



Τμήμα Τεχνολογίας Ιατρικών Οργάνων
Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας

Χειρουργική, Επεμβατική και Ιατρική Ρομποτική ολοκληρωμένες με Υπολογιστές

Β. Σπυρόπουλος

Τμήμα Τεχνολογίας Ιατρικών Οργάνων
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

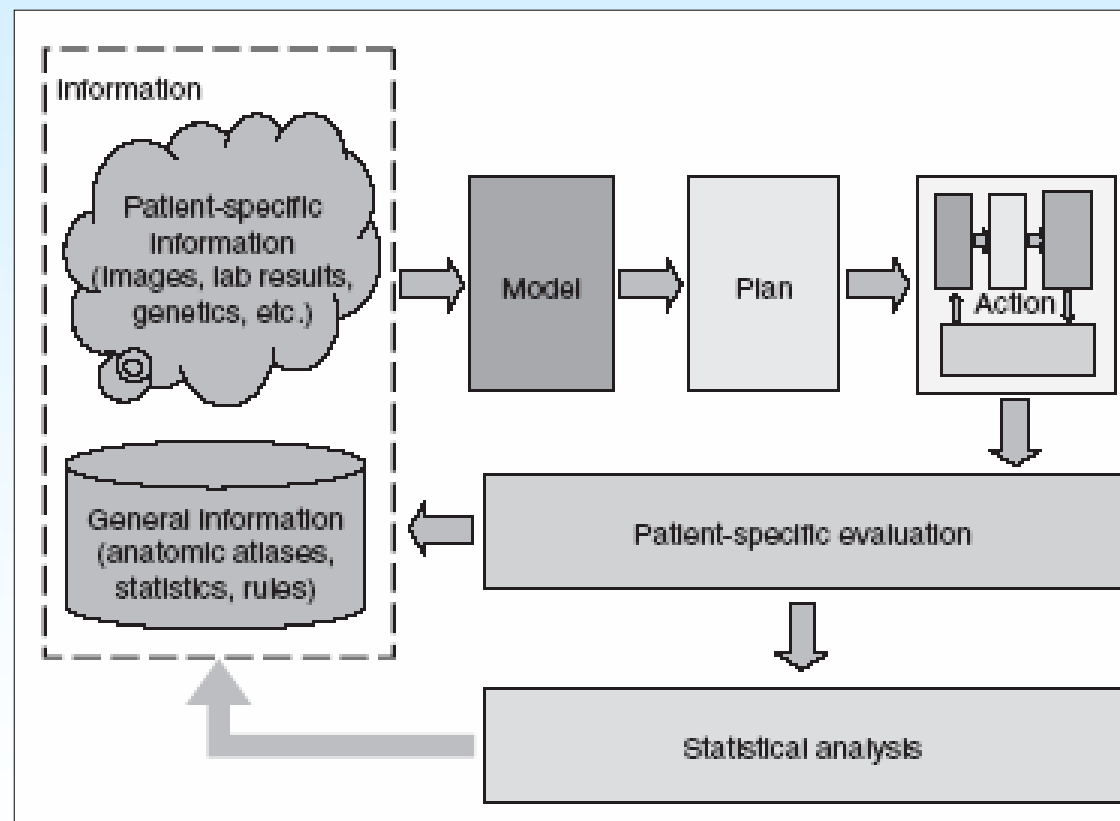
basile@teiath.gr



Ολοκληρωμένη με Υπολογιστές επεμβατική Ιατρική (Computer-integrated interventional medicine, CIIM)

- Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 50 ετών, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην επεμβατική ιατρική όλο και περισσότερο είναι βασισμένη σε υπολογιστή.
- Οι ιατρικές συσκευές απεικόνισης έχουν προχωρήσει από τις απλές μονάδες ακτίνων Χ, στα περίπλοκα συστήματα που συνδυάζουν τους προηγμένους αισθητήρες και το υπολογιστικό λογισμικό για να παρέχουν πρωτοφανείς πληροφορίες για την ανατομία και τη φυσιολογία ενός ασθενή.
- Οι ιατρικοί τερματικοί σταθμοί είναι σε θέση να συνδυάσουν τις πληροφορίες από πολλές πηγές για να βοηθήσουν τους χειρουργούς και άλλους ιατρούς να προγραμματίσουν τις επεμβάσεις και να παρέχουν τα σε πραγματικό χρόνο στηρίγματα πληροφοριών στην πραγματοποίηση αυτών των σχεδίων.
- Οι ρομποτικές συσκευές και οι ενδοσκοπικές φωτογραφικές μηχανές επιτρέπουν στους παθολόγους για να εκτελέσουν ελάχιστα επεμβατικές διαδικασίες που ειδιάλλως θα ήταν αδύνατες.
- Ελεγχόμενα από υπολογιστή συστήματα χρησιμοποιούν κατευθυνόμενη ενέργεια για να καταστρέψουν τους όγκους και άλλα μορφώματα, μέσα στο σώμα ενός ασθενή χωρίς χειρουργική επέμβαση.
- Οι βασισμένες σε υπολογιστή φυσιολογικές συσκευές ελέγχου είναι πανταχού παρούσες στα χειρουργεία και τις μονάδες εντατικής.

Ο βασικός κύκλος πληροφοριών της επεμβατική ιατρικής





Επισκόπηση της διαδικασίας

- Η διαδικασία αρχίζει με τις πληροφορίες για τον ασθενή, όπως οι εικόνες, τα αποτελέσματα των εξετάσεων, οι γενετικές πληροφορίες, και τα συμπτώματα.
- Αυτές οι πληροφορίες συνδυάζονται με τις γενικές πληροφορίες για την ανθρώπινη Ανατομία και Φυσιολογία για να δημιουργήσουν ένα συγκεκριμένο πρότυπο υπόδειγμα του ασθενούς ή μια αναπαράσταση, που χρησιμοποιούνται για να εντοπίσουν την κατάσταση του ασθενή και να διατυπώσουν ένα σχέδιο επέμβασης.
- Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, η εικονική πραγματικότητα του προτύπου και το σχέδιο καταχωρούνται στην πραγματικότητα του ασθενή και μπορούν να συνδεθούν με την κατάλληλη τεχνολογία, ώστε για να βοηθήσουν το νοσοκομειακό γιατρό στην πραγματοποίηση του σχεδίου.



Επιπλέον δεδομένα

- Επιπλέον δεδομένα παράγονται κατά τη διάρκεια και μετά από την επέμβαση, για την ενημέρωση του πτύπου και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της επέμβασης.
- Τα δεδομένα είναι δυνατόν επίσης να αναλυθούν στατιστικά για να αξιολογηθεί και να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των σχεδίων και των πρωτοκόλλων επεξεργασίας, κατά τρόπο ανάλογο με τη χρήση του στατιστικού ποιοτικού ελέγχου και την διαδικασία εκμάθησης στις κατασκευές.

Η διαδικασία κλειστού βρόγχου

- Αναφερόμαστε συχνά σε αυτή την διαδικασία με τον όρο διαδικασία κλειστού βρόγχου.
 - ◆ *Πρώτα κατασκευάζεται ένα πρότυπο υπόδειγμα του ασθενούς.*
 - ◆ *Κατόπιν καταχωρείται το πρότυπο και το σχέδιο στον ασθενή.*
 - ◆ *Χρησιμοποιείται τεχνολογία βοηθητική στην πραγματοποίηση του σχεδίου.*
 - ◆ *Και τελικά γίνεται αξιολόγηση του χειρουργικού ή επεμβατικού αποτελέσματος.*
- Υπάρχει έκδηλη αναλογία με την διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή κατασκευή (CAD/CAM).



Ο στόχος των συστημάτων

- Ο στόχος μας δεν είναι η αυτοματοποίηση των ιατρικών επεμβάσεων, αλλά το να εκμεταλλευτούμε τη βασισμένη σε υπολογιστή τεχνολογία, ώστε να βοηθήσει τους νοσοκομειακούς γιατρούς στη θεραπεία των ασθενών.
- Κατά συνέπεια, αναφερόμαστε συχνά σε αυτά τα συστήματα με τους όρους χειρουργικοί ή επεμβατικοί βοηθοί, ειδικά όταν οι επεμβατικές αποφάσεις είναι ιδιαίτερα διαδραστικές, όπως συμβαίνει συχνά με τις χειρουργικές επεμβάσεις.
- Είναι συχνά καταλληλότερο να θεωρηθεί ένα CIIM σύστημα ως surgical or interventional computer-aided design / computer-aided manufacturing (CAD/CAM).
- Δεδομένου ότι αυτά τα συστήματα γίνονται όλο και πιο περίπλοκα, η διάκριση μεταξύ γίνεται και πιά δύσκολη.

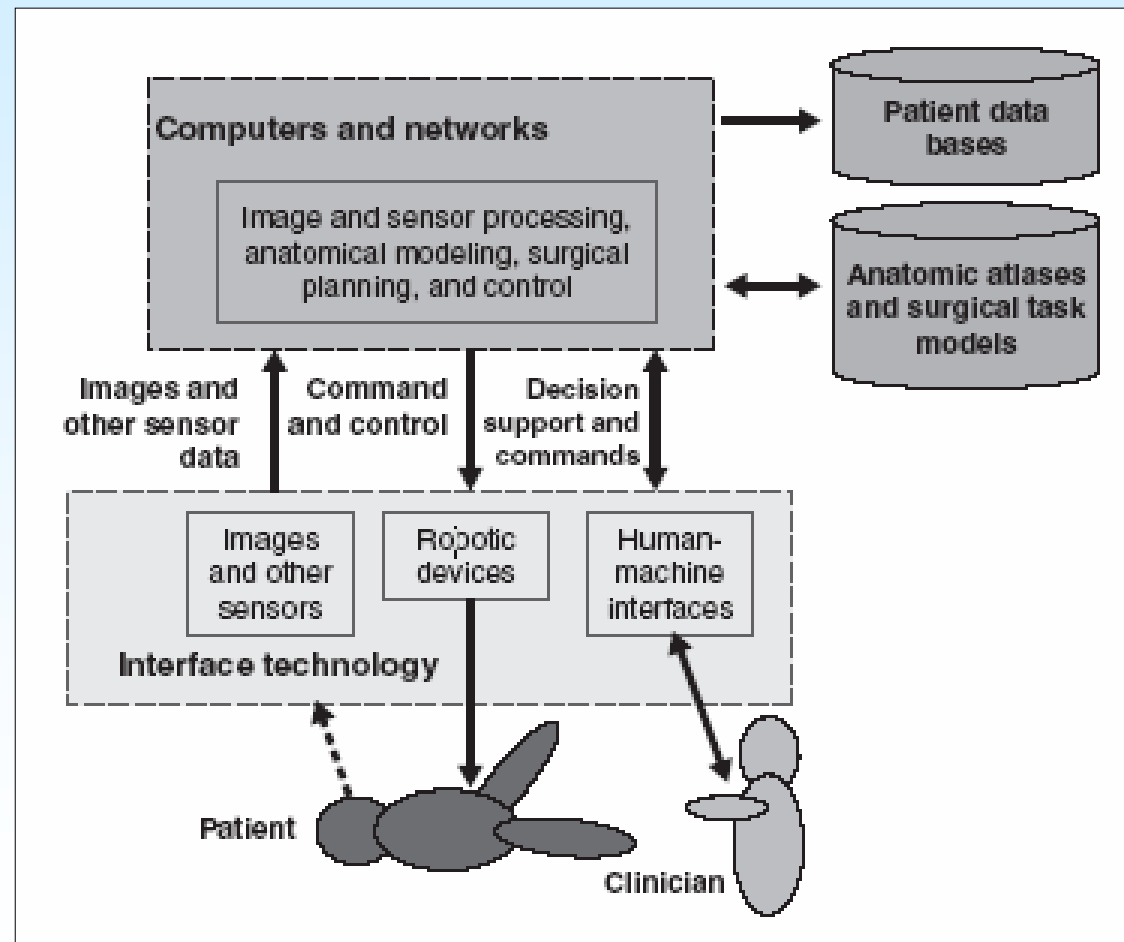
Αρχιτεκτονική των συστημάτων

- Υπολογιστικές συνιστώσες που εκτελούν μια ευρεία ποικιλία λειτουργιών, όπως επεξεργασίας εικόνας, χειρουργικού προγραμματισμού, ελέγχου και παρόμοιων στόχων.
- Βάσεις δεδομένων συγκεκριμένων πληροφοριών των ασθενών, καθώς επίσης και, γενικές βάσεις γνώσεων για την ανθρώπινη Ανατομία και Φυσιολογία, των διαδεδομένων σχεδίων επεξεργασίας και στοιχείων έκβασης κλπ.
- Συσκευές όπως απεικονιστικά συστήματα (imagers), ρομπότ και διαδραστικές επιφάνειες ανθρώπου-μηχανής, που συνδέουν την εικονική πραγματικότητα των απεικονίσεων στον υπολογιστή, στην κλινική πραγματικότητα του ασθενή, του χώρου επεμβάσεων και του γιατρού.

Μέθοδοι εγγραφής και μετασχηματισμοί

- Οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των μεριδίων της ανατομίας του ασθενή, των εικόνων, των ρομπότ, των αισθητήρων, και του εξοπλισμού είναι θεμελιώδεις στην Ολοκληρωμένη με Υπολογιστές επεμβατική Ιατρική.
- Υπάρχει μια εκτενής βιβλιογραφία στις τεχνικές για τους μετασχηματισμούς μεταξύ των ισότιμων συστημάτων αναφοράς και σχετικά με τις μεθόδους εγγραφής (registration).
- Η διαδικασία περιλαμβάνει την εύρεση των αντίστοιχων συνόλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων F_A και F_B και έπειτα την εύρεση ενός μετασχηματισμού που ελαχιστοποιεί κάποια συνάρτηση απόστασης $d_{AB} = d_{AB} [F_B, T_{AB}(F_A)]$.

Η γενική Αρχιτεκτονική των συστημάτων CIIM





Το τρισδιάστατο ρομπότ συντονίζει τις προσεγγίσεις

- Τα τυπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να περιλάβουν αξιόπιστα τεχνητά αντικείμενα ναφοράς (καρφίτσες, εμφυτευμένες σφαίρες, ράβδους, κλπ.) ή ανατομικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως ορόσημα, οι περιγραμματικές καμπύλες, ή επιφάνειες.
- Μια πολύ κοινή περίπτωση περιλαμβάνει την εγγραφή ενός συνόλου σημείων, που ανήκουν σε μια ανατομική επιφάνεια, με μια απεικόνιση στον υπολογιστή εκείνης της επιφάνειας, και η χρήση κατάλληλων επαναληπτικών αλγορίθμων πλησιέστερου σημείου.
- Παραδείγματος χάριν, οι τρισδιάστατες συντεταγμένες ρομπότ μπορούν να βρεθούν για ένα σύνολο σημείων που είναι γνωστό ότι ευρίσκονται στην επιφάνεια μιας ανατομικής δομής που μπορεί επίσης να βρεθεί σε μια τετμημένη τρισδιάστατη εικόνα.

Ιχνηλάτες Πλοήγησης

- Η μέτρηση σε πραγματικό χρόνο των διεγχειρητικών θέσεων και των προσανατολισμών, είναι πανταχού παρούσα στα CIIM, και διάφορες τεχνολογίες είναι διαθέσιμες για αυτόν το λόγο.
- Αυτές περιλαμβάνουν κωδικοποιημένους μηχανικούς συνδέσμους, εντοπιστές υπερήχου, ηλεκτρομαγνητικούς εντοπιστές, ενεργά οπτικά συστήματα τριγωνισμού, που εντοπίζουν εκπέμπουσες φωτοδιόδους, παθητικά οπτικά συστήματα τριγωνισμού, που εντοπίζουν αντανακλαστικούς δείκτες γενικότερα συστήματα «όρασης» υπολογιστών.
- Υπάρχουν εξαιρετικές βιβλιογραφικές αναδρομές και συγκρίσεις των διαφορετικών συστημάτων, αν και κάποιος πρέπει να γνωρίζει, ότι οι σχετικές τεχνικές ικανότητες των διαφορετικών προσεγγίσεων τεχνολογίας, μπορούν να αλλάξουν καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται.

Οπτικοί ιχνηλάτες

- Τα οπτικά συστήματα είναι η ευρύτερα χρησιμοποιημένη επιλογή για τα χειρουργικά συστήματα πλοήγησης λόγω της σχετικά υψηλής ακρίβειας, της προβλέψιμης απόδοσης, και της μικρής ευαισθησίας τους στις περιβαλλοντικές παραλλαγές.
- Εντούτοις, έχουν διάφορους περιορισμούς και ο σοβαρότερος είναι η απαίτηση να διατηρείται οπτική επαφή μεταξύ της κάμερας και των δεικτών που παρακολουθούνται, γεγονός που μπορεί να περιπλέξει τη ροή εξοπλισμού και εργασίας γύρω από τον ασθενή.
- Ένα σχετικό μειονέκτημα είναι ότι οι δείκτες που παρακολουθούνται πρέπει γενικά να είναι σε τμήματα των χειρουργικών οργάνων έξω από τον ασθενή.
- Αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες στον προσδιορισμό της θέσης της αιχμής των χειρουργικών οργάνων και αποκλείουν τη χρήση ευκάμπτων οργάνων, όπως οι καθετήρες.



Ηλεκτρομαγνητικοί ιχνηλάτες

- Οι ηλεκτρομαγνητικοί ιχνηλάτες εξετάστηκαν για πολλές πρώιμες χειρουργικές εφαρμογές πλοήγησης, αλλά οι ψευδενδείξεις που συνδέονται με την παρουσία μετάλλου στις χειρουργικές αίθουσες, τους απέκλεισαν.
- Πιό πρόσφατα, οι βελτιώσεις στην ηλεκτρομαγνητική τεχνολογία εντοπισμού, και κυρίως η μειωμένες διαταραχές στις μετρήσεις, η ανάπτυξη πολύ μικρών αισθητήρων και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την πλοήγηση των συσκευών μέσα στον ασθενή έχουν οδηγήσει σε αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για αυτή την τεχνολογία.

Χαρακτηριστική οθόνη από ένα χειρουργικό σύστημα πλοήγησης της Medtronic.





Ρομποτικές συσκευές στην ιατρική (I)

- Ιστορικά, ο όρος ρομπότ έχει χρησιμοποιηθεί για πολυαξονικές μηχανές που είναι ικανές για αυτόνομη κίνηση.
- Στον ιατρικό τομέα, ο καθορισμός ενός ρομπότ έχει επεκταθεί για να περιλάβει ουσιαστικά οποιοδήποτε μηχανισμό παρέχει τη βοήθεια στο χειρουργό, ανεξάρτητα από το αν μπορεί ή όχι να λειτουργήσει αυτόνομα.
- Στην πραγματικότητα, η ασφάλεια στον ιατρικό τομέα είναι τόσο σημαντική, ώστε να μην αναπτυχθούν ρομπότ με αυτόνομη κίνηση.



Ρομποτικές συσκευές στην ιατρική (II)

- Αυτά τα συστήματα στηρίζονται περισσότερο στο χειρουργό, παρά σε μηχανές, ώστε να παρέχουν επαρκή δύναμη, για να δημιουργήσουν την κίνηση.
- Τα συστήματα αυτά μπορούν να περιλάβουν και μηχανοκίνητα στοιχεία (π.χ., μηχανές, φρένα), που όμως χρησιμοποιούνται μόνο για να περιορίσουν την κίνηση.
- Αν και τέτοια συστήματα δεν εγκαθιστούν τον κλασικό καθορισμό ενός ρομπότ, θεωρούνται παθητικά ρομπότ στον ιατρικό τομέα.



Ειδίκευση των ιατρικών ρομπότ

- Ένα ρομπότ που αναπτύσσεται για τη μικροχειρουργική θα διαφέρει από ένα ρομπότ που αναπτύσσεται για την ορθοπεδική αναδημιουργία συνδέσμων. Αν και ο τομέας της ιατρικής ρομποτικής δεν είναι ακόμα ώριμος, η τρέχουσα εμπειρία υποδεικνύει ότι τα ιατρικά ρομπότ μπορούν να είναι πιά εξειδικευμένα από τα βιομηχανικά αντίστοιχά τους.
- Ένα ρομπότ που αναπτύσσεται για μια ιατρική διαδικασία δεν μπορεί να προσαρμόζεται εύκολα σε άλλες διαδικασίες, για λόγους που περιγράφονται κατωτέρω.
- Υπάρχουν μερικά παραδείγματα ιατρικών ρομπότ πολλαπλών λειτουργιών, όπως τα ορθοπεδικά συστήματα ρομπότ που βοηθούν τη χειρουργική επέμβαση αντικατάστασης ισχίων και γονάτων, καθώς επίσης και, την επισκευή συνδέσμων.

Χωρικές απαιτήσεις των ιατρικών ρομπότ

- Ένα ιατρικό ρομπότ πρέπει να μεταφέρεται εύκολα μέσα και έξω από το χειρουργείο ή, εάν εγκαθίσταται μόνιμα, πρέπει να είναι σε θέση να κινηθεί σε σημείο που να μην ενοχλεί.
- Στην πραγματικότητα, ένα ιατρικό ρομπότ πρέπει να εγκατασταθεί στο ιατρικό κύτταρο εργασίας για κάθε χρήση.
- Αυτή η εγκατάσταση περιλαμβάνει τη μεταφορά του στο κατάλληλο χώρο, την σύνδεσή του με τις κατάλληλες πηγές ισχύος, και την δυνατότητα αποστείρωσής τους.
- Επειδή ο υπόλοιπος ιατρικός εξοπλισμός δεν σχεδιάζεται με συμβατότητα με τη ρομποτική, το ρομπότ πρέπει να ταιριάζει όσο το δυνατόν καλύτερα.
- Είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί η απαίτηση χώρου γύρω από το χειρουργικό τραπέζι, δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος αυτού του χώρου απαιτείται για τη ιατρική ομάδα και τον λοιπό εξοπλισμό.



Συστήματα ταξινομήσεων για την ιατρική ρομποτική (I)

- Έχουν προταθεί πολλά συστήματα ταξινομήσεων για την ιατρική ρομποτική.
- Κάποια από αυτά ορίζουν τα συστήματα ως ενεργά, ημιενεργά, ή παθητικά, εντούτοις, δεν υπάρχει κανένας παγκοσμίως αποδεκτός ορισμός αυτών των όρων.
- Μερικοί υποστηρίζουν ότι οποιοδήποτε ρομπότ που είναι ικανό για κίνηση με μηχανικά μέσα, δεν μπορεί ποτέ να θεωρηθεί παθητικό.
- Τέλος, άλλοι εστιάζουν στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται το ρομπότ.



Συστήματα ταξινόμησης για την ιατρική ρομποτική (II)

Η δεύτερη προσέγγιση, είναι περισσότερο ένας λειτουργικός καθορισμός παρά ένας μηχανικός καθορισμός.

- ◆ Ένα ενεργό ρομπότ εκτελεί αυτόματα μια διεργασία, όπως η κατεργασία του οστού.
- ◆ Ένα ημιενεργό ρομπότ εκτελεί την επέμβαση κάτω από τον άμεσο έλεγχο του χειρουργού .
- ◆ Ένα παθητικό ρομπότ δεν εκτελεί ενεργά οποιοδήποτε μέρος της επέμβασης (π.χ., τοποθετεί απλώς έναν οδηγό εργαλείων).



Ταξινομήσεις της ιατρικής ρομποτικής και ασφάλεια

- Υπάρχει κάποια συζήτηση εάν μια κατηγορία ρομπότ μπορεί να είναι καλύτερη από μια άλλη κατηγορία, αναφορικά με την εξέταση παραγόντων όπως η ασφάλεια, η αποδοχή από την πλευρά των χρηστών, ή την έγκριση από ρυθμιστικές αρχές.
- Στην τελευταία περίπτωση, είναι πιθανό ότι όσο λιγότερο ο ενεργό είναι ένα ρομπότ, τόσο πιο εύκολα θα εγκρίνεται από τις ρυθμιστικές.
- Όσον αφορά στην ασφάλεια, αν και ένα ενεργητικό ρομπότ μπορεί να αποφύγει μερικούς από τους έμφυτους κινδύνους, σε σχέση με ένα πιο ενεργό ρομπότ, υπάρχουν ακόμα πολλά ανοιχτά ζητήματα ασφάλειας για όλες τις περιπτώσεις.



Ένα παράδειγμα ιατρικής ρομποτικής και ασφάλειας

Παραδείγματος χάριν, κατά προετοιμασία του οστού για μια αρθροπλαστική γονάτου, ανεξάρτητα από το εάν το οστό υφίσταται επεξεργασία:

- ◆ *Αυτόματα από ένα ενεργό ρομπότ.*
- ◆ *Από το χειρουργό και ένα ημιενεργό ρομπότ.*
- ◆ *Μόνον από το χειρουργό, που χρησιμοποιεί έναν οδηγό εργαλείων που τοποθετείται από ένα παθητικό ρομπότ.*

το κρίσιμο είναι η επεξεργασία να εκτελείται στη σωστή θέση και στον σωστό προσανατολισμό.

Σύστημα ασφάλειας για να ελέγξει τις αποτυχίες των αισθητήρων

- Επομένως, σε κάθε ένα από αυτά τα ρομπότ πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα ασφάλειας, για να εξασφαλίσει ότι οι αποτυχίες αισθητήρων δεν θα το αναγκάζουν να τοποθετήσουν ανακριβώς το τέμνον εργαλείο ή τον οδηγό εργαλείων.
- Το θέμα της αποδοχής από τους χρήστες δεν έχει απαντηθεί ακόμα, επειδή αυτήν την περίοδο η δυσκολία του να έχεις ένα από τα ιατρικά ρομπότ είναι ένα πολύ μεγαλύτερο εμπόδιο από το εάν θα είναι ενεργό, ημιενεργό, ή παθητικό.





Διεγχειρητικές διεπαφές ανθρώπου-μηχανής

- Τα πλήρως, ολοκληρωμένα με υπολογιστές συστήματα επεμβατικής Ιατρική CIIM προορίζονται να συνεργαστούν με τους γιατρούς, και όχι να τους αντικαταστήσουν στην χειρουργική αίθουσα.
- Συνεπώς, η τεχνολογία και οι μέθοδοι για την διεπαφή και την επικοινωνία ανθρώπου-μηχανής είναι κρίσιμες συνιστώσες σε αυτά τα συστήματα.
- Αυτή η επικοινωνία είναι διπλής κατεύθυνσης, και τα επιτυχή συστήματα πρέπει να υιοθετήσουν τεχνικές τόσο για την παροχή πληροφοριών, όσο και για την αποδοχή πληροφοριών και καθοδήγησης από το κλινικό γιατρό.
- Η οπτική παρουσίαση είναι η πιο κοινή μέθοδος για την παροχή πληροφοριών στο γιατρό.

Περιορισμοί των οθονών υπολογιστών

- Οι οθόνες υπολογιστών που συσχετίζουν τις θέσεις των χειρουργικών οργάνων, με ιατρικές εικόνες του ασθενούς είναι πάντα παρούσες στα χειρουργικά συστήματα πλοήγησης.
- Η εργονομία τέτοιων συστημάτων έχει μερικούς σοβαρούς περιορισμούς.
- Μόλις αρχίσει μια εγχείρηση, η προσοχή του γιατρού στρέφεται απαραίτητως στην ανατομία του ασθενή, και είναι άβολο για το γιατρό για να κοιτάξει μακριά από τον ασθενή.
- Για τον λόγο αυτό , διάφορες ομάδες έχουν αναπτύξει συστήματα και συσκευές για την επάλληλη παροσίαση των οπτικών πληροφοριών, κατευθείαν στην οπτική ευθεία χειρουργού - ασθενούς.

Τεχνικές λύσεις που υιοθετούνται

- Τα πρώτα τέτοια συστήματα σχεδιάστηκαν για να διοχετεύσουν τις καταχωρημένες γραφικές πληροφορίες σε ένα χειρουργικό μικροσκόπιο.
- Διάφορες ομάδες έχουν αναπτύξει παραλλαγές, για τη χρήση σε άλλα περιβάλλοντα.
- Αυτά τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν:
 - ◆ *Ενεργά στοιχεία όπως οι δείκτες LASER για να βοηθήσουν τον χειρουργό να επιτύχει μια επιθυμητή ευθυγράμμιση.*
 - ◆ *Ακουστική ανατροφοδότηση, υπό μορφή παραγόμενης από υπολογιστή ομιλίας.*
 - ◆ *Απλά ακουστικά σήματα.*
 - ◆ *Συστήματα ανατροφοδότησης αφής.*
 - ◆ *Οπτική/ακουστική αναπαράσταση των δυνάμεων αλληλεπίδρασης εργαλείου-ιστού.*



Παρέχοντας τις πληροφορίες ή την κατεύθυνση εντολής σε ένα σύστημα CIIM (I)

- Υπάρχουν πολλοί τρόποι για έναν χειρουργό να παρέχει τις πληροφορίες ή την εντολή κατεύθυνσης σε ένα σύστημα CIIM.
- Οι πιο κοινοί είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται με οποιοδήποτε τερματικό σταθμό υπολογιστών:
 - ◆ *Δακτυλογραφημένο κείμενο.*
 - ◆ *Συσκευές στόχευσης παρόμοιες με το ποντίκι.*
- Διεγχειρητικά , αυτές οι συσκευές έχουν πολλούς περιορισμούς, ειδικά επειδή είναι δύσκολο να αποστειρωθούν και απασχολούν τα χέρια του γιατρού.
- Μια περιορισμένης εμβέλειας λύση είναι λεκτικές οδηγίες στους τεχνικούς που χειρίζονται τον εξοπλισμό.
- Μια άλλη είναι η στήριξη στα συστήματα αναγνώρισης φωνής από τον υπολογιστή.



Παρέχοντας τις πληροφορίες ή εντολές σε ένα σύστημα CIIM (II)

- Μια άλλη μέθοδος είναι η χρήση αποστειρωμένων οθονών αφής ή η αξιοποίηση των κινήσεων των οργάνων, που παρακολουθούνται από τα χειρουργικά συστήματα πλοήγησης.
- Μερικές ομάδες έχουν ερευνήσει την οπτική παρακολούθηση των κινήσεων της κεφαλής ή των οφθαλμών του γιατρού.
- Η κίνηση των χειρουργικών ρομπότ ελέγχεται συχνά μέσω της χρήσης συμβατικών τηλε-ρομποτικών κύριων συσκευών, που ουσιαστικά είναι ρομπότ που χειραγωγούνται από το γιατρό, ή με τις συνεργαικές μεθόδους ελέγχου, στις οποίες η κίνηση του ρομπότ συμμορφώνεται στις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό από τον χειρουργό.
- Άλλες μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται συχνά στα ερευνητικά συστήματα, που σχεδιάζονται για την ευφύτερη βοήθεια σε έναν χειρουργό, περιλαμβάνουν την οπτική παρακολούθηση των χειρουργικών οργάνων και των ανατομικών στόχων.

Σύστημα επικαλύψεων εικόνας βασισμένο στην ενεργό παρακολούθηση της κεφαλής του χειρουργού, τρισδιάστατων γραφικών και ημιδιάφανου καθρέφτη



Το σύστημα επικάλυψης εικόνας του Πανεπιστημίου Johns Hopkins για την απλή παρουσίαση επιπέδων ανίχνευσης



Σύστημα καθοδήγησης LASER Osaka/Tokyo





Όργανα με αισθητήρες

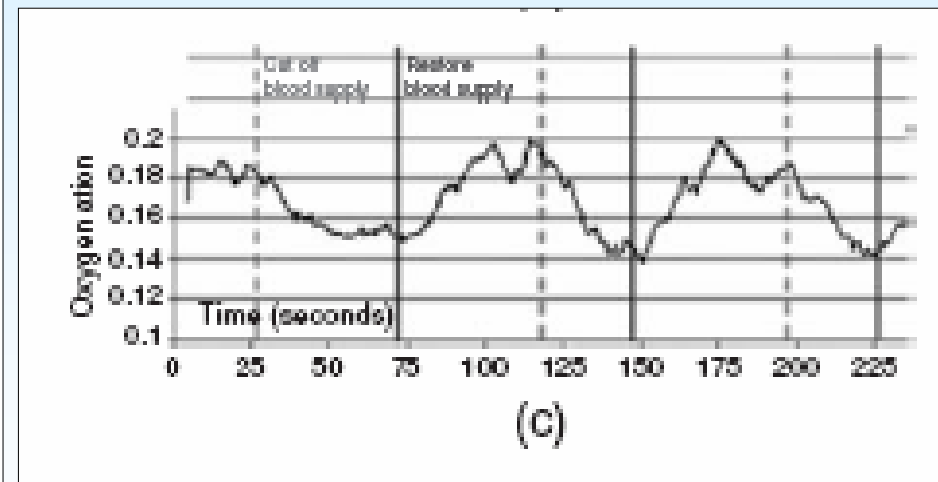
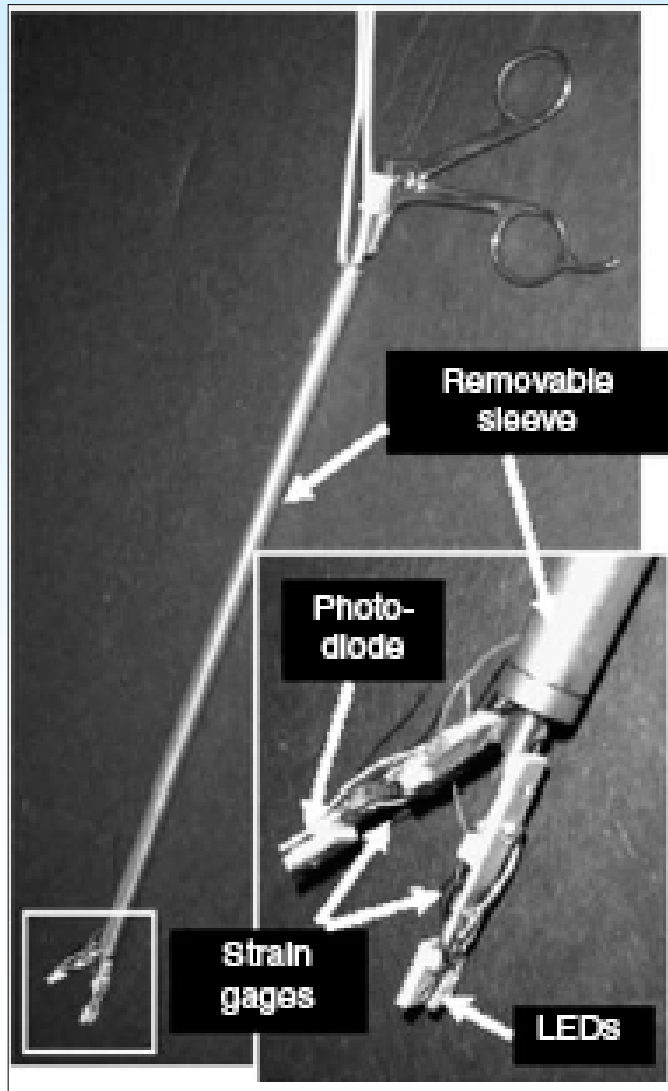
- Διάφορες ερευνητικές ομάδες έχουν αναπτύξει χειρουργικά όργανα ικανά να μετρούν τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης εργαλείου--ιστού και να παρέχουν αυτά τα αποτελέσματα στους χειρουργικούς τερματικούς σταθμούς.
- Συχνά, αυτές οι προσπάθειες έχουν στηριχθεί στις διεπαφές γραφικών ώστε να προβάλλουν στοιχεία σχετικά με τη δύναμη είτε το όργανο το χειρίζεται ο γιατρός ή ένα ρομπότ.
- Έχουν υπάρξει επίσης προσπάθειες να ενσωματωθούν πληροφορίες της ανιχνευόμενης δύναμης στον έλεγχο των ρομποτικών συσκευών.



Εξειδικευμένα «δάχτυλα» και οθόνες για διαδικασίες ψηλάφησης

- Διάφοροι ερευνητές έχουν εστιάσει:
 - ◆ Σε «εξειδικευμένα δάχτυλα».
 - ◆ Σε οθόνες για διαδικασίες ψηλάφησης που απαιτούν λεπτά συστήματα ανατροφοδοτούν αφής, π.χ. για την ανίχνευση των κρυμμένων αιμοφόρων αγγείων κάτω από τον κανονικό ιστό.
- Ακόμα μια χρήση για τα όργανα με αισθητήρες είναι στις εμβιομηχανικές μελέτες των μηχανικών ιδιοτήτων ανθρώπινων οργάνων και ιστών, για να βελτιωθούν οι χειρουργικοί προσομοιωτές.

Λαπαροσκοπικά συστήματα με «δάχτυλα-αισθητήρες» δύναμης και οξυγόνωσης



Ενδείξεις αισθητήρων καθώς η παροχή αίματος διακόπτεται και αποκαθίσταται

Εντατήρας (retractor) ήπατος με ενσωματωμένο αισθητήρα δύναμης και οπτικούς αισθητήρες οξυγόνωσης (Johns Hopkins)

