

Κεφάλαιο 4

Μονάδες εισόδου

Μαθησιακοί στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου, ο αναγνώστης θα είναι σε θέση:

- Να περιγράφει τους διαφορετικούς τύπους συσκευών εισόδου.
- Να εξηγεί τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών.
- Να προτείνει την κατάλληλη συσκευή εισόδου ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας.

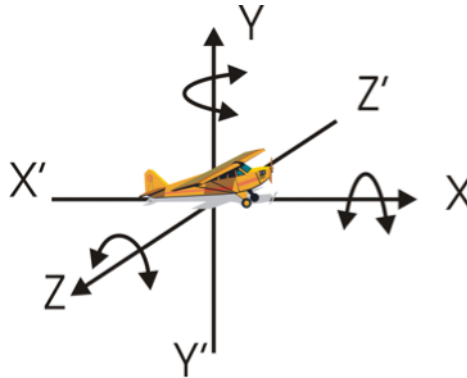
4.1 Εισαγωγή

Σε ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας η διεπαφή υλοποιεί την εμπειρία του χρήστη μέσω διαφορετικών διαύλων διάδρασης. Η αίσθηση της όρασης έχει συνήθως τον πρωταγωνιστικό ρόλο, όμως και οι υπόλοιπες αισθήσεις παίζουν συμπληρωματικό αλλά εξίσου σημαντικό ρόλο. Η χρήση κυρίως της ακοής και της αφής και σπανιότερα των υπολοίπων αισθήσεων μπορεί να αυξήσει την εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Ο σχεδιαστής της εμπειρίας του χρήστη έχει στη διάθεση του συσκευές εισόδου μέσω των οποίων μπορεί να αντιληφθεί τα μηνύματα του χρήστη και συσκευές εξόδου μέσω των οποίων μπορεί να παρουσιάσει την αντίδραση του συστήματος στο χρήστη. Ο υπεύθυνος σχεδιασμού της διεπαφής θα πρέπει να λάβει υπόψη του τις προδιαγραφές του συστήματος, τις δυνατότητες που προσφέρουν οι διαφορετικές αρχιτεκτονικές συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας αλλά και οι συσκευές εισόδου-εξόδου και να επιλέξει τις βέλτιστες τεχνικές διάδρασης για το σχεδιαζόμενο εικονικό κόσμο.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε διαφορετικές συσκευές εισόδου, βασικά χαρακτηριστικά τους, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που τυχόν έχουν και όποτε είναι εφικτό θα συγκρίνουμε τις τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται η υλοποίηση των συσκευών. Σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας οι συνηθισμένες συσκευές διάδρασης, το πληκτρολόγιο και το ποντίκι, είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά καθώς ο χρήστης πρέπει να διαδράσει σε ένα περιβάλλον τριών διαστάσεων και όχι σε συνηθισμένες διδιάστατες διεπαφές, ενώ πρόσθετη πολυπλοκότητα προκύπτει από το γεγονός ότι μέσω των συσκευών εισόδου ο χρήστης πρέπει αφ' ενός να δίνει εντολές στο εικονικό περιβάλλον (π.χ. έναρξη και παύση διάδρασης, αύξηση ή μείωση κλιμάκωσης) και αφ' ετέρου να χειρίζεται τα εικονικά αντικείμενα (π.χ. εκθέματα σε ένα μουσείο).

Σε ένα τριδιάστατο χώρο η θέση ενός αντικειμένου μπορεί να περιγραφεί από έξι μεταβλητές: τρεις που αντικατοπτρίζουν τη θέση του στους τρεις άξονες x , y , z , και τρεις που περιγράφουν την περιστροφή

του ως προς αυτούς τους άξονες, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Οι μονάδες εισόδου κατηγοριοποιούνται συχνά ανάλογα με τον αριθμό των μεταβλητών (ή βαθμών ελευθερίας) που μπορεί να καταγράψει. Για παράδειγμα το ποντίκι που χρησιμοποιείται στους υπολογιστές έχει δύο βαθμούς ελευθερίας (αριστερά-δεξιά, εμπρός-πίσω), ενώ ένα joystick μπορεί να έχει έναν επιπλέον βαθμό ελευθερίας (περιστροφή γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του).



Εικόνα 4.1. Έξι βαθμοί ελευθερίας.

Σε επιτραπέζια συστήματα εικονικής πραγματικότητας όπου η οθόνη αποτελεί παράθυρο του χρήστη στον εικονικό κόσμο, η πλοήγηση μπορεί να επιτευχθεί με το ποντίκι με τη χρήση διαφορετικών καταστάσεων (modes): η απλή κίνηση του ποντικιού αριστερά-δεξιά αλλάζει αντίστοιχα την οπτική γωνία του χρήστη, η κίνηση του ποντικιού με το ταυτόχρονο πάτημα κάποιου πλήκτρου (συνήθως του αριστερού πλήκτρου του ποντικιού) αντιστοιχεί στη μετακίνηση του χρήστη μέσα στον εικονικό κόσμο, η κίνηση του ποντικιού με το ταυτόχρονο πάτημα κάποιου άλλου πλήκτρου (για παράδειγμα του δεξιού πλήκτρου του ποντικιού) μπορεί να αντιστοιχεί στην περιστροφή του χρήστη, κ.ο.κ. Η χρήση καταστάσεων επιτρέπει την αξιοποίηση απλών, γνώριμων συσκευών, αυξάνει όμως την πολυπλοκότητα της διεπαφής και των λειτουργιών που θα πρέπει να μάθει ο χρήστης. Εάν για παράδειγμα ο χρήστης μπορεί να 'πιάσει' ή και να χειριστεί εικονικά αντικείμενα θα πρέπει να υλοποιηθούν επιπλέον καταστάσεις, τις οποίες θα κληθεί να απομνημονεύσει ο χρήστης.

4.2 Επιτραπέζιες συσκευές

Αντί του συνηθισμένου ποντικιού που προσφέρει 2 βαθμούς ελευθερίας, σε επιτραπέζια συστήματα εικονικής πραγματικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές συσκευές. Χειριστήρια από παιγνιδομηχανές μπορούν σχετικά εύκολα να προσαρμοσθούν στις απαιτήσεις ενός επιτραπέζιου συστήματος εικονικής πραγματικότητας. Το joystick εμφανίστηκε ως συσκευή που αναγνώριζε κινήσεις σε δύο διαστάσεις (αριστερά-δεξιά, εμπρός-πίσω), όμως σύγχρονες εκδόσεις αναγνωρίζουν 3 βαθμούς ελευθερίας στον κύριο μοχλό, ενώ διαθέτουν πλήθος μικρότερων χειριστηρίων και πλήκτρων.

Το Joystick είναι ιδιαίτερα καλά προσαρμοσμένο ως συσκευή σε εφαρμογές προσομοίωσης πτήσης, καθώς θυμίζει το μοχλό στο πιλοτήριο διακυβέρνησης μαχητικών αεροσκαφών. Αντίστοιχα συσκευές με τιμόνι και πετάλ έχουν χρησιμοποιηθεί ως συσκευές εισόδου σε εφαρμογές προσομοίωσης οδήγησης. Στην ίδια κατηγορία θα μπορούσαν να ενταχθούν τα gamepads στα οποία οι δύο μοχλοί μπορούν να προσφέρουν 2 βαθμούς ελευθερίας ο καθένας, ενώ σε κάποιες εκδόσεις υπάρχει αναγνώριση της περιστροφής ολόκληρης της συσκευής στο χώρο δίνοντας με αυτόν τον τρόπο 3 επιπλέον βαθμούς ελευθερίας.

Παραδείγματα επιτραπέζιων ποντικιών είναι τα Space Pilot, Space Ball, Space Mouse και Space



Εικόνα 4.2. Σύγχρονη έκδοση τυπικού joystick. [Piotr Michał Jaworski, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:JoystickDirections.svg>, άδεια CC BY-SA 3.0]



Εικόνα 4.3. Το gamepad DualShock 4 της παιγνιδομηχανής PlayStation 4. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DualShock_4.jpg, Public domain]

Traveler της εταιρείας *3D Connexion* (<http://en.wikipedia.org/wiki/3Dconnexion>, τελευταία πρόσβαση Ιανουάριος 2015). Οι συγκεκριμένες συσκευές μοιάζουν οπτικά με ιχνόσφαιρα (trackball) και απαιτούν επιφάνεια εργασίας πάνω στην οποία θα τοποθετηθούν και προσφέρουν έξι βαθμούς ελευθερίας επιτρέποντας στο χρήστη να μετακινήσει και να περιστρέψει το καπάκι της συσκευής και στους τρεις άξονες. Παραδείγματα επιτραπέζιων συσκευών αποτελούν και οι σειρές συσκευών Phantom και Touch της εταιρείας *Geomagic* (<http://geomagic.com/en/products/phantom-omni/overview/>, τελευταία πρόσβαση Ιανουάριος 2015). Οι συγκεκριμένες συσκευές αποτελούν παράδειγμα συσκευής η οποία είναι ταυτόχρονα και εισόδου και εξόδου. Ο χρήστης κινεί μια γραφίδα συνδεδεμένη σε ένα βραχίονα με τρεις αρθρώσεις που της επιτρέπουν κίνηση σε 3 άξονες με έξι βαθμούς ελευθερίας. Οι συσκευές αυτού του τύπου μπορούν να προγραμματισθούν ώστε να προσφέρουν στο χρήστη ανάδραση με έλεγχο της γραφίδας, ώστε ανάλογα με την περίπτωση να είναι πιο δύσκολο ή πιο εύκολο στο χρήστη να πιέσει ή να τραβήξει τη γραφίδα (δείτε το σχετικό βίντεο *Phantom Omni* http://youtu.be/0_NB38m86aw, τελευταία πρόσβαση Ιανουάριος 2015).

4.3 Αναγνώριση Χειρονομιών

Στον πραγματικό κόσμο ο άνθρωπος επικοινωνεί με διαφορετικούς τρόπους, συχνά συμπληρωματικούς στην ομιλία. Κινήσεις χεριών, στάση σώματος, μορφασμοί αλλά και ακόμη και βλέμματα χρησιμοποιούνται συχνά για να μεταφέρουν πληροφορία μεταξύ συνομιλητών. Σε αντιστοιχία στα εικονικά περιβάλλοντα έχουν υλοποιηθεί συσκευές που υποστηρίζουν τη διάδραση με τις παραπάνω μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται συνήθως σε εμβυθιστικά περιβάλλοντα χωρίς όμως να αποκλείεται και η χρήση κάποιων εξ αυτών σε επιτραπέζια συστήματα εικονικής πραγματικότητας. Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν συσκευές που επιτρέπουν την αναγνώριση χειρονομιών και θα ακολουθήσουν συσκευές αναγνώρισης κινήσεων, βλέμματος και φωνής.

4.3.1 Γάντια Εικονικής Πραγματικότητας

Τσως η περισσότερο γνωστή και συνδεδεμένη με την εικονική πραγματικότητα συσκευή κατάδειξης είναι το γάντι. Το γάντι εικονικής πραγματικότητας είναι μια συσκευή που στη γενική της μορφή επιτρέπει την καταγραφή των κινήσεων των δακτύλων του χεριού σε πραγματικό χρόνο. Ως γάντι φοριέται από το χρήστη και καταγράφει αυτόματα τις κινήσεις των δακτύλων που στη συνέχεια μεταφέρονται ενσύρματα ή ασύρματα στον υπολογιστή. Η πιο απλή μορφή γαντιού εικονικής πραγματικότητας είναι αυτή του Pinch Glove της εταιρείας *FakeSpace Labs* (<http://www.fakespacelabs.com/tools.html>, τελευταία πρόσβαση Ιανουάριος 2015). Το συγκεκριμένο γάντι επιστρέφει ως δεδομένα την επαφή μεταξύ δύο ή περισσότερων ακροδακτύλων. Πρακτικά η χειρονομία αναγνωρίζεται όταν κλείνει το κύκλωμα μεταξύ ηλεκτροδίων που βρίσκονται τοποθετημένα στις άκρες των δακτύλων. Το βασικό πλεονέκτημα της συσκευής είναι η απλότητα στη χρήση της. Δεν απαιτεί κάποια αρχικοποίηση, μεταφέρει άμεσα διακριτές τιμές (αληθές-ψευδές, 1 και 0) ανάλογα με το αν κλείνει ή όχι κύκλωμα, υποστηρίζει στατικές χειρονομίες ενώ ο χρήστης μπορεί να φορά γάντια και στα δύο χέρια και η συσκευή αναγνωρίζει την επαφή μεταξύ δακτύλων διαφορετικών χεριών. Το μειονέκτημα είναι η έλλειψη μετρήσεων της κάμψης των δακτύλων. Ως αποτέλεσμα δεν είναι εφικτή η πιστή αναπαράσταση στον εικονικό κόσμο της κίνησης των δακτύλων.

Εκτός όμως από το γάντι Pinch, έχει αναπτυχθεί σημαντικός αριθμός γαντιών που καταγράφουν την κάμψη των δακτύλων σε πραγματικό χρόνο. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των κινήσεων των δακτύλων του χεριού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτά που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες, πυκνωτές, αισθητήρες ελκυσμού και αισθητήρες αδράνειας (για μια καταγραφή των τύπων γαντιών εικονικής πραγματικότητας και των εφαρμογών τους ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο [DSD08]). Για όλες αυτές τις κατηγορίες απαιτείται αρχικοποίηση κάθε φορά που το φοράει ο χρήστης. Ο λόγος είναι ότι το σύστημα θα πρέπει να γνωρίζει σε ποια θέση των δακτύλων αντιστοιχούν οι τιμές που λαμβάνονται από τους αισθητήρες, ενώ παράλληλα η ίδια θέση των δακτύλων σε διαφορετικούς ανθρώπους μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετικές τιμές. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με μια πλήρη έκταση και ένα σφίξιμο σε γροθιά των δακτύλων έτσι ώστε να καταγραφούν οι ακραίες τιμές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τεχνολογίες γαντιών εικονικής πραγματικότητας που βρίσκονται σε εμπορική εφαρμογή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός αυτών των γαντιών, κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί πειραματικά πρωτότυπα και για άλλους τύπους γαντιών τα οποία δεν παρουσιάζονται εδώ. Αξίζει όμως να σημειωθεί η προσπάθεια ανάπτυξης γαντιών εικονικής πραγματικότητας ανοικτού κώδικα (<http://theglovesproject.com/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015).

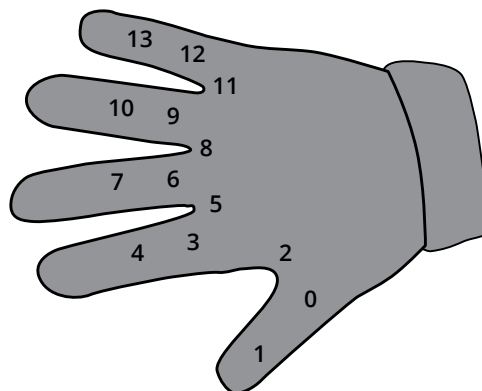
4.3.2 Τεχνολογίες αναγνώρισης κάμψης δακτύλων

Οπτικές Ίνες. Μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της κάμψης των δακτύλων βασίζεται στη χρήση οπτικών ινών. Σε κάθε δάκτυλο τοποθετείται μια οπτική ίνα, στη μία άκρη της οποίας βρίσκεται ένα LED και ένας ή περισσότεροι αισθητήρες βρίσκονται τοποθετημένοι σε σημεία κάμψης (κλειδώσεις). Η οπτική ίνα έχει τύχει επεξεργασίας ώστε το τοίχωμα να έχει απώλειες. Όταν η οπτική ίνα βρίσκεται σε ευθεία (δάκτυλα τεντωμένα) το φως διαδίδεται χωρίς απώλεια. Όταν κάμπτεται ένα δάκτυλο αλλάζει η κλίση της οπτικής ίνας, δημιουργώντας απώλειες και ως συνέπεια μεταβάλλεται η ισχύς του οπτικού σήματος που καταγράφεται στον αισθητήρα. Στην εικόνα παρουσιάζεται το γάντι εικονικής πραγματικότητας της εταιρείας *Fifth Dimension Technologies* (δικτυακός τόπος: <http://www.5dt.com/>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015) στην έκδοσή του με 14 αισθητήρες.



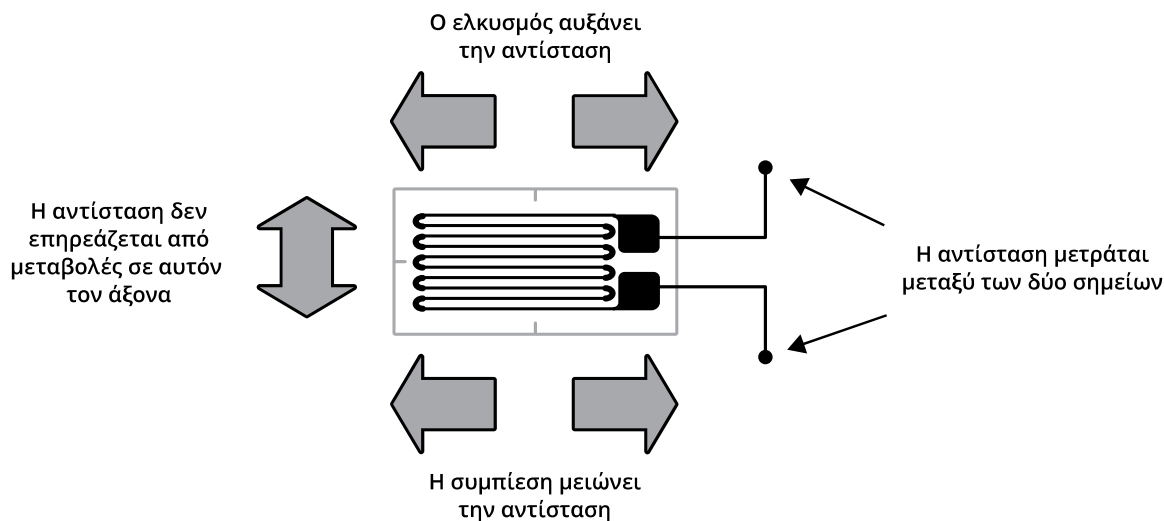
Εικόνα 4.4. Γάντι εικονικής πραγματικότητας της εταιρείας 5DT με 14 αισθητήρες. [Image Courtesy of <http://www.5dt.com/>]

Το συγκεκριμένο γάντι προσφέρεται σε δύο εκδόσεις: με 5 ή 14 αισθητήρες. Στην πρώτη περίπτωση καταγράφεται μόνο η συνολική κάμψη των δακτύλων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση υπάρχουν 2 αισθητήρες κάμψης ανά δάκτυλο για καλύτερη ανάλυση και επιπλέον 4 αισθητήρες οριζόντιας μετατόπισης (abduction) μεταξύ των δακτύλων.



Εικόνα 4.5. Θέσεις αισθητήρων στο 5DT Data Glove με 14 αισθητήρες.

Αισθητήρες ελκυσμού. Εκτός των οπτικών ινών για τη μέτρηση της κάμψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες ελκυσμού (ονομάζονται και αισθητήρες τάσης ή μηκυνσιόμετρα - strain gauge). Η αρχή λειτουργίας ενός αισθητήρα ελκυσμού παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.6. Λειτουργία αισθητήρα ελκυσμού.

Ένας μεταλλικός αγωγός εκτυπώνεται σε εύκαμπτο μονωτικό υπόστρωμα. Εάν αλλάξει το σχήμα του υποστρώματος, αλλάζει αντίστοιχα και το σχήμα του αγωγού. Επιμήκυνση του υποστρώματος αυξάνει το μήκος του αγωγού και αυξάνει και την αντίσταση. Συμπίεση του υποστρώματος μειώνει το μήκος του αγωγού και την αντίσταση. Μετρώντας την αντίσταση στα άκρα του αγωγού είναι δυνατός ο υπολογισμός της μεταβολής του μήκους του.

Αισθητήρες ελκυσμού χρησιμοποιούνται στο γάντι CyberGlove της εταιρείας *Cyber Glove Systems* (δικτυακός τόπος: <http://www.cyberglovesystems.com/>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015) όπως παρουσιάζεται στη σχετική πατέντα [KLG91]. Το γάντι κατασκευάζεται από ελαστικό νάιλον υλικό πάνω στο οποίο τοποθετούνται οι αισθητήρες. Ανάλογα με την έκδοση υπάρχουν 18 ή 22 αισθητήρες στο γάντι (2 ή 3 αισθητήρες ανά δάκτυλο, αισθητήρες οριζόντιας μετατόπισης, κίνησης αντίχειρα, κάμψης παλάμης και περιστροφής καρπού). Οι αυξημένες προδιαγραφές του συγκεκριμένου γαντιού το καθιστούν υψηλών επιδόσεων αλλά και κόστους.

Αισθητήρες ελκυσμού χρησιμοποιεί και το γάντι VHand της εταιρείας *DG Tech* (δικτυακός τόπος: <http://www.dg-tech.it/>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015). Το γάντι διαθέτει 5 αισθητήρες, έναν σε κάθε δάκτυλο και επιπλέον ενσωματωμένο γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο και μαγνητόμετρο για την αναγνώριση μετακινήσεων και περιστροφών.

Αισθητήρες βασισμένοι σε πυκνωτές. Ένας εναλλακτικός τρόπος μέτρησης της κάμψης των δακτύλων είναι η χρήση αισθητήρων που βασίζονται σε πυκνωτές. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι ανάλογη του εμβαδού της περιοχής αλληλοκάλυψης των δύο οπλισμών του πυκνωτή, του διηλεκτρικού που χρησιμοποιείται και αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης μεταξύ των οπλισμών. Με κατάλληλη τοποθέτηση των πυκνωτών στο γάντι, είναι δυνατόν η κάμψη των δακτύλων να οδηγεί σε μεταβολή της απόστασης μεταξύ των οπλισμών ή σε μεταβολή του εμβαδού της περιοχής αλληλοκάλυψης των δύο οπλισμών. Η μεταβολή αυτή οδηγεί σε αλλαγή της χωρητικότητας του πυκνωτή, και η ανάγνωση του μεγέθους αυτού δίνει στο εικονικό περιβάλλον πληροφορίες για την κάμψη των δακτύλων. Τεχνολογία πυκνωτικών αισθητήρων χρησιμοποιεί το γάντι Didjiglove [Cim04].



Εικόνα 4.7. CyberGlove III. [Image courtesy of CyberGlove Systems]

Αισθητήρες αδράνειας. Η σμίκρυνση των αισθητήρων αδράνειας (γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα, μαγνητόμετρα) έχει επιτρέψει τη χρήση τους σε γάντια εικονικής πραγματικότητας. Ο αισθητήρας αδράνειας έχει εξελιχθεί αρκετά ώστε μέσα στο ίδιο περίβλημα να περιέχονται 3 επιταχυνσιόμετρα, 3 γυροσκόπια και συχνά 3 μαγνητόμετρα. Τα επιταχυνσιόμετρα τοποθετούνται κάθετα το καθένα προς τα άλλα και μετρούν τη μετακίνηση σε κάθε άξονα. Αντίστοιχα τα γυροσκόπια τοποθετούνται κάθετα το καθένα προς τα άλλα και μετρούν την περιστροφή σε κάθε άξονα. Τα μαγνητόμετρα βελτιώνουν τις μετρήσεις των δύο άλλων τύπων αισθητήρων παρακολουθώντας τον προσανατολισμό.

Παράδειγμα γαντιού που χρησιμοποιεί αισθητήρες αδράνειας αποτελεί το γάντι της εταιρείας *Synertial* (δικτυακός τόπος: <http://www.synertial.com/>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015). Το γάντι προσφέρεται σε 3 εκδόσεις με 7, 12 και 15 αισθητήρες (Εικόνα 4.8).

Ανάλογη τεχνολογία χρησιμοποιούν και τα γάντια εικονικής πραγματικότητας *Control VR* (δικτυα-



Εικόνα 4.8. Το γάντι IGS της Synertial, στην έκδοση με τους 15 αισθητήρες.

κός τύπος: <http://controlvr.com/>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015). Σετ αισθητήρων αδράνειας αποτελούμενα από τρία επιταχυνσιόμετρα, τρία γυροσκόπια και τρία μαγνητόμετρα το καθένα, τοποθετούνται στα δάκτυλα και χέρια του χρήστη. Τα δεδομένα θέσης αξιοποιούνται από έναν επεξεργαστή για να υπολογίσει την κίνηση των διακτύλων και χεριών του χρήστη σε σχέση με το σώμα του.

4.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά γαντιών εικονικής πραγματικότητας

Τα γάντια εικονικής πραγματικότητας που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα διαφέρουν σε χαρακτηριστικά όπως την τεχνολογία και τον αριθμό αισθητήρων, την ανάλυση που παρέχουν οι αισθητήρες, το ρυθμό δειγματοληψίας αλλά και γενικότερες δυνατότητες όπως εάν απαιτούν αρχικοποίηση, αν συνδέονται ενσύρματα ή ασύρματα με τον υπολογιστή και εάν κυκλοφορούν σε διαφορετικά μεγέθη. Ο πίνακας 4.1 συνοψίζει τα παραπάνω χαρακτηριστικά για κάποια από τα προαναφερθέντα γάντια.

	Pinch Gloves	5DT Data Glove	CyberGlove III	IGS Glove
<i>Τεχνολογία</i>	Ηλεκτρόδια	Οπτικές ίνες	Αισθητήρες ελκυσμού	Αισθητήρες αδράνειας
<i>Αριθμός αισθητήρων ανά γάντι</i>	7	5 ή 14	18 ή 22	7, 12 ή 16
<i>Ανάλυση</i>	Δεν καταγράφει κάμψη δακτύλων	12 bit (τυπικό εύρος 10 bit) < 1°	12 bit < 1°	0,25°
<i>Ρυθμός δειγματοληψίας</i>	Αναφέρει επαφή	75 Hz	120 εγγραφές/δευτ. (USB και Wi-Fi)	500 Hz
<i>Λοιπά χαρακτηριστικά</i>	Δεν απαιτεί αρχικοποίηση, σύνδεση RS-232	USB, δυνατότητα για ασύρματη σύνδεση μέσω bluetooth	USB, δυνατότητα για ασύρματη σύνδεση μέσω Wi-Fi	Ασύρματη σύνδεση σε κάποια μοντέλα

Πίνακας 4.1. Συγκριτικός πίνακας γαντιών.

4.4 Αναγνώριση κινήσεων

Η αναγνώριση χειρονομιών μπορεί να θεωρηθεί ως μια ειδικότερη περίπτωση αναγνώρισης κινήσεων. Ενώ στην αναγνώριση χειρονομιών η εστίαση είναι στην παρακολούθηση της κάμψης των δακτύλων των χεριών, η αναγνώριση κινήσεων αφορά στην παρακολούθηση μερών ή ολόκληρου του σώματος στο χώρο.

4.4.1 Συσκευές εντοπισμού θέσης

Ένα κινούμενο αντικείμενο στο χώρο έχει έξι βαθμούς ελευθερίας, τρεις για μετακίνηση και τρεις για περιστροφές. Σε μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας είναι συνηθισμένο να παρακολουθείται η κίνηση του κεφαλιού, των χεριών και σε ορισμένες περιπτώσεις και του σώματος. Για αυτόν τον σκοπό

μπορούν να χρησιμοποιηθούν συσκευές εντοπισμού-καταγραφής θέσης (trackers). Οι συσκευές εντοπισμού θέσης χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της θέσης ενός αντικειμένου μέσα στο χώρο σε δεδομένη χρονική.

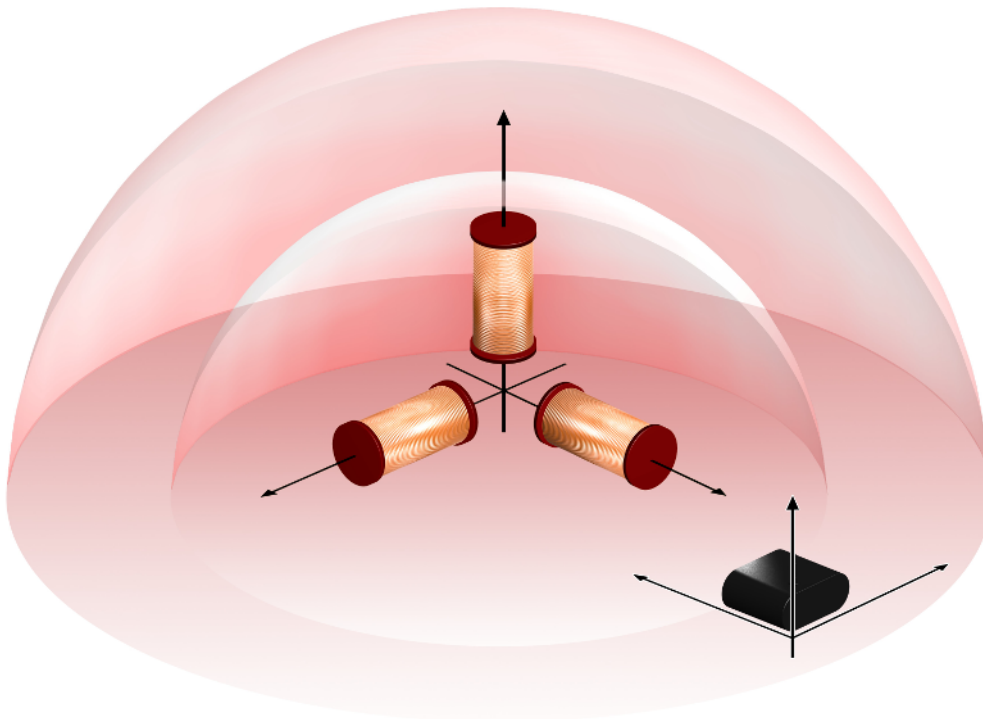
4.4.2 Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης

Διαφορετικές τεχνολογίες έχουν κατά καιρούς δοκιμασθεί για την αναγνώριση κίνησης και τον εντοπισμό αντικειμένων (δείτε αναλυτικά το υπόβαθρο φυσικής και μαθηματικών στις δημοσιεύσεις [Fox+02, WF02] του Eric Foxlin, ιδρυτή της εταιρείας InterSense). Ανάλογα με τη τεχνολογία που χρησιμοποιούν οι συσκευές εντοπισμού θέσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

Μηχανικές (επαφής). Από τους πρώτους, εάν όχι ο πρώτος εντοπιστής θέσης, ήταν αυτός που χρησιμοποιήθηκε στο κράνος εικονικής πραγματικότητας του I. Sutherland. Οι μηχανικοί εντοπιστές χρησιμοποιούν μια δομή από αρθρώσεις στις οποίες, με κατάλληλους αισθητήρες μπορεί να μετρηθεί η περιστροφή ή η μετατόπιση. Οι αισθητήρες μπορεί να είναι απλά γρανάζια που μετρούν περιστροφή ή έμβολα που μετρούν μετακίνηση. Η απλότητα κατασκευής αποτελεί το μεγάλο πλεονέκτημα των μηχανικών εντοπιστών θέσης. Επιπλέον δεν δέχονται παρεμβολές και δεν απαιτούν οπτική επαφή με κάποια συσκευή αναγνώρισης. Μηχανικοί εντοπιστές θέσης χρησιμοποιούνται σε συσκευές καταγραφής κίνησης (motion capture). Χαρακτηριστικό παράδειγμα η στολή Gypsy 7 της εταιρείας MetaMotion (δικτυακός τόπος: <http://www.metamotion.com>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015). Η στολή έχει τη μορφή εξωσκελετού και βασίζεται σε σύστημα προσομοίωσης γκολφ του 1987. Το Gypsy είναι ένα ηλεκτρο-μηχανικό σύστημα που αποτελείται από ένα σκελετό κατασκευασμένο από ελαφρείς ράβδους αλουμινίου που ακολουθούν την κίνηση των οστών του χρήστη. Η στολή διαθέτει ποτενσιόμετρα τοποθετημένα στις αρθρώσεις τα οποία καταγράφουν την αλλαγή τάσης καθώς αλλάζει η αντίσταση με τη γωνιακή περιστροφή των ράβδων. Επίσης διαθέτει ένα γυροσκόπιο για τον υπολογισμό της περιστροφής των γοφών. Η στολή συνδέεται ασύρματα με τον υπολογιστή και μεταφέρει τις περιστροφές ως δεδομένα σε μια εφαρμογή αναπαράστασης του σκελετού του χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η στολή απαιτεί αρχικοποίηση για τη μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ των αρθρώσεων του χρήστη και την εισαγωγή βασικών δεδομένων του σκελετού. Στα αρνητικά της τεχνολογίας είναι το βάρος των εντοπιστών, ειδικά όταν πρόκειται για στολή, ο χρόνος που απαιτείται για την προετοιμασία του χρήστη και στην περίπτωση που ο εντοπιστής στερεώνεται σε σταθερό σημείο (όπως στην οθόνη Boom (δικτυακός τόπος: <http://www.fakespacelabs.com/tools.html>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015), ο περιορισμός στην ελευθερία κινήσεων.

Μαγνητικές. Ήδη από το 1969 η εταιρεία Polhemus είχε ξεκινήσει την ανάπτυξη εντοπιστών θέσης η τεχνολογία των οποίων βασιζόταν σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (σχετική πατέντα [Kui75]). Ο τρόπος λειτουργίας είναι απλός: τρία πηνία τοποθετούνται κάθετα το καθένα στο επίπεδο των άλλων δύο. Εφαρμόζεται τάση σε κάθε ένα πηνίο εναλλάξ ώστε να παραχθούν με τη σειρά τρία ορθόγωνα μαγνητικά πεδία. Ανάλογα με την τεχνολογία της εταιρείας μπορεί να χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα (7-14 KHz) ή συνεχές σε παλμούς (σχετική πατέντα της εταιρείας Ascension [Blo90], [Blo97]). Ο δέκτης αποτελείται από ένα αντίστοιχο σύστημα τριών πηνίων όταν πρόκειται για εναλλασσόμενο ρεύμα και μαγνητόμετρα (δείτε και <http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetometer>, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015) ή αισθητήρες φαινομένου Hall (δείτε και http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect_sensor, τελευταία πρόσβαση Μάρτιος 2015), όταν πρόκειται για συνεχές ρεύμα. Σε κάθε εφαρμογή τάσης σε πηνίο του πομπού, εφόσον ο δέκτης βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του πομπού, δημιουργείται αντίστοιχα τάση στα άκρα

κάθε πηνίου του δέκτη, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη του κύβου της απόστασης από τον πομπό. Αυτό σημαίνει ότι καταγράφονται εννέα μετρήσεις (τρεις εφαρμογές τάσης σε κάθε πηνίο του πομπού επί τρεις μετρήσεις στο δέκτη). Από τη διαφορά στις μετρήσεις υπολογίζεται η μετακίνηση και η περιστροφή του δέκτη σε σχέση με την προηγούμενη θέση του.

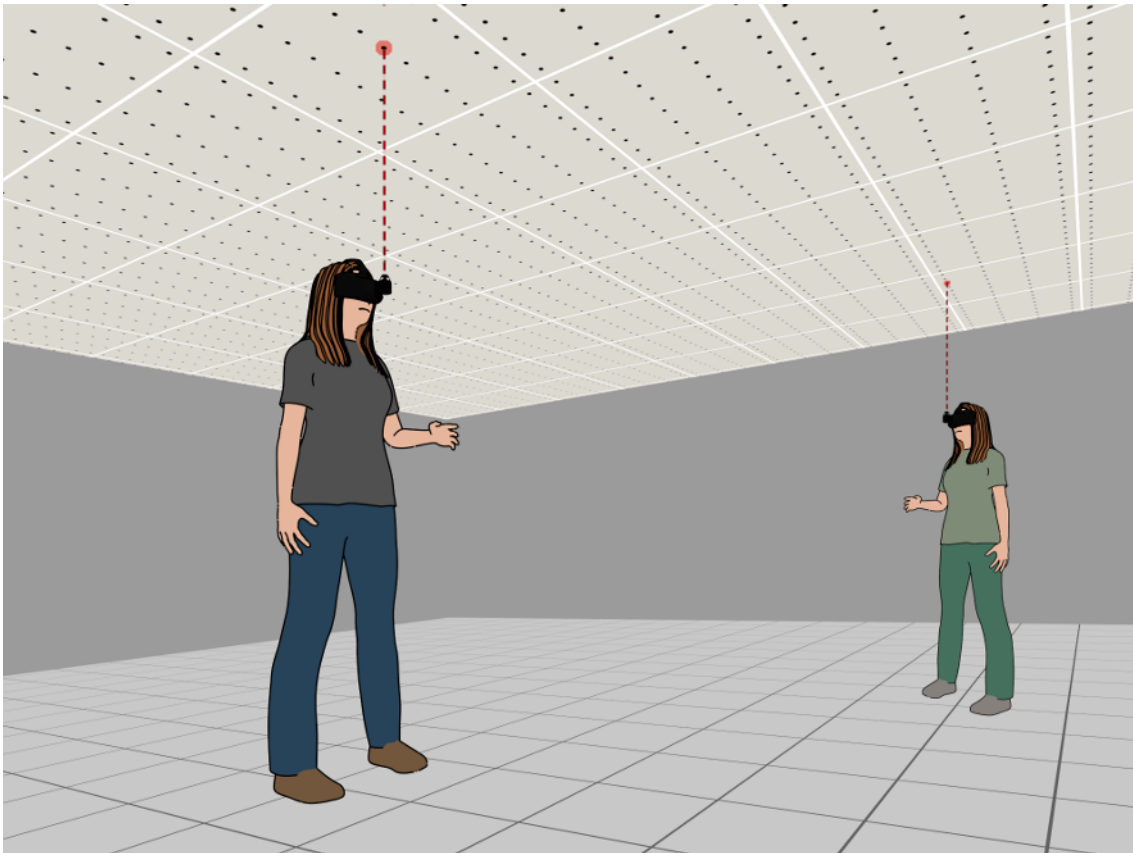


Εικόνα 4.9. Λειτουργία εντοπισμού μέσω ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ότι δεν απαιτεί οπτική επαφή πομπού-δέκτη. Ο χρήστης μπορεί να κινηθεί ελεύθερα μέσα στο χώρο χωρίς να ανησυχεί εάν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ του δέκτη και του πομπού. Τα βασικά μειονεκτήματα είναι το περιορισμένο μέγεθος του χώρου στον οποίο μπορεί να κινηθεί ο χρήστης πριν η απόσταση πομπού και δέκτη αυξήσει σημαντικά το σφάλμα μετρήσεων και η ευαισθησία σε μεταλλικά αντικείμενα και ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Ανάλογα με τη συσκευή η ακτίνα γύρω από τον πομπό μπορεί να είναι από 0,4 μέτρα μέχρι 1,8 μέτρα. Επιπλέον το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο πομπός, ιδιαίτερα στην περίπτωση του πομπού εναλλασσόμενου ρεύματος, είναι επιρρεπές σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από συσκευές που βρίσκονται στο χώρο αλλά και από μεταλλικά αντικείμενα.

Οπτικές. Μία πολυάριθμη ομάδα τεχνικών αναγνώρισης της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη βασίζεται στην οπτική αναγνώριση της θέσης του αντικείμενου. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλές κάμερες ή κάμερες υπέρυθρου φωτός. Η κάμερα συνήθως τοποθετείται σε σταθερό σημείο, αν και έχουν αναπτυχθεί συστήματα στα οποία η κάμερα βρίσκεται στο χρήστη, όπως παρουσιάζεται στην σχετική πατέντα του P. Hansen [Han98]. Παράδειγμα συστήματος στο οποίο η κάμερα βρίσκεται στο χρήστη αποτελεί το σύστημα HiBall-3100 της εταιρείας 3rdtech (<http://www.3rdtech.com/HiBall.htm>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) [Wel+01]. Σε αυτό το σύστημα εγκαθίστανται στην οροφή ράβδοι λαμπτήρων LED υπέρυθρων σε σταθερές αποστάσεις, ενώ ο χρήστης φέρει την συσκευή-δέκτη. Η συσκευή-δέκτης διαθέτει έξι φακούς και φωτοδιόδους τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε μία να έχει οπτική επαφή με τα LED υπέρυθρων. Ο δέ-

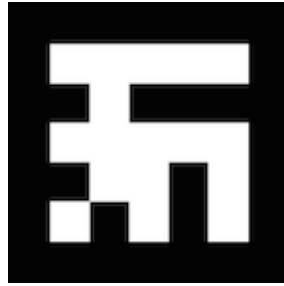
κτης συγχρονίζεται με τα LED τα οποία ενεργοποιούνται με τη σειρά περίπου τρεις χιλιάδες φορές το δευτερόλεπτο, επιτρέποντας ρυθμούς δειγματοληψίας της τάξης των 2000 Hz.



Εικόνα 4.10. Λειτουργία συστήματος HiBall.

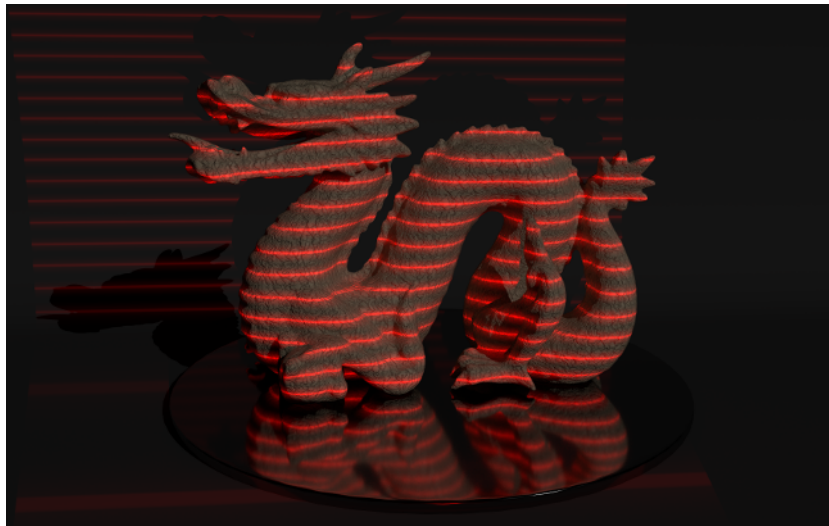
Η εναλλακτική και πιο συνηθισμένη υλοποίηση χρησιμοποιεί σταθερά τοποθετημένες κάμερες στο χώρο. Ανάλογα με τον τρόπο εντοπισμού οι κάμερες μπορεί να είναι απλές οπτικές κάμερες ή κάμερες υπερύθρων. Με την αξιοποίηση τεχνικών αναγνώρισης προτύπων, η εικόνα από την κάμερα υπόκειται σε επεξεργασία σε υπολογιστή για να υπολογιστεί η θέση του χρήστη. Η εικόνα από μία κάμερα αρκεί για την αναγνώριση θέσης στο επίπεδο. Για την αναγνώριση της θέσης σε τρεις διαστάσεις απαιτούνται τουλάχιστον δύο κάμερες. Η αναγνώριση της κίνησης του χρήστη μόνο με τη χρήση της εικόνας που λαμβάνεται από τις κάμερες είναι υπολογιστικά απαιτητική διεργασία, καθιστώντας δυσχερή την υλοποίηση της αναγνώρισης σε πραγματικό χρόνο. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται σημαντήρες (markers), ετικέτες δηλαδή που φέρουν προκαθορισμένα γεωμετρικά σχήματα και είναι τοποθετημένες σε γνωστά σημεία του χρήστη. Η αναγνώριση των σημαντήρων είναι πολύ πιο εύκολη από την αναγνώριση στοιχείων της εικόνας, καθώς κατασκευάζονται ώστε να ξεχωρίζουν εύκολα μέσα σε αυτή. Στην απλούστερη περίπτωση οι σημαντήρες μπορεί να είναι απλά διδιάστατα σύμβολα με εύκολα αναγνωρίσιμα γεωμετρικά σχήματα, έχουν όμως αναπτυχθεί και τεχνικές που επιτρέπουν αναγνώριση πολύπλοκων εικόνων όπως φωτογραφιών, ενώ σε συνδυασμό με κάμερες υπερύθρων χρησιμοποιούνται σημαντήρες LED υπερύθρων.

Ιδιαίτερη περίπτωση οπτικής αναγνώρισης αποτελεί το σύστημα *Kinect* (<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) της εταιρείας Microsoft. Παρότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες λεπτομέρειες διαθέσιμες για την τεχνολογία εντοπισμού που χρησι-



Εικόνα 4.11. Παράδειγμα σημαντήρα.

μπορείται στο Kinect, είναι γνωστό ότι η Microsoft προμηθεύτηκε σχετική τεχνολογία από την εταιρεία PrimeSense, η οποία είχε εξασφαλίσει σχετική πατέντα για την αναγνώριση κίνησης με χρήστη δομημένου φωτός [SZ08]. Η χρήση κάποιου είδους δομημένου φωτός είναι γνωστή τεχνική σε σαρωτές τριών διαστάσεων. Σε αυτή την τεχνική, γνωστά σχήματα (συχνά παράλληλες γραμμές) προβάλλονται σε επιφάνειες και από την παραμόρφωση του σχήματος αναγνωρίζεται το τριδιάστατο σχήμα της επιφάνειας (Εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.12. Παράδειγμα χρήσης δομημένου φωτός. [Το μοντέλο του δράκου έχει ληφθεί από το <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>]

Στο Kinect χρησιμοποιείται υπέρυθρο φως και αντίστοιχοι αισθητήρες και προβάλλεται ένα σύνολο κύκλων οι οποίοι ανάλογα με το σχήμα της επιφάνειας παραμορφώνονται σε ελλείψεις (Εικόνα 4.13). Επιπλέον χρησιμοποιούνται τεχνικές αναγνώρισης βάθους από την εστίαση (αντικείμενα που βρίσκονται πιο μακριά είναι πιο θολά), αναγνώρισης βάθους από τη στερεοσκοπική εικόνα και τεχνικές μηχανικές μάθησης για τη συνολική αναγνώριση της κίνησης του σώματος σε πραγματικό χρόνο.

Ο βασικός περιορισμός του οπτικού εντοπισμού είναι η απαίτηση οπτικής επαφής μεταξύ κάμερας και αντικειμένου. Εάν κατά τη διάρκεια της κίνησης το αντικείμενο-στόχος αποκρύπτεται από άλλα αντικείμενα (για παράδειγμα το ένα χέρι έρχεται μπροστά από το άλλο) δεν είναι εφικτός ο εντοπισμός τους.

Με υπέρηχους. Ο εντοπισμός με χρήση υπερήχων χρησιμοποιεί ήχους υψηλής συχνότητας παραγόμενους σε σταθερά χρονικά διαστήματα για να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.



Εικόνα 4.13. Χρήσης δομημένου φωτός (μοτίβο κύκλων) για την αναγνώριση σχήματος αντικειμένου. [Το μοντέλο του δράκου έχει ληφθεί από το <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>]

Στην περίπτωση των υπερήχων ο πομπός είναι μεγάφωνο και ο δέκτης μικρόφωνο. Όπως και στην περίπτωση της χρήσης ηλεκτρομαγνητικού εντοπισμού θέσης απαιτούνται τρεις πομποί και τρεις δέκτες για να υπολογιστεί μέσω τριγωνισμού η θέση και η περιστροφή (έξι βαθμοί ελευθερίας) ενός αντικειμένου. Στα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας είναι το μικρό κόστος υλοποίησης. Όμως ο ήχος δεν επιτρέπει υψηλές συχνότητες ανανέωσης/δειγματοληψίας όπως το φως, καθώς μετά την παραγωγή ενός ήχου θα πρέπει το σύστημα να αναμένει να αποσβεστούν ανακλάσεις των ήχων. Αντίθετα με τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα εντοπισμού, στα συστήματα εντοπισμού με υπερήχους είναι αναγκαία η οπτική επαφή πομπού και δέκτη. Συσκευή με τεχνολογία εντοπισμού υπερήχων είχε παρουσιαστεί από την εταιρεία Logitech (δείτε στο <http://www.vrdepot.com/vrteclg.htm>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015). Η συσκευή προσφερόταν ως 3Δ ποντίκι και ως σύστημα αναγνώρισης κίνησης της κεφαλής του χρήστη. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 50Hz, με μέγιστη απόσταση εντοπισμού περίπου 2 μέτρων από τον πομπό σε έναν κώνο 100°.

Αδράνειας (επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, μαγνητόμετρα). Ο εντοπισμός με αισθητήρες αδράνειας χρησιμοποιεί ηλεκτρομηχανικές συσκευές για να αναγνωρίσει την κίνηση, περιστροφή και κλίση. Το επιταχυνσιόμετρο μετρά τη μετακίνηση ενός αντικειμένου σε σχέση με την αρχική θέση, το γυροσκόπιο την περιστροφή, ενώ το μαγνητόμετρο την απόκλιση από το μαγνητικό Βορρά. Οι αισθητήρες είναι αντίστοιχοι με αυτούς που παρουσιάστηκαν στα γάντια εικονικής πραγματικότητας. Το βασικό πλεονέκτημα των συσκευών εντοπισμού με αισθητήρες αδράνειας είναι ότι δεν απαιτούν αρχικοποίηση ή κάποιο πομπό για να εντοπιστεί η θέση τους. Οι αισθητήρες αναφέρουν διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη θέση. Όμως αυτό είναι και το βασικό μειονέκτημα. Οποιοδήποτε σφάλμα στις μετρήσεις προστίθεται στο σφάλμα προηγούμενων μετρήσεων, με αποτέλεσμα το αθροιστικό σφάλμα να αυξάνεται γρήγορα. Ως αποτέλεσμα στις περισσότερες περιπτώσεις οι αισθητήρες αδράνειας χρησιμοποιούνται παράλληλα με άλλες τεχνολογίες. Σχετικό προϊόν είναι ο αισθητήρας αδράνειας *InertiaCube* (<http://www.intersense.com/pages/18/234/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) της εταιρείας InterSense. Ο αισθητήρας προσφέρεται σε ασύρματη έκδοση, περιλαμβάνει μόνο γυροσκόπιο, καταγράφει περιστροφές (3 βαθμοί ελευθερίας) με ανάλυση

0,01° και ρυθμό δειγματοληψίας 200Hz. Παρότι οι τρεις βαθμοί ελευθερίας δεν αρκούν για την καταγραφή κίνησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της περιστροφής της κεφαλής του χρήστη. Θα μπορούσαν για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα με κράνος εικονικής πραγματικότητας για να αλλάζουν δυναμικά το οπτικό πεδίο του χρήστη καθώς εκείνος κοιτάζει γύρω.

Υβριδικές. Οι υβριδικές τεχνολογίες συνδυάζουν τις παραπάνω τεχνολογίες εκμεταλλευόμενες τα πλεονεκτήματα και ακυρώνοντας επιμέρους μειονεκτήματα. Για παράδειγμα το σύστημα *PPT* (*Precision Position Tracking*) (<http://www.worldviz.com/products/ppt/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) της εταιρείας WoldViz προσφέρει οπτικό εντοπισμό θέσης ενώ μπορεί να συνδυαστεί με εντοπιστές αδράνειας για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του συστήματος εντοπισμού. Αντίστοιχα το *Wii Remote* (http://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) της εταιρείας Nintendo συνδυάζει αισθητήρες αδράνειας (επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο) με αισθητήρα υπέρυθρων. Η οπτική αναγνώριση της θέσης γίνεται σε συνδυασμό με LED υπέρυθρων που βρίσκονται τοποθετημένα στη συσκευή *Wii Sensor Bar*.



Εικόνα 4.14. Wii Remote. [Greyson Orlando, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wii_Remote_Image.jpg, Public domain]



Εικόνα 4.15. Wii Sensor Bar. Το φως από τα LED δεν είναι ορατό στο ανθρώπινο μάτι αλλά μόνο σε αισθητήρες υπέρυθρου φωτός. Η φωτογραφία έχει ληφθεί με κατάλληλη κάμερα. [Jeremy Mikesell, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nintendo_Wii_Sensor_Bar.jpg, Άδεια CC BY-SA 3.0]

Αισθητήρες αδράνειας (επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και μαγνητόμετρο) χρησιμοποιούνται στο χειριστήριο *PlayStation Move* (http://en.wikipedia.org/wiki/PlayStation_Move, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) της εταιρείας Sony, το οποίο συνδυάζεται με οπτική αναγνώριση μέσω της συσκευής *PlayStation Eye* (http://en.wikipedia.org/wiki/PlayStation_Eye, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015).

Συνδυασμός αισθητήρων χρησιμοποιείται και σε συσκευές εντοπισμού θέσης της εταιρείας InterSense. Για παράδειγμα στο σύστημα *IS-900* (<http://www.intersense.com/pages/20/14>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) όπως περιγράφεται στη σχετική πατέντα [Fox01] χρησιμοποιούνται αισθητήρες αδράνειας και υπερήχων, ενώ στο σύστημα *IS-1200* (<http://www.intersense.com/pages/>

20/14, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) όπως περιγράφεται σε σχετική πατέντα [Fox+14] χρησιμοποιούνται αισθητήρες αδράνειας και οπτική αναγνώριση.

4.4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά συσκευών εντοπισμού θέσης

Ανεξάρτητα όμως από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί και να καταγραφεί η θέση, υπάρχουν διάφορες παράμετροι εκτός του κόστους προμήθειας και εγκατάστασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή των χαρακτηριστικών ενός εντοπιστή θέσης και την επιλογή του βέλτιστου ανά περίπτωση εντοπιστή. Οι παράμετροι αυτές είναι:

Βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom). Οι βαθμοί ελευθερίας μας δίνουν τη θέση και την περιστροφή ενός αντικειμένου στο χώρο σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων. Ένα επιταχυνσιόμετρο προσφέρει 3 βαθμούς ελευθερίας (μετακινήσεις), ένα γυροσκόπιο 3 βαθμούς ελευθερίας (περιστροφές), ενώ ο συνδυασμός τους μπορεί να προσφέρει 6 βαθμούς ελευθερίας ως ένα διάνυσμα με 6 στοιχεία.

Ακρίβεια (accuracy). Ως ακρίβεια μπορεί να οριστεί η διαφορά μεταξύ της πραγματικής θέσης του αντικειμένου και της θέσης που αναφέρεται από τη συσκευή εντοπισμού. Για έναν εντοπιστή θέσης έξι βαθμών ελευθερίας η ακρίβεια σχετίζεται τόσο με τη θέση όσο και με τη περιστροφή.

Ανάλυση (resolution). Ως ανάλυση μπορεί να οριστεί η διακριτική ικανότητα ενός εντοπιστή θέσης, δηλαδή ποια είναι η ελάχιστη μετακίνηση η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή από τον εντοπιστή.

Θόρυβος (jitter). Άλλη παράμετρος που χαρακτηρίζει τη λειτουργία ενός εντοπιστή θέσης είναι ο θόρυβος που υπεισέρχεται στις μετρήσεις. Ως θόρυβος μπορεί να οριστεί η διαφορά που καταγράφεται στις μετρήσεις του εντοπιστή θέσης όταν το αντικείμενο του οποίου καταγράφεται η κίνηση παραμένει σταθερό. Φυσικά στην περίπτωση που το αντικείμενο παραμένει σταθερό θα έπρεπε και οι μετρήσεις να παραμένουν σταθερές. Στις περισσότερες περιπτώσεις και ανάλογα και με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται παρατηρείται διακύμανση, η οποία ονομάζεται θόρυβος.

Απόκλιση (drift). Καθώς ένα αντικείμενο κινείται, το σφάλμα που σχετίζεται με την ακρίβεια εντοπισμού μπορεί να αυξάνει σε σχέση με το χρόνο. Ως απόκλιση μπορεί να οριστεί η τάση αύξησης του σφάλματος με την πάροδο του χρόνου.

Υστέρηση (latency). Ως υστέρηση ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή που θα γίνει κάποια μετατόπιση μέχρι να φτάσει αυτή στον υπολογιστή του συστήματος εικονικής πραγματικότητας από τον εντοπιστή θέσης. Στη γενική περίπτωση η διάταξη που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα εντοπισμού θέσης είναι πομπός – δέκτης – μονάδα ελέγχου – υπολογιστής. Ο πομπός εκπέμπει με κάποιο μέσο (μαγνητικά, ηχητικά, οπτικά) ένα σήμα, το σήμα γίνεται αντιληπτό από το δέκτη, η μονάδα ελέγχου που παρακολουθεί τον πομπό και το δέκτη υπολογίζει την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και μέσω ενός διαύλου επικοινωνίας την αναφέρει στον υπολογιστή. Ιδιαίτερα σε παλαιότερα συστήματα εντοπισμού θέσης η υστέρηση ήταν σημαντικό χαρακτηριστικό. Εάν θεωρηθεί ότι ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας πρέπει να συνθέτει την εικόνα που παρουσιάζει στο χρήστη 30 φορές το δευτερόλεπτο (30 fps), κάθε εικόνα θα πρέπει να δημιουργείται σε περίπου 30 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Σε παλαιότερα συστήματα εντοπισμού θέσης που επικοινωνούσαν με τον υπολογιστή μέσω σειριακής θύρας στα 9600 bps η αποστολή έξι αριθμών για τη θέση/περιστροφή του αντικειμένου ($6 \times 16 \text{ bit} = 96$) απαιτούσε 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου (χωρίς να υπολογιστεί χρόνος για την πραγματοποίηση της μέτρησης), αφήνοντας τα υπόλοιπα 2/3 του χρόνου για σύνθεση του εικονικού κόσμου.

Ρυθμός δειγματοληψίας (update rate). Ως ρυθμός δειγματοληψίας ορίζεται ο αριθμός των μετρήσεων που μπορεί να πραγματοποιήσει ο εντοπιστής θέσης στη μονάδα του χρόνου (συνήθως δευτερόλεπτο).

Συνθήκες λειτουργίας. Παρότι δεν είναι άμεσα μετρήσιμο μέγεθος ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται υπάρχουν διάφορες παράμετροι του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν τη λειτουργία του.

Ευαισθησία σε παρεμβολές. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται κάποιες συσκευές είναι περισσότερο ή λιγότερο ευαίσθητες σε παρεμβολές.

4.5 Αναγνώριση φωνής

Η βελτίωση στην τεχνολογία αναγνώρισης φωνής προσφέρει ένα επιπλέον δίαυλο επικοινωνίας του χρήστη με το σύστημα εικονικής πραγματικότητας. Ένα τέλειο σύστημα αναγνώρισης ομιλίας θα μπορούσε να εκτελέσει περισσότερο από συντακτική ή και σημασιολογική ανάλυση της ομιλίας του χρήστη, θα μπορούσε να διακρίνει διαφορές στον τόνο της φωνής (για παράδειγμα ειρωνία ή σαρκασμό) και να αντιληφθεί τα συμφραζόμενα της εισόδου του χρήστη, να συνδυάσει στοιχεία από την κίνηση ή τη στάση του χρήστη για να αντιληφθεί το νόημα της ομιλίας του χρήστη. Για παράδειγμα το σύστημα θα έπρεπε να μπορούσε να αντιληφθεί το νόημα της φράσης "άνοιξε το κουτί με το ξύλο": είναι εντολή στην οποία ζητάμε από το σύστημα να ανοίξει το κουτί χρησιμοποιώντας ένα ξύλο ή εντολή να ανοιχθεί το κουτί που περιέχει ένα ξύλο; Τα σημερινά συστήματα αναγνώρισης ομιλίας απέχουν αρκετά από την περιγραφή του «τέλειου» συστήματος. Στην παρούσα φάση τα συστήματα μπορούν να αναγνωρίσουν ένα περιορισμένο εύρος εντολών του χρήστη, ως λέξεις κλειδιά που καταγράφονται στο σύστημα. Τα συστήματα αναγνώρισης φωνής έχουν επιπλέον μερικούς περιορισμούς: δεν λειτουργούν καλά σε περιβάλλοντα με αυξημένο θόρυβο (για παράδειγμα σε ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας με πολλούς χρήστες) ενώ κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι ορίζεται καλά πότε ο χρήστης απευθύνεται στο σύστημα. Οι λύσεις για το δεύτερο περιορισμό είναι η χρήση κάποιου πλήκτρου που θα πρέπει να πιέσει ο χρήστης για να υποδείξει ότι απευθύνεται στο σύστημα, η χρήση κάποιου συνθηματικού πριν την εντολή (για παράδειγμα η λέξη κλειδί: "Υπολογιστή"), ή κάποια συγκεκριμένη κίνηση όπως να κοιτάζει προς έναν εικονικό βοηθό.

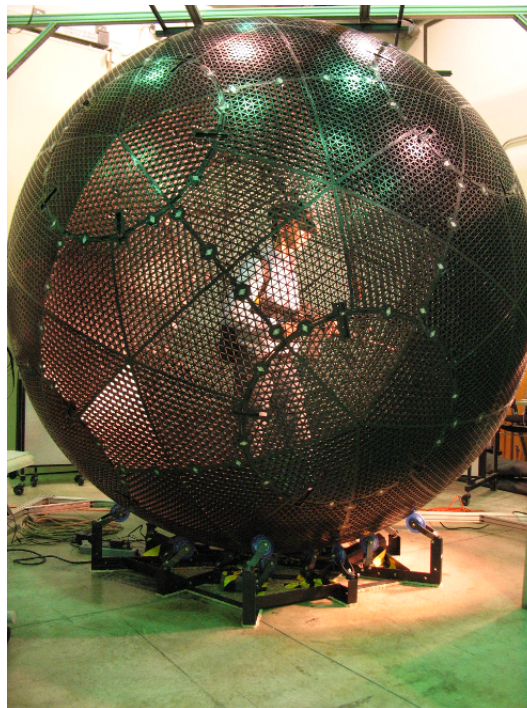
4.6 Συσκευές προσομοίωσης

Εκτός των παραπάνω συσκευών έχουν υλοποιηθεί συσκευές για την προσομοίωση δράσεων του χρήστη. Από τις πιο συνηθισμένες είναι οι διάδρομοι κίνησης, υπάρχουν όμως συστήματα προσομοίωσης πτήσης, οδήγησης, αθλημάτων όπως γκολφ και ποδηλάτου, χρήσης ιατρικών συσκευών, κ.ά.

4.6.1 Διάδρομοι κίνησης

Ο διάδρομος κίνησης είναι μια μηχανική συσκευή, η οποία στην απλούστερη περίπτωση μοιάζει με τους διαδρόμους άθλησης, η οποία επιτρέπει το περπάτημα/τρέξιμο του χρήστη, ενώ παράλληλα καταγράφει τα δεδομένα κίνησης και τα μεταφέρει στον υπολογιστή ώστε να διαμορφωθεί κατάλληλα η ανάδραση του υπολογιστή. Τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνισή τους διάδρομοι που επιτρέπουν την κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις. Σχετικές συσκευές περιγράφονται μεταξύ άλλων σε πατέντες του 1995 [Car96], του 1998 [Tai+00], του 2010 [Car10] και σε επιστημονικά άρθρα όπως [DCC97] και [STU07]. Η συσκευή *VirtuSphere* (<http://virtusphere.com/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος

2015), [Sko+14], [MFW08], είναι μια κενή σφαίρα με διάμετρο περίπου τριών μέτρων μέσα στην οποία μπαίνει ο χρήστης και η οποία περιστρέφεται επιτρέποντας την κίνηση του χρήστη προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο χρήστης φορά ασύρματο κράνος εικονικής πραγματικότητας και χρησιμοποιεί ασύρματα χειριστήρια κατά τη διάδρασή του μέσα στο εικονικό περιβάλλον.



Εικόνα 4.16. Ο Paul Monday επιδεικνύει τον προσομοιωτή VirtuSphere simulator. [Paul Monday, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtusphere.jpg>, GNU Free Documentation License]

Αντίστοιχες δυνατότητες προσφέρει η συσκευή *VirtuixOmni* (<http://www.virtuix.com/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015). Η συσκευή χρησιμοποιεί μια ολισθηρή επιφάνεια για να προσομοιώσει την κίνηση περπατήματος και απαιτεί τη χρήση ειδικών παπουτσιών που μειώνουν την τριβή. Ο χρήστης περικλείεται πλήρως από έναν δακτύλιο ως μέτρο ασφάλειας.

Σε φάση πρωτότυπου βρίσκονται επίσης οι συσκευές *Infinadeck* (<http://www.infinadeck.com/>, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) και *Virtualizer* (http://en.wikipedia.org/wiki/Cyberith_Virtualizer, τελευταία πρόσβαση Απρίλιος 2015) οι οποίες δεν απαιτούν ειδικά παπούτσια. Ειδικά η συσκευή *Infinadeck* έχει τη δυνατότητα προσθήκης κλίσης για την προσομοίωση κίνησης σε μη-επίπεδες επιφάνειες.

4.6.2 Λοιπές συσκευές

Όπως αναφέρθηκε έχουν υλοποιηθεί συσκευές προσομοίωσης για διαφορετικές περιπτώσεις είτε για εκπαιδευτική χρήση είτε για διασκέδαση. Στη γενική περίπτωση οι συσκευές αυτές αναπτύσσονται ανάλογα των απαιτήσεων του πελάτη. Αναλυτική περιγραφή τέτοιων συσκευών υπάρχει στο Μέρος Δ - Εφαρμογές.

4.7 Ερωτήσεις-ασκήσεις

1. Περιγράψτε τον τρόπο λειτουργίας των γαντιών εικονικής πραγματικότητας που καταγράφουν κάμψη δακτύλων.



Εικόνα 4.17. Ο προσομοιωτής Virtuix Omni. [[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtuix_Omni_Skyrim_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtuix_Omni_Skyrim_(cropped).jpg), Άδεια CC BY-SA 3.0]

2. Εξηγήστε τις διαφορές του γαντιού εικονικής πραγματικότητας με ηλεκτρόδια σε σχέση με τα υπόλοιπα γάντια εικονικής πραγματικότητας και δώστε ένα παράδειγμα χρήσης.
3. Περιγράψτε τον τρόπο λειτουργίας των εντοπιστών που βασίζονται σε ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες.
4. Περιγράψτε τον τρόπο λειτουργίας των εντοπιστών που βασίζονται σε αισθητήρες αδράνειας. Δώστε ένα παράδειγμα χρήσης.
5. Περιγράψτε τον τρόπο λειτουργίας των εντοπιστών που βασίζονται σε οπτική αναγνώριση.
6. Προτείνετε μια συσκευή εντοπισμού για την αναγνώριση κίνησης όλου του σώματος σε μεγάλο χώρο και εξηγήστε τους λόγους της πρότασής σας.
7. Προτείνετε συσκευές για την αναγνώριση χειρονομιών του χρήστη σε ένα επιτραπέζιο σύστημα εικονικής πραγματικότητας και εξηγήστε τους λόγους της πρότασής σας.

Βιβλιογραφία

- [Blo90] E.B. Blood. «Device for quantitatively measuring the relative position and orientation of two bodies in the presence of metals utilizing direct current magnetic fields». US Patent 4,945,305. Ιούλ. 1990. URL: <https://www.google.com/patents/US4945305>.
- [Blo97] E.B. Blood. «Device for measuring position and orientation using non-dipole magnet IC fields». US Patent 5,600,330. Φεβ. 1997. URL: <http://www.google.com/patents/US5600330>.
- [Car10] D.E.E. Carmein. «Omni-directional treadmill with applications». US Patent 7,780,573. Αύγ. 2010. URL: <https://www.google.com/patents/US7780573>.



Εικόνα 4.18. Σύστημα προσομοίωσης οδήγησης που αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο της Valencia. [<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SIMUVEG.JPG>, Public domain]

- [Car96] D.E.E. Carmein. «Omni-directional treadmill». US Patent 5,562,572. Οκτ. 1996. URL: <https://www.google.com/patents/US5562572>.
- [Cim04] A. Cimmino. «Electronic transducer for measuring flexion». US Patent 6,725,729. Απρ. 2004. URL: <http://www.google.com/patents/US6725729>.
- [DCC97] Rudolph P. Darken, William R. Cockayne και David Carmein. «The Omni-directional Treadmill: A Locomotion Device for Virtual Worlds». Στο: *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST '97. Banff, Alberta, Canada: ACM, 1997, σελίδες 213–221. ISBN: 0-89791-881-9. DOI: [10.1145/263407.263550](https://doi.org/10.1145/263407.263550).
- [DSD08] Laura Dipietro, Angelo M Sabatini και Paolo Dario. «A survey of glove-based systems and their applications». Στο: *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on* 38.4 (2008), σελίδες 461–482.
- [Fox+02] Eric Foxlin κ.ά. «Motion tracking requirements and technologies». Στο: *Handbook of virtual environment technology* 8 (2002), σελίδες 163–210.
- [Fox+14] E. Foxlin, D. Wormell, T.C. Browne και M. Donfrancesco. «Motion tracking system and method using camera and non-camera sensors». US Patent 8,696,458. Απρ. 2014. URL: <https://www.google.com/patents/US8696458>.
- [Fox01] E.M. Foxlin. «Motion tracking system». US Patent 6,176,837. Ιαν. 2001. URL: <https://www.google.com/patents/US6176837>.
- [Han98] P.K. Hansen. «Optical 6D measurement system with two fan shaped beams rotating around one axis». US Patent 5,742,394. Απρ. 1998. URL: <http://www.google.com/patents/US5742394>.
- [KLG91] J.P. Kramer, P. Lindener και W.R. George. «Communication system for deaf, deaf-blind, or non-vocal individuals using instrumented glove». US Patent 5,047,952. Σεπτ. 1991. URL: <http://www.google.com/patents/US5047952>.

- [Kui75] J. Kuipers. «Object tracking and orientation determination means, system and process». US Patent 3,868,565. Φεβ. 1975. URL: <http://www.google.com/patents/US3868565>.
- [MFW08] Eliana Medina, Ruth Fruland και Suzanne Weghorst. «Virtusphere: walking in a human size VR “hamster ball”». Στο: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Τόμος 52. 27. SAGE Publications. 2008, σελίδες 2102–2106.
- [Sko+14] Nancy A Skopp, Derek J Smolenski, Melinda J Metzger-Abamukong, Albert A Rizzo και Greg M Reger. «A Pilot Study of the VirtuSphere as a Virtual Reality Enhancement». Στο: *International Journal of Human-Computer Interaction* 30.1 (2014), σελίδες 24–31.
- [STU07] Martin Schwaiger, T Thummel και Heinz Ulbrich. «Cyberwalk: An advanced prototype of a belt array platform». Στο: *Haptic, Audio and Visual Environments and Games, 2007. HAVE 2007. IEEE International Workshop on*. IEEE. 2007, σελίδες 50–55.
- [SZ08] A. Shpunt και Z. Zalevsky. «Depth-varying light fields for three dimensional sensing». US Patent App. 11/724,068. Μάι. 2008. URL: <http://www.google.com/patents/US20080106746>.
- [Tai+00] C.F. Tai, S.H. Wu, C.Y. Gau, H.T. Lee και C.F. Wang. «Locomotion platform». US Patent 6,131,075. Οκτ. 2000. URL: <https://www.google.com/patents/US6131075>.
- [Wel+01] Greg Welch, Gary Bishop, Leandra Vicci, Stephen Brumback, Kurtis Keller και D’nardo Colucci. «High-performance wide-area optical tracking: The hiball tracking system». Στο: *presence: teleoperators and virtual environments* 10.1 (2001), σελίδες 1–21.
- [WF02] Greg Welch και Eric Foxlin. «Motion tracking survey». Στο: *IEEE Computer graphics and Applications* (2002), σελίδες 24–38.