδα η οποία μετέδιδε ένα μοναδικό υπέρυθρο σήμα κάθε 10 δευτερόλεπτα. Κάθε γραφείο μέσα στο κτήριο ήταν εξοπλισμένο με έναν ή περισσότερους αισθητήρες σε δίκτυο μεταξύ τους οι οποίοι ανίχνευαν αυτές τις μεταδόσεις και έτσι εντοπιζόταν η θέση κάθε χρήστη που διέθετε αυτή τη συσκευή.

Το Active Badge παρέχει απόλυτη και όχι σχετική πληροφορία θέσης ενώ η θέση ενός ατόμου που φέρει την αναγνωριστική κονκάρδα είναι επίσης συμβολική. Τέλος η λειτουργία του συστήματος αυτού περιορίζεται σε μέρη με παρεμβολές υπέρυθρης ακτινοβολίας όπως είναι μέρη με λάμπες φθορισμού ή ηλιακή ακτινοβολία ενώ δεν διαδίδεται μέσα από τοίχους [4].

Active Bat

Το active bat είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί συνδυασμό υπερήχων και ηλεκτρομαγνητικών σημάτων και χρησιμοποιεί την τριγωνοποίηση με μέτρηση αποστάσεων για να εντοπίζει τη θέση των αντικειμένων. Για τη λειτουργία του χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός από δέκτες που βρίσκονται στην οροφή του δωματίου σε συνδυασμό με τοπικούς και έναν κεντρικό ελεγκτή. Ο χρήστης που παρακολουθείται έχει έναν πομπό υπό μορφή ετικέτας ο οποίος διαθέτει ένα μοναδικό αναγνωριστικό ID. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει σε τακτά χρονικά διαστήματα ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα (ραδιοκύμα) με το μοναδικό αναγνωριστικό του πομπού εκείνου για τον οποίον θα γίνει ο προσδιορισμός θέσης. Όταν ο πομπός (ετικέτα- Bat) λάβει το σήμα εκπέμπει έναν σύντομο παλμό υπερήχου ο οποίος λαμβάνεται απ' τους αισθητήρες της οροφής (δέκτες). Κάθε δέκτης υπολογίζει τη διαφορά του χρόνου του ηλεκτρομαγνητικού σήματος απ' τον παλμό υπερήχου και επειδή η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι γνωστή, υπολογίζει την απόσταση του πομπού. Αρκούν 3 ή περισσότερες τέτοιες αποστάσεις οπότε με τριγωνοποίηση εντοπίζεται η θέση σε σχέση με τον ελεγκτή. Το σύστημα έχει ορθότητα 9cm και ακρίβεια για το 95% των μετρήσεων ενώ γνωρίζοντας τις σχετικές θέσεις 2 ή περισσότερων ετικετών που είναι ενσωματωμένοι σε ένα αντικείμενο μπορούμε να βρούμε και τον προσανατολισμό του. Τέλος η δυσκολία εγκατάστασης, η κλιμάκωση και το κόστος αποτελούν τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του συστήματος Active Bat.



Εικόνα 11: Σύστημα Active Bat

Motion Star

Το σύστημα αυτό εφαρμόζει την μέθοδο εντοπισμού θέσης με ηλεκτρομαγνητισμό. Αποτελείται από μια σταθερή κεραία και αρκετές κινητές. Η σταθερή κεραία εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς οι οποίοι λαμβάνονται απ' τις κινητές κεραίες και εφαρμόζοντας διάφορες μετρήσεις των μαγνητικών παλμών υπολογίζεται η θέση και ο προσανατολισμός των κεραιών. Παρέχει μεγάλη ορθότητα (1mm) αλλά και ακρίβεια για το 100% του χρόνου αλλά έχει μεγάλο κόστος και επηρεάζεται πολύ από μεταλλικά αντικείμενα στον χώρο.

Cricket

Το σύστημα αυτό μοιάζει πολύ στον τρόπο λειτουργίας του με το Active Bat με τη διαφορά ότι οι δέκτες δεν βρίσκονται στην οροφή αλλά στα αντικείμενα και εκτελούν τοπικά του υπολογισμούς που χρειάζονται για την τριγωνοποίηση. Στην οροφή υπάρχουν φάροι (beacons) που εκπέμπουν περιοδικά, ηλεκτρομαγνητικά σήματα RF και υπερηχητικούς παλμούς. Το κάθε αντικείμενο στον χώρο διαθέτει δέκτη RF κυμάτων, δέκτη υπερήχων και ελεγκτή. Ο δέκτης λοιπόν λαμβάνει αρχικά το σήμα RF και έπειτα το σήμα υπερήχου και υπολογίζοντας τη διαφορά του χρόνου άφιξης των δύο σημάτων σε συνδυασμό με τη γνωστή ταχύτητα του ήχου στον αέρα υπολογίζει την απόσταση του φάρου απ' τον δέκτη. Με τρεις γνωστές αποστάσεις για κάθε δέκτη και με τριγωνοποίηση υπολογίζεται η θέση του στον χώρο. Γενικά το Cricket είναι λιγότερο ακριβές σε σχέση με το Active Bat και επίσης είναι αρκετά ενεργοβόρο επειδή ο υπολογισμός της θέσης γίνεται τοπικά απ' τους δέκτες. Το πλεονέκτημά του είναι ότι ο τοπικός υπολογισμός της θέσης του εξασφαλίζει ασφάλεια και ιδιωτικότητα.

RADAR

Το RADAR είναι ένα σύστημα που αναπτύχθηκε απ' τη Microsoft και στηρίζεται στην τεχνολογία IEEE 802.11 Wave LAN. Κατά τη λειτουργία του χρησιμοποιείται η ισχύς των σημάτων που λαμβάνει ο σταθμός βάσης από τις ασύρματες συσκευές και έτσι υπολογίζεται η θέση τους σε δύο διαστάσεις μέσα σε ένα κτίριο. Ο υπολογισμός της θέσης γίνεται συγκρίνοντας την ισχύ του σήματος με τις τιμές ενός χάρτη στάθμης σήματος που δημιουργήθηκε κατά την εγκατάσταση του συστήματος. Υπάρχουν δύο εκδόσεις του συστήματος η μία χρησιμοποιεί την

τεχνική της ανάλυσης σκηνών (scene analysis) και η άλλη την τεχνική της τριγωνοποίησης με την μέτρηση αποστάσεων (lateration). Το σύστημα που χρησιμοποιεί ανάλυση σκηνών έχει ορθότητα 3 μέτρων και ακρίβεια 50% ενώ το σύστημα με τριγωνοποίηση έχει ορθότητα 4,3 μέτρα με την ίδια ακρίβεια. Γενικά στα θετικά του συστήματος είναι ότι απαιτεί μικρό αριθμό σταθμών βάσης και χρησιμοποιεί την προϋπάρχουσα υποδομή που χρησιμοποιείται για την ασύρματη δικτύωση του κτιρίου. Στα μειονεκτήματά του είναι ότι όλα τα αντικείμενα που εντοπίζονται θα πρέπει να υποστηρίζουν τεχνολογία WLAN ενώ σε κάθε αλλαγή του περιβάλλοντος πρέπει να γίνεται επαναρύθμιση του συστήματος. Τέλος είναι αρκετά δύσκολη η ανάπτυξη του συστήματος ώστε να υποστηρίζει εντοπισμό θέσης σε τρεις διαστάσεις.

Easy Living

Το Easy Living είναι ένα σύστημα που παρέχεται επίσης απ' την Microsoft και εντοπίζει τις θέσεις των αντικειμένων χρησιμοποιώντας τρισδιάστατες στερεοσκοπικές κάμερες (Digiclops). Γενικά σ' αυτού του είδους τα συστήματα απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς ώστε να γίνει η επεξεργασία των εικόνων που λαμβάνουν οι κάμερες.

Smart Floor

Το σύστημα Smart Floor χρησιμοποιεί ειδικούς αισθητήρες πίεσης οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο πάτωμα ενός δωματίου και ανιχνεύουν το περπάτημα των ατόμων. Γίνεται αντιληπτό ότι χρειάζεται ειδική εγκατάσταση στο δάπεδο ενός κτιρίου και άρα απαιτείται μεγάλο κόστος για τη λειτουργία του συστήματος. Βέβαια στα θετικά του συστήματος συγκαταλέγεται το γεγονός ότι τα άτομα δεν χρειάζεται να φέρουν πάνω τους ειδικές ετικέτες κ.τ.λ.

Παρακάτω παραθέτουμε συγκεντρωτικά τα συστήματα εντοπισμού θέσης που αναπτύξαμε προηγουμένως και τα ταξινομούμε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους:

Όνομα συστήματος	Τεχνική	Ορθότητα και Ακρίβεια	Φυσική θέση	Συμβολική θέση	Κόστος	Περιορισμοί
Active Badges	Εγγύτητα	Μέγεθος δωματίου		✓	Κόστος διαχείρισης, φθηνές ετικέτες	Παρεμβολές (ηλιακό φως και λάμπες φθορισμού)
Active Bats	Τριγωνοποίηση (Ultrasound)	9 cm (95%)	✓		Κόστος διαχείρισης, φθηνές ετικέτες	Απαιτείται εγκατάσταση στην οροφή
MotionStar	Ανάλυση περιοχής	1mm (~100%)	✓		Ακριβά υλικά	Ακριβής εγκατάσταση
Cricket	Εγγύτητα, τριγωνοποίηση	Περιοχές 4x4 ποδών (~100%)		✓	Φάροι και δέκτες ~10\$	Όχι κεντρική διαχείριση
RADAR	Ανάλυση περιοχής, τριγωνοποίηση (IEEE 802.11 RF)	3 – 4,3m (50%)	✓		Εγκατάσταση δικτύου 802.11, ~100\$ NICs	Απαιτούνται ασύρματες NICs
Easy Living	Τριγωνοποίηση (vision)	Ποικίλει		✓	Εγκατεστημένες κάμερες	Δημόσιες κάμερες
Smart Floor	Φυσική επαφή, εγγύτητα	Διάστημα αισθητήρων πίεσης (~100%)	✓		Εγκατάσταση αισθητήρων	Αδυναμία κλιμάκωσης
SpotON	Τριγωνοποίηση	Εξαρτάται από το μέγεθος του cluster	✓		~\$30 ανά ετικέτα	Λιγότερη ακρίβεια

Πίνακας 1: χαρακτηριστικά συστημάτων εντοπισμού θέσης [4]

4

Περιγραφή του συστήματος εντοπισμού θέσης που αναπτύχθηκε , με εφαρμογή σε ρομποτικό βραχίονα

4.1 Περιγραφή της κονσόλας Nintendo wii

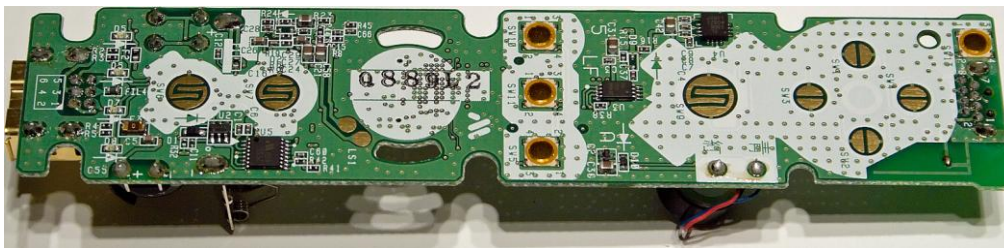
Εισαγωγή

Το Nintendo wii είναι μια κονσόλα βιντεοπαιχνιδιού η οποία δόθηκε στην κυκλοφορία απ' την εταιρεία Nintendo τον Νοέμβριο του 2006 .Πρόκειται για την πέμπτη κατά σειρά κονσόλα της Nintendo και η επόμενη της Nintendo Gamecube η οποία δεν έπεισε το αγοραστικό κοινό τη στιγμή που οι ανταγωνίστριες εταιρείες, Microsoft και Sony, είχαν τη μερίδα του λέοντος στην αγορά των βιντεοπαιχνιδιών. Αρχικά το Wii φάνηκε να υπολείπεται σημαντικά έναντι των ανταγωνιστών του. Ένα χρόνο αργότερα όμως κατέκτησε την πρώτη θέση στην αγορά των βιντεοπαιχνιδιών της γενιάς του ,πουλώντας πάνω από 20 εκατομμύρια προϊόντα σε όλο τον κόσμο .Αυτή η επιτυχία οφείλεται σημαντικά στη νεωτεριστική διαδραστική τεχνολογία που χρησιμοποιεί και στις δυνατότητες του τρόπου παιχνιδιού (gameplay) .Αυτά τα στοιχεία είναι αποτέλεσμα του τηλεχειριστηρίου που χρησιμοποιεί η κονσόλα το οποίο ονομάζεται Wii remote. Το χειριστήριο αυτό (Nintendo wii remote ή Wiimote όπως αλλιώς λέγεται) είναι μια συσκευή που μοιάζει πολύ με το τηλεκοντρόλ της τηλεόρασης ,αλλά εκτός από κουμπιά διαθέτει ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων ,μια υψηλής ανάλυσης και ταχύτητας κάμερα υπερέυθρου ,ένα ηχείο ,έναν μηχανισμό δόνησης και δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης με Bluetooth. Όλη αυτή η τεχνολογία κάνει το Wii remote μια απ' τις πιο εξελιγμένες συσκευές εισόδου, συμβατές με προσωπικό υπολογιστή, που είναι διαθέσιμες σήμερα. Εκτός απ' την επιτυχία της κονσόλας στην αγορά των βιντεοπαιχνιδιών είναι επίσης μια απ' τις πιο συνηθισμένες παγκοσμίως. Σε μια προτεινόμενη εμπορική τιμή της τάξης των 40 δολαρίων (περίπου 35 ευρώ) το Wii remote είναι μια εντυπωσιακά αποδοτική οικονομικά πλατφόρμα, ικανή για εξερεύνηση στη διαδραστική έρευνα (interactive research). Οι εφαρμογές λογισμικού που προορίζονται για αυτή την κονσόλα έχουν το επιπλέον πλεονέκτημα του να είναι άμεσα χρήσιμες σε εκατομμύρια άτομα σε όλο τον κόσμο που διαθέτουν ήδη το βιντεοπαιχνίδι [5]. Παρακάτω φαίνεται η κονσόλα wii με το χειριστήριο wii remote:



Εικόνα 12:Κονσόλα Nintendo wii με το wii remote

Η τεχνολογία υλοποίησης του wii remote και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του
Παρόλο που οι επίσημες προδιαγραφές του Wii remote δεν έχουν δημοσιευτεί η παγκόσμια κοινότητα των hackers έχει συλλέξει ένα σημαντικό μέρος των τεχνικών λεπτομερειών χάρη στην έρευνα που έχει πραγματοποιήσει. Μεγάλο μέρος της δουλειάς αυτής έχει συγκεντρωθεί στο site: <http://wiibrew.org>. Παρακάτω θα αναφερθούν τεχνικές λεπτομέρειες του Wii remote σε επίπεδο εφαρμογών ενώ δεν θα εμπλακούμε με λεπτομέρειες χαμηλού επιπέδου οι οποίες είναι διαθέσιμες στο internet [5]. Αρχικά αναλύουμε την υπέρυθρη κάμερα που διαθέτει το wii remote και στη συνέχεια τα υπόλοιπα μέρη του.



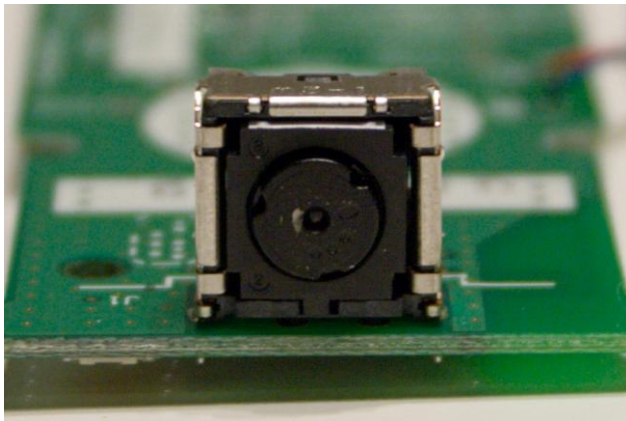
Εικόνα 13:Πλακέτα του wii remote (πάνω επιφάνεια)

Υπέρυθρη κάμερα- ανιχνευτής

Στην κορυφή κάθε Wii remote είναι ένας αισθητήρας υπέρυθρης (IR) κάμερας που έχει κατασκευαστεί απ' την PixArtImaging .Το ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) της κάμερας διαθέτει μηχανή ολοκληρωμένου πολυαντικειμενικού εντοπισμού (multiobject tracking MOT engine) η οποία παρέχει υψηλής ανάλυσης και γρήγορη ανίχνευση μέχρι και τεσσάρων πηγών υπέρυθρης ακτινοβολίας ταυτόχρονα (εντοπίζει κάθε φορά τις τέσσερις πιο ισχυρές πηγές υπέρυθρου φωτός). Οι ακριβείς προδιαγραφές του αισθητήρα της κάμερας είναι μη δημοσιευμένες αλλά απ' ότι φαίνεται παρέχει δεδομένα με ανάλυση 1024x768 pixels, περισσότερα από 4bits ανά μέγεθος κουκίδας ή έντασης φωτός, ρυθμό ανανέωσης 100Hz και οριζόντιο οπτικό πεδίο 45μοιρών. Το ολοκληρωμένο υλικό ανίχνευσης αντικειμένων ελαχιστοποιεί τα δεδομένα που μεταδίδονται μέσω ασύρματης σύνδεσης (wireless) και απλοποιεί σημαντικά την εκτέλεση εφαρμογών

ανίχνευσης βασισμένων σε κάμερα. Η κάμερα έχει οπτικό πεδίο περίπου 41° οριζόντια και 31° κάθετα και μπορεί να εντοπίσει μια πηγή υπέρυθρου σε απόσταση πάνω από πέντε μέτρα σε ένα κανονικά φωτισμένο δωμάτιο. Αυτό συνεπάγεται ότι ο όγκος του χώρου που μπορεί να γίνει ανίχνευση αντικειμένου είναι κάποιες δεκάδες κυβικά μέτρα ανάλογα με τη θέση της κάμερας.

Συγκρίνοντας την κάμερα αυτή με τις κοινές κάμερες του εμπορίου που έχουν συγκρίσιμο κόστος αγοράς (web κάμερες) παρατηρούμε ότι υπερτερεί σημαντικά σε επίπεδο προδιαγραφών, μιας και οι web κάμερες έχουν ανάλυση 640x480 στα 30 Hz. Επίσης ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι σε σχέση με τις web κάμερες δεν απαιτεί σημαντική επεξεργαστική ισχύ ώστε να πραγματοποιηθεί ανίχνευση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Τέλος υπάρχουν ειδικές κάμερες υπέρυθρου οι οποίες παρέχουν υψηλότερη ανάλυση 710x288 στα 120Hz αλλά έχουν κόστος περίπου τετραπλάσιο. Παρακάτω φαίνεται η εν λόγω υπέρυθρη κάμερα που είναι προσαρμοσμένη στο πάνω μέρος του wii remote:



Εικόνα 14:Υπέρυθρη κάμερα του wii remote

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα υπόλοιπα μέρη απ' τα οποία αποτελείται ένα wii remote και τη λειτουργία του καθενός. Αρχικά υπάρχει το επιταχυνσιόμετρο το οποίο το κατασκευάζει η εταιρεία Analog Devices. Πρόκειται για το ADXL330 το οποίο είναι ένα γραμμικό επιταχυνσιόμετρο-αισθητήρας που λειτουργεί σε τρεις άξονες x, y και z. Αυτός ο αισθητήρας παρέχει την ικανότητα στα wii remotes να ανιχνεύουν την κίνηση σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Το εύρος ευαισθησίας του είναι +/- 3g, διαθέτει 8 bits ανά άξονα και έχει ρυθμό ανανέωσης 100Hz. Τα πλήκτρα που διαθέτει το wii remote είναι 12. Τα τέσσερα απ' αυτά είναι διατεταγμένα στις τέσσερις κατευθύνσεις, κάτω από ένα τυπικό πληκτρολόγιο που χρησιμοποιείται για την υπόδειξη της κατεύθυνσης, κλασικό σχεδόν σε όλα τα χειριστήρια βιντεοπαιχνιδιών. Ένα κουμπί βρίσκεται στο κάτω μέρος και χρησιμοποιείται απ' τον δείκτη, ενώ τα υπόλοιπα επτά προβλέπεται να χρησιμοποιούνται απ' τον αντίχειρα. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η συσκευή έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι συμμετρική και έτσι να μπορεί να χρησιμοποιείται είτε με το αριστερό είτε με το δεξί χέρι.

Στη συνέχεια αναλύουμε τα χαρακτηριστικά εκείνα που κάνουν το wii remote να υποστηρίζει διαδραστική τεχνολογία και να αλληλεπιδρά με αυτόν τον τρόπο με τον χρήστη, κάνοντάς το έτσι μια ξεχωριστή συσκευή. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι ο κινητήρας δόνησης που διαθέτει παρέχοντας έτσι απτική ανάδραση στον χρήστη. Στην ουσία πρόκειται για ένα

μικρό μοτέρ δόνησης όμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στα κινητά τηλέφωνα. Η κατάσταση του κινητήρα έχει μόνο δυαδικό έλεγχο δηλαδή μπορεί να είναι on ή off και τίποτε άλλο. Βέβαια υπάρχει η δυνατότητα για τον χρήστη να αλλάζει την ένταση της δόνησης πιέζοντας την ενεργοποίηση του κινητήρα. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η οπτική ανάδραση που παρέχεται στον χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται με τις διόδους εκπομπής φωτός οι οποίες είναι τέσσερα leds στο κάτω μέρος του χειριστηρίου. Αυτά τα leds έχουν μπλε χρώμα και συνήθως χρησιμοποιούνται ώστε να υποδείξουν την ταυτότητα των χρηστών (υποστηρίζει 1 έως 4 χρήστες ταυτόχρονα). Όμοια με το μοτέρ δόνησης πιέζοντας παλμικά το πλήκτρο ενεργοποίησης δημιουργούνται διάφορα επίπεδα φωτεινότητας, ενώ κάθε χρήστης χωριστά έχει τον έλεγχο της κατάστασής του led που τον αντιπροσωπεύει. Τελευταίο χαρακτηριστικό στην κατηγορία της διαδραστικής τεχνολογίας είναι το ηχείο που παρέχει την ακουστική ανάδραση στον χρήστη. Πρόκειται για ένα μικρό ηχείο στο κέντρο περίπου του χειριστηρίου το οποίο υποστηρίζει τα ηχητικά εφέ του παιχνιδιού. Όλα τα ηχητικά δεδομένα μεταδίδονται άμεσα απ' τον κεντρικό υπολογιστή με ποιότητα παρόμοια με ένα συμβατικό τηλέφωνο (4 bits και 4 kHz).

Εκτός απ' την υπέρυθρη κάμερα και τα εξαρτήματα διαδραστικής τεχνολογίας που διαθέτει το wii remote, υπάρχουν και μερικά ακόμα συστατικά που το κάνουν ολοκληρωμένη συσκευή κατάλληλη για έρευνα. Αρχικά υποστηρίζει συνδεσιμότητα μέσω Bluetooth για την ασύρματη επικοινωνία με άλλα wii remotes ή ακόμα και με υπολογιστές συμβατούς με bluetooth. Για τη σύνδεση μέσω Bluetooth διαθέτει το ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) Broadcom 2042, το οποίο είναι σχεδιασμένο να χρησιμοποιείται από συσκευές που συμμορφώνονται με τα πρότυπα του Bluetooth Human Interface Device (HID). Τέτοιες συσκευές είναι τα γνωστά μας ασύρματα πληκτρολόγια και ποντίκια. Παρότι το wii remote δεν παρέχει 100% συμβατότητα με το πρότυπο HID μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστές που υποστηρίζουν Bluetooth, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Διαθέτει επίσης εσωτερική μνήμη τύπου flash η οποία είναι ενσωματωμένη στην πλακέτα της συσκευής και έχει μέγεθος περίπου 5,5 Kbytes. Πιο πολύ χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των ρυθμίσεων της συσκευής, για τη διατήρηση της εξωτερικής κατάστασής της και για την αποθήκευση δεδομένων. Επίσης το λογισμικό της Nintendo επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύει και να μεταφέρει το προσωπικό του προφίλ που καλείται *Mii*. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της εσωτερικής αυτής μνήμης, με αποτέλεσμα να υπάρχει φυσική σύνδεση μεταξύ ενός χειριστηρίου και της ταυτότητας του χρήστη μαζί με τα σχετικά δεδομένα. Στη βάση του wii remote υπάρχει μια θύρα επέκτασης η οποία μέσω των επεκτάσεων που μπορεί να υποστηρίξει παρέχει εναλλακτικούς τρόπους επικοινωνίας και επιπλέον δυνατότητες εισόδου. Η θύρα αυτή διαθέτει 6 ακίδες (pins) και χρησιμοποιείται για τη σύνδεση πρόσθετων χειριστηρίων όπως το Nintendo Nunchuck, το κλασικό χειριστήριο της Nintendo και το χειριστήριο-κιθάρα. Η ίδια θύρα χρησιμοποιείται επίσης για επιπλέον παροχή ισχύος πέρα από τις μπαταρίες. Τα χαρακτηριστικά της θύρας είναι 3.3V τάση και 400 kHz, ενώ παρέχει σειριακή επικοινωνία τύπου I2C. Τέλος με τη σύνδεση κατάλληλου μικροελεγκτή υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης γέφυρας από Bluetooth σε I2C. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για την παροχή ισχύος στο χειριστήριο χρησιμοποιούνται δύο μπαταρίες τύπου AA οι οποίες παρέχουν χρόνο λειτουργίας περίπου 20 με 40 ώρες, ανάλογα τη χρήση που γίνεται [5].

Από την παραπάνω περιγραφή του wii remote controller συμπεραίνουμε ότι δεν πρόκειται για ένα απλό τηλεχειριστήριο παιχνιδιομηχανής αλλά για μια συσκευή που μπορεί να προσφέρει πολλά περισσότερα. Απ' τη στιγμή που το wii remote συνδεθεί μέσω Bluetooth με έναν προσωπικό υπολογιστή μας δίνεται η

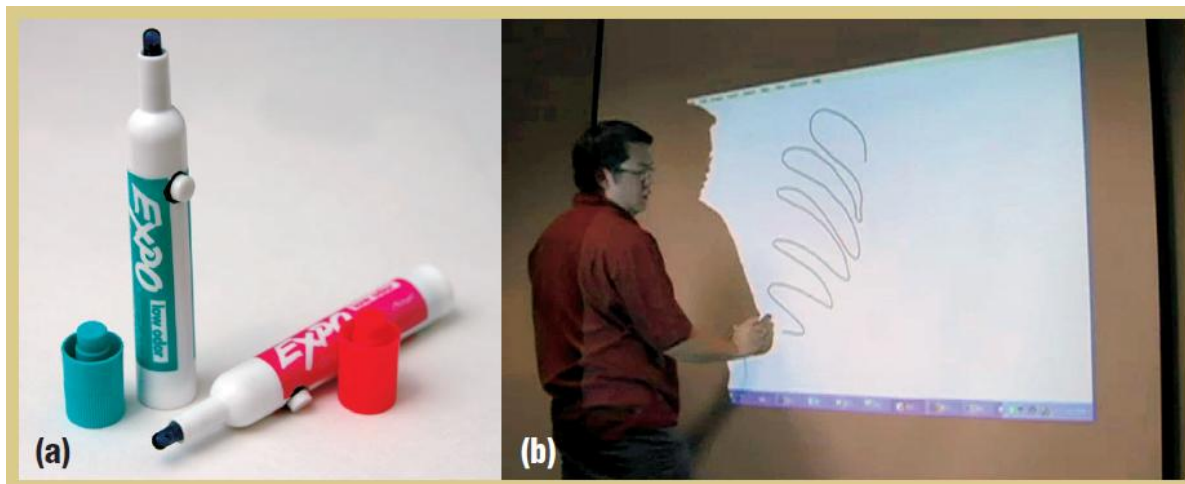
δυνατότητα να προχωρήσουμε σε διάφορες εφαρμογές προσαρμοσμένες στα ενδιαφέροντά μας. Βέβαια επειδή δεν υπάρχει 100% συμβατότητα του wii με το HID πρότυπο ενδέχεται να υπάρχει δυσκολία στην εύρεση της κατάλληλης συσκευής Bluetooth και των σωστών drivers ώστε να επιτευχθεί σύνδεση με τον προσωπικό υπολογιστή. Υπάρχουν διαθέσιμες στον παγκόσμιο ιστό πολλές βιβλιοθήκες λογισμικού για σύνδεση ,πέρασμα δεδομένων και έλεγχο του wii remote μέσω υπολογιστή .Επίσης είναι διαθέσιμες για τα περισσότερα λειτουργικά συστήματα (windows,mac os και linux) και είναι ανοιχτού κώδικα που σημαίνει ότι μπορεί ο καθένας να τις «κατεβάσει» δωρεάν και να τροποποιήσει των κώδικά τους, όπου αυτός επιθυμεί. Συνήθως τα δεδομένα που συλλέγει το wii remote και μεταφέρονται στον υπολογιστή είναι σε μορφή πίνακα ή κατάλληλης μεταβλητής, επομένως είναι αρκετά εύκολη η διαχείρισή τους .Τέλος ο υπολογιστής μπορεί να λαμβάνει τα δεδομένα εισόδου απ' τα wiimotes με ρυθμό 100 φορές το δευτερόλεπτο, ταχύτητα που επιτρέπει ικανοποιητική ακρίβεια στη συλλογή δεδομένων.

Όπως αναλύσαμε και πιο πριν, τα wii remotes με τις πολλές δυνατότητες εισόδου και εξόδου που προσφέρουν, σε συνδυασμό με την ευκολία σύνδεσης με Η/Υ τα έχουν μετατρέψει σε μια δημοφιλή συσκευή για εξερεύνηση εναλλακτικών συστημάτων για υπάρχουσες εφαρμογές .Για παράδειγμα λίγο αργότερα απ' την πρώτη επίσημη παρουσίαση του wii δημιουργήθηκαν βιβλιοθήκες λογισμικού για την αναπαράσταση του δρομέα των windows και τον έλεγχό του από απόσταση, ενώ εφαρμογές που προσομοίωναν κάποιες μορφές κίνηση υλοποιήθηκαν γρήγορα και σχετικά εύκολα με το wii remote. Η παγκόσμια κοινότητα ανοιχτού λογισμικού έχει δημιουργήσει βιβλιοθήκες για σύνδεση των wii remotes σε σχεδόν όλες τις σημαντικές πλατφόρμες .Αυτές οι εφαρμογές που αναφέρθηκαν απαιτούν μόνο το χειριστήριο wii remote και όχι την κονσόλα του wii. Φυσικά υπάρχουν και εφαρμογές που χρησιμοποιούν και την κονσόλα του wii, αλλά δεν ανήκουν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και δεν θα αναφερθούν.

Η ανάπτυξη εφαρμογών που δεν απαιτούν την κονσόλα του wii, αλλά μόνο το wii remote χρειάζονται συνήθως και μια πηγή υπέρυθρου. Έτσι κατασκευάζοντας εκπομπούς υπέρυθρου (IR emitters) μπορούμε να επεκτείνουμε τη χρησιμότητα της υπέρυθρης κάμερας του wii remote πέρα απ' την προβλεπόμενη λειτουργία της, δηλαδή την παρακολούθηση ενός δείκτη από μακριά. Σ' αυτή τη συνηθισμένη λειτουργία ο χρήστης κρατά το wii remote και καθώς κινείται το χειριστήριο, η κάμερα υπέρυθρου που διαθέτει, αναγνωρίζει την κίνηση που κάνει, αφού βρίσκεται σε οπτική επαφή με την πηγή υπέρυθρου φωτός που βρίσκεται απέναντι (αυτή η πηγή μπορεί να είναι η κονσόλα του wii ή κάποιος εκπομπός υπέρυθρου) και συλλέγει τα δεδομένα προσδιορισμού της θέσης της και του προσανατολισμού της. Σε άλλες εφαρμογές διαφορετικού είδους το wii remote είναι ακίνητο και κινούνται οι εκπομποί υπέρυθρου. Έτσι η IR κάμερα που βρίσκεται στο wii remote συλλέγει τα ίδια δεδομένα με την συμβατική εφαρμογή με αποτέλεσμα να γίνεται και πάλι ο εντοπισμός της θέσης και του προσανατολισμού της. Τα συστήματα ανίχνευσης κίνησης που αναπτύσσονται, στηρίζονται σε αυτή τη ρύθμιση κάμερας – εκπομπού, δηλαδή ακίνητα wii remotes και κινούμενοι εκπομποί υπέρυθρου. Με αυτόν τον τρόπο το wii remote μετατρέπεται σε εμπορικό σύστημα ανίχνευσης κίνησης υψηλής απόδοσης [5] .Αυτή ακριβώς την ιδιότητα του wii remote χρησιμοποιήσαμε στο εργαστήριο για τον εντοπισμό της θέσης και του προσανατολισμού αντικειμένων στον χώρο.

Σαν παράδειγμα αναφέρουμε μια εφαρμογή που αναπτύχθηκε απ' τον Johnny Chung Lee,όταν ήταν υποψήφιος διδάκτορας στο πανεπιστήμιο του Carnegie mellon , ενώ αυτή τη στιγμή είναι ερευνητής εφαρμοσμένων επιστημών στην ομάδα της Microsoft-Hardware . Πρόκειται για έναν διαδραστικό πίνακα που χρησιμοποιεί ένα χειριστήριο wii remote και έναν στυλό με

προσαρμοσμένο led υπερέυθρου στην άκρη του. Τοποθετώντας την κάμερα του wiimote προς μία προβαλλόμενη επιφάνεια στον τοίχο και τοποθετώντας το στυλό με το led υπερέυθρου πάνω στην επιφάνεια αυτή ,μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που συλλέγει η κάμερα του wiimote ,ώστε να υπολογισθεί ποια προβαλλόμενα Pixels αντιστοιχούν στη θέση του στυλό. Στην ουσία περιορίζοντας την ακτινοβολία του led σε μια επίπεδη επιφάνεια προβολής ,μπορεί να γίνει αντιστοιχία ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της κάμερας και της οθόνης-επιφάνειας προβολής. Αυτό μας επιτρέπει την αλληλεπίδραση με την προβαλλόμενη εικόνα σαν να επρόκειτο για ολοκληρωμένο σύστημα διαδραστικού πίνακα. Για την υλοποίηση της εφαρμογής αυτής αρχικά γίνεται η βαθμονόμηση της προβαλλόμενης επιφάνειας με την κάμερα του wiimote τοποθετώντας το led υπερέυθρου στις τέσσερις γωνίες της επιφάνειας αυτής. Η θέση των σημείων αυτών μας είναι γνωστή εκ των προτέρων, οπότε κάνοντας την αντιστοιχία με τα σημεία που αντιλαμβάνεται η κάμερα του wiimote μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίζουμε τη θέση κάθε σημείου, εντός αυτού του τετραγώνου. Πολλοί καθηγητές σε όλον τον κόσμο χρησιμοποιούν αυτή την εφαρμογή ως έναν χαμηλού κόστους διαδραστικό πίνακα .Παρακάτω φαίνεται η υλοποίηση της εφαρμογής απ' τον δημιουργό της:



Εικόνα 15: Στυλό με προσαρμοσμένο led υπερέυθρου αριστερά και η υλοποίηση του διαδραστικού πίνακα με wiimote απ' τον Johnny Chung Lee δεξιά [5].

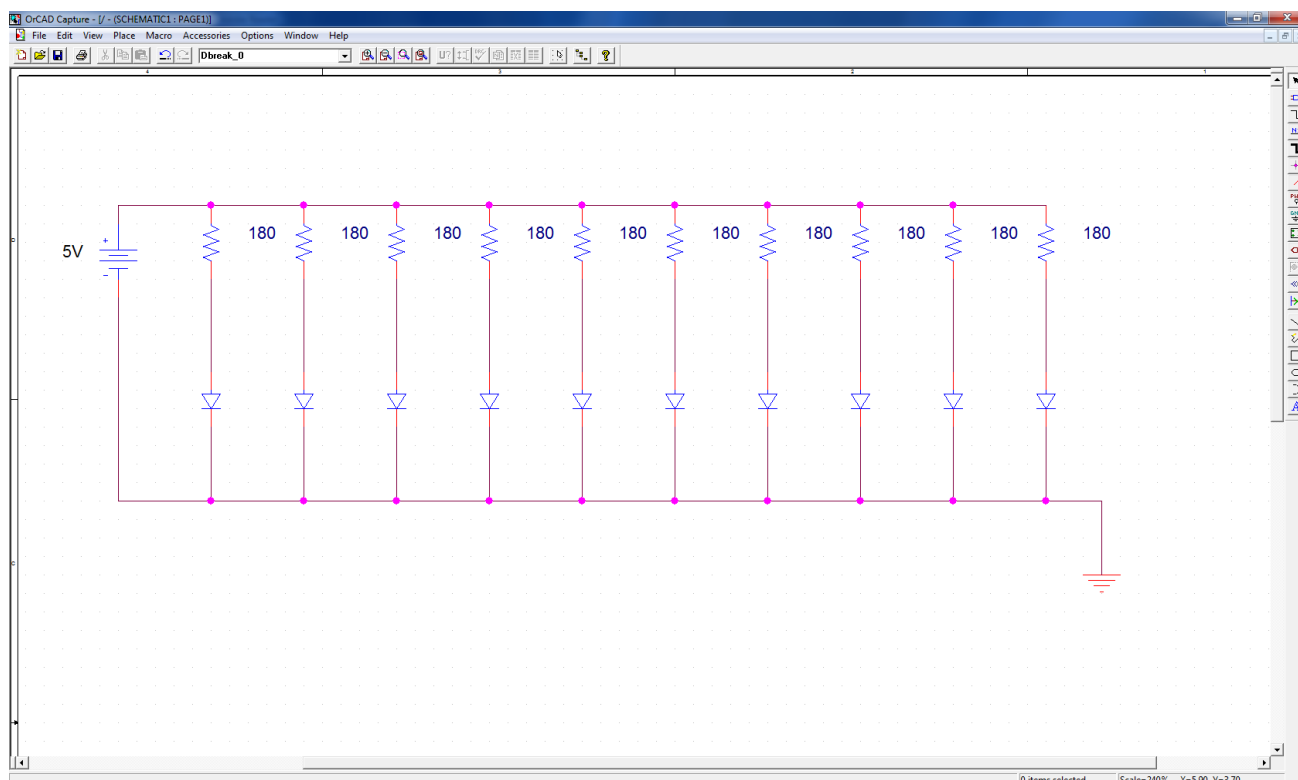
Συμπερασματικά, μπορεί να αναφερθεί ότι οι πολλαπλές δυνατότητες του wii remote σε είσοδο και έξοδο δεδομένων ,το κάνουν μια συσκευή που μπορεί να υποστηρίξει μια πληθώρα πιθανών εφαρμογών ,πέρα απ' την αρχική προβλεπόμενη χρήση του.Το χαμηλό κόστος του σε συνδυασμό με τη δυνατότητα σύνδεσης μέσω Bluetooth, το καθιστούν ιδανική πλατφόρμα για την κοινότητα των προγραμματιστών ,ώστε να δημιουργήσουν πολλές εφαρμογές ελέγχου και εντοπισμού θέσης [5].

4.2 Σύστημα εργαστηρίου βασισμένο στα χειριστήρια wii remotes

Στο εργαστήριο εφαρμόσαμε την ανίχνευση αντικειμένων στον χώρο με χρήση δύο χειριστηρίων wii remotes. Επειδή η κάμερα του wii remote είναι ευαίσθητη μόνο σε φωτεινές πηγές υπερέυθρης ακτινοβολίας (μπορεί να ανιχνεύει 4 πηγές υπερέυθρου ταυτόχρονα) ,τα αντικείμενα που εντοπίζονται πρέπει να εκπέμπουν ένα ικανό ποσό υπερέυθρου φωτός ώστε να ανιχνευθούν. Για παράδειγμα μια

δίοδος υπερέθρου (IR led) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό. Παρόλα αυτά συστήματα που χρησιμοποιούν IR leds είναι γενικά ανεπιθύμητα ή ακόμα και απαγορευτικά εξαιτίας του βάρους της μπαταρίας που πρέπει να έχουν και του μεγέθους της κατασκευής. Επίσης επειδή αρχικά στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε δίοδος υπερέθρου (IR led) διαπιστώθηκε ένα ακόμα μειονέκτημα, το οποίο ήταν η μικρή ορθότητα και η μικρή ακρίβεια του συστήματος, εξαιτίας της ακτινοβολίας του led προς κάθε κατεύθυνση. Γι' αυτό τον λόγο αντικαταστάθηκε η δίοδος υπερέθρου με έναν κατάλληλο ανακλαστήρα υπερέθρου σχήματος κύβου.

Με το κατάλληλο σύστημα μπορούν ακόμα και τα δάχτυλα ενός ανθρώπου να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα προς εντοπισμό και έτσι να ελαχιστοποιηθεί ακόμα περισσότερο το πλήθος των οργάνων που απαιτούνται για τον εντοπισμό θέσης. Αυτό γίνεται καθώς τα δάχτυλα μπορούν να δράσουν ως ανακλαστήρες υπερέθρου φωτός με την προϋπόθεση ότι σε κοντινή απόσταση (απέναντι απ' τα δάχτυλα) υπάρχει καλή πηγή εκπομπής υπερέθρου. Τα συστήματα που βασίζονται σε κάμερα για ανίχνευση θέσης ή κίνησης συχνά χρησιμοποιούν ειδικούς δείκτες (markers) ώστε να αυξηθεί η ορατότητα των σημείων που ανιχνεύονται. Επίσης η ορατότητα μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο με τη χρήση ειδικών ανακλαστικών υλικών-ετικετών, όπως είναι η ανακλαστική ταινία που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο. Τέλος η πηγή υπερέθρου, σε πολλά συστήματα εφαρμογών και στο σύστημα που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, μπορεί να βρίσκεται ενσωματωμένη με την κάμερα ανίχνευσης υπερέθρου. Στην ουσία πρόκειται για μια συστοιχία από διόδους υπερέθρου (ir led array) η οποία εφαρμόζεται πάνω σε πλακέτα και στη συνέχεια προσαρμόζεται γύρω απ' την κάμερα του wii remote, ώστε να υπάρχει μια καλή πηγή εκπομπής υπερέθρου σε ικανή απόσταση απ' το αντικείμενο που εντοπίζεται στον χώρο. Στο εργαστήριο αυτό πραγματοποιήθηκε με την κατασκευή δύο πλακετών, καθεμιά απ' τις οποίες είχε 10 led υπερέθρου και φυσικά κατάλληλη πηγή τάσης ώστε να φωτοβολούν επαρκώς. Το κύκλωμα της πλακέτας αυτής που ήταν όμοιο και στις δύο φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 13 παρακάτω, ενώ ο τρόπος που «στήθηκε» το σύστημα του εργαστηρίου και ο συνδυασμός των wii remotes και των εκπομπών υπερέθρου φαίνεται στις φωτογραφίες στο τέλος του κεφαλαίου. Σημειώνουμε εδώ ότι η τροφοδοσία των πλακετών με τα led υπερέθρου καθώς και των wii remotes έγινε ξεχωριστά για το καθένα, από θύρες usb των 2 υπολογιστών που χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίες παρέχουν dc τάση ίση με 5V. Επίσης επειδή η κάμερα των wii remote είναι ευαίσθητη πιο πολύ σε υπερέθρο φως με μήκος κύματος 940nm περίπου, η επιλογή των αντιστάσεων της πλακέτας έγινε έτσι ώστε να εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν περισσότερη ακτινοβολία στα 940nm, φροντίζοντας παράλληλα να μην υπερβούμε τα όρια ανοχής στην ένταση του ρεύματος των διόδων. Οι δίοδοι υπερέθρου (ir leds) που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρείας kingbright, μοντέλο 153f3c των οποίων το datasheet παρατίθεται στο παράρτημα. Πρόκειται για διόδους αρσενικούχου γαλλίου (GaAs) οι οποίες απαιτούν περίπου 40mA ρεύμα ώστε να επιτύχουμε τη μέγιστη ακτινοβολία στα 940nm. Όμως τα 40 mA είναι το όριο ανοχής των φωτοδίοδων αυτών επομένως επιλέξαμε ρεύμα αρκετά κάτω απ' αυτή την τιμή, ώστε να τις προστατέψουμε από μια πιθανή βλάβη, λόγω συνεχούς χρήσης στα όρια ανοχής τους. Τελικά επιλέξαμε ρεύμα 20mA το οποίο όπως διαπιστώσαμε και στην πράξη παρέχει καλή φωτοβολία των διόδων. Επομένως σύμφωνα με το κύκλωμα που υλοποιήσαμε και απ' τον τύπο: $R = V/I \Rightarrow R = (V - V_d)/I$ προκύπτει ότι η αντίσταση είναι ίση με 175Ω (αφού η τάση τροφοδοσίας είναι 5V, η πτώση τάσης στις διόδους V_d περίπου 1,5V και το ρεύμα που ρέει απ' τις διόδους θέλουμε να 'ναι 20 mA. Οι αντιστάσεις που βρήκαμε στο εμπόριο είναι 180Ω οπότε χρησιμοποιήσαμε αυτές. Το κύκλωμα καθεμιάς απ' τις δύο πλακέτες σχεδιάστηκε στο pspice και φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 16:Κύκλωμα καθεμιάς πλακέτας στο πρόγραμμα orcad pspice.

Η τροφοδοσία είναι 5V dc η οποία παρέχεται από θύρα usb του υπολογιστή.

Η προσέγγιση αυτή, της χρήσης της κάμερας ανίχνευσης υπέρυθρου σε συνδυασμό με την πηγή εκπομπής υπέρυθρου, έχει εφαρμοσθεί και πωλείται ως εμπορικό προϊόν απ' την εταιρεία Vicon η οποία δραστηριοποιείται σε θέματα που αφορούν την ανίχνευση κίνησης μέσω κάμερας. Για να γίνει κατανοητό σε τί ακριβώς αναφερόμαστε παρουσιάζουμε παρακάτω μια τέτοια κάμερα του εμπορίου:



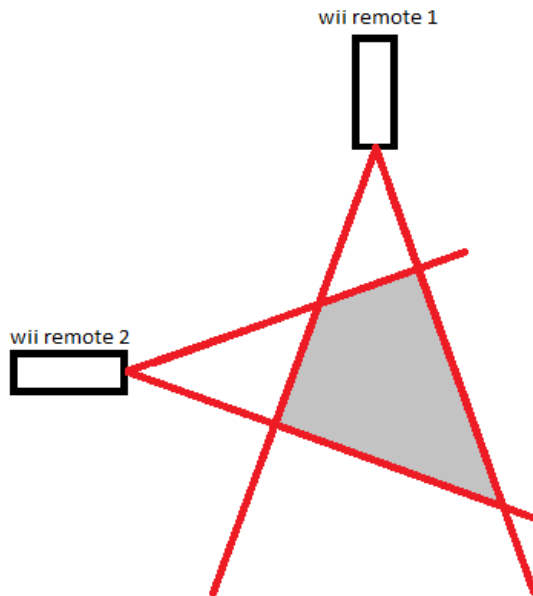
Εικόνα 17:Κάμερα ανίχνευσης υπερέυθρου με προσαρμοσμένη πηγή εκπομπής υπερέυθρου γύρω της. Ανήκει στην εταιρεία Vicon (<http://www.vicon.com/>)

Στο παραπάνω εμπορικό προϊόν παρατηρούμε ότι γύρω απ' τον φακό της κάμερας υπάρχουν πολλά led υπερέυθρου τα οποία εκπέμπουν κατά τη διάρκεια χρήσης της κάμερας. Με αυτόν τον τρόπο η κάμερα εντοπίζει αντικείμενα στον χώρο λόγω των ανακλάσεων σε αυτά της υπέρυθρης ακτινοβολίας και έτσι έχει τη δυνατότητα νυχτερινής λήψης. Τέτοιες κάμερες χρησιμοποιούνται και ως συστήματα παρακολούθησης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το κόστος μιας τέτοιας κάμερας κυμαίνεται μεταξύ 30 και 300 περίπου ευρώ ανάλογα με τον τύπο της κάμερας και της ποιότητας εικόνας που προσφέρει.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήσαμε ένα αξιόπιστο σύστημα εντοπισμού θέσης χρησιμοποιώντας εξοπλισμό μικρού κόστους .Χρησιμοποιώντας 2 wii remotes μπορούμε να κάνουμε ανίχνευση στον χώρο (3D motion tracking). Εφαρμόζοντας περισσότερα wii remotes μπορούμε να επιτύχουμε καλύτερη ακρίβεια και μεγαλύτερο όγκο κάλυψης .Το σύστημα που περιγράψαμε πριν με το ένα wii remote και την ανίχνευση των δαχτύλων ,μπορεί να εφαρμοσθεί σε γραφικά περιβάλλοντα υπολογιστή όπου αντί να χρησιμοποιούμε το ποντίκι θα μπορούσαμε να δείχνουμε με το δάχτυλο και να κινείται ανάλογα ο κέρσορας ή δρομέας. Προσαρμόζοντας στο δάχτυλο ειδική ανακλαστική ταινία θα μπορούσαμε να πετύχουμε πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Τέλος η τεχνική αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές πιο γενικού ενδιαφέροντος όπως ο εντοπισμός διαφόρων αντικειμένων σε ένα περιορισμένο χώρο ή ακόμα και ζώων .Βέβαια πάντα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τις ανακλάσεις του υπέρυθρου φωτός σε λείες επιφάνειες ,κάτι που μπορεί να προκαλέσει ανακρίβειες στο σύστημα εντοπισμού και μεγάλα σφάλματα. Στο εργαστήριο δεν προέκυψαν θέματα ανακλάσεων μιας και ο χώρος εφαρμογής του συστήματος εντοπισμού ήταν πολύ μικρός (περίπου επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου),ενώ στο δωμάτιο δεν υπήρχαν πολλές λείες επιφάνειες όπως οι μεταλλικές επιφάνειες. Όμως το σύστημα που αναπτύχθηκε αφορά τον εντοπισμό της θέσης της ενδοσκοπικής κάμερας του συστήματος da Vinci ,επομένως ο χώρος που προορίζεται να

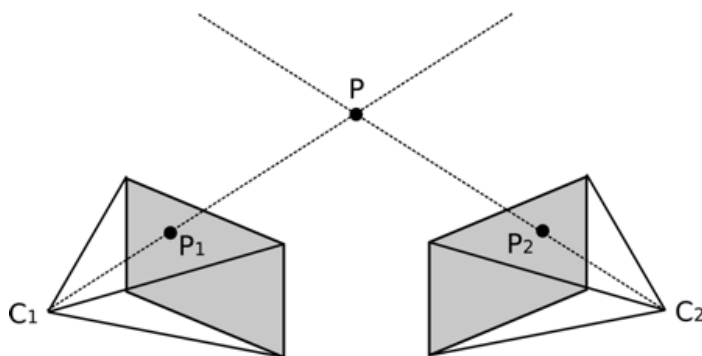
εφαρμοστεί μελλοντικά είναι η χειρουργική αίθουσα η οποία έχει πολλές μεταλλικές και λείες επιφάνειες. Εκεί σίγουρα θα υπάρχει σοβαρό θέμα ανακλάσεων. Μια πρώτη σκέψη προς την επίλυση του ζητήματος θα ήταν η κάλυψη των λείων επιφανειών με ειδικό μη ανακλαστικό υλικό ή η χρήση πολλών καμερών υπερέθρου περιορίζοντας έτσι τον χώρο στόχευσής τους και επομένως μειώνοντας σημαντικά τις ανεπιθύμητες ανακλάσεις.

Εδώ θα γίνει η αναλυτική περιγραφή του συστήματος εντοπισμού θέσης και προσανατολισμού της ενδοσκοπικής κάμερας στον χώρο με χρήση 2 χειριστηρίων Nintendo wii remotes, που αναπτύξαμε στο εργαστήριο. Αρχικά στην εγκατάσταση του συστήματος χρησιμοποιήσαμε 2 wii remotes τα οποία τοποθετήσαμε σε κάθετη μεταξύ τους θέση και σε απόσταση περίπου 2 μέτρων μεταξύ τους. Παραθέτουμε στη συνέχεια σχετικό γράφημα (εικόνα 15) αλλά και φωτογραφία του πραγματικού χώρου στο τέλος του κεφαλαίου. Τοποθετήθηκαν με τέτοιον τρόπο ώστε κάθε σημείο στον χώρο όπου γίνεται ο εντοπισμός θέσης να είναι ορατός και απ' τις δύο κάμερες ,μιας και το οπτικό πεδίο της κάθε κάμερας είναι σχετικά στενό (περίπου 40° οριζόντια). Επίσης το αντικείμενο που εντοπίστηκε είναι ένας ανακλαστήρας κυλινδρικού σχήματος διαστάσεων περίπου 1×4 cm και φαίνεται στις φωτογραφίες στο τέλος του κεφαλαίου. Για την ανίχνευση της θέσης στον χώρο χρειάζεται να βαθμονομηθούν οι κάμερες. Η βαθμονόμηση συνήθως γίνεται με κάποια συστοιχία από led υπερέθρου, σε καθορισμένο σχήμα-πρότυπο (pattern) ,η οποία τοποθετείται μπροστά απ' την κάμερα και στη συνέχεια ανιχνεύεται από αυτή. Στην πραγματικότητα το γνωστό σε μας σχήμα της συστοιχίας των led φαίνεται και στην οθόνη του υπολογιστή οπότε μπορούμε ρυθμίζοντας κατάλληλα τις παραμέτρους της κάμερας να βαθμονομήσουμε το σύστημά μας. Επειδή η κάμερα των wii remote ανιχνεύει μέχρι τέσσερις πηγές υπερέθρου ταυτόχρονα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη βαθμονόμηση έναν τετράγωνο πίνακα με τέσσερα led υπερέθρου, ένα σε κάθε γωνία. Στο δικό μας σύστημα επειδή η θέση των wii remotes είναι σταθερή στον χώρο η βαθμονόμηση έγινε μία φορά στην αρχή της λειτουργίας του και δεν χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί πίνακας βαθμονόμησης. Απλά φροντίσαμε στη συνάρτηση που υλοποιήσαμε ,οι αποστάσεις στο διάγραμμα θέσης του matlab να ανάγονται κάθε φορά στις πραγματικές. Αυτό είναι εύκολο να γίνει μιας και οι κάμερες έχουν σταθερή θέση ,οι αποστάσεις στο διάγραμμα της οθόνης του υπολογιστή είναι από 0 έως 1 και οι αποστάσεις στον πραγματικό χώρο είναι γνωστές. Οι κάμερες υπερέθρου συνεχώς ανιχνεύουν τις υπέρυθρες πηγές φωτός που βρίσκονται στο οπτικό τους πεδίο και στέλνουν στον υπολογιστή μέσω Bluetooth, τα δεδομένα της θέσης τους σε πραγματικό χρόνο .Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό σε matlab παρουσιάζουμε τη θέση αυτή σε γράφημα αλλά και σε πίνακα όπου δίνονται οι πραγματικές συντεταγμένες των σημείων που εντοπίζονται.



Εικόνα 18: Διάταξη wii remotes του εργαστηρίου και παρουσίαση με γκρι της κοινής περιοχής των οπτικών πεδίων των δύο καμερών

Στο θεωρητικό κομμάτι του εντοπισμού του ανακλαστήρα στον χώρο χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της τριγωνοποίησης με μέτρηση αποστάσεων. Έστω ότι ο ανακλαστήρας βρίσκεται στο σημείο P στον χώρο και θέλουμε να υπολογίσουμε τις συντεταγμένες του. Ας υποθέσουμε ακόμα ότι P_1 και P_2 είναι οι προβολές του σημείου P στο επίπεδο της εικόνας που βλέπει η κάμερα, δηλαδή P_1 και P_2 είναι στην πραγματικότητα τα σημεία που βλέπουμε στην οθόνη του υπολογιστή ως θέση του P απ' τις δύο κάμερες αντίστοιχα. Μπορούμε τώρα να κατασκευάσουμε δύο ευθείες, καθεμία απ' τις οποίες ξεκινάει απ' τη θέση της κάθε κάμερας στον χώρο (έστω C_1 και C_2 οι 2 αυτές θέσεις) και διέρχεται απ' το P_1 και P_2 αντίστοιχα. Το ζητούμενο σημείο P είναι το σημείο τομής των 2 αυτών ευθειών σύμφωνα με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης. Τα σημεία στο εργαστήριο είναι $C_1(89,135,0)$ και $C_2(238,281.5,0)$ όπου οι διαστάσεις είναι σε cm. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά ότι περιγράφηκε προηγουμένως:



Εικόνα 19: Γνωρίζοντας τα σημεία P_1 και P_2 τα οποία μας δίνουν οι κάμερες και με γνωστά τα C_1 και C_2 (θέση των καμερών) υπολογίζουμε το ζητούμενο P [6].

Βέβαια στην πράξη οι δύο αυτές ευθείες δεν τέμνονται εξαιτίας περιορισμένης ανάλυσης της κάμερας, σφάλματα στη διαδικασία ανίχνευσης του σημείου και

αριθμητικά λάθη .Μία προσέγγιση είναι να βρούμε το σημείο εκείνο που έχει την ελάχιστη μέση απόσταση απ' τις δύο ακτίνες, έτσι η μέση απόσταση παρέχει ένα μέτρο λάθους του συστήματος. Η άλλη προσέγγιση είναι να βρει κανείς το σημείο που ελαχιστοποιεί την απόκλιση η οποία εμφανίζεται όταν το επαναπροβάλλουμε στο επίπεδο της εικόνας των καμερών και συγκρίνουμε τις συντεταγμένες του με τις συντεταγμένες που παρατηρήσαμε πριν [6].Εφαρμόσαμε τη δεύτερη προσέγγιση ,χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση Polyfit του λογισμικού matlab η οποία περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο .Αυτή η μέθοδος(polynomial triangulation) έδωσε μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα σε σχέση με την πρώτη προσέγγιση που είναι μια γραμμική μέθοδος μέτρησης ελαχίστων αποστάσεων(linear triangulation).

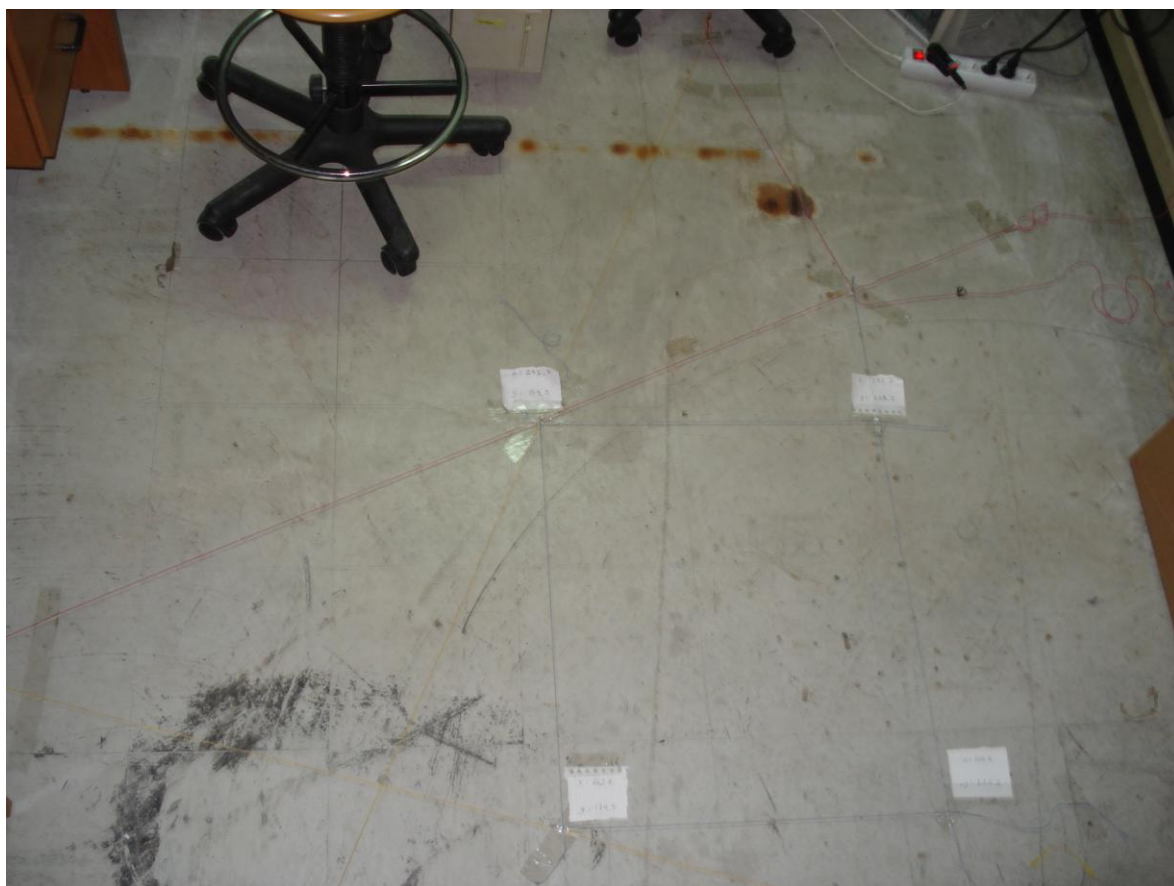
Για την εφαρμογή του συστήματος του εργαστηρίου που περιγράφηκε, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό matlab. Με τη βοήθεια ενός εξωτερικού δέκτη Bluetooth μάρκας Belkin που συνδέθηκε στον Η/Υ μέσω usb ,του οποίου τις προδιαγραφές παραθέτουμε στο παράρτημα και με λειτουργικό σύστημα του Η/Υ windows 7, γίνεται αρχικά η ανίχνευση των 2 συσκευών Bluetooth, οι οποίες είναι τα δύο wii remotes.Στη συνέχεια μέσω του λογισμικού matlab και με τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήσαμε γίνεται ο εντοπισμός της θέσης του ανακλαστήρα. Λεπτομέρειες του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Παρακάτω παρουσιάζουμε τις φωτογραφίες απ' το σύστημα του εργαστηρίου και περιγράφουμε καθεμία απ' αυτές.

Στην πρώτη εικόνα φαίνεται συνολικά ο χώρος του εργαστηρίου που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Διακρίνονται οι 2 πλακέτες με τα led υπερύθρου και πίσω από αυτές τα wii remotes.Στο πάτωμα έχει γίνει οριοθέτηση του χώρου ανάλογα με το οπτικό πεδίο κάθε μιας κάμερας.



Εικόνα 20:Συνολική άποψη του εργαστηρίου.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζουμε το πάτωμα όπου έγινε η οριοθέτηση του χώρου και διακρίνουμε το κοινό οπτικό πεδίο των 2 wii remotes, σχήματος τετραγώνου όπου έγιναν οι μετρήσεις με τον ανακλαστήρα, σε αντιστοιχία με το γράφημα της εικόνας 15. Ο χώρος αυτός που οριοθετείται απ' το μπλε τετράγωνο είναι ο χώρος ανίχνευσης της θέσης του ανακλαστήρα.



Εικόνα 21: Κοινό οπτικό πεδίο των δύο καμερών σχήματος τετραγώνου με τις συντεταγμένες κάθε γωνίας .

Έπειτα παρουσιάζουμε την πλακέτα με τα 10 led υπερύθρου που κατασκευάσαμε . Τα led αυτά τοποθετήθηκαν γύρω από μια τρύπα στο κέντρο της πλακέτας η οποία έγινε με σκοπό την τοποθέτηση εκεί της κάμερας του wii remote. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε ακρίβεια στην λήψη των ανακλάσεων υπερύθρου φωτός, μιας και τα led εκπέμπουν προς την ίδια κατεύθυνση που «βλέπει» η κάμερα υπερύθρου. Η βασική ιδέα της κατασκευής αυτής εφαρμόζεται και σε εμπορικά συστήματα καμερών, όπως δείξαμε προηγουμένως (εικόνα 14) .



Εικόνα 22: Πλακέτα με led υπερόθρου (ir led array) και προσαρμοσμένη κάμερα wii remote στο κέντρο της.

Ο ανακλαστήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι ερασιτεχνικής κατασκευής. Κομμάτι ανακλαστικής ταινίας διαστάσεων 1x4 cm σχήματος ορθογωνίου, κολλήθηκε πάνω σε ξύλινο σφαιρίδιο δίνοντας έτσι κυλινδρικό σχήμα στον ανακλαστήρα. Θέλαμε ένα τέτοιο σχήμα επειδή χρησιμοποιήσαμε δύο κάμερες και επομένως απαιτούσαμε ταυτόχρονη ανάκλαση του υπέρυθρου φωτός και προς τα δύο wii remotes. Σε επαγγελματικά συστήματα χρησιμοποιούνται ειδικά σφαιρίδια με ανακλαστική επίστρωση στην επιφάνειά τους, αλλά το κόστους τους ήταν αρκετά μεγάλο και δεν τα αγοράσαμε.



Εικόνα 23: Ανακλαστήρας υπερόθρου για διεξαγωγή μετρήσεων

Ο δέκτης Bluetooth που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Belkin USB Bluetooth Adapter v2.0 ο οποίος φαίνεται παρακάτω. Οι προδιαγραφές λειτουργίας του παρατίθενται στο παράρτημα.



Εικόνα 24: Εξωτερικός δέκτης Bluetooth σύνδεσης usb

Για τη λειτουργία του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν δύο υπολογιστές. Ο πρώτος είναι αυτός που «έτρεξε» το απαραίτητο λογισμικό, ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για την τροφοδοσία των πλακετών και των χειριστηρίων wii remotes (τα wii remotes είχαν εξωτερική τροφοδοσία μέσω θύρας usb όπως και οι πλακέτες). Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις μέσω του προγράμματος matlab, είχε επεξεργαστή Intel Pentium 4 στα 2.80 GHz, μνήμη RAM 1.50 GB, ενώ το σύστημα ήταν 32-bit. Τέλος το λειτουργικό σύστημά του ήταν Windows 7 Professional και η έκδοση του Matlab που είχε εγκατεστημένη ήταν Matlab 7.8.0 (R2009a). Η οθόνη του υπολογιστή ήταν LCD SAMSUNG Sync Master 940N, 17”.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε συνοπτικά σε έναν πίνακα τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε για το εργαστήριο:

Εξοπλισμός εργαστηρίου	Λειτουργία που επιτελεί
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής με λειτουργικό Windows 7 και λογισμικό matlab 7.8.0	«Τρέξιμο» λογισμικού matlab με τον κατάλληλο κώδικα και συλλογή μετρήσεων
Δύο wii remotes με τροφοδότηση μέσω usb	Χρήση των υπέρυθρων καμερών τους για ανίχνευση υπέρυθρου φωτός λόγω ανάκλασης
Δύο πλακέτες με 10 led υπέρυθρου (ir led arrays)	Εκπομπή υπέρυθρου φωτός προς τον χώρο ανίχνευσης θέσης (κοινό οπτικό πεδίο καμερών)
Εξωτερική συσκευή Bluetooth σε σύνδεση με τον Η/Υ μέσω usb (Bluetooth adapter)	Ασύρματη σύνδεση Η/Υ με wii remotes μέσω bluetooth
Ανακλαστήρας υπέρυθρου, σχήματος κυλίνδρου	Ανακλά την υπέρυθρη ακτινοβολία προς τις κάμερες των wii remotes

Πίνακας 2: Εξοπλισμός εργαστηρίου για διεξαγωγή πειραμάτων

5

Τεχνολογία υλοποίησης (γλώσσα matlab)

5.1 Περιγραφή γλώσσας προγραμματισμού matlab

Το MATLAB είναι ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο μαθηματικό λογισμικό πακέτο που δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1990 και χρησιμοποιείται σε πολλά πανεπιστημιακά μαθήματα αλλά και ερευνητικές και άλλου είδους εφαρμογές με επιστημονικούς υπολογισμούς (scientific computing). Είναι ένα μαθηματικό πακέτο αλλά και μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου για τη μελέτη κάθε είδους μαθηματικών συναρτήσεων. Όλες οι εντολές και τα εργαλεία που επιτελούν αυτό το σκοπό βρίσκονται στον κατάλογο εργαλειοθήκη (toolbox). Η γλώσσα αυτή είναι αυστηρά δομημένη, όσον αφορά τη σύνταξη των εντολών της, και έτσι πολλά απ' τα συντακτικά λάθη προγραμματισμού μπορούν να ανακαλυφθούν κατά την εκτέλεση του προγράμματος παρέχοντας σημαντική ασφάλεια στον προγραμματιστή. Το όνομά του προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων MATrix LABoratory (εργαστήριο πινάκων). Δημιουργήθηκε από τον C. Moler, αρχικά ως εργαλείο διαχείρισης των βιβλιοθηκών Fortran: LINPACK (γραμμική άλγεβρα) και EISPACK (ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα). Στη συνέχεια βέβαια εξελίχθηκε σε σύνθετο πακέτο γραμμένο σε C και C++ και συνεχίζει να αναπτύσσεται συνεχώς. Το MATLAB είναι ένα διαδραστικό (interactive) πρόγραμμα για αριθμητικούς υπολογισμούς και οπτικοποίηση δεδομένων (data visualization) με δυνατότητες προγραμματισμού που το καθιστούν ένα ισχυρό και χρήσιμο εργαλείο στις θετικές επιστήμες όπως τα μαθηματικά και η φυσική. Στην ουσία πρόκειται για μια υψηλού επιπέδου τεχνική γλώσσα προγραμματισμού και ταυτόχρονα για ένα διαδραστικό περιβάλλον που επιτρέπει την ανάπτυξη αλγορίθμων, την οπτικοποίηση δεδομένων, την ανάλυση δεδομένων και αριθμητικούς υπολογισμούς. Με τη βοήθεια της γλώσσας matlab έχεις τη δυνατότητα να λύσεις τεχνικά προβλήματα υπολογιστών πιο γρήγορα σε σχέση με τις παραδοσιακές γλώσσες προγραμματισμού όπως η C, C++ και Fortran [7].



Εικόνα 25: Λογότυπο της εταιρείας Mathworks που διανέμει το matlab

Σε αντίθεση με τα λογισμικά Maple και Mathematica, το matlab στις αρχικές του εκδόσεις δεν έκανε συμβολικούς υπολογισμούς. Στις νεότερες εκδοχές του, το πακέτο περιλαμβάνει εργαλειοθήκες (toolboxes) που επιτρέπουν συμβολικούς υπολογισμούς. Το matlab μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των σημάτων και επεξεργασίας εικόνας, επικοινωνιών, σχεδιασμών συστημάτων ελέγχου, δοκιμών και μετρήσεων, οικονομικής μοντελοποίησης και ανάλυσης και πληροφορικής βιολογίας. Υπάρχει η δυνατότητα για επέκταση του περιβάλλοντος του matlab ώστε να μπορεί να επιλύσει προβλήματα συγκεκριμένης κατηγορίας σε συγκεκριμένους τομείς εφαρμογής. Αυτή η επέκταση γίνεται με την προσθήκη εργαλειοθηκών (toolboxes) οι οποίες διαθέτουν συλλογές από συναρτήσεις ειδικού σκοπού. Επίσης το matlab παρέχει μια σειρά από χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την τεκμηρίωση και την ανταλλαγή της εργασίας που πραγματοποιείται, ενώ μπορείς εύκολα να ενσωματώσεις τον κώδικα

σε matlab με άλλες γλώσσες και εφαρμογές και στη συνέχεια να διανέμεις αλγορίθμους και εφαρμογές [7].

Όπως υποδηλώνεται και από το όνομά του, το matlab είναι ειδικά σχεδιασμένο για υπολογισμούς με πίνακες, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κλπ. Επιπλέον το πακέτο αυτό είναι εφοδιασμένο με πολλές επιλογές για γραφικά (δηλ. την κατασκευή γραφικών παραστάσεων) και προγράμματα γραμμένα στη δική του γλώσσα προγραμματισμού για την επίλυση άλλων προβλημάτων όπως η εύρεση των ριζών μη γραμμικής εξίσωσης, η επίλυση μη γραμμικών συστημάτων, η επίλυση προβλημάτων αρχικών τιμών με συνήθεις διαφορικές εξισώσεις κα.

Η γλώσσα προγραμματισμού του matlab δίνει την ευχέρεια στον χρήστη να το επεκτείνει με δικά του προγράμματα. Επίσης το matlab είναι σχεδιασμένο για την αριθμητική επίλυση προβλημάτων σε αριθμητική πεπερασμένη ακρίβειας (finite-precision arithmetic), δηλαδή δεν βρίσκει την ακριβή αλλά μια προσεγγιστική λύση ενός προβλήματος. Αυτή είναι και η βασική του διαφορά από τα συστήματα συμβολικών υπολογισμών όπως η Maple και το Mathematica.

Γενικά το matlab παρέχει υψηλού επιπέδου γλωσσικά εργαλεία και εργαλεία ανάπτυξης που επιτρέπουν την γρήγορη ανάπτυξη και ανάλυση των αλγορίθμων και των διαφόρων εφαρμογών. Επίσης υποστηρίζει μόνο πράξεις μεταξύ διανυσμάτων και πινάκων (τα πάντα στο matlab είναι πίνακες) που είναι θεμελιώδης σημασίας για την μηχανική και τα επιστημονικά προβλήματα. Έτσι επιτρέπει τη γρήγορη ανάπτυξη και εκτέλεση των αλγορίθμων. Σαν γλώσσα η matlab είναι ά-τυπη δηλαδή δεν χρειάζεται δήλωση μεταβλητών, ενώ οι πράξεις κινητής υποδιαστολής γίνονται σύμφωνα με το standard της IEEE ,συνήθως σε διπλή ακρίβεια. Επειδή δεν χρειάζεται δήλωση μεταβλητών ,δήλωση τύπων δεδομένων και κατανομή της μνήμης η υλοποίηση των αλγορίθμων είναι πιο γρήγορη από άλλες παραδοσιακές γλώσσες. Παρόλα αυτά το matlab παρέχει όλα τα στοιχεία μιας παραδοσιακής γλώσσας προγραμματισμού όπως αριθμητικούς τελεστές, δομές δεδομένων, έλεγχο ροής ,αντικειμενοστραφή προγραμματισμό και διόρθωση σφαλμάτων (debugging). Για γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών μεταξύ μεγάλων πινάκων και διανυσμάτων το matlab χρησιμοποιεί ειδικές βιβλιοθήκες βελτιστοποιημένου επεξεργαστή ,ενώ για υπολογισμούς γενικού σκοπού παράγει εντολές σε γλώσσα μηχανής χρησιμοποιώντας τεχνολογία ταυτόχρονης μεταγλώττισης, πετυχαίνοντας έτσι αρκετά γρήγορες ταχύτητες εκτέλεσης που συγκρίνονται με αυτές των παραδοσιακών γλωσσών προγραμματισμού.

Το matlab διαθέτει αρκετά εργαλεία ανάπτυξης τα οποία βοηθάνε στην αποτελεσματική εφαρμογή των αλγορίθμων. Αυτά είναι:

- ο επεξεργαστής του matlab (matlab editor) που παρέχει δυνατότητες σύνταξης και επιδιόρθωσης σφαλμάτων ,*
- ο αναλυτής κώδικα (code analyzer) που ελέγχει τον κώδικα για προβλήματα και συστήνει αλλαγές για βελτιστοποίηση απόδοσης και σταθερότητας ,*
- ο matlab profiler που καταγράφει τον χρόνο εκτέλεσης κάθε γραμμής κώδικα ,*
- ο κατάλογος αναφορών (directory reports) που σαρώνει όλα τα αρχεία σε έναν φάκελο και αναφέρει την αποτελεσματικότητα του κώδικα ,τις διαφορές των αρχείων ,τις εξαρτήσεις μεταξύ τους και την κάλυψη του κώδικα και τέλος*
- οι διεπαφές του χρήστη για σχεδιασμό γραφικών (designing graphical user interfaces) όπου υπάρχει το εργαλείο GUIDE για τη διάταξη ,τον σχεδιασμό και την επεξεργασία διεπαφών του χρήστη (π.χ. δημιουργία πλαισίων ,μενού, κουμπιών, διαγραμμμάτων κ.α.). Επίσης δίνεται η δυνατότητα για δημιουργία προγραμμάτων GUIs(graphical user interfaces) χρησιμοποιώντας συναρτήσεις του matlab [7].*

Στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων το λογισμικό πακέτο matlab υποστηρίζει ολόκληρη τη διαδικασία απ' την απόκτηση των δεδομένων ,την επεξεργασία τους και τέλος την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων εξόδου σε καλή ποιότητα παρουσίασης. Στην ανάλυση δεδομένων προσφέρει πολλά εργαλεία και συναρτήσεις για παρεμβολή πολυωνύμων ,ανάλυση Fourier ,βασικές στατιστικές διεργασίες ,ανάλυση πινάκων και πολλά ακόμα. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα για

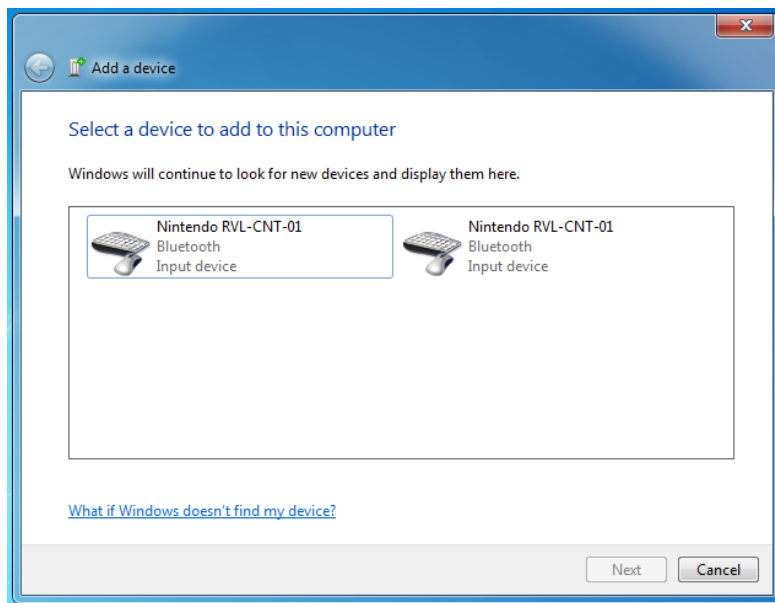
πρόσβαση σε δεδομένα από δημοφιλείς μορφές αρχείων, όπως αρχεία Excel, αρχεία εικόνας και video, επιστημονικά αρχεία τύπου HDF κ.α., από βάσεις δεδομένων ακόμα και από εξωτερικές συσκευές. Στον τομέα της οπτικοποίησης των δεδομένων παρέχει όλες τις γραφικές λειτουργίες για απεικόνιση επιστημονικών και μηχανικών δεδομένων, όπως συναρτήσεις σχεδιασμού γραφικών παραστάσεων σε δύο και τρεις διαστάσεις και δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε όλες τις δημοφιλείς μορφές γραφικών. Οι μορφές αυτές, τις οποίες έχει τη δυνατότητα να διαβάζει και να γράφει το matlab είναι gif, jpeg, eps, bmp, avi, hdf κ.α. Στο θέμα της επεξεργασίας των δεδομένων υπάρχουν πολλές συναρτήσεις στους τομείς της στατιστικής, των μαθηματικών και της μηχανολογίας οι οποίες καλύπτουν όλες τις κοινές επιστημονικές λειτουργίες. Αυτές οι συναρτήσεις αποτελούν το θεμέλιο της γλώσσας matlab και δημιουργήθηκαν από ειδικούς στα μαθηματικά. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα δημοσίευσης των αποτελεσμάτων και ανάπτυξης αυτόνομων εφαρμογών και προγραμμάτων έπειτα από ενσωμάτωση του κωδικού σε matlab με άλλες γλώσσες και εφαρμογές.

Απ' τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το λογισμικό πακέτο matlab είναι κάτι παραπάνω από ένα καλό κομπιουτεράκι, είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο και ευέλικτο εργαλείο. Ακόμα και αν ξέρουμε λίγα πράγματα για το matlab, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ώστε να επιτύχουμε πολλά πράγματα. Το δύσκολο βέβαια είναι να ξεχωρίσουμε ποιες απ' τις εκατοντάδες εντολές, τις σελίδες βοήθειας και τις συναρτήσεις πρέπει να εξετάσουμε ώστε να το χρησιμοποιούμε γρήγορα και αποτελεσματικά. Κάτι τέτοιο βέβαια μπορεί να επιτευχθεί αποκτώντας εξοικείωση και εμπειρία με το πρόγραμμα, κάτι που συμβαίνει με όλες τις κοινές γλώσσες προγραμματισμού.

5.2 Κώδικας σε matlab που χρησιμοποιήθηκε

Η έκδοση του matlab που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο είναι η R2009a (7.8.0). Οι βιβλιοθήκες του matlab που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων αποκτήθηκαν απ' το site που αναφέρεται στο [8]. Πρόκειται για κώδικα που αναπτύχθηκε απ' τους Jordan Brindza και Jessica Szweda απ' το τμήμα Computer Science and Engineering του πανεπιστημίου Notre Dame και υποστηρίχθηκε απ' το National Science Foundation Grant CNS-0754933.

Αρχικά συνδέσαμε τα wiimotes με τον Η/Υ μέσω του δέκτη Bluetooth που αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η σύνδεση έγινε με το λογισμικό που παρέχουν τα windows 7. Αρχικά επιλέξαμε απ' το ειδικό εικονίδιο κάτω δεξιά το Add a Bluetooth device και στη συνέχεια εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο, όπου φαίνονται οι δύο συσκευές Bluetooth (wiimotes) που έχουν ανιχνευθεί (για να γίνει η ανίχνευση των wiimotes πατάμε ταυτόχρονα τα δύο πλήκτρα που έχουν την ένδειξη 1 και 2 σε κάθε συσκευή χωριστά):



Εικόνα 26: Screenshot απ' την ανίχνευση των wiimotes απ' τα windows

Στη συνέχεια κάνουμε διπλό κλικ σε κάθε μια συσκευή και επιλέγουμε pair without using a code ώστε να εγκατασταθεί ο οδηγός λογισμικού της συσκευής (device driver software). Τέλος εμφανίζεται το μήνυμα device successfully installed και πλέον το wii remote αποτελεί συσκευή του συστήματός μας.

Παρακάτω παραθέτουμε τον κώδικα που χρησιμοποιήσαμε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το script που χρησιμοποιήθηκε είναι το getWiimoteIR.m που βρίσκεται στον φάκελο \WiiLab, το οποίο τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε να εφαρμοστεί για τα δεδομένα του εργαστηρίου.

Script getWiimoteIR:

```
% usage:    getWiimoteIR ()
% purpose:  Gets the IR values from the wiimote, the Wiimote can track up
to 4 sources
% return:   Returns an eight element array with the following entries
%           index:    1  2  3  4  5  6  7  8
%           element:  [ X1 Y1 X2 Y2 X3 Y3 X4 Y4 ]

close all
clc
clear all
initializeWiimote;
global wiimote;
wii1 = wiimote;
initializeWiimote;
wii2 = wiimote;

numframes = 10000;
for i=1:numframes
    wii1.GetIRState();
    wii2.GetIRState();

    X1 = wii1.IR.source1.X;
    Y1 = wii1.IR.source1.Y;

    %     X12 = wii1.IR.source2.X;
    %     Y12 = wii1.IR.source2.Y;

    X2 = wii2.IR.source1.X;
    Y2 = wii2.IR.source1.Y;
```

```

%      X22 = wii2.IR.source2.X;
%      Y22 = wii2.IR.source2.Y;

if ( Y2 < 1.1)

    X1
    Y1
    X2
    Y2

    x1 = [.7230 .206 .0782 .6439 ]';
    y1 = [.5094 .5186 .5107 .5160 ]';
    x2 = [.7191 .8156 .1182 .1954 ]';
    y2 = [.4274 .4391 .4495 .4482 ]';

    x = [282.8 234.7 141.7 262.8 ]';
    y = [174.5 174.5 112.2 112.2 ]';

    X = [ones(size(x1)) x1 x2 x2 y2];
    a = X\y;

    p=polyfit(x1,x,3);
    ytest = polyval(p,X1);
    % testX1 = 0.2970;
    % testY1 = 0.5720;
    % testX2 = 0.5120;
    % testY2 = 0.5029;

    testX1 = 0.2892;
    testY1 = 0.5186;
    testX2 = 0.5569;
    testY2 = 0.4482;

    % test = [1 X1 Y1 X2 Y2];

    %Y = test*a
        coordinates(X1,X2);

end

% plot3(X,Y,Z);
% axis([0 1 0 1 0 1])
% hold on;

pause(0.001)

end

for i=1:numframes
    % update the wiimote state values
    %wiimote.GetIRState();
    wii1.GetIRState();
    wii2.GetIRState();
    % assign outputs

```

```

% X1 = wiimote.IR.source1.X;
% Y1 = wiimote.IR.source1.Y;
%
% X2 = wiimote.IR.source2.X;
% Y2 = wiimote.IR.source2.Y;

X11 = wii1.IR.source1.X;
Y11 = wii1.IR.source1.Y;

X12 = wii1.IR.source2.X;
Y12 = wii1.IR.source2.Y;

X21 = wii2.IR.source1.X;
Y21 = wii2.IR.source1.Y;

X22 = wii2.IR.source2.X;
Y22 = wii2.IR.source2.Y;
plot(Xreal,Yreal,'--rs','LineWidth',2,...
      'MarkerEdgeColor','k',...
      'MarkerFaceColor','g',...
      'MarkerSize',4)
xlabel('pragmatiko X ')
ylabel('pragmatiko Y')
title('Diagramma pragmatikwn sintetagmenwn')

plot(X1,Y1); % plot command
    p = plot(X11,Y11,'--rs','LineWidth',2,...
            'MarkerEdgeColor','k',...
            'MarkerFaceColor','g',...
            'MarkerSize',4);
    axis([0 1 0 1])
    hold on;
    p = plot(X12,Y12,'--rs','LineWidth',2,...
            'MarkerEdgeColor','k',...
            'MarkerFaceColor','r',...
            'MarkerSize',4);

        hold on;

            p = plot(X21,Y21,'--rs','LineWidth',2,...
                    'MarkerEdgeColor','k',...
                    'MarkerFaceColor','y',...
                    'MarkerSize',4);
            hold on;
            p = plot(X22,Y22,'--rs','LineWidth',2,...
                    'MarkerEdgeColor','k',...
                    'MarkerFaceColor','c',...
                    'MarkerSize',4);
            figure(2);
            plot3(X11,Y11,X21);

    % add axis label, legends, titles, etc. in here
    pause(0.001)

end

```

Συνάρτηση εύρεσης πραγματικών συντεταγμένων coordinates:

```
function [ Xreal,Yreal ] = coordinates( X1,X2 )

%Vazw ta dedomena twv 2 eytheiwn se 2 pinakes A ,B etsi wste na isxyei
%AX=B ,opou X=[Xreal,Yreal] kai epeita lynw to grammiko sistima afoy
%isxyei X = A^(-1)*B
A=[(62.3*X1-22.8) -102.7; 107 (71.1*X2-46.3)];
B=[5544.7*X1-15893.7; 20014.65*X2+12432.55];
X=inv(A)*B;
Xreal=X(1)
Yreal=X(2)

End
```

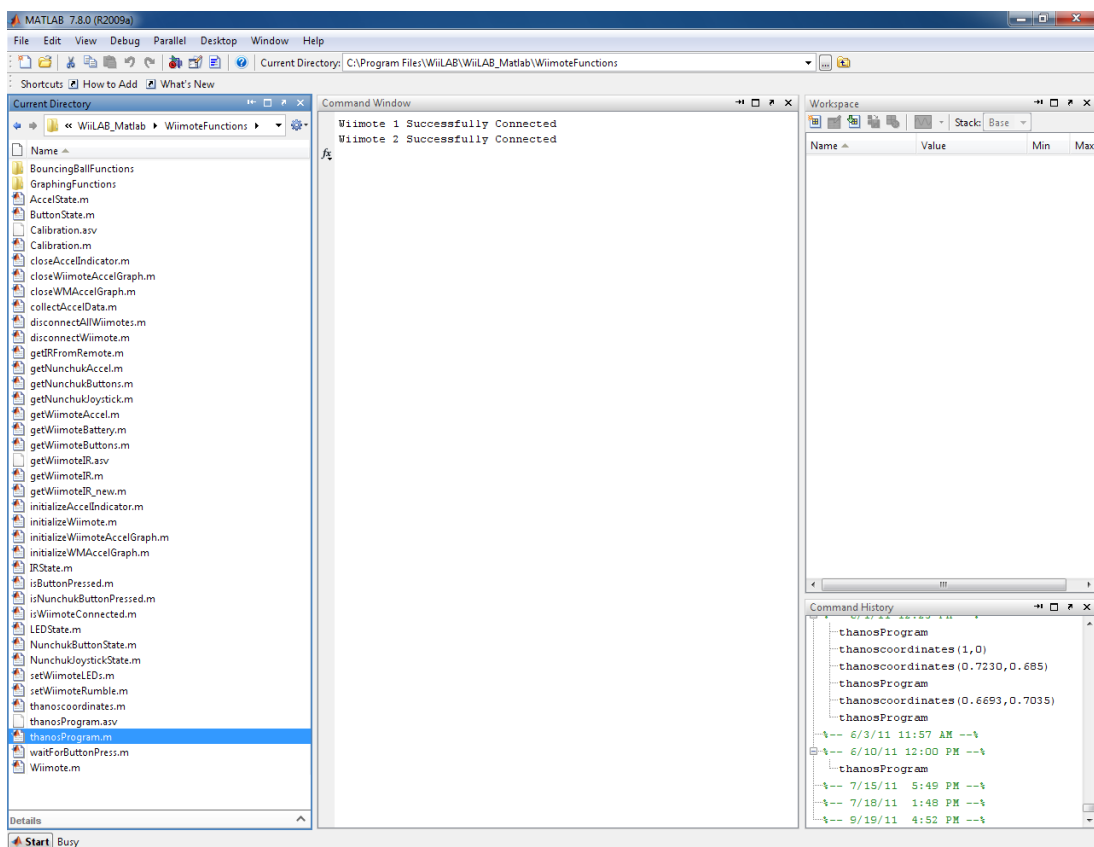
Το παραπάνω script (getWiimoteIR) καλεί διάφορες συναρτήσεις οι οποίες βρίσκονται όλες στον φάκελο : \WiiLab\WiiLab_Matlab\WiimoteFunctions\ και καθεμία τους επιτελεί συγκεκριμένη εργασία. Επίσης καλεί και τη συνάρτηση coordinates η οποία κατασκευάστηκε με σκοπό την εύρεση των σωστών συντεταγμένων με βάση το σύστημα του εργαστηρίου. Εκτελώντας το παραπάνω script αρχικά σβήνονται όλες οι προηγούμενες μεταβλητές και αρχικοποιούνται τα δύο wiimotes. Στη συνέχεια λαμβάνεται το στίγμα καθενός wiimote και αποθηκεύεται σε τέσσερις μεταβλητές X1,Y1,X2 και Y2. Αυτές οι μεταβλητές είναι στην πραγματικότητα οι συντεταγμένες του ανακλαστήρα ,όπως το βλέπει καθεμία κάμερα απ' το δικό της οπτικό πεδίο. Πρόκειται για την τετμημένη και την τεταγμένη του ανακλαστήρα αλλά σε 2 διαφορετικά επίπεδα, αυτά των δύο καμερών. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η συνάρτηση polyfit του matlab, ώστε να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία των τιμών που λαμβάνει το matlab απ' τα wiimotes. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.1 ο υπολογιστής λαμβάνει τα δεδομένα εισόδου απ' τα wiimotes με ρυθμό 100 φορές το δευτερόλεπτο. Έτσι εφαρμόζουμε την polyfit ώστε να επιλεγεί η πιο ακριβής τιμή για κάθε θέση του ανακλαστήρα. Έπειτα καλείται η συνάρτηση coordinates η οποία βρίσκει με τριγωνομετρικό τρόπο, εφαρμόζοντας ευκλείδια γεωμετρία, τις πραγματικές συντεταγμένες του ανακλαστήρα στο επίπεδο. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η συνάρτηση coordinates βρίσκει τις συντεταγμένες του ανακλαστήρα στο επίπεδο και όχι στον χώρο. Αυτό έγινε για απλοποίηση των μετρήσεων που λήφθηκαν, ώστε να ελεγχθεί η ακρίβεια του συστήματος πρώτα στο επίπεδο και έπειτα στον χώρο. Για τη μετατροπή του συστήματος ώστε να υπολογίζει τη θέση του ανακλαστήρα στον χώρο, αρκεί η προσθήκη μιας επιπλέον εντολής στη συνάρτηση coordinates. Η εντολή αυτή είναι η εξής:

```
Zreal=Y1*100*(Yreal-135)/(62.3*X1-22.8)
```

Η εντολή αυτή προέκυψε με τον ίδιο τρόπο όπως και οι άλλες για τον υπολογισμό των Xreal και Yreal ,θέτοντας ως ύψος των καμερών το 1 μέτρο (γι' αυτό γίνεται ο πολ/μός με 100 στην παραπάνω εντολή. Επίσης προβάλλοντας τις συντεταγμένες χώρου (Xreal,Yreal και Zreal) ,σε κάποιο τρισδιάστατο διάγραμμα (3D plot) μπορούμε να βλέπουμε και την κατεύθυνση της κίνησης του ανακλαστήρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η συλλογή των δεδομένων απ' τα wii remotes είναι συνεχόμενη και επομένως στο διάγραμμα φαίνεται και η προηγούμενη θέση του ανακλαστήρα (επιλέγουμε κατάλληλο ρυθμό ανανέωσης του διαγράμματος ώστε να σβήνουν τα σημεία που προβάλλονται για χρόνο πάνω από 2 δευτερόλεπτα π.χ.).

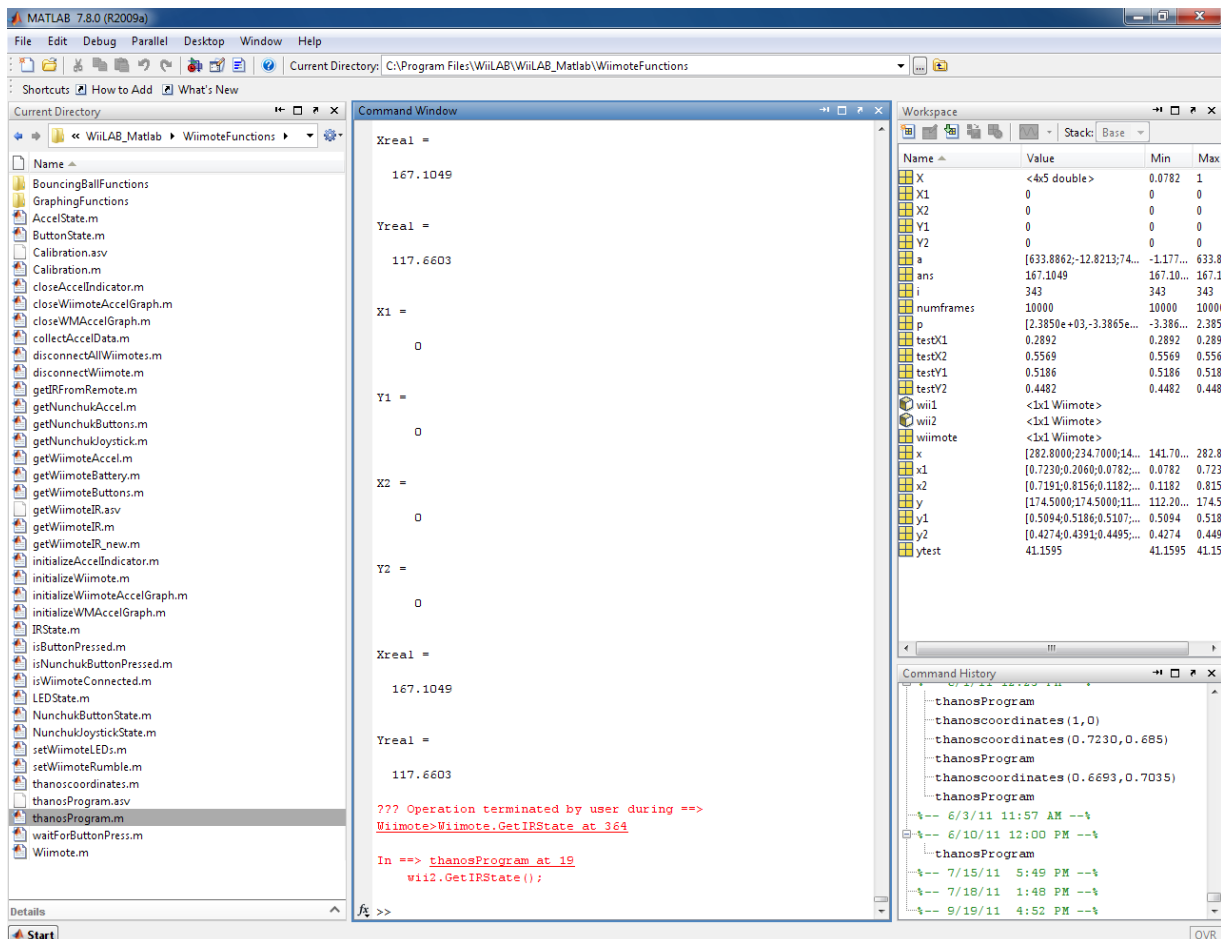
Για να φτιάξουμε τη συνάρτηση `coordinates` αρχικά κάναμε τη βαθμονόμηση των καμερών, ώστε να ξέρουμε σε ποια πραγματική απόσταση αντιστοιχεί η απόσταση στο διάγραμμα του `matlab`. Έπειτα βρήκαμε τις εξισώσεις των δύο ευθειών καθεμιά απ' τις οποίες διέρχεται απ' το ένα `wiimote` και απ' τον ανακλαστήρα. Η τομή τους είναι το ζητούμενο σημείο (σημείο $P(X_{real}, Y_{real})$ ενότητα 4.2). Οι εξισώσεις αυτές έχουν γνωστά τα δύο σημεία που βρίσκονταν τα `wiimotes` $C1(89,135,0)$ και $C2(238,281.5,0)$ και επίσης γνωστά τα σημεία $P1(X1,Y1)$ και $P2(X2,Y2)$ που φαίνονται στην εικόνα 18 στο υποκεφάλαιο 4.2 (σημεία τομής των ευθειών με το οπτικό πεδίο των καμερών). Τα σημεία $P1$ και $P2$ δίνονται κάθε φορά απ' το `script` του `matlab` που παρατίθεται από πάνω.

Παρακάτω παρουσιάζουμε δύο `screenshots` απ' τη λειτουργία του `matlab` στην εύρεση των συντεταγμένων του ανακλαστήρα. Αρχικά βλέπουμε το μήνυμα για την επιτυχή ανίχνευση των δύο `wiimotes` :



Εικόνα 27: Screenshot απ' τη λειτουργία του `matlab` στην αρχή της εκτέλεσης του `script` όπου ανιχνεύονται τα δύο `wiimotes` και μήνυμα επιτυχούς σύνδεσης.

Έπειτα παρουσιάζουμε τη λειτουργία του προγράμματος όπου φαίνονται οι συντεταγμένες X_{real} και Y_{real} του ανακλαστήρα. Οι συντεταγμένες αυτές προβάλλονται και σε διάγραμμα ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη.



Εικόνα 28: Screenshot απ' την εκτέλεση του λογισμικού σε matlab όπου διακρίνονται οι συντεταγμένες Xreal και Yreal

Τέλος περιγράφουμε τη συνάρτηση polyfit του matlab και τον τρόπο λειτουργίας της σε θεωρητικό επίπεδο. Η συνάρτηση αυτή ακολουθεί την πολυωνυμική μέθοδο της τριγωνοποίησης (polynomial method of triangulation) κατά την οποία ελαχιστοποιείται η συνάρτηση : $d(u, \hat{u})^2 + d(u, \hat{u}')^2$, δηλαδή στην ουσία ελαχιστοποιούμε το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων ανάμεσα στα σημεία που επαναπροβάλλονται και στα σημεία των εικόνων που μετρώνται πιο πριν. Η συνάρτηση polyfit , $p = \text{polyfit}(x, y, n)$ βρίσκει τους συντελεστές του πολυωνύμου $p(x)$ βαθμού n που ικανοποιεί τα δεδομένα, $p(x(i))$ στα $y(i)$ σύμφωνα με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Το αποτέλεσμα p είναι ένα διάνυσμα-γραμμή μήκους $n+1$ που περιέχει τους συντελεστές του πολυωνύμου σε σειρά φθίνουσας δύναμης.

6

Πειραματική αξιολόγηση

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα πειραματικά δεδομένα της εργασίας. Αρχικά θα επιλέξουμε τις κατάλληλες παραμέτρους αξιολόγησης των πειραμάτων μας και το σύστημα αξιολόγησης και στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη μορφή γραφικών παραστάσεων.

6.1 Παράμετροι αξιολόγησης

Για να εξετάσουμε τη λειτουργία και την αξιοπιστία του συστήματος που υλοποιήσαμε, πήραμε μετρήσεις θέσης γνωστών σημείων στον χώρο. Το σύστημα εξετάστηκε ως προς τις επιδόσεις του στην ακρίβεια αλλά και τη δυνατότητα μετέπειτα βελτίωσής του. Αρχικά χρησιμοποιήσαμε έναν πομπό – led υπέρυθρου και τα δύο wiimotes, αλλά γρήγορα εγκαταλείψαμε την προσπάθεια μιας και η ακρίβεια δεν ήταν ικανοποιητική. Έπειτα στήσαμε τις δύο πλακέτες εκπομπής υπέρυθρου (ir led array) μαζί με τα δύο wiimotes και παίρναμε μετρήσεις με τη βοήθεια ενός κυλινδρικού ανακλαστήρα –δείκτη(marker) δικής μας κατασκευής.

Όπως προκύπτει από αυτά που αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.2 περί χαρακτηριστικών των συστημάτων προσδιορισμού θέσης ,η ορθότητα (accuracy) και η ακρίβεια (precision) είναι τα πιο σημαντικά γνωρίσματα ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης. Επιλέξαμε διάφορες τιμές ορθότητας και υπολογίσαμε την ακρίβεια που μας παρέχει το σύστημα για κάθε μία χωριστά.

Αρχικά παραθέτουμε δύο πίνακες με όλα τα σημεία του χώρου των οποίων η θέση προσδιορίστηκε και συγκρίνουμε τις πραγματικές με τις υπολογισθείσες τιμές των συντεταγμένων. Ο υπολογισμός της θέσης των σημείων έγινε στο επίπεδο για λόγους ευκολίας των μετρήσεων .Η μεταφορά στον χώρο είναι αρκετά απλή και περιγράφεται στην ενότητα 5.2 .Στον πρώτο πίνακα υπολογίζουμε το απόλυτο και σχετικό σφάλμα της τετμημένης κάθε ενός σημείου ,ενώ στον δεύτερο πίνακα υπολογίζουμε τα ίδια για την τεταγμένη κάθε σημείου. Θεωρούμε ότι όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο επίπεδο $Z=0$.

6.2 Αποτελέσματα

Σημείο στο επίπεδο	Πραγματική τετμημένη	Υπολογισθείσα τετμημένη	Απόλυτο σφάλμα	Σχετικό σφάλμα (%)
(191.7,112.2)	191.7	193.2	1,5	0,78%
(191.7,174.5)	191.7	200.2	8,5	4,43%
(262.8,174.5)	262.8	258.5	-4,3	-1,64%
(262.8,112.2)	262.8	254.4	-8,4	-3,2%
(140,223)	140	139	-1	-0,71%
(214,152)	214	216	2	0,93%
(231,153)	231	233	2	0,87%
(200,170)	200	195	-5	-2,5%
(255,165)	255	254	-1	-0,39%
(250,130)	250	251	1	0,4%

Πίνακας 3: Σφάλματα τετμημένων των μετρούμενων σημείων

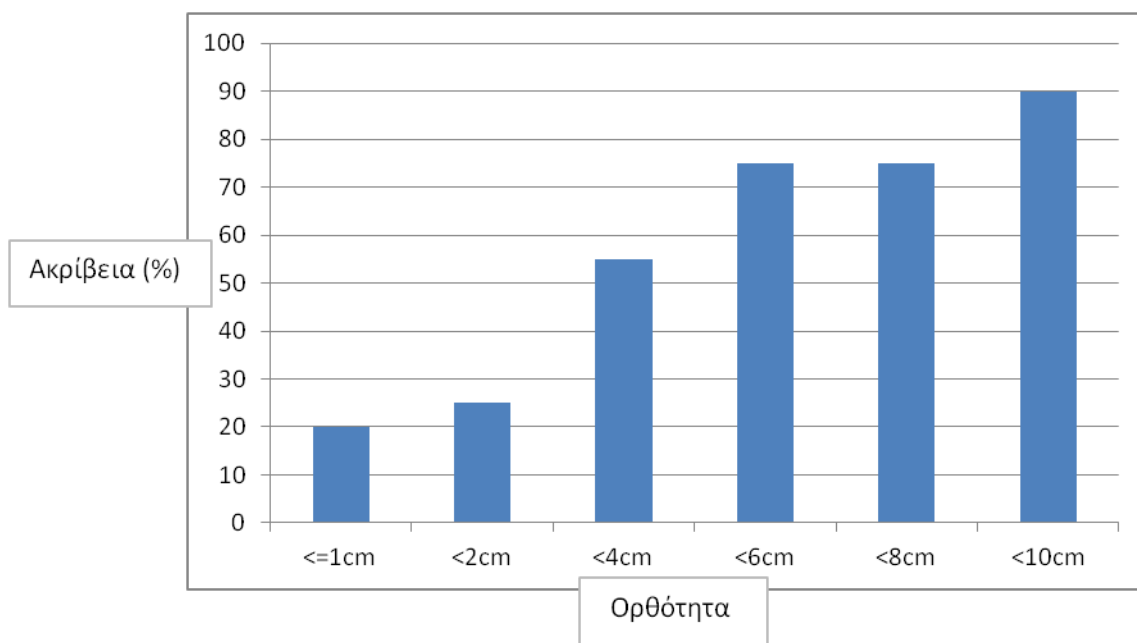
Σημείο στο επίπεδο	Πραγματική τεταγμένη	Υπολογισθείσα τεταγμένη	Απόλυτο σφάλμα	Σχετικό σφάλμα(%)
(191.7,112.2)	112.2	120.7	8,5	7,58%
(191.7,174.5)	174.5	156.4	-18,1	-10,37%
(262.8,174.5)	174.5	180.3	5,8	3,32%
(262.8,112.2)	112.2	132.6	20,4	18,18%
(140,223)	223	225	2	0,9%
(214,152)	152	154	2	1,32%
(231,153)	153	156	3	1,96%
(200,170)	170	167	-3	-1,76%
(255,165)	165	160	-5	-3,03%
(250,130)	130	129	-1	0,77%

Πίνακας 4: Σφάλματα τεταγμένων των μετρούμενων σημείων

Αρχικά θα υπολογίσουμε την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των σφαλμάτων για τις υπολογισθείσες τετμημένες και τεταγμένες. Για τις τετμημένες η μέση τιμή των απόλυτων σφαλμάτων είναι 3,47 cm και η τυπική απόκλιση είναι 2,965. Η μέση τιμή των απόλυτων σφαλμάτων των τεταγμένων είναι 6,88 cm και η τυπική απόκλιση είναι 6,899. Παρατηρούμε ότι τα σφάλματα στις υπολογισθείσες τεταγμένες έχουν μεγαλύτερη μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι δεν έχουμε τόσο καλή ορθότητα στον υπολογισμό των τεταγμένων όσο στον τετμημένων. Αυτή η διαφορά πιθανόν να οφείλεται στο σχήμα του ανακλαστήρα που χρησιμοποιήθηκε αλλά και στο ανθρώπινο σφάλμα, μιας και κατά τη συλλογή των μετρήσεων στοχεύαμε τον ανακλαστήρα κυρίως προς το ένα wii mote που έδινε την τετμημένη του σημείου. Πιθανότατα με βελτιωμένο σχήμα ανακλαστήρα που θα ήταν το ίδιο ορατός και απ' τα δύο wii motes να πετυχαίναμε την ίδια ακρίβεια στις τετμημένες και τις τεταγμένες των σημείων που εντοπίζονται.

Τώρα εξετάζουμε την ακρίβεια του συστήματος αφού η ορθότητά του είναι στην ουσία το απόλυτο σφάλμα της απόστασης και φαίνεται στους παραπάνω πίνακες . Υπολογίζουμε την ακρίβεια του συστήματος συνολικά λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μετρήσεις και των δύο πινάκων. Δηλαδή υπολογίζουμε τα ποσοστά των μετρήσεων όπου το σφάλμα (ορθότητα) είναι μικρότερο από κάποια συγκεκριμένη τιμή (1,2,4,6,8 και 10cm) για όλες τις 20 μετρήσεις .Τα ποσοστά αυτά εκφράζουν την ακρίβεια του συστήματος δηλαδή το πόσο συχνά (ποσοστό χρόνου) μπορούμε να επιτύχουμε τη συγκεκριμένη ορθότητα. Όπως έχουμε ξαναπεί και στο κεφάλαιο 3.2 υπάρχει στενή σχέση μεταξύ ορθότητας και ακρίβειας και μπορούμε να αυξήσουμε την ακρίβεια ενός συστήματος μειώνοντας παράλληλα την ορθότητά του.

Παρουσιάζουμε σε ραβδόγραμμα την ακρίβεια του συστήματος για διαφορετικές τιμές ορθότητας που επιλέξαμε:



Εικόνα 29: Διάγραμμα ακρίβειας του συστήματος για διαφορετικές τιμές ορθότητας

6.3 Σύνοψη συμπερασμάτων αξιολόγησης

Εδώ συνοψίζουμε τα συμπεράσματα απ' την αξιολόγηση του συστήματος που αναπτύξαμε στο εργαστήριο. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα των μετρήσεων κρίνονται ικανοποιητικά αν σκεφτούμε και το χαμηλό κόστος του εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε. Επίσης πρέπει να συνυπολογίσουμε το μέγεθος του

ανακλαστήρα ,κάτι που είναι πολύ σημαντικό για να κρίνουμε την ακρίβεια του συστήματος. Ο ανακλαστήρας που χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης έχει επιφάνεια 4cm^2 (διαστάσεις $1 \times 4\text{cm}$)κάτι που σημαίνει ότι δεν μπορούμε εκ των πραγμάτων να επιτύχουμε ακρίβεια κάτω από ένα εκατοστό. Ακόμα η θέση του ανακλαστήρα μετρήθηκε με μεζούρα επομένως ενδέχεται να υπήρξαν και ανθρώπινα σφάλματα στον ακριβή υπολογισμό της θέσης του. Φυσικά υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης μιας και η ακρίβεια του συστήματος υστερεί πολύ σε σχέση με τον επιθυμητό στόχο για την εφαρμογή του συστήματος στο σύστημα Da Vinci.

Γνωρίζουμε ακόμα ότι η αύξηση της ακρίβειας ενός συστήματος είναι εις βάρος της ορθότητας. Αυτό το βλέπουμε και απ' το ραβδόγραμμα της προηγούμενης ενότητας όπου φαίνεται καθαρά ότι αν θέλουμε περισσότερη ακρίβεια πρέπει να μειώσουμε την ορθότητα που παρέχει το σύστημα. Για ορθότητα μικρότερη από 2cm η ακρίβεια είναι μόλις 25% ,ενώ για ορθότητα μικρότερη από 10cm η ακρίβεια ανέρχεται στο 90%.

Επίσης κάτι άλλο που παρατηρήθηκε κατά τη διαδικασία συλλογής των μετρήσεων είναι ότι οι τιμές των συντεταγμένων συχνά παρουσίαζαν ένα «τρέμουλο». Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να κυμαίνονται σε διαφορετικές τιμές, κοντινές μεταξύ τους, χωρίς όμως να αλλάζει η θέση του ανακλαστήρα. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε διαλέγοντας κάθε φορά την τιμή εκείνη η οποία είχε τη μεγαλύτερη σταθερότητα στον χρόνο ,ενώ κάποιες φορές χρειάστηκε να υπολογιστεί ο μέσος όρος κάποιων τιμών, ώστε να χρησιμοποιηθεί η τιμή αυτή ως η υπολογιζόμενη τιμή της συντεταγμένης. Επομένως αυτό είναι άλλο ένα στοιχείο που εισάγει «θόρυβο» στο σύστημά μας και επομένως σφάλματα.

Ένα ακόμα στοιχείο που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας στην αξιολόγηση του συστήματος είναι η χρήση της μεθόδου της τριγωνοποίησης για την εύρεση των συντεταγμένων του ανακλαστήρα στον χώρο. Για την εύρεση κάθε σημείου χωριστά το λογισμικό αναλάμβανε την εύρεση των εξισώσεων δύο ευθειών στον χώρο και έπειτα το σημείο τομής τους. Έτσι ακόμα και μια μικρή τιμή σφάλματος σε κάθε ευθεία μεταφράζεται σε αρκετά μεγαλύτερο σφάλμα της θέσης του σημείου.

Τέλος έπειτα από σχετική έρευνα διαπιστώθηκε ότι το σφάλμα θέσης μεγάλωνε περισσότερο σε σημεία τα οποία βρίσκονταν στα όρια του οπτικού πεδίου μιας ή και των δύο καμερών. Εκεί πιθανότατα η κάμερα δεν μπορούσε να εντοπίσει με ακρίβεια τη θέση του ανακλαστήρα και σε συνδυασμό με το μέγεθός του το σφάλμα μεγάλωνε.

Σε γενικές γραμμές τα συμπεράσματα της αξιολόγησης του συστήματος είναι ενθαρρυντικά και επιβεβαιώνουν σε μεγάλο βαθμό τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας έναντι των άλλων τεχνολογιών.

7

Συμπεράσματα και μελλοντική δουλειά

Στο κεφάλαιο αυτό θα συνοψίσουμε την παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας και στο τέλος θα δώσουμε κάποιες ιδέες για τη μελλοντική επέκτασή της.

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε έναν επίλογο της διπλωματικής εργασίας. Σ' αυτή την εργασία ασχοληθήκαμε με την ελάχιστα επεμβατική χειρουργική και πιο συγκεκριμένα με την προσπάθεια βελτίωσης του ρομποτικού χειρουργικού συστήματος Da Vinci. Αναλύσαμε τις μεθόδους και τις υπάρχουσες τεχνολογίες προσδιορισμού της θέσης αντικειμένων στον χώρο και καταλήξαμε στον εντοπισμό θέσης με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η θεωρητική μέθοδος που εφαρμόσαμε για εντοπισμό της θέσης είναι η τριγωνοποίηση με μέτρηση αποστάσεων (triangulation). Η τεχνολογία που εφαρμόσαμε είναι η υπέρυθρη ακτινοβολία κυρίως λόγω των δυνατοτήτων που παρέχει και του μικρού κόστους. Το wii remote μας παρείχε τον απαραίτητο εξοπλισμό (υπέρυθρη κάμερα) σε προσιτή τιμή, ενώ η ακρίβεια που προσφέρει είναι παραπάνω από ικανοποιητική. Πολλές εφαρμογές έχουν υλοποιηθεί παγκοσμίως με τη βοήθεια του χειριστηρίου wii remote, το οποίο αποτελεί μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα για προγραμματιστικές εφαρμογές, κυρίως εξαιτίας της εύκολης συνδεσιμότητας που διαθέτει με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω Bluetooth, αλλά και του χαμηλού του κόστους. Στην πραγματικότητα έγινε χρήση του wii remote ως εμπορικό σύστημα ανίχνευσης κίνησης υψηλής απόδοσης και έτσι ξεπέρασε κατά πολύ την αρχική προβλεπόμενη χρησιμότητά του ως χειριστήριο κονσόλας βιντεοπαιχνιδιού. Στη συνέχεια αναλύσαμε το σύστημα που εφαρμόσαμε στην πράξη με τα δύο wii remotes και τις δύο πλακέτες εκπομπής υπέρυθρου (ir led arrays). Με τη βοήθεια ανακλαστήρα υπέρυθρου και το απαραίτητο λογισμικό σε matlab πήραμε μετρήσεις, εντοπίζοντας τη θέση 10 σημείων στο επίπεδο. Οι μετρήσεις έγιναν στο επίπεδο $z=0$ για μεγαλύτερη ευκολία στη συλλογή των μετρήσεων, αλλά και στον έλεγχο της αξιοπιστίας του συστήματος. Η μετατροπή στον χώρο γίνεται με την προσθήκη μίας εντολής.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η εφαρμογή ενός συστήματος εντοπισμού θέσης είναι κάτι υλοποιήσιμο στα πλαίσια της έρευνας μιας διπλωματικής εργασίας. Μάλιστα με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας το κόστος υλοποίησης ενός τέτοιου συστήματος είναι αρκετά χαμηλό, όπως αποδείχθηκε και στην πράξη. Επίσης το λογισμικό matlab σε συνδυασμό με τις βιβλιοθήκες που έχουν γραφτεί για τον χειρισμό των wii remotes, έχουν κάνει την υλοποίηση ενός συστήματος με wii remotes αρκετά «εύκολη υπόθεση».

Αξιολογώντας τα πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν απ' το εργαστήριο παρατηρούμε ότι η ακρίβεια που παρέχει το σύστημα είναι ικανοποιητική ,έχει όμως πολλά περιθώρια βελτίωσης .Αυτό γιατί η προβλεπόμενη χρήση του συστήματος είναι σε ρομποτικό χειρουργικό σύστημα όπου τα χιλιοστά είναι πολύ σημαντικά ακόμα και για την ανθρώπινη ζωή. Η ακρίβεια της τάξης του 20% για σφάλμα μικρότερο ή ίσο με ένα εκατοστό είναι αρκετά μακριά απ' την επιθυμητή λειτουργία του συστήματος. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πώς η υπάρχουσα υλοποίηση του συστήματος εντοπισμού θέσης δεν μπορεί εκ των πραγμάτων να εφαρμοστεί σε χειρουργείο .Παρόλα αυτά υπάρχουν πολλές δυνατότητες βελτίωσής του, ώστε να αυξηθεί σημαντικά η ακρίβεια που παρέχει .Ακόμα και το μέγεθος του ανακλαστήρα που χρησιμοποιήσαμε μας απαγορεύει να έχουμε σφάλμα μικρότερο του εκατοστού. Άρα μια πιθανή και εύκολη βελτίωση είναι η χρήση μικρότερου σφαιρικού ανακλαστήρα.

Το σύστημα προσδιορισμού θέσης προορίζεται να λειτουργήσει στο ρομποτικό σύστημα Da Vinci, προσαρμόζοντας έναν κατάλληλο ανακλαστήρα υπερύθρου στην άρθρωση του βραχίονα που συγκρατεί την ενδοσκοπική κάμερα, σε σημείο δηλαδή που βρίσκεται εκτός του σώματος του ασθενή κατά τη διάρκεια χειρουργείου. Ο βραχίονας αυτός δεν διαθέτει άρθρωση και επομένως βαθμούς ελευθερίας, στο σημείο που στηρίζει το ενδοσκόπιο , το οποίο κατά τη διάρκεια επέμβασης βρίσκεται στο σώμα του ασθενή .Έτσι γνωρίζοντας σε πραγματικό χρόνο τη θέση της άρθρωσης του ρομποτικού βραχίονα μπορούμε να υπολογίζουμε ταυτόχρονα τη θέση της ενδοσκοπικής κάμερας .Το περιβάλλον του χειρουργείου με τις πολλές λείες επιφάνειες εισάγει πρόβλημα ανακλάσεων. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με χρήση περισσότερων καμερών υπερύθρου, ώστε να έχουμε καλύτερη κάλυψη της περιοχής εντοπισμού θέσης και μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης μια ακόμα πρόταση είναι το σκέπασμα των κοντινών στον ανακλαστήρα επιφανειών με μη ανακλαστικό υλικό.

Τέλος, όσων αφορά το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο ,οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές. Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι αρκετά ισχυρός από πλευράς υπολογιστικής ισχύος (επεξεργαστής Intel Pentium 4 στα 2.80 GHz ,μνήμη RAM 1.50 GB) επομένως θα μπορούσε πολύ εύκολα να χρησιμοποιηθεί φορητός υπολογιστής για τη συλλογή των πειραμάτων . Βέβαια το σύστημα για τη λειτουργία του απαιτούσε σταθερή θέση των wii remotes η οποία ήταν γνωστή στο πρόγραμμα , ώστε να γίνει ο υπολογισμός θέσης .Επομένως το σύστημα δεν διαθέτει φορητότητα ώστε να εφαρμόζεται εύκολα σε διαφορετικούς χώρους. Φυσικά μπορεί να υλοποιηθεί σε άλλον χώρο πέραν αυτού του εργαστηρίου, αλλά απαιτεί την προηγούμενη προετοιμασία του χώρου ώστε να υπολογισθεί η ακριβής θέση των wii remotes και το οπτικό τους πεδίο .

7.2 Βελτιώσεις και μελλοντικές επεκτάσεις

Σ' αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε ιδέες για επέκταση της διπλωματικής εργασίας ,οι οποίες δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησής της αλλά και πιο πριν. Επίσης θα προτείνουμε κάποιες βελτιώσεις του συστήματος που αναπτύξαμε ώστε να διορθώσουμε κάποια σφάλματα και να πετύχουμε μεγαλύτερη αξιοπιστία .

Αρχικά η βασική βελτίωση του συστήματος είναι η αύξηση της ακρίβειας χωρίς όμως μεγάλη μείωση στην ορθότητα που παρέχει. Αυτό μπορεί να γίνει με αρκετούς τρόπους. Ο πρώτος είναι με αύξηση των καμερών υπερύθρου. Φυσικά με

χρήση επαγγελματικών καμερών θα μπορούσαμε ίσως και με μία να επιτύχουμε καλύτερη ακρίβεια, αλλά το κόστος σε αυτή την περίπτωση θα ήταν πολύ υψηλό. Έτσι με περισσότερα wii remotes (τρία ή τέσσερα) θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε αισθητά την απόδοση του συστήματος στον εντοπισμό θέσης στον χώρο. Επίσης, ένας άλλος τρόπος που αναφέρθηκε και πιο πριν, είναι με χρήση καλύτερου ανακλαστήρα υπερύθρου. Αυτός που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο ήταν δικής μας κατασκευής και φυσικά όχι αρκετά αξιόπιστος στη συλλογή μετρήσεων, κυρίως εξαιτίας του μεγέθους του αλλά και του σχήματός του. Η χρήση μικρού σφαιριδίου με ανακλαστική επιστροφή θα παρείχε ακόμα καλύτερη ακρίβεια στο σύστημα. Περεταίρω βελτίωση της ακρίβεια του συστήματος θα μπορούσε να προσφέρει και ένας καλύτερος αλγόριθμος εύρεσης της θέσης. Αυτός που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στην γεωμετρική μέθοδο της τριγωνοποίησης και στο σημείο τομής δύο ευθειών στον χώρο.

Ακόμα ένα σημείο που θα ήταν σημαντικό να βελτιωθεί είναι η φορητότητα του συστήματος. Με τον όρο αυτό εννοούμε τη δυνατότητα του συστήματος να εφαρμόζεται σε διαφορετικούς χώρους χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό με την υλοποίηση που έγινε σε αυτή την εργασία μιας και απαιτείται σταθερή και γνωστή θέση των wii remotes. Αν βαθμονομούσαμε το σύστημα των καμερών με κάποιο πρότυπο βαθμονόμησης (calibratiron pattern) το οποίο διαθέτει τέσσερις διόδους υπερύθρου, ένα σε κάθε γωνία του τετραγώνου, θα γινόταν πιο εύκολο να μεταφερθεί αλλού το σύστημα. Βέβαια σε μια τέτοια περίπτωση θα έπρεπε να κάνουμε κάποιες αλλαγές στον κώδικα εύρεσης θέσης του ανακλαστήρα, μιας και τώρα βασίζεται σε γνωστές θέσεις των wii remotes.

Με τη χρήση κατάλληλου κώδικα σε matlab για επεξεργασία εικόνας (Image processing) θα μπορούσαμε να προσαρμόσουμε στο σύστημα εντοπισμού θέσης κάποια εικόνα από αξονικό τομογράφο ή από κάποια άλλη απεικονιστική μέθοδο. Με αυτόν τον τρόπο θα δοθεί η δυνατότητα στον χειρουργό να βλέπει, όταν το επιθυμεί, την εσωτερική εικόνα των οργάνων του ασθενή και παράλληλα την θέση της κάμερας στην εικόνα αυτή. Κάτι τέτοιο θα βελτίωνε σημαντικά το σύστημα που αναπτύξαμε μιας και θα προσέφερε πολλές επιπλέον δυνατότητες στην καθοδήγηση του χειρουργού κατά τη διάρκεια της εγχείρησης. Επίσης με αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατή η προσομείωση της χειρουργικής επέμβασης και η εκπαίδευση των μελλοντικών χειρουργών μέσω αυτής. Η εκπαίδευση στη χρήση των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους χειρουργούς και την αποτελεσματικότητά τους.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο κατά τη διάρκεια συλλογής των μετρήσεων παρατηρήθηκε ένα «τρέμουλο» στις τιμές των συντεταγμένων, δηλαδή με σταθερή τη θέση του ανακλαστήρα οι τιμές των συντεταγμένων δεν ήταν σταθερές. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί εισάγοντας στον κώδικα κάποιο ειδικό φίλτρο εξομάλυνσης το οποίο θα εισάγει μια σχετική καθυστέρηση στη διαδικασία συλλογής των μετρήσεων.

8

Παράρτημα

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά του δέκτη Bluetooth που χρησιμοποιήσαμε για τη σύνδεση των wii remotes με τον υπολογιστή και το datasheet των διόδων υπερύθρου (ir led) με τα οποία κατασκευάσαμε τις δύο πλακέτες.

8.1 Περιγραφή Bluetooth adapter και datasheet διόδων υπερύθρου

Belkin USB Bluetooth Adapter v2.0 + EDR Class 1



Ο Belkin Bluetooth 2.0 USB αντάπτορας επιτρέπει τη δημιουργία ασύρματου δικτύου μεταξύ ενός προσωπικού υπολογιστή με οποιαδήποτε άλλη Bluetooth περιφερειακή συσκευή, ενώ υποστηρίζει VoIP. Έχει μικρή κατανάλωση ισχύος και πολύ μεγάλη εμβέλεια (100m).

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Σύνδεση: USB 1.1/2.0

Πρότυπο: Bluetooth 2.0 + EDR (συμβατό και με συσκευές Bluetooth v1.1, v1.2)

Εμβέλεια: 100m (Class 1)

Πρόσθετα Χαρακτηριστικά:

- Εύκολη αναβάθμιση του υπολογιστή σας με το πρωτόκολλο Bluetooth
- Εύκολη μεταφορά αρχείων από τον υπολογιστή σας σε άλλο υπολογιστή, κινητό τηλέφωνο, εκτυπωτή, ακουστικό και συμβατά προϊόντα
- Υποστήριξη προφίλ για Generic Access, σύνδεση με ποντίκι / πληκτρολόγιο (HID), δικτύωση (PAN), εκτύπωση (HCRP), modem (DUN), serial (SPP), object push (OPP), file transfer (FTP), headset (HSP), Fax (GW/DT)
- Υποστήριξη A2DP, AVRCP και VoIP
- Ταχύτατη διαδικασία pairing (3.5-5 sec)
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

L-53F3C	L-53F3BT
L-53SF4C	L-53SF4BT
L-53SF6C	L-53SF6BT
L-53SF7C	L-53SF7BT

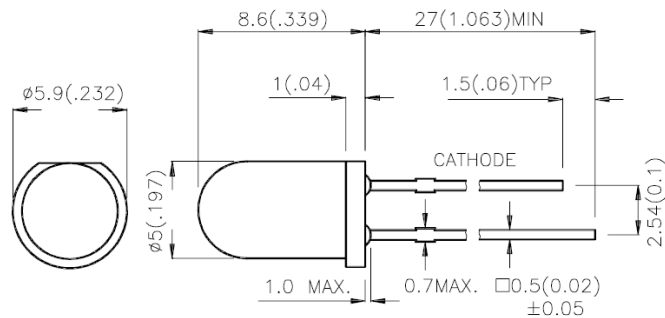
Features

- MECHANICALLY AND SPECTRALLY MATCHED TO THE L-51P3C PHOTOTRANSISTOR.
- BOTH WATER CLEAR LENS AND BLUE TRANSPARENT LENS AVAILABLE HIGH POWER OUTPUT.

Description

F3 Made with Gallium Arsenide Infrared Emitting diodes.
 SF4 and SF6 and SF7 Made with Gallium Aluminum Arsenide Infrared Emitting diodes.

Package Dimensions



Notes:

1. All dimensions are in millimeters (inches).
2. Tolerance is $\pm 0.25 (0.01)$ " unless otherwise noted.
3. Lead spacing is measured where the lead emerge package.
4. Specifications are subject to change without notice.

SPEC NO: KDA0438
 APPROVED: J.LU

REV NO: V.1
 CHECKED:

DATE: SEP/21/2001
 DRAWN: J.X.FU

PAGE: 1 OF 5

Selection Guide

Part No.	Dice	Lens Type	Po (mW/sr) @20mA		Po (mW/sr) @50mA		Viewing Angle
			Min.	Typ.	Min.	Typ.	2θ1/2
L-53F3C	GaAs	WATER CLEAR	8	20	12	30	30°
L-53F3BT	GaAs	BLUE TRANS.	5	20	8	30	30°
L-53SF4C	GaAlAs	WATER CLEAR	8	20	12	30	30°
L-53SF4BT	GaAlAs	BLUE TRANS.	5	20	8	30	30°
L-53SF6C	GaAlAs	WATER CLEAR	10	40	50	100	30°
L-53SF6BT	GaAlAs	BLUE TRANS.	10	40	50	100	30°
L-53SF7C	GaAlAs	WATER CLEAR	10	40	50	100	30°
L-53SF7BT	GaAlAs	BLUE TRANS.	10	40	50	100	30°

Note:

1. θ1/2 is the angle from optical centerline where the luminous intensity is 1/2 the optical centerline value.

Electrical / Optical Characteristics at T_A=25°C

Item	P/N	Symbol	Typ.	Max.	Unit	Condition
Forward Voltage	F3	V _F	1.2	1.5	V	IF=20mA
	SF4		1.3	1.7		
	SF6		1.35	1.6		
	SF7		1.4	1.8		
Reverse Current	F3	I _r	-	10	uA	VR=5V
	SF4		10			
	SF6		10			
	SF7		10			
Junction Capacitance	F3	C	90	-	pF	V=0 f=1MHz
	SF4		90			
	SF6		30			
	SF7		30			
Peak Spectral Wavelength	F3	λ _P	940	-	nm	IF=20mA
	SF4		880			
	SF6		860			
	SF7		850			
Spectral Bandwidth	F3	Δλ	50	-	nm	IF=20mA
	SF4		50			
	SF6		50			
	SF7		41			

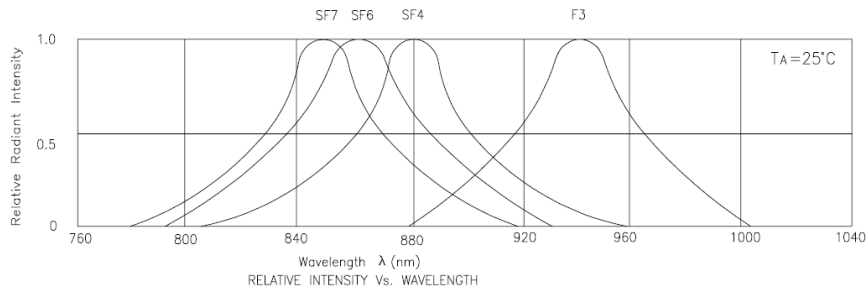
Kingbright

Absolute Maximum Ratings at $T_A=25^\circ\text{C}$

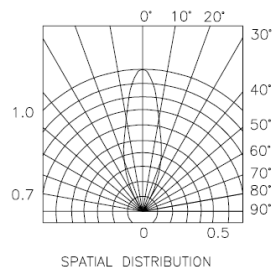
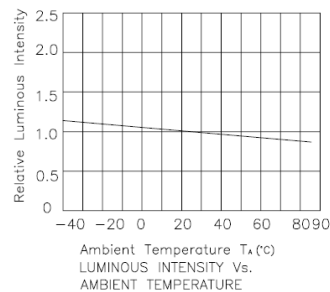
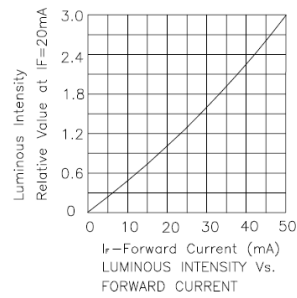
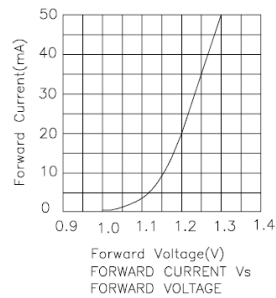
Item	Symbol	F3&SF4	SF6&SF7	Units
Power Dissipation	P_d	100	100	mW
Forward Current	I_f	50	50	mA
Peak Forward Current	I_{p1}	1.2	1	A
Reverse Voltage	V_R	5	5	V
Operating Temperature	T_{opr}	-40~ +85	-40~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40~ +85	-40~ +85	$^\circ\text{C}$

Notes:

- 1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width.
2. 4mm below package base.



L-53F3C, L-53F3BT



SPEC NO: KDA0438
APPROVED: J.LU

REV NO: V.1
CHECKED:

DATE: SEP/21/2001
DRAWN: J.X.FU

PAGE: 3 OF 5

9

Βιβλιογραφία

[1]

Δημήτρης Κουτσούρης και Κωνσταντίνα Νικήτα ,Εργαστήριο Βιοϊατρικής τεχνολογίας, Άσκηση 4: «Ρομποτική Χειρουργική- Σύστημα Da Vinci» εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
.URL: <http://www.biomed.ntua.gr/Portals/1/askhsh%204.pdf>

[2]

<http://en.wikipedia.org/wiki/Endoscopy>

[2]

http://en.wikipedia.org/wiki/Da_Vinci_Surgical_System

[3]

Hui Liu; Darabi, H.; Banerjee, P.; Jing Liu; , "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on* , vol.37, no.6, pp.1067-1080, Nov. 2007 διαθέσιμο στο :

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4343996&isnumber=4343957>

[4]

Οδυσσέας Λ.Σέκκας «Προσδιορισμός θέσης μέσω σύντηξης δεδομένων αισθητήρων» διπλωματική εργασία διαθέσιμη στο: http://cgi.di.uoa.gr/~sekkas/papers/Sekkas_Thesis.pdf

[5]

Lee, J.C.; , "Hacking the Nintendo Wii Remote," *Pervasive Computing, IEEE* , vol.7, no.3, pp.39-45, July-Sept. 2008 διαθέσιμο στο:

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4563908&isnumber=4563896>

[6]

David Scherfgen , University of Applied Sciences ,Department of Computer Science Sankt Augustin, Germany , Rainer Herpers University of New Brunswick Faculty of Computer Science , Canada «3D Tracking using multiple Nintendo Wii Remotes» In Future Play '09: Proceedings of the 2009 Conference on Future Play on @ GDC Canada (2009), pp. 31-32.

[7]

<http://www.mathworks.com>

[8]

Βιβλιοθήκες λογισμικού matlab, url: <http://netscale.cse.nd.edu/twiki/bin/view/Edu/WiiMote>