



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Επικοινωνία Ανθρώπου-Μηχανής και Σχεδίαση Διαδραστικών Συστημάτων

Ενότητα 12: Απτική αλληλεπίδραση

Κωνσταντίνος Μουστάκας

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών &
Τεχνολογίας Υπολογιστών

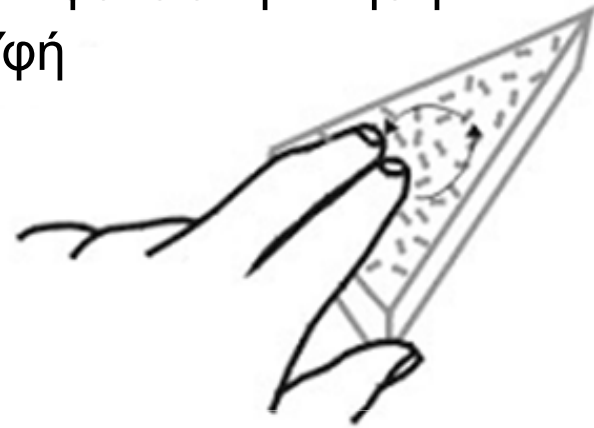
Επικοινωνία Ανθρώπου-Μηχανής και Σχεδίαση Διαδραστικών Συστημάτων

Απτική Αλληλεπίδραση

Απτική αλληλεπίδραση

- Πληροφορία αφής:
 - Η απόκριση των αισθητηρίων του δέρματος κατά την επαφή με ένα αντικείμενο
- Κιναισθητική πληροφορία:
 - Δυνάμεις που ασκούνται στα μέλη και στις αρθρώσεις του σώματος

Επιφανειακή κίνηση
Υφή



Πίεση
Σκληρότητα



Αφή – Σημασία

- Η αίσθηση της αφής είναι υποτιμημένη!
- Η απώλεια της αφής μπορεί να προκαλέσει αναπηρίες οι οποίες δεν μπορούν να υποκατασταθούν από την όραση ή άλλες αισθήσεις:
 - Δεξιότητες
 - Δεξιότητες αφής, π.χ. αρπαγή, χειρισμός αντικειμένου, ...
 - Περπάτημα
 - Αίσθηση θέσης μελών
 - Λήψη τροφής
 - Ομιλία
- Στα εικονικά περιβάλλοντα και γενικότερα στα συστήματα HCI, η απώλεια (μη υποστήριξη) της αφής μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση της αλληλεπίδρασης.

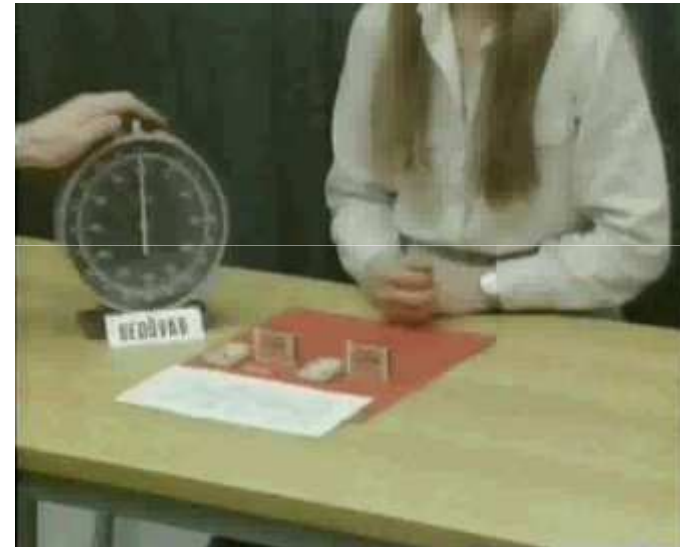
Αφή – Σημασία

Άναμα σπύρτου (με όραση)



Κανονικά

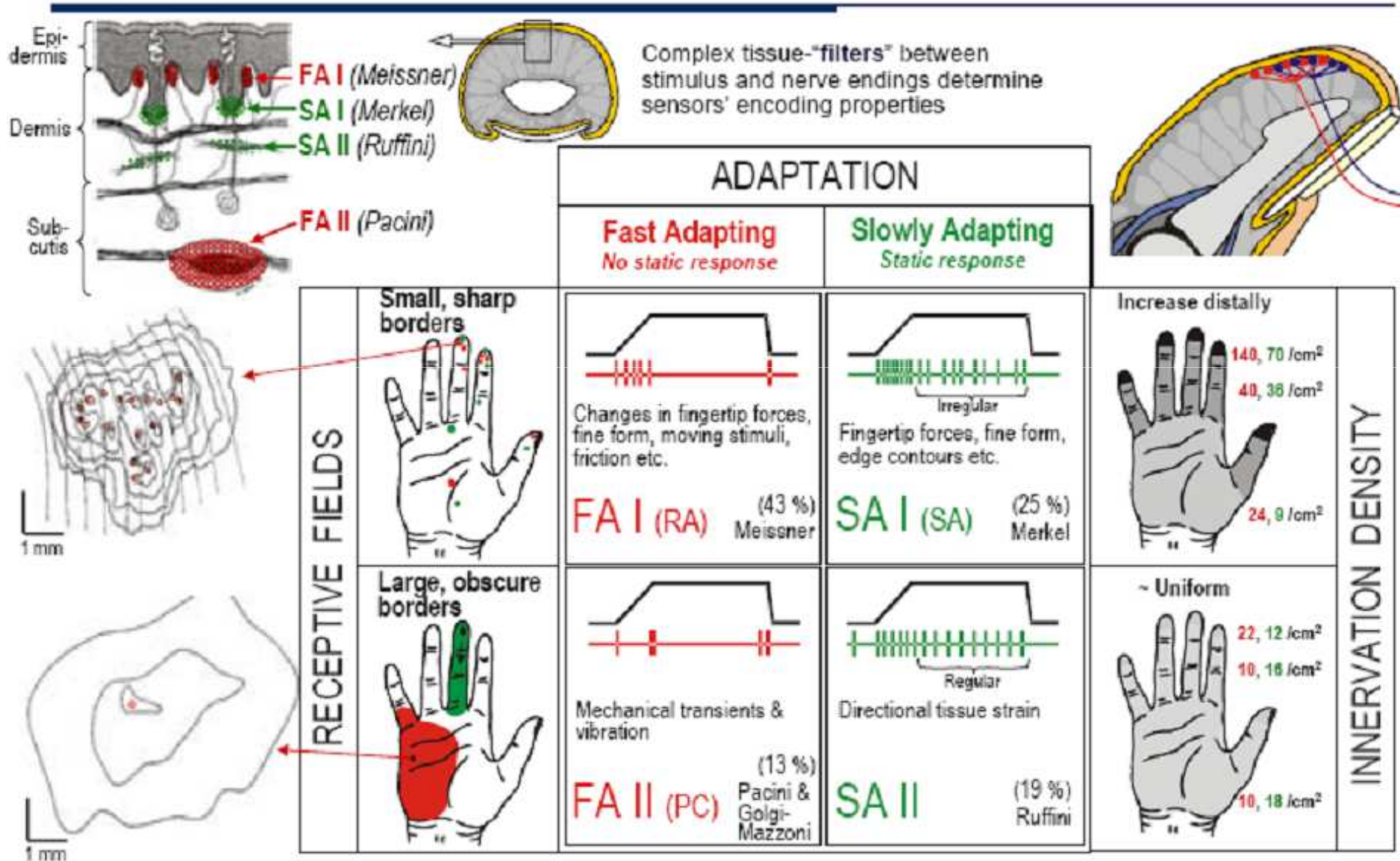
7.5 sec



Αναισθησία

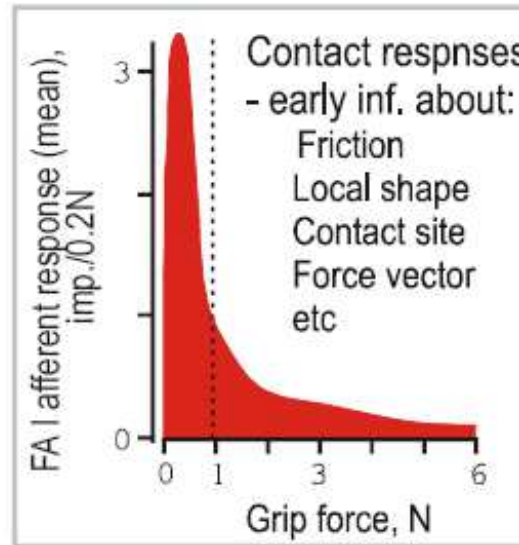
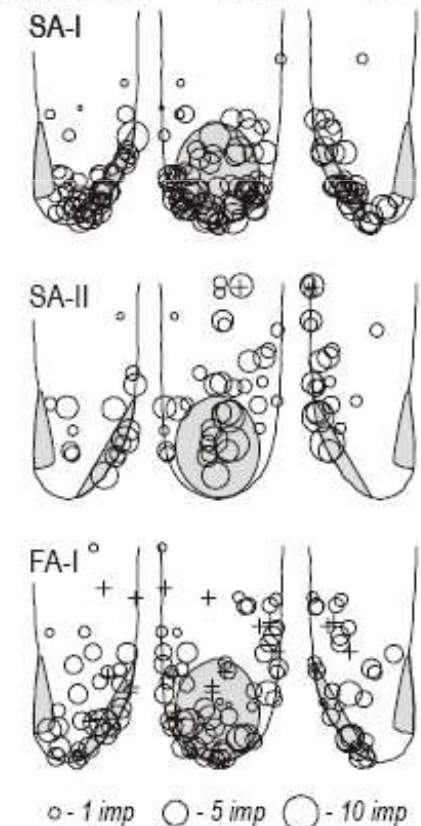
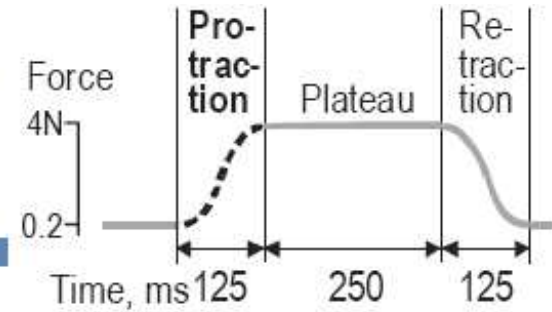
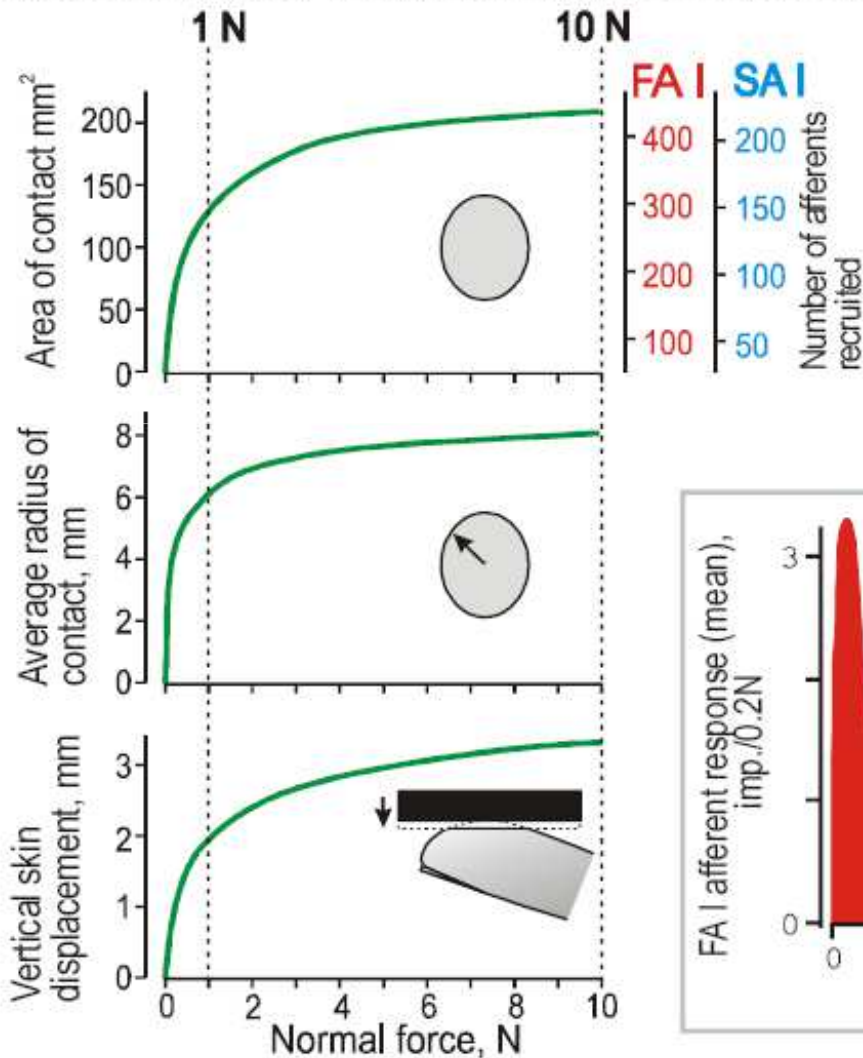
29 sec

Διαφορετικά είδη αισθητηρίων

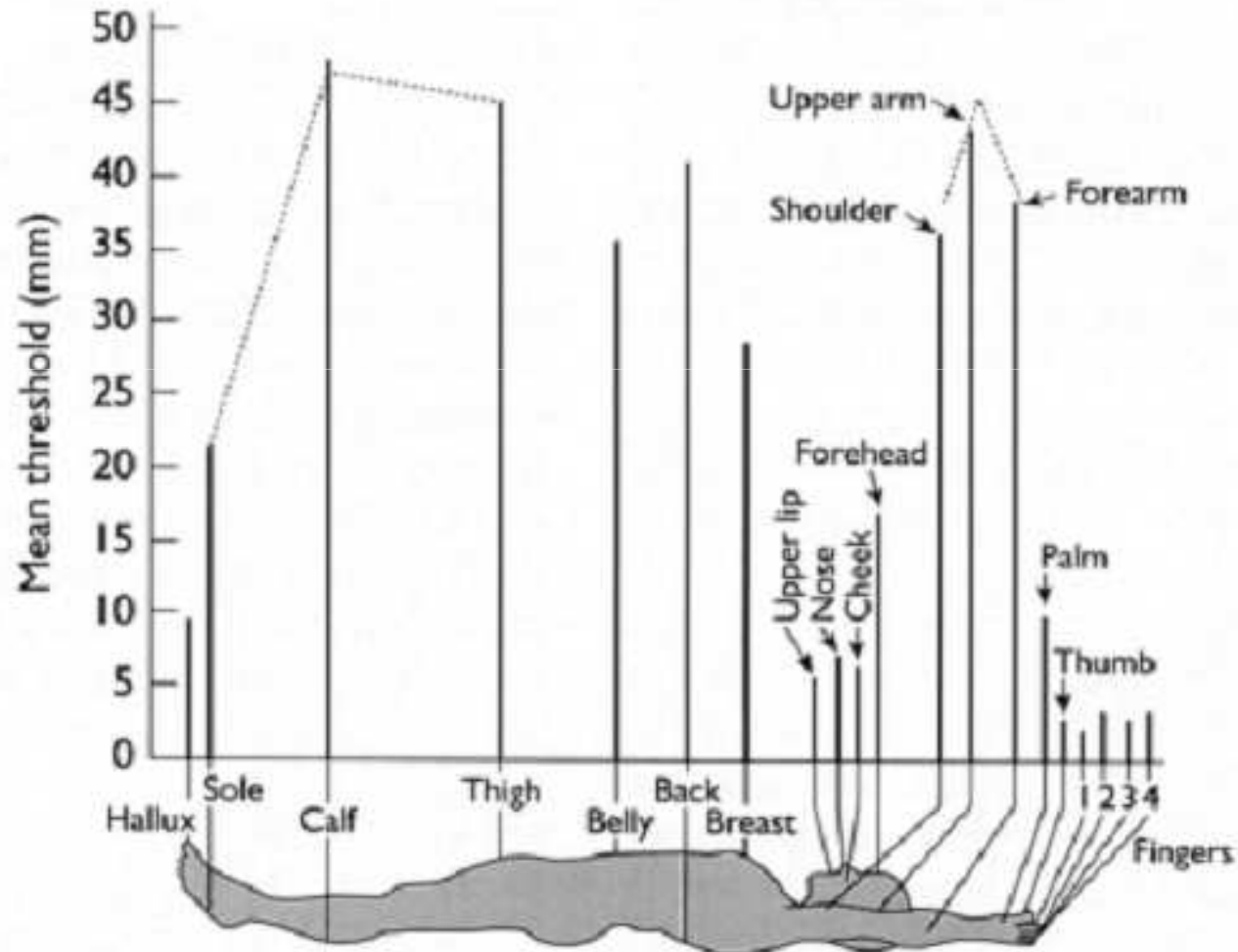


Κωδικοποίηση επιφάνειας

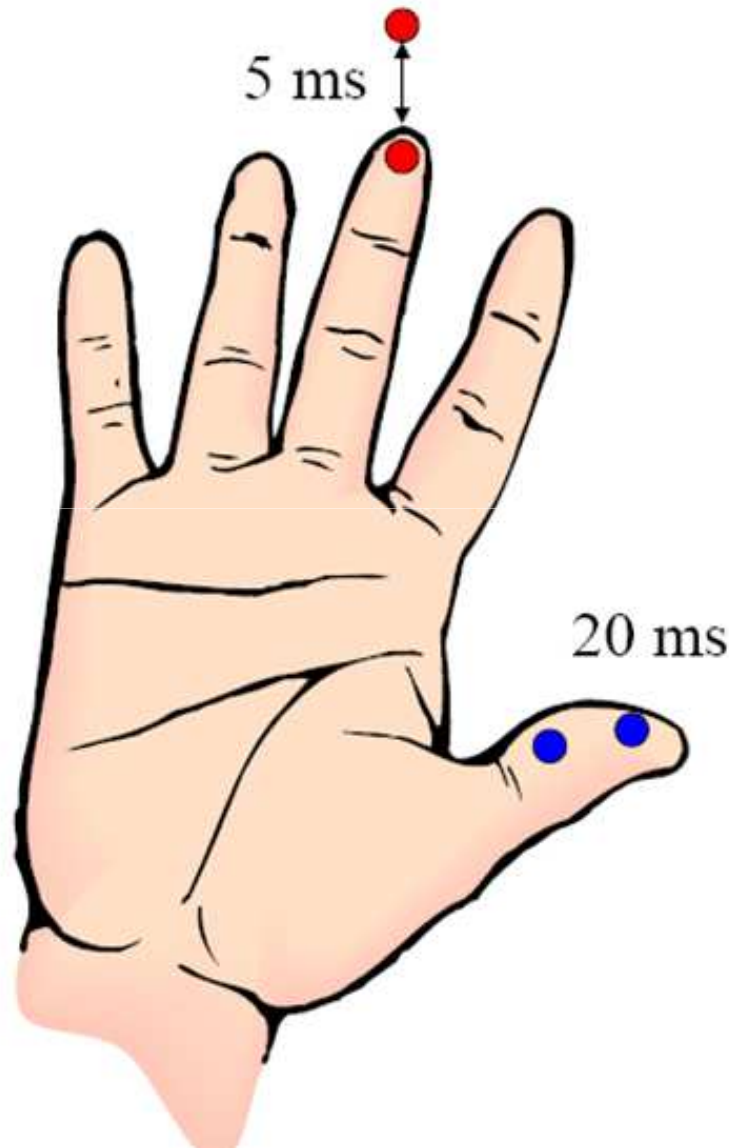
Most deformation occurs at low forces, below 1 N



Χωρική κατανομή αισθητηρίων



Χρονική απόκριση



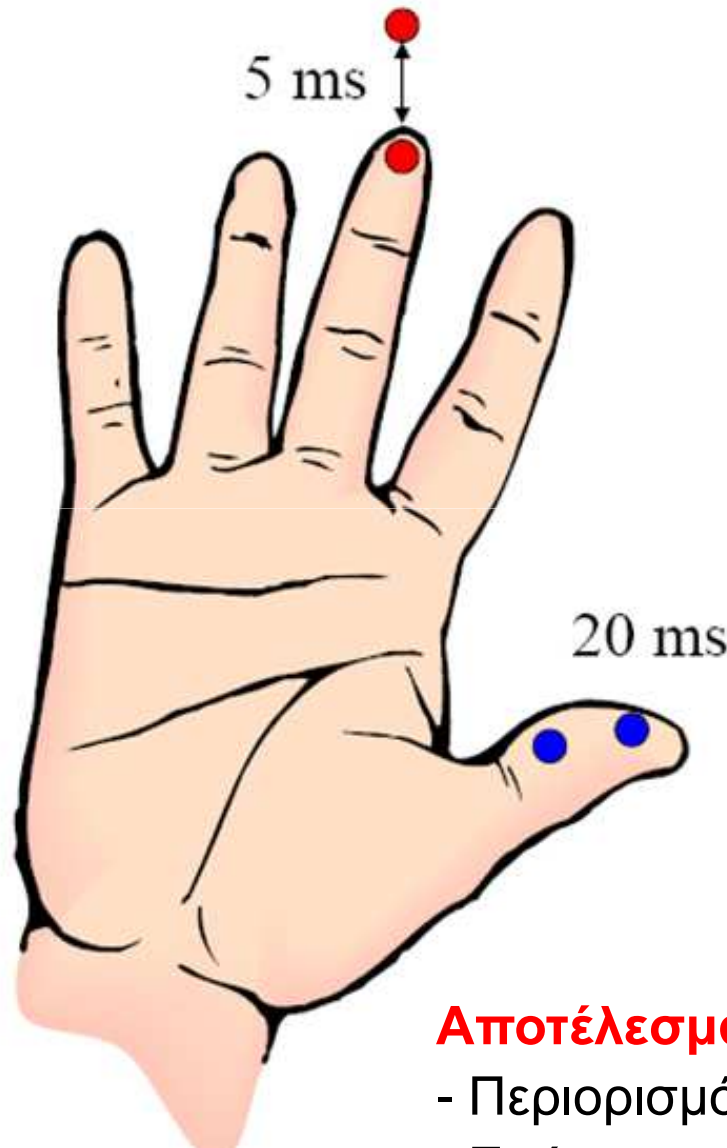
Συνέχεια

Δύο ερεθίσματα διάρκειας 1ms πρέπει να απέχουν 5.5ms ώστε να γίνουν αντιληπτά ως διαφορετικά

Χρονική συνάφεια

Δύο διαδοχικά ερεθίσματα σε διαφορετικά σημεία πρέπει να απέχουν 20ms ώστε να μπορεί να γίνει αντιληπτό το πιο εμφανίστηκε πρώτο

Χρονική απόκριση



Συνέχεια

Δύο ερεθίσματα διάρκειας 1ms πρέπει να απέχουν 5.5ms ώστε να γίνουν αντιληπτά ως διαφορετικά

Χρονική συνάφεια

Δύο διαδοχικά ερεθίσματα σε διαφορετικά σημεία πρέπει να απέχουν 20ms ώστε να μπορεί να γίνει αντιληπτό το πιο εμφανίστηκε πρώτο

Αποτέλεσμα:

- Περιορισμός 1kHz
- Ενώ στα γραφικά/όραση 25Hz

Τι αισθανόμαστε;

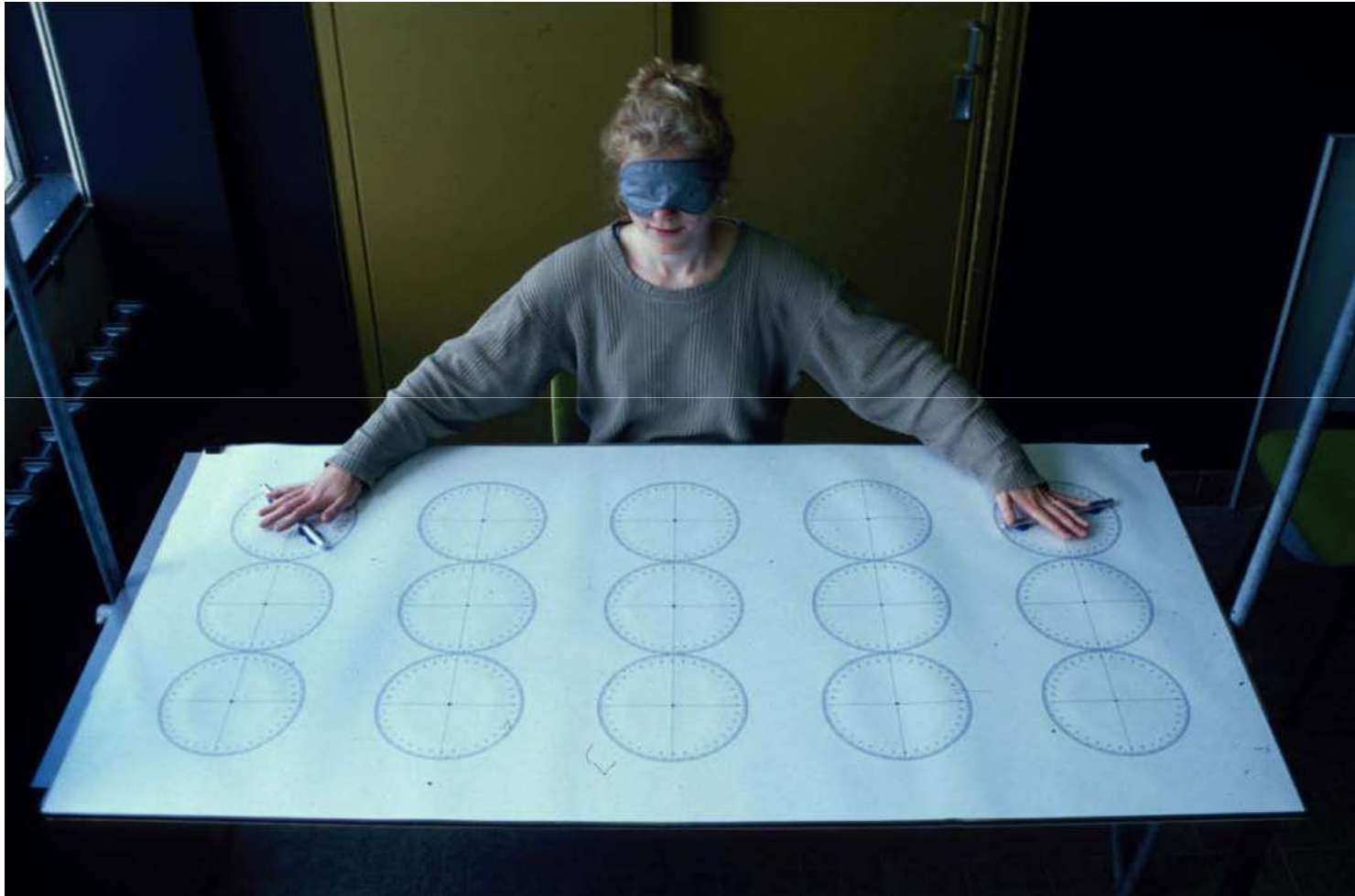
Αφή:

- Υφή επιφάνειας
- Προσανατολισμός
- Σχήμα
- Μέγεθος
- Πίεση
- Καμπυλότητα
- Κίνηση

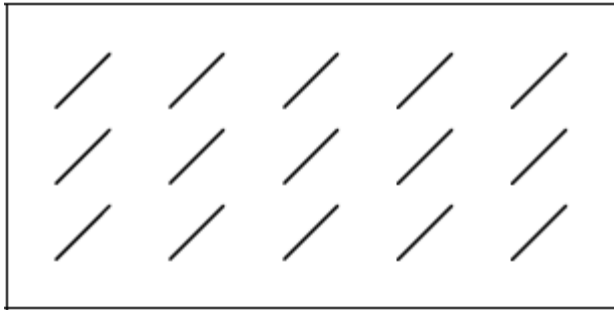
Κιναισθητική:

- Μάζα/Βάρος
 - Δύναμη
 - Σκληρότητα
 - Ιξώδες
- ## Θερμική
- Κρύο
 - Ζέστη

Σύστημα συντεταγμένων



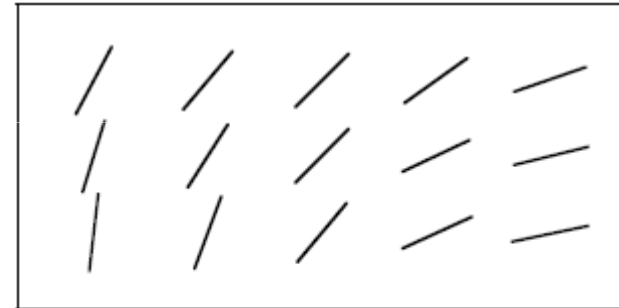
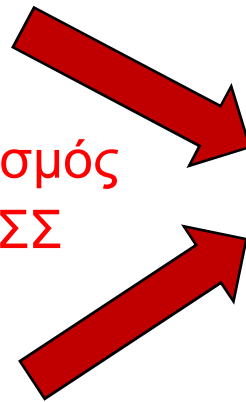
Σύστημα συντεταγμένων



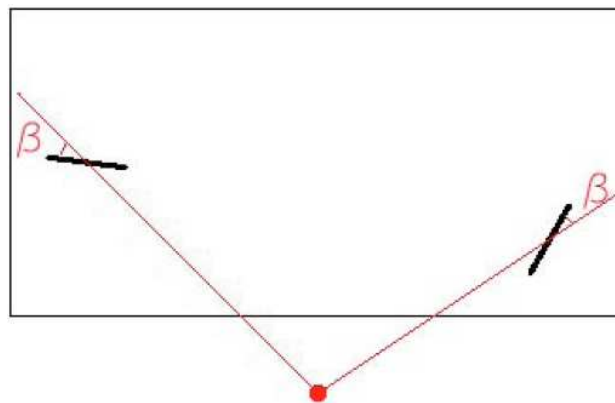
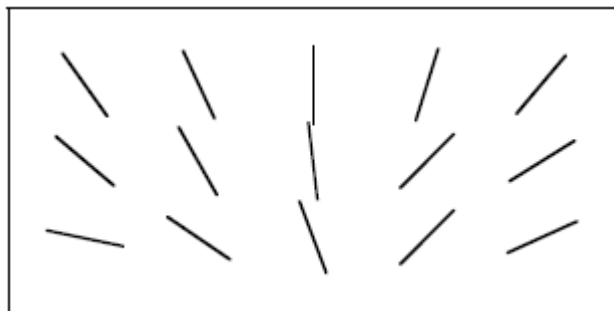
Γεωμετρικό ΣΣ



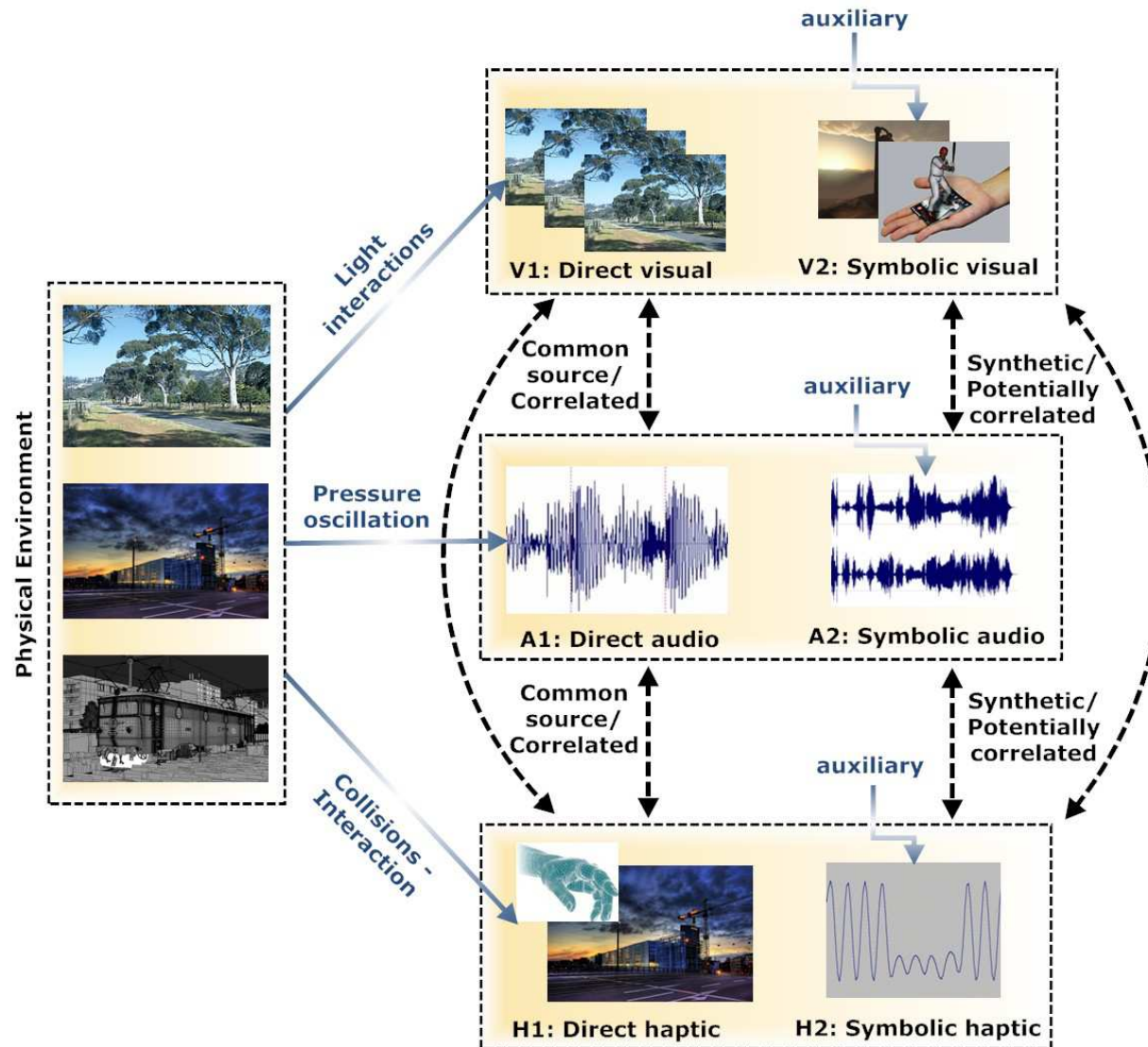
Συνδυασμός
Απτικού ΣΣ



Εγκεντρικό ΣΣ



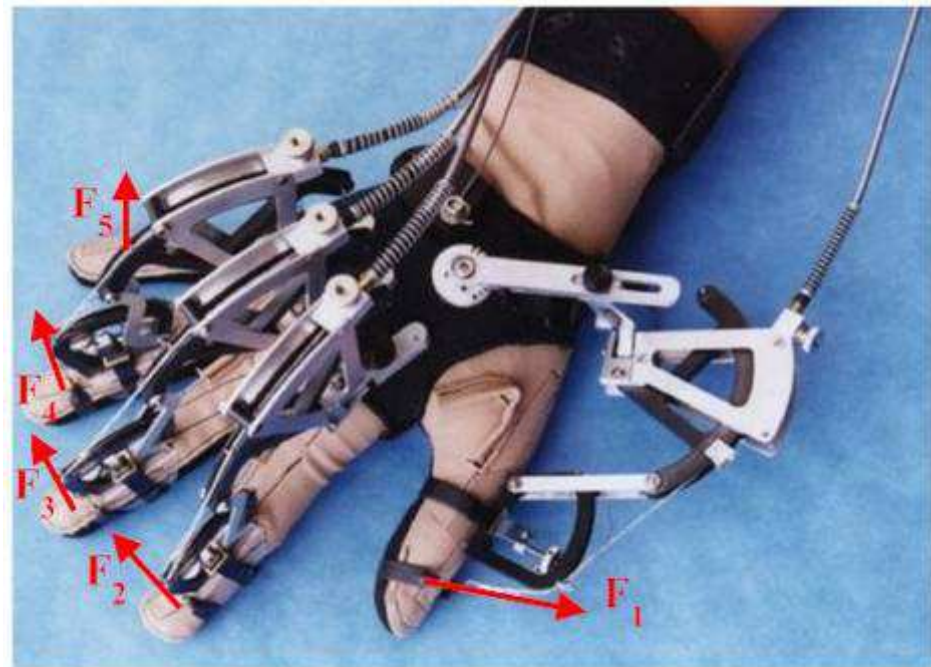
Η αφή ως μέσο αλληλεπίδρασης



Απτικές συσκευές

Απτικές συσκευές:

- Συσκευές αφής
- Συσκευές ανάδρασης δύναμης
 - Εξωσκελετικά
 - Συσκευές ενός σημείου αλληλεπίδρασης

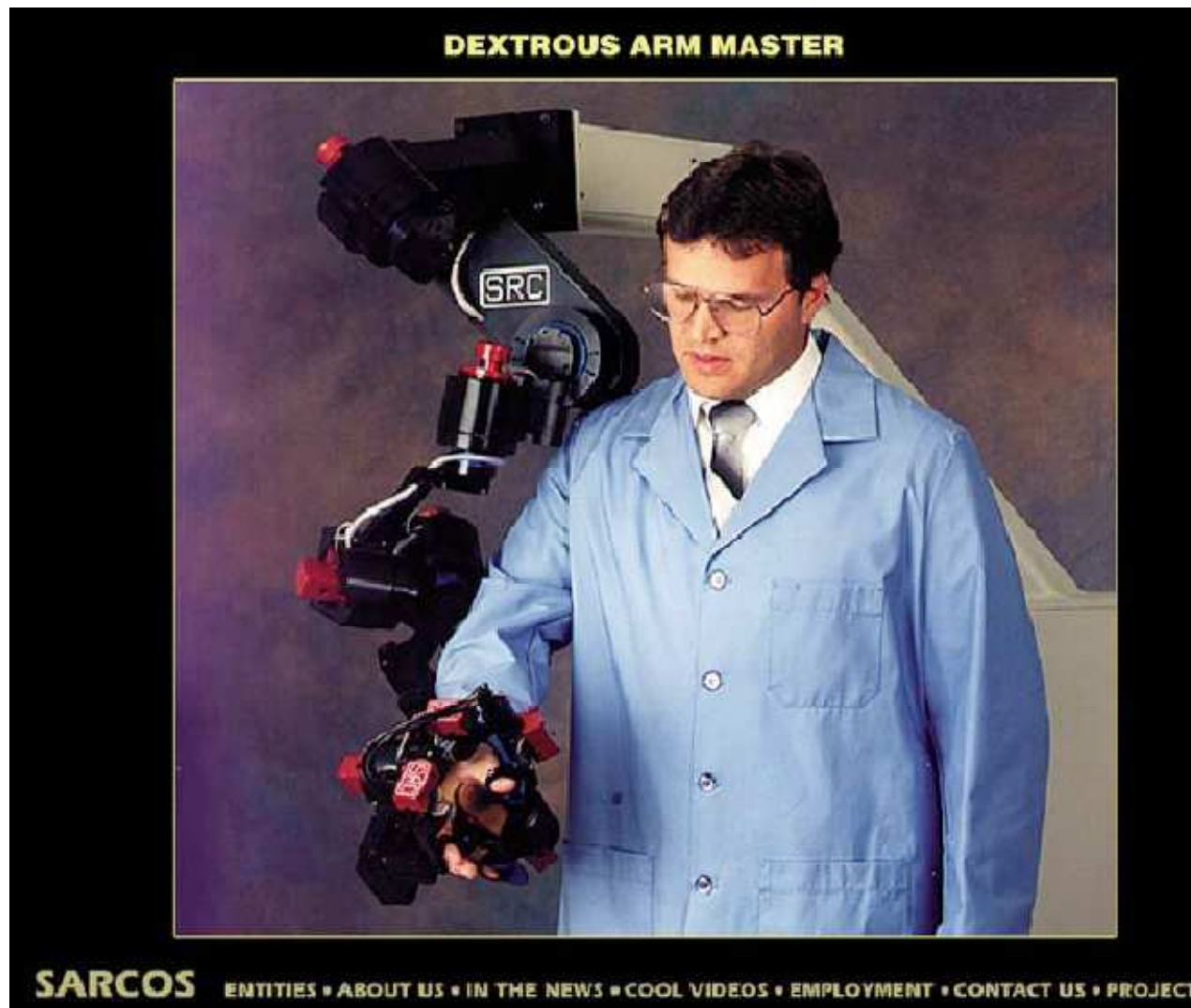


Απτικές συσκευές

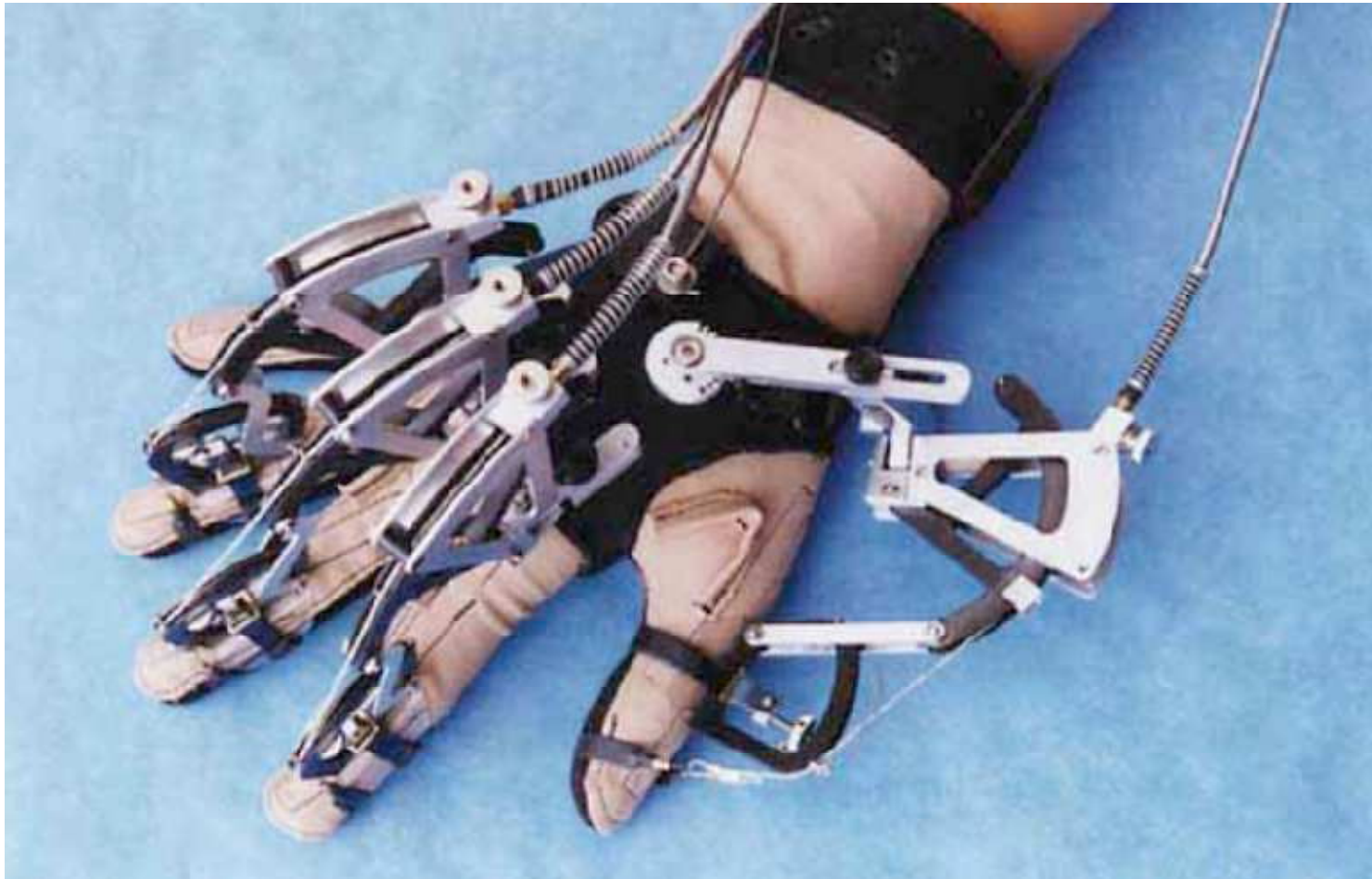
- Burdea – Rutgers Dexterous Master



Απτικές συσκευές



Απτικές συσκευές

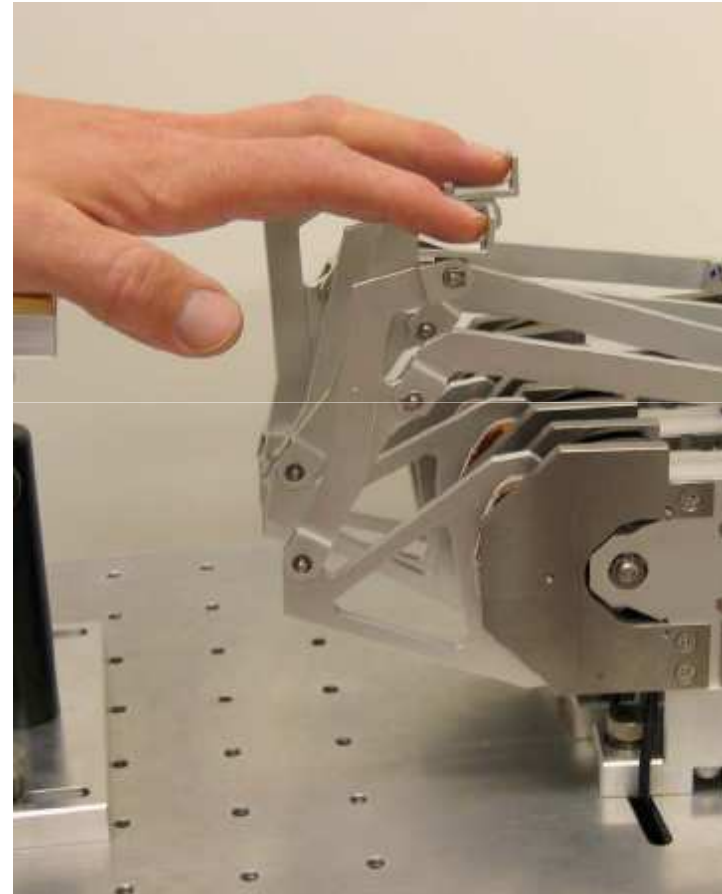
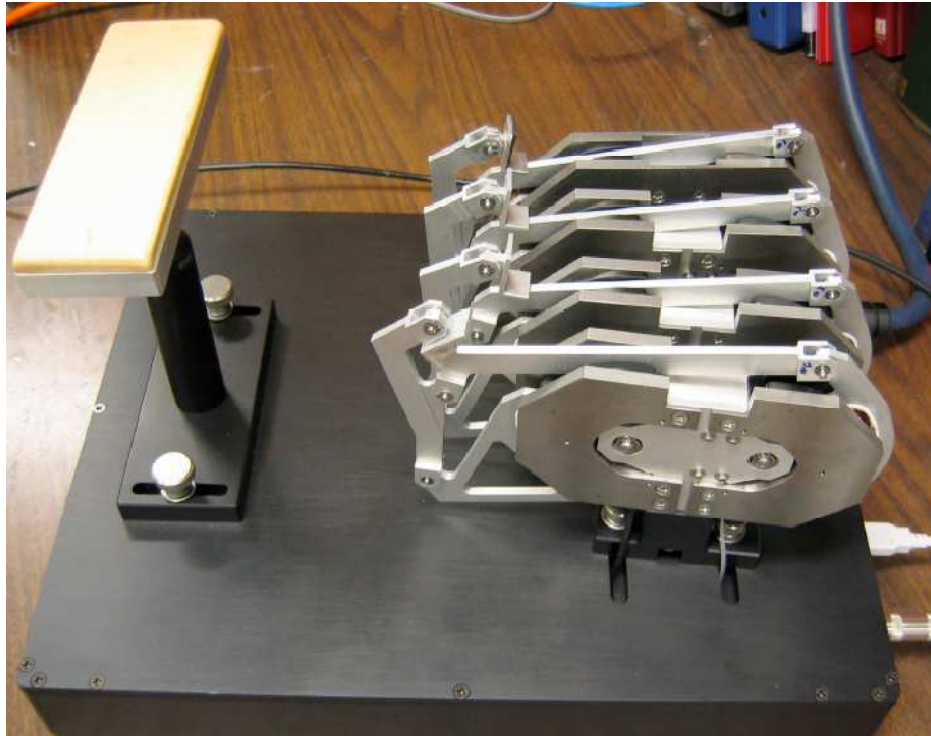


Απτικές συσκευές

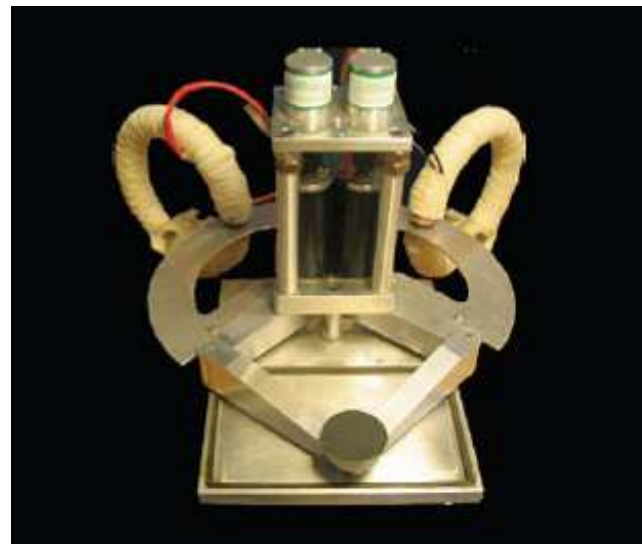
- Πανεπιστήμιο του Τόκιο: Sensing Glove II
- 20 βαθμών ελευθερίας



Απτικές συσκευές

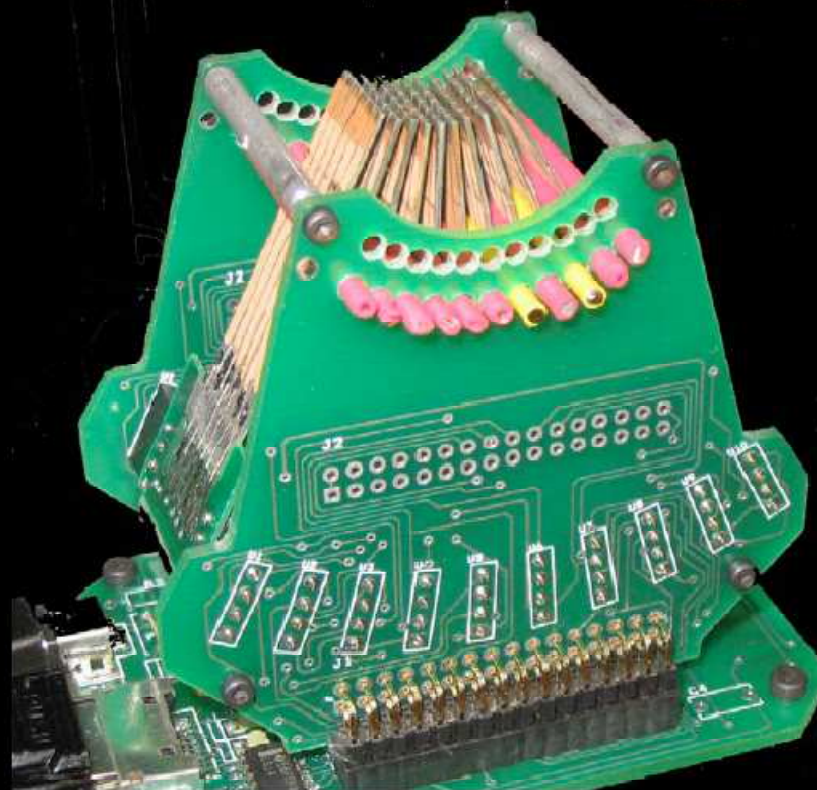
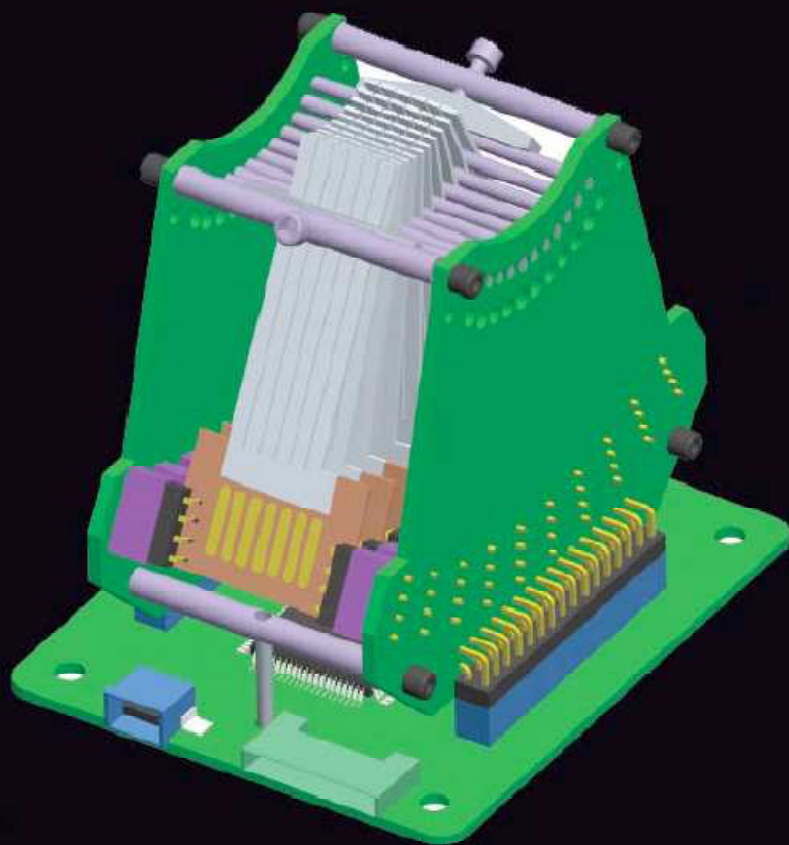


Απτικές συσκευές



Απτικές συσκευές

“STReSS²”



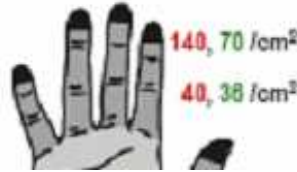
Απτικές συσκευές



Συσκευές vs αισθητηρίων

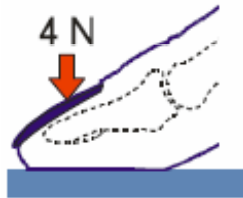
Αισθητήρια

Πολλά αισθητήρια



Απευθείας αίσθηση
αφής

Παραμόρφωση



Συσκευές

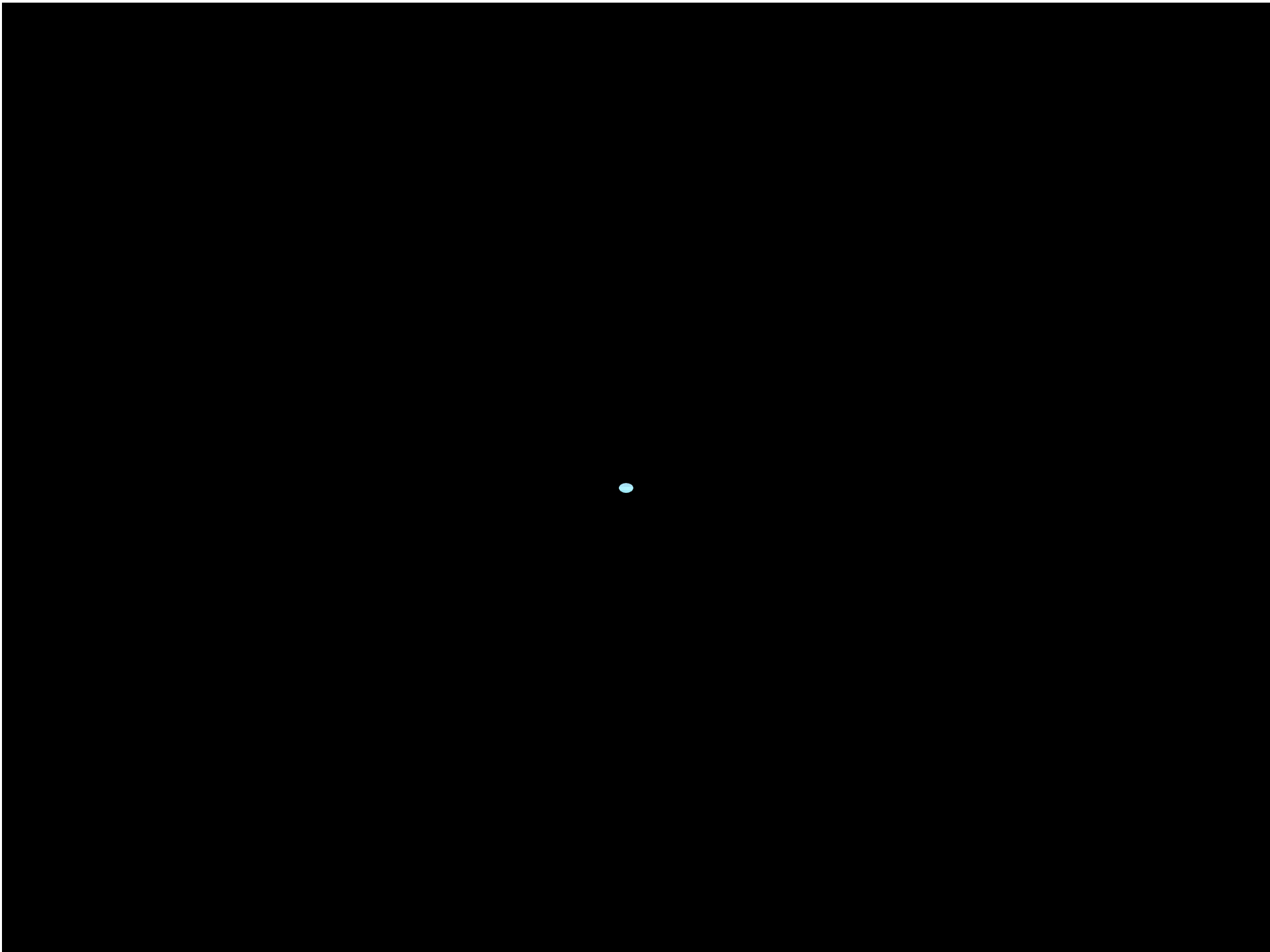
Ένας αισθητήρας
(x N)



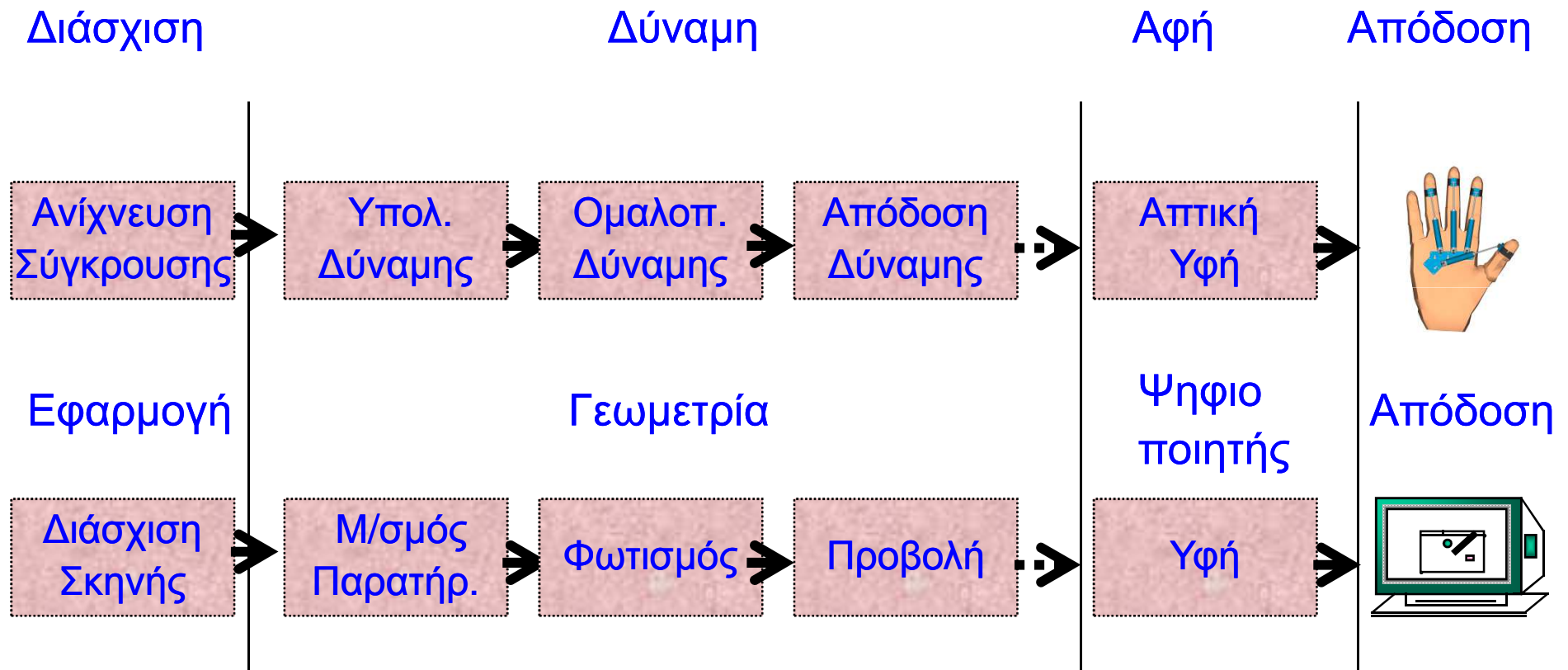
Μέσω κίνησης

N/A

- Οι απτικές συσκευές δρουν ως φίλτρο στους αισθητήρες αφής του ανθρώπου
- Πώς θα βλέπαμε μία οπτική σκηνή μέσω ενός αντόστοιχου φίλτρου;



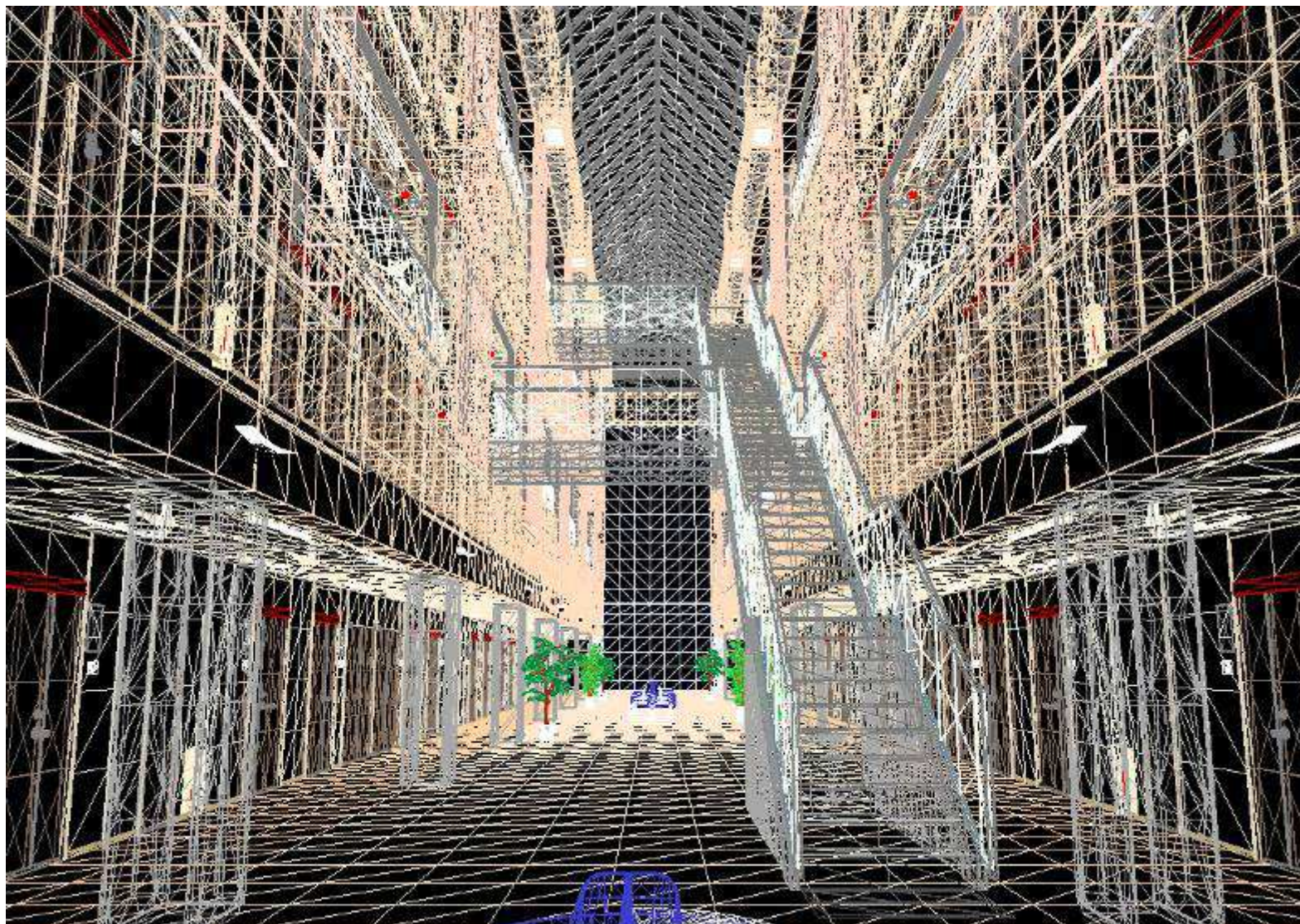
Διαδικασία απτικής απόδοσης



Ανίχνευση σύγκρουσης

- Η σύγκρουση είναι μακροσκοπικά ένα από τα ισχυρότερα “εργαλεία” της φύσης
 - Αλληλεπίδραση αντικειμένων
 - Περπάτημα
 - Οι μηχανές βασίζονται στις συγκρούσεις
 - Πηγή ήχου
- Στον πραγματικό κόσμο αναλαμβάνουν οι φυσικοί νόμοι και η ύλη.
- Στον κόσμο του υπολογιστή; Στον εικονικό κόσμο γενικότερα;

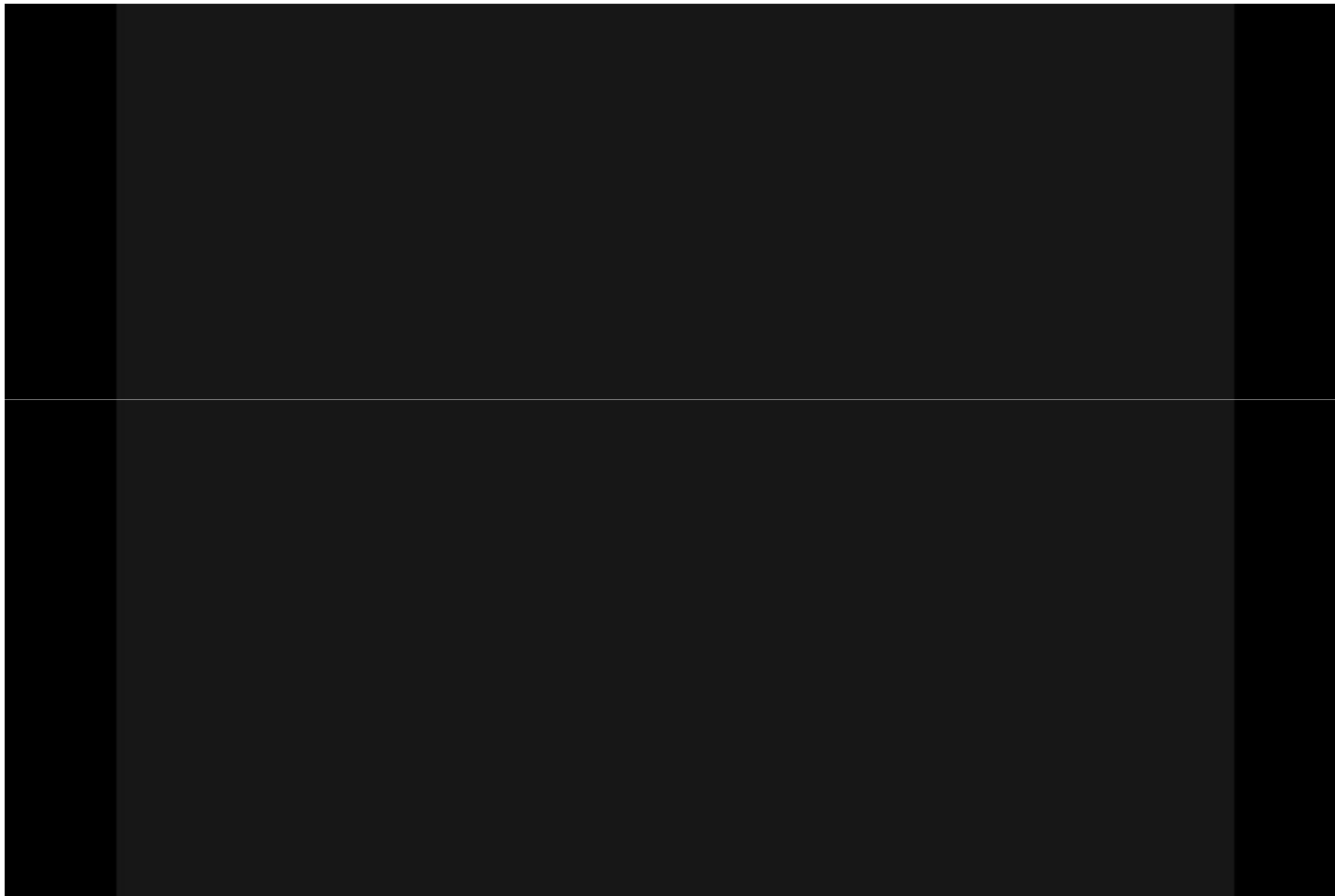
Ανίχνευση σύγκρουσης



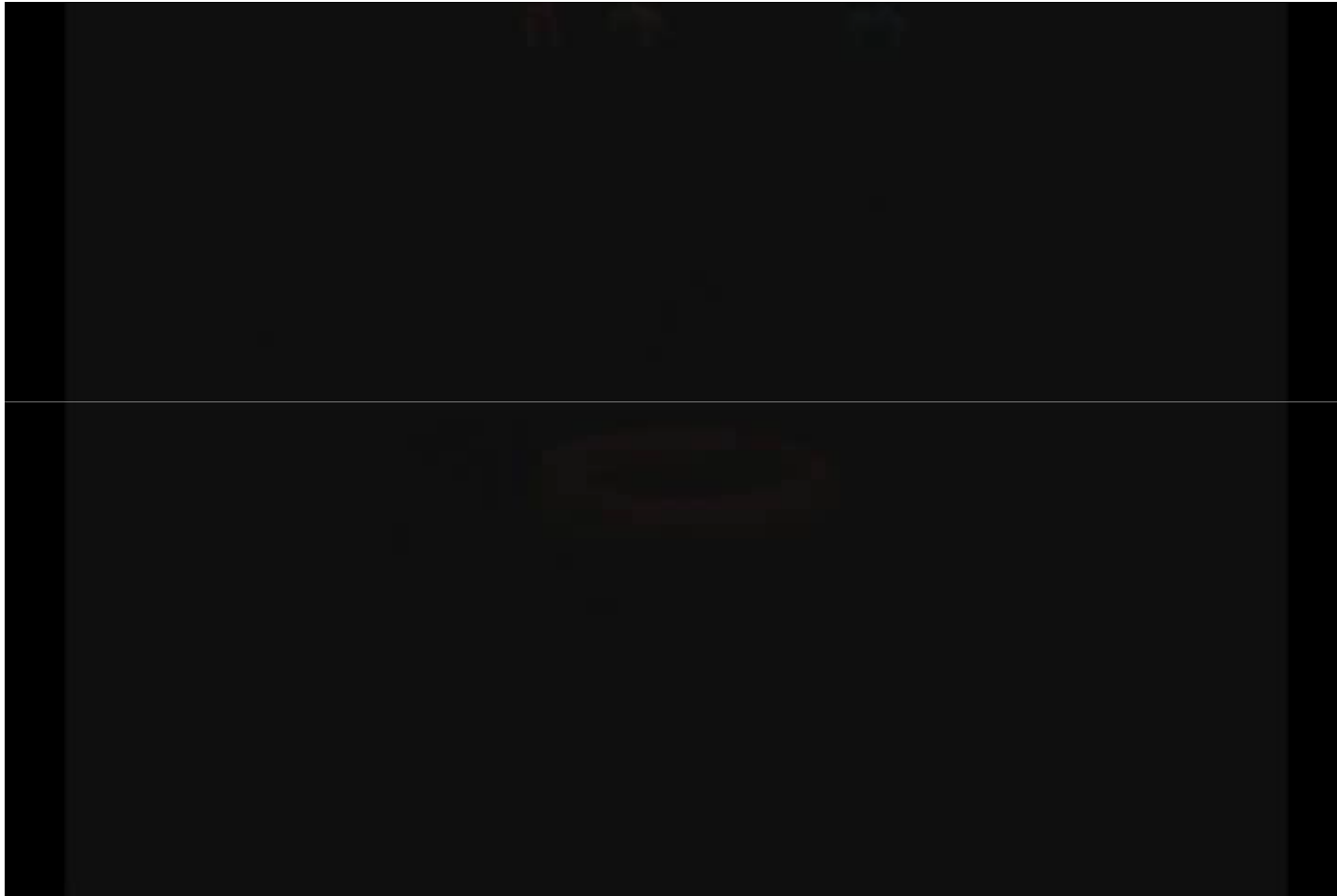
Ανίχνευση σύγκρουσης



Παράδειγμα αλγορίθμου



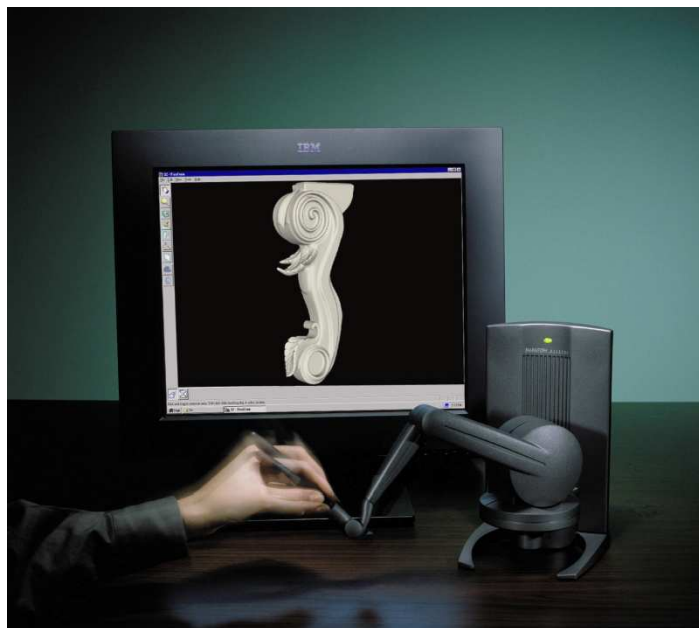
Τι θέλουμε όμως;



Αλληλεπίδραση στερεών σωμάτων

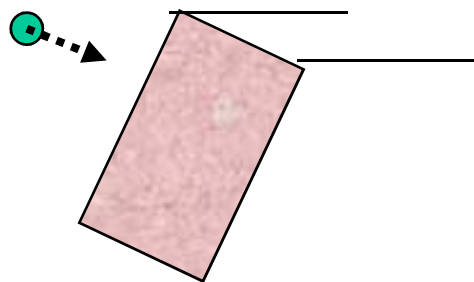
- Ο υπολογιστής ή το εικονικό περιβάλλον προϋποθέτει ότι ο χρήστης κρατάει ένα ιδεατό στερεό σώμα μέσω της συσκευής απτικής ανάδρασης
- Το στερεό αυτό σώμα αλληλεπιδρά με άλλα στερεά σώματα στο εικονικό περιβάλλον
- Στη γενική περίπτωση ($F=kx$) τίποτα δεν είναι αυστηρά στερεό!!

Αλληλεπίδραση στερεών σωμάτων



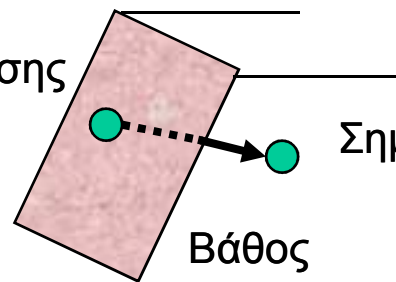
Απτική συσκευή

Σημείο αλληλεπίδρασης



Πολύγωνο αντικειμένου

Σημείο αλληλεπίδρασης



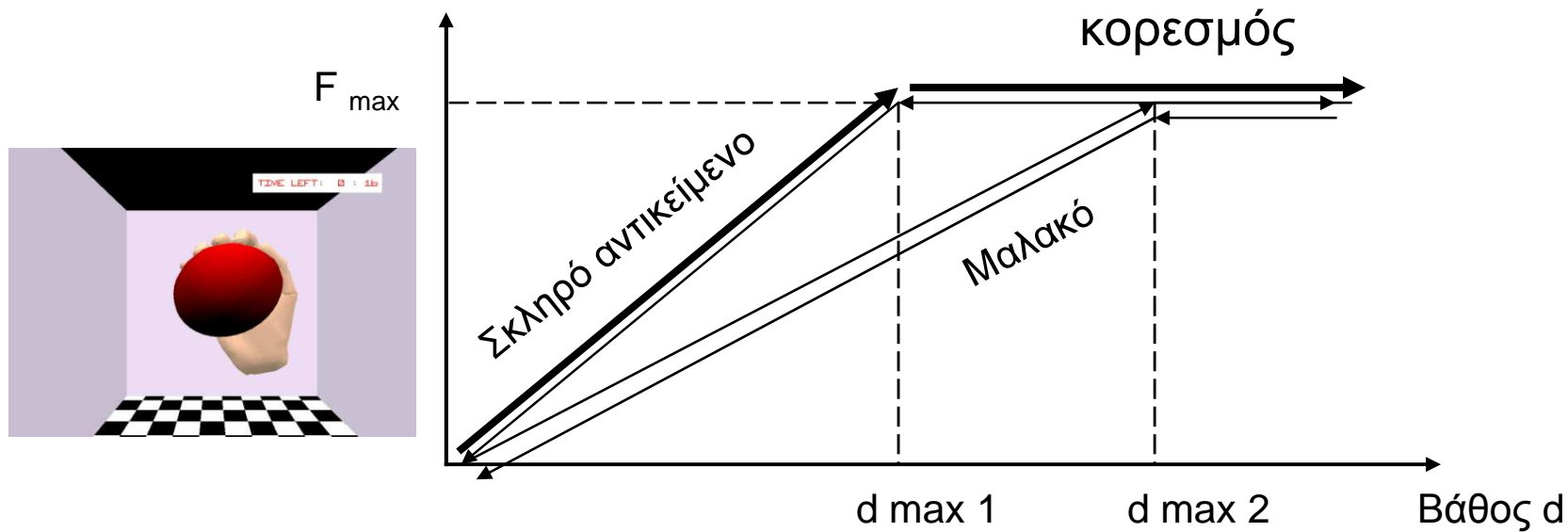
Σημείο αλληλεπίδρασης

Βάθος

Ελαστικά αντικείμενα

$$F = \begin{cases} K \cdot d, & \text{για } 0 \leq d \leq d_{\max} \\ F_{\max} & \text{για } d_{\max} < d \end{cases}$$

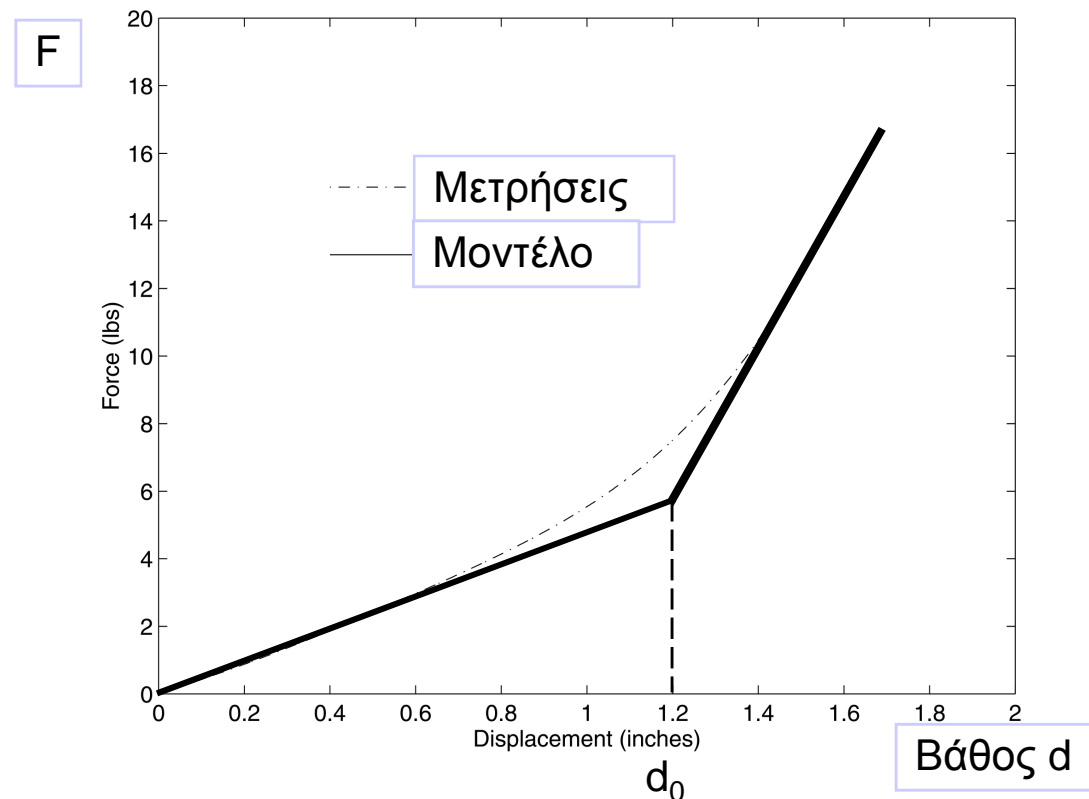
όπου F_{\max} είναι η μέγιστη δύναμη που μπορεί να σκίσει η απτική συσκευή



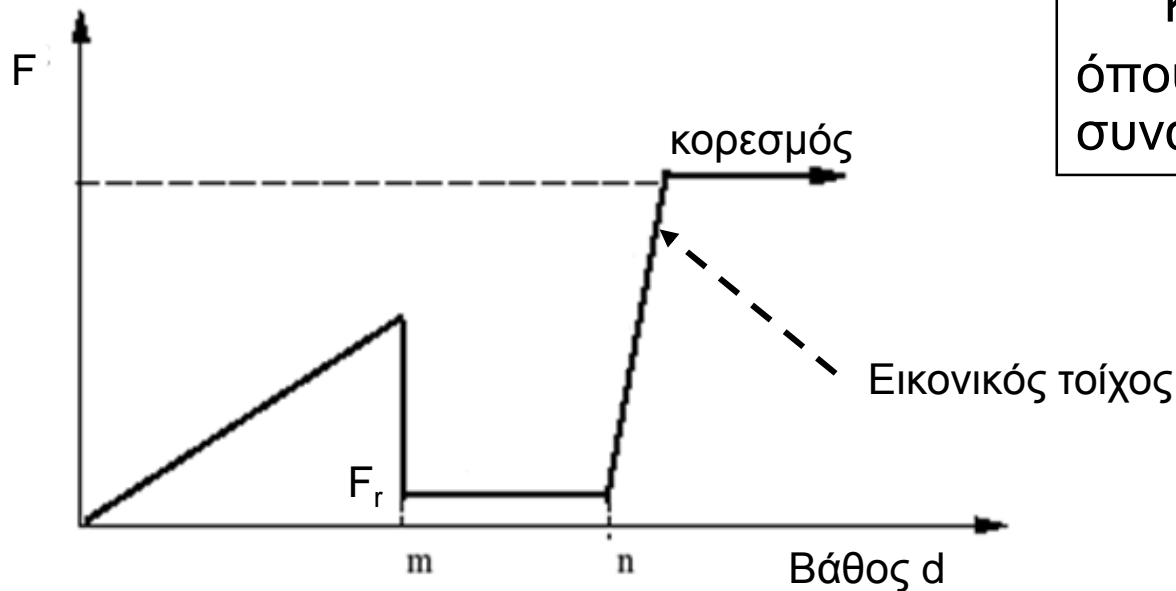
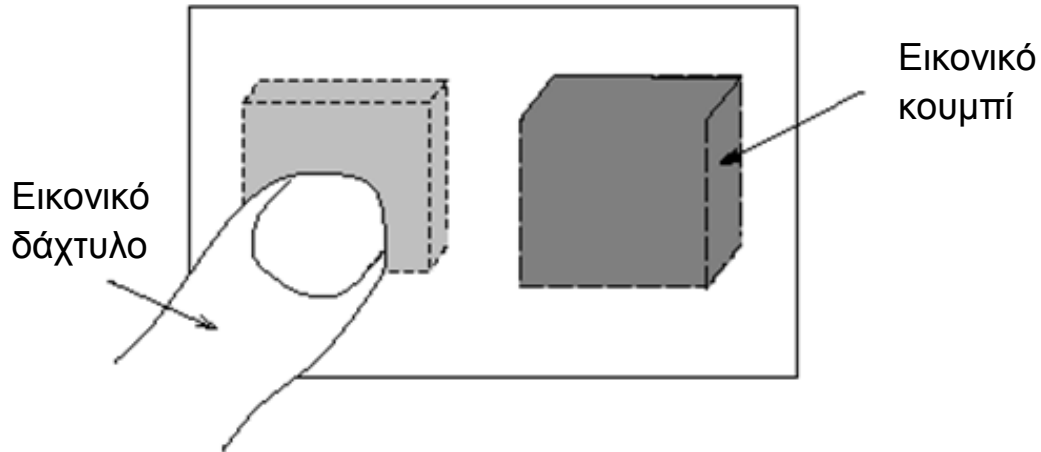
Ελαστικά αντικ. (ανομοιογενή)

$$F = \begin{cases} K_1 \cdot d, & \text{για } 0 \leq d \leq d_0 \\ K_1 \cdot d_0 + K_2 \cdot (d - d_0), & \text{για } d_0 \leq d \end{cases}$$

όπου d_0 είναι το σημείο αλλαγής της ελαστικότητας



Παράδειγμα (εικονικό κουμπί)

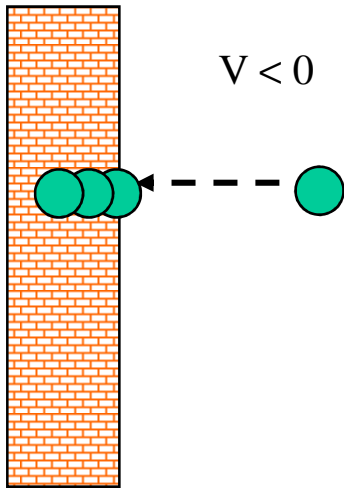


$$F = K_1 \cdot d (1 - u_m) + F_r \cdot u_m + K_2 \cdot (d - n) u_n$$

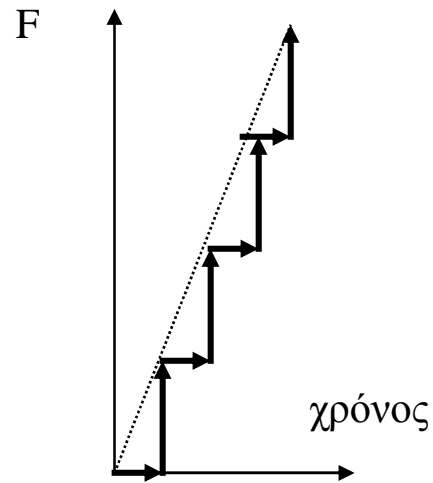
όπου u_m και u_n μοναδιαίες συναρτήσεις βήματος

Παράδειγμα (τοίχος)

Εικονικός τοίχος



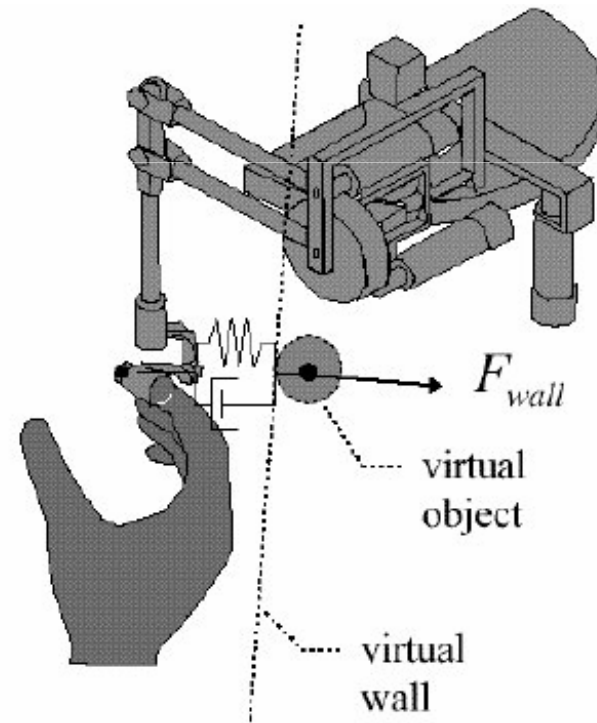
Σύγκρουση με τοίχο



Λύσεις:

Υψηλή συχνότητα

$$F = K_{wall} \cdot \Delta x + B v$$



Παραδείγματα υπολογισμού δύναμης

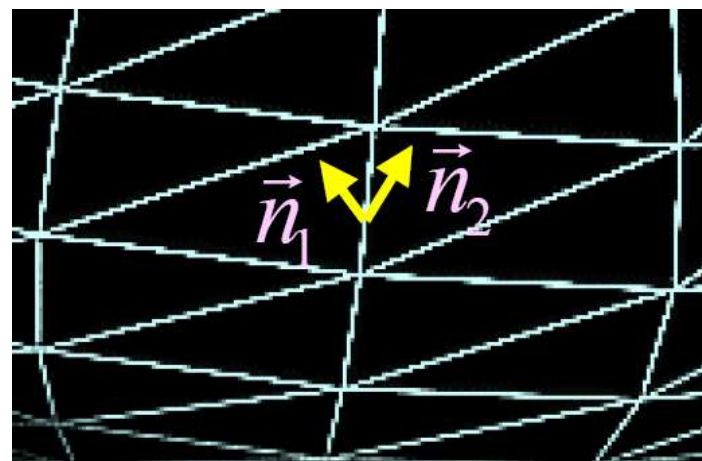
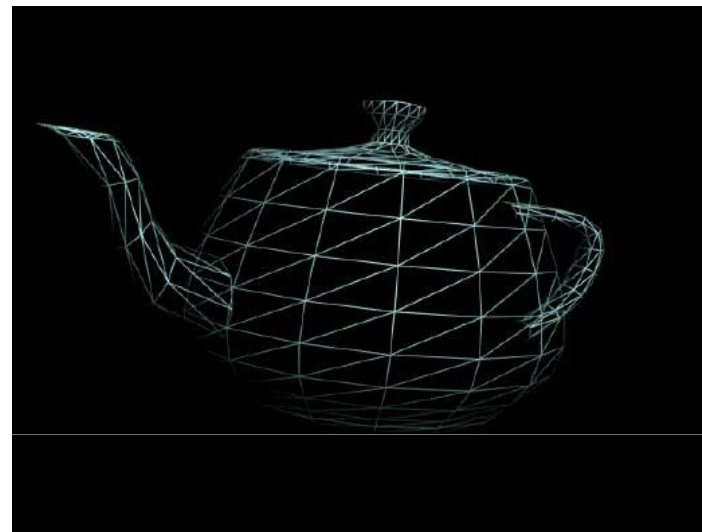
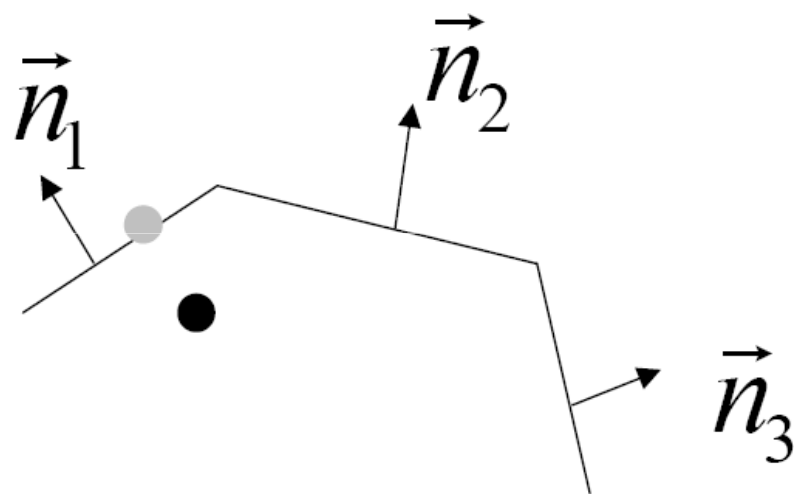
- Παραδείγματα:
 - Κατακόρυφος τοίχος, σημειακό αντικείμενο
 - Κατακόρυφος τοίχος, σφαιρικό αντικείμενο
 - Σφαίρα-σφαίρα
 - Τοίχος υπό κλίση
 - Εντός παραλληλεπιπέδου
 - Εκτός παραλληλεπιπέδου
- Μειονεκτήματα penalty-based μεθόδων
- Proxy-object (god-object)

Ομαλοποίηση δύναμης

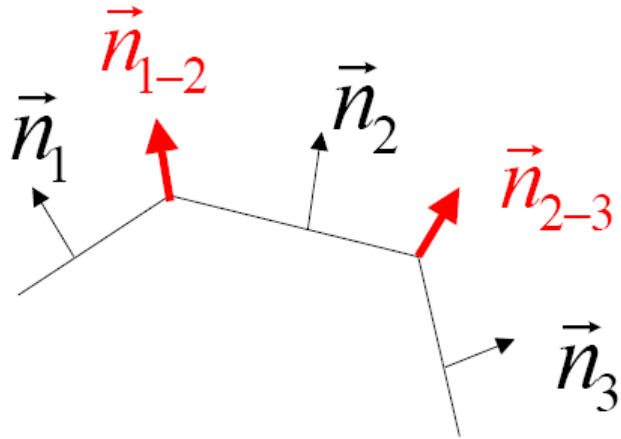
Έχει ως στόχο την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων κυρίως με τις εξής τεχνικές:

- Προσθήκη απόσβεσης
- Απόσβεση τριβής
- Σκίαση δύναμης (force shading)
- Οπτική ανάδραση σκληρότητας

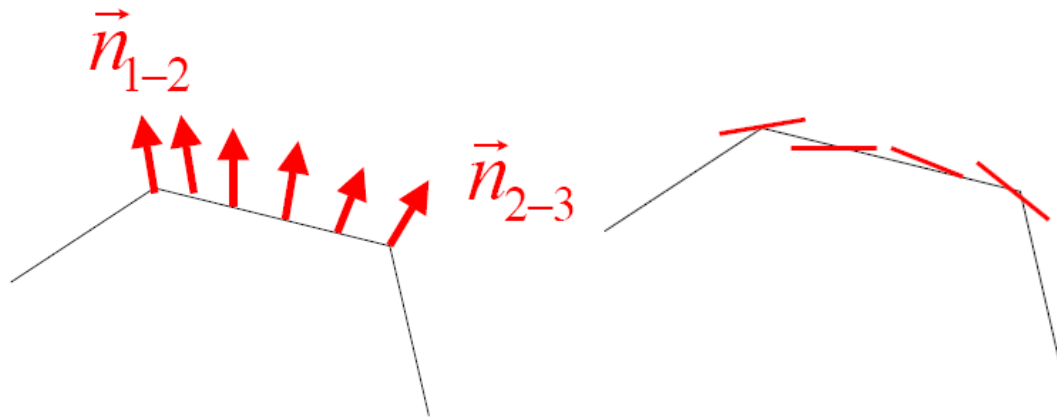
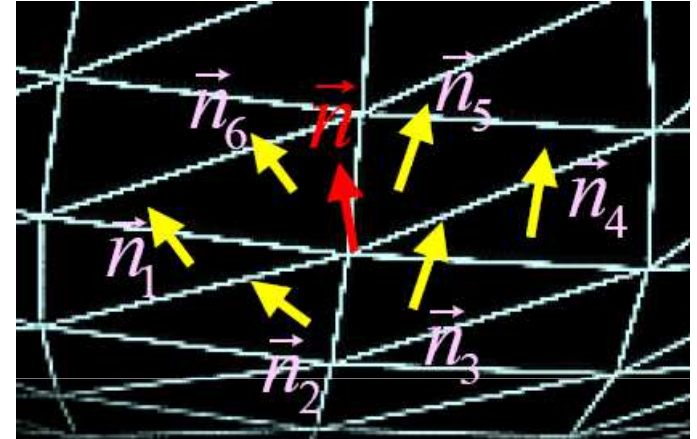
Ασυνέχειες δύναμης



Σκίαση δύναμης

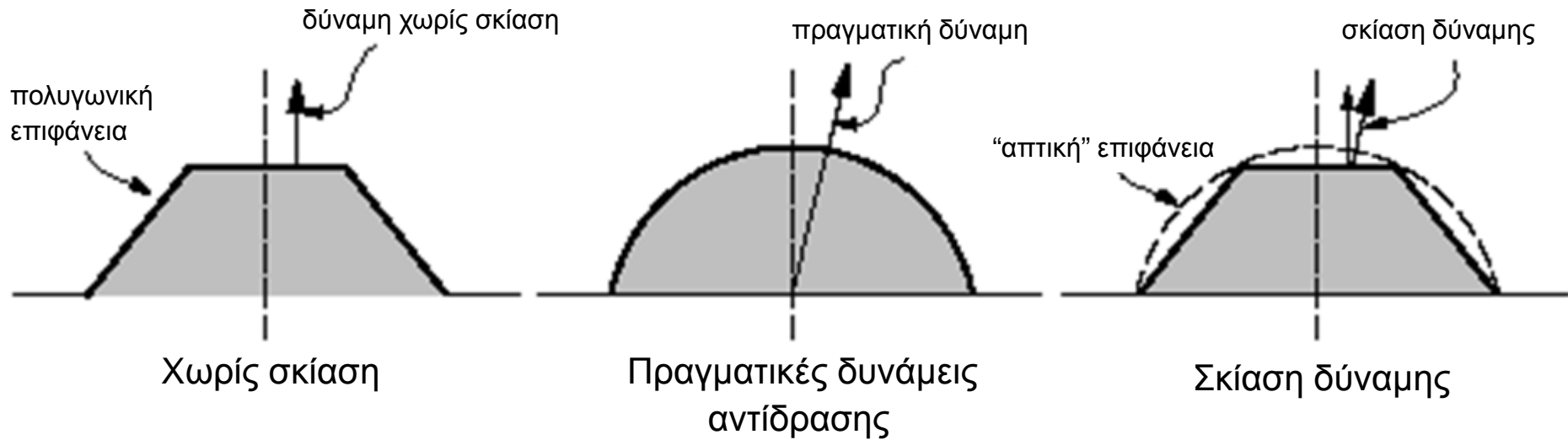


$$\vec{n}_{1-2} = \frac{\vec{n}_1 + \vec{n}_2}{|\vec{n}_1 + \vec{n}_2|}$$



$$\vec{n} = \frac{\vec{n}_1 + \vec{n}_2 + \vec{n}_3 + \vec{n}_4 + \vec{n}_5 + \vec{n}_5}{|\vec{n}_1 + \vec{n}_2 + \vec{n}_3 + \vec{n}_4 + \vec{n}_5 + \vec{n}_5|}$$

Σκίαση δύναμης

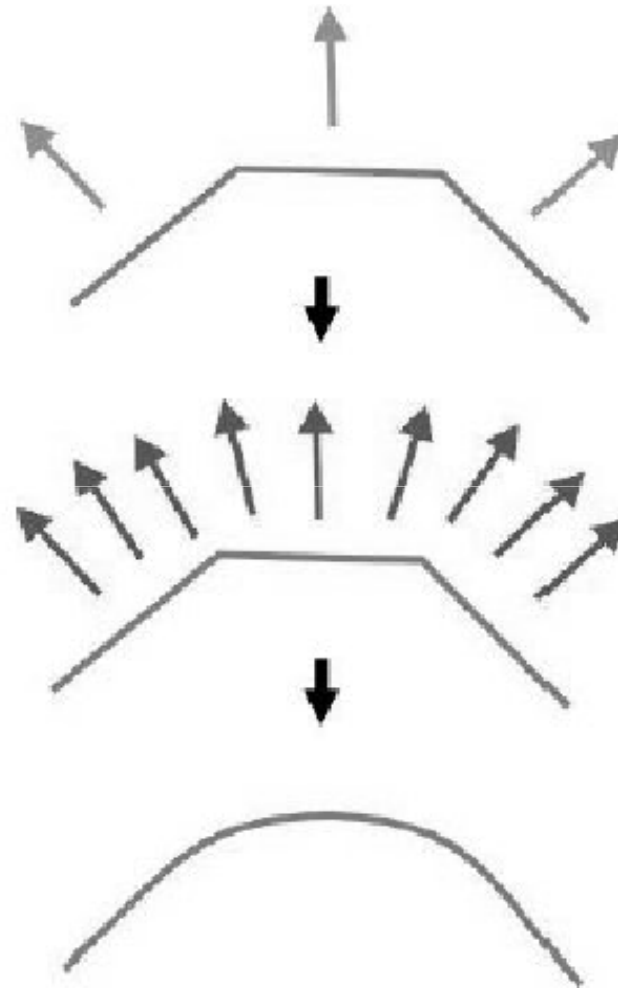


$$F_{\text{σκίασης}} = \begin{cases} K \cdot d \cdot \bar{N}, & \text{για } 0 \leq d \leq d_{\text{max}} \\ F_{\text{max}} \cdot \bar{N}, & \text{για } d_{\text{max}} < d \end{cases}$$

όπου \bar{N} είναι η κατεύθυνση της δύναμης ανάδρασης

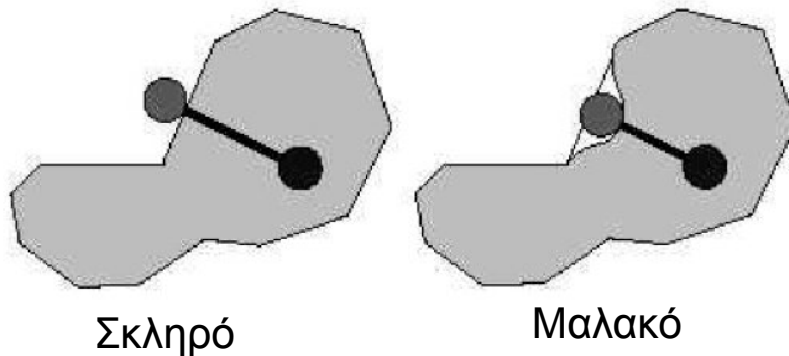
Σκίαση δύναμης

- Κατά αναλογία της φωτοσκίασης Phong στα γραφικά
- Η ελεγχόμενη μεταβολή του διανύσματος της δύναμης ανάδρασης κατά μήκος της επιφάνειας δημιουργεί την ψευδαίσθηση μη-επίπεδης επιφάνειας

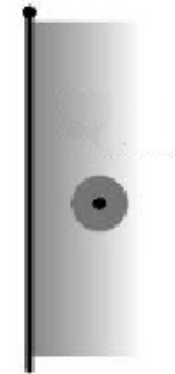


Οπτική ανάδραση σκληρότητας

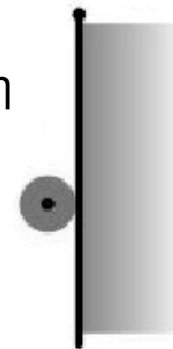
- Δεν απεικονίζεται το σημείο-αντικείμενο αλληλεπίδρασης να διέρχεται μέσω της επιφάνειας ακόμα και αν διέρχεται
- Μελέτες έχουν δείξει ότι αυτή η τεχνική δίνει στο χρήστη την αίσθηση ότι το αντικείμενο είναι πιο σκληρό!



Πραγματική
θέση



Απεικόνιση



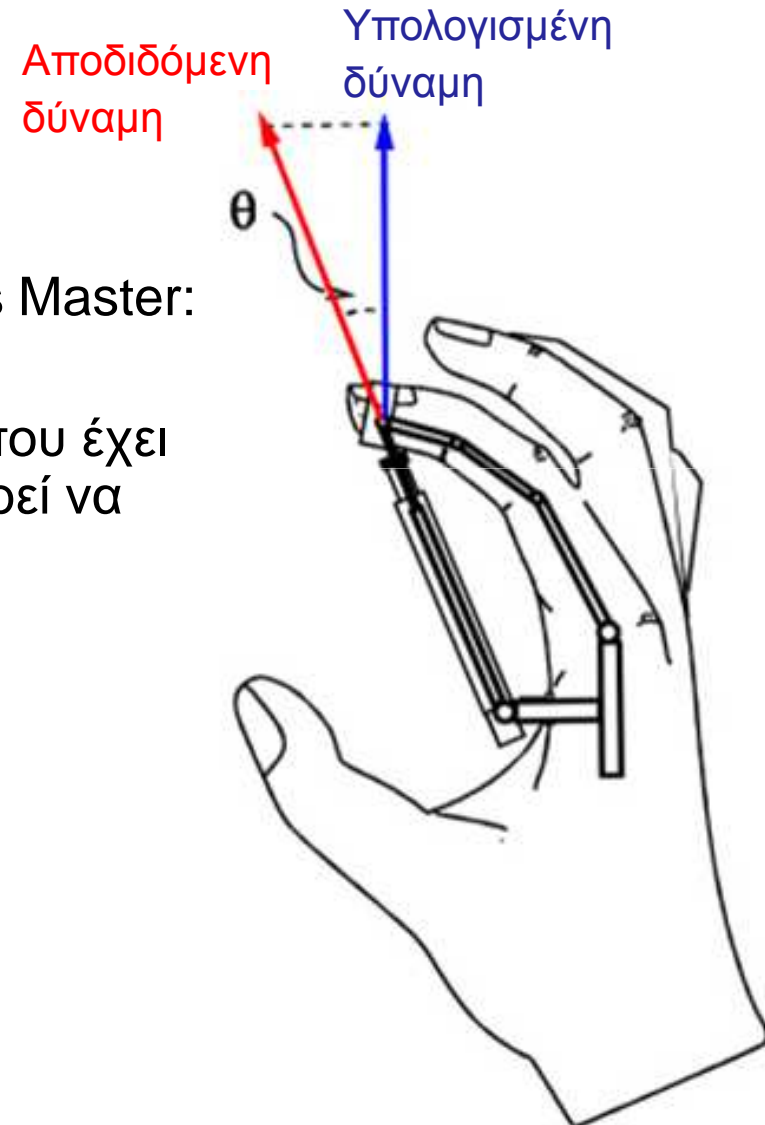
Διαδικασία απτικής απόδοσης

Απόδοση δύναμης για τη συσκευή Rutgers Master:

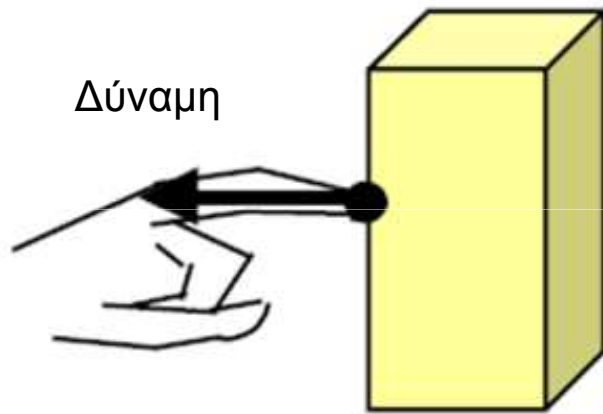
$$F_{\text{αποδ.}} = F \cdot \cos\theta$$

όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της δύναμης που έχει υπολογιστεί και της κατεύθυνσης που μπορεί να ασκήσει δύναμη η συσκευή.

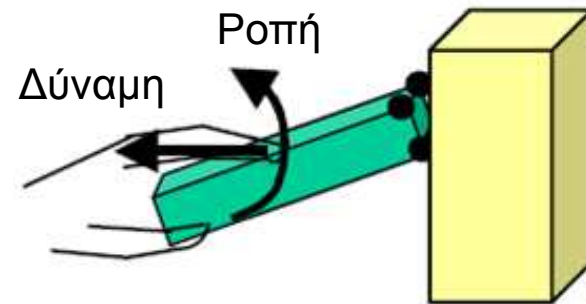
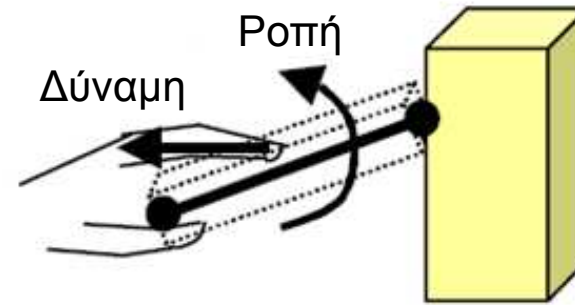
Άλλο παράδειγμα;



Διαδικασία απτικής απόδοσης



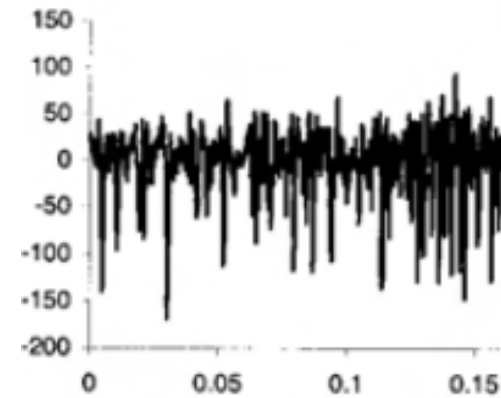
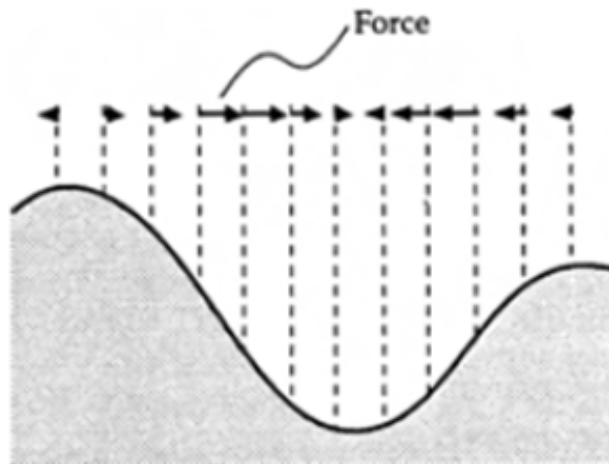
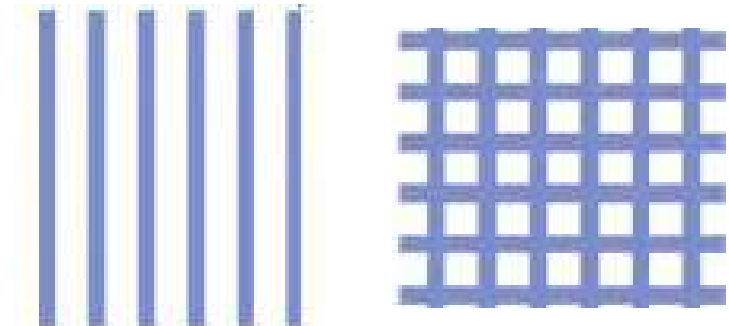
$$\mathbf{F}_A = -f(\delta)\mathbf{n}$$



$$\mathbf{T}_A = (\mathbf{p} - \mathbf{c}_A) \times \mathbf{F}_A$$

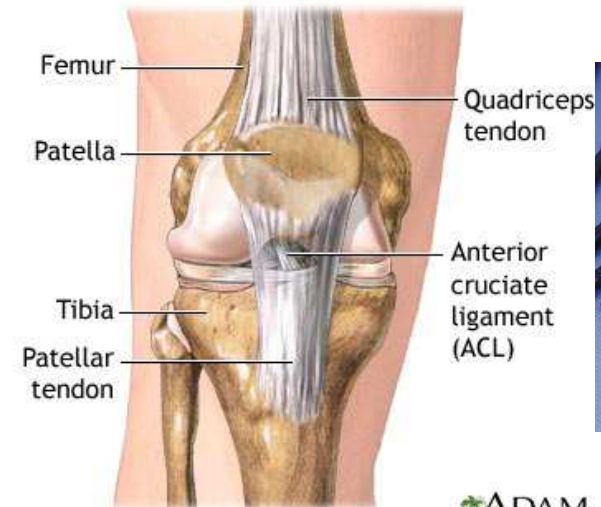
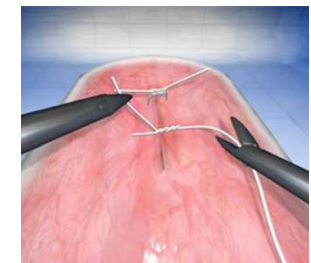
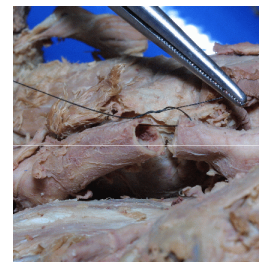
Απτική υφή

- Χάρτες ύψους (Height maps)
- Πεδία τριβής/απόσβεσης
- Στοχαστική υφή
- Εικονική υφή

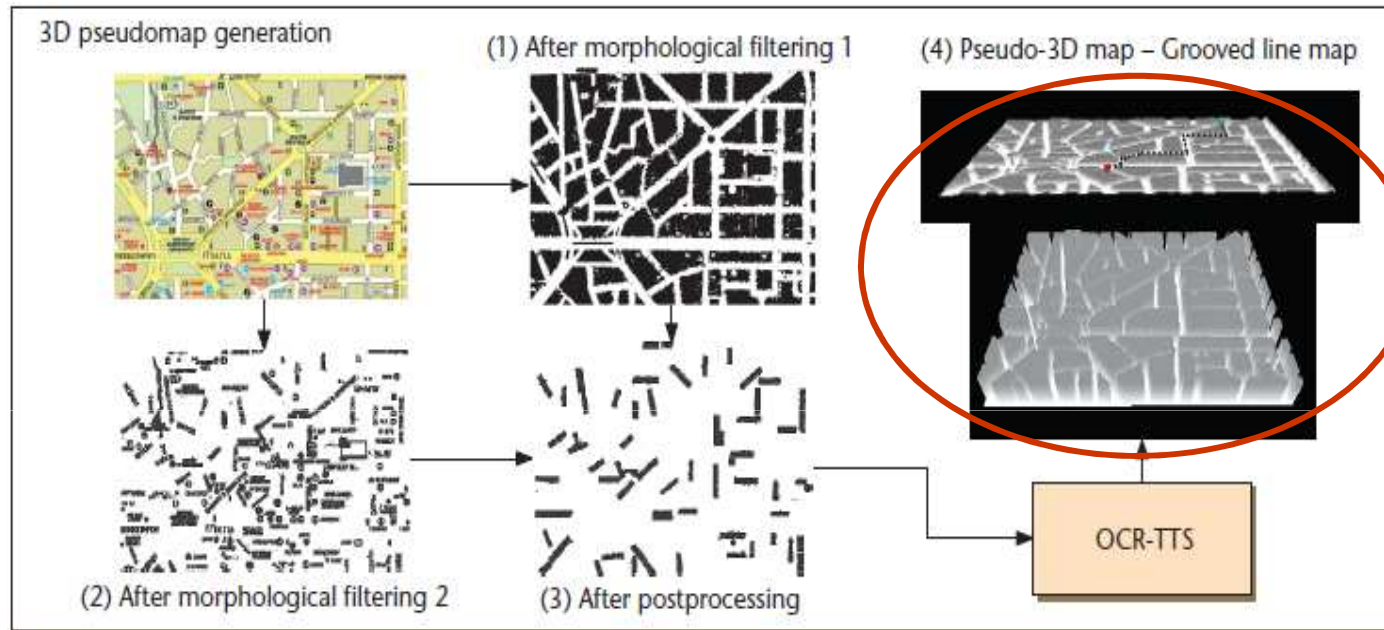


Εφαρμογές

- Εικονική χειρουργική
- Ρομποτική χειρουργική
- Computer aided design
- Ψυχαγωγία
- Απτική οπτικοποίηση
- Εφαρμογές για ΑΜΕΑ
- ...

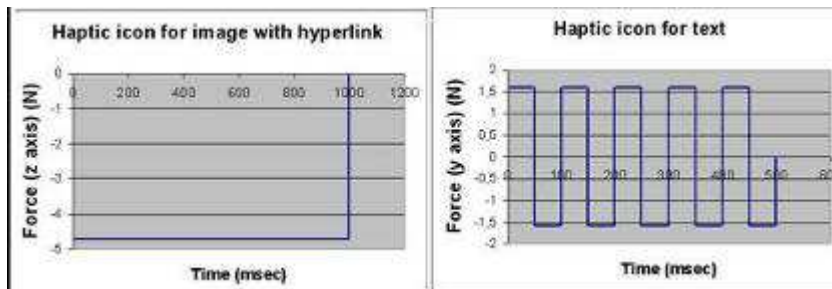
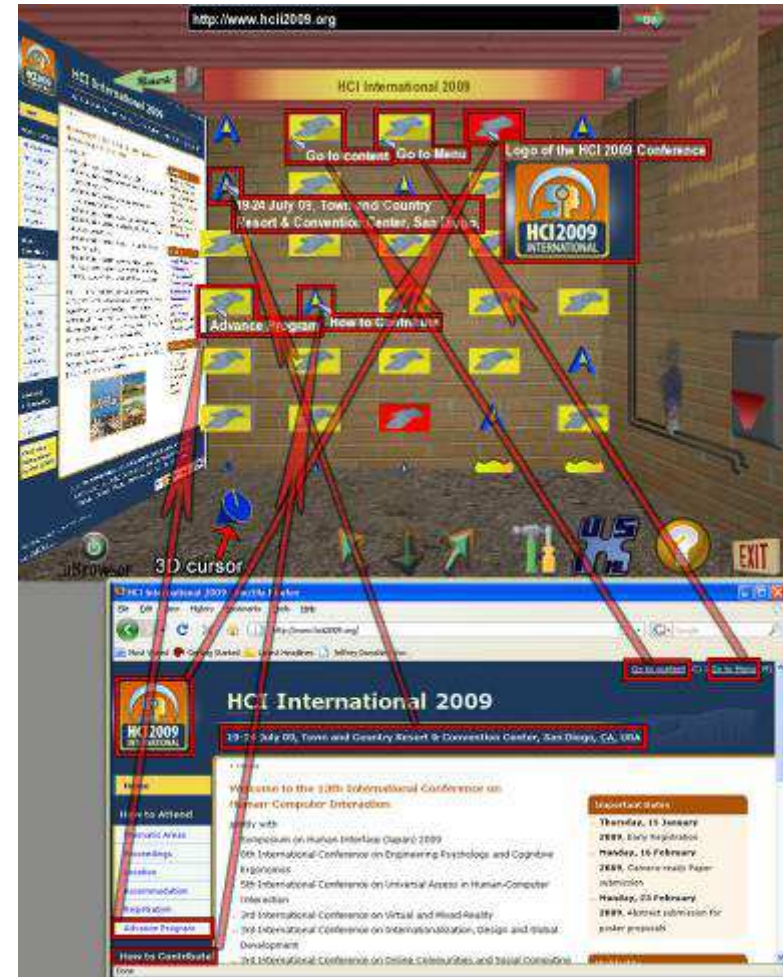


Εφαρμογές



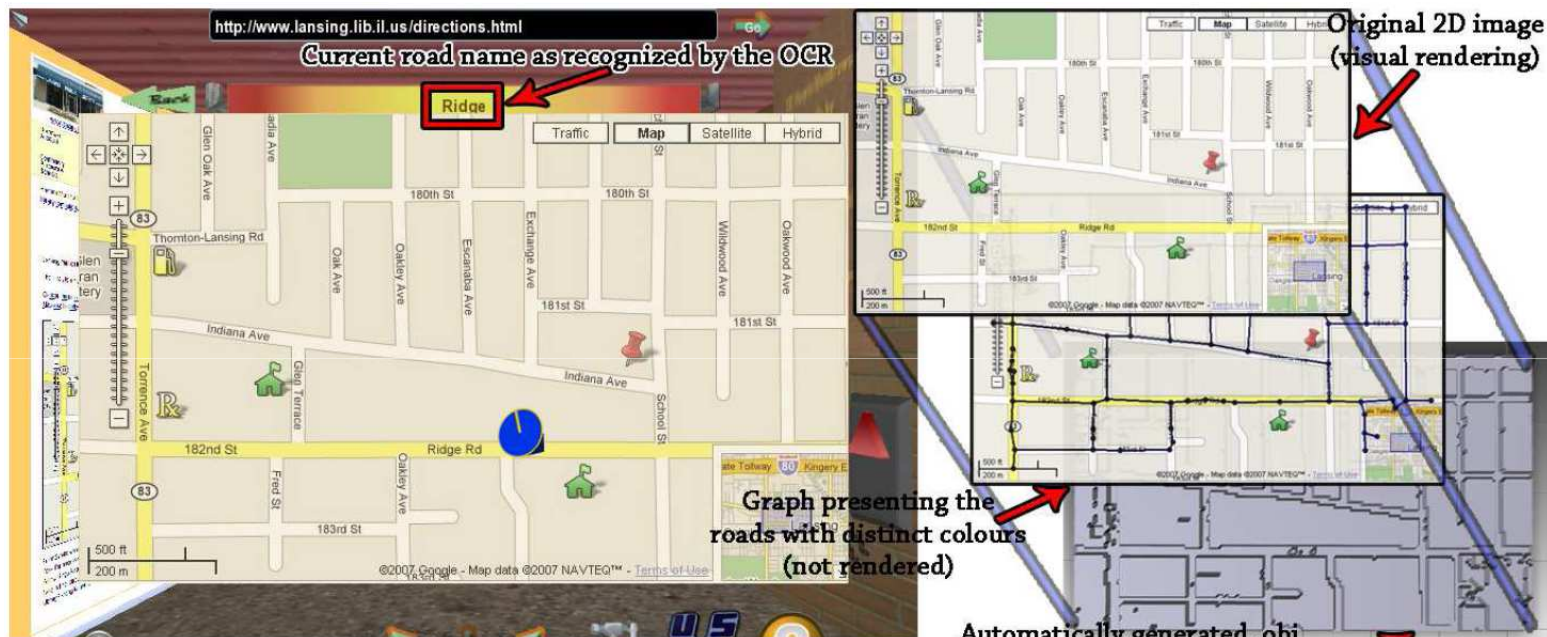
Απτικός χάρτης με
ενσωματωμένη σημασιολογική
πληροφορία

Εφαρμογές



Περιήγηση στο διαδίκτυο για τυφλούς

Εφαρμογές



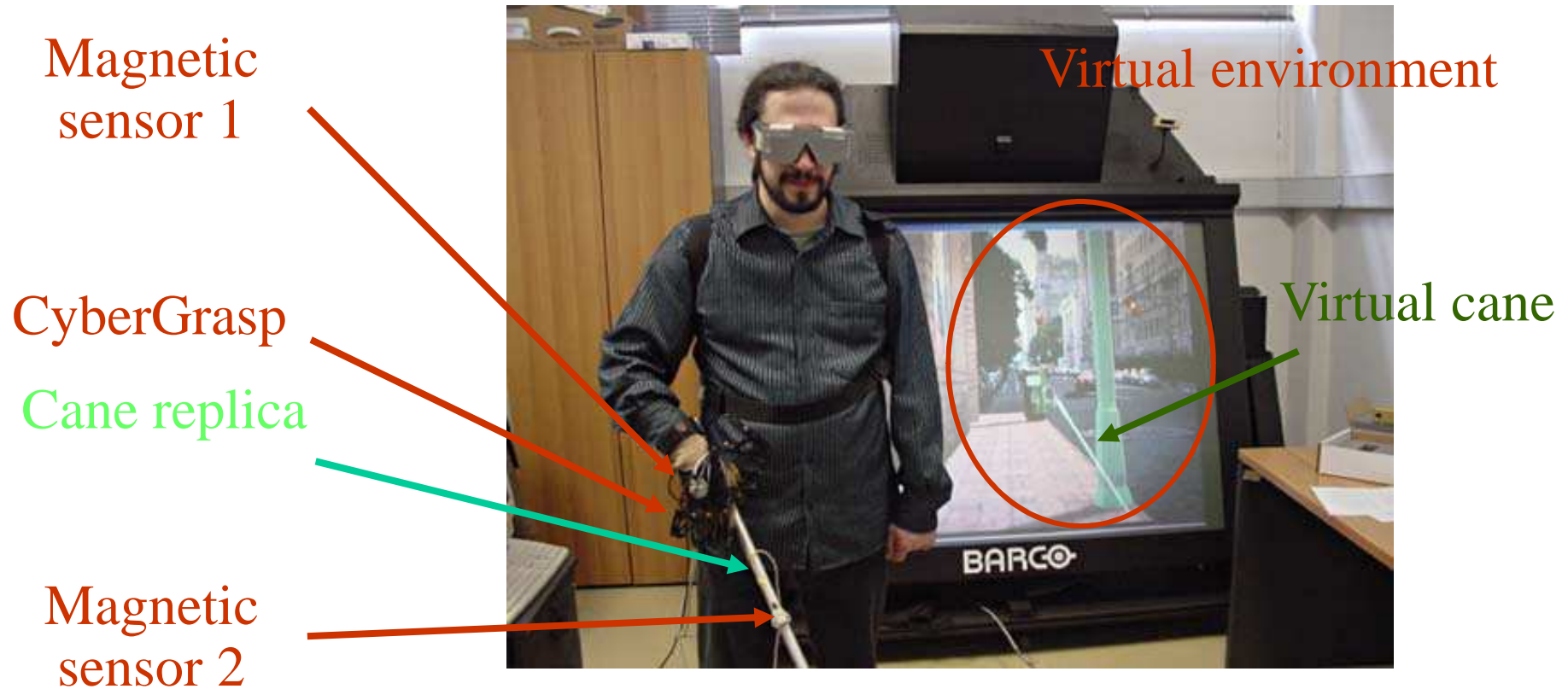
N. Kaklanis, K. Votis, K. Moustakas and D. Tzovaras, "3D HapticWebBrowser: Towards Universal Web Navigation for the Visually Impaired", 7th International Conference on Web Accessibility, W4A 2010, Raleigh, USA, April 2010.

Εφαρμογές



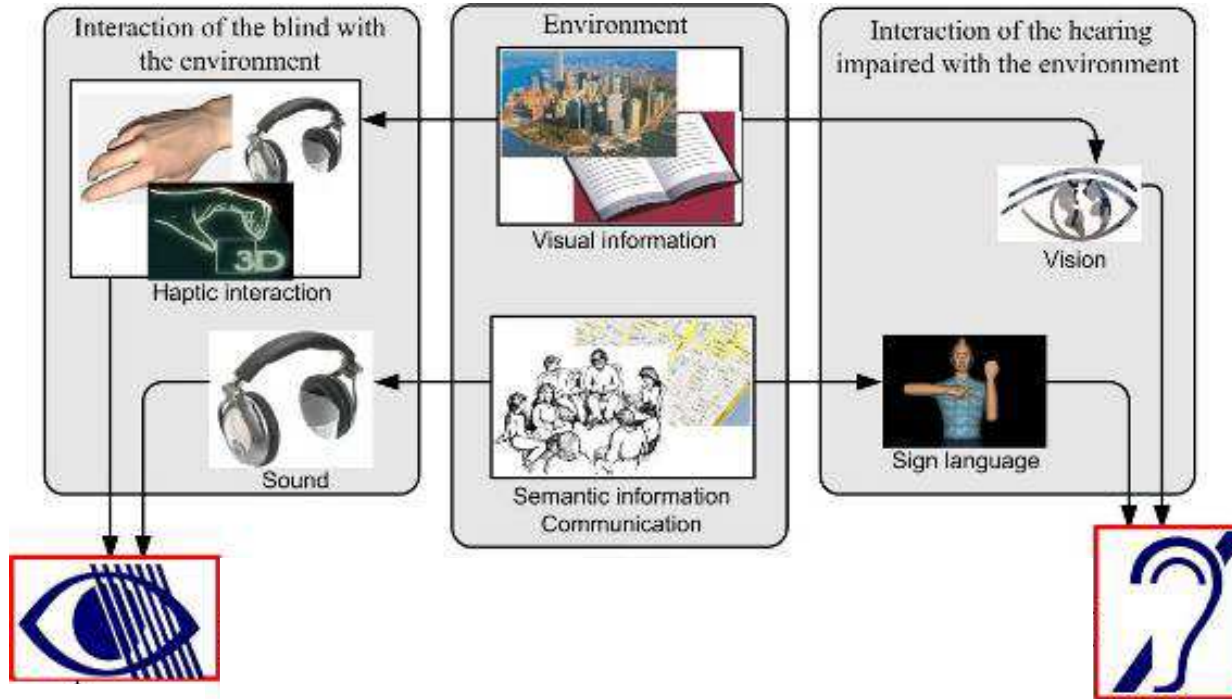
D. Tzovaras et.al., “Design and implementation of haptic virtual environments for the training of the visually impaired, IEEE Neural Systems and Rehab. Eng., 2004

Εφαρμογές

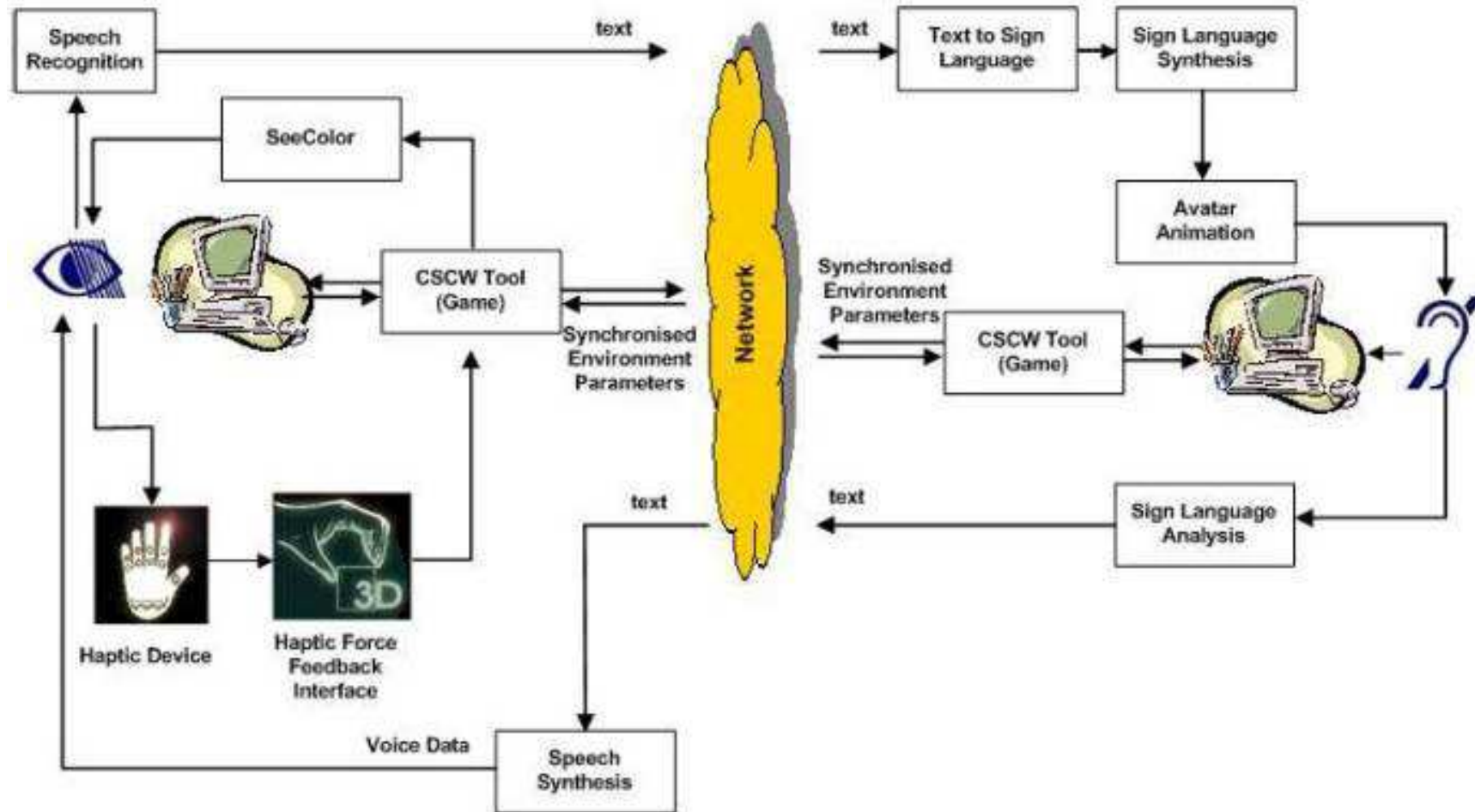


D. Tzovaras, K. Moustakas, G. Nikolakis and M.G. Strintzis, "Interactive Mixed Reality White Cane Simulation for the Training of the Blind and the Visually Impaired", Springer Journal on Personal and Ubiquitous Computing, vol.13, no.1, pp.51-58, January 2009.

Εφαρμογές



Εφαρμογές



Εφαρμογές



(a) The virtual environment.



(b) Step 1: The red closet.



(c) Step 2: Avatar performing sign.



(d) Step 3: In the temple ruins.



(e) Step 4: The cemetery.



(f) Step 5: The catacombs.



(g) Step 6: Sketching the path to the treasure.



(h) Step 7: Searching for the treasure in the forest.



(i) The treasure: Design patterns for the war machines.

Εφαρμογές

THE TREASURE HUNTING GAME

A multimodal game that is cooperatively
played by a blind and a deaf user

ITI-CERTH

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

