

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρομποτική είναι ένας σχετικά νέος τομέας της σύγχρονης τεχνολογίας που ξεπερνά τα όρια της παραδοσιακής μηχανικής. Η κατανόηση της πολυπλοκότητας των ρομπότ και των εφαρμογών τους, απαιτούν τη γνώση της ηλεκτρολογίας, μηχανολογίας, μηχανικής συστημάτων και βιομηχανικής μηχανικής, πληροφορικής, οικονομικών, και μαθηματικών. Νέοι τομείς της μηχανικής, όπως η μηχανική κατασκευών, η εφαρμοσμένη μηχανική και η μηχανική γνώσης έχουν ενωθεί για να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα του τομέα της ρομποτικής και της αυτοματοποίησης εργοστασίων.

Αυτό το βιβλίο ασχολείται με τις βασικές αρχές της ρομποτικής, συμπεριλαμβανομένου κινηματική, δυναμική, προγραμματισμός κινήσεων, ηλεκτρονική όραση και έλεγχος. Ο στόχος μας είναι να παρέχουμε μια πλήρη εισαγωγή στις σημαντικότερες έννοιες σε αυτά τα θέματα όπως εφαρμόζονται στους βιομηχανικούς ρομποτικούς χειριστές και άλλα μηχανικά συστήματα.

Ο όρος ρομπότ εισήχθη αρχικά από τον Τσέχο θεατρικό συγγραφέα Karel Capek στο έργο του το 1920 Rossum's Universal Robots, από τη λέξη *robota* που είναι η τσεχική λέξη για την εργασία. Από τότε ο όρος έχει εφαρμοστεί σε μια μεγάλη ποικιλία μηχανικών συσκευών, όπως τηλεχειριστές, υποβρύχια οχήματα, αυτόνομα οχήματα εδάφους, κ.λπ. Ουσιαστικά οτιδήποτε που να λειτουργεί με μερική αυτονομία, συνήθως υπό τον έλεγχο υπολογιστή σε κάποιο βαθμό, καλείται ρομπότ. Σε αυτό το κείμενο ο όρος ρομπότ θα σημαίνει ένα βιομηχανικό χειριστή ελεγχόμενο από υπολογιστή όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.

Αυτός ο τύπος ρομπότ είναι ουσιαστικά ένας μηχανικός βραχίονας που λειτουργεί υπό τον έλεγχο υπολογιστή. Τέτοιες συσκευές, πολύ μακριά από τα ρομπότ της επιστημονικής φαντασίας, είναι εξαιρετικά σύνθετα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα των οποίων η αναλυτική περιγραφή απαιτεί προηγμένους μεθόδους, που παρουσιάζουν μεγάλη πρόκληση και ενδιαφέροντα προβλήματα για έρευνα. Ένας επίσημος ορισμός ενός τέτοιου ρομπότ προέρχεται από το Robot Institute of America (RIA):

Ορισμός: Ένα ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος, πολυλειτουργικός χειριστής σχεδιασμένος για να μετακινεί υλικά, αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές μέσω μεταβλητών προγραμματισμένων κινήσεων, για την επίτευξη ποικίλων εργασιών.



Fig. 1.1 The ABB IRB6600 Robot. Photo courtesy of ABB.

Σχήμα 1.1. Ρομπότ ABB IRB6600

Το στοιχείο κλειδί στον παραπάνω ορισμό είναι η ικανότητα επαναπρογραμματισμού των ρομπότ που αποδίδει στο ρομπότ τη χρησιμότητα και την προσαρμοστικότητά του. Η αποκαλούμενη επανάσταση των ρομπότ είναι στην πραγματικότητα, μέρος της ευρύτερης επανάστασης των υπολογιστών.

Ακόμη και αυτός ο περιορισμένος ορισμός ενός ρομπότ έχει διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που το καθιστούν ελκυστικό σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων των ρομπότ που αναφέρονται συχνά στην εισαγωγή είναι το μειωμένο εργατικό κόστος, αυξημένη ακρίβεια και παραγωγικότητα, αυξημένη ευελιξία συγκριτικά με εξειδικευμένες μηχανές και πιο ανθρώπινες συνθήκες εργασίας, καθώς ανιαρές, επαναλαμβανόμενες ή επικίνδυνες εργασίες εκτελούνται από τα ρομπότ.

Το ρομπότ, όπως το έχουμε ορίσει, γεννήθηκε από την ένωση δύο προηγούμενων τεχνολογιών: τηλεχειριστές και αριθμητικά ελεγχόμενες φρεζομηχανές. Οι τηλεχειριστές ή master-slave συσκευές, αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου για το χειρισμό ραδιενεργών υλικών. Ο αριθμητικός έλεγχος υπολογιστών (CNC) αναπτύχθηκε λόγω της υψηλής ακρίβειας που απαιτήθηκε στην κατεργασία ορισμένων αντικειμένων, όπως τα εξαρτήματα αεροσκαφών υψηλής απόδοσης.

Τα πρώτα ρομπότ συνδύασαν ουσιαστικά τους μηχανικούς συνδέσμους των τηλεχειριστών με την αυτονομία και την ικανότητα επαναπρογραμματισμού των μηχανών CNC.

Οι πρώτες επιτυχείς εφαρμογές των ρομποτικών χειριστών περιελάμβαναν γενικά κάποιο είδος μεταφοράς υλικών, όπως η έγχυση σε καλούπια ή σφράγιση, όπου το ρομπότ συμμετέχει μερικώς στο να ξεφορτώνει είτε να μεταφέρει είτε να αποθηκεύει τα επεξεργασμένα αντικείμενα. Αυτά τα πρώτα ρομπότ μπορούσαν να προγραμματιστούν για να εκτελέσουν μια ακολουθία κινήσεων, όπως η κίνηση προς μια θέση Α, κλείνοντας μια αρπάγη, κίνηση προς μια θέση Β, κ.λπ., αλλά δεν είχαν καμία εξωτερική ικανότητα αισθητήρων. Οι πιο σύνθετες εφαρμογές, όπως η συγκόλληση, η λείανση, η εκγλύφανση και η συναρμολόγηση απαιτούν όχι μόνο πιο σύνθετη κίνηση αλλά και κάποια μορφή εξωτερικής αίσθησης όπως η όραση, αφή ή η αίσθηση δύναμης, λόγω της αυξανόμενης αλληλεπίδρασης του ρομπότ με το περιβάλλον του.

Πρέπει να επισημανθεί ότι οι πιο σημαντικές εφαρμογές των ρομπότ δεν περιορίζονται σε εκείνες τις βιομηχανικές εργασίες όπου το ρομπότ αντικαθιστά άμεσα έναν άνθρωπο εργαζόμενο. Στην πράξη υπάρχουν πολλές εφαρμογές της ρομποτικής στην καθημερινή ζωή, όπως οικιακά ρομπότ για σκούπισμα, κούρεμα του γκαζόν κ.τ.λ. ή σε περιοχές όπου η χρήση των ανθρώπων είναι μη πρακτική ή ανεπιθύμητη. Μεταξύ αυτών είναι η υποθαλάσσια και επίγεια εξερεύνηση του πλανήτη, ανάκτηση και επισκευή δορυφόρων, εξουδετέρωση εκρηκτικών μηχανισμών και εργασία σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Τέλος, στην προσθετική ιατρική, όπως τα τεχνητά άκρα που είναι τα ίδια ρομποτικές συσκευές που απαιτούν παρόμοιες μεθόδους ανάλυσης και σχεδιασμού με εκείνες των βιομηχανικών χειριστών.

1.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Σε αυτό το κείμενο θα ενδιαφερθούμε κυρίως για την ανάπτυξη και την ανάλυση των μαθηματικών μοντέλων για τα ρομπότ. Συγκεκριμένα, θα αναπτύξουμε τις μεθόδους για την αναπαράσταση των βασικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ρομποτικού χειρισμού, τις δυναμικές πτυχές του χειρισμού, και τους διάφορους αισθητήρες που είναι διαθέσιμοι στα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα. Εξοπλισμένοι με αυτά τα μαθηματικά μοντέλα, θα είμαστε σε θέση να αναπτύξουμε τις μεθόδους για το σχεδιασμό και έλεγχο των ρομποτικών κινήσεων για την εκτέλεση συγκεκριμένων

εργασιών. Εδώ περιγράφουμε μερικές από τις βασικές ιδέες που είναι κοινές στην ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων για τους ρομποτικούς χειριστές.

1.1.1 Συμβολική αναπαράσταση των ρομπότ

Οι ρομποτικοί χειριστές αποτελούνται από συνδέσμους (links) που ενώνονται με αρθρώσεις (joints) για να διαμορφώσουν μια κινηματική αλυσίδα (kinematic chain). Οι αρθρώσεις είναι συνήθως περιστροφικές (revolute) ή γραμμικές - πρισματικές (prismatic). Η περιστροφική άρθρωση επιτρέπει τη σχετική περιστροφή μεταξύ δύο συνδέσμων. Η πρισματική άρθρωση επιτρέπει μια γραμμική σχετική κίνηση μεταξύ δύο συνδέσμων. Σημειώνουμε τις περιστροφικές αρθρώσεις με το R και τις πρισματικές αρθρώσεις με το P, και τις σχεδιάζουμε όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Παραδείγματος χάριν, ένας βραχίονας τριών συνδέσμων με τρεις περιστροφικές αρθρώσεις αναφέρεται ως βραχίονας RRR.

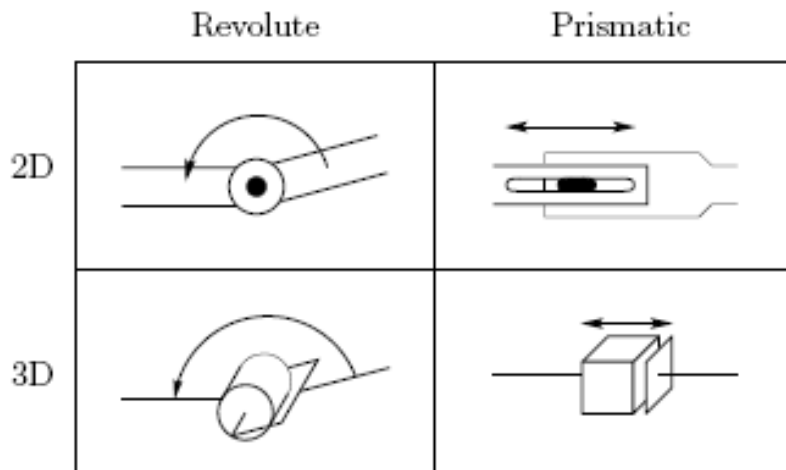


Fig. 1.2 Symbolic representation of robot joints.

Σχήμα 1.2. Κάθε άρθρωση επιτρέπει κίνηση ενός βαθμού ελευθερίας (DOF) ανάμεσα στους ρυθμιζόμενους συνδέσμους του χειριστή. Η περιστροφική άρθρωση (δείχνεται στο 2D και 3D στα αριστερά) παράγει σχετική περιστροφή μεταξύ των ρυθμιζόμενων συνδέσμων. Η πρισματική άρθρωση (δείχνεται στο 2D και 3D στα δεξιά) παράγει γραμμική ή τηλεσκοπική κίνηση μεταξύ των ρυθμιζόμενων συνδέσμων.

Κάθε άρθρωση αντιπροσωπεύει το συνδετικό κρίκο μεταξύ δύο συνδέσμων. Σημειώνουμε τον άξονα της περιστροφής μιας περιστροφικής άρθρωσης, ή τον άξονα κατά μήκος του οποίου μια πρισματική άρθρωση μετακινείται κατά z_i εάν η ένωση είναι ο συνδετικός κρίκος των συνδέσμων i και $i+1$. Οι μεταβλητές της άρθρωσης σημειώνονται με θ για μια περιστροφική

άρθρωση και με d για μια πρισματική άρθρωση και αντιπροσωπεύουν τη σχετική μετατόπιση ανάμεσα στους ρυθμιζόμενους συνδέσμους.

1.1.2 Ο χώρος διαμόρφωσης

Διαμόρφωση ενός χειριστή είναι ο πλήρης καθορισμός της θέσης κάθε σημείου του χειριστή. Το σύνολο όλων των διαμορφώσεων καλείται διαμόρφωση του χώρου. Στην περίπτωση μας, εάν ξέρουμε τις τιμές για τις μεταβλητές μιας άρθρωσης (δηλ., τη γωνία άρθρωσης για τις περιστροφικές αρθρώσεις ή τη μετατόπιση της άρθρωσης για τις πρισματικές αρθρώσεις), κατόπιν είναι απλό να συμπεράνουμε ποια η θέση οποιουδήποτε σημείου του χειριστή, εφόσον οι μεμονωμένοι σύνδεσμοι του χειριστή υποθέτουμε ότι είναι άκαμπτοι και η βάση του χειριστή υποθέτουμε ότι είναι αμετακίνητη. Επομένως, σε αυτό το κείμενο, θα αναπαραστήσουμε μια διαμόρφωση με ένα σύνολο τιμών για τις μεταβλητές μιας άρθρωσης. Σημειώνουμε αυτό το διάνυσμα των τιμών με q και λέμε ότι το ρομπότ είναι μια διαμόρφωση q όταν παίρνουν οι μεταβλητές της άρθρωσης τις τιμές q_1, \dots, q_n με $q_i = \theta_i$ για περιστροφική άρθρωση και $q_i = d_i$ για πρισματική άρθρωση.

Ένα αντικείμενο λέγεται ότι έχει n βαθμούς ελευθερίας (DOF) εάν η διαμόρφωσή του μπορεί να καθοριστεί στο ελάχιστο, από τις παραμέτρους n . Κατά συνέπεια, ο αριθμός DOF είναι ίσος με τη διάσταση του χώρου διαμόρφωσης. Για ένα ρομποτικό χειριστή, ο αριθμός των αρθρώσεων καθορίζει τον αριθμό DOF. Ένα άκαμπτο αντικείμενο σε τρισδιάστατο χώρο έχει έξι DOF: τρεις για τον προσδιορισμό θέσης και τρεις για τον προσανατολισμό. Επομένως, ένας χειριστής πρέπει τυπικά να κατέχει τουλάχιστον έξι ανεξάρτητους DOF. Με λιγότερους από έξι DOF ο βραχίονας δε μπορεί να φθάσει κάθε σημείο στο χώρο εργασίας του με τυχαίο προσανατολισμό. Ορισμένες εφαρμογές όπως η προσέγγιση γύρω ή πίσω από εμπόδια μπορούν να απαιτήσουν περισσότερους από έξι DOF. Ένας χειριστής που έχει περισσότερους από έξι DOF αναφέρεται ως κινηματικά περιττός χειριστής.

1.1.3 Ο χώρος κατάστασης

Μια διαμόρφωση παρέχει μια στιγμιαία περιγραφή της γεωμετρίας του χειριστή αλλά δε λέει τίποτα για τη δυναμική απόκρισή του. Αντίθετα, η κατάσταση του χειριστή είναι ένα σύνολο μεταβλητών, που μαζί με μια περιγραφή της δυναμικής του χειριστή και των μελλοντικών εισόδων, είναι

επαρκές για να καθορίσει τη μελλοντική χρονική απόκριση του χειριστή. Ο χώρος κατάστασης είναι το σύνολο όλων των πιθανών καταστάσεων. Στην περίπτωση ενός χειριστή τύπου βραχίονα, η δυναμική είναι νευτώνεια, και μπορεί να καθοριστεί γενικεύοντας τη γνωστή εξίσωση $F=ma$. Κατά συνέπεια, η κατάσταση του χειριστή μπορεί να καθοριστεί δίνοντας τις τιμές για τις μεταβλητές q της άρθρωσης και για τις ταχύτητες της άρθρωσης (η επιτάχυνση σχετίζεται με την παράγωγο των ταχυτήτων της άρθρωσης).

1.1.4 Ο χώρος εργασίας

Ο χώρος εργασίας ενός χειριστή είναι ο συνολικός χώρος σάρωσης από το τελικό εργαλείο δράσης καθώς ο χειριστής εκτελεί όλες τις δυνατές κινήσεις. Ο χώρος εργασίας περιορίζεται από τη γεωμετρία του χειριστή τόσο όσο είναι οι μηχανικοί περιορισμοί στις αρθρώσεις. Για παράδειγμα, μια περιστροφική άρθρωση μπορεί να οριοθετεί σε λιγότερο από μια πλήρη κίνηση 360° . Ο χώρος εργασίας συχνά διαχωρίζεται στον προσεγγίσιμο χώρο εργασίας και στον ικανό χώρο εργασίας. Ο προσεγγίσιμος χώρος εργασίας είναι ολόκληρο το σύνολο των προσεγγίσιμων σημείων από το χειριστή, ενώ ο ικανός χώρος εργασίας αποτελείται από εκείνα τα σημεία που ο χειριστής μπορεί να φθάσει με έναν τυχαίο προσανατολισμό του τελικού εργαλείου δράσης. Προφανώς ο ικανός χώρος εργασίας είναι ένα υποσύνολο του προσεγγίσιμου χώρου εργασίας. Οι χώροι εργασίας διάφορων ρομπότ παρουσιάζονται αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο.

1.2 ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ ΩΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Υπάρχουν διάφορα φυσικά θέματα των ρομποτικών χειριστών που δε θα εξετασθούν απαραίτητως κατά την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων. Αυτά περιλαμβάνουν μηχανικά θέματα (π.χ. πώς πρακτικά οι αρθρώσεις υλοποιούνται), την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα, καθώς και την πρόσδεση του εργαλείου στο τελικό στοιχείο δράσης. Σε αυτό το τμήμα, περιγράφουμε εν συντομία μερικά από αυτά.

1.2.1 Ταξινόμηση των ρομποτικών χειριστών

Οι ρομποτικοί χειριστές μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως η πηγή ισχύος τους ή με τον τρόπο τον οποίο οι αρθρώσεις ενεργοποιούνται, η γεωμετρία τους ή η κινηματική δομή τους, η μέθοδος

ελέγχου τους και ο προοριζόμενος τομέας εφαρμογής τους. Τέτοια ταξινόμηση είναι χρήσιμη προκειμένου να καθοριστεί ποιο ρομπότ είναι κατάλληλο για μια δεδομένη εργασία. Παραδείγματος χάριν, ένα υδραυλικό ρομπότ δεν θα ήταν κατάλληλο για το χειρισμό τροφίμων ή εφαρμογές καθαρισμού δωματίων, ενώ ένα ρομπότ SCARA δεν θα ήταν κατάλληλο για βαφή στην αυτοκινητοβιομηχανία. Εξηγούμε αυτό λεπτομερέστερα παρακάτω.

Πηγή ισχύος

Τα περισσότερα ρομπότ είναι ηλεκτρικά, υδραυλικά είτε πνευματικά τροφοδοτούμενα. Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές είναι ασυναγώνιστοι στην ταχύτητα απόκρισης και στην ικανότητα παραγωγής ροπής. Επομένως τα υδραυλικά ρομπότ χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανύψωση βαρέων φορτίων. Τα μειονεκτήματα των υδραυλικών ρομπότ εντοπίζονται στο γεγονός ότι έχουν προβλήματα διαρροής του υδραυλικού υγρού και έτσι απαιτείται πολύ περισσότερος περιφερειακός εξοπλισμός (όπως αντλίες, που απαιτούν περισσότερη συντήρηση) και επίσης είναι θορυβώδη. Τα ρομπότ που οδηγούνται από DC ή AC σέρβο-κινητήρες είναι όλο και περισσότερο πιο δημοφιλή δεδομένου ότι είναι φτηνότερα, καθαρότερα και λιγότερο θορυβώδη. Τα πνευματικά ρομπότ είναι ανέξοδα και απλά, αλλά δε μπορούν να ελέγχονται ακριβώς. Κατά συνέπεια, τα πνευματικά ρομπότ έχουν περιορισμένη εμβέλεια εφαρμογών και δημοτικότητα.

Τομέας εφαρμογής

Οι ρομποτικοί χειριστές ταξινομούνται συχνά, ανάλογα με την περιοχή εφαρμογή τους, σε ρομπότ συναρμολόγησης και ρομπότ μη-συναρμολόγησης. Τα ρομπότ συναρμολόγησης τείνουν να είναι μικρά, ηλεκτρικά οδηγούμενα και σχεδιάζονται είτε σαν περιστροφικά είτε σαν SCARA (περιγράφεται παρακάτω). Οι κύριες περιοχές εφαρμογής μη-συναρμολόγησης μέχρι σήμερα ήταν στη συγκόλληση, βαφή ψεκασμού, χειρισμός υλικών και φόρτωση και εκφόρτωση μηχανών.

Μέθοδος ελέγχου

Τα ρομπότ ταξινομούνται ανάλογα με τη μέθοδο ελέγχου σε σέρβο - ρομπότ και μη σέρβο - ρομπότ. Τα αρχικά ρομπότ ήταν μη σέρβο. Αυτά τα ρομπότ είναι ουσιαστικά συσκευές ανοιχτού βρόχου των οποίων οι μετακινήσεις περιορίζονται σε προκαθορισμένες μηχανικές στάσεις, και είναι χρήσιμα κυρίως για τη μεταφορά υλικών. Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε παραπάνω, τα σταθερά ρομπότ δύσκολα κατατάσσονται ως ρομπότ. Τα σέρβο - ρομπότ χρησιμοποιούν έλεγχο υπολογιστή, κλειστού βρόχου, για να καθορίσουν την κίνησή τους και είναι έτσι πραγματικά πολυλειτουργικές και επαναπρογραμματιζόμενες συσκευές.

Τα σέρβο ελεγχόμενα ρομπότ είναι περαιτέρω ταξινομημένα σύμφωνα με τη μέθοδο που ο ελεγκτής χρησιμοποιεί για να καθοδηγήσει το τελικό στοιχείο δράσης. Ο απλούστερος τύπος ρομπότ σε αυτήν την κατηγορία είναι ρομπότ σημείου σε σημείο. Ένα ρομπότ σημείου σε σημείο μπορεί να "διδασθεί" ένα διακριτό σύνολο σημείων αλλά δεν υπάρχει έλεγχος της διαδρομής του τελικού στοιχείου δράσης, μεταξύ των "διδασθέντων" σημείων. Τέτοια ρομπότ συνήθως "διδάσκονται" μια σειρά σημείων με ένα ενσύρματο χειριστήριο. Έτσι τα σημεία καταχωρούνται και επαναχρησιμοποιούνται. Τα ρομπότ σημείου σε σημείο είναι περιορισμένα σε εμβέλεια εφαρμογών. Στα ρομπότ συνεχούς πορείας, από την άλλη, ολόκληρη η πορεία του τελικού στοιχείου δράσης μπορεί να ελεγχθεί. Παραδείγματος χάριν, το τελικό στοιχείο δράσης του ρομπότ μπορεί να "διδασθεί" για να ακολουθήσει μια ευθεία γραμμή μεταξύ δύο σημείων ή ακόμα και για να ακολουθήσει ένα περίγραμμα όπως μια ραφή συγκόλλησης. Επιπλέον, η ταχύτητα ή και η επιτάχυνση του τελικού στοιχείου δράσης μπορούν συχνά να ελεγχθούν. Αυτά είναι τα πιο προηγμένα ρομπότ και απαιτούν τους πιο πολύπλοκους ελεγκτές υπολογιστή και ανάπτυξη λογισμικού.

Γεωμετρία

Οι περισσότεροι βιομηχανικοί χειριστές έχουν έξι ή λιγότερους DOF (βαθμούς ελευθερίας). Αυτοί οι χειριστές συνήθως ταξινομούνται κινηματικά βάσει των πρώτων τριών αρθρώσεων του βραχίονα, με τον καρπό να περιγράφεται χωριστά. Η πλειοψηφία αυτών των χειριστών εμπίπτει σε έναν από τους εξής πέντε γεωμετρικούς τύπους: αρθρωτός (RRR), σφαιρικός (RRP), SCARA (RRP), κυλινδρικός (RPP) και καρτεσιανός (PPP).

Κάθε ένας από αυτούς τους πέντε χειριστές είναι ένα ρομπότ συνδέσμων σε σειρά. Μια έκτη ξεχωριστή κατηγορία χειριστών αποτελείται από το αποκαλούμενο παράλληλο ρομπότ. Σε έναν παράλληλο χειριστή οι σύνδεσμοι είναι διατεταγμένοι σε μια κλειστή παρά ανοικτή κινηματική αλυσίδα. Αν και περιλαμβάνουμε μια συνοπτική συζήτηση των παράλληλων ρομπότ σε αυτό το κεφάλαιο, η κινηματική και η δυναμική τους είναι δυσκολότερο να παραχθούν από εκείνες των ρομπότ συνδέσμων σε σειρά και ως εκ τούτου αντιμετωπίζονται συνήθως μόνο σε πιο προηγμένα κείμενα.

1.2.2 Ρομποτικά συστήματα

Ένας ρομποτικός χειριστής πρέπει να αντιμετωπισθεί περισσότερο από μια απλή σειρά μηχανικών συνδέσμων. Ο μηχανικός βραχίονας είναι μόνο

ένα εξάρτημα σε ένα συνολικό ρομποτικό σύστημα (σχήμα 1.3), το οποίο αποτελείται από το βραχίονα, εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, τελικό εργαλείο δράσης, εξωτερικούς και εσωτερικούς αισθητήρες, διασύνδεση - αλληλεπίδραση μέσω υπολογιστή και υπολογιστή ελέγχου. Ακόμη και το προγραμματισμένο λογισμικό πρέπει να θεωρηθεί ως αναπόσπαστο τμήμα του συνολικού συστήματος, δεδομένου ότι ο τρόπος με τον οποίο το ρομπότ είναι προγραμματισμένο και ελεγχόμενο μπορεί να ασκήσει σημαντική επίδραση στην απόδοσή του και στις επιμέρους εφαρμογές του.

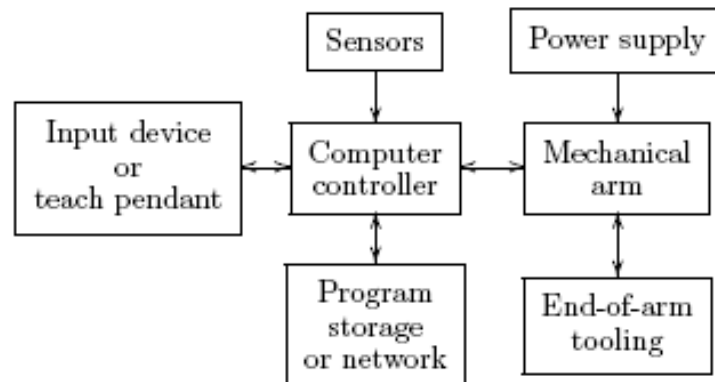


Fig. 1.3 Components of a robotic system.

[Σχήμα 1.3 Συστατικά μέρη ενός ρομποτικού συστήματος](#)

Η ολοκλήρωση ενός μηχανικού βραχίονα, η ικανότητα αντίληψης, οι υπολογισμοί, ο τρόπος διασύνδεσης του χρήστη και τα εργαλεία, σχηματίζουν ένα πολύπλοκο ρομποτικό σύστημα. Πολλά σύγχρονα ρομποτικά συστήματα έχουν ενσωματώσει τεχνολογία ηλεκτρονικής όρασης, αίσθηση δύναμης και ροπής, προηγμένο προγραμματισμό και περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη.

1.2.3 Ακρίβεια και επαναληψιμότητα

Η ακρίβεια ενός χειριστή είναι ένα μέτρο για το πόσο κοντά ο χειριστής μπορεί να έρθει σε ένα δεδομένο σημείο μέσα στο χώρο εργασίας του. Η επαναληψιμότητα είναι ένα μέτρο για το πόσο κοντά ο χειριστής μπορεί να επιστρέψει σε ένα προηγούμενο διδαχθέν σημείο. Η αρχική μέθοδος για τον εντοπισμό των λαθών προσδιορισμού θέσης γίνεται με τους κωδικοποιητές θέσης που βρίσκονται στις αρθρώσεις, είτε στον άξονα του κινητήρα που ενεργοποιεί την άρθρωση ή στην ίδια την άρθρωση. Τυπικά δεν υπάρχει άμεση μέτρηση της θέσης και του προσανατολισμού του τελικού στοιχείου δράσης. Κάποιος πρέπει να στηριχθεί στην υποτιθέμενη γεωμετρία του χειριστή και της ακαμψίας του, για να υπολογίσει τη θέση του τελικού

στοιχείου δράσης από τις μετρηθείσες θέσεις της άρθρωσης. Η ακρίβεια επηρεάζεται επομένως από τα υπολογιστικά λάθη, τη μηχανική ακρίβεια κατά την κατασκευή του χειριστή, τα αποτελέσματα της ευελιξίας όπως η κάμψη των συνδέσμων υπό βαρυτικά και άλλα φορτία, τα κενά μεταξύ των γραναζιών, και ένα πλήθος άλλων στατικών και δυναμικών επιδράσεων. Είναι κυρίως για αυτόν το λόγο ότι τα ρομπότ σχεδιάζονται με εξαιρετικά υψηλή ακαμψία. Χωρίς υψηλή ακαμψία, η ακρίβεια μπορεί μόνο να βελτιωθεί από κάποιο είδος άμεσης αίσθησης της θέσης του τελικού στοιχείου δράσης, όπως με την ηλεκτρονική όραση.

Μόλις ένα σημείο "δίδαχθεί" στο χειριστή, για παράδειγμα με ένα ενσύρματο χειριστήριο, τα παραπάνω αποτελέσματα λαμβάνονται υπόψη και οι κατάλληλες τιμές του κωδικοποιητή (που είναι απαραίτητες για να επιστρέψουν σε ένα δοσμένο σημείο) αποθηκεύονται από τον υπολογιστή ελέγχου. Η επαναληψιμότητα επομένως επηρεάζεται κυρίως από την ανάλυση του ελεγκτή. Η ανάλυση του ελεγκτή σημαίνει τη μικρότερη αύξηση της κίνησης που ο ελεγκτής μπορεί να αισθανθεί. Η ανάλυση υπολογίζεται ως η συνολική απόσταση που διανύεται, διαιρούμενη με 2^n , όπου το "n" είναι ο αριθμός των bits (δυναμικών ψηφίων) που εκφράζει την ακρίβεια του κωδικοποιητή. Σε αυτό το πλαίσιο, γραμμικοί άξονες, δηλαδή, πρισματικές ενώσεις, τυπικά έχουν υψηλότερη ανάλυση από τις περιστροφικές αρθρώσεις, δεδομένου ότι η απόσταση ευθείας γραμμής που διασχίζεται από το άκρο ενός γραμμικού άξονα μεταξύ δύο σημείων είναι μικρότερη από το αντίστοιχο μήκος τόξου που ανιχνεύεται από το άκρο ενός περιστροφικού συνδέσμου.

Επιπλέον, δεδομένου ότι θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια, οι περιστροφικοί άξονες οδηγούν συνήθως σε ένα μεγάλο ποσό κινηματικής και δυναμικής σύζευξης μεταξύ των συνδέσμων, με επακόλουθη συσσώρευση λαθών και ενός δυσκολότερου προβλήματος ελέγχου. Κάποιος μπορεί να αναρωτηθεί έπειτα, ποια είναι τα πλεονεκτήματα των περιστροφικών αρθρώσεων κατά το σχεδιασμό ενός χειριστή. Η απάντηση βρίσκεται κυρίως στην αυξανόμενη ικανότητα προσέγγισης και κατάληψης μικρού χώρου κατά το σχεδιασμό των περιστροφικών αρθρώσεων. Π.χ, το σχήμα 1.4 δείχνει ότι για την ίδια εμβέλεια της κίνησης, ένας περιστροφικός σύνδεσμος μπορεί να κατασκευαστεί πολύ μικρότερος από ένα σύνδεσμο με γραμμική κίνηση.

Κατά συνέπεια οι χειριστές με περιστροφικές αρθρώσεις καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο εργασίας από ότι οι χειριστές με γραμμικούς άξονες. Αυτό αυξάνει την ικανότητα του χειριστή να εργασθεί στον ίδιο χώρο με άλλα ρομπότ, μηχανές και ανθρώπους. Συγχρόνως οι χειριστές με

περιστροφικές αρθρώσεις είναι ικανότεροι να ελιχτούν γύρω από εμπόδια και έχουν ευρύτερο φάσμα πιθανών εφαρμογών.

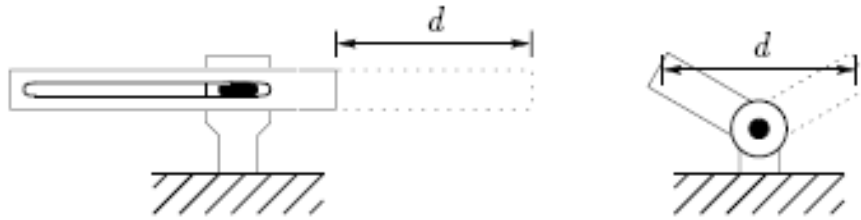


Fig. 1.4 Linear vs. rotational link motion.

Σχήμα 1.4. Κίνηση γραμμικού συνδέσμου εν συγκρίσει με την κίνηση περιστροφικού συνδέσμου. Φαίνεται ότι η μικρότερη περιστροφική άρθρωση μπορεί να καλύψει την ίδια απόσταση d με μια μεγαλύτερη πρισματική άρθρωση. Το άκρο του περιστρεφόμενου συνδέσμου με μήκος a , αντίθετα, μπορεί να καλύψει απόσταση $2a$ αν περιστραφεί 180° .

1.2.4 Καρποί και τελικά στοιχεία δράσης

Οι αρθρώσεις στην κινηματική αλυσίδα μεταξύ του βραχίονα και του τελικού στοιχείου δράσης αναφέρονται ως καρπός. Οι αρθρώσεις του καρπού είναι σχεδόν πάντα περιστροφικές. Είναι όλο και περισσότερο κοινό στο να σχεδιάζονται οι χειριστές με σφαιρικούς καρπούς, δηλαδή καρπούς των οποίων οι τρεις άξονες των αρθρώσεων τέμνονται σε ένα κοινό σημείο, που είναι γνωστό σαν κεντρικό σημείο καρπού. Ένας τέτοιος σφαιρικός καρπός δείχνεται στο σχήμα 1.5.

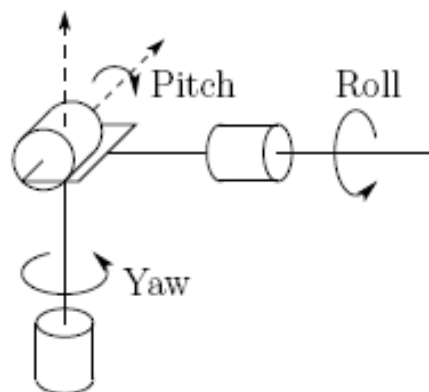


Fig. 1.5 Structure of a spherical wrist.

Σχήμα 1.5. Ο σφαιρικός καρπός. Οι γωνίες περιστροφής γύρω από τους άξονες του σφαιρικού καρπού τυπικά ονομάζονται roll, pitch και yaw και τέμνονται (οι άξονες) στο σημείο που ονομάζεται κεντρικό σημείο καρπού.

Ο σφαιρικός καρπός απλοποιεί την κινηματική ανάλυση, επιτρέποντας αποτελεσματικά την αποσύνδεση της θέσης και του προσανατολισμού του τελικού στοιχείου δράσης. Τυπικά ο χειριστής θα κατέχει 3 DOF για τη θέση, οι οποίοι προκύπτουν από τρεις ή περισσότερες αρθρώσεις στο βραχίονα. Ο αριθμός των DOF για τον προσανατολισμό θα εξαρτάται τότε από τους DOF στον καρπό. Είναι σύνηθες να βρει κανείς καρπούς με ένα, δυο ή τρεις DOF, κάτι που εξαρτάται από την εφαρμογή. Για παράδειγμα, το ρομπότ SCARA που δείχνεται στο σχήμα 1.14 έχει 4 DOF : τρεις στο βραχίονα και ένα για τον καρπό, ο οποίος έχει μόνο περιστροφή γύρω από τον τελικό άξονα z.

Έχει ειπωθεί ότι ένα ρομπότ είναι τόσο καλό όσο το χέρι του ή το τελικό στοιχείο δράσης του. Οι διατάξεις του βραχίονα και του καρπού ενός ρομπότ χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέση του τελικού στοιχείου δράσης και για κάθε εργαλείο το οποίο μπορεί να φέρουν. Είναι το τελικό στοιχείο δράσης ή το εργαλείο το οποίο ουσιαστικά πραγματοποιεί την εργασία. Ο πιο απλός τύπος τελικών στοιχείων δράσης είναι οι αρπάγες, οι οποίες συνήθως είναι ικανές για δυο μόνο ενέργειες, άνοιγμα και κλείσιμο. Ενώ αυτό είναι κατάλληλο για τη μεταφορά υλικών, για μερικό χειρισμό αντικειμένων ή για το πιάσιμο απλών εργαλείων, δεν είναι κατάλληλο για άλλες εργασίες όπως συγκόλληση, συναρμολόγηση, λείανση κλπ. Γι αυτό, ένα σημαντικό μέρος της έρευνας αφιερώθηκε στο σχεδιασμό τελικών στοιχείων δράσης για εξειδικευμένη χρήση αλλά και εργαλείων τα οποία αλλάζουν γρήγορα, όπως απαιτεί η εργασία. Επίσης υπάρχει μεγάλη έρευνα για την ανάπτυξη ανθρωπομορφικών χεριών. Τέτοια χέρια έχουν αναπτυχθεί για χρήση στην προσθετική ιατρική καθώς και για χρήση στις κατασκευές. Από τη στιγμή που ενδιαφερόμαστε για την ανάλυση και τον έλεγχο του ίδιου του χειριστή και όχι για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ή το τελικό στοιχείο δράσης, δε θα συζητήσουμε τότε το σχεδιασμό του τελικού στοιχείου δράσης

1.3 ΚΟΙΝΕΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΩΝ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ

Αν και υπάρχουν πολλοί πιθανοί τρόποι χρήσης πρισματικών και περιστροφικών αρθρώσεων για τη δόμηση κινηματικών αλυσίδων, στην πράξη μόνο μερικοί από αυτούς εφαρμόζονται. Εδώ περιγράφουμε εν συντομία διάφορες διατάξεις που είναι οι πιο χαρακτηριστικές.

1.3.1 Αρθρωτός χειριστής (RRR)

Ο αρθρωτός χειριστής καλείται επίσης περιστροφικός ή ανθρωπομορφικός χειριστής. Ο αρθρωτός βραχίονας ABB IRB1400 παρουσιάζεται στο σχήμα 1.6.



Fig. 1.6 The ABB IRB1400 Robot. Photo courtesy of ABB.

[Σχήμα 1.6 Ρομπότ ABB IRB1400](#)

Ένας συνηθισμένος σχεδιασμός περιστροφικής άρθρωσης είναι η παραλληλόγραμμη συνδεσμολογία, όπως στο Motoman SK16, που δείχνεται παρακάτω στο σχήμα 1.7.



Fig. 1.7 The Motoman SK16 manipulator.

[Σχήμα 1.7 Χειριστής Motoman SK16](#)

Και στις δυο αυτές διατάξεις, ο άξονας z_2 της άρθρωσης είναι παράλληλος με τον z_1 και οι άξονες z_1 και z_2 είναι κάθετοι στον z_3 . Αυτό το είδος του χειριστή είναι γνωστό ως χειριστής τύπου αγκώνα. Η δομή και η ορολογία που σχετίζονται με το χειριστή τύπου αγκώνα δείχνονται στο σχήμα 1.8. Ο χώρος εργασίας του δείχνεται στο σχήμα 1.9.

Ο περιστροφικός χειριστής προσφέρεται για σχετικά μεγάλη ελευθερία κίνησης σε περιορισμένο χώρο. Η παραλληλόγραμμη συνδεσμολογία αν και τυπικά είναι λιγότερη ευέλικτη από το χειριστή τύπου αγκώνα, έχει μερικά πλεονεκτήματα που την κάνουν ελκυστική και σχεδιαστικά δημοφιλή.

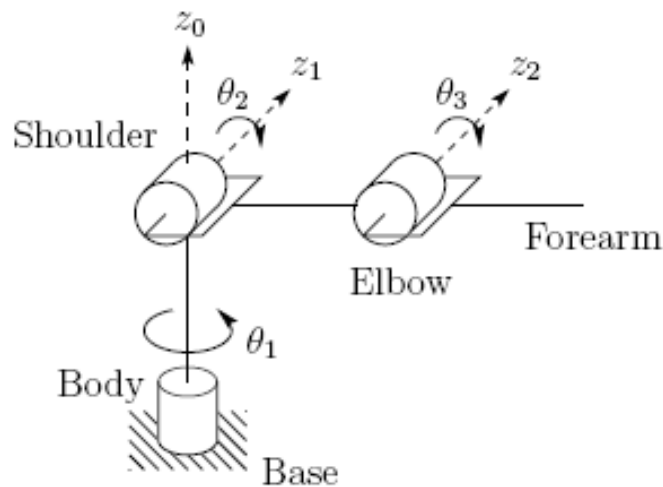


Fig. 1.8 Structure of the elbow manipulator.

[Σχήμα 1.8 Δομή του χειριστή τύπου αγκώνα](#)

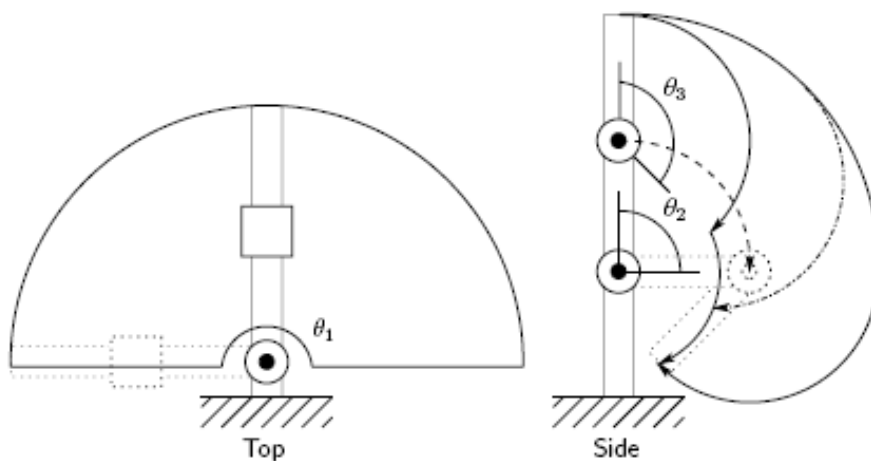


Fig. 1.9 Workspace of the elbow manipulator.

[Σχήμα 1.9 Χώρος εργασίας του χειριστή τύπου αγκώνα](#)

Το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό γνώρισμα του χειριστή είναι ότι ο ενεργοποιητής της άρθρωσης 3 βρίσκεται στο σύνδεσμο 1. Δεδομένου ότι το βάρος του κινητήρα υπολογίζεται από το σύνδεσμο 1, οι σύνδεσμοι 2 και 3 μπορούν να κατασκευαστούν ελαφρύτεροι και οι ίδιοι οι κινητήρες μπορούν να είναι λιγότερο ισχυροί. Επίσης η δυναμική του παραλληλόγραμμου χειριστή είναι απλούστερη από εκείνη του χειριστή τύπου αγκώνα, καθιστώντας κατά συνέπεια ευκολότερο τον έλεγχό του.

1.3.2 Σφαιρικός χειριστής (RRP)

Αντικαθιστώντας την τρίτη ή τύπου αγκώνα άρθρωση στον περιστροφικό χειριστή με μια πρισματική άρθρωση, λαμβάνουμε το σφαιρικό χειριστή που δείχνεται στο σχήμα 1.10. Ο όρος σφαιρικός χειριστής προκύπτει από το γεγονός ότι οι σφαιρικές συντεταγμένες που προσδιορίζουν τη θέση του τελικού στοιχείου δράσης σε σχέση με το πλαίσιο του οποίου η αρχή εντοπίζεται στην τομή των τριών αξόνων z , είναι οι ίδιες όπως και οι πρώτες τρεις μεταβλητές της άρθρωσης. Το σχήμα 1.11 δείχνει το βραχίονα Stanford, ένα από τα πιο γνωστά σφαιρικά ρομπότ. Ο χώρος εργασίας του σφαιρικού χειριστή δείχνεται στο σχήμα 1.12.

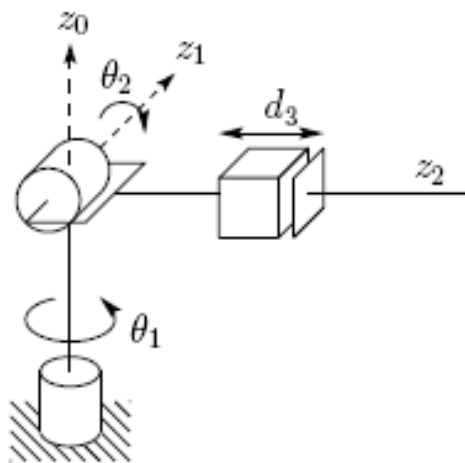


Fig. 1.10 The spherical manipulator.

[Σχήμα 1.10 Ο σφαιρικός χειριστής](#)



Fig. 1.11 The Stanford Arm. Photo courtesy of the Coordinated Science Lab, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Σχήμα 1.11 Ο βραχίονας Stanford

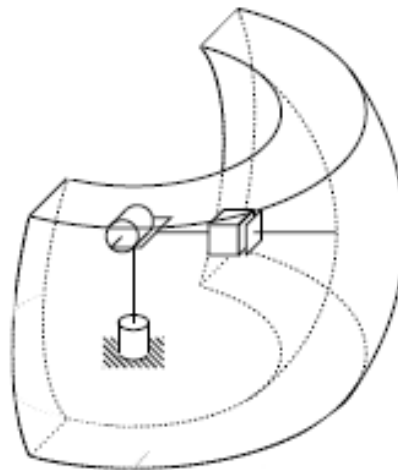


Fig. 1.12 Workspace of the spherical manipulator.

Σχήμα 1.12 Ο χώρος εργασίας του σφαιρικού χειριστή

1.3.3 Χειριστής SCARA (RRP)

Ο βραχίονας SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) που δείχνεται στο σχήμα 1.13, είναι ένας δημοφιλής χειριστής, ο οποίος, όπως υποδηλώνει και το όνομά του, είναι ιδανικός για εργασίες συναρμολόγησης. Αν και ο SCARA έχει δομή RRP, είναι αρκετά διαφορετικός από το σφαιρικό χειριστή και στην εμφάνιση αλλά και στο εύρος εφαρμογών

του. Αντίθετα με το σφαιρικό χειριστή, ο οποίος έχει τον z_0 κάθετο στον z_1 , και τον z_1 κάθετο στον z_2 , ο SCARA έχει τους z_0 , z_1 και z_2 αμοιβαία παράλληλους. Το σχήμα 1.14 δείχνει τον EPSON E2L653S, που είναι χειριστής τέτοιου τύπου. Ο χώρος εργασίας του χειριστή SCARA δείχνεται στο σχήμα 1.15

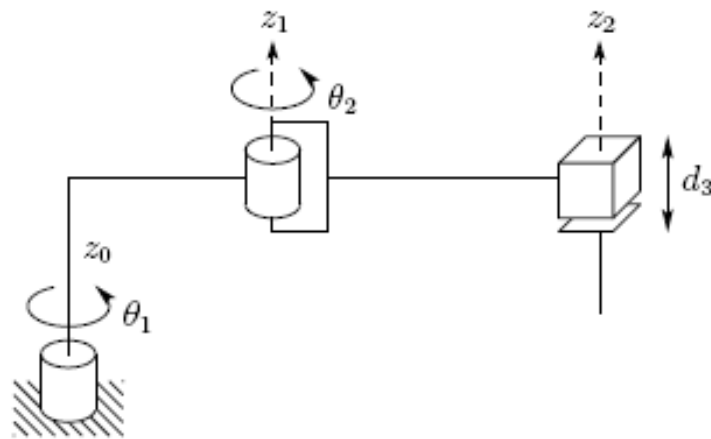


Fig. 1.13 The SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly).

[Σχήμα 1.13 Ο χειριστής SCARA](#)



Fig. 1.14 The Epson E2L653S SCARA Robot. Photo Courtesy of Epson.

[Σχήμα 1.14 Το ρομπότ Epson E2L653S SCARA](#)

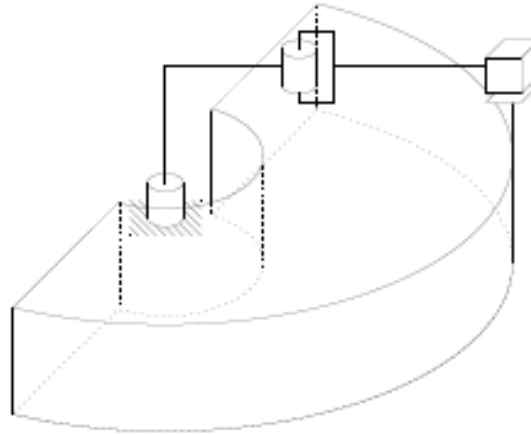


Fig. 1.15 Workspace of the SCARA manipulator.

[Σχήμα 1.15 Χώρος εργασίας του χειριστή SCARA](#)

1.3.4 Κυλινδρικός χειριστής (RPP)

Ο κυλινδρικός χειριστής δείχνεται στο σχήμα 1.16. Η πρώτη άρθρωση είναι περιστροφική και παράγει περιστροφή γύρω από τη βάση, ενώ η δεύτερη και τρίτη άρθρωση είναι πρισματικές. Όπως υποδηλώνει και το όνομα οι μεταβλητές της άρθρωσης είναι οι κυλινδρικές συντεταγμένες του τελικού στοιχείου δράσης σε σχέση με τη βάση. Ένα κυλινδρικό ρομπότ, το RT3300, δείχνεται στο σχήμα 1.17, του οποίου ο χώρος εργασίας δείχνεται στο σχήμα 1.18.

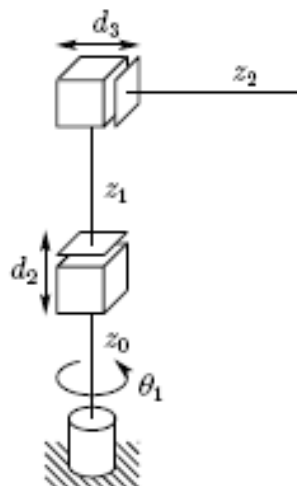


Fig. 1.16 The cylindrical manipulator.

[Σχήμα 1.16 Ο κυλινδρικός χειριστής](#)



Fig. 1.17 The Seiko RT3300 Robot. Photo courtesy of Seiko.

[Σχήμα 1.17 Το ρομπότ Seiko RT3300](#)

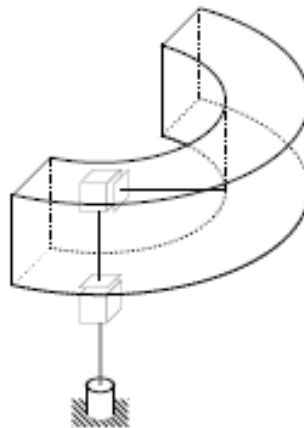


Fig. 1.18 Workspace of the cylindrical manipulator.

[Σχήμα 1.18 Χώρος εργασίας του κυλινδρικού χειριστή](#)

1.3.5 Καρτεσιανός χειριστής (PPP)

Ο χειριστής του οποίου οι τρεις πρώτες αρθρώσεις είναι πρισματικές, είναι γνωστός ως Καρτεσιανός χειριστής και δείχνεται στο σχήμα 1.19. Για τον Καρτεσιανό χειριστή οι μεταβλητές της άρθρωσης είναι οι Καρτεσιανές συντεταγμένες του τελικού στοιχείου δράσης σε σχέση με τη βάση. Όπως θα αναμενόταν, η κινηματική περιγραφή αυτού του χειριστή είναι η απλούστερη όλων των χειριστών. Οι Καρτεσιανοί χειριστές είναι χρήσιμοι για επιτραπέζιες συναρμολογήσεις και ως γερανογέφυρες, για τη μεταφορά

υλικών και φορτίων. Ένα παράδειγμα Καρτεσιανού ρομπότ από την Epson - Seiko, δείχνεται στο σχήμα 1.20. Ο χώρος εργασίας του Καρτεσιανού χειριστή δείχνεται στο σχήμα 1.21.

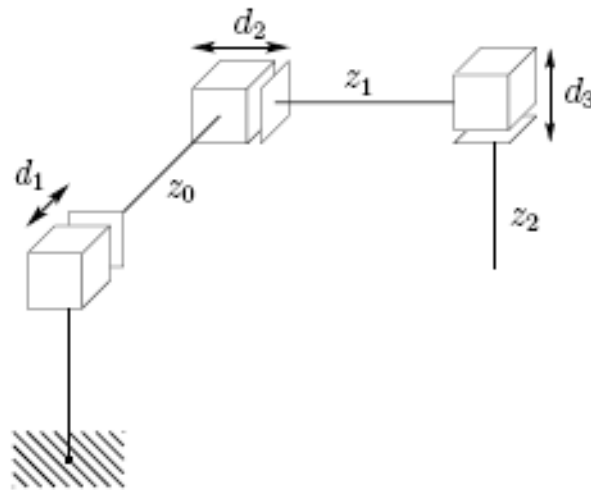


Fig. 1.19 The Cartesian manipulator.

[Σχήμα 1.19 Ο Καρτεσιανός χειριστής](#)



Fig. 1.20 The Epson Cartesian Robot. Photo courtesy of Epson.

[Σχήμα 1.20 Το Καρτεσιανό ρομπότ Epson](#)

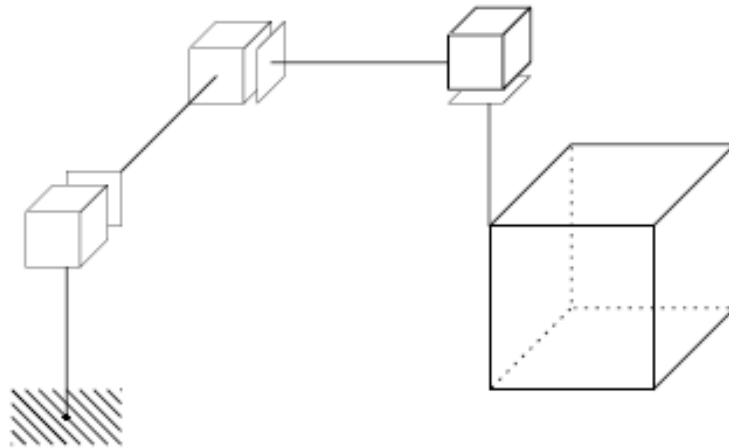


Fig. 1.21 Workspace of the Cartesian manipulator.

[Σχήμα 1.21 Ο χώρος εργασίας του Καρτεσιανού χειριστή](#)

1.3.6 Παράλληλος χειριστής

Παράλληλος χειριστής είναι αυτός του οποίου ένα υποσύνολο των συνδέσμων του, σχηματίζει μια κλειστή αλυσίδα. Πιο συγκεκριμένα, ένας Παράλληλος χειριστής έχει δυο ή περισσότερες ανεξάρτητες κινηματικές αλυσίδες συνδεόμενες στη βάση και στο τελικό στοιχείο δράσης. Το σχήμα 1.22 δείχνει το ρομπότ ABB IRB 940 Tricept, το οποίο είναι ένας Παράλληλος χειριστής. Η κινηματική της κλειστής αλυσίδας των Παράλληλων ρομπότ μπορεί να δώσει δομικά μεγαλύτερη ακαμψία και άρα μεγαλύτερη ακρίβεια, από ότι τα ρομπότ ανοιχτής αλυσίδας. Η κινηματική περιγραφή των Παράλληλων ρομπότ διαφέρει θεμελιωδώς από αυτήν των ρομπότ συνδέσμων σε σειρά και άρα απαιτεί διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης.



Fig. 1.22 The ABB IRB940 Tricept Parallel Robot. Photo courtesy of ABB.

[Σχήμα 1.22 Το Παράλληλο ρομπότ ABB IRB4940](#)

1.4 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΔΕΑ ΤΟΥ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

Μια τυπική εφαρμογή που εμπλέκει ένα βιομηχανικό χειριστή δείχνεται στο σχήμα 1.23. Ο χειριστής δείχνεται με ένα εργαλείο λείανσης, το οποίο πρέπει να χρησιμοποιήσει για να αφαιρέσει συγκεκριμένη ποσότητα μετάλλου από μια επιφάνεια. Στο παρόν κείμενο λαμβάνουμε υπόψη το παρακάτω ερώτημα :

Τι είναι τα βασικά θέματα που πρέπει να λυθούν και τι πρέπει να μάθουμε για να είμαστε ικανοί να προγραμματίσουμε ένα ρομπότ να πραγματοποιήσει τέτοιες εργασίες?

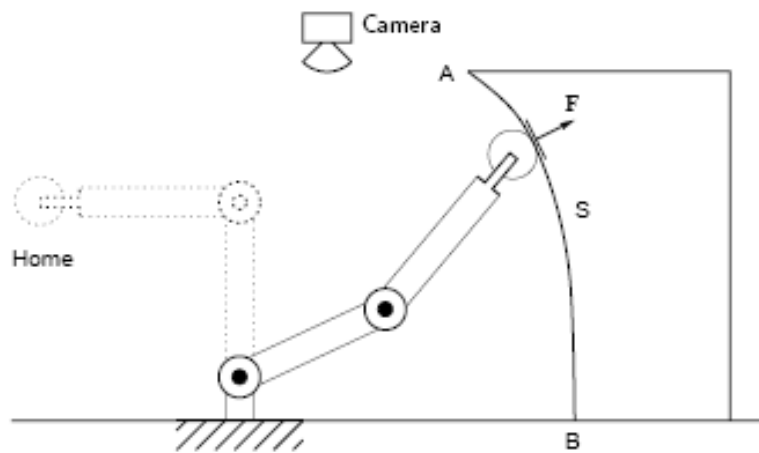


Fig. 1.23 Two-link planar robot example.

Σχήμα 1.23 Παράδειγμα επιπέδου ρομπότ δυο συνδέσμων

Η δυνατότητα απάντησης αυτού του ερωτήματος για έναν ολοκληρωμένο χειριστή έξι βαθμών ελευθερίας καθιστά το στόχο του παρόντος κειμένου. Η απάντηση είναι πολύ περιπλοκή για να αναλυθεί σε αυτό το σημείο. Ωστόσο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον απλό μηχανισμό του επιπέδου ρομπότ δυο συνδέσμων, για να αναπαραστήσουμε μερικά από τα μεγάλα θέματα που εμπλέκονται και να παρουσιάσουμε τα κυρίως μέρη που αναφέρονται σε αυτό το κείμενο.

Υποθέτουμε ότι θέλουμε να κινήσουμε το χειριστή από την αρχική του θέση σε μια θέση A, από την οποία το ρομπότ θα ακολουθήσει το περίγραμμα της επιφανείας S προς το σημείο B, με σταθερή ταχύτητα, διατηρώντας ταυτόχρονα μια προκαθορισμένη δύναμη F ασκούμενη ομαλά στην επιφάνεια. Καθώς θα συμβαίνει αυτό, το ρομπότ θα κόβει ή θα λειαίνει σύμφωνα με τις προκαθορισμένες προδιαγραφές. Για να επιτευχθεί αυτό και γενικά για ακόμη περισσότερες εργασίες, θα πρέπει να επιλύσουμε μια σειρά προβλημάτων.

Παρακάτω δίνουμε παραδείγματα τέτοιων προβλημάτων, στα οποία θα αναφερθούμε με περισσότερες λεπτομέρειες στο υπόλοιπο κείμενο.

Ευθεία κινηματική

Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε είναι η περιγραφή της θέσης του εργαλείου και των θέσεων A και B (και ακόμα περισσότερο για ολόκληρη την επιφάνεια S), σε σχέση με ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Στο κεφάλαιο 2 αναλύονται οι τρόποι αναπαράστασης συστημάτων συντεταγμένων και μετασχηματισμών ανάμεσα σε ποικίλα συστήματα συντεταγμένων.

Τυπικά, ένας χειριστής θα είναι ικανός να αντιληφθεί τη θέση του κατά μια έννοια, χρησιμοποιώντας εσωτερικούς αισθητήρες (αποκωδικοποιητές θέσης που βρίσκονται στις αρθρώσεις 1 και 2), που θα μπορούν να μετρήσουν ευθέως τις γωνίες των αρθρώσεων θ_1 και θ_2 . Επίσης χρειάζεται να εκφράσουμε τις θέσεις A και B σε σχέση με αυτές τις γωνίες. Αυτό οδηγεί στο πρόβλημα της ευθείας κινηματικής που καλύπτεται στο κεφάλαιο 3, το οποίο σημαίνει ότι θα πρέπει να καθορίσουμε τη θέση και τον προσανατολισμό του τελικού στοιχείου δράσης ή εργαλείου σε σχέση με τις μεταβλητές των αρθρώσεων.

Είναι σύνηθες να εγκαθιστούμε ένα ακίνητο σύστημα συντεταγμένων, που ονομάζεται παγκόσμιο ή πλαίσιο βάσης και στο οποίο αναφέρονται όλα τα αντικείμενα συμπεριλαμβανομένου και του χειριστή. Σε αυτήν την περίπτωση εγκαθιστούμε στο πλαίσιο συντεταγμένων βάσης $o_0 x_0 y_0$ στη βάση του ρομπότ, όπως δείχνεται στο σχήμα 1.24.

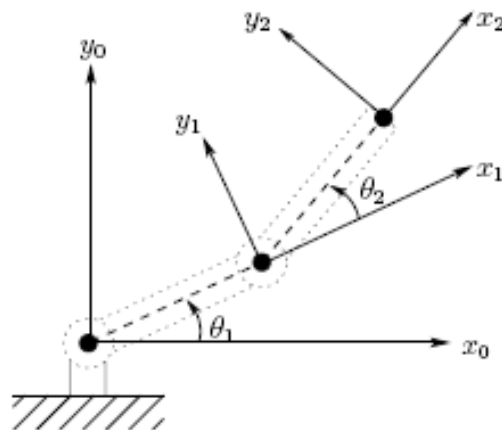


Fig. 1.24 Coordinate frames for two-link planar robot.

[Σχήμα 1.24 Πλαίσια συντεταγμένων για το επίπεδο ρομπότ δυο συνδέσμων](#)

Οι συντεταγμένες (x, y) του εργαλείου εκφράζονται σε αυτό το πλαίσιο συντεταγμένων ως :

$$x = x_2 = \alpha_1 \cos \theta_1 + \alpha_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1.1)$$

$$y = y_2 = \alpha_1 \sin \theta_1 + \alpha_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (1.2)$$

οπού a_1 και a_2 είναι τα μήκη των δυο συνδέσμων αντίστοιχα. Επίσης ο προσανατολισμός του πλαισίου του εργαλείου σε σχέση με το πλαίσιο της βάσης, δίδεται από τα συνιμήτονα κατεύθυνσης των αξόνων x_2 και y_2 σε σχέση με τους άξονες x_0 και y_0 ώστε

$$\begin{aligned} x_2 \cdot x_0 &= \cos(\theta_1 + \theta_2); & x_2 \cdot y_0 &= -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 \cdot x_0 &= \sin(\theta_1 + \theta_2); & y_2 \cdot y_0 &= \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned}$$

τα οποία συνδυαζόμενα δίδουν τον πίνακα προσανατολισμού

$$\begin{bmatrix} x_2 \cdot x_0 & y_2 \cdot x_0 \\ x_2 \cdot y_0 & y_2 \cdot y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Οι εξισώσεις (1.1), (1.2) και (1.3) καλούνται ευθείες κινηματικές εξισώσεις για το βραχίονα. Για ένα ρομπότ έξι βαθμών ελευθερίας αυτές οι εξισώσεις είναι αρκετά πολύπλοκες και δε μπορούν να γραφούν τόσο εύκολα, όπως για το χειριστή δυο συνδέσμων. Η γενική διαδικασία που αναφέρεται στο κεφάλαιο 3 εγκαθιστά πλαίσια συντεταγμένων σε κάθε άρθρωση επιτρέποντας το συστηματικό μετασχηματισμό ανάμεσα σε αυτά τα πλαίσια, χρησιμοποιώντας μετασχηματισμούς πινάκων. Η διαδικασία που χρησιμοποιούμε καλείται μετασχηματισμός Denavit - Hartenberg. Έτσι, χρησιμοποιούμε ομογενείς συντεταγμένες και ομογενείς μετασχηματισμούς για να απλοποιήσουμε το μετασχηματισμό ανάμεσα στα πλαίσια συντεταγμένων.

Αντίστροφη κινηματική

Με γνωστές τις γωνίες των αρθρώσεων θ_1 και θ_2 μπορούμε να προσδιορίσουμε τις συντεταγμένες x και y του τελικού στοιχείου δράσης. Για να δώσουμε εντολή στο ρομπότ να κινηθεί προς τη θέση A , χρειαζόμαστε την αντίστροφη ανάλυση, δηλαδή τις μεταβλητές των αρθρώσεων θ_1 και θ_2 σε σχέση με τις συντεταγμένες x και y του A . Αυτό είναι πρόβλημα της αντίστροφης κινηματικής. Με άλλα λόγια με δεδομένα τα x και y στις

εξισώσεις (1.1) και (1.2) της ευθείας κινηματικής, ζητούμε τη λύση για τις γωνίες των αρθρώσεων.

Από τη στιγμή που οι εξισώσεις της ευθείας κινηματικής είναι μη γραμμικές, η λύση μπορεί να μην είναι εύκολο να βρεθεί, ούτε υπάρχει μοναδική λύση, γενικότερα. Βλέπουμε ότι στην περίπτωση του επίπεδου μηχανισμού δυο συνδέσμων μπορεί να μην υπάρχει λύση, για παράδειγμα αν οι δίδόμενες συντεταγμένες (x,y) είναι εκτός εμβελείας του χειριστή. Αν οι δίδόμενες συντεταγμένες (x,y) είναι εντός εμβελείας του χειριστή μπορεί να υπάρξουν τότε δυο λύσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 1.25, οι διαμορφώσεις που καλούνται ανύψωση και βύθιση αγκώνα ή μπορεί να υπάρξει ακριβώς μια λύση αν ο χειριστής είναι σε πλήρη έκταση για να προσεγγίσει στο σημείο. Βέβαια μπορεί να υπάρξουν και άπειρες λύσεις σε μερικές περιπτώσεις (πρόβλημα 1.25).

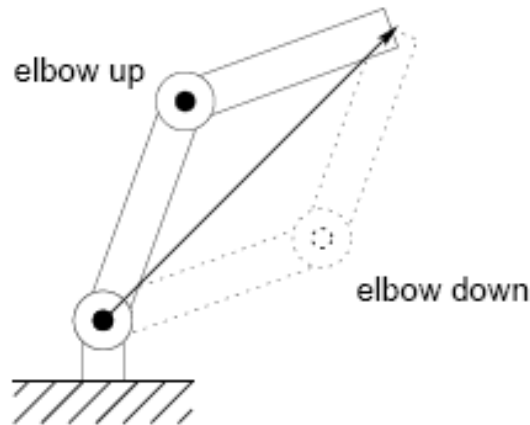


Fig. 1.25 Multiple inverse kinematic solutions.

Σχήμα 1.25 Πολλαπλές λύσεις αντίστροφης κινηματικής

Λαμβάνουμε το διάγραμμα του σχήματος 1.26. Σύμφωνα με το νόμο των συνημίτονων βλέπουμε ότι η γωνία θ_2 δίδεται από

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - \alpha_1^2 - \alpha_2^2}{2\alpha_1\alpha_2} := D \tag{1.4}$$

οπότε η θ_2 προσδιορίζεται ως

$$\theta_2 = \cos^{-1}(D) \tag{1.5}$$

Ωστόσο, καλύτερος τρόπος για την εύρεση της θ_2 είναι ότι αν προσέξουμε πως το $\cos(\theta_2)$ δίδεται από την εξίσωση 1.4 τότε το $\sin(\theta_2)$ δίδεται από

$$\sin(\theta_2) = \pm\sqrt{1 - D^2} \quad (1.6)$$

οπότε η θ_2 βρίσκεται από

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\pm\sqrt{1 - D^2}}{D} \quad (1.7)$$

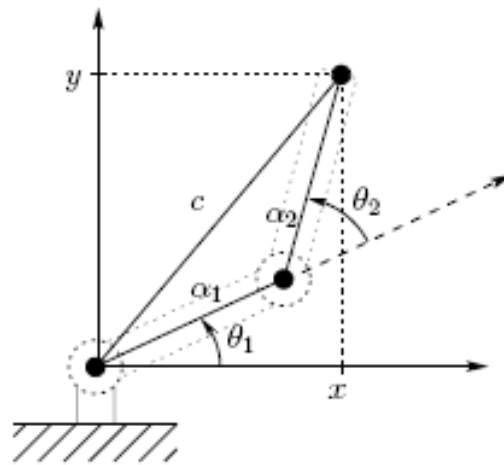


Fig. 1.26 Solving for the joint angles of a two-link planar arm.

Σχήμα 1.26 Επίλυση για τις γωνίες των αρθρώσεων του επίπεδου βραχίονα δυο συνδέσμων

Το πλεονέκτημα της παραπάνω προσέγγισης είναι ότι και οι δυο λύσεις (ανύψωση και βύθιση αγκώνα) καλύπτονται επιλέγοντας τα θετικά και αρνητικά πρόσημα στην εξίσωση 1.7 αντίστοιχα.

Ζητείται σαν άσκηση (πρόβλημα 1.19) ναδειχθεί ότι η θ_1 είναι

$$\theta_1 = \tan^{-1}(y/x) - \tan^{-1} \left(\frac{\alpha_2 \sin \theta_2}{\alpha_1 + \alpha_2 \cos \theta_2} \right) \quad (1.8)$$

Σημειώνεται ότι η θ_1 εξαρτάται από τη θ_2 . Αυτό έχει έννοια φυσικά, από τη στιγμή που περιμένουμε να λάβουμε μια διαφορετική τιμή για τη θ_1 , κάτι που εξαρτάται από το ποια λύση επιλέγεται για τη θ_2 .

Κινηματική ταχύτητας

Για να ακολουθήσουμε ένα περίγραμμα με σταθερή ταχύτητα ή με μια οποιαδήποτε προκαθορισμένη ταχύτητα πρέπει να γνωρίζουμε τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας του εργαλείου και των ταχυτήτων των αρθρώσεων. Σε αυτήν την περίπτωση με διαφορίση των εξισώσεων 1.1 και 1.2 λαμβάνουμε

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -\alpha_1 \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - \alpha_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{y} &= \alpha_1 \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + \alpha_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\end{aligned}\quad (1.9)$$

Χρησιμοποιώντας το συμβολισμό του διανύσματος

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \text{ and } \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$$

αυτές οι εξισώσεις μπορούν να γραφούν ως

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \begin{bmatrix} -\alpha_1 \sin \theta_1 - \alpha_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) & -\alpha_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \alpha_1 \cos \theta_1 + \alpha_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & \alpha_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \dot{\theta} \\ &= J\dot{\theta}\end{aligned}\quad (1.10)$$

Σχεδιασμός διαδρομής και παραγωγή τροχιάς

Το πρόβλημα ελέγχου ενός ρομπότ αναλύεται ιεραρχικά σε τρεις στόχους: σχεδιασμός διαδρομής, παραγωγή τροχιάς, και ανίχνευση τροχιάς. Το πρόβλημα σχεδιασμού της διαδρομής αναλύεται στο κεφαλαίο 5, ώστε ο καθορισμός της διαδρομής στο χώρο εργασίας (ή στο χώρο διαμόρφωσης) με την κίνηση του ρομπότ προς μια θέση-στόχο αποφεύγοντας ταυτόχρονα συγκρούσεις με αντικείμενα εντός του χώρου εργασίας του. Αυτές οι διαδρομές εμπεριέχουν κωδικοποιημένες πληροφορίες για τη θέση και τον προσανατολισμό, χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη το χρόνο, δηλαδή χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη ταχύτητες και επιταχύνσεις ανάμεσα στις σχεδιασμένες διαδρομές. Το πρόβλημα παραγωγής τροχιάς αναλύεται επίσης στο κεφαλαίο 5, έτσι ώστε να παραχθούν διαδρομές αναφοράς που προσδιορίζουν το χρονικό ιστορικό του χειριστή κατά μήκος μιας δεδομένης διαδρομής ή ανάμεσα στις αρχικές και τελικές διαμορφώσεις-θέσεις. Αυτές τυπικά δίνονται στο χώρο της άρθρωσης σαν πολυωνυμικές συναρτήσεις του χρόνου. Θα συζητήσουμε τα περισσότερα συνηθισμένα σχήματα πολυωνυμικής παρεμβολής που χρησιμοποιούνται για να παραχθούν τέτοιες τροχιάς.

Δυναμική

Ένας ρομποτικός χειριστής είναι συνήθως μια συσκευή θέσης. Για τον έλεγχο της θέσης πρέπει να ξέρουμε τις δυναμικές ιδιότητες του χειριστή έτσι ώστε να ξέρουμε πόση δύναμη θα ασκήσουμε πάνω του για να προκαλέσουμε μια κίνηση : πολύ μικρή δύναμη και ο χειριστής θα αργήσει να αντιδράσει, πολύ μεγάλη δύναμη και ο βραχίονας θα συγκρουστεί με αντικείμενα ή εμπόδια έως ότου φτάσει στην επιθυμητή θέση.

Η παραγωγή των δυναμικών εξισώσεων της κίνησης των ρομπότ δεν είναι τόσο απλή εργασία εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των βαθμών ελευθερίας και την παρουσία μη γραμμικοτήτων στο σύστημα. Στο κεφαλαίο 6 θα αναπτύξουμε τεχνικές βασισμένες στη Lagrangian δυναμική για συστηματική παραγωγή των εξισώσεων της κίνησης ενός τέτοιου συστήματος, σε αντίθεση με τους άκαμπτους συνδέσμους η συνολική περιγραφή της δυναμικής του ρομπότ περιλαμβάνει τη δυναμική των ενεργοποιητών οι οποίοι παράγουν τις δυνάμεις και ροπές για την οδήγηση του ρομπότ και της δυναμικής των οδηγών μηχανισμών για τη μετάδοση της ισχύος από τους ενεργοποιητές στους συνδέσμους.

Έλεγχος θέσης

Το πρόβλημα ελέγχου θέσης συνίσταται από το πρόβλημα της ανίχνευσης και της απόρριψης διαταραχών , το οποίο είναι ένα πρόβλημα του καθορισμού των απαραίτητων εισόδων για τον έλεγχο, ή της ανίχνευσης μιας επιθυμητής τροχιάς η οποία έχει σχεδιαστεί για το χειριστή, με ταυτόχρονη απόρριψη διαταραχών, εξαιτίας των μη μοντελοποιημένων δυναμικών αποτελεσμάτων όπως είναι η τριβή και ο θόρυβος. Αναπτύσσουμε λεπτομερώς συγκεκριμένες προσεγγίσεις για τον έλεγχο του ρομπότ οι οποίες βασίζονται σε τεχνικές ανάλυσης στο πεδίο συχνότητας. Επίσης εισάγουμε την έννοια του ελέγχου της προώθησης τροφοδοσίας και τις τεχνικές για τον υπολογισμό της ροπής και την αντίστροφη δυναμική έτσι ώστε να γίνει ο συνδυασμός των σύνθετων μη γραμμικών δυνάμεων αλληλεπίδρασης ανάμεσα στους συνδέσμους του χειριστή.

Έλεγχος δύναμης

Από τη στιγμή που ο χειριστής έχει προσεγγίσει τη θέση A πρέπει να ακολουθήσει το περίγραμμα S διατηρώντας μια σταθερή δύναμη ασκούμενη κάθετα στην επιφάνεια. Επόμενος γνωρίζοντας, τη θέση του αντικειμένου και το σχήμα του περιγράμματος, κάποιος μπορεί να εκτελέσει αυτήν την εργασία χρησιμοποιώντας μόνο έλεγχο θέσης. Αυτό ωστόσο είναι πρακτικά δύσκολο να επιτευχθεί. Από τη στιγμή που ο ίδιος ο χειριστής έχει υψηλή ακαμψία οποιαδήποτε σφάλματα για τον εντοπισμό της θέσης, εξαιτίας της

αβεβαιότητας για τη συγκεκριμένη θέση της επιφάνειας ή του εργαλείου, θα δώσει εξαιρετικά μεγάλες δυνάμεις στο τελικό στοιχείο δράσης οι οποίες μπορούν να καταστρέψουν το εργαλείο, την επιφάνεια ή και το ίδιο το ρομπότ. Μια καλύτερη προσέγγιση είναι να μετρήσουμε τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης άμεσα και να χρησιμοποιήσουμε μια μέθοδο ελέγχου δύναμης (υβριδικός έλεγχος και έλεγχος αντίστασης).

Όραση

Οι κάμερες έχουν γίνει αξιόπιστοι και σχετικά όχι ακριβοί αισθητήρες σε πολλές ρομποτικές εφαρμογές. Αντίθετα με τους αισθητήρες των αρθρώσεων, οι οποίοι δίνουν πληροφορίες για την εσωτερική διαμόρφωση των ρομπότ, οι κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για να μετρήσουν τη θέση του ρομπότ και να εντοπίσουν αντικείμενα εξωτερικά του ρομπότ αλλά εκτός του χώρου εργασίας. Η ηλεκτρονική όραση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης και προσανατολισμού των αντικειμένων.

Έλεγχος βασισμένος στην όραση

Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να θέλουμε να ελέγξουμε την κίνηση του χειριστή σε σχέση με κάποιο στόχο καθώς το τελικό στοιχείο δράσης κινείται ανάμεσα στον ελεύθερο χώρο. Εδώ δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο έλεγχος δύναμης. Αντί αυτού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ηλεκτρονική όραση για να κλείσει ο έλεγχος βρόγχου γύρω από τον αισθητήρα της όρασης. Μια τέτοια μέθοδος είναι η Image-Based Visual Servo (IBVS).

1.4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο, έχει γίνει μια εισαγωγή και επισκόπηση κάποιων από τις βασικές ιδέες που απαιτούνται για την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για ρομποτικούς βραχίονες. Επίσης έχουν αναφερθεί λίγα από τα σχετικά μηχανικά ζητήματα των ρομποτικών συστημάτων.