

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη Ρομποτικού Βραχίονα με εφαρμογές στην
παραγωγική διαδικασία**

Applications in the production process with Robot Arm

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΝΤΑΒΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ (5437)

ΝΤΑΒΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ (5763)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΥΦΑΝΤΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία αναφέρεται στα ρομποτικά συστήματα και στις εφαρμογές αυτών στις διάφορες πτυχές της σύγχρονης παραγωγικής διαδικασίας. Αρχικά γίνεται μία εισαγωγή στην προέλευση των ρομποτικών συστημάτων και στην ανάπτυξή τους στο πέρασμα των χρόνων με μια σύντομη ιστορική αναδρομή.

Συγκεκριμένα αναφέρεται ο τρόπος λειτουργίας ενός ρομποτικού βραχίονα με τους διάφορους βαθμούς ελευθερίας και τους τρόπους μετάδοσης της κίνησης όπως οι σέρβο-κινητήρες. Επίσης αναφέρουμε τις εφαρμογές της ρομποτικής στους διάφορους τομείς της ιατρικής και της εξερεύνησης του διαστήματος καθώς και στη σύγχρονη Ελληνική βιομηχανία. Αναφέρονται επίσης τα διάφορα είδη των ρομποτικών συστημάτων και γίνεται συσχέτιση αυτών με το ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με το ρομποτικό βραχίονα 5250 του οίκου Lab-Volt που ανήκει στους ανθρωπομορφικούς βραχίονες. Ο συγκεκριμένος βραχίονας είναι πέντε βαθμών ελευθερίας και λειτουργεί με σέρβο-κινητήρες. Θα εμβαθύνουμε στις μεθόδους προγραμματισμού του βραχίονα τόσο με την βοήθεια του λογισμικού Robotics της εταιρείας Labvolt όσο και με την βοήθεια του χειριστηρίου προγραμματισμού μέσω κατάλληλων εντολών. Επίσης μελετήθηκε η κεντρική μονάδα του βραχίονα μέσω των μονάδων εισόδων και εξόδων που διαθέτει για επικοινωνία με άλλες συσκευές και αισθητήρια, ενώ αναλύθηκαν και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητηρίων που χρησιμοποιήσαμε στην εφαρμογή μας,

Η εφαρμογή που αναπτύξαμε εξομοιώνει μια γραμμή παραγωγής με ταινιόδρομο στον οποίο υπάρχουν δυο τερματικές επαφές και τέσσερις αισθητήρες ανίχνευσης κίνησης και αντικειμένων που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στο πρόγραμμα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο ρομποτικός βραχίονας εκτελεί διάφορες διεργασίες που του έχουμε ορίσει εμείς με τη βοήθεια του λογισμικού Robotics.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών στο εργαστήριο Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Παναγιώτη Ράπτη καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολογίας για την πολύτιμη συνεισφορά του στην εκπόνηση της εργασίας. Τέλος ευχαριστούμε τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Απόστολο Υφαντή Προϊστάμενο και Υπεύθυνο του εργαστηρίου για τη φιλική συνεργασία του καθώς και για την παραχώρηση του εργαστηριακού χώρου και του εξοπλισμού με σκοπό την εκτέλεση του πειραματικού μέρους της εργασίας.

Ντάβος Αθανάσιος

Ντάβος Αθανάσιος

Απρίλιος 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....7

Κεφάλαιο 1 - Ορισμός και βασικές έννοιες ρομπότ

1.1 Ορισμός.....	9
1.2 Βασικές έννοιες ρομποτικής.....	10
1.2.1 Βραχίονας.....	11
1.2.2 Κινήσεις καρπού και τελικού στοιχείου δράσης.....	13
1.2.3 Χειριστήριο Προγραμματισμού.....	14
1.2.4 Κεντρικός ελεγκτής.....	15
1.3 Άξονες και βαθμοί ελευθερίας.....	15
1.4 Συστήματα μετάδοσης κίνησης.....	16
1.5 Χώρος Εργασίας.....	17
1.6 Ωφέλιμο Φορτίο – Επαναληψιμότητα – Ακρίβεια.....	18

Κεφάλαιο 2 - Τύποι ρομπότ

2.1 Ταξινόμηση ανάλογα με τον τύπο κίνησης.....	20
2.1.1 Ρομποτικά συστήματα σημείου – προς – σημείο.....	20
2.1.2 Ρομποτικά συστήματα συνεχούς δρόμου.....	22
2.1.3 Προγραμματισμός τροχιάς.....	23
2.1.4 Ρομπότ ελεγχόμενης τροχιάς.....	24
2.2 Ταξινόμηση ανάλογα με την μηχανική δομή.....	25
2.2.1 Καρτεσιανοί Βραχίονες.....	25
2.2.2 Βραχίονες Gantry.....	26
2.2.3 Κυλινδρικοί Βραχίονες.....	26
2.2.4 Σφαιρικοί Βραχίονες.....	26
2.2.5 Βραχίονες SCARA.....	26
2.2.6 Αρθρωτά Ρομπότ.....	27
2.3 Ρομποτικά Συστήματα Ελέγχου.....	27
2.4 Σύγκριση και διαφορές χωρικού μηχανισμού και ρομποτικού βραχίονα.....	28

Κεφάλαιο 3 - Εφαρμογές ρομποτικής

3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Πλεονεκτήματα, και σύγκριση με τον ανθρώπινο παράγοντα.....	33
3.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στην ιατρική.....	36
3.3.1 Χειρουργικά ρομποτικά συστήματα.....	37
3.3.1.1 Συστήματα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων.....	37
3.3.1.2 Ρομποτικά συστήματα ενδοσκόπησης.....	41
3.3.1.3 Συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής.....	42
3.3.1.4 Συστήματα ελέγχου και τηλεσυνεργασίας.....	43
3.3.1.5 Ρομποτικά συστήματα τύπου MASTER-SLAVE.....	43
3.4 Η ρομποτική στην εξερεύνηση του διαστήματος.....	45
3.4.1 Παρελθοντικές και μελλοντικές αποστολές.....	45
3.5 Εφαρμογές Ρομποτικών Συστημάτων στην ελληνική βιομηχανία.....	48
3.5.1 Πού χρησιμοποιούνται τα Ρομποτικά Συστήματα στην Ελληνική Βιομηχανία.....	49

Κεφάλαιο 4 - Ο ρομποτικός βραχίονας της Lab - Volt

4.1 Ο Ρομποτικός βραχίονας.....	53
4.1.1 Ο ελεγκτής ρομπότ.....	54
4.1.2 Ο οπτικός κωδικοποιητής.....	54
4.1.3 Εύρος εργασίας.....	55
4.1.4 Συσκευή επίδρασης.....	56
4.1.5 Σημεία θέσεων.....	56
4.1.6 Σημεία ελέγχου.....	57
4.1.7 Αρχική θέση (Home Position).....	57
4.2 Προγραμματισμός.....	58
4.2.1 Μέθοδοι προγραμματισμού.....	58
4.2.2 Από σημείο σε σημείο προγράμματα.....	59
4.2.3 Στοιχειώδη προγράμματα.....	59
4.2.4 Προγραμματισμός χρησιμοποιώντας το φορητό τερματικό ή την Ρομποτική.....	60
4.2.5 Βασικές εντολές.....	61
4.2.6 Τροποποίηση προγραμμάτων.....	62
4.2.7 Επιμελητής προγράμματος.....	62
4.3 Είσοδοι (inputs) και έξοδοι (outputs).....	62
4.3.1 Εντολές ελέγχου.....	63

Κεφάλαιο 5 - Προγραμματισμός με τη χρήση εντολών

5.1 Περιγραφή εντολών.....	66
5.1.1 CAROUSEL (Μύλος).....	66
5.1.2 CNCINPUT (Είσοδος cnc).....	66
5.1.3 CNCOUTPUT (Έξοδος cnc).....	67
5.1.4 DELAY (καθυστέρηση).....	67
5.1.5 DO (εκτέλεσε).....	68
5.1.6 DRIVETO (πήγαινε προς).....	68
5.1.7 ELSE (Αλλιώς).....	69
5.1.8 END (τέλος).....	70
5.1.9 ENDIF (τέλος εάν).....	70
5.1.10 ERROR (Σφάλμα).....	71
5.1.11 GOSUB (πήγαινε υπογείως).....	71
5.1.12 HOME (Σπίτι).....	72
5.1.13 IF (εάν).....	72
5.1.14 INPUT (είσοδος).....	73
5.1.15 LATHE (διατομή).....	73
5.1.16 MESSAGE (μήνυμα).....	74
5.1.17 MILL.....	74
5.1.18 MOVETO (πήγαινε προς).....	74
5.1.19 OUTPUT (έξοδος).....	75
5.1.20 RELAY (επιβράδυνση).....	75
5.1.21 REPEAT (επανάληψη).....	75
5.1.22 RESTART (επανεκκίνηση).....	76
5.1.23 RETURN (επιστροφή).....	76
5.1.24 RUNTO (εκτέλεσε έως).....	77
5.1.25 SPEED (ταχύτητα).....	77
5.1.26 SUB (υπό).....	78

5.1.27 UNTIL (έως).....	79
5.1.28 WHILE (μέχρι).....	79
5.2 Τρόποι γραφής των προγραμμάτων.....	80
5.2.1 Εντολές κειμένου.....	80
5.2.2 Διαγράμματα ροής.....	81
5.2.3 Εντολές με τη χρήση εικονιδίων.....	83

Κεφάλαιο 6 - Αισθητήρια

6.1 Θεωρία των Αισθητήρων.....	84
6.1.1 Εισαγωγή.....	84
6.1.2 Τύποι Αισθητήρων.....	84
6.1.3 Ορολογία Αισθητήρων.....	87
6.1.4 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων.....	89
6.2 Περιγραφή των αισθητηρίων της εφαρμογής μας.....	95

Κεφάλαιο 7 – Υλοποίηση της εφαρμογής

7.1 Εισαγωγή.....	101
7.2 Περιγραφή του προγράμματος.....	101
7.3 Πρόγραμμα γραμμών εντολών.....	103
7.4 Παρουσίαση της εφαρμογής με τη βοήθεια φωτογραφιών.....	111

Συμπεράσματα.....	131
Βιβλιογραφία.....	132

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια του ρομπότ εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου και από τις απλές μηχανές, που μπορούσαν να εκτελέσουν στερεότυπες και επαναλαμβανόμενες κινήσεις, η επιστημονική φαντασία έφτασε στα υψηλής νοημοσύνης ανδροειδή, δηλαδή ρομπότ που συμπεριφέρονται όπως οι άνθρωποι. Παρόλο που, τα σημερινά ρομπότ εξακολουθούν να είναι μηχανές χωρίς νοημοσύνη, έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες να επεκταθεί η χρησιμότητά τους.

Αναζητώντας κανείς τις ρίζες της ρομποτικής θα οδηγηθεί αρκετά πίσω στην ιστορία της ανθρωπότητας. Πράγματι, η φιλοδοξία του ανθρώπου να δημιουργήσει μηχανές που θα του μοιάζουν τόσο στη μορφή όσο και τη λειτουργία πρωτοσυναντάται στην ελληνική μυθολογία. Σύμφωνα με την τελευταία ο τιτάνας Προμηθέας έπλασε την ανθρωπότητα από πηλό. Επιπλέον ο Τάλος, ο μυθικός χάλκινος γίγαντας που κατασκεύασε ο Ήφαιστος για να προστατεύει την Κρήτη από τους εισβολείς, αποτελεί το πρώτο «αυτόματο» στην ανθρώπινη ιστορία.

Στη σύγχρονη εποχή, η εισαγωγή της έννοιας των ρομπότ έγινε το 1921 από τον Τσέχο θεατρικό συγγραφέα Karel Čapek με το θεατρικό έργο “Rossum’s Universal Robots”. Στο τελευταίο ο συγγραφέας φαντάζεται ένα μηχανικό κατασκεύασμα, το οποίο και ονομάζει robot από την τσέχικη λέξη robota για την καταναγκαστική εργασία. Το «αυτόματο» του Rossum στρέφεται τελικά εναντίον της ανθρωπότητας.

Λίγα χρόνια αργότερα, κατά τη δεκαετία του '40, ο ρώσος συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov συνέλαβε το robot ως ένα «αυτόματο» με εμφάνιση ανθρώπου, αλλά απαλλαγμένο από συναισθήματα. Η συμπεριφορά του υπαγορευόταν από ένα «ποζιτρονικό μυαλό» προγραμματισμένο από τον άνθρωπο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες αρχές ηθικής συμπεριφοράς. Ο όρος ρομποτική χρησιμοποιήθηκε από τον Asimov ως το σύμβολο της επιστήμης που είναι αφιερωμένη στη μελέτη των ρομπότ και διέπονται από τους παρακάτω τρεις βασικούς νόμους:

1. Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ή μέσω της αδράνειάς του να βλάψει ένα ανθρώπινο πλάσμα.
2. Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές που δίνονται από τους ανθρώπους, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.
3. Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ίδια του την ύπαρξη, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή τον δεύτερο νόμο.

*(Βιβλιογραφική αναφορά : Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)*

Σήμερα τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση πολύ συγκεκριμένων εργασιών υψηλής ακρίβειας στη βαριά βιομηχανία και την επιστημονική έρευνα που παλαιότερα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν από το ανθρώπινο δυναμικό. Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται πλέον καθημερινά στην κατασκευή μικροεπεξεργαστών, στην εξερεύνηση του διαστήματος και του βυθού και γενικά σε εργασίες που πραγματοποιούνται σε επικίνδυνο περιβάλλον. Ωστόσο, τα ρομπότ καθυστέρησαν πολύ να εισαχθούν στην ιατρική (Camarillo και λοιποί, 2004).

Τα χειρουργικά ρομπότ εισέβαλλαν δυναμικά στο πεδίο της ιατρικής και νοσηλευτικής επιστήμης μέσα στην τελευταία δεκαετία. Συστήματα ρομποτικής τηλεχειρουργικής έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για υπερατλαντικές επεμβάσεις (επέμβαση Lindbergh 2001). Ρομποτικοί βραχίονες που ενεργοποιούνται με τη φωνή μπορούν και χειρίζονται τη λαπαροσκοπική κάμερα. Η διάδοση συστημάτων τηλερομποτικής χειρουργικής είναι ραγδαία σήμερα και καθημερινά ανακαλύπτονται οι δυνατότητές τους στις επεμβάσεις λαπαροενδοσκοπικής χειρουργικής. Καθιερωμένες και δοκιμασμένες χειρουργικές τεχνικές πέρασαν ομαλά από την ανοιχτή στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική. Η ρομποτική τεχνολογία εφαρμόζεται σε ολοένα και περισσότερα θεραπευτικά πεδία, προσφέροντας σημαντικά οφέλη τόσο για το ιατρο-νοσηλευτικό προσωπικό όσο και για τους ασθενείς (Hockstein και λοιποί, 2007).

Κεφάλαιο 1

Ορισμός και βασικές έννοιες ρομπότ

1.1 Ορισμός

Γνωρίζουμε όλοι την μεγάλη ανθρώπινη επιθυμία της απαλλαγής από μονότονες, επικίνδυνες, και χειρωνακτικές εργασίες. Με την πάροδο του χρόνου, και κυριότερα του 20^{ου} αιώνα, η δυνατότητα πραγματοποίησης ενός τέτοιου στόχου άρχισε να φαίνεται εφικτή με την ανάπτυξη των αυτοματισμών και ειδικότερα της ρομποτικής. Το λεξικό "Webster's Seventh New Collegiate Dictionary" ορίζει το ρομπότ ως "ένα αυτόματο μηχάνημα ή συσκευή, το οποίο εκτελεί λειτουργίες που συνήθως αναθέτονται σε ανθρώπινα όντα ή λειτουργεί με σχεδόν ανθρώπινη ευφυΐα".

Το Ινστιτούτο Ρομποτικής της Αμερικής (Robot Institute of America) είναι πιο ακριβές: "Ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος πολύ λειτουργικός χειριστής σχεδιασμένος να μετακινεί υλικά, αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές, μέσω μεταβλητών προγραμματιζόμενων κινήσεων για την εκτέλεση ποικίλων καθηκόντων". Ο ορισμός αυτός παρατηρούμε ότι είναι αρκετά γενικός. Παρόλα αυτά, ο ορισμός αναμένεται να γενικευτεί περισσότερο μέσα στα επόμενα χρόνια. Για να μπορεί να θεωρηθεί ένα μηχάνημα ρομπότ, θα πρέπει να έχει την ικανότητα να λειτουργεί αυτόματα, και αυτόνομα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει ενσωματωμένη ευφυΐα, ή προγραμματιζόμενη μνήμη, ή απλά μια διάταξη ρυθμιζόμενων μηχανισμών που ελέγχουν τους χειρισμούς. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα βιομηχανικά ρομπότ τα οποία διακρίνονται για την αντοχή τους σε υψηλή πίεση, θερμοκρασία και υγρασία, καθώς και την ικανότητα τους να επαναλαμβάνουν σχεδόν ατέρμονα την ίδια εργασία χωρίς μείωση της ακρίβειας.

Η ρομποτική αποτελεί αυτοδύναμο τεχνολογικό κλάδο. Η ανάπτυξη της ξεκίνησε με τον εμπλουτισμό των χωρικών μηχανισμών με ενεργοποιητές και αργότερα με αισθητήρες και "εγκέφαλο" (συνήθως ηλεκτρονικός υπολογιστής (H-Y)). Ο "εγκέφαλος" αξιοποιεί τις πληροφορίες των αισθητήρων για να δώσει κατάλληλες εντολές στους ενεργοποιητές, ώστε ο χωρικός μηχανισμός να εκτελέσει επιθυμητές εργασίες.

Η έρευνα στην περιοχή της ρομποτικής εκτείνεται κυρίως σε τρεις κατευθύνσεις:

- Η πρώτη, αφορά την εφαρμογή ή/και την ανάπτυξη τεχνικών ελέγχου για την βελτίωση της απόδοσης των ρομπότ.
- Η δεύτερη, αφορά την εφαρμογή και την ανάπτυξη λογισμικού για τη διαχείριση των εργασιών των ρομπότ.
- Η τρίτη αφορά τη σχεδίαση υλικού υπολογιστούν για την εκτέλεση του λογισμικού και την καλύτερη επικοινωνία με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές των ρομπότ.

Είναι γεγονός ότι η ρομποτική ωφελείται από τις εξελίξεις σε αρκετούς παραδοσιακούς κλάδους, όπως είναι η ηλεκτρολογία, η μηχανολογία και τα μαθηματικά. Με τη σειρά τους οι κλάδοι αυτοί ωφελούνται από την εξέλιξη της

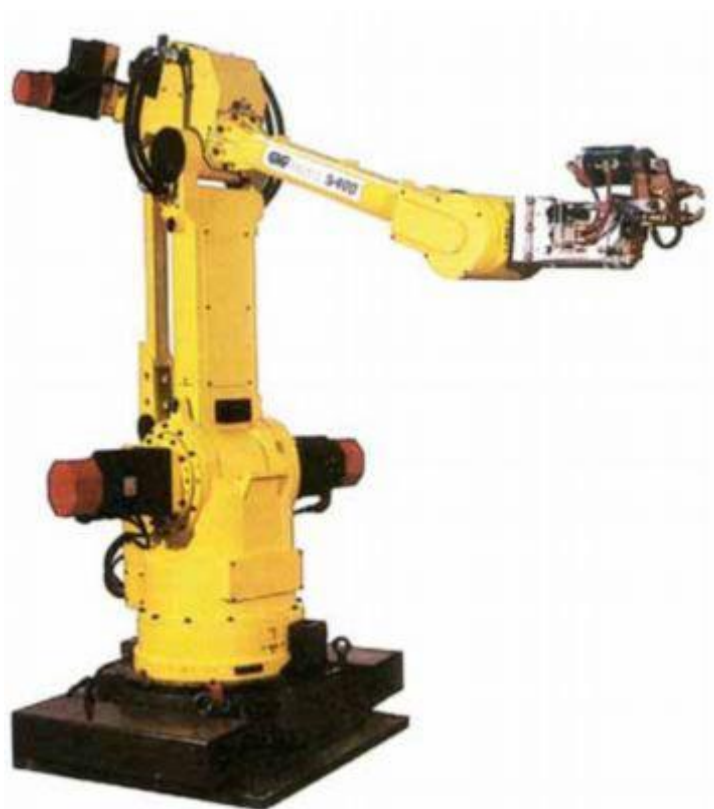
ρομποτικής. Η έρευνα στην περιοχή της ρομποτικής παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια εξαιρετική ανάπτυξη.

Ειδικότερα, είναι σημαντικό να αναφερθούν οι ερευνητικές δραστηριότητες με στόχο την ανάπτυξη εξελιγμένων αλγορίθμων ελέγχου, καθώς και οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την εξέλιξη συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης.

(Βιβλιογραφική αναφορά : Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.2 Βασικές έννοιες ρομποτικής

Ο συνηθέστερος τύπος ρομπότ που συναντάται σε βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές είναι ο ρομποτικός βραχίονας, όπως αυτός της παρακάτω εικόνας. Η μια άκρη του ρομποτικού βραχίονα είναι συνδεδεμένη σε μια βάση ενώ η άλλη άκρη του διαθέτει κάποιο εργαλείο, συνήθως αρπάγη, ή γενικά το εργαλείο τελικής δράσης. Την ονομασία του την οφείλει στο γεγονός ότι μοιάζει με τον ανθρώπινο βραχίονα και στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται για την εκτέλεση εργασιών που αντικαθιστούν τη χειρωνακτική εργασία.



EIKONA 1.1

Οι ρομποτικοί βραχίονες είναι ο τύπος των ρομπότ με τον οποίο θα ασχοληθούμε. Εάν κάποια από τις λέξεις αυτές παραληφθεί, τότε ο όρος ρομπότ μπορεί να περιλάβει τα αυτόματα πλυντήρια, τις συσκευές αυτόματης αλλαγής εργαλείων και τα συστήματα αυτόματης παραγωγής, πράγμα που προκαλεί σύγχυση.

Παρακάτω αναλύονται κάποιοι βασικοί όροι της ρομποτικής, οι οποίοι είναι βασικοί για την καλύτερη κατανόηση του ρομποτικού βραχίονα και των χαρακτηριστικών του.

Ένα σύγχρονο ρομπότ περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία βασικά δομικά μέρη:

- Τον χειριστή (βραχίονα, χέρι) που είναι το κινούμενο μηχανικό τμήμα
- Τα στοιχεία δράσης (κινητήρες κλπ.) που ενεργοποιούν τις αρθρώσεις του χεριού
- Τον υπολογιστή ή κεντρικό ελεγκτή που αποθηκεύει και εκτελεί τα προγράμματα εργασίας και ελέγχει τις κινήσεις του.

(Βιβλιογραφική αναφορά :Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.2.1 Βραχίονας

Ο (μηχανικός) βραχίονας του ρομπότ περιέχει το κυρίως σώμα και τον καρπό που έχει στο τέλος του το εργαλείο (τελικό στοιχείο δράσης). Το εργαλείο μπορεί να είναι μια κεφαλή συγκόλλησης, ένα πιστόλι χρωματίσματος, ένα μηχανικό εργαλείο ή ένας πιαστήρας (αρπάγη) που ανοιγοκλείνει κατάλληλα, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το ρομπότ. Επειδή όλα τα εργαλεία στερεώνονται στο τέλος των ρομπότ γι' αυτό λέγονται και "τελικά στοιχεία δράσης".

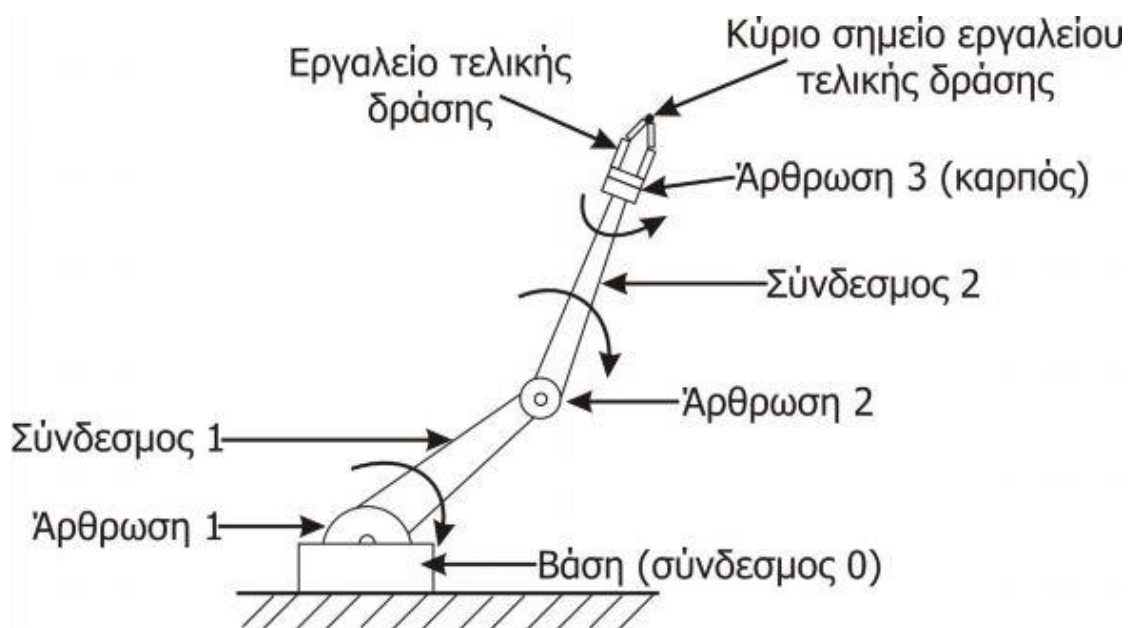
Το κυρίως σώμα του ρομποτικού βραχίονα αποτελείται από τη βάση, τις αρθρώσεις και τους συνδέσμους. Η βάση είναι στερεωμένη στο περιβάλλον εργασίας του ρομπότ. Η βάση συνδέεται με ζεύγη αρθρώσεων και συνδέσμων τα οποία αποτελούν στην ουσία μια αλυσίδα αρθρώσεων – συνδέσμων. Στο τέλος της αλυσίδας αυτής βρίσκεται το εργαλείο τελικής δράσης.

Οι σύνδεσμοι είναι στερεά σώματα, που αποτελούν το σκελετό του ρομπότ. Οι αρθρώσεις είναι μηχανισμοί που επιτρέπουν τη σχετική κίνηση μεταξύ των συνδέσμων. Το εργαλείο τελικής δράσης είναι το εργαλείο με το οποίο το ρομπότ εκτελεί εργασίες. Ανάλογα με την εργασία που θα εκτελέσει ο ρομποτικός βραχίονας, προσαρμόζονται σε αυτόν διάφορα εργαλεία τελικής δράσης. Το πιο σύνηθες εργαλείο τελικής δράσης είναι η αρπάγη, όπως αυτή της παρακάτω εικόνας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι συχνά το εργαλείο τελικής δράσης είναι πακτωμένο σε μεταλλική βάση που απολήγει συνήθως σε κοχλία, ο οποίος προσαρμόζεται στην τελευταία άρθρωση του ρομποτικού βραχίονα.

Το εργαλείο τελικής δράσης μαζί με τη βάση στήριξής του σχηματίζουν ενιαίο στερεό σώμα που αποτελεί τον τελευταίο σύνδεσμο του ρομποτικού βραχίονα. Σε πολλές εφαρμογές υπάρχει ένα σημείο του εργαλείου τελικής δράσης, όπως, για παράδειγμα, η μύτη σε ένα κατσαβίδι ή το σημείο ένωσης των δακτύλων μιας αρπάγης,

η θέση του οποίου είναι σημαντική για την αποτελεσματική εκτέλεση της εργασίας του ρομποτικού βραχίονα. Το σημείο αυτό ονομάζεται κύριο σημείο του εργαλείου τελικής δράσης. Είναι προφανές ότι η θέση του κύριου σημείου του εργαλείου τελικής δράσης μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την εφαρμογή που εκτελεί ο ρομποτικός βραχίονας.

Οι σύνδεσμοι καθώς και οι αρθρώσεις αριθμούνται από τη βάση προς το εργαλείο τελικής δράσης. Ενδεικτική απεικόνιση ρομποτικού βραχίονα (βάση, αρθρώσεις, σύνδεσμοι, εργαλείο τελικής δράσης σε μορφή αρπάγης, κύριο σημείο του εργαλείου τελικής δράσης) δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται εκτενέστερη αναφορά στα δομικά χαρακτηριστικά ενός ρομποτικού συστήματος και στις κατηγορίες τους.

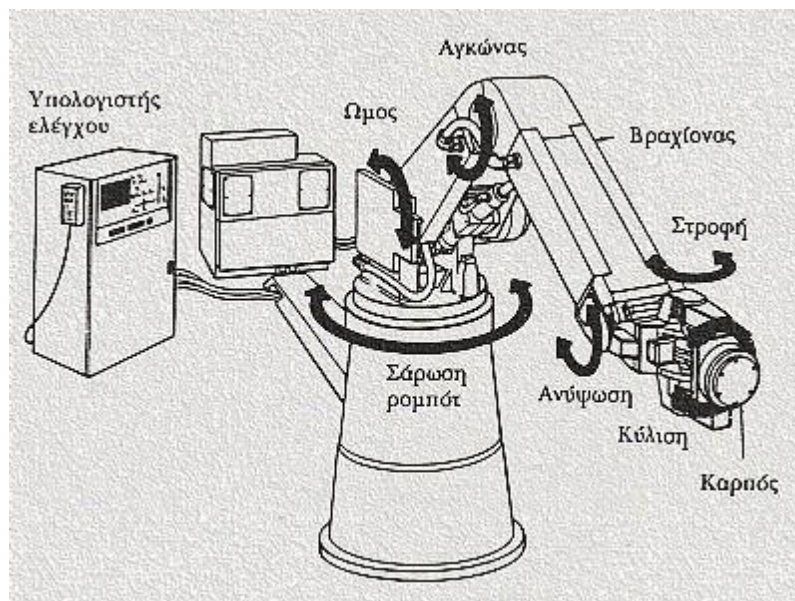


EIKONA 1.2

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.2.2 Κινήσεις καρπού και τελικού στοιχείου δράσης

Το τελικό στοιχείο δράσης (εργαλείο) συνδέεται με το κυρίως σώμα, δηλαδή με τον βραχίονα του ρομπότ μέσω του καρπού. Στον καρπό αυτό η κίνηση κύλισης - ανύψωσης αντιστοιχεί σε περιστροφή πάνω σε ένα κατακόρυφο επίπεδο και η κίνηση στροφής αντιστοιχεί πάνω σε οριζόντιο επίπεδο. Για να φθάσει ένα ρομπότ σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου, με οποιοδήποτε επιθυμητό προσανατολισμό χρειάζονται έξι βαθμοί ελευθερίας (τρεις για τον βραχίονα και τρεις στροφικές για τον καρπό).



ΕΙΚΟΝΑ 1.3

Αν και οι περισσότεροι ρομποτικοί καρποί έχουν τρεις στροφικούς άξονες, υπάρχουν εφαρμογές που χρειάζονται μόνο δύο άξονες κίνησης του καρπού. Για παράδειγμα, επειδή το πιστόλι συγκόλλησης είναι ένα συμμετρικό εργαλείο, οι περισσότερες εργασίες συγκόλλησης τόξου χρειάζονται καρπό που να έχει μόνο δύο βαθμούς ελευθερίας. Ο καρπός πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο ελαφρύς, γιατί έτσι αυξάνεται το μέγιστο επιτρεπτό βάρος που μπορεί να σηκώσει το ρομπότ και μειώνεται η ροπή αδράνειας πράγμα που βελτιώνει την όλη δυναμική συμπεριφορά του ρομπότ. Για να μειωθεί το βάρος του καρπού οι κινητήρες που οδηγούν τον καρπό τοποθετούνται στη βάση του ρομπότ και η κίνηση μεταδίδεται με αλυσίδες ή στερεούς συνδέσμους.

Τελικά στοιχεία δράσης

Γενικά τα τελικά στοιχεία δράσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- αρπάγες (πένσες) και
- εργαλεία για εφαρμογές διεργασιών (πιστόλια συγκόλλησης, πιστόλια χρωματισμού, τρυπάνια, λειαντές, κ.ά.).

Οι αρπάγες (δαγκάνες) χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χειρισμού υλικών, φορτώματος μηχανών και συναρμολόγησης. Σε πολλές αρπάγες ο μηχανισμός ενεργοποιείται με ένα πνευματικό έμβολο που κινεί τα δάκτυλα της αρπάγης. Σε εφαρμογές χειρισμού υάλινων προϊόντων ή ανταλλακτικών με πολύ λείες επιφάνειες, χρησιμοποιούνται αρπάγες κενού. Οι αρπάγες ηλεκτρομαγνητικής μορφής δεν χρησιμοποιούνται πολύ, γιατί στις εφαρμογές συναρμολόγησης ή χειρισμού υλικών μπορεί να σηκώσουν και άχρηστα ρινίσματα (πρέζες) ή περισσότερα του ενός ανταλλακτικά.

Πολλές φορές η ίδια αρπάγη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρες οικογένειες ανταλλακτικών, αλλά με διαφορετικά δάκτυλα κάθε φορά. Στις περιπτώσεις αυτές ο τύπος στερεώματος των δακτύλων πρέπει να έχει μεγάλο χρόνο ζωής και καλή επαναληψιμότητα, η οποία εξαρτάται επίσης και από τον τρόπο στερέωσης της αρπάγης στον καρπό του ρομπότ. Η επαναληψιμότητα εξαρτάται ακόμη και από την επιφάνεια επαφής μεταξύ της αρπάγης και του ανταλλακτικού. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ των δύο επιφανειών και η δύναμη συγκράτησης του ανταλλακτικού πρέπει να είναι αρκετά μεγάλου μεγέθους ώστε να μην επιτρέπουν την ολίσθηση του ανταλλακτικού. Για καλύτερο πιάσιμο η αρπάγη πρέπει να έχει σχήμα αντίστοιχο του σχήματος του ανταλλακτικού. Για παράδειγμα στην περίπτωση κυλινδρικού αντικειμένου τα δάκτυλα της πένσας πρέπει να έχουν σχήμα V ώστε κατά το πιάσιμο του αντικειμένου (από το εξωτερικό μέρος) να γίνεται καλύτερη επαφή. Τέλος το υλικό των δακτύλων της πένσας πρέπει να είναι κατάλληλο ώστε να αντέχει στην πολλαπλή χρήση, να έχει μεγάλο συντελεστή τριβής και να μην επιφέρει κακώσεις στο ανταλλακτικό. Ένα τέτοιο υλικό ευρείας χρήσης είναι το πολυουρεθάνιο εφαρμοσμένο σε ατσάλι.

Στην περίπτωση πένσας με δύο δάκτυλα, τα δάκτυλα πρέπει να είναι παράλληλα, διαφορετικά πρέπει να χρησιμοποιηθεί πένσα τριών δακτύλων. Το άνοιγμα της πένσας πρέπει να είναι σε όλες τις θέσεις του καρπού μεγαλύτερο του μεγέθους του ανταλλακτικού που πρόκειται να σηκωθεί.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.2.3 Χειριστήριο Προγραμματισμού

Οι λειτουργίες του χειριστηρίου διδασκαλίας είναι οι ακόλουθες:

- χρησιμεύει σαν το βασικό σημείο ελέγχου για την έναρξη και την παρακολούθηση λειτουργιών.
- οδηγεί το ρομπότ, ενώ παράλληλα γίνεται διδασκαλία θέσεων.

- υποστηρίζει τα προγράμματα εφαρμογών.

Το χειριστήριο διδασκαλίας χρησιμοποιείται με το ρομπότ κυρίως για να του διδάξει θέσεις που θα χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα εφαρμογών. Το χειριστήριο χρησιμοποιείται και σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν "ρουτίνες διδασκαλίας". Σε μια τέτοια ρουτίνα διακόπτεται η εκτέλεση του προγράμματος σε καθορισμένα σημεία και μπορεί ο χειριστής να διδάξει (ή να επαναδιδάξει) θέσεις του ρομπότ, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια στο πρόγραμμα.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.2.4 Κεντρικός ελεγκτής

Ο κεντρικός ελεγκτής είναι στην πραγματικότητα ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα που αποθηκεύει και εκτελεί τα προγράμματα εργασίας και ελέγχει τις κινήσεις του ρομπότ. Συνήθως αποτελείται από :

- Κεντρικό επεξεργαστή
- Κάρτα γραφικών
- Κάρτα ελέγχου σερβοκινητήρων ρομπότ
- Κάρτα βοηθητικών σερβοκινητήρων
- Κάρτα ψηφιακών εισόδων - εξόδων
- Κάρτα αναλογικών εισόδων - εξόδων
- Ενισχυτές οδήγησης σερβοκινητήρων
- Τροφοδοτικά - συστήματα ασφαλείας

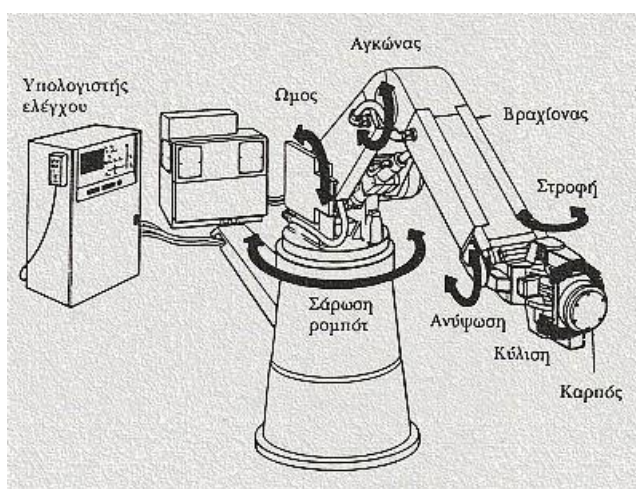
(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.3 Άξονες και βαθμοί ελευθερίας

Το κυρίως σώμα (δηλαδή ο κορμός) του ρομπότ αποτελείται από μια διαδοχή συνδέσμων ή μελών (links) που ενώνονται με αρθρώσεις ή ενώσεις (joints). Οι αρθρώσεις (ή ενώσεις) ελέγχουν τις κινήσεις των συνδέσμων. Η ομάδα των αρθρώσεων που ελέγχει την κίνηση του εργαλείου ονομάζεται (συλλεκτικά) "καρπός". Κάθε μια από τις αρθρώσεις του βραχίονα και του καρπού παρέχει ένα βαθμό ελευθερίας στην κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης. Έτσι ένα ρομπότ με n βαθμούς ελευθερίας περιέχει n αρθρώσεις ή γενικά n άξονες κίνησης. Η κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης ρυθμίζεται ελέγχοντας τη θέση και την ταχύτητα των αξόνων κίνησης του ρομπότ. Στη ρομποτική ένας άξονας κίνησης ισοδυναμεί με ένα βαθμό ελευθερίας ως προς τον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ.

Για να μπορέσει ένα ρομπότ να φθάσει ένα αυθαίρετο σημείο (μέσα στο χώρο εργασίας του) με ένα επιθυμητό προσανατολισμό του εργαλείου χρειάζεται να έχει έξι άξονες (βαθμούς ελευθερίας) κίνησης. Έστω και μόνο ένας διαφορετικός προσανατολισμός του εργαλείου, μπορεί να αλλάξει ολοκληρωτικά τη θέση του βραχίονα του ρομπότ. Για παράδειγμα, για να γίνει συγκόλληση μιας ράβδου στο πάνω και το κάτω μέρος της, η απαιτούμενη θέση του βραχίονα του ρομπότ είναι τελείως διαφορετική (γιατί διαφέρει ο προσανατολισμός του τελικού στοιχείου δράσης).

Τυπικά ο βραχίονας περιέχει τρεις βαθμούς ελευθερίας (στροφικής ή γραμμικής κίνησης) και ο καρπός περιέχει τρεις περιστροφικές κινήσεις (ως προς τον διαμήκη, τον εγκάρσιο και τον κάθετο άξονα). Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ρομπότ με μόνο πέντε ή τέσσερις βαθμούς ελευθερίας. Στα ρομπότ αυτά ο καρπός περιέχει λιγότερους από τρεις άξονες κίνησης.



ΕΙΚΟΝΑ 1.3

(Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.4 Συστήματα μετάδοσης κίνησης

Οι άξονες κίνησης ενός ρομποτικού βραχίονα μπορεί να είναι άξονες στροφικής κίνησης ή άξονες γραμμικής μεταφορικής κίνησης. Ένας στροφικός άξονας οδηγείται άμεσα από έναν ηλεκτρικό κινητήρα ή έμμεσα μέσω ενός συστήματος αλυσίδας ή οδοντωτών τροχών. Η κίνηση κατά μήκος ενός γραμμικού άξονα πραγματοποιείται από ένα πρισματικό ζεύγος ή μέσω μιας κοχλιωτής λειτουργίας. Ένα πρισματικό ζεύγος διαθέτει ένα υδραυλικό ή πνευματικό έμβολο, ενώ ένας κοχλίας μετατρέπει την περιστροφική κίνηση ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε γραμμική κίνηση κατά μήκος του αντίστοιχου άξονα του βραχίονα. Τα πιο απλά ρομπότ χρησιμοποιούνται για να σηκώσουν ένα προσανατολισμένο εξάρτημα και να το τοποθετήσουν σε μια μηχανή. Τα ρομπότ αυτά δεν διαθέτουν έλεγχο ανατροφοδότησης (κλειστού βρόγχου) αλλά απλώς έχουν ζεύγη ρυθμίσεων οριακών διακοπών και μηχανικές διατάξεις σταματήματος. Τα ρομπότ αυτά που ονομάζονται ρομπότ χωρίς σερβομηχανισμό ελέγχου ή ρομπότ περιορισμένης ακολουθίας λειτουργίας έχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια θέσης (καλύτερη από 0.5mm) αλλά δεν έχουν ευελιξία ελέγχου γιατί το πλήθος των κινήσεων ενός προγράμματος περιορίζεται από τον αριθμό των διακοπών που μπορούν να τοποθετηθούν.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.5 Χώρος Εργασίας

Χώρος εργασίας είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του χώρου τα οποία μπορεί να προσεγγίσει το κύριο σημείο του εργαλείου τελικής δράσης του ρομποτικού βραχίονα και εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού βραχίονα και τους περιορισμούς των μεταβλητών των αρθρώσεων.

Για τους ρομποτικούς βραχίονες ο χώρος εργασίας είναι ακίνητος ως προς τη βάση του βραχίονα. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις ο χώρος εργασίας χρησιμοποιείται και για να δηλώσει αδρανειακό σύστημα συντεταγμένων. Για να μελετήσουμε το χώρο εργασίας ενός ρομπότ, θα πρέπει να θεωρήσουμε ότι η δομή του αποτελείται από το βραχίονα και την παλάμη (αρπαγή).

Ο βραχίονας είναι το μεγάλο τμήμα του ρομπότ που κινεί και τοποθετεί την παλάμη συνολικά στο χώρο ενώ η παλάμη είναι το μικρό τμήμα του ρομπότ που προσανατολίζει το εργαλείο. Έτσι ο πρωτεύον χώρος εργασίας ενός ρομπότ καθορίζεται από το βραχίονα, ενώ η παλάμη παράγει το δευτερεύοντα χώρο εργασίας. Ο χώρος εργασίας ενός ρομπότ είναι ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των γεωμετρικών δυνατοτήτων αυτού και διακρίνεται στο χώρο απόσβεσης και το χώρο επιδεξιότητας. Χώρος πρόσβασης είναι ο χώρος σε κάθε σημείο του οποίου μπορεί να πάει ένα σημείο αναφοράς της παλάμης.

Ο χώρος επιδεξιότητας είναι ένας χώρος πρόσβασης μέσα στον οποίο η παλάμη μπορεί να στραφεί προς οποιοδήποτε επιθυμητό προσανατολισμό. Έτσι μέσα στο χώρο επιδεξιότητας το ρομπότ (παλάμη, τελικό στοιχείο δράσης) έχει πλήρη ικανότητα χειρισμού. Στο χώρο πρόσβασης όμως, η ικανότητα χειρισμού του ρομπότ είναι περιορισμένη γιατί το τελικό στοιχείο δράσης μπορεί να στραφεί σε ένα περιορισμένο σύνολο κατευθύνσεων.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

1.6 Ωφέλιμο Φορτίο – Επαναληψιμότητα – Ακρίβεια

Από τα πιο σημαντικά μεγέθη ενός βιομηχανικού βραχίονα είναι το ωφέλιμο φορτίο, η επαναληψιμότητα και η ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται στα εξής:

- Ωφέλιμο Φορτίο: είναι το βάρος που μπορεί να μεταφέρει το άκρο του βραχίονα. Ως σημείο εφαρμογής του βάρους θεωρείται η φλάντζα του καρπού. Το προδιαγραφόμενο αυτό φορτίο δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία πρόκειται να κινηθεί ο καρπός.
- Επαναληψιμότητα: εκφράζει τη δυνατότητα του βραχίονα να γυρίσει στο ίδιο σημείο μετά από αρκετές επαναλήψεις και δίνεται ως εύρος μέσα στο οποίο ο βραχίονας θα τερματίσει την κίνηση. Η απόκλιση οφείλεται στο ότι κατά τη λειτουργία του το ρομπότ είναι δυνατό να χάσει λίγο από τη μέτρηση της θέσης με αποτέλεσμα να μη μπορεί να επιστρέψει στη συγκεκριμένη θέση μετά από ορισμένους κύκλους λειτουργίας. Δεδομένου ότι στις συνήθεις βιομηχανικές εφαρμογές οι επιθυμητές κινήσεις διδάσκονται στο ρομπότ αντιλαμβάνεται κανείς τη σπουδαιότητα της επαναληψιμότητας.
- Ακρίβεια: είναι η ικανότητα του ρομπότ να πηγαίνει ακριβώς στη θέση που του έχει δοθεί εντολή να πάει. Η ακρίβεια εξαρτάται κυρίως από τη διακριτικότητα των εξαρτημάτων ελέγχου, τη μηχανολογική σύνδεση των μελών του και το ελάχιστο επιτρεπόμενο σφάλμα που επιβάλλει η ευστάθεια της λειτουργίας των σέρβο. Η ακρίβεια επηρεάζεται από το είδος και το μέγεθος του εκάστοτε φορτίου, σε αντίθεση με την επαναληψιμότητα, γι' αυτό και ορισμένοι κατασκευαστές προδιαγράφουν μόνο την τελευταία.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)

Στη ρομποτική ο όρος "ακρίβεια" συγγέεται πολλές φορές με τους όρους "διακριτική ικανότητα" και "επαναληψιμότητα". Η διακριτική ικανότητα ενός ρομπότ είναι μια ιδιότητα που καθορίζεται από το σχεδιασμό της μονάδας ελέγχου και εξαρτάται βασικά από το αισθητήριο όργανο θέσης που χρησιμοποιείται στην ανατροφοδότηση.

Έχουμε δύο είδη διακριτικής ικανότητας:

- διακριτική ικανότητα προγραμματισμού και
- διακριτική ικανότητα ελέγχου

Η διακριτική ικανότητα προγραμματισμού είναι η μικρότερη επιτρεπτή μεταβολή (αύξηση ή μείωση) θέσης στα ρομποτικά προγράμματα, και είναι γνωστή σαν **βασική μονάδα διακριτικής ικανότητας (BMΔΙ)**. Σε ένα τυπικό γραμμικό άξονα η BMΔΙ είναι της τάξης 0.01 ίντσες (0,25mm) ή 0.1 σε ένα στροφικό άξονα.

Η διακριτική ικανότητα ελέγχου είναι η μικρότερη μεταβολή θέσης που μπορεί να μετρήσει (δηλ. να αναγνωρίσει) το αισθητήριο όργανο. Έστω λ.χ. ένας οπτικός κωδικοποιητής ο οποίος στέλνει 1000 παλμούς σε κάθε πλήρη περιστροφή του άξονα και είναι απ' ευθείας στερεωμένος στον περιστρεφόμενο άξονα. Ο κωδικοποιητής θα

στέλνει ένα παλμό για κάθε γωνιακή μετατόπιση ίση με $360/1000=0.36$. Γωνιακές μετατοπίσεις μικρότερες από 0.36 δεν μπορούν να ανιχνευθούν. Η καλύτερη συμπεριφορά παίρνεται όταν η διακριτική ικανότητα προγραμματισμού είναι ίση με τη διακριτική ικανότητα ελέγχου.

Η τελική (ολική) ακρίβεια του ρομπότ εξαρτάται από τις μηχανικές ανακρίβειες, τους αλγόριθμους υπολογιστικού ελέγχου και τη διακριτική ικανότητα του συστήματος. Οι μηχανικές ανακρίβειες οφείλονται σε μηχανική υστέρηση (κενά μεταξύ των δοντιών) των οδοντωτών τροχών ή των κοχλιών στα υδραυλικά συστήματα δράσης, και στο λύγισμα (κάμψη) των συνδέσμων του ρομπότ. Η βασική απαίτηση σχεδιασμού των συνδέσμων είναι η ελαχιστοποίηση της κάμψης τους, όταν το ρομπότ φέρει στο άκρο του φορτίο, γιατί η κάμψη των συνδέσμων προκαλεί σημαντικά σφάλματα. Η ακαμψία των συνδέσμων όμως δεν πρέπει να ληφθεί με σοβαρή αύξηση της μάζας τους, γιατί αύξηση της μάζας συνεπάγεται αύξηση του χρόνου απόκρισης του βραχίονα και συνεπώς μείωση της ταχύτητας λειτουργίας του ρομπότ.

Οι αλγόριθμοι ελέγχου εισάγουν σφάλματα θέσης λόγω σφαλμάτων αριθμητικής στρογγυλοποίησης του υπολογιστή. Το πρόβλημα όμως αυτό συνήθως αντιμετωπίζεται από το σχεδιαστή του συστήματος ελέγχου του ρομπότ.

Το σφάλμα (ανακρίβεια) που οφείλεται στη διακριτική ικανότητα θεωρείται συνήθως ίσο με $1/2\text{BMDI}$. Τούτο γιατί μετατοπίσεις μικρότερες από 1 BMDI δεν μπορούν ούτε να προγραμματισθούν ούτε να μετρηθούν και κατά μέσο όρο θεωρούνται ίσες με $1/2\text{ BMDI}$. Βέβαια, αν συνυπολογισθούν και οι ανακρίβειες που οφείλονται στη μηχανική δομή του ρομπότ, τότε η ολική ακρίβεια χειροτερεύει. Στην πράξη η ακρίβεια ενός ρομπότ δίνεται από τη σχέση

Ακρίβεια ρομπότ=1/2 BMDI + Μηχανική ακρίβεια

Στην ιδανική περίπτωση το συνολικό αποτέλεσμα όλων των μηχανικών ανακρίβειών είναι μικρότερο από $1/2\text{ BMDI}$. Έτσι η ολική ακρίβεια του ρομπότ είναι ίση με μια BMDI . Τούτο μπορεί πρακτικά να επιτευχθεί σε ένα ρομπότ καρτεσιανών συντεταγμένων, αλλά είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί σε ένα αρθρωτό ρομπότ.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

Κεφάλαιο 2

Τύποι ρομπότ

2.1 Ταξινόμηση ανάλογα με τον τύπο κίνησης

Τα ρομπότ ανάλογα με τον τύπο κίνησης ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ρομπότ σημείου προς σημείο
- Ρομπότ συνεχούς δρόμου
- Προγραμματισμός τροχιάς
- Ελεγχόμενης τροχιάς

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.1.1 Ρομποτικά συστήματα σημείου – προς – σημείο

Ένα τυπικό σύστημα σημείου- προς -σημείο υπάρχει σε ένα ρομπότ σημειακής συγκόλλησης . Στην περίπτωση αυτή το ρομπότ κινείται μέχρις ότου το σημείο που πρόκειται να συγκολληθεί βρεθεί ακριβώς μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων του πιστολιού συγκόλλησης, οπότε και εκτελείται η συγκόλληση. Μετά από αυτό, το ρομπότ κινείται σε ένα άλλο σημείο, το οποίο και πάλι συγκολλάται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου όλα τα απαιτούμενα σημεία συγκολληθούν. Το πιστόλι συγκόλλησης επαναφέρεται τότε στην αρχική του θέση και το ρομπότ είναι έτοιμο να εκτελέσει την ίδια εργασία στο επόμενο εξάρτημα , κ.ο.κ.

Στην γενική περίπτωση κατά τη λειτουργία σημείου- προς -σημείο το ρομπότ κινείται σε μια θέση που ορίζεται αριθμητικά, στην οποία σταματάει και το τελικό στοιχείο δράσης εκτελεί την επιθυμητή εργασία ενώ το ρομπότ είναι σταματημένο. Όταν συμπληρωθεί η εργασία, το ρομπότ κινείται στο επόμενο σημείο και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Στα συστήματα σημείου- προς -σημείο η τροχιά και η ταχύτητα του ρομπότ κατά τη μετάβασή του από σημείο σε σημείο δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία και έτσι τα συστήματα αυτά διαθέτουν απλά μετρητές της αξονικής θέσης για τον έλεγχο της τελικής θέσης του ρομπότ. Οι συντεταγμένες κάθε επιθυμητής θέσης φορτώνονται στους μετρητές με διακριτική ικανότητα που εξαρτάται από τη **βασική μονάδα διακριτικής ικανότητας (ΒΜΔΙ)** του συστήματος. Κατά την κίνηση του ρομπότ ο κωδικοποιητής κάθε άρθρωσης στέλνει παλμούς που παριστούν τη θέση της άρθρωσης (γραμμικής ή στροφικής).

Κάθε ένας άξονας είναι εφοδιασμένος με ένα μετρητή στον οποίο στέλνονται οι παλμοί του αντίστοιχου κωδικοποιητή. Στην αρχή ο μετρητής κάθε άξονα φορτώνεται με την απαιτούμενη μεταβολή της θέσης του άξονα (σε ΒΜΔΙ) ώστε το ρομπότ να μεταβεί τελικά στο επόμενο επιθυμητό σημείο. Κατά την κίνηση του βραχίονα του ρομπότ, το περιεχόμενο κάθε μετρητή μειώνεται σταδιακά κατά τους

παλμούς που φθάνουν από τον αντίστοιχο κωδικοποιητή. Όταν το περιεχόμενο των μετρητών όλων των αξόνων γίνει μηδέν το ρομπότ βρίσκεται στη νέα του θέση.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ρομποτικών συστημάτων σημείου- προς -σημείο. **Στον πρώτο**, κάθε άξονας κινείται από τη μια θέση στην επόμενη όσο πιο γρήγορα μπορεί. **Στο δεύτερο τύπο**, όλοι οι άξονες σταματούν την κίνησή τους ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή σε κάθε μετακίνηση υπολογίζεται ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται ο πιο αργός άξονας και με βάση τον χρόνο αυτό υπολογίζονται οι ταχύτητες των άλλων αξόνων. Η τροχιά που προκύπτει είναι τελείως τυχαία , αλλά όλοι οι άξονες φθάνουν στην τελική τους θέση ταυτοχρόνως. Ακριβώς παρακάτω γίνεται εκτενέστερη αναφορά στις περιπτώσεις αυτές.

Τύποι ρομποτικών συστημάτων σημείου-προς-σημείου

Τα πιο πολλά ρομπότ δουλεύουν αρκετά καλά όταν αυτά είναι σημείου – προς – σημείο. Οι κινήσεις σημείου – προς – σημείο απαιτούν να είναι γνωστή μόνο η τελική θέση του κάθε άξονα. Τέτοιες κινήσεις απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.

Τα αρχικά ψηφιακά ελεγχόμενα ρομπότ μπορούσαν να επεξεργαστούν την κίνηση μόνο ενός άξονα κάθε φορά. Οι άξονες κινούνταν διαδοχικά μέχρι ο καθένας να είχε μεταφερθεί από το αρχικό του σημείο στο τελικό. Οι μοντέρνοι ελεγκτές είναι γρηγορότεροι, οπότε η διαδοχική κίνηση σημείου – προς – σημείο δεν χρησιμοποιείται πια. Όταν όλοι οι άξονες οδηγούνται ταυτόχρονα, μπορούν να εκτελέσουν την μη συντονισμένη κίνηση σημείου – προς – σημείο. Σε αυτή την περίπτωση, όταν χρησιμοποιείται μια εντολή κίνησης, όλοι οι άξονες κινούνται με την μέγιστη ταχύτητα προς την απαιτούμενη διεύθυνση. Μερικοί άξονες όμως, φθάνουν γρηγορότερα από κάποιους άλλους στο τελικό σημείο – θέση. Η συντονισμένη κίνηση σημείου – προς – σημείο απαιτεί όλοι οι άξονες να αρχίσουν ταυτόχρονα την κίνηση τους και να την τελειώσουν επίσης ταυτόχρονα. Για να γίνει αυτό εφικτό, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός (μέσω κάποιου ελεγκτή) τις μειωμένες μέγιστες ταχύτητες για όλους εκτός από έναν άξονες. Επίσης, γίνεται δυνατός ο υπολογισμός της επιτάχυνσης κάθε άξονα. Έτσι, κάθε άξονας αποκτά την μέγιστη τιμή της ταχύτητας του μόνο για μια στιγμή στο ενδιάμεσο στάδιο της κίνησης που εκτελεί, και αμέσως μετά αρχίζει να επιβραδύνει. Η κίνηση που προκαλείται μοιάζει να είναι ομαλή, αλλά αυτό σημαίνει ότι το ρομπότ δεν ολοκληρώνει την κίνηση τόσο γρήγορα, όσο έπρεπε. Η μεγαλύτερη πλειοψηφία των ρομπότ που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, προσφέρει συντονισμένη κίνηση σημείου – προς – σημείο.

Τα ρομπότ σημείου – προς – σημείο δεν επιτρέπουν στον χρήστη να ελέγξει το μονοπάτι το οποίο εκτελεί το ρομπότ από το ένα σημείο στο άλλο. Γνωρίζοντας ότι οι κινήσεις αυτές δεν θα γίνουν πάνω σε ευθείες, ο χρήστης πρέπει προσεκτικά να σχεδιάσει το μονοπάτι αυτό για να εξασφαλιστεί ότι ο βραχίονας δεν θα χτυπήσει σε κανένα εμπόδιο όταν βρίσκεται “καθ’οδόν ” για την τελική του θέση.

Τα ρομπότ ΣΠΣ χρησιμοποιούνται για σημειακή συγκόλληση, χειρισμό υλικών, φόρτωμα-ξεφόρτωμα μηχανών και για απλές εργασίες συναρμολόγησης.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.1.2 Ρομποτικά συστήματα συνεχούς δρόμου

Τα ρομπότ συνεχούς δρόμου (τροχιάς) μπορούν να έχουν “pathnodes” – κομβικά σημεία μονοπατιού- σε μια κίνηση η οποία εισάγεται στην μνήμη ως δεδομένα, ή αυτά μπορούν να “συλληφθούν” καθώς καθοδηγείται ο βραχίονας χειροκίνητα. Τα pathnodes μπαίνουν σε μια αλληλουχία από τον ελεγκτή του ρομπότ (χειριστήριο) στους ελεγκτές των αξόνων (μοτέρ στην περίπτωση που εξετάζεται) όταν η κίνηση εκτελείται πάνω στο μονοπάτι (τροχιά). Συχνά μπορεί το ρομπότ να οδηγείται με κίνηση πάνω σε ευθεία γραμμή (δηλαδή η κίνηση των αξόνων να γίνεται πάνω σε ευθεία γραμμή) από κόμβο σε κόμβο, ή να συγχωνευτούν οι κόμβοι αυτοί και να μετατραπούν σε τμήματα καμπύλης κατά την διάρκεια της εκτέλεσης της κίνησης.

Πολύ μεγάλη ποσότητα μνήμης μπορεί να δεσμευτεί ακόμα και από ένα πολύ “ελαφρύ” πρόγραμμα. Παρόλο που η εκτέλεση ενός προγράμματος καθοδήγησης για την κίνηση ενός ρομπότ συνεχούς δρόμου μοιάζει αρκετά με την αναπαραγωγή των αναλογικών ταινιών που υπήρχαν στα παλαιότερα ρομπότ, η διαφορά είναι ότι με την ψηφιακή αναπαραγωγή είναι πολύ πιθανή να αποφευχθεί η δημιουργία εντολής για την κατασκευή ενός pathnode, μέχρι μια προηγούμενη κίνηση ενός pathnode να έχει ολοκληρωθεί. Η πρόκληση είναι να επιτευχθεί μια ομαλή κίνηση χωρίς ουσιαστικά να υπάρχει “σταμάτημα” της κίνησης σε κάθε pathnode, και ακόμα να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση από το διδασκόμενο μονοπάτι.

Στο ρομπότ συνεχούς δρόμου ή καμπύλης το εργαλείο εκτελεί την εργασία του ενώ το ρομπότ (οι άξονες) βρίσκεται σε κίνηση, όπως στην περίπτωση συγκόλλησης τόξου, όπου το πιστόλι συγκόλλησης οδηγείται κατά μήκος του προγραμματισμένου δρόμου. Στα ρομπότ συνεχούς δρόμου όλοι οι άξονες κινούνται ταυτόχρονα, καθένας με διαφορετική ταχύτητα. Οι ταχύτητες αυτές συντονίζονται από τον υπολογιστή έτσι ώστε να ληφθεί η απαραίτητη τροχιά (δρόμος). Ο δρόμος που ακολουθεί το εργαλείο ενός ρομπότ συνεχούς δρόμου καθορίζεται από το λόγο των αξονικών ταχυτήτων και από την αρχική θέση του εργαλείου. Η ταχύτητα που προκύπτει επηρεάζει την ποιότητα της εργασίας. Για παράδειγμα, μεταβολές της ταχύτητας του πιστολιού συγκολλησεως έχουν σαν αποτέλεσμα το πάχος συγκόλλησης να μην είναι ομοιόμορφο (διογκώσεις ή τρύπες).

Στα ρομπότ συνεχούς δρόμου ένα λάθος στην ταχύτητα ενός άξονα προκαλεί ένα σφάλμα θέσης γιατί προφανώς αλλάζει η τροχιά του εργαλείου. Για το λόγο αυτό τα ρομπότ συνεχούς δρόμου διαθέτουν βρόχους ελέγχου συνεχούς θέσης για να ελέγχουν τις τελικές θέσεις των αξόνων σε κάθε κίνηση. Κάθε άξονας του ρομπότ χρειάζεται ένα ξεχωριστό σύστημα ελέγχου και ένα ξεχωριστό μετρητή θέσης.

Οι απαιτούμενες θέσεις του βραχίονα καθορίζονται ξεχωριστά στον κατάλληλο μετρητή θέσης κάθε άξονα. Το περιεχόμενο κάθε μετρητή μειώνεται από τους παλμούς ανατροφοδότησης του αντίστοιχου οπτικού αποκωδικοποιητή μέχρις ότου ο άξονας φθάσει στην επιθυμητή θέση. Τα ρομπότ συνεχούς δρόμου χρησιμοποιούνται για συγκολλήσεις τόξου, χρωματισμό με ψεκασμό, καθαρισμό μεταλλικών εξαρτημάτων, πολύπλοκες διεργασίες συναρμολόγησης, επίβλεψη, κ.ά.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.1.3 Προγραμματισμός τροχιάς

Η εργασία ενός ρομπότ καθορίζεται από μία ακολουθία σημείων που λέγονται τελικά σημεία και αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή. Στα ρομπότ ΣΠΣ το εργαλείο κινείται από ένα τελικό σημείο στο επόμενο ακολουθώντας αυθαίρετη τροχιά. Τα τελικά σημεία παρίστανται συνήθως σε συντεταγμένες αρθρώσεων. Τούτο σημαίνει ότι οι απαιτούμενες θέσεις κάθε άξονα δίνονται ξεχωριστά και στέλνονται σαν εντολές στο αντίστοιχο σύστημα (βρόχο) ελέγχου. Το πρόγραμμα ελέγχου του ρομπότ εκτελεί τον προγραμματισμό της τροχιάς, συμπεριλαμβανομένης της επιτάχυνσης-επιβράδυνσης και του συγχρονισμού των κινήσεων των αξόνων. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί σαν δεδομένα τις τιμές των συνταγμένων των τελικών σημείων των αξόνων (στροφικών ή γραμμικών) που πολλές φορές καταγράφονται με τη βοήθεια ενός κουτιού διδασκαλίας. Οι εντολές που προκύπτουν στέλνονται στα αντίστοιχα συστήματα ελέγχου και έτσι αρχίζει η κίνηση. Όταν όλοι οι άξονες φθάσουν στην επιθυμητή θέση, τότε το πρόγραμμα διαβάζει το επόμενο το επόμενο σύνολο συντεταγμένων και η λειτουργία επαναλαμβάνεται.

Ο όρος προγραμματισμός (ή σχεδιασμός) τροχιάς σημαίνει τον προσδιορισμό της πραγματικής τροχιάς (ή δρόμου ή καμπύλης) κατά μήκος της οποίας θα κινηθεί το τελικό στοιχείο δράσης (εργαλείο).

Κατά το προγραμματισμό τροχιάς των ρομπότ ΣΠΣ λαβαίνουμε υπόψη δύο τύπους περιορισμών:

- Τη μέγιστη επιτρεπτή επιτάχυνση και ταχύτητα κάθε άξονα (άρθρωσης)
- Περιορισμούς που οφείλονται στη γεωμετρία και στον χώρο που περιβάλλει το ρομπότ.

Η ανάπτυξη καλής ποιότητας σερβο-ελεγκτών (ελεγκτές που ελέγχουν σερβοσυστήματα), στην περίοδο 1940 - 1950, οδήγησαν στα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ όπως τα γνωρίζουμε τώρα.

Οι μηχανουργοί ή οι μηχανικοί έδεναν σε κάποιο μέρος του σώματος τους (κυρίως στο χέρι) διάφορους αισθητήρες θέσης. Η κίνηση την οποία εκτελούσαν οι μηχανουργοί, καταγραφόταν μέσω των αισθητήρων αυτών, σε μια μαγνητική ταινία.

Αργότερα, οι ταινίες αυτές “ξανάπαιζαν” και μετατρέπονταν σε σήματα ελέγχου για ηλεκτρικούς βραχίονες (ρομπότ). Τα ρομπότ εκείνα, διαβάζοντας τα σήματα ελέγχου αυτά, εκτελούσαν ακριβώς τις ίδιες κινήσεις τις οποίες είχε νωρίτερα εκτελέσει ο μηχανουργός, και η οποία βέβαια είχε καταγραφεί. Επειδή όμως στον ανθρώπινο παράγοντα προσάπτονται αρκετά λάθη πολλές φορές, η κίνηση του μηχανουργού δεν ήταν πάντα τέλεια. Οπότε, καταγράφονταν μαζί και τα λάθη, επομένως το ρομπότ εκτελούσε και τις λάθος κινήσεις του μηχανουργού. Το μειονέκτημα των ρομπότ εκείνων, ήταν ότι μέχρι να καταφέρουν να επιβάλλουν στην τριβή και την αδράνεια να ανταποκρίνονται σε ένα μεταβαλλόμενο σήμα ελέγχου της θέσης, το σήμα αυτό είχε πάλι αλλάξει. Δηλαδή, το αυτοματοποιημένο σύστημα δεν μπορούσε να συνεργαστεί αρμονικά με της εντολές ελέγχου. Ακόμα και σήμερα, στα μοντέρνα ρομπότ υπάρχει πρόβλημα με την “ποικιλία” της τριβής και της αδράνειας. Παρόλα αυτά όμως, με τους ψηφιακά καθοδηγούμενους ελεγκτές, μπορεί να τεθεί μια εντολή αλλαγής θέσης, και στην συνέχεια να υπάρξει ένα διάστημα αναμονής μέχρι οι αισθητήρες να υποδείξουν ότι το ρομπότ έχει ολοκληρώσει (ή σχεδόν ολοκληρώσει) την κίνηση του πριν την εκτέλεση της επόμενης εντολής. Η επιτάχυνση ελέγχεται έτσι ώστε να επιτευχθεί

ομαλά η αλλαγή της ταχύτητας της κίνησης, η οποία γίνεται μέγιστη και επιδρά στο ενδιάμεσο στάδιο της κίνησης.

Η ταχύτητα του ρομποτικού άξονα παραμένει μέγιστη μέχρι ο αισθητήρας που ανιχνεύει την θέση του να υποδείξει ότι ο στόχος – αντικείμενο είναι κοντά, οπότε η ταχύτητα σταδιακά μειώνεται με τον ίδιο ρυθμό μεταβολής που αρχικά αυξανόταν. Στην περίπτωση κίνησης σε κοντινές αποστάσεις, η επιτάχυνση μπορεί να επιτευχθεί προτού καν επιτευχθεί η μέγιστη ταχύτητα. Ιδανικά, η τιμή της ταχύτητας θα γινόταν 0 μόλις ο άξονας φτάσει στην επιθυμητή θέση. Στην πραγματικότητα, στους περισσότερους ρομποτικούς ελεγκτές, επιτρέπεται μια μικρή “υπέρβαση” (overshoot), η οποία και διορθώνεται σχεδόν αμέσως, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ο χρόνος κίνησης.

Μερικές γλώσσες προγραμματισμού, περιλαμβάνουν κάποιες εντολές έτσι ώστε ο προγραμματιστής να μπορεί να προσδιορίσει τις μέγιστες ταχύτητες και επιταχύνσεις.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.1.4 Ρομπότ ελεγχόμενης τροχιάς

Πολλά φτηνά ρομπότ κίνησης σημείου – προς – σημείου προσφέρουν περιορισμένα χαρακτηριστικά ελεγχόμενης τροχιάς. Σε αυτά τα ρομπότ, οι οδηγίες για την κίνηση κατά μια ελεγχόμενη τροχιά κάνουν τον ελεγκτή να υπολογίσει ένα σύνολο από ενδιάμεσα σημεία, ή διάμεσους μεταξύ της αρχικής και της τελικής θέσης. Οι διαδοχικοί διάμεσοι αντιστοιχούν επίσης σε διαδοχικούς σερβοελεγκτές του άξονα. Τα περισσότερα ρομπότ αυτού του είδους προσφέρουν γραμμική παρεμβολή, επιτρέποντας στο ρομπότ να κινήσει το ωφέλιμο φορτίο σε μια ευθεία γραμμή από το ένα σημείο στο αμέσως επόμενο. Μερικά ρομπότ προσφέρουν κυκλική παρεμβολή προκειμένου να είναι δυνατή η κίνηση τους μέσα από καθορισμένες καμπύλες. Τα ρομπότ τελικά θα γίνουν στο μέλλον ικανά να κινούνται σε ελεγχόμενο μονοπάτι μέσω καμπυλών οι οποίες θα μπορούν να σχεδιαστούν από οποιοδήποτε πρόγραμμα CAD. Με τους σύγχρονους ελεγκτές, ο χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό, επιβραδύνει τις κινήσεις που γίνονται κατά την κίνηση της ελεγχόμενης τροχιάς. Ένα πλεονέκτημα των ρομπότ αυτών είναι ότι μπορούν με ευκολία να υπολογίσουν ακολουθίες οι οποίες δεν έχουν διδαχθεί. Τα ρομπότ σήμερα μπορούν να χρησιμοποιήσουν πληροφορίες από διάφορα οπτικά συστήματα, για παράδειγμα, προκειμένου να ανιχνεύσουν τυχαίως τοποθετημένα κομμάτια στο χώρο.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.2 Ταξινόμηση ανάλογα με την μηχανική δομή

Το μηχανικό τμήμα των ρομπότ αποτελείται από μια αλληλουχία μηχανικών συνδέσμων και αρθρώσεων που ενώνουν τους συνδέσμους ανά δύο και μπορούν να προκαλέσουν κινήσεις σε διάφορες διευθύνσεις (γραμμικές ή στροφικές). Ένα ρομπότ αποτελείται από το κυρίως τμήμα (δηλαδή τον βραχίονα) και από τον καρπό. Τόσο ο βραχίονας όσο και ο καρπός έχουν τρεις βαθμούς ελευθερίας ο καθένας. Υπάρχουν όμως ρομπότ στα οποία ο καρπός έχει λιγότερους βαθμούς ελευθερίας.

Δομικά, τα ρομπότ ταξινομούνται με το σύστημα συντεταγμένων του βραχίονα ως εξής:

- Καρτεσιανά: Τρεις γραμμικοί άξονες
- Κυλινδρικά: Δύο γραμμικοί και ένας στροφικός άξονας
- Σφαιρικά: Ένας γραμμικός και δύο στροφικοί άξονες
- Αρθρωτά: Τρεις στροφικοί άξονες.
- SCARA: Συνδυασμός αρθρωτού και κυλινδρικού ρομπότ.

Οι γραμμικές αρθρώσεις μπορούν να είναι αρθρώσεις ολίσθησης (συμβολικά S: sliding), ή πρισματικές (συμβολικά P: prismatic). Μια στροφική άρθρωση συμβολίζεται με R (revolute joint). Έτσι ο τύπος ενός ρομπότ με βάση τα συστήματα συντεταγμένων των αρθρώσεων του συμβολίζεται με την αλληλουχία των συμβόλων S, P και R αρχίζοντας από τη βάση και προχωρώντας προς τον καρπό. Ένα σφαιρικό ρομπότ μπορεί να είναι της μορφής RRP, ενώ ένα αρθρωτό ρομπότ συμβολίζεται με RRR.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι το μέγεθος και το σχήμα του χώρου εργασίας του. Το σχήμα του χώρου εργασίας εξαρτάται από τα συστήματα συντεταγμένων των αξόνων του ρομπότ, ενώ το μέγεθος του χώρου εργασίας εξαρτάται από τις διαστάσεις του βραχίονα του ρομπότ. Πρέπει να σημειωθεί ότι με την προσθήκη του τελικού στοιχείου δράσης (εργαλείου) στον καρπό του ρομποτικού βραχίονα ο χώρος εργασίας μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του εργαλείου. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη κατά τον προγραμματισμό της εργασίας για την ασφάλεια των εργαζομένων.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.2.1 Καρτεσιανοί Βραχίονες

Η καρτεσιανή γεωμετρία υλοποιείται με τρεις διαδοχικές πρισματικές αρθρώσεις. Οι άξονες των αρθρώσεων αυτών είναι ανά δύο κάθετοι μεταξύ τους. Η καρτεσιανή δομή παρέχει μεγάλη δυσκαμψία και σταθερή ακρίβεια σε ολόκληρο το χώρο εργασίας που είναι ένα παραλληλεπίπεδο. Βασικό μειονέκτημα της κατασκευής είναι η μειωμένη επιδεξιότητα κίνησης, λόγω της πρισματικής φύσης των αρθρώσεων.

*(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)*

2.2.2 Βραχίονες Gantry

Οι βραχίονες Gantry είναι στην ουσία καρτεσιανοί, διαφέρουν όμως από τους τελευταίους στον τρόπο προσέγγισης τους αντικείμενου ενδιαφέροντος. Ειδικότερα ο βραχίονας Gantry προσεγγίζει το αντικείμενο από πάνω, τη στιγμή που ένας κλασικός καρτεσιανός βραχίονας προσεγγίζει το αντικείμενο από το πλάι. Άμεσες συνέπειες της διαφοροποίησης αυτής είναι η αύξηση του χώρου εργασίας και της δυσκαμψίας, καθώς επίσης και η δυνατότητα χειρισμού μεγάλων και βαριών αντικειμένων.

*(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)*

2.2.3 Κυλινδρικοί Βραχίονες

Στους κυλινδρικούς βραχίονες η πρώτη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής έχει αντικατασταθεί από μία περιστροφική άρθρωση. Οι συγκεκριμένοι βραχίονες χαρακτηρίζονται από καλή δυσκαμψία, όμως η ακρίβεια της θέσης του καρπού μειώνεται καθώς η οριζόντια μετατόπιση αυξάνεται. Ο χώρος εργασίας στην περίπτωση αυτή είναι τμήμα κυλίνδρου. Σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης γεωμετρίας είναι το ότι ο βραχίονας εισέρχεται στο χώρο εργασίας και τον περιορίζει.

*(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)*

2.2.4 Σφαιρικοί Βραχίονες

Στους βραχίονες αυτούς αντικαθίσταται πλέον και η δεύτερη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής με περιστροφική. Η μηχανολογική πολυπλοκότητα αυξάνει, ενώ η δυσκαμψία μειώνεται. Επιπλέον η ακρίβεια του καρπού μειώνεται με την αύξηση της ακτινικής απόστασης. Ο χώρος εργασίας είναι τμήμα σφαίρας και περιέχει ένα μέρος της βάσης με άμεση συνέπεια τη δυνατότητα χειρισμού αντικειμένων που βρίσκονται στο έδαφος.

*(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)*

2.2.5 Βραχίονες SCARA

Η γεωμετρία SCARA είναι ειδική και περιλαμβάνει δύο περιστροφικές και μία πρισματική άρθρωση τοποθετημένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι άξονες κίνησης να είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Το όνομα SCARA προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Selective Compliance Assembly Robot Arm. Η συγκεκριμένη γεωμετρία παρέχει μεγάλη δυσκαμψία σε κατακόρυφη φόρτιση και ελαστικότητα σε οριζόντια. Η ακρίβεια τοποθέτησης του καρπού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης του από τον άξονα της πρώτης άρθρωσης.

*(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)*

2.2.6 Αρθρωτά Ρομπότ

Τα αρθρωτά ρομπότ αποτελούνται από τρία σταθερά μέλη (συνδέσμους) που ενώνονται με στροφικές αρθρώσεις και είναι τοποθετημένα πάνω σε μια στρεφόμενη βάση. Η κινηματική διάταξη μοιάζει με εκείνη του ανθρώπινου χεριού. Το εργαλείο (αρπάγη) είναι ανάλογο της παλάμης και προσαρμόζεται στον κάτω βραχίονα μέσω του καρπού. Ο "αγκώνας" συνδέει τον κάτω με τον άνω βραχίονα και ο "ώμος" συνδέει τον άνω βραχίονα με τη βάση. Πολλές φορές στην άρθρωση του ώμου διατίθεται και μια περιστροφική κίνηση σε οριζόντιο επίπεδο. Επειδή το αρθρωτό ρομπότ έχει και τους τρεις άξονες στροφικούς η διακριτική ικανότητα θέσης εξαρτάται τελείως από τη θέση του βραχίονα. Η ολική ακρίβεια ενός αρθρωτού ρομπότ είναι μικρή γιατί τα σφάλματα των αρθρώσεων συσσωρεύονται στο άκρο του βραχίονα δηλαδή στη θέση του καρπού. Τα πλεονεκτήματα των αρθρωτών ρομπότ είναι ότι έχουν την πιο μεγάλη μηχανική ευελιξία και μπορούν να κινηθούν ταχύτατα ως προς τους τρεις βαθμούς ελευθερίας.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.3 Ρομποτικά Συστήματα Ελέγχου

Αναλύοντας τους ρομποτικούς βραχίονες από την οπτική της θεωρίας συστημάτων, οι ρομποτικοί βραχίονες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Ανοιχτού βρόχου
- Κλειστού Βρόχου

Στην πρώτη κατηγορία (ανοιχτού βρόχου) η έξοδος δεν έχει καμία επίδραση στην είσοδο, δεν υπάρχει δηλαδή ανατροφοδότηση. Σαν ένα παράδειγμα ας θεωρήσουμε ένα ηλεκτρικό κινητήρα στον οποίο εφαρμόζουμε μια σταθερή τάση, οπότε ο κινητήρας περιστρέφεται. Έξοδος του συστήματος εδώ είναι η ταχύτητα περιστροφής του άξονα και είσοδος η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα. Εάν εφαρμοσθεί κάποιο φορτίο στον κινητήρα η ταχύτητά του θα αυξηθεί. Οι αυξομειώσεις αυτές της ταχύτητας με τη μεταβολή του φορτίου στην πράξη δεν είναι επιθυμητές. Ένα καλύτερο σύστημα προκύπτει εάν η έξοδος μετράται και ανατροφοδοτείται με κατάλληλο τρόπο στην είσοδο του συστήματος. Στο πιο πάνω παράδειγμα η ταχύτητα του κινητήρα μπορεί να μετρηθεί και να μετατραπεί σε τάση με κατάλληλο αισθητήριο όργανο (ταχογεννήτρια) και στη συνέχεια να συγκριθεί με την τάση εισόδου. Με βάση τη σύγκριση αυτή, γίνεται αυτόματα η απαραίτητη διόρθωση για να επιστρέψει η ταχύτητα του κινητήρα στην επιθυμητή τιμή. Συστήματα στα οποία η έξοδος ανατροφοδοτείται στην είσοδο ονομάζονται κλειστά συστήματα ελέγχου. Στα ρομπότ κάθε άξονας ελέγχεται ξεχωριστά από ένα σύστημα ελέγχου που περιέχει ένα στοιχείο οδήγησης (κινητήρα, υδραυλικό έμβολο, κλπ.).

Στα ρομπότ που έχουν κλειστά συστήματα ελέγχου η θέση των αξόνων μετράται με κατάλληλα αισθητήρια όργανα ανατροφοδότησης, όπως είναι λ.χ. ο ψηφιακός (διαφορικός) κωδικοποιητής. Ο τύπος του στοιχείου οδήγησης κάθε άξονα ενός ρομπότ καθορίζεται βασικά από την απαιτούμενη ακρίβεια και ισχύ του ρομπότ.

Όπως είδαμε πριν, τα στοιχεία οδήγησης μπορούν να συνδεθούν απ' ευθείας στις αρθρώσεις του ρομπότ ή έμμεσα μέσω γραναζιών, αλυσίδων, κοχλιών και ιμάντων. Στα ρομπότ ανοικτού βρόχου η κίνηση των αξόνων (αρθρώσεων) γίνεται με βηματικούς κινητήρες. Ο βηματικός κινητήρας είναι ένας κινητήρας ο άξονας του οποίου περιστρέφεται κατά μια σταθερή γωνία για κάθε παλμό που δέχεται στην είσοδό του. Οι βηματικοί κινητήρες παρέχουν τον απλούστερο τρόπο μετατροπής μιας ακολουθίας ηλεκτρικών παλμών σε ανάλογη γωνιακή μετατόπιση και γι' αυτό αποτελούν μια σχετικά απλή και φθηνή λύση στο πρόβλημα ελέγχου των ρομπότ. Επειδή όμως δεν υπάρχει ανατροφοδότηση από τη θέση του άξονα, η ακρίβεια θέσης εξαρτάται αποκλειστικά από την ικανότητα του κινητήρα να προχωράει κατά τον ακριβή αριθμό βημάτων σύμφωνα με το πλήθος παλμών που δέχεται στην είσοδό του. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των βηματικών κινητήρων είναι ότι η μέγιστη ταχύτητά τους εξαρτάται από τη μηχανική ροπή του φορτίου. Όσο πιο μεγάλη είναι η ροπή του φορτίου, τόσο μικρότερη είναι η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα του κινητήρα. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι ότι οι βηματικοί κινητήρες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα με απρόβλεπτες μεταβολές των ροπών φορτίου, γιατί λ.χ. μια μεγάλη αύξηση της ροπής φορτίου μπορεί να κάνει τον βηματικό κινητήρα να χάσει ορισμένα βήματα και έτσι να κινηθεί σε λάθος θέση. Στα βιομηχανικά ρομπότ οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αναπτύσσουν μηχανικές ροπές όχι μόνο ανάλογα με το φορτίο που σηκώνουν αλλά και με τη θέση του βραχίονά τους. Συνεπώς οι βηματικοί κινητήρες σήμερα δεν προτιμούνται στα βιομηχανικά ρομπότ.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

2.4 Σύγκριση και διαφορές χωρικού μηχανισμού και ρομποτικού βραχίονα

Ένας χωρικός μηχανισμός (σύστημα επιμέρους στερεών σωμάτων με σχετική κίνηση μεταξύ τους, γίνεται ρομποτικός βραχίονας όταν διαθέτει τα ακόλουθα δύο επιπλέον στοιχεία:

- Συσκευές ενεργοποίησης (Ενεργοποιητές) της κίνησης των επιμέρους τμημάτων
- Σύστημα παραγωγής και αποστολής εντολών εκτέλεσης έργου προς τους ενεργοποιητές. Το σύστημα αυτό που αποτελεί τον "εγκέφαλο" του βραχίονα, υλοποιείται συνήθως σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές (H-Y) ή μικροελεγκτές.

Τα ρομποτικά συστήματα κλειστού βρόχου παρουσιάζουν μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον και χαρακτηρίζονται από δύο επιπλέον στοιχεία εκτός από τα δυο παραπάνω στοιχεία που διαχωρίζουν το ρομποτικό βραχίονα από το χωρικό μηχανισμό. Τα επιπλέον στοιχεία είναι :

- Όργανα μέτρησης (Αισθητήρες) της σχετικής ή απόλυτης κίνησης (θέση, ταχύτητα ή επιτάχυνση) των συνδέσμων του βραχίονα
- Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα, το οποίο είναι εγκατεστημένο στον "εγκέφαλο" (π.χ. στον H-Y) του ρομποτικού βραχίονα. Το σύστημα ελέγχου (ή ελεγκτής) αξιοποιεί την πληροφορία των

αισθητήρων και με βάση την πληροφορία αυτή διαμορφώνει τις εντολές προς τους ενεργοποιητές.

Εκτός από ορισμένα εργαστηριακά ρομπότ, τα σύγχρονα ρομπότ χρησιμοποιούν κλειστά συστήματα ελέγχου στα οποία η θέση των αξόνων μετريέται από αισθητήριες διατάξεις και ανατροφοδοτείται στην είσοδο. Ο άξονας του κινητήρα μπορεί να οδηγεί μια στροφική άρθρωση ή μια γραμμική άρθρωση μέσω ενός κατάλληλου κοχλία (βίδας). Στο σύστημα γίνεται μέτρηση της πρακτικής θέσης και ταχύτητας του άξονα (άρθρωσης) και σύγκριση αυτών με τις επιθυμητές τιμές. Ο νόμος (διάταξη) ελέγχου σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξαλείψει ή τουλάχιστο να μειώνει σημαντικά το σφάλμα, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ επιθυμητής και εκάστοτε πρακτικής τιμής της θέσης και ταχύτητας. Η διάταξη ανατροφοδότησης θέσης που είναι ένας διαφορικός κωδικοποιητής στερεώνεται στον άξονα του κινητήρα και παρέχει παλμική έξοδο. Η διάταξη σύγκρισης αφαιρεί το σήμα ανατροφοδότησης από το σήμα εισόδου (εντολή), επεξεργάζεται κατάλληλα το αποτέλεσμα (τούτο γίνεται από τον αντισταθμιστή ή ρυθμιστή) και μέσω του μετατροπέα Ψ/Α (ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα) τροφοδοτεί το τελικό διορθωτικό σήμα στον ενισχυτή εισόδου του κινητήρα.

Ο διαφορικός κωδικοποιητής είναι η πιο συνηθισμένη διάταξη ανατροφοδότησης των ρομπότ. Σε κάθε άρθρωση ενός ρομπότ στερεώνεται ένας κωδικοποιητής. Περιλαμβάνει ένα στρεφόμενο δίσκο που είναι διαιρεμένος σε τομείς οι οποίοι είναι εναλλάξ διαφανείς και μη διαφανείς. Στη μια πλευρά του δίσκου τοποθετείται μια φωτεινή πηγή και στην άλλη ένα φωτοκύτταρο. Όταν ο δίσκος περιστρέφεται, κάθε μεταβολή του φωτός που προσπίπτει στο φωτοκύτταρο παράγει ένα παλμό εξόδου. Το πλήθος των παλμών αυτών ανά μονάδα χρόνου (ρυθμός) είναι ανάλογο προς τη γωνιακή ταχύτητα του άξονα και το ολικό πλήθος παλμών σε κάθε χρονική στιγμή είναι ανάλογο προς την ολική γωνιακή μετατόπιση του άξονα της άρθρωσης.

Η φορά περιστροφής μπορεί να ανιχνευθεί με τη βοήθεια ενός κωδικοποιητή που έχει δύο φωτοκύτταρα ανάγνωσης στον ίδιο δίσκο. Τα φωτοκύτταρα είναι τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι έξοδοι να έχουν ολίσθηση φάση 90 μοιρών η μια σε σχέση με την άλλη. Η φορά περιστροφής προσδιορίζεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογικού κυκλώματος το οποίο δέχεται σαν εισόδους τις δύο ακολουθίες παλμών. Ένας επιπλέον παλμός αναφοράς μπορεί να ληφθεί από μια ξεχωριστή ζώνη με μόνο έναν αδιαφανή τομέα. Ο παλμός αναφοράς δείχνει τη μηδενική θέση όταν το σύστημα τίθεται σε λειτουργία.

Ένα μειονέκτημα των διαφορικών κωδικοποιητών μέτρησης της γωνιακής θέσης είναι δυνατότητα καταμέτρησης λανθασμένων παλμών που πιθανά οφείλονται σε ηλεκτρικό θόρυβο, μεταβατικά φαινόμενα ή άλλες εξωτερικές διαταραχές. Επίσης μεγάλα σφάλματα προκαλούνται από παρεμβολές της ισχύος.

Τα σφάλματα αυτά εξαλείφονται με τη χρήση απόλυτων κωδικοποιητών, που χρησιμοποιούν δίσκο πολλαπλής ζώνης και ορίζουν τη θέση του άξονα υπό δυαδική μορφή σε φυσικό ή άλλο κώδικα (λ.χ. κώδικα Gray). Το σύστημα ανάγνωσης χρησιμοποιεί μια φωτεινή πηγή και φωτοκύτταρα για την ανίχνευση του φωτός που διέρχεται από τα διαφανή μέρη του δίσκου. Ο συνδυασμός των εξόδων όλων των φωτοκύτταρων δίνει την πραγματική θέση του άξονα της άρθρωσης. Οι παλμοί του κωδικοποιητή συσσωρεύονται σε ένα συσσωρευμένο μετρητή, ο οποίος

δειγματοληπτείται από τον υπολογιστή κατά σταθερά χρονικά διαστήματα. Σε άλλες διατάξεις, στη θέση του συγκριτή χρησιμοποιείται ένας μικρο-επεξεργαστής, ένας δε μίνι-υπολογιστής συντονίζει τα σήματα αναφοράς που στέλνονται στους διάφορους μικρο-επεξεργαστές. Όπως είναι γνωστό, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν αυξάνουμε την ενίσχυση ανοικτού βρόχου του συστήματος (στην περίπτωση μας όταν αυξάνουμε το πλήθος παλμών ανά περιστροφή του κωδικοποιητή) γιατί το σύστημα μπορεί να γίνει ασταθές, πράγμα ανεπιθύμητο.

Η σχεδίαση ενός κλειστού βρόχου και η εκλογή του στοιχείου οδήγησης (κινητήρα κλπ.) απαιτεί τη γνώση της φύσης του συστήματος και των μηχανικών ροπών φορτίου. Επίσης κατά τη σχεδίαση πρέπει να ληφθούν υπ' όψη το επιτρεπτό σφάλμα θέσης, η ακρίβεια, η επαναληψιμότητα και ο χρόνος απόκρισης του συστήματος. Είναι χρήσιμο να σημειώσουμε εδώ ότι τα συστήματα ελέγχου των ρομπότ είναι βασικά όμοια με τα συστήματα ελέγχου των εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου με υπολογιστή (CNC).

Τα συστήματα ελέγχου όμως των ρομπότ είναι πιο πολύπλοκα για τους παρακάτω λόγους:

- Οι εργαλειομηχανές απαιτούν τον έλεγχο της θέσης του εργαλείου κοπής στο χώρο. Για το σκοπό αυτό τρεις άξονες (βαθμοί ελευθερίας) είναι αρκετοί. Τα ρομπότ απαιτούν τον έλεγχο τόσο της θέσης του κεντρικού σημείου του εργαλείου (ΚΣΕ) όσο και του προσανατολισμού του εργαλείου. Τούτο απαιτεί έξι άξονες (τρεις για τον βραχίονα και τρεις για τον καρπό του ρομπότ).
- Τα κατασκευαστικά συστήματα συνεχούς δρόμου (ΣΔ), λ.χ. ρομπότ συγκόλλησης τόξου κ.α., απαιτούν τη χρήση διατάξεων παρεμβολής για τον καθορισμό της τροχιάς μεταξύ των τελικών σημείων των διαφόρων τμημάτων της. Στις εργαλειομηχανές οι άξονες κίνησης είναι κάθετοι μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Αντίθετα, τα περισσότερα ρομπότ έχουν στροφικούς άξονες, ενώ τα τελικά σημεία των τροχιών δίνονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες που έχουν την αρχή των αξόνων στη βάση του ρομπότ. Έτσι απλή παρεμβολή που εφαρμόζεται στις εργαλειομηχανές δεν είναι εφαρμόσιμη στα ρομπότ. Οι μέθοδοι παρεμβολής στα ρομπότ συνεχούς δρόμου είναι πολύπλοκες. Η γενική διαδικασία συνίσταται στην υποδιαίρεση του δρόμου σε μικρά τμήματα κατά μήκος της ίδιας ευθείας και ακολούθως στην επίλυση του αντίστροφου προβλήματος κινηματικής για τον καθορισμό της κίνησης από την αρχή προς το τέλος κάθε τμήματος, δηλαδή στον μετασχηματισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων των σημείων σε αντίστοιχες εντολές των αρθρώσεων.
- Η μηχανική δομή των ρομπότ είναι λιγότερο σταθερή (στερεή) από εκείνη των εργαλειομηχανών και έτσι στη ρομποτική είναι πιο δύσκολο να επιτύχουμε κινήσεις με μια δοσμένη μεγάλη στάθμη ακρίβειας.
- Οι άξονες των κινήσεων των ρομπότ, ιδιαίτερα των αρθρωτών ρομπότ είναι συζευγμένοι, πράγμα που σημαίνει ότι κάποιο φορτίο σε έναν άξονα επιδρά στην ακρίβεια θέσης των άλλων αξόνων. Τούτο δεν συμβαίνει σχεδόν ποτέ στις εργαλειομηχανές.
- Στις εργαλειομηχανές αριθμητικού και υπολογιστικού ελέγχου (NC & CNC) χρησιμοποιούνται μέθοδοι ή γλώσσες προγραμματισμού εκτός λειτουργίας (offline) όπως είναι η γλώσσα APT (Automatic Programming Tool). Έτσι κατά τη διάρκεια της συγγραφής του προγράμματος ενός νέου εξαρτήματος η εργαλειομηχανή παραμένει σε λειτουργία. Αντίθετα στη ρομποτική, τα ρομπότ

χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας τους ή του προγραμματισμού τους και έτσι διακόπτεται η λειτουργία τους από την παραγωγική εργασία.

- Τέλος, στις εργαλειομηχανές με υπολογιστικό έλεγχο, όπως επίσης και σε ορισμένα ρομπότ, ελέγχεται η θέση και η ταχύτητα των αξόνων. Σε άλλα όμως ρομπότ ελέγχεται η μηχανική ροπή και η θέση. Ο έλεγχος της ροπής απαιτεί τη χρησιμοποίηση, στο πρόγραμμα ελέγχου, του δυναμικού μοντέλου του ρομπότ πράγμα που κάνει τον αλγόριθμο ελέγχου πιο πολύπλοκο.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

Είδη ρομπότ

Κατά την πολυετή εξέλιξη της επιστήμης της ρομποτικής προέκυψαν διάφορα είδη ρομποτικών μηχανισμών, οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά στη μορφή, αποτελούνται όμως από αντίστοιχα επιμέρους υποσυστήματα, δηλαδή το μηχανολογικό υποσύστημα, το υποσύστημα αίσθησης και το σύστημα ελέγχου.

Τα σπουδαιότερα είδη ρομπότ είναι τα παρακάτω:

- **Ρομπότ Σταθερής Βάσης:** τα ρομπότ αυτά αποτελούνται από διαδοχικά στερεά σώματα (σύνδεσμοι) που συνδέονται μέσω αρθρώσεων σχηματίζοντας μία κινηματική αλυσίδα. Η αλυσίδα αυτή έχει το ένα άκρο της (βάση) σταθερά συνδεδεμένο με κάποιο σημείο του περιβάλλοντος χώρου. Η μορφή αυτή ρομπότ είναι η παραδοσιακή μορφή ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα, και περιλαμβάνει το βραχίονα, τον καρπό και το εργαλείο
- **Κινούμενα Ρομπότ:** ως κινητά ρομπότ χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα ρομπότ που έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν όλα τα σημεία του μηχανισμού τους. Η δυνατότητα αυτή προσφέρεται από ειδικά συστήματα προώθησης, τα οποία μπορεί να είναι είτε απλά (όπως τροχοί) είτε πολύπλοκα (όπως jet, προπέλες, μηχανικά πόδια). Τα κινούμενα ρομπότ διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό αυτονομίας τους. Έτσι έχουμε:
- **AGVs:** τα AGVs (Automatic Guided Vehicles) έχουν περιορισμένη αυτονομία κίνησης, δεδομένου ότι η τροχιά τους είναι προκαθορισμένη μέσω καλωδίων στο έδαφος ή πομπών στον περιβάλλοντα χώρο.
- **Αυτόνομα Έντροχα Ρομπότ:** τα ρομπότ αυτά λειτουργούν με αρκετά υψηλό βαθμό αυτονομίας. Πιο συγκεκριμένα μπορούν και λειτουργούν χωρίς συνεχή εξωτερική επίβλεψη και είναι ικανά να εκτελούν εργασίες αυτόνομα δεχόμενα μόνο ορισμένες υψηλού επιπέδου εντολές.
- **Βαδίζοντα Ρομπότ:** τα ρομπότ αυτά χρησιμοποιούν μηχανικά πόδια για την κίνησή τους και όχι συμβατικούς τροχούς όπως στις προηγούμενες δύο κατηγορίες. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης υλοποίησης είναι η μεγάλη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων και η ικανότητα αναρρίχησης σε ανώμαλα εδάφη και μη επίπεδες επιφάνειες. Από τα πιο συνηθισμένα ρομπότ αυτής της κατηγορίας είναι τα δίποδα ενώ δεν αποκλείονται και εφαρμογές με περισσότερα από δύο πόδια, π.χ. ρομπότ που μοιάζουν και κινούνται όπως οι αράχνες

- ROVs: τα ROVs (Remotely Operated Vehicles) ανήκουν στην κατηγορία των μη επανδρωμένων υποβρύχιων ρομπότ. Όπως υποδηλώνει το όνομά τους δεν έχουν μεγάλο βαθμό αυτονομίας, μιας και είναι συνδεδεμένα με το μητρικό πλοίο μέσω καλωδίου, το οποίο και καλύπτει τις ανάγκες του ρομπότ σε ενέργεια και επικοινωνίες. Τα ρομπότ αυτού του τύπου έχουν σχήμα κουτιού και κινούνται γενικά σε χαμηλές ταχύτητες.
- AUVs: τα AUVs (Autonomous Underwater Vehicles), αντίθετα με τα ROVs, είναι πλήρως αυτόνομα και κατά συνέπεια δεν έχουν την ανάγκη καλωδίου. Για τις ανάγκες τροφοδοσίας (ενέργεια) χρησιμοποιούνται ειδικές μπαταρίες, κάτι όμως που θέτει και περιορισμούς στη λειτουργία των ρομπότ αυτών. Τα AUVs έχουν σχήμα τορπιλών και μπορούν να κινούνται με αρκετά μεγάλες ταχύτητες.
- Εναέρια ρομπότ: πρόκειται για μη επανδρωμένα ιπτάμενα ρομπότ, όπως ελικόπτερα και αεροπλάνα. Τα ρομπότ αυτά έχουν διαρκώς αυξανόμενες εφαρμογές, όμως εξαιτίας της μειωμένης ακόμα σταθερότητας και ασφάλειας στη συμπεριφορά τους χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εισαγωγικές σημειώσεις ρομποτικής
http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)

Κεφάλαιο 3

Εφαρμογές ρομποτικής

3.1 Εισαγωγή

Η ρομποτική σήμερα έχει εφαρμογές στην πλειονότητα των βιομηχανιών και βιοτεχνιών, όπως στις βιομηχανίες τσιμέντου, τις βιομηχανίες αυτοκινήτων, βιοτεχνίες μεταλλικών κατασκευών, αυτοκινητοβιομηχανία, βιοτεχνίες ενδυμάτων, κλπ.). Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες εφαρμογές: μεταφορά υλικών, ταξινόμηση αποθηκών, συναρμολόγηση συσκευών και μηχανισμών, συγκόλληση μεταλλικών κατασκευών, συγκόλληση ηλεκτρικών στοιχείων, βαφή, εκσκαφή, υποθαλάσσιες εργασίες, εργασίες σε ραδιενεργό και γενικά επικίνδυνο περιβάλλον, μικροχειρουργική, ιατρική κτλ.

Όσον αφορά την σχέση ρομπότ και βιομηχανίας, τα ρομπότ αποτελούν το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα συσκευής αυτοματισμού ευρείας χρήσης. Το κύριο πλεονέκτημα του ρομπότ είναι η ευελιξία του. Μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα προϊόντα στην ίδια γραμμή παραγωγής, όπως απαιτούν οι αλλαγές της αγοράς και να επαναπρογραμματισθεί έτσι ώστε να είναι κατάλληλο για μικρές ή μεγάλες μεταβολές του παραγόμενου προϊόντος. Έτσι προσφέρει στη βιομηχανία μαζικής παραγωγής ένα τρόπο να αντιμετωπίζει τις μεταβολές της απαιτούμενης ποσότητας ή του τύπου του προϊόντος που παράγεται. Στη βιομηχανία μικρής κλίμακας προσφέρει την ευκαιρία ή τη δυνατότητα ενός μεγάλου άλματος στην παραγωγικότητα, ενώ συνεχίζει να παράγει σε μικρές ποσότητες, έτσι ώστε να μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να ανταγωνιστεί μεγαλύτερες βιομηχανίες. Οι εργαλειομηχανές με CNC (Computer Numerical Control) αποτελούν ειδικές μορφές ρομποτικών συστημάτων. Ο αριθμός των ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε παραγωγικές μονάδες παγκοσμίως αυξάνεται εκθετικά. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτά είναι βιομηχανικά ρομπότ.

Ένα μικρότερο αλλά σημαντικό τμήμα καταλαμβάνουν τα ρομπότ για στρατιωτικές εφαρμογές και τα κινητά ή κινούμενα ρομπότ (mobile robots) τα οποία ολοένα και αυξάνουν τη διεξόδυσή τους σε κάθε μορφή εργοτάξια.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

3.2 Πλεονεκτήματα, και σύγκριση με τον ανθρώπινο παράγοντα

Ένα ρομπότ δε μπορεί να εκτελέσει όλα τα καθήκοντα που εκτελεί ένας άνθρωπος. Αντίστροφα τα ρομπότ μπορούν να κάνουν κάποιες εργασίες καλύτερα από τους ανθρώπους, ιδίως όταν αυτές απαιτούν επαναληπτική δουλειά για μακρά χρονικά διαστήματα κάτω από δυσχερείς συνθήκες. Τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα δίνονται παρακάτω.

Τα πλεονεκτήματα των ρομπότ, στα οποία οφείλεται η ευρεία χρήση τους, είναι η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα. Ταυτόχρονα είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η

απόδοση των ρομπότ είναι γενικά ανεξάρτητη από τον αριθμό των επαναλήψεων εκτέλεσης μιας εργασίας. Επιπλέον, οι εφαρμογές της ρομποτικής απαλλάσσουν τον άνθρωπο από πολλές επικίνδυνες και ανθυγιεινές εργασίες (π.χ. ορυχεία, πυρηνικοί αντιδραστήρες).

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ρομποτικών βραχιόνων αναδεικνύονται κυρίως σε εργασίες που απαιτούν "νοημοσύνη" και σε εργασίες που εκτελούνται σε αβέβαιο περιβάλλον. Οι εφαρμογές της ρομποτικής συνεισφέρουν στη μείωση του κόστους, την αύξηση της παραγωγικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικότερα οι χρήσεις των ρομπότ και των πλεονεκτημάτων τους έναντι του ανθρωπίνου παράγοντα, με την σύγκριση κάποιων χαρακτηριστικών τους.

Επιλογή αντικειμένου

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί τις αισθήσεις όρασης και αφής. Όσον αφορά τα ρομπότ, παλαιότερα δεν ήταν εφικτές οι οπτικές μέθοδοι, αφού η τεχνολογία της εποχής δεν ήταν τόσο εξελιγμένη. Πλέον με τη σημερινή τεχνολογία τα ρομπότ έχουν αποκτήσει και αυτές τις ικανότητες.

Συλλογή (σήκωμα) / Τοποθέτηση / Ξεφόρτωμα μηχανήματος

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί συνδυασμό βραχιόνων, χεριών και σώματος και μπορεί να χρειαστεί μηχανική βοήθεια με βαριά φορτία. Επίσης, χρησιμοποιεί τα μάτια για να βεβαιωθεί ότι ένα αντικείμενο είναι σωστά προσανατολισμένο. Το ρομπότ χρειάζεται ένα βραχίονα και ένα χέρι, που πρέπει όμως να ενώνονται για να επιτρέπουν στο χέρι να κινείται στις τρεις διαστάσεις και να περιστρέφεται. Η χρήση υδραυλικής ή πνευματικής ισχύος μπορεί να δώσει ικανότητα σηκώματος μεγαλύτερου βάρους, από εκείνου που μπορεί ο άνθρωπος. Στην τοποθέτηση, πρέπει να είναι εφοδιασμένο με σύστημα μηχανικής όρασης έτσι ώστε να αναγνωρίζει τον προσανατολισμό του αντικειμένου.

Λειτουργία μηχανήματος

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί μια ή όλες τις αισθήσεις για να παρακολουθεί τη λειτουργία του μηχανήματος και να κάνει τους κατάλληλους ελέγχους. Έχει μνήμη με την οποία μπορεί να μάθει την ακολουθία και ο χρονισμό των λειτουργιών. Το ρομπότ πρέπει να προγραμματιστεί εκ των προτέρων να εκτελεί τις ενέργειες με βάση μια χρονισμένη ακολουθία. Ένας άνθρωπος πρέπει να το διδάξει, και το ρομπότ πρέπει να έχει εσωτερική μνήμη για να αποθηκεύσει την πληροφορία.

Στοιβάγμα αντικειμένων

Οι λειτουργίες που εκτελεί ο άνθρωπος είναι παρόμοιες με τη συλλογή και την τοποθέτηση. Οι λειτουργίες που πρέπει να εκτελέσει ένα ρομπότ για να στοιβάξει αντικείμενα, είναι ίδιες με αυτές που πρέπει να κάνει κατά την τοποθέτηση ή την συλλογή, με την διαφορά ότι η μηχανική όραση δεν είναι απαραίτητη μιας και το μηχάνημα συνήθως είναι τέτοιο που θα κρατάει κάθε κομμάτι στην ίδια θέση με τον ίδιο τρόπο.

Έλεγχος αντικειμένου

Ο άνθρωπος πρέπει να είναι ικανός να ελέγχει χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις της όρασης και αφής, ή χρησιμοποιώντας μετρητές. Μπορεί να μιλήσει και να ενημερώσει τον επιστάτη για όποιο πρόβλημα του μηχανήματος. Ένα ρομπότ είναι ικανό για έλεγχο με συστήματα αυτόματης μέτρησης, με αισθητήρες, με τηλεμετρία ή καταγραφή ενδείξεων. Το ρομπότ μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να παρέχει ακουστική ή άλλης μορφής προειδοποίηση για ελάττωμα του αντικειμένου.

Βλάβη μηχανήματος

Ο άνθρωπος μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε από τις αισθήσεις του για να αντιληφθεί πιθανό πρόβλημα. Για παράδειγμα, μπορεί να αναγνωρίσει την οσμή ενός κινητήρα που έχει υπερθερμανθεί και να κλείσει το μηχάνημα. Ένα ρομπότ μπορεί να αναγνωρίσει βλάβη μηχανήματος, η οποία προκαλεί ελαττώματα στα αντικείμενα που τα εντοπίζει το ρομπότ ή όταν έχουν καθοριστεί σημεία τηλεμετρίας πάνω στο μηχάνημα για σήματα ελέγχου.

Ρύθμιση μηχανήματος

Εφόσον πρόκειται για μη εξειδικευμένο εργάτη, θα πρέπει αυτός να ζητά ειδική βοήθεια όποτε το μηχάνημα χρειάζεται επαναρύθμιση ή επανατοποθέτηση του εξοπλισμού. Το ρομπότ μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να σταματά μετά από μια υπολογισμένη περίοδο για τη φθορά των εργαλείων. Είναι επίσης εφικτό να διαταχτεί το ρομπότ να ερευνά το αντικείμενο και / ή το μηχάνημα για σπασμένα τρυπάνια, ραφές και άλλα εργαλεία. Χρειάζεται ειδικευμένος εργάτης για την αποκατάσταση και την επαναρύθμιση.

Βάρδιες

Ο άνθρωπος πρέπει να φύγει για το σπίτι του μετά από βάρδια 8 με 12 ωρών. Πρέπει να μπορεί να κινείται - να μπορεί να περπατά και να τρέχει. Το ρομπότ δεν υπάρχει ανάγκη να έχει. Μπορεί να στερεωθεί στο πάτωμα και να προσταχθεί να δουλεύει όλη μέρα. Όταν ένα μηχάνημα λειτουργεί τρεις βάρδιες κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου, ένα ρομπότ μπορεί να αντικαταστήσει τρεις εργάτες - ή και περισσότερους αν το ρομπότ τοποθετηθεί μεταξύ δυο ή περισσότερων γειτονικών μηχανημάτων, τα οποία χειρίζεται διαδοχικά.

Διαλείμματα

Ο άνθρωπος πρέπει να κάνει διάλειμμα για φαγητό και για άλλες φυσικές ανάγκες. Τα ρομπότ δε χρειάζονται χρόνο για φαγητό ή για άλλες φυσιολογικές λειτουργίες, θα χρειαστούν όμως χρόνο για συντήρηση, και όσο αξιόπιστη και να είναι η σχεδίαση, θα υπάρξουν αναπόφευκτα βλάβες.

Αρρώστια και κούραση

Οι άνθρωποι κουράζονται, μερικές φορές δεν αισθάνονται καλά, και μπορεί να απουσιάσουν από την εργασία όταν αρρωστήσουν. Αυτές οι καταστάσεις μπορεί να επιδεινωθούν ή να προκληθούν από δυσάρεστες εργασιακές συνθήκες (ζέστη, θόρυβος, τοξικές αναθυμιάσεις, οσμές, έλλειψη χώρου, κτλ). Τα ρομπότ σποραδικά μπορεί να χαλάσουν. Όμως, είναι δυνατό να σχεδιαστούν ρομπότ που λειτουργούν σε ακραίες συνθήκες, οι οποίες μπορεί να κατέστρεφαν την πνευματική ή σωματική υγεία ενός ανθρώπου - όπως είναι ο θόρυβος, η ζέστη, οι δονήσεις, οι δηλητηριώδεις αναθυμιάσεις, οι οσμές, το στενόχωρο περιβάλλον ακόμη και η ραδιενέργεια.

Επίσης, μπορούμε να πούμε ότι τα ρομπότ παρέχουν :

- Υποκατάστατο ανθρώπινου χεριού
- Ευελιξία (εύκολες μεταβολές προϊόντος, πολλά προϊόντα)
- Ευφυΐα και ειδικούς αισθητήρες (π.χ. όραση, δύναμη)
- Ταχύτητα και ακρίβεια
- Σταθερή ποιότητα προϊόντος και παραγωγικότητα
- Οικονομικές λύσεις για μικρή παραγωγή
- Γρήγορη ανάπτυξη – ολοκλήρωση

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα- Κοζάνη 2003)

3.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στην ιατρική

Τα χειρουργικά ρομπότ εισέβαλλαν δυναμικά στο πεδίο της ιατρικής και νοσηλευτικής επιστήμης μέσα στην τελευταία δεκαετία. Συστήματα ρομποτικής τηλεχειρουργικής έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για υπερατλαντικές επεμβάσεις (επέμβαση Lindbergh 2001). Ρομποτικοί βραχίονες που ενεργοποιούνται με τη φωνή μπορούν και χειρίζονται τη λαπαροσκοπική κάμερα. Η διάδοση συστημάτων τηλερομποτικής χειρουργικής είναι ραγδαία σήμερα και καθημερινά ανακαλύπτονται οι δυνατότητές τους στις επεμβάσεις λαπαροενδοσκοπικής χειρουργικής. Καθιερωμένες και δοκιμασμένες χειρουργικές τεχνικές πέρασαν ομαλά από την ανοιχτή στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική. Η ρομποτική τεχνολογία εφαρμόζεται σε ολοένα και περισσότερα θεραπευτικά πεδία, προσφέροντας σημαντικά οφέλη τόσο για το ιατρο- νοσηλευτικό προσωπικό όσο και για τους ασθενείς (Hockstein και λοιποί, 2007).

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

3.3.1 Χειρουργικά ρομποτικά συστήματα

Τα ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στις χειρουργικές επεμβάσεις μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες: τα **παθητικά** και τα **ενεργά**. Στην πρώτη περίπτωση, ο χειρουργός παρέχει τη φυσική δύναμη που απαιτείται για τον χειρισμό ενός παθητικού ρομπότ, ενώ στη δεύτερη, ένα ενεργό ρομποτικό σύστημα δεν απαιτεί κάποια ανθρώπινη ενέργεια αλλά είναι συνήθως ελεγχόμενο από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτό προσδίδει στα ενεργά συστήματα έναν βαθμό αυτονομίας, σε ότι αφορά την εκτέλεση εργασιών, γεγονός όμως που τα καθιστά έως ένα βαθμό ανασφαλή.

Τα ενεργά συστήματα είναι αυτόνομα ρομποτικά συστήματα τα οποία υπό την επίβλεψη του χειρουργού εκτελούν συγκεκριμένες φάσεις, δηλαδή συγκεκριμένους χειρουργικούς χρόνους κατά τη διάρκεια μίας εγχείρησης ή ακόμη και ολόκληρες επεμβάσεις. Παρά τη σχετική αυτονομία τους, είναι αυτονόητη η παρουσία του έμπειρου χειρουργού που παρακολουθεί τη χειρουργική πράξη έτοιμος ανά πάσα στιγμή να παρέμβει προκειμένου να διακόψει ή να τροποποιήσει τη λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα. Τα αρχικά ρομποτικά συστήματα ήταν παθητικά, αλλά τα πιο σύγχρονα είναι ενεργά. Σημειώνεται ότι πολλά από τα ενεργά χειρουργικά ρομπότ έχουν δυνατότητα μετάβασης και σε παθητική κατάσταση κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων. Τα σημαντικότερα ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται διεθνώς στην κλινική πρακτική είναι τα συστήματα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων, τα ρομποτικά συστήματα ενδοσκόπησης, τα συστήματα ελέγχου και τηλεσυνεργασίας, τα συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής και τα ρομποτικά συστήματα τύπου masterslave.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

3.3.1.1 Συστήματα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων

Στα συστήματα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων ανήκουν τα συστήματα PUMA, Probot, NeuroMate, ROBODOC, Minerva, Acrobot και neuroArm. Το PUMA 200, βλ. **εικόνα 3.1**, είναι ένα προγραμματιζόμενο, ελεγχόμενο από υπολογιστή ρομπότ που σχεδιάστηκε για να υποβοηθά το χειρουργό κατά τη διάρκεια επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Παρέχει ακριβή, λεπτή εργασία και την απαιτούμενη σταθερότητα με τη βοήθεια στερεοτακτικού πλαισίου και εικόνων αξονικής τομογραφίας. Είναι ένα ασφαλές σύστημα με ειδικούς μηχανισμούς ασφαλείας για την περίπτωση μηχανικού ή ηλεκτρικού σφάλματος. Διαθέτει έξι βαθμούς ελευθερίας και οι κινήσεις του εκτελούνται από DC σερβοκινητήρες. Έχουν ακολουθήσει και νεότερες εκδόσεις του συστήματος.

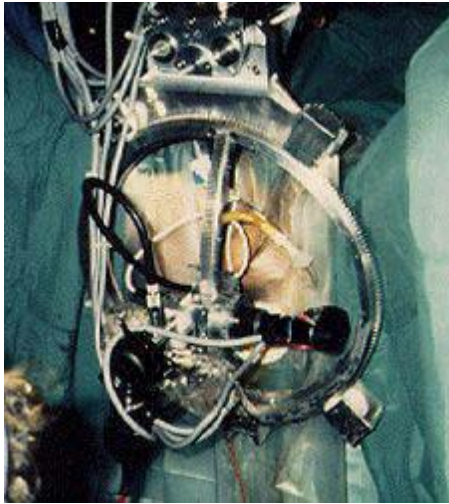


Εικόνα 3.1: Το σύστημα Puma 200

Το Probot, βλ. **εικόνα 3.2**, είναι ένα ενεργό χειρουργικό ρομποτικό σύστημα ειδικά σχεδιασμένο για την αφαίρεση του προστάτη. Επιτρέπει στο χειρουργό να εντοπίσει τον όγκο μέσα στον προστάτη και ύστερα να προχωρήσει αυτόματα σε αφαίρεση του συγκεκριμένου τμήματος χωρίς την περαιτέρω επέμβαση του. Είναι ένα μηχανικά περιορισμένο σύστημα που χρησιμοποιεί έναν ρομποτικό βραχίονα παρόμοιο με το ROBODOC. Διαθέτει για λόγους ασφαλείας έναν μεταλλικό δακτύλιο, ο οποίος αποτρέπει την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα έξω από την ακριβή περιοχή του προστάτη.

Το NeuroMate, βλ. **εικόνα 3.3**, αποτελεί το πρώτο ρομποτικό σύστημα που έλαβε την έγκριση της FDA για πραγματοποίηση νευροχειρουργικών επεμβάσεων. Περιλαμβάνει έναν ρομποτικό βραχίονα με πέντε βαθμούς ελευθερίας και ένα σύστημα σχεδιασμού βασισμένο σε υπολογιστή. Το λογισμικό του συστήματος επιτρέπει έναν ακριβή, βασισμένο σε εικόνες, σχεδιασμό και οπτικοποίηση πολλαπλών τροχιών. Οι εικόνες λαμβάνονται από τον ασθενή είτε με αξονική τομογραφία είτε με απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού.

Το ROBODOC, βλ. **εικόνα 3.4**, είναι το πρώτο ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε σε χειρουργικές επεμβάσεις ορθοπαιδικής. Επιτρέπει στους χειρουργούς να σχεδιάζουν προεγχειρητικά τις επεμβάσεις σε ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον και κατόπιν να τις εκτελούν στο χειρουργικό πεδίο όπως αυτές αρχικά σχεδιάστηκαν. Αποτελείται από δύο υποσυστήματα, το σύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού ORTHODOC και το σύστημα χειρουργικής υποβοήθησης ROBODOC.



Εικόνα 3.2: Επέμβαση προστάτη με το Probot

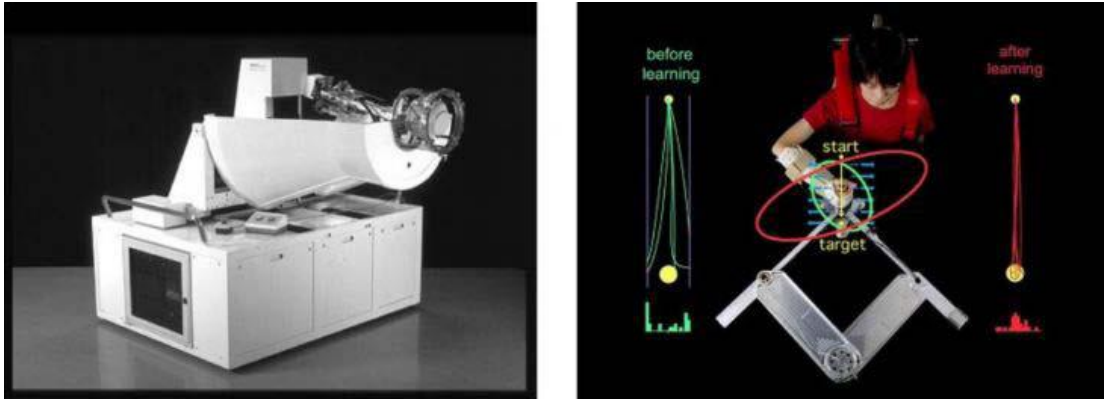


Εικόνα 3.3: Το σύστημα NeuroMate



Εικόνα 3.4: Το σύστημα ROBODOC

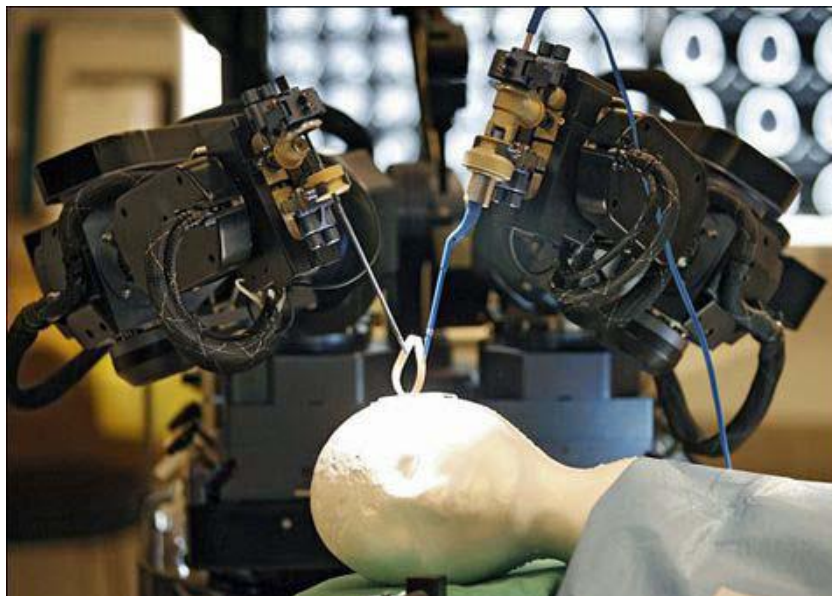
Το Minerva, βλ. **εικόνα 3.5**, σχεδιάστηκε το 1991 στο Πολυτεχνείο της Λωζάνης στην Ελβετία για την υποβοήθηση επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Διαθέτει συνολικά πέντε βαθμούς ελευθερίας: έναν κάθετο και έναν πλάγιο γραμμικό άξονα, δύο περιστροφικούς άξονες για την κίνηση σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο και έναν ακόμη γραμμικό άξονα για την κίνηση του εργαλείου από και προς το κεφάλι του ασθενούς. Το ρομπότ τοποθετείται πάνω σε έναν κινούμενο φορέα. Το στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς είναι προσαρτημένο στο σκελετό του ρομπότ και συζευγμένο με το μηχανοκίνητο τραπέζι του αξονικού τομογράφου.



Εικόνα 3.5: Το σύστημα Minerva

Το Acrobot είναι ένα ημιενεργό ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην ορθοπαιδική χειρουργική. Το σύστημα δεν κινείται αυτόνομα, παρόλο που θα μπορούσε να προγραμματιστεί για κάτι τέτοιο. Αντιδρά στις κινήσεις του χειρουργού, ο οποίος κρατά μία λαβή προσαρτημένη στη συσκευή. Το σύστημα υποβοηθά την κίνηση όποτε ο χειρουργός μετακινεί ένα εργαλείο διάτρησης οστού στην περιοχή του γονάτου του ασθενούς για να αφαιρέσει το οστό, αλλά και τον αποτρέπει παράλληλα να κινηθεί έξω από τη συγκεκριμένη περιοχή ασφαλείας.

Το neuroArm, βλ. **εικόνα 3.6**, είναι ένα καθοδηγούμενο από εικόνα και ελεγχόμενο από υπολογιστή ρομποτικό σύστημα για εφαρμογές νευροχειρουργικής. Είναι ειδικά σχεδιασμένο τόσο για μικροχειρουργικές επεμβάσεις όσο και για εφαρμογές βιοψίας και στερεοταξίας. Το σύστημα περιλαμβάνει έναν σταθμό εργασίας, την κονσόλα ελέγχου του συστήματος και δύο ρομποτικούς βραχίονες πάνω σε μία κινητή βάση. Το neuroArm επιτρέπει τον τηλεχειρισμό των χειρουργικών εργαλείων από ένα δωμάτιο ελέγχου δίπλα ακριβώς στη χειρουργική αίθουσα. Οι ρομποτικοί βραχίονες του συστήματος έχουν επτά βαθμούς ελευθερίας και είναι συμβατοί με την τεχνική του μαγνητικού συντονισμού.



Εικόνα 3.6: Το σύστημα neuroArm



Εικόνα 3.7: Το σύστημα CyberKnife

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

3.3.1.2 Ρομποτικά συστήματα ενδοσκόπησης

Στα ρομποτικά συστήματα ενδοσκόπησης ανήκουν τα συστήματα AESOP και EndoAssist. Το AESOP, βλ. **εικόνα 3.8**, αποτελείται από έναν μοναδικό ρομποτικό βραχίονα που σχεδιάστηκε για να κρατάει την ενδοσκοπική κάμερα κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων, γεγονός που απαλλάσσει τον χειρουργό από την ανάγκη για χειροκίνητο χειρισμό της λαπαροσκοπικής κάμερας. Ο χειρισμός του συστήματος γίνεται με τη βοήθεια πεντάλ ποδιού, γεγονός που συνέβαλλε στην εξάλειψη των προβλημάτων από το φυσιολογικό τρέμουλο των άνω άκρων του χειρουργού.



Εικόνα 3.8: Το σύστημα AESOP



Εικόνα 3.9: Το σύστημα EndoAssist

Το EndoAssist, βλ. **εικόνα 9**, αποτελείται από έναν αποσπώμενο ρομποτικό βραχίονα, ειδικά σχεδιασμένο για να κρατάει τη λαπαροσκοπική κάμερα κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων. Το σύστημα είναι προγραμματισμένο να ανιχνεύει τις κινήσεις του κεφαλιού του χειρουργού και να κατευθύνει την κάμερα σύμφωνα με αυτές. Για το λόγο αυτό, ο χειρουργός φοράει έναν ειδικό, ελαφρύ κεφαλόδεσμο στον οποίο έχει προσαρτηθεί ένας ασύρματος πομπός υπέρυθρων. Η κίνηση του κεφαλιού του ανιχνεύεται από τη μονάδα του δέκτη, η οποία και τη μετατρέπει σε κίνηση του ρομπότ. Οι κινήσεις του ρομποτικού βραχίονα, και συνεπώς και της λαπαροσκοπικής κάμερας, εκτελούνται μόνο όταν ο χειρουργός έχει πατημένο ένα ειδικό πεντάλ.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

3.3.1.3 Συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής

Στα συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής ανήκουν η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική και το σύστημα CyberKnife, βλ. **εικόνα 7**. Η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική είναι μία εξειδικευμένη ακτινοθεραπευτική τεχνική με την οποία ακτίνες φωτονίων κατευθύνονται προς έναν στερεοτακτικά προσδιορισμένο στόχο και καταστρέφοντάς τον είναι σαν να επιτυγχάνεται αναίμακτη εγχείρηση. Αποτελεί έναν διεθνή όρο που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την αντιμετώπιση παθήσεων και όγκων του εγκεφάλου. Η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική μπορεί πλέον να αντιμετωπίσει παθολογικές καταστάσεις σε όλα όργανα του ανθρώπινου σώματος.

Το CyberKnife είναι το πρώτο σύστημα ακτινοχειρουργικής που σχεδιάστηκε για την αντιμετώπιση όγκων και άλλων παθολογικών καταστάσεων, με ενδείξεις καλοήθειας ή κακοήθειας, σε οποιοδήποτε σημείο του ανθρώπινου σώματος με ακρίβεια κάτω του χιλιοστού.

Αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

- Ένα μικρών διαστάσεων και ειδικών προδιαγραφών γραμμικό επιταχυντή 6MV με ρυθμό δόσης 600MU/min.
- Ένα ρομποτικό βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας. Ο βραχίονας κατευθύνεται και ελέγχεται από υπολογιστή με μέγιστο σφάλμα απόκλισης 0.2 χιλ..
- Σύστημα ψηφιακής ακτινογραφίας το οποίο καθοδηγεί το ρομπότ.
- Ένα ειδικά σχεδιασμένο τραπέζι θεραπείας.
- Σύστημα σχεδιασμού θεραπείας με σύγχρονους υπολογιστές και εξελιγμένο λογισμικό.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

3.3.1.4 Συστήματα ελέγχου και τηλεσυνεργασίας

Στα συστήματα ελέγχου και τηλεσυνεργασίας ανήκουν τα συστήματα SOCRATES και Hermes. Το σύστημα ρομποτικής τηλεσυνεργασίας SOCRATES αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, δικτυωμένων ιατρικών συσκευών και ρομποτικών συστημάτων με σκοπό να παρέχει έναν οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο συνεργασίας και συμβουλευτικής από απόσταση. Το SOCRATES είναι στην ουσία ένας συνδυασμός τηλεσυνδιάσκεψης και ελέγχου του συστήματος AESOP από απόσταση. Το σύστημα επιτρέπει σε έναν χειρουργό που βρίσκεται μέσα σε μία χειρουργική αίθουσα να συνεργαστεί με έναν άλλο πιο εξειδικευμένο χειρουργό που μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.

Το σύστημα ελέγχου Hermes, βλ. **εικόνα 3.10**, αποτελεί ένα υπερσύγχρονο σύστημα ανοικτής αρχιτεκτονικής που επιτρέπει τη διασύνδεση και το φωνητικό έλεγχο διάφορων συσκευών απαραίτητων για την εκτέλεση εγχειρήσεων ελάχιστης επέμβασης. Το σύστημα αποτελείται από μία οθόνη αφής, την κεντρική μονάδα ελέγχου που συνδέεται με τις υπόλοιπες συσκευές μέσα στο χειρουργείο και ένα ζευγάρι ακουστικών με μικρόφωνο.



Εικόνα 3.10: Η πλατφόρμα ελέγχου Hermes

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

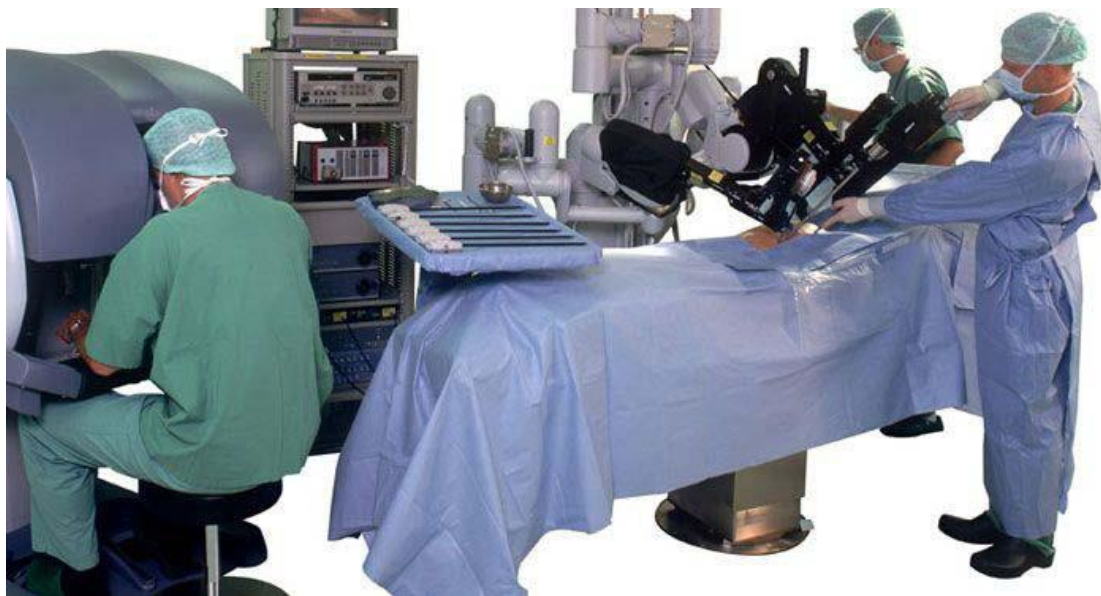
3.3.1.5 Ρομποτικά συστήματα τύπου MASTER-SLAVE

Στα ρομποτικά συστήματα τύπου master-slave ανήκουν τα χειρουργικά συστήματα Zeus και daVinci. Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα Zeus, βλ. **εικόνα 3.11**, αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα ελέγχου του χειρουργού, τρεις ρομποτικούς βραχίονες προσαρμοσμένους πάνω στο χειρουργικό τραπέζι και έναν υπολογιστή-ελεγκτή. Ο κεντρικός βραχίονας καθοδηγεί την ενδοσκοπική κάμερα μέσα στο σώμα του ασθενούς με τη βοήθεια φωνητικών εντολών, παρέχοντας στον χειρουργό τη δυνατότητα να έχει δισδιάστατη ή τρισδιάστατη, σταθερή και μεγεθυμένη εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Ο έλεγχος των δύο άλλων ρομποτικών βραχιόνων, του αριστερού και του δεξιού, γίνεται από τον χειρουργό με τη χρήση ειδικών μοχλών στην κεντρική κονσόλα, οι κινήσεις των οποίων μετατρέπονται σε κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων.



Εικόνα 3.11: Χειρουργική επέμβαση με το σύστημα Zeus

Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα daVinci (εικόνα 3.12) αποτελεί το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής που πραγματοποιεί επεμβάσεις με την ελάχιστη δυνατή επέμβαση στον οργανισμό του ασθενούς. Αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα του χειρουργού, τον χειρουργικό πύργο που βρίσκεται δίπλα στον ασθενή, το σύστημα τρισδιάστατης απεικόνισης και την ολοκληρωμένη σειρά πρωτοποριακών, αποσπώμενων χειρουργικών εργαλείων EndoWrist.



Εικόνα 3.12: Το σύστημα daVinci κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας στην ιατρική πρακτική και ο ρόλος του νοσηλευτή-Πάτρα)

3.4 Η ρομποτική στην εξερεύνηση του διαστήματος

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της ρομποτικής επιστήμης είναι στον τομέα της εξερεύνησης και μελέτης του διαστήματος. Τα ρομπότ είναι πιο ανθεκτικά από τον άνθρωπο στις δύσκολες συνθήκες του διαστήματος, και έτσι μπορούν να ταξιδέψουν στα πιο απομακρυσμένα μέρη του γαλαξία μας. Η συμβολή των ρομπότ στην εξερεύνηση του σύμπαντος είναι πολύ μεγάλη. Επειδή τα ρομπότ δεν είναι ζωντανοί οργανισμοί, αλλά μηχανήματα, οι επιστήμονες μπορούν να τα σχεδιάσουν έτσι, ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν σε αντίξοες συνθήκες. Για παράδειγμα, μπορούν να κάνουν τις εργασίες για τις οποίες έχουν προγραμματιστεί ακόμα και σε συνθήκες πολύ υψηλών ή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Ένας επιπλέον παράγοντας που οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τα ρομπότ, είναι ότι πολλές από τις αποστολές που οργανώνουν διαρκούν για αρκετά χρόνια! Οπότε ακόμα κι αν υπήρχε κάποιος αστροναύτης που να άντεχε για χρόνια μακριά από τη Γη, σίγουρα δεν θα χωρούσαν στο διαστημόπλοιο αρκετά τρόφιμα ή αρκετό οξυγόνο για να επιβιώσει. Όπως καταλαβαίνετε, η δημιουργία ενός ρομπότ είναι μία διαδικασία που κοστίζει αρκετά χρήματα. Κι όμως, το να στείλει κανείς ένα ρομπότ στο διάστημα είναι πολύ πιο οικονομικό από το να στείλει έναν άνθρωπο. Κι αυτό γιατί τα διαστημόπλοια που θα το μεταφέρουν δεν χρειάζεται να είναι τόσο μεγάλα. Παράλληλα, δεν χρειάζεται να είναι εξοπλισμένα με τροφοδοσία οξυγόνου και όλων των άλλων απαραίτητων στοιχείων για την επιβίωση ενός ανθρώπου, όπως είναι το φαγητό ή οι εγκαταστάσεις υγιεινής. Υπάρχει όμως κι άλλος ένας λόγος που προτιμούμε να στέλνουμε ρομπότ στο διάστημα και ίσως είναι ο σημαντικότερος: τα επανδρωμένα διαστημόπλοια πρέπει να είναι απολύτως ασφαλή, ώστε να μην κινδυνεύσουν οι επιβάτες τους. Αυτά τα συστήματα ασφαλείας είναι εξαιρετικά ακριβά, ενώ υπάρχει πάντα και ο κίνδυνος να μη λειτουργήσουν σωστά. Χάρη στα ρομπότ λοιπόν, μπορούμε να γνωρίσουμε το διάστημα χωρίς να κινδυνεύσουν ανθρώπινες ζωές.

(Βιβλιογραφική αναφορά:

<http://www.oikade.gr/Children/technology/robot/exereunwntas-to-diastrima-me-robot>)

3.4.1 Παρελθοντικές και μελλοντικές αποστολές

Η διαστημική αποστολή Hayabusa ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2003 με σκοπό να φτάσει στον αστεροειδή Itokawa (500 μέτρα μήκος και 50 μέτρα πλάτος) και διήρκησε 7 χρόνια. Το ερευνητικό σκάφος αντιμετώπισε αρκετά προβλήματα (βλάβες στον κινητήρα, απώλεια καυσίμων και επικοινωνίας) παρόλα αυτά όμως ολοκλήρωσε την αποστολή του.

Η ιαπωνική διαστημική υπηρεσία αναφέρει πως η μικροσκοπική ανάλυση των 1500 περίπου κόκκων υλικού που βρέθηκαν στο δοχείο συλλογής του Hayabusa είναι εξωγήινης προέλευσης. Είναι το μόνο διαστημικό εξερευνητικό ρομπότ που έχει φέρει στη Γη υλικό από ένα σώμα πλην της Σελήνης και στοίχισε περίπου 200 εκατομμύρια ευρώ.

Το ρομποτικό όχημα Curiosity (ρόβερ) εκτοξεύθηκε τις 26 Νοεμβρίου του 2011 και προσγειώθηκε στον Άρη στις 6 Αυγούστου 2012 και προβλέπεται ότι η αποστολή

θα διαρκέσει δυο χρόνια. Οι στόχοι του είναι να ερευνήσει το κλίμα και τη γεωλογία του Άρη.

Το ρομπότ φέρει επιστημονικό εξοπλισμό με τον οποίο μπορεί να αναλύσει τη χημική σύσταση δειγμάτων που λαμβάνει.

Έχει μέγεθος μικρού αυτοκινήτου, με βάρος 889 κιλά 2,9 μέτρα μήκος, 2,7 μέτρα πλάτος, 2,2 μέτρα ύψος και κόστισε 2,5 δισ. Δολάρια.



EIKONA 3.13

Στις 24 Φεβρουαρίου του 2012 η NASA έστειλε το πρώτο ανθρωποειδές ρομπότ στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό χρησιμοποιώντας το διαστημικό λεωφορείο Discovery. Έχει κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εκτελεί δύσκολες, λεπτές και επικίνδυνες εργασίες στη θέση των αστροναυτών (διαστημικοί περίπατοι). Διαθέτει πάνω από 350 αισθητήρες, 12 βαθμούς ελευθερίας στο χέρι και 2 στο καρπό και αισθητήρες αίσθησης στα άκρα των δακτύλων



EIKONA 3.14

Η NASA ανακοίνωσε, στο ετήσιο συνέδριο της Αμερικανικής Γεωφυσικής Ένωσης, ότι σχεδιάζει να στείλει ένα νέο ρομποτικό ρόβερ, παρόμοιο με το επιτυχημένο «Curiosity», στον Άρη το 2020, παρά τους περιορισμούς του προϋπολογισμού της. Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις το κόστος του νέου ρόβερ θα διαμορφώνεται στα 1,5 δισ. δολάρια έναντι 2,5 δισ. δολάρια. που κόστισε το «Curiosity». Το νέο ρόβερ θα φέρει πιο κοντά τον πραγματικό στόχο της NASA που

δεν είναι άλλος από την επανδρωμένη αποστολή στον Άρη, γεγονός που εκτιμάται ότι θα γίνει πραγματικότητα το 2030.



EIKONA 3.15

Ρομπότ τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα επισκευής προβληματικών δορυφόρων και θα είναι σε θέση να στείλουν στο εξώτερο διάστημα αυτού που είναι πέραν επισκευής. Επιστήμονες του Γερμανικού Αεροδιαστημικού Κέντρου ανακοίνωσαν ότι θα είναι έτοιμα μέσα σε τέσσερα χρόνια. Τα ρομπότ θα προσεγγίζουν δορυφόρους με προβλήματα για να κάνουν επισκευές, ενώ θα ωθούν εκτός τροχιάς αυτούς για τους οποίους δεν υπάρχουν περιθώρια επιδιόρθωσης, απελευθερώνοντας έτσι πολύτιμες θέσεις στη γεωστατική τροχιά- όπου υπολογίζεται ότι αυτή τη στιγμή βρίσκονται πάνω από 200 «νεκροί» δορυφόροι.



EIKONA 3.16

Στην Καλιφόρνια παρουσιάζεται μία πρωτοποριακή ιδέα: τη τοποθέτηση ενός αστεροειδούς σε τροχιά γύρω από τη Σελήνη, όπου θα μπορεί να μελετηθεί πιο εύκολα. Το κόστος μίας τέτοιας αποστολής εκτιμάται πως θα κυμαίνεται γύρω στα 2,6 δισεκατομμύρια δολάρια.

Η συνολική διάρκεια της αποστολής εκτιμάται πως θα είναι μεταξύ 6 και 10 ετών.



EIKONA 3.17

(Βιβλιογραφική αναφορά: <http://ilyk-arsak-ekalis.att.sch.gr/wp-content/uploads/2013/07/%CE%A1%CE%9F%CE%9C%CE%A0%CE%9F%CE%A4-%CE%9A%CE%91%CE%99-%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91.pdf>)

3.5 Εφαρμογές Ρομποτικών Συστημάτων στην ελληνική βιομηχανία

Το σύγχρονο περιβάλλον της βιομηχανίας και της εφοδιαστικής αλυσίδας δέχεται καθημερινά πιέσεις για μείωση του κόστους παραγωγής, άμεση απόκριση στις αλλαγές στη ζήτηση και διασφάλιση της ποιότητας και ασφάλειας των παραγόμενων προϊόντων.

Για να ανταποκριθεί σε αυτές τις απαιτήσεις, η Ελληνική Βιομηχανία έχει υιοθετήσει ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 την πρακτική της χρήσης ρομποτικών συστημάτων κατά την παραγωγική διαδικασία.

(Βιβλιογραφική αναφορά: <http://www.plant-management.gr/>)

3.5.1 Πού χρησιμοποιούνται τα Ρομποτικά Συστήματα στην Ελληνική Βιομηχανία

Οι συνηθέστερες εφαρμογές ρομποτικών συστημάτων στη βιομηχανία είναι οι εξής:

- Συσκευασία και παλετοποίηση προϊόντων (π.χ. βιομηχανία τροφίμων, ποτών, χημικών)
- Συγκόλληση μεταλλικών αντικειμένων και μηχανημάτων (π.χ. έπιπλα, οχήματα)
- Βαφή επίπλων και μεταλλικών προϊόντων
- Φόρτωση και εκφόρτωση αυτομάτων μηχανών παραγωγής (π.χ. CNC, injection moulding, laser cutting, στραντζών)

Συναρμολόγηση ηλεκτρομηχανικών και ηλεκτρονικών προϊόντων

Συσκευασία

Στη συσκευασία τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εγκιβωτισμού και φόρτωσης προϊόντων σε δοχεία.

Εγκιβωτισμός

Σε εφαρμογές εγκιβωτισμού μπουκαλιών, προϊόντων αρτοποιίας αλλά και φαρμακευτικών προϊόντων, συνήθως χρησιμοποιούνται ρομπότ 2, 4 ή 6 αξόνων αρθρωτού τύπου ή τύπου SCARA, τα οποία προσφέρουν μεγάλη ταχύτητα (έως και 50 κινήσεις το λεπτό) και ευελιξία. Η μεγάλη ταχύτητα των ρομπότ είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις να κάνει περιττή τη χρήση διανομέων για το σχηματισμό ορόφου πριν τον εγκιβωτισμό, προσφέροντας έτσι απλότητα και ευκολία στην αλλαγή προϊόντων. Συχνά οι ρομποτικοί βραχίονες μπορούν να συνεργάζονται με συστήματα τεχνητής όρασης (Vision) για τον εντοπισμό των προς συσκευασία προϊόντων που κινούνται πάνω σε μεταφορική ταινία. Τυπικές εφαρμογές είναι η συσκευασία μπισκότων ή σοκολατιδίων σε πλαστικές θήκες (blisters) ή χάρτινα κουτιά. Εφαρμογές αυτού του τύπου προσφέρουν μέγιστη ευελιξία και ταχύτητα αλλαγής προϊόντος καθώς και δυνατότητες παραγωγής συσκευασιών που περιέχουν διαφόρων τύπων παρεμφερή προϊόντα (π.χ. σοκολατίδια).

Φόρτωση & αποφόρτωση προϊόντων σε δοχεία – καρότσια

Σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων είναι απαραίτητη η φόρτωση των παραγόμενων προϊόντων σε ειδικά δοχεία ή καρότσια, έτσι ώστε να υποστούν κάποιες ενδιάμεσες διεργασίες πριν την τελική συσκευασία τους. Τυπικό παράδειγμα είναι η διαδικασία αποστείρωσης με κλιβανισμό. Στις εφαρμογές αυτές, τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται είναι 4 ή 6 βαθμών ελευθερίας και συνήθως εφοδιάζονται με αρπάγη που συλλαμβάνει

πολλά προϊόντα ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας παραγωγής.

Τα ρομπότ σε τέτοιες εφαρμογές υποκαθιστούν περισσότερους του ενός ανθρώπους, εξασφαλίζοντας σταθερό ρυθμό παραγωγής και καλύτερη εκμετάλλευση του κυρίως παραγωγικού μηχανήματος, το οποίο μπορεί πλέον να λειτουργεί στη βέλτιστη ταχύτητα σχεδιασμού του, χωρίς συχνές διακοπές λόγω συσσώρευσης προϊόντων στην έξοδό του.

Παλετοποίηση

Οι εφαρμογές παλετοποίησης είναι ένας χώρος όπου τα ρομπότ προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα, αφού είναι σε θέση να χειρίζονται μεγάλα και βαριά φορτία χωρίς κόπωση. Τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την παλετοποίηση χαρτοκιβωτίων, χαρτόδισκων, πλαστικών τελάρων, σακιών, κουβάδων και βαρελιών. Βρίσκουν εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων, οικοδομικών υλικών, χρωμάτων, πλαστικών κ.λπ. Τυπικά ένας ρομποτικός βραχίονας σε εφαρμογή παλετοποίησης είναι 4 ή 6 βαθμών ελευθερίας με ονομαστικό φορτίο από 100 έως 450 κιλά. Φέρει αρπάγη κατάλληλη για τη λήψη πολλών «κιβωτίων» ταυτόχρονα έτσι ώστε να αυξάνεται ο ρυθμός παραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας ρομποτικός βραχίονας μπορεί να καλύπτει έως και πέντε γραμμές παραγωγής χτίζοντας ταυτοχρόνως αντίστοιχες παλέτες. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο για έναν κλασικό παλετοποιητή στρώσης (layer palletiser). Ένα τυπικό ρομποτικό κύτταρο παλετοποίησης περιλαμβάνει:

- Ρομποτικό βραχίονα (συνήθως 4 αξόνων) με τον ελεγκτή του
- Αρπάγη του ρομπότ
- Σύστημα προσαγωγής κιβωτίων και διατάξεις ομαδοποίησης τους
- Αποθήκη κενών παλετών
- Ραουλοδρόμους μεταφοράς γεμάτων παλετών
- Βαγονέτο μεταφοράς ετοιμών παλετών
- Μηχανή τύλιξης παλετών (stretch wrapping)
- Σύστημα σήμανσης παλετών με ετικέτες ή RFID
- Κεντρικό πίνακα αυτοματισμού (με PLC κτλ) και το χειριστήριο
- Σύστημα ασφαλείας (φράκτης, φωτοκύτταρα ασφαλείας κτλ)

Με αυτό τον τρόπο, το ρομποτικό σύστημα μπορεί να καλύψει πλήρως την τελευταία φάση της παραγωγής, παραλαμβάνοντας έτοιμα κιβώτια και παράγοντας τελειωμένες, τυλιγμένες και σημασμένες παλέτες. Ρομποτικά συστήματα παλετοποίησης χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, στη χημική βιομηχανία (χρώματα, ορυκτέλαια), στη βιομηχανία τσιμέντου και οικοδομικών υλικών. Επίσης είναι εφικτή η χρήση τους σε εφαρμογές αποπαλετοποίησης σακιών, πλαστικών τελάρων ή κιβωτίων για τροφοδοσία παραγωγικών μηχανών (π.χ. τροφοδοσία πρώτης ύλης πλαστικών).

Συγκόλληση

Ο ρομποτικός βραχίονας (έξι βαθμών ελευθερίας) φέρει στο άκρο του εργαλείο συγκόλλησης (συγκολλητικό πυρσό MIG ή TIG) το οποίο μετακινεί κατάλληλα ώστε να συγκολλήσει τα προς κατεργασία τεμάχια. Συνήθως χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτείται συγκόλληση σε τρεις διαστάσεις (π.χ. μεταλλικά έπιπλα, τμήματα οχημάτων ή μηχανημάτων, δοχεία, λέβητες). Σε επίπεδες συγκολλήσεις προτιμούνται απλούστερα μηχανήματα. Ο ρομποτικός βραχίονας είναι συνδεδεμένος με τη μηχανή συγκόλλησης ρυθμίζοντας μέσω προγράμματος τη λειτουργία και τις παραμέτρους της ανάλογα με το εκάστοτε κατεργαζόμενο τεμάχιο και τον εκτελούμενο τύπο συγκόλλησης (ανεβατό, κατεβατό κ.λπ.). Σε ειδικές περιπτώσεις είναι εφικτή η παρακολούθηση και καταγραφή των παραμέτρων συγκόλλησης κατά τη διάρκεια της παραγωγής, για λόγους πιστοποίησης της ποιότητας της συγκόλλησης. Συχνά στο ρομποτικό κύτταρο περιλαμβάνονται μηχανισμοί ενός, δύο ή τριών βαθμών ελευθερίας (αξόνων) για την περιστροφή και κατάλληλη τοποθέτηση του προς συγκόλληση τεμαχίου. Οι μηχανισμοί αυτοί ελέγχονται από τον ελεγκτή του ρομποτικού βραχίονα και μπορούν να κινούνται σε συγχρονισμό με αυτόν. Ρομποτικά συστήματα συγκόλλησης χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία, τις μεταλλικές κατασκευές, την κατασκευή οχημάτων και μηχανημάτων. Προσφέρουν βέλτιστη ακρίβεια και ταχύτητα συγκόλλησης ενώ εξασφαλίζουν άριστη και σταθερή ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος και μείωση των νεκρών χρόνων. Επίσης, λόγω της καλής όψης της συγκόλλησης, μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος διορθώσεων και φινιρίσματος (τροχίσματος) του προϊόντος.

Κοπή

Ο ρομποτικός βραχίονας (συνήθως έξι βαθμών ελευθερίας) φέρει στο άκρο του εργαλείο κοπής (κεφαλή PLASMA, LASER, ή WATER JET) την οποία μετακινεί κατάλληλα ώστε να κόψει τμήματα από το προς κατεργασία τεμάχιο. Συνήθως χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτείται κοπή σε τρεις διαστάσεις (π.χ. κοπή τμημάτων από πλαστικούς προφυλακτήρες αυτοκινήτων). Σε επίπεδες κοπές προτιμούνται απλούστερα σερβο-ελεγχόμενα μηχανήματα. Ο ρομποτικός βραχίονας είναι συνδεδεμένος με τη μηχανή κοπής ρυθμίζοντας μέσω προγράμματος τη λειτουργία και τις παραμέτρους της ανάλογα με το εκάστοτε κατεργαζόμενο τεμάχιο. Ρομποτικά συστήματα κοπής προσφέρουν βέλτιστη ακρίβεια και ταχύτητα κοπής, ενώ εξασφαλίζουν άριστη και σταθερή ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος. Ρομποτικά συστήματα κοπής χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πλαστικών, μεταλλικών κατασκευών, επίπλων καθώς και σε εφαρμογές επεξεργασίας τροφίμων (κοπή προϊόντων κρέατος).

Βαφή

Ο ρομποτικός βραχίονας (συνήθως έξι βαθμών ελευθερίας) φέρει στο άκρο του εργαλείο βαφής (υγρής ή ηλεκτροστατικής) το οποίο μετακινεί κατάλληλα ώστε να βάψει το προς κατεργασία τεμάχιο. Ο ρομποτικός βραχίονας ελέγχει τις παραμέτρους του εργαλείου βαφής (π.χ. αναλογία αέρα-χρώματος, πλάτος δέσμης κ.λπ.) ρυθμίζοντας μέσω προγράμματος τη λειτουργία του, ανάλογα με το εκάστοτε κατεργαζόμενο τεμάχιο. Συχνά επίσης στο ρομποτικό σύστημα περιλαμβάνονται διατάξεις αυτόματης εναλλαγής χρωμάτων, ανάμειξης χρωμάτων δύο συστατικών,

αυτόματου καθαρισμού του εργαλείου βαφής κ.λπ. Με κατάλληλη επιλογή εξοπλισμού, είναι εφικτή η χρήση υδατοδιαλυτών χρωμάτων ή χρωμάτων διαλύτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ρομπότ βαφής για χρώματα διαλύτη πρέπει να είναι ειδικού αντικρηκτικού τύπου. Σήμερα η χρήση ρομπότ για βαφή στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη βιομηχανία μεταλλικών κατασκευών και τη βιομηχανία επίπλων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Τα ρομποτικά συστήματα βαφής προσφέρουν ευελιξία, βέλτιστη ακρίβεια και ταχύτητα, οικονομία υλικού βαφής, ενώ εξασφαλίζουν άριστη και σταθερή ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

Φόρτωση & Αποφόρτωση μηχανών παραγωγής

Η φόρτωση και εκφόρτωση αυτομάτων μηχανών παραγωγής (π.χ. CNC, injection moulding, laser cutting, CNC στραντζών) είναι μια συνηθισμένη χρήση των ρομποτικών συστημάτων. Σε εφαρμογές αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται ρομπότ 3, 4 ή 6 βαθμών ελευθερίας καρτεσιανής ή αρθρωτής γεωμετρίας. Συχνά ένα ρομπότ, κινούμενο σε γραμμική σερβοελεγχόμενη τροχιά, μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερες μηχανές. Σε πολλές περιπτώσεις το ρομπότ είναι αναρτημένο σε βάση πάνω από τη μηχανή ώστε να είναι ελεύθερος ο χώρος προσπέλασης του χειριστή για ρυθμίσεις της μηχανής και αλλαγή ιδιοσκευών. Σε αυτό τον τύπο εφαρμογών, το ρομπότ προσφέρει ακρίβεια στην τοποθέτηση του προς κατεργασία τεμαχίου και μειώνει σημαντικά το χρόνο αλλαγής τεμαχίου, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη αξιοποίηση της κύριας μηχανής παραγωγής μέσω της μείωσης των νεκρών χρόνων.

(Βιβλιογραφική αναφορά: <http://www.plant-management.gr/>)

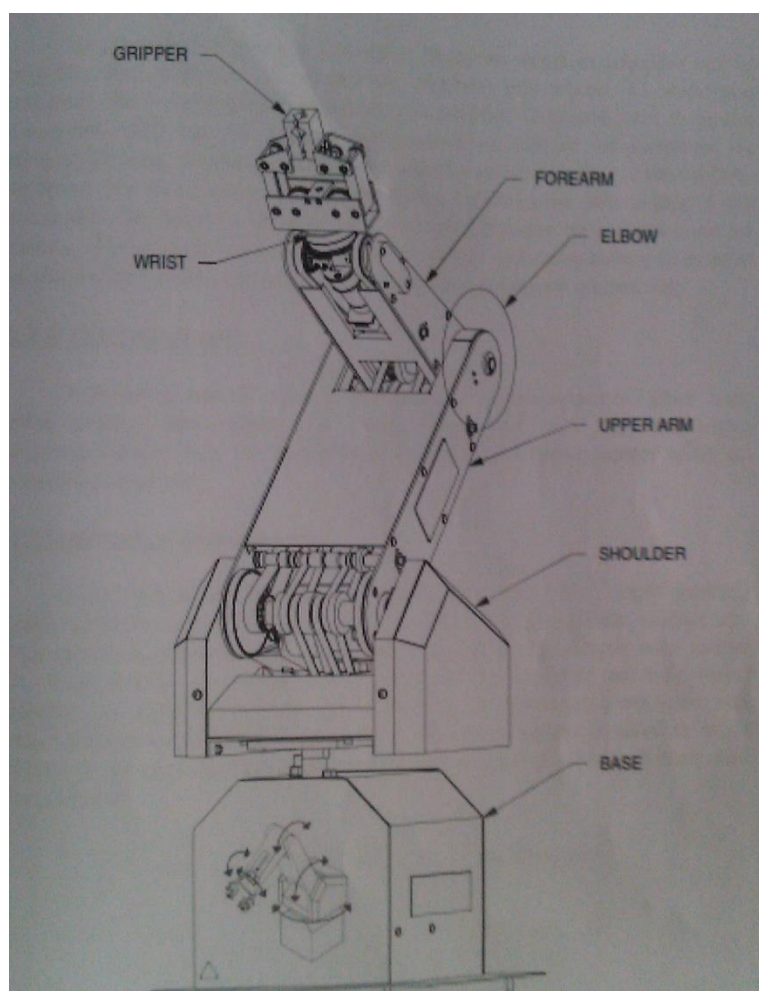
Κεφάλαιο 4

Ο ρομποτικός βραχίονας της Lab - Volt

4.1 Ο Ρομποτικός βραχίονας

Το Lab-Volt Servo robot ανήκει στους ανθρωπομορφικούς βραχίονες, αποτελείται από τον ρομποτικό βραχίονα, τον ελεγκτή χειρός του Servo, ένα φορητό τερματικό, πλέγματα, ώστε ο βραχίονας να προσδένεται σταθερά στα κατάλληλα σημεία που θέλουμε και τέλος το cd με το κατάλληλο λογισμικό για τη διαχείριση του βραχίονα.

Στην εικόνα 4-1 παρακάτω φαίνεται το γενικό μηχανικό σχεδιάγραμμα του Servo robot. Ο ρομποτικός βραχίονας έχει πέντε περιστροφικούς άξονες δηλαδή πέντε βαθμούς ελευθερίας: βάση, ώμος, αγκώνας, καρπός και πένσα. Η βάση υποστηρίζει τον μηχανισμό του βραχίονα και στεγάζει την μηχανή που δίνει την περιστροφή στον ώμο. Ο ώμος περιστρέφεται στη βάση και στεγάζει τους μηχανισμούς που συνδέονται και κινούν μαζί με τις ζώνες τα άλλα τμήματα του βραχίονα.



EIKONA 4.1

Το χαμηλότερο όριο του ανώτερου βραχίονα φέρει τα εργαλεία και τις τροχαλίες που οδηγούν το αντιβράχιο, καρπός και πένσα. Ο ανώτερος βραχίονας και το αντιβράχιο κινούνται πάνω-κάτω. Ο καρπός και η πένσα λειτουργούν μαζί για να πάρουν τα αντικείμενα και να τα κινήσουν σε επιθυμητές θέσεις. Ο καρπός κινείται πάνω κάτω για να ελέγξει πένσα δύο δαχτύλων. Μπορεί επίσης να περιστρέφεται δεξιόστροφα 360 μοίρες ή και αντίστροφα. Τα δάχτυλα κίνησης των πενσών μπορούν να ανοίγουν και να κλείνουν. Η λειτουργία του Servo-robot ελέγχεται χρησιμοποιώντας το φορητό τερματικό ή από έναν οικοδεσπότη υπολογιστή με λογισμικό ρομποτικής.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

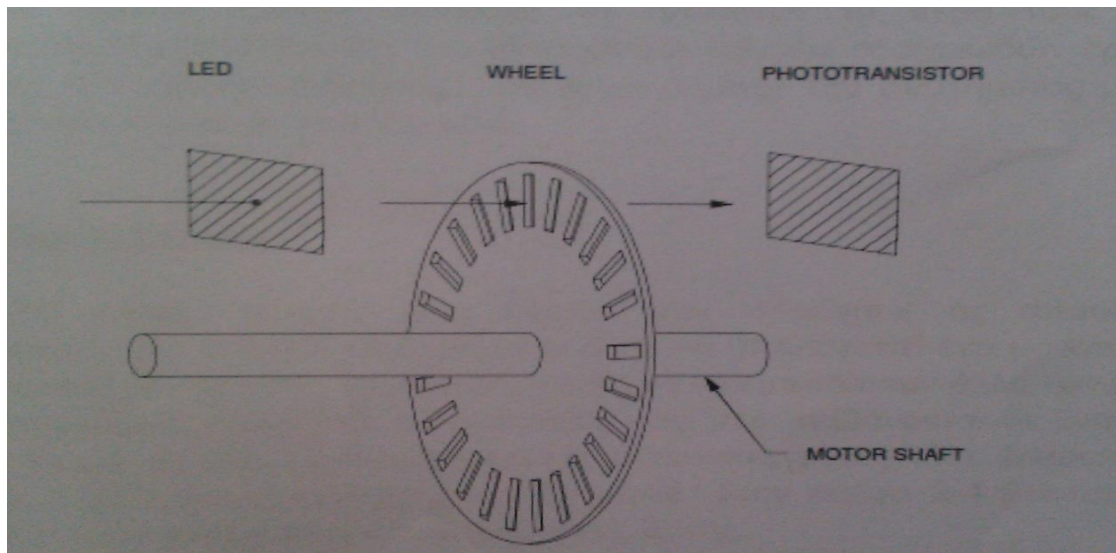
4.1.1 Ο ελεγκτής ρομπότ

Ο ελεγκτής ρομπότ είναι ο εγκέφαλος του Servo-robot. Είναι ένας εξειδικευμένος υπολογιστής με τους διακόπτες και τις ικανότητες προγραμματισμού που του επιτρέπουν να ελέγχει το Servo-robot αλλά και εξωτερικές συσκευές.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.1.2 Ο οπτικός κωδικοποιητής

Ο οπτικός κωδικοποιητής αποτελείται από μία LED (Light Emitting Diode) δίοδο που στέλνει φως μέσω μίας λεπτά καλυμμένης ρόδας κώδικα που επικολλιέται άκαμπτα επάνω στον άξονα μηχανών όπως φαίνεται στην εικόνα 4-2. Ένας δείκτης (φωτοτρανζίστορ) ανιχνεύει τις ελαφριές αλλαγές (φως/σκοτάδι). Οι ελαφριές αλλαγές μετατρέπονται σε ηλεκτρικούς σφυγμούς και στέλνονται πίσω στον ελεγκτή ρομπότ. Ο ελεγκτής ρομπότ συγκρίνει το σήμα ελέγχου με το σήμα της ανατροφοδότησης για να εξασφαλίσει ότι η θέση είναι πάντα σωστή.

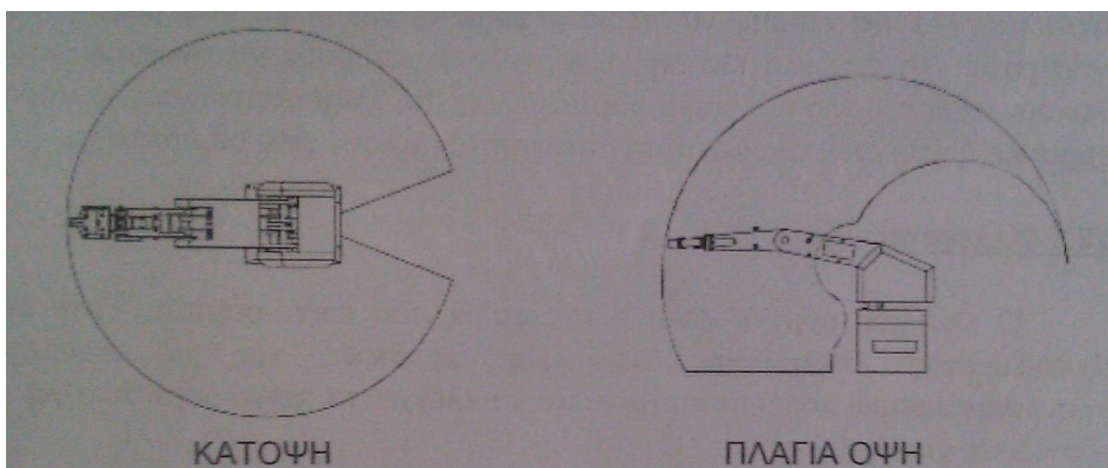


ΕΙΚΟΝΑ 4.2

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.1.3 Εύρος εργασίας

Το εύρος εργασίας του Servo-robot είναι το μονοπάτι των σημείων που μπορεί να επιτευχθεί από ένα ρομπότ. Στην παρακάτω εικόνα 4-3 φαίνεται το εύρος εργασίας ενός servo-robot.



ΕΙΚΟΝΑ 4.3

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.1.4 Συσκευή επίδρασης

Το τέλος του servo-robot, είναι η συσκευή επίδρασης, είναι το άκρο που συνδέεται με το βραχίονα ενός ρομπότ. Θα μπορούσε να είναι οποιοσδήποτε μηχανισμός συμπεριλαμβανομένης και της πένσας, ενός φανού συγκόλλησης, ενός ακροφύσιου χρωμάτων, μιας κενής αντλίας ενός χειρουργικού νυστεριού, μιας λυχνίας συγκόλλησης, ή οτιδήποτε που χρησιμοποιείται για να κάνει μία εργασία. Μερικά ρομπότ μπορούν να αλλάξουν το άκρο τους και να επαναπρογραμματιστούν για ένα διαφορετικό σύνολο στοιχειωδών εργασιών. Το άκρο, η συσκευή επίδρασης, του servo-robot του συστήματος μας είναι μία μηχανική πένσα με δυο δάχτυλα.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.1.5 Σημεία θέσεων

Τα σημεία θέσεων είναι αρχεία που περιέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες για τη θέση κάθε σημείου ώστε να υπολογιστεί ένα μονοπάτι που θα επιτρέψει στο ρομπότ να κινηθεί, χωρίς να το εμποδίσουν άλλα αντικείμενα, στις απαραίτητες θέσεις. Οι πληροφορίες που περιλαμβάνονται σε ένα σημείο θέσης μπορεί να είναι το όνομα σημείου, οι συντεταγμένες κάθε άρθρωσης του ρομπότ, καθώς και η ταχύτητα του βραχίονα. Στην εικόνα 4-4 βλέπουμε ένα σημείο μιας συγκεκριμένης αποθηκευμένης θέσης.

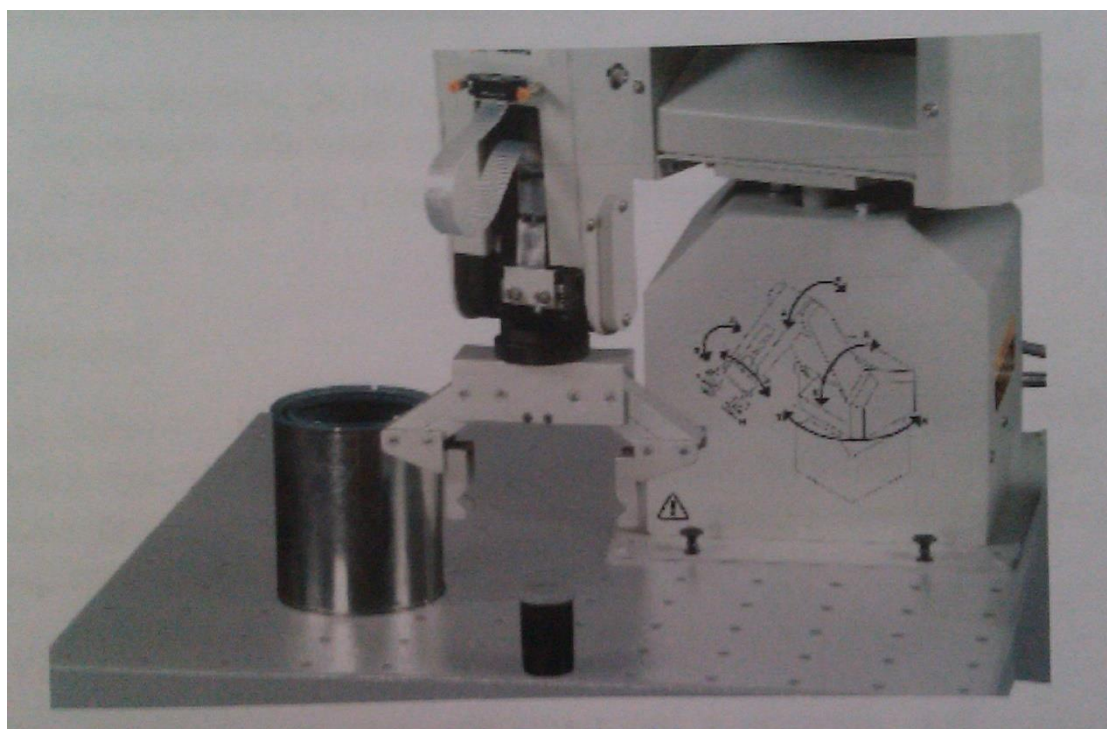


EIKONA 4.4

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.1.6 Σημεία ελέγχου

Τα σημεία ελέγχου είναι αρχεία που περιέχουν τις πληροφορίες για τη θέση των εισόδων και εξόδων του ελεγκτή ρομπότ. Οι πληροφορίες μπορούν επίσης να περιλάβουν το όνομα σημείου και το χρόνο καθυστέρησης. Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την εκτέλεση μιας ακολουθίας σημείων καθώς και την λειτουργία των εξωτερικών συσκευών. Σώζονται και παρεμβάλλονται σε ένα πρόγραμμα ως σημεία θέσης.



EIKONA 4.5

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.1.7 Αρχική θέση (Home Position)

Τα προγράμματα αναπτύσσονται συνήθως για να χρησιμοποιηθούν περισσότερο από μία φορά. Προκειμένου να επαναληφθεί το κάθε πρόγραμμα, ο εξοπλισμός θα πρέπει να τοποθετηθεί στις ίδιες θέσεις τον ίδιο προσανατολισμό όπως όταν το δημιουργήσαμε. Έτσι τα σημεία θέσης του προγράμματος και τα σημεία του servo-robot πρέπει να ξεκινούν από την ίδια θέση.

Η αρχική θέση του Servo Robot καλείται Home Position. Η θέση μπορεί να είναι μια σκληρή αρχική θέση ή μια μαλακή αρχική θέση (Hard Home – Soft Home αντίστοιχα). Το σκληρό Home Position (Hard Home) είναι ένα σταθερό σημείο

αναφοράς όπου ένα ρομπότ πηγαίνει να επαναριθμήσει τις παραμέτρους των μηχανών του στον αρχικό τρόπο. Ένας σκληρός βασικός προσδιορισμός θέσης απαιτείται στην αρχή κάθε περιόδου επικοινωνίας.

Το μαλακό Home Position (Soft Home) είναι μια θέση που εμείς αναθέτουμε στο robot. Αντιστοιχεί στη θέση από όπου το ρομπότ αρχίζει τις μετακινήσεις του. Μετά από την ολοκλήρωση όλων των ανατεθειμένων στοιχειωδών εργασιών, αυτή είναι η θέση όπου το ρομπότ θα έρθει να στηριχτεί όταν το προγραμματίζουμε να πάει σπίτι με την εντολή Home. Μπορούμε να ποικίλουμε το μαλακό Home Position (Soft Home) σύμφωνα με τις στοιχειώδεις εργασίες που θέλουμε να αποδώσει το ρομπότ.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.2 Προγραμματισμός

4.2.1 Μέθοδοι προγραμματισμού

Υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι για να προγραμματίσεις ένα servo-robot. Χειροκίνητα (Manual) από το εγχειρίδιο, άμεσα (Lead-through), από πέρασμα (Walkthrough) και τέλος προγραμματισμός από λογισμικό (Software programming).

- (Manual)

Η χειροκίνητη μέθοδος προγραμματισμού ολοκληρώνεται από ένα χειριστή που θέτει τις απαραίτητες τάσεις, τους διακόπτες, τα έκκεντρα και τα ηλεκτρικά καλώδια. Αυτός ο τύπος προγραμματισμού χρησιμοποιείται σε λιγότερο περίπλοκα ρομπότ.

- (Lead-through)

Στην μέθοδο άμεσου προγραμματισμού, ο χειριστής χρησιμοποιεί το άκρο του βραχίονα για να οδηγήσει το ρομπότ στις επιθυμητές θέσεις. Καθώς το ρομπότ φθάνει σε κάθε επιθυμητό σημείο μέσω της ακολουθίας κίνησης, το σημείο σώζεται στη μνήμη. Οι συντεταγμένες του κάθε σημείου αντιστοιχούν στη θέση των αρθρώσεων έναντι μιας θέσης αναφοράς. Τα σωζόμενα σημεία χρησιμοποιούνται για να παράγουν το μονοπάτι που το ρομπότ ακολουθεί κατά τη λειτουργία του προγράμματος.

- (Walkthrough)

Στη μέθοδο προγραμματισμού με πέρασμα από τα σημεία, ένας χειριστής κινεί το ρομπότ με τις επιθυμητές κινήσεις. Ενώ ο χειριστής κινεί το ρομπότ μέσω του επιθυμητού μονοπατιού, τα διάφορα σημεία επιλέγονται και σώζονται στη μνήμη για να τα χρησιμοποιήσει την κατάλληλη στιγμή.

- (software programming)

Στη μέθοδο προγραμματισμού μέσω λογισμικού, το ρομπότ είναι προγραμματισμένο με την βοήθεια ενός υπολογιστή. Αυτή η μέθοδος είναι επίσης

γνωστή ως ασύρματος προγραμματισμός, από τότε ο προγραμματισμός πραγματοποιείται γενικά μακριά από τα ρομπότ.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

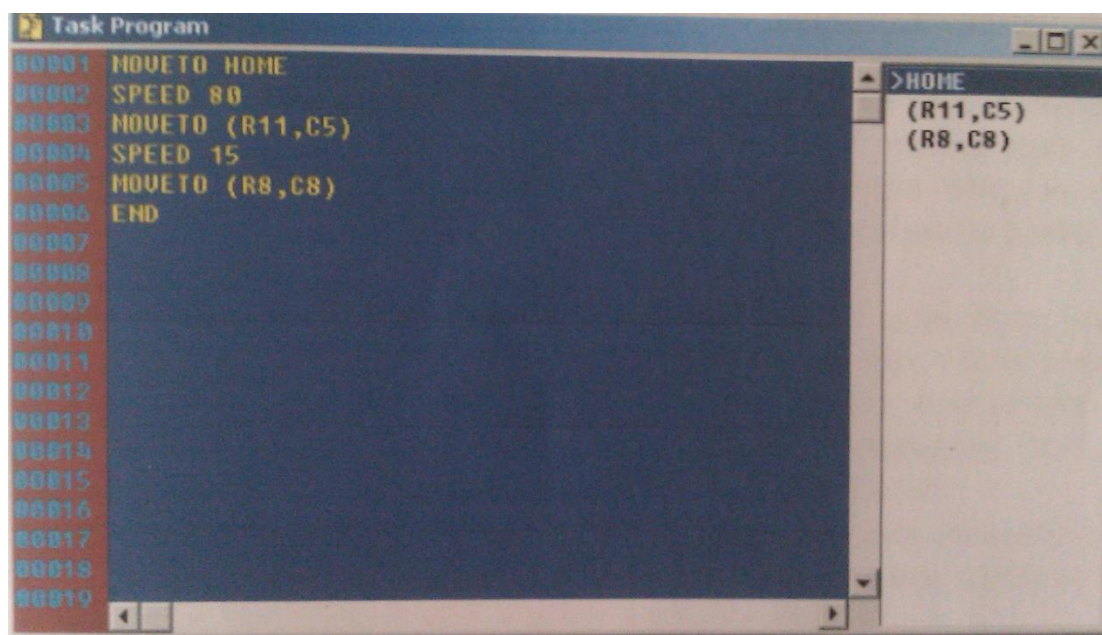
4.2.2 Από σημείο σε σημείο προγράμματα:

Τα από σημείο σε σημείο προγράμματα αποτελούνται από έναν κατάλογο σημείων θέση και ελέγχου. Η ακολουθία με τα σημεία εκτελείτε όπως εμφανίζεται στον κατάλογο σημείων. Τα από σημείο σε σημείο προγράμματα μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας φορητά τερματικά και τη ρομποτική.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.2.3 Στοιχειώδη προγράμματα:

Τα στοιχειώδη προγράμματα συνίστανται σε έναν κατάλογο γραμμών-οδηγιών που περιέχουν τα σημεία θέσης και στοιχειώδεις εντολές. Τα σημεία θέσης καθορίζονται χρησιμοποιώντας το φορητό τερματικό ή τη ρομποτική. Κατά το γράψιμο ενός προγράμματος, τα σημεία επιλέγονται από τον κατάλογο και το αντίγραφο σημείου από την αριστερή στήλη του στοιχειώδη επεξεργαστή όπου συνδέονται με τις στοιχειώδεις εντολές.



EIKONA 4.6

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα παράθυρο ενός στοιχειώδους επεξεργαστή. Το όνομα ενός σημείου στην αριστερή στήλη πρέπει να είναι ακριβώς το ίδιο με την ορθογραφία από το σημείο στη δεξιά στήλη. Τα σημεία στη δεξιά στήλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν όσο συχνά επιθυμούμε, και δεν είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιηθούν εξολοκλήρου κάθε ένα από αυτά.

Οι στοιχειώδεις εντολές εισάγονται με την τοποθέτηση του δρομέα στον κατάλληλο αριθμό γραμμής και δακτυλογραφώντας το όνομα της εντολής. Στο παραπάνω πρόγραμμα της εικόνας τρεις στοιχειώδεις εντολές χρησιμοποιούνται: MOVETO, SPEED και END. Κατά την εκτέλεση, αυτό το στοιχειώδες πρόγραμμα θα προκαλέσει κίνηση στο servo-ρομπότ προς το Home Position (αρχική θέση), κίνηση προς το σημείο (R11, C5) με ταχύτητα 80, κίνηση προς το σημείο (R8, C8) με ταχύτητα 15, η εντολή End δηλώνει το τέλος του προγράμματος. Ένα στοιχειώδες πρόγραμμα είναι πολύ περισσότερα από έναν κατάλογο σημείων. Περιλαμβάνει τις εντολές, τα στοιχεία, τα σχόλια, και τις πληροφορίες ελέγχου, ικανές να εκτελεστούν από το servo-ρομπότ και τις εξωτερικές συσκευές. Στο στοιχειώδη προγραμματισμό, το πρόγραμμα οργανώνεται από τον οικοδεσπότη υπολογιστή και το αρχείο είναι σωζόμενο στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.2.4 Προγραμματισμός χρησιμοποιώντας το φορητό τερματικό ή την ρομποτική.

Και το φορητό τερματικό και η ρομποτική μπορούν να χρησιμοποιηθούν για από σημείο σε σημείο προγραμματισμό. Το πλεονέκτημα στη χρησιμοποίηση του φορητού τερματικού είναι η κινητικότητα. Μπορούμε να κινηθούμε προς οποιαδήποτε θέση ώστε να την αποθηκεύσει και να βρεθεί εκεί ο εξοπλισμός με ακρίβεια. Με τη ρομποτική, ένα από τα πλεονεκτήματα είναι η απλότητα για να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα. Βρίσκουμε τα σημεία και δίνουμε την εντολή στο servo-ρομπότ ώστε να κινηθεί και να τα επιλέξει. Επιπλέον, η ικανότητα της ρομποτικής να δημιουργήσει απλά ένα στοιχειώδες πρόγραμμα δεν είναι διαθέσιμη κατά την χρησιμοποίηση του φορητού τερματικού μόνο. Η χρήση και των δυο συστημάτων στη δημιουργία ενός προγράμματος επιτρέπει την ακρίβεια στις μετακινήσεις και την απλότητα στη σχεδίαση του προγράμματος.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.2.5 Βασικές εντολές

MOVETO (μετακίνηση σε)

Με αυτή την εντολή ο ρομποτικός ελεγκτής μπορεί να εκτελέσει, είτε κίνηση σε μια θέση είτε να μετακινηθεί σε ένα σημείο ελέγχου. Η σύνταξη και οι παράμετροι που συνδέονται με την εντολή αυτή είναι οι εξής: MOVETO <δίνουμε το όνομα του σημείου>. Για παράδειγμα: MOVETO POINT1.

SPEED (ταχύτητα)

Η εντολή αυτή μας επιτρέπει να θέσουμε ένα όριο ταχύτητας σε κάθε οδηγία που εκτελείτε από τον βραχίονα, η οποία περιέχει την εντολή αυτή. Όλες οι κινήσεις θα εκτελεστούν με την νέα ταχύτητα που έχουμε θέση. Οι κινήσεις από σημείο σε σημείο στις οποίες έχουμε θέση την εντολή ταχύτητας στο "0" θα έχουν προκαθορισμένη ταχύτητα. Η σύνταξη και οι παράμετροι που συνδέονται με την εντολή ταχύτητας είναι: SPEED <δίνουμε αριθμό από 0 έως 99>. Για παράδειγμα: SPEED 50.

END (τέλος)

Αυτή η εντολή τελειώνει την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης οδηγίας του προγράμματος. Μπορεί να τοποθετείτε οπουδήποτε εντός των εντολών του προγράμματος, αλλά στη συνέχεια όλες οι οδηγίες που έχουν δοθεί μετά την εντολή αυτή δεν θα εκτελεστούν ποτέ.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.2.6 Τροποποίηση προγραμμάτων

Τα ρομπότ μπορούν να προγραμματιστούν για να κάνουν επαναλαμβανόμενες στοιχειώδεις εργασίες, η ακρίβεια είναι υψηλή και μπορούν να λειτουργούν ασταμάτητα χωρίς λάθη όλη την ημέρα. Έτσι ένα ρομπότ μπορεί να κινήσει επανειλημμένα το πυροβόλο όπλο συγκόλλησης σε κάθε απαιτούμενη θέση και να το τοποθετεί στη ραφή συγκόλλησης. Ένας χειριστής πυροβόλου όπλου θα αποδώσει πολύ λιγότερο από τον ρομποτικό βραχίονα λόγω του βάρους του πυροβόλου όπλου συγκόλλησης, για τον ίδιο λόγο είναι πιθανό η ραφή συγκόλλησης να γίνει λάθος. Οι ρομποτικοί βραχίονες έχουν πολλούς άξονες κίνησης για να πλησιάσουν τα σημεία εργασίας από κάθε κατάλληλη γωνία. Αυτό επιτρέπει το ρομπότ να είναι εύκαμπτο. Όταν λοιπόν ένα προϊόν τροποποιείται, το πρόγραμμα που ελέγχει το ρομπότ πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να λάβει υπόψη του τα νέα χαρακτηριστικά του προϊόντος.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.2.7 Επιμελητής προγράμματος

Ο επιμελητής προγράμματος χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την αποδοτικότητα ενός προγράμματος ή και να αποβάλει λάθη. Μας επιτρέπει να τροποποιήσουμε, να προσθέσουμε και να διαγράψουμε τα σημεία θέσης και τα μέσα ελέγχου σε ένα από σημείο σε σημείο πρόγραμμα, αλλά βοηθά και στην τροποποίηση ενός στοιχειώδους προγράμματος με την προθήκη και την διαγραφή, κινούμενων σημείων και στοιχειωδών εντολών.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.3 Είσοδοι (inputs) και έξοδοι (outputs)

Όπως είδαμε παραπάνω το servo-robot μπορεί να προγραμματιστεί και να εκτελέσει τις μετακινήσεις με την καταγραφή των συντεταγμένων σημείου. Χρησιμοποιήσαμε τις οδηγίες μετακίνησης για να κινηθεί η πένσα από μια θέση προς μία άλλη. Μερικές από τις εντολές αυτές χρησιμοποιούν τις εισόδους και τις εξόδους που βρίσκονται στον ελεγκτή – ρομπότ για μπορέσουν να ανταποκριθούν, ώστε να προχωρήσει παρακάτω το πρόγραμμα. Στα από σημείο σε σημείο προγράμματα, οι είσοδοι και οι έξοδοι τίθενται μέσω των στοιχειωδών εντολών.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

4.3.1 Εντολές ελέγχου

Οι παράμετροι που μπορούν να οριστούν σε σημεία ελέγχου είναι:

- Είσοδοι TTL (TTL INPUTS)
- Έξοδοι TTL (TTL OUTPUTS)
- Επιβραδυντές (RELAYS)
- Και καθυστέρηση (DELAY)

Είσοδοι TTL (TTL INPUTS)

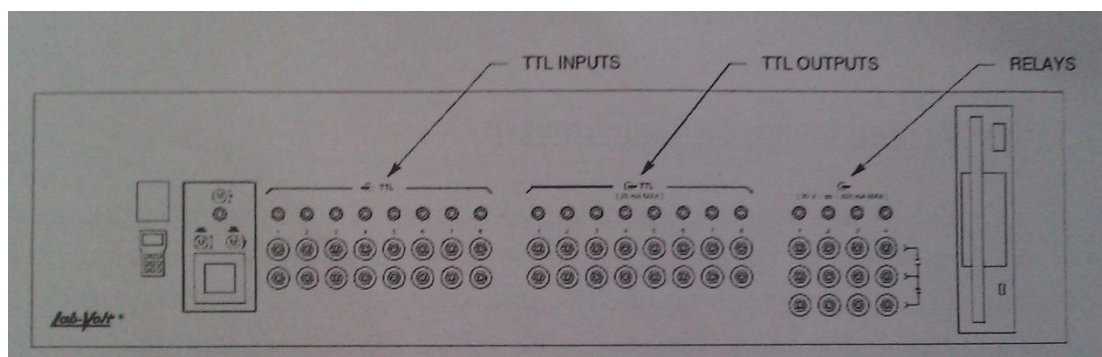
Η οδηγία αυτή ορίζει το επίπεδο στο οποίο πρέπει να βρίσκεται μια είσοδος TTL πριν να προχωρήσει στην επόμενη γραμμή εντολής του προγράμματος. Η τιμή εισόδου και εξόδου TTL του ελεγκτή ρομπότ απεικονίζονται στην 4-7.

Στην ρομποτική, το επίπεδο TTL ορίζεται, επιλέγοντας το αντίστοιχο LED στο παράθυρο αποθήκευσης σημείου ελέγχου (save control point window). Η εντολή εισόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για να οριστεί το επίπεδο των εισόδων TTL κατά τον προγραμματισμό μιας εργασίας.

Έξοδος TTL (TTL OUTPUTS)

Η οδηγία αυτή ορίζει το επίπεδο που θα βρίσκεται μια έξοδος TTL μετά την εκτέλεση αυτής της γραμμής εντολής.

Στην ρομποτική, το επίπεδο TTL ορίζεται, επιλέγοντας το αντίστοιχο LED στο παράθυρο αποθήκευσης σημείου ελέγχου. Κατά τη χρήση του τερματικού σταθμού Hand-Held, το επίπεδο TTL έχει οριστεί στο παράθυρο εξόδου TTL του Teach μενού. Η εντολή εργασίας Έξοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για να ορίσετε το επίπεδο των εξόδων TTL κατά τον προγραμματισμό μιας εργασίας.

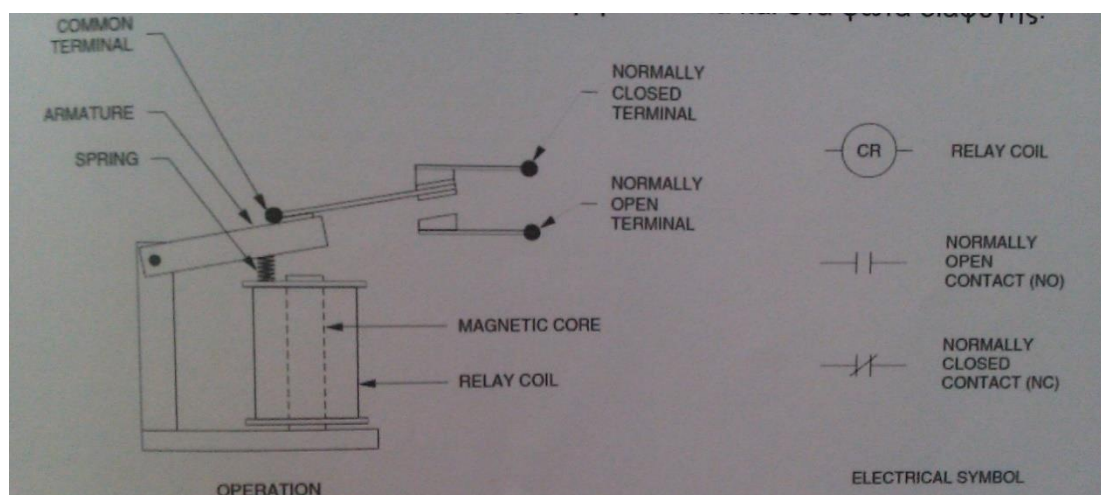


EIKONA 4.7

Επιβραδυντές (RELAYS)

Η οδηγία αυτή ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί, τα τέσσερα πηνία αναμετάδοσης. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4-8, ένα ρελέ αποτελείται από ένα πηνίο, ένα μαγνητικό πυρήνα, ένα πλαίσιο και ένα ή περισσότερα σύνολα από normally-open (NO) (συνήθως - ανοιχτές) και normally-closed (συνήθως - κλειστές) (NC) επαφές.

Όταν υπάρχει ροή ρεύματος μέσα στο πηνίο του ρελέ, ο μαγνητικός πυρήνας και το πλαίσιο έλκονται μεταξύ τους, προκαλώντας το πλαίσιο να προχωρήσει προς τον πυρήνα. Αυτή η ενέργεια αλλάζει τις επαφές του ρελέ στην ενεργοποιημένη κατάσταση. Η normally - open (NO) επαφή κλείνει, ενώ η normally - close (NO) επαφή ανοίγει. Όταν το ρεύμα έχει καταργηθεί από το πηνίο του ρελέ, το πλαίσιο μετακινείται πίσω στην αρχική του θέση από ένα ελατήριο που επιτρέπει στις επαφές του ρελέ να απενεργοποιηθούν και να επιστρέψουν στην φυσιολογική τους κατάσταση. Οι επαφές ρελέ μπορούν να ελέγχουν τη λειτουργία των σημαντικών AC (εναλλασσόμενων) και DC (συνεχών) φορτίων όπως επίσης σειρήνων αλλά και στα φώτα διαφυγής.



ΕΙΚΟΝΑ 4.8

Στην ρομποτική, τα ρελέ (επιβραδυντές) ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται, επιλέγοντας το αντίστοιχο LED στο παράθυρο αποθήκευσης σημείου ελέγχου. Η εντολή επιβράδυνσης (RELAY) επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των ρελέ κατά τον προγραμματισμό μια εργασίας.

Καθυστέρηση (DELAY):

Η εντολή διακόπτει προσωρινά την εκτέλεση ενός προγράμματος. Στην ρομποτική, η καθυστέρηση έχει οριστεί στο παράθυρο αποθήκευσης σημείου ελέγχου. Η εντολή καθυστέρησης (DELAY) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ορίσουμε μια καθυστέρηση κατά τον προγραμματισμό μιας εργασίας.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

Κεφάλαιο 5

Προγραμματισμός με τη χρήση εντολών

5.1 Περιγραφή εντολών

5.1.1 CAROUSEL (Μύλος)

Σύνταξη: CAROUSEL (<ψηφίο 1-2>, <ψηφίο 1-8>)

Παράμετροι: < [HIGH|LOW]>

Περιγραφή: Η εντολή CAROUSEL χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας του περιστροφικού μύλου. Προκαλεί το μύλο να περιστραφεί μικά σειρά η λιγότερο ανάλογα με την καθορισμένη τιμή εισόδου TTL που αντιστοιχεί σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Οι τιμές σε παρένθεση δείχνουν το κανάλι (1 ή 2) που είναι συνδεδεμένος ο περιστροφικός μύλος και οι τιμές (1-8) την είσοδο TTL που διαβάζει. Η παράμετρος που ακολουθεί δείχνει το επιθυμητό επίπεδο της εισόδου TTL. Αυτή η εντολή θα αναστείλει την περιστροφή του μύλου αν ταιριάζει το επίπεδο που βρίσκεται με τις παράμετρος εντολής.

Σημείωση: Το <[HIGH|LOW]> μπορεί να αντικατασταθεί με <[ON|OFF]> , <[CLOSE|OPEN]>, ή <[1|0]>.

Παράδειγμα: 0001: CAROUSEL(1,1) HIGH
0002: MOVETO POINT1
0003: END

Η πρώτη γραμμή αναγκάζει τον περιστρεφόμενο μύλο να περιστραφεί μια στροφή ή λιγότερο αν το επίπεδο της εισόδου TTL1 είναι υψηλό (HIGH). Τότε το πρόγραμμα εκτελεί την κίνησή του στο POINT1 και τερματίζει.

5.1.2 CNCINPUT (Είσοδος cnc)

Σύνταξη: CNCINPUT(< ψηφίο 1-2> , <ψηφίο 1-4>)

Παράμετροι: <[HIGH|LOW]>

Περιγραφή: Η εντολή αυτή διαβάζει την είσοδο του CNC1 ή CNC 2. Ένα κανάλι συνήθως χρησιμοποιείται για να διασυνδεθεί άμεσα με έναν εξοπλισμό CNC ή κάποια άλλη αυτοματοποίηση. Τα ψηφία στην παρένθεση δείχνουν το κανάλι και την είσοδο αντίστοιχα: (1 ή 2) , (1-4). Αυτή η εντολή θα εμποδίσει την εκτέλεση της εργασίας μέχρι να διαβάσει μία τιμή που να αντιστοιχεί στις παραμέτρους.

Σημείωση: Το <[HIGH|LOW]> μπορεί να αντικατασταθεί με < ON|OFF> , <[CLOSE|OPEN]>, ή <[1|0]>.

Παράδειγμα : 0001: CNCINPUT (1,2) HIGH
0002: GOSUB LOAD_PART
0003: CNCOUTPUT(1,2) HIGH
0004: RESTART

Αυτό το πρόγραμμα παρουσιάζει έναν απλό βρόχο ελέγχου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με έναν εξοπλισμό CNC. Πρώτα η γραμμή 1 περιμένει για το σήμα της CNC 1 , εισόδου 2 να γίνει υψηλό, τότε εκτελεί μία υπορουτίνα που φορτώνει ένα κομμάτι του αποθέματος στο μηχάνημα. Αφού φορτωθεί το απόθεμα, το CNC 1 , ΕΞΟΔΟΥ 2 (ή B) έχει ορισθεί σε HIGH. Τέλος , πραγματοποιείται επανεκκίνηση της διαδικασίας.

5.1.3 CNCOUTPUT (Εξοδος cnc)

Σύνταξη: CNCOUTPUT (<ψηφίο 1 ή 2>, <ψηφίο 1-4>)

Παράμετροι: <[HIGH|LOW]>

Περιγραφή: Η εντολή αυτή διαβάζει την έξοδο του CNC 1 ή CNC 2. Ένα κανάλι συνήθως χρησιμοποιείται για να διασυνδεθεί άμεσα με ένα εξοπλισμό CNC ή κάποια άλλη αυτοματοποίηση. Οι αριθμοί στην παρένθεση δείχνουν το κανάλι και την έξοδο αντίστοιχα: (1 ή 2), (1-4 ή A μέχρι Δ). Η παράμετρος αυτή ελέγχει την έξοδο.

Σημείωση: <[HIGH|LOW]>μπορεί να αντικατασταθεί με <[ON|OFF]> , <[CLOSE|OPEN]>, ή <[1|0]>.

Παράδειγμα: 0001: CNCINPUT(1,2) HIGH
0002: GOSUB LOAD_PART
0003: CNCOUTPUT(1,2) HIGH
0004: RESTART

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει έναν απλό βρόχο ελέγχου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με εξοπλισμό CNC. Πρώτα, γραμμή 1 περιμένει το σήμα της CNC1 , εισόδου 2 να είναι υψηλή, τότε εκτελεί μια υπορουτίνα που φορτώνει ένα κομμάτι του αποθέματος στο μηχάνημα. Αφού φορτωθεί το μηχάνημα, CNC1 , εξόδου 2 έχει ορισθεί σε HIGH. Τέλος, πραγματοποιείται επανεκκίνηση της διαδικασίας.

5.1.4 DELAY (καθυστέρηση)

Σύνταξη: DELAY

Παράμετροι: <αριθμός 0 – 999>

Περιγραφή: Η εκτέλεση της εντολής αυτής εκφράζεται σε δευτερόλεπτα. Αν η τιμή είναι 0 το πρόγραμμα σταματάει να λειτουργεί μέχρι να το ενεργοποιήσουμε εμείς από το αντίστοιχο κουμπί.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
0002: DELAY 10
0003: MOVETO POINT2
0004: DELAY 0
0005: HOME
0006: END

Το πρόγραμμα εκτελείται μέχρι το σημείο POINT1 και στη συνέχεια καθυστερεί για 10 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια εκτελείται μέχρι το σημείο POINT2 και σταματάει το πρόγραμμα. Τέλος ο χειριστής πατά το κουμπί έναρξης και το πρόγραμμα συνεχίζει στο HOME και σταματάει τη λειτουργία του.

5.1.5 DO (εκτέλεσε)

Σύνταξη: DO

Παράμετροι: <αριθμός 1-999>

Περιγραφή : με αυτή την εντολή μπορούμε να εκτελέσουμε επαναλημμένα κάποιες λειτουργίες . η εντολή αυτή δείχνει τον αριθμό των επαναλήψεων των εντολών που παρεμβαίνουν ανάμεσα στο DO και το UNTIL.

Παράδειγμα: 0001: DO 5
0002: IF INPUT(3) =LOW
0003: END
0004: ELSE
0005: MOVETO POINT1
0006: MOVETO POINT2
0007: MOVETO POINT3
0008: ENDIF
0009: UNTIL

Το πρόγραμμα αυτό εκτελεί μέχρι το POINT1, POINT2 και το POINT3, 5 φορές στη σειρά εκτός αν η έξοδος TTL3 έχει παράμετρο LOW, και στη συνέχεια εκτελείται η εντολή END. Αυτή η εντολή εκτελείται μέχρι ο χειριστής το θελήσει ή αν παρεμβαίνει μία εντολή END, RESTART ή κάποιο λάθος.

Βλέπε επίσης: εντολή UNTIL παρακάτω.

5.1.6 DRIVETO (πήγαινε προς)

Σύνταξη:DRIVETO

Παράμετροι: <όνομα σημείου>

Περιγραφή: η εντολή αυτή λειτουργεί ως συντόμευση αντί να επαναλαμβάνουμε την εντολή MOVETO. Για να εκτελέσουμε μία σειρά σημείων από τη λίστα, η εντολή αυτή θα εκτελέσει κάθε σημείο ανάμεσα στο τρέχον ενεργό σημείο και το σημείο με το όνομα της εντολής παραμέτρου. Τα σημεία θα εκτελεστούν με τη σειρά που υπάρχουν

στη λίστα. Κανονικά , θα ξεκινήσει την εκτέλεση μιας μακράς ακολουθίας σημείων με την εντολή MOVETO από το πρώτο σημείο στη σειρά και στην συνέχεια θα ακολουθήσει η εντολή DRIVETO, που δηλώνει το τελευταίο σημείο της ακολουθίας. Αυτό μπορεί να απλοποιήσει το πρόγραμμα εργασιών, όταν έχουμε ένα μεγάλο αριθμό κινήσεων που πρέπει να εκτελεστούν.

Προειδοποίηση: η εκτέλεση των σημείων γίνεται με τη σειρά που είναι στη λίστα. Αλλάζοντας τη λίστα των σημείων τροποποιείται ο τρόπος εκτέλεσης της εντολής.

```
Παράδειγμα: 0001:MOVETO POINT1
              0002: DRIVETO POINT4
              0003: END
```

Υποθέτοντας ότι το POINT1,POINT2,POINT3 και POINT4 είναι στη λίστα με αυτή τη σειρά, το πρόγραμμα θα εκτελέσει πρώτα το POINT1. στη συνέχεια η εντολή DRIVETO θα εκτελέσει κάθε σημείο μεταξύ του POINT1 μέχρι και του POINT4.

5.1.7 ELSE (Αλλιώς)

Σύνταξη: ELSE

Παράμετροι: <Καμία>

Περιγραφή: Η εντολή αυτή υποδηλώνει το τέλος των οδηγιών που εκτελούνται όταν μια συνθήκη είναι TRUE (αληθής) που αξιολογείται από μία προηγούμενη εντολή IF. Οι εντολές που ακολουθούν την εντολή ELSE εκτελούνται σε περίπτωση που η συσχετισμένη εντολή IF αξιολογείται ως FALSE (ψευδής).

```
Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
              0002: MOVETO POINT2
              0003: IF INPUT(1) = HIGH
              0004: IF OUTPUT(2) = LOW
              0005: MESSAGE Turn on the conveyor!
              0006: ELSE
              0007: GOSUB LOAD_FROM_CONVEYOR
              0008: ENDIF
              0009: ENDIF
              0010:END
```

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει τον τρόπο χρήσης της εντολής IF και επίσης δείχνει ότι μπορούμε να ενθέσουμε εντολές IF μέσα στις άλλες. Η γραμμή 3 ελέγχει αν η είσοδος TTL1 είναι υψηλή και εάν ναι, εκτελεί την επόμενη εντολή. Η γραμμή 4 κατόπιν ελέγχει αν η έξοδος TTL2 είναι χαμηλή. Εάν η εντολή IF εντοπίσει ότι η εξωτερική συσκευή της εξόδου TTL2 είναι χαμηλή, εμφανίζεται το μήνυμα στην γραμμή 5. Αντίθετα, εάν η εντολή IF εντοπίσει ότι η εξωτερική συσκευή εξόδου TTL2 είναι υψηλή, τότε το πρόγραμμα θα μεταπηδήσει στη γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή ELSE, που ζητά την εκτέλεση στην πραγματική ρουτίνα φόρτωσης.

Βλέπε επίσης: εντολή IF, ENDIF.

5.1.8 END (τέλος)

Σύνταξη: END

Παράμετροι: καμία

Περιγραφή: αυτή η εντολή τερματίζει την εκτέλεση της τρέχουσας εργασίας. Εάν είναι επιλεγμένη η επανάληψη εργασίας στο παράθυρο εργασίας, το πρόγραμμα θα κάνει επανεκκίνηση εκτέλεσης της εργασίας κατά την έναρξη του προγράμματος. Αυτή η εντολή μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε στο πρόγραμμα εργασιών αλλά εάν υπάρχουν υπορουτίνες, οι εργασίες μετά την εντολή δεν θα εκτελεστούν ποτέ.

Παράδειγμα: 0001:MOVETO POINT1
 0002: MOVETO POINT2
 0003: END

Βλέπε επίσης: MOVETO

5.1.9 ENDIF (τέλος εάν)

Σύνταξη: ENDIF

Παράμετροι: καμία

Περιγραφή: η εντολή αυτή δηλώνει το τέλος μιας εργασίας IF – ELSE – ENDIF και η εκτέλεση συνεχίζεται με την επόμενη γραμμή εντολής. Για κάθε εντολή IF πρέπει να υπάρχει μία ακριβώς αντίστοιχη εντολή ENDIF. Εάν υπάρχουν πολλές εντολές IF, η κάθε μία πρέπει να έχει μία αντίστοιχη εντολή ENDIF.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
 0002:MOVETO POINT2
 0003: IF INPUT (1)= HIGH
 0004: IF OUTPUT(2)= LOW
 0005: MESSAGE Turn on the conveyor!
 0006: ELSE
 0007: GOSUB LOAD_FROM_CONVEYOR
 0008: ENDIF
 0009:ENDIF
 0010:END

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει τον τρόπο χρήσης της εντολής IF, καθώς επίσης και ότι μπορείτε να ενθέσετε εντολές IF μέσα στις άλλες. Η γραμμή 3 ελέγχει αν η είσοδος TTL1 είναι υψηλή και εάν ναι, εκτελεί την επόμενη γραμμή εντολής. Η γραμμή 4 κατόπιν ελέγχει αν η είσοδος TTL2 είναι χαμηλή. Εάν η εντολή IF εντοπίσει ότι η εξωτερική συσκευή της εξόδου TTL2, εμφανίζεται το μήνυμα στην γραμμή 5. Αντίθετα, εάν η εντολή IF εντοπίσει ότι η εξωτερική συσκευή της εξόδου TTL2 είναι υψηλή, τότε η εκτέλεση θα συνεχίσει στη γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή ELSE, η οποία καλεί την εκτέλεση στην πραγματική ρουτίνα φόρτωσης.

Βλέπε επίσης: IF, ELSE

5.1.10 ERROR (Σφάλμα)

Σύνταξη: ERROR

Παράμετροι: <συμβολοσειρά μηνυμάτων>

Περιγραφή: αυτή η εντολή θα σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος και θα εμφανιστεί το μήνυμα της συμβολοσειράς ως παράμετρος στην περιοχή μηνυμάτων του παραθύρου εργασιών που εκτελούνται. Χρησιμοποιούμε αυτή την εντολή, εάν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα σφάλμα στο πρόγραμμα ή εάν παρουσιαστεί μια απροσδόκητη συνθήκη.

```
Παράδειγμα: 0001: IF INPUT(1)=LOW
              0002: ERROR No stock is available
              0003: ELSE
              0004: GOSUB LOAD_STOCK
              0005: ENDIF
```

Αυτό το πρόγραμμα ελέγχει αν η τιμή εισόδου TTL1 είναι χαμηλή αν η συνθήκη είναι αληθής, το μήνυμα λάθος που εμφανίζεται στο πεδίο “μήνυμα” του παραθύρου εργασιών εκτελείται και αναστέλλεται η εκτέλεση του προγράμματος.

5.1.11 GOSUB (πήγαινε υπογείως)

Σύνταξη: GOSUB

Παράμετροι: <όνομα σημείου>

Περιγραφή: η εντολή αυτή καλεί μια επώνυμη υπορουτίνα. Η εκτέλεση θα επιστρέψει στην γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή GOSUB όταν η εκτέλεση της υπορουτίνας ολοκληρωθεί. Μπορούμε να καλέσουμε υπορουτίνες μέσα από άλλες υπορουτίνες.

```
Παράδειγμα: 0001: IF INPUT(1)= HIGH
              0003: MESSAGE Loading stock from conveyor
              0003: GOSUB LOAD_STOCK
              0004: ENDIF
              0005: END
              0006: SUB LOAD_STOCK
              0007: MOVETO POINT1
              0008: MOVETO POINT2
              0009: MOVETO POINT3
              0010: RETURN
```

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει πώς να ορίσετε και να καλέσετε υπορουτίνες. Εάν η τιμή εισόδου TTL1 είναι υψηλή, τότε η ρουτίνα GOSUB μεταφέρει την εκτέλεση στην γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή SUB. Κατόπιν εκτελούνται οι γραμμές 7 έως 9 και την εντολή RETURN της γραμμής 10 θα επιστρέψει την εκτέλεση πίσω στην γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή GOSUB που ονομάζεται αυτή η υπορουτίνα.

Βλέπε επίσης: SUB, RETURN

5.1.12 HOME (Σπίτι)

Σύνταξη: HOME

Παράμετροι: καμία

Περιγραφή: η εντολή αυτή λέει στο ρομποτικό βραχίονα να μετακινηθεί στην αρχική του θέση. Αυτή είναι η θέση που καθορίζεται από το σημείο που ονομάζεται HOME στη λίστα που σχετίζεται με αυτή την εργασία. Είναι η θέση όπου το ρομπότ ξεκινά την κίνησή του και θα επιστρέψει να αναπαυτεί όταν δώσουμε την εντολή HOME. Αυτή η εντολή είναι ίδια με την εντολή MOVETO HOME.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1

0002: HOME

0003: END

Το πρόγραμμα εκτελεί την εντολή POINT1 και στη συνέχεια επιστρέφει στη θέση HOME.

5.1.13 IF (εάν)

Σύνταξη: IF

Παράμετροι: <παράμετρος>

Περιγραφή: αν η παράμετρος είναι TRUE (αληθής), η εκτέλεση συνεχίζεται κανονικά με την επόμενη γραμμή εντολής. Εάν η παράμετρος είναι FALSE (ψευδής), η εκτέλεση συνεχίζεται μετά την επόμενη εντολή ELSE (αν χρησιμοποιείται) ή την εντολή ENDIF.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1

0002: MOVETO POINT2

0003: IF INPUT(1)= HIGH

0004: IF OUTPUT(2)=LOW

0005: MESSAGE Turn on the conveyor

0006: ELSE

0007: GOSUB LOAD_FROM_CONVEYOR

0008: ENDIF

0009: ENDIF

0010: END

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει τον τρόπο χρήσης της εντολής IF και επίσης δείχνει ότι μπορούμε να ενθέσουμε εντολές IF μέσα στις άλλες. Η γραμμή 3 ελέγχει αν η είσοδος TTL1 είναι υψηλή και εάν ναι, εκτελεί την επόμενη εντολή. Η γραμμή 4 κατόπιν ελέγχει αν η έξοδος TTL2 είναι χαμηλή. Εάν η εντολή IF εντοπίσει ότι η εξωτερική συσκευή της εξόδου TTL2 είναι χαμηλή, εμφανίζεται το μήνυμα στη γραμμή 5. Αντίθετα, εάν η εντολή IF εντοπίσει ότι η εξωτερική συσκευή εξόδου TTL2 είναι υψηλή, τότε το πρόγραμμα θα μεταπηδήσει στην γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή ELSE, που ζητεί την εκτέλεση στην πραγματική ρουτίνα φόρτωσης.

Βλέπε επίσης: εντολή IF,ENDIF

5.1.14 INPUT (είσοδος)

Σύνταξη: INPUT

Παράμετροι: INPUT(<ψηφίο 1-8>)

Περιγραφή: αυτή η εντολή διαβάζει τις εισόδους TTL. Η τιμή στην παρένθεση δείχνει την είσοδο και η παράμετρος που ακολουθεί την εντολή, υποδεικνύει την επιθυμητή κατάσταση. Αυτή η εντολή θα μπλοκάρει και θα αναστείλει την εκτέλεση των εργασιών μέχρι η τιμή που θα αναγνωστεί να ταιριάζει με την εντολή παραμέτρου.

Σημείωση: Το <[HIGH|LOW]> μπορεί να αντικατασταθεί με <[ON|OFF]> , <[CLOSE|OPEN]>, ή <[1|0]>.

Παράδειγμα: 0001:MOVETO POINT1
 0002:INPUT(4)=LOW
 0003: MOVETO POINT2
 0004:END

Αυτό το πρόγραμμα εκτελεί την εντολή POINT1 και στη συνέχεια αναμένει μέχρι η τιμή εισόδου της TTL4 είναι χαμηλή. Τότε εκτελείται η εντολή POINT2 και το πρόγραμμα τελειώνει.

5.1.15 LATHE (διατομή)

Σύνταξη: LATHE

Παράμετροι: <συμβολοσειρά ονομάτων αρχείων>

Περιγραφή: αυτή η εντολή εκτελεί το εξωτερικό πρόγραμμα που σχετίζεται με την εντολή της LATHE που ορίζεται στο παράθυρο επιλογές. Η παράμετρος των ονομάτων αρχείων είναι μια παράμετρος σε αυτό το πρόγραμμα, έτσι ώστε το λογισμικό CNC να κάνει αυτόματη λήψη του αρχείου σε ένα CNC LATHE.

Παράδειγμα: 0001: GOSUB LOAD_STOCK\Load stock into CNC Lathe
 0002: LATHE sample_part.l4\download the part program to the
 lathe
 0003: CNC INPUT(1,1) HIGH\Wait for the CNC Lathe to signal
 completion
 0004: END

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει τον τρόπο χρήσης της εντολής LATHE για να κάνετε λήψη ενός CNC LATHE προγράμματος. Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται κατά την ολοκλήρωση σύνδεσης του συστήματος σέρβο-ρομπότ με μηχανήματα CNC LATHE.

5.1.16 MESSAGE (μήνυμα)

Σύνταξη: MESSAGE

Παράμετροι: <συμβολοσειρά μηνύματος>

Περιγραφή: Αυτή η εντολή θα εμφανίσει τα δεδομένα της συμβολοσειράς των παραμέτρων που εκτελούνται στο πεδίο “μήνυμα” του παραθύρου εργασιών. Η εντολή αυτή δεν θα σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος ωστόσο αν χρειαστεί ο χρήστης να απαντήσει στο μήνυμα, χρησιμοποιούμε αυτή την εντολή με ΚΑΘΗΣΤΕΡΗΣΗ 0.

Παράδειγμα: 0001 IF INPUT(1) = HIGH
 0002 MESSAGE Loading stock from conveyor (φόρτωση αποθέματος
 από μάντες)
 0003 GOSUB LOAD_STOCK
 0004 ENDIF

Αυτό το πρόγραμμα ελέγχει εάν η τιμή της εισόδου TTL1 είναι υψηλή. Εάν ο όρος βρεθεί αληθής, αποστέλλεται ένα μήνυμα στο χρήστη στο πεδίο “μήνυμα” του παραθύρου εργασιών που εκτελούνται και εκτελείται η υπορουτίνα LOAD_STOCK.

5.1.17 MILL

Σύνταξη: MILL

Παράμετροι: <συμβολοσειρά ονομάτων φακέλων>

Περιγραφή: αυτή η εντολή εκτελεί το εξωτερικό πρόγραμμα που σχετίζεται με την ίδια την εντολή MILL που έχει ορισθεί στο παράθυρο επιλογών. Όταν εμφανιστεί η παράμετρος ονόματος αρχείου το λογισμικό CNC αυτόματα θα κατεβάσει το αρχείο CNC MILL.

Παράδειγμα: 0001: GOSUB LOAD_STOCK\Load stock into CNC Mill.
 0002: MILL sample_part.m4\download the part program to the mill.
 0003: CNC INPUT(1,1) HIGH\wait for the mill to signal completion.
 0004: END

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει τον τρόπο χρήσης της εντολής MILL για να κατεβάσουμε ένα πρόγραμμα CNC MILL. Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται κατά την ολοκλήρωση σύνδεσης του συστήματος σέρβο-ρομπότ με μηχανήματα CNC MILL.

5.1.18 MOVETO (πήγαινε προς)

Σύνταξη: MOVETO

Παράμετροι: <συμβολοσειρά ονόματος σημείου>

Περιγραφή: η εντολή αυτή εκτελεί είτε ένα σημείο θέσης ή ένα σημείο ελέγχου.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
 0002: END

Το πρόγραμμα εκτελεί το σημείο POINT1 και στη συνέχεια τερματίζει τη λειτουργία του.

5.1.19 OUTPUT (έξοδος)

Σύνταξη: OUTPUT (<ψηφίο 1-8>)

Παράμετροι: <[HIGH|LOW]>

Περιγραφή: η εντολή αυτή ελέγχει την κατάσταση των εξόδων TTL. Η τιμή στην παρένθεση υποδηλώνει την έξοδο για την αλλαγή και η παράμετρος που ακολουθεί το νέο καθεστώς της εξόδου.

Σημείωση: Η <[HIGH|LOW]> μπορεί να αντικατασταθεί με <[ON|OFF]> , <[CLOSE|OPEN]>, ή <[1|0]>.

Παράδειγμα: 0001: OUTPUT(1) HIGH
0002: DELAY 5
0003: OUTPUT(1) LOW
0004:END

Αυτό το πρόγραμμα ορίζει την έξοδο TTL1 υψηλή, καθυστερεί για 5 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια ρυθμίζει την έξοδο σε χαμηλή.

5.1.20 RELAY (επιβράδυνση)

Σύνταξη: RELAY (<ψηφίο 1-4>)

Παράμετροι: <[CLOSE|OPEN]>

Περιγραφή: η εντολή αυτή ελέγχει την κατάσταση του ρελέ. Η τιμή στην παρένθεση δείχνει ποιο ρελέ ελέγχεται και ποια παράμετρος ακολουθεί: ενεργοποιημένη (κλείνει) ή απενεργοποιημένη (ανοίγει).

Σημείωση: Η <[HIGH|LOW]> μπορεί να αντικατασταθεί με <[ON|OFF]> , <[CLOSE|OPEN]>, ή <[1|0]>.

Παράδειγμα: 0001: RELAY(1) CLOSE
0002: DELAY 5
0003: RELAY(1) OPEN
0004: END

Το πρόγραμμα αυτό ενεργοποιεί το RELAY(1), καθυστερεί 5 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια απενεργοποιεί το ρελέ.

5.1.21 REPEAT (επανάληψη)

Σύνταξη: REPEAT

Παράμετροι: <καμία>

Περιγραφή: δηλώνει το τέλος ενός βρόχου WHILE. Όταν ο βρόχος φτάσει σε αυτή την εντολή, η εκτέλεση θα μεταπηδήσει πίσω στο συσχετισμένο WHILE για να γίνει επανεκτίμηση της πρωτότυπης έκφρασης WHILE.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
0002: WHILE INPUT(4)=HIGH\Stock is available from feeder.
0003: GOSUB LOAD_STOCK
0004: OUTPUT(2) LOW
0005: GOSUB MOVE_STOCK
0006: OUTPUT(2) HIGH
0007: REPEAT
0008:END

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει πως μπορεί να γίνεται τροφοδοσία από ένα άλλο σημείο. Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η είσοδος TTL4 είναι χαμηλή. Όσο η είσοδος TTL4 παραμένει υψηλή, οι εντολές μεταξύ της WHILE και REPEAT θα εκτελούνται επανειλημμένα.

Βλέπε επίσης: WHILE

5.1.22 RESTART (επανεκκίνηση)

Σύνταξη: RESTART

Παράμετροι: <καμία>

Περιγραφή: αυτή η εντολή καθοδηγεί το λογισμικό για να ματαιώσει την τρέχουσα εκτέλεση της εργασίας και να ξεκινήσει πάλι από την αρχή του προγράμματος. Σε αντίθεση με τις εντολές END, RESTART αγνοεί το REPEAT κατά την εκτέλεση εργασιών.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
0002: MOVETO POINT2
0003: RESTART
0004: MOVETO POINT3
0005: END

Σε αυτό το πρόγραμμα οι εντολές των σειρών 4 και 5 δεν θα εκτελεστούν ποτέ.

5.1.23 RETURN (επιστροφή)

Σύνταξη: RETURN

Παράμετροι: <καμία>

Περιγραφή: αυτή η εντολή ορίζει το τέλος μίας υπορουτίνας. Όταν εκτελεστεί η εντολή αυτή έρχεται από την υπορουτίνα που εκτελείται και η εκτέλεση θα συνεχιστεί στη γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή GOSUB. Επιτρέπεται μόνο μία εντολή RETURN σε μια υπορουτίνα και πρέπει να είναι η τελευταία εντολή στην υπορουτίνα.

Παράδειγμα: 0001: IF INPUT(1)=HIGH
0002: MESSAGE Loading stock from the conveyor.
0003: GOSUB LOAD_STOCK
0004: ENDIF
0005: END
0006: SUB LOAD_STOCK
0007: MOVETO POINT1
0008: MOVETO POINT2
0009: MOVETO POINT3
0010: RETURN

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει πώς να ορίσουμε και να καλέσουμε υπορουτίνες. Εάν η τιμή εισόδου TTL1 είναι υψηλή, τότε η ρουτίνα GOSUB μεταφέρει την εκτέλεση της γραμμής εντολής που ακολουθεί την εντολή SUB. Εκτελούνται κατόπιν οι εντολές των γραμμών 7 έως 9 και την εντολή RETURN στη γραμμή 10 και θα επιστρέψει την εκτέλεση πίσω στη γραμμή εντολής που ακολουθεί την αρχική εντολή GOSUB.

Βλέπε επίσης: GOSUB

5.1.24 RUNTO (εκτέλεσε έως)

Σύνταξη: RUNTO

Παράμετροι: <συμβολοσειρά ονόματος σημείου>

Περιγραφή: αυτή η εντολή στο σέρβο-ρομποτ να εκτελέσει είτε ένα σημείο θέσης είτε ένα στοιχείο ελέγχου. Εάν το στοιχείο είναι ένα σημείο θέσης, η εντολή θα εκτελεστεί με την μέγιστη ταχύτητα. Η τιμή της ταχύτητας που ορίστηκε για το σημείο παραβλέπετε.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
0002: RUNTO POINT2
0003: END

Αυτό το πρόγραμμα θα εκτελέσει την εντολή POINT1 και POINT2. Αν η εντολή POINT2 δεν είναι ένα σημείο ελέγχου, η ταχύτητα θα οριστεί στο 99 (μέγιστη τιμή), παρακάμπτοντας την τιμή ταχύτητας που έχει αποθηκευτεί στη θέση.

Βλέπε επίσης: MOVETO, END

5.1.25 SPEED (ταχύτητα)

Σύνταξη: SPEED

Παράμετροι: <ψηφίο 0-99>

Περιγραφή: η εντολή αυτή μας επιτρέπει να ορίσουμε την τιμή της ταχύτητας για τις γραμμές οδηγίων που ακολουθούν τη γραμμή που περιέχει αυτή την εντολή. Όλες οι κινήσεις θα εκτελεστούν σε αυτή τη νέα ταχύτητα. Οι εντολές που έχουν σαν τιμή ταχύτητας την τιμή 0 θα έχουν τη δική τους προκαθορισμένη ταχύτητα.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
0002: MOVETO POINT2
0003: SPEED 20
0004: MOVETO POINT1
0005: SPEED 0
0006: MOVETO POINT2
0007: END

Σε αυτό το πρόγραμμα οι δύο πρώτες γραμμές οδηγιών μετακινούν το σέρβο-ρομπότ στο POINT1 και POINT2. Η ταχύτητα στη γραμμή 3 σημαίνει ότι η εντολή MOVETO στη γραμμή 4 θα προχωρήσει με ταχύτητα 20 αντί της προκαθορισμένης ταχύτητας. Η εντολή της γραμμής 5 θα απενεργοποιήσει την ταχύτητα που έχουμε θέσει στη γραμμή 3 και έτσι θα μετακινηθεί το MOVETO στη γραμμή 6 με την ταχύτητα του POINT2. Αυτό το παράδειγμα υποθέτει ότι το POINT1 και POINT2 δεν τα σημεία ελέγχου. Ο καθορισμός της τιμής της ταχύτητας δεν έχει καμία επίδραση στα σημεία ελέγχου.

Βλέπε επίσης: MOVETO, END.

5.1.26 SUB (υπό)

Σύνταξη: SUB

Παράμετροι: <όνομα συμβολοσειράς>

Περιγραφή: αυτή η εντολή ορίζει το όνομα και τη θέση έναρξης μιας υπορουτίνας. Όλες οι γραμμές οδηγιών που ακολουθούν αυτή την εντολή ανήκουν στην επώνυμη υπορουτίνα μέχρι την εντολή RETURN που δηλώνει το τέλος της υπορουτίνας. Οι υπορουτίνες πάντα θα πρέπει να ορίζονται μετά την εντολή END και ξεχωριστά η μία από την άλλη. Οι υπορουτίνες μπορούν να καλέσουν άλλες υπορουτίνες, αλλά πρέπει να γνωρίζουμε ότι ένας ανεπιθύμητος βρόχος μπορεί να προκύψει.

Παράδειγμα: 0001: IF INPUT(1)= HIGH
0002: MESSAGE Loading stock from conveyor.
0003: GOSUB LOAD_STOCK
0004: ENDIF
0005: END
0006: SUB LOAD_STOCK
0007: MOVETO POINT1
0008: MOVETO POINT2
0009: MOVETO POINT3
0010: RETURN

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει πώς να ορίσουμε και να καλέσουμε υπορουτίνες. Εάν η τιμή εισόδου TTL1 είναι υψηλή τότε η ρουτίνα GOSUB μεταφέρει την εκτέλεση της γραμμής εντολής που ακολουθεί την εντολή SUB. Εκτελούνται κατόπιν οι εντολές των γραμμών 7 έως 9 και η εντολή RETURN στη γραμμή 10 και θα επιστρέψει την εκτέλεση πίσω στη γραμμή εντολής που ακολουθεί την αρχική εντολή GOSUB.

Βλέπε επίσης: GOSUB, RETURN

5.1.27 UNTIL (έως)

Σύνταξη: UNTIL

Παράμετροι: <καμία>

Περιγραφή: η εντολή αυτή δηλώνει το τέλος μιας ακολουθίας βρόχου και εάν ο αριθμός των περασμάτων μέσα στο βρόχο είναι μικρότερος από την παράμετρο εντολής. Η εκτέλεση μεταπηδά στην αρχική εντολή. Εάν ο αριθμός των περασμάτων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό της εντολής, συνεχίζει την εκτέλεση με τη γραμμή εντολής που ακολουθεί την εντολή UNTIL.

Παράδειγμα: 0001: DO 5
0002: IF INPUT(3) = LOW
0003: END
0004: ELSE
0005: MOVETO POINT1
0006: MOVETO POINT2
0007: MOVETO POINT3
0008: ENDIF
0009: UNTIL

Το πρόγραμμα αυτό εκτελεί μέχρι το POINT1, POINT2 και το POINT3, 5 φορές στη σειρά εκτός αν η έξοδος TTL3 έχει παράμετρο LOW, και στη συνέχεια εκτελείται η εντολή END. Αυτή η εντολή εκτελείται μέχρι ο χειριστής το θελήσει ή αν παρεμβαίνει μια εντολή END, RESTART ή κάποιο λάθος.

Βλέπε επίσης: DO

5.1.28 WHILE (μέχρι)

Σύνταξη: WHILE

Παράμετροι: <παράμετρος>

Περιγραφή: αυτή η εντολή αποτιμά μια παράμετρο. Αν είναι αληθής, εκτελεί τις γραμμές οδηγιών που ακολουθούν, μέχρι την εντολή REPEAT. Όταν επιτευχθεί η εντολή REPEAT, η εκτέλεση θα επιστρέψει στην εντολή WHILE όπου η έκφραση θα επαναλαμβάνεται έως ότου αποτύχει.

Σημείωση: η τιμή της έκφρασης αξιολογείται μόνο από την εντολή WHILE. Αλλαγή της κατάστασης των εισόδων και εξόδων μέσα σε αυτή την εντολή, δεν θα προκαλέσει την άμεση έξοδο του βρόχου.

Παράδειγμα: 0001: MOVETO POINT1
0002: WHILE INPUT(4)=HIGH\Stock is available from feeder
0003: GOSUB LOAD_STOCK
0004: OUTPUT(2) LOW
0005: GOSUB MOVE_STOCK
0006: OUTPUT (2) HIGH
0007: REPEAT
0008: END

Αυτό το πρόγραμμα δείχνει πως μπορεί να γίνεται τροφοδοσία από ένα άλλο σημείο. Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η είσοδος TTL4 είναι χαμηλή. Όσο η είσοδος TTL4 παραμένει υψηλή ενώ η εντολή WHILE εκτελείται, οι εντολές μεταξύ της WHILE και REPEAT θα εκτελούνται επανειλημμένα.

Βλέπε επίσης: REPEAT.

*Το υποκεφάλαιο 5.1 είναι μεταφρασμένο από το:
(Βιβλιογραφική αναφορά: Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt))*

5.2 Τρόποι γραφής των προγραμμάτων

5.2.1 Εντολές κειμένου

Ο πρώτος και πιο σημαντικός τρόπος γραφής ενός προγράμματος. Οι εντολές γράφονται σαν κείμενο με λέξεις κλειδιά στο εκάστοτε πρόγραμμα και καθώς ο ελεγκτής διαβάζει τις εντολές, ο βραχίονας τις εκτελεί. Παρακάτω παραθέτουμε ένα μικρό στοιχειώδες πρόγραμμα.

```
001: HOME  
002: SPEED 20  
003: MOVETO point1  
004: GRIPOPEN  
005: MOVETO point2  
006: GRIPCLOSE  
007: SPEED 10  
008: MOVETO point3  
009: GRIPOPEN  
0010: MOVETO point4  
0011: GRIPCLOSE  
0012: SPEED30  
0013: HOME  
0014: END
```

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012), Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)

5.2.2 Διαγράμματα ροής

Τα διαγράμματα ροής χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουμε τις διάφορες διεργασίες. Στα διαγράμματα παρουσιάζεται η ροή ή η μετακίνηση από το ένα βήμα στο άλλο και η σχέση μεταξύ των διαφόρων τμημάτων μιας διαδικασίας.

Σε ένα τυπικό διάγραμμα ροής όπως φαίνεται παρακάτω, η έναρξη δραστηριότητας είναι στην κορυφή, ή στην επάνω αριστερή γωνία και η ροή είναι προς τα κάτω ή προς τα δεξιά.

- Τα τετράγωνα και τα ορθογώνια συνήθως αντιπροσωπεύουν τις δραστηριότητες ή τα βήματα, μιας διαδικασίας.
- Τα διαμάντια υποδεικνύουν σημεία απόφασης που απαιτούν συνήθως μια απλή απάντηση Ναι ή Όχι. Χρειάζονται τρεις ή τέσσερις γραμμές σύνδεσης, μια εισερχόμενη και δυο ή τρεις εξερχόμενες για ναι ή όχι ή άλλες κατάλληλες απαντήσεις.
- Οι κύκλοι είναι σημεία μεταμόρφωσης που δείχνουν τη ροή από ένα τμήμα του γραφήματος σε ένα άλλο, ή σε άλλο γράφημα. Ένα σχήμα που μοιάζει με ένα ορθογώνιο με στρογγυλεμένες άκρες είναι μια αρχή ή ένας τερματισμός.

Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι είναι επιθυμητό να σχεδιάσουμε ένα διάγραμμα ροής για το ακόλουθο πρόγραμμα:

Ένα ρομπότ, παραλαμβάνει ένα αντικείμενο από ένα τροφοδοτικό και το τοποθετεί σε έναν ιμάντα μεταφοράς. Αφού αυτό το αντικείμενο βρίσκεται πάνω στον ιμάντα, αυτός αρχίζει να κινείται και συνεχίζει έως ότου το αντικείμενο να ανιχνευτεί από έναν αισθητήρα στην έξοδο του ιμάντα. Στη συνέχεια ο ιμάντας μεταφοράς σταματά.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Το ρομπότ παίρνει το αντικείμενο από το τροφοδοτικό και το τοποθετεί στον ιμάντα μεταφοράς.
- Η μεταφορά του αντικειμένου ξεκινά.
- Το ρομπότ ελεγκτής (αισθητήρας) ελέγχει εάν το αντικείμενο υπάρχει στην έξοδο του ιμάντα.
- Εάν εντοπισθεί το αντικείμενο, ο ιμάντας μεταφοράς σταματά.

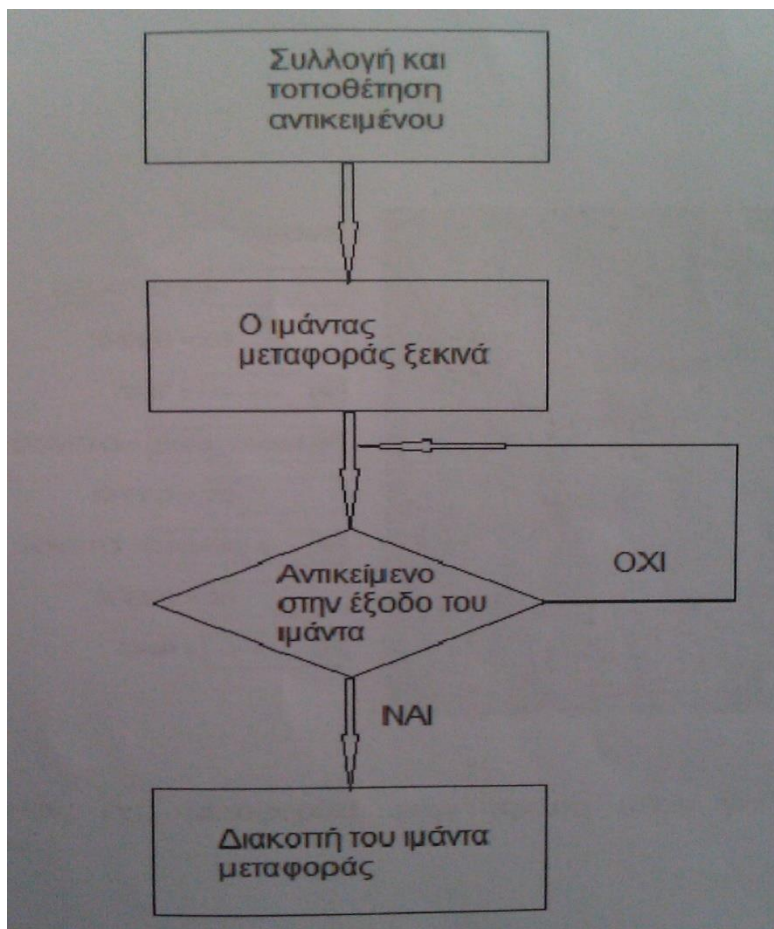
Οι οδηγίες του προγράμματος που σχετίζεται με κάθε μπλοκ με το διάγραμμα ροής είναι ως εξής:

- [συλλογή και τοποθέτηση του αντικειμένου]: Θέση σημείου. Το ρομπότ έχει τοποθετηθεί στο σημείο που απαιτείται για τη συλλογή

και την τοποθέτηση του αντικειμένου στον ιμάντα μεταφοράς. Καταγράφονται όλα τα σημαντικά σημεία.

- [Ο ιμάντας μεταφοράς ξεκινά]: Μια εντολή TTL εξόδου χρησιμοποιείται για να ορίσουμε την έξοδο TTL όπου ο ιμάντας είναι συνδεδεμένος, στο επίπεδο που απαιτείται ώστε να ξεκινήσει ο ιμάντας.
- [Αντικείμενο στην έξοδο του ιμάντα]: Μια εντολή TTL εισόδου χρησιμοποιείται. Ένας ανιχνευτής ελέγχει το επίπεδο που βρίσκεται μια είσοδος TTL στον ελεγκτή ρομπότ. Ανάλογα με το επίπεδο της εισόδου TTL, το πρόγραμμα εκτελεί την επόμενη εντολή (διακοπή της λειτουργίας του ιμάντα μεταφοράς) ή να περιμένει έως ότου εντοπιστεί ένα αντικείμενο.
- [Διακοπή του ιμάντα μεταφοράς]: Μια εντολή TTL εξόδου χρησιμοποιείται για να ορίσουμε το επίπεδο της εξόδου TTL, όπου ο ιμάντας είναι συνδεδεμένος, που απαιτείται για να σταματήσει

Στην εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ροής του παραπάνω προγράμματος



ΕΙΚΟΝΑ 5.1

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012)

5.2.3 Εντολές με τη χρήση εικονιδίων

Τέλος ο πιο πρόσφατος και πλέον διαδεδομένος τρόπος γραφής ενός προγράμματος είναι με την χρήση εικονιδίων. Είναι ένας απλός αλλά και πολύ γρήγορος τρόπος που μας βοηθάει στο προγραμματισμό εκμηδενίζοντας σχεδόν κάποια πιθανά λάθη που θα μπορούσαν να γίνουν φτιάχνοντας ένα πρόγραμμα με τις εντολές κειμένου.

Τέσσερα αντικείμενα βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία στο εύρος του βραχίονα. Μόλις αρχίσει το πρόγραμμα ο βραχίονας παίρνει το πρώτο αντικείμενο και το τοποθετεί πάνω σε ένα στήριγμα συλλογής. Αυτό επαναλαμβάνεται και για άλλα τρία τουβλάκια. Μόλις ολοκληρωθεί η συλλογή τους στο στήριγμα, αυτό μετακινείται σε ένα επιθυμητό σημείο από τον ίδιο το βραχίονα.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Μελέτη και εφαρμογές αυτοματισμού σε ρομποτικό βραχίονα – Πάτρα 2012)

Κεφάλαιο 6

Αισθητήρια

6.1 Θεωρία των Αισθητήρων

6.1.1 Εισαγωγή

Αισθητήρας είναι ένα είδος μετατροπέα ο οποίος χρησιμοποιεί μιας μορφής ενέργεια, ένα σήμα, και τη μετατρέπει σε μια ένδειξη για το σκοπό μιας μεταφοράς δεδομένων. Ένα θερμόμετρο υδραργύρου είναι ένα παράδειγμα ενός αισθητήρα που μετατρέπει τη συστολή και διαστολή του όγκου του υδραργύρου σε σχέση με την αλλαγή θερμοκρασίας (το σήμα), σε μια ένδειξη σε ένα ρυθμισμένο γυάλινο σωλήνα δίνοντας έτσι πληροφορίες για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Άλλοι αισθητήρες, όπως ένα θερμοζεύγος, παράγουν μια τάση εξόδου ή άλλη ηλεκτρική έξοδο η οποία μπορεί να δοθεί ένα μετρητή για να ανιχνεύσει μια αλλαγή ή να μεταφραστεί από μια άλλη συσκευή σε σήμα μιας άλλης μορφής (όπως ένας υπολογιστής). Για ακρίβεια στην εφαρμογή είναι απαραίτητη η σωστή ρύθμιση (καλιμπράρισμα) του αισθητήρα και του σήματος εξόδου του. Αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε καθημερινά αντικείμενα όπως κουμπιά αφής σε ανελκυστήρες και λάμπες οι οποίες αυξομειώνονται ακουμπώντας τη βάση του.

Υπάρχουν επίσης αναρίθμητες εφαρμογές για αισθητήρες για τις οποίες οι περισσότεροι άνθρωποι δεν γνωρίζουν. Εφαρμογές που περιλαμβάνουν αυτοκίνητα, μηχανές, διαστημικές εφαρμογές, ιατρική, βιομηχανία και ρομποτική. Οι όροι αισθητήρας (sensor) και μετατροπέας (transducer) έχουν παρόμοια, αλλά ελαφρά διαφορετική σημασία και συχνά προκαλείται σύγχυση ανάμεσα τους. Ο μετατροπέας είναι οποιαδήποτε συσκευή που μετασχηματίζει μία μορφή ενέργειας σε μία άλλη. Επομένως ένας αισθητήρας είναι (συνήθως) ένας μετατροπέας, αλλά δεν είναι όλοι οι μετατροπείς οπωσδήποτε αισθητήρες.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές του φαινομένου Hall – Χανιά)

6.1.2 Τύποι Αισθητήρων

Οι αισθητήρες και τα συστήματα αισθητήρων μπορεί να είναι μηχανικά, ηλεκτρικά ή και τα δύο μαζί. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς, βιομηχανικούς, δημόσιους, στρατιωτικούς και οικιακούς. Εκτελούν εργασίες όπως είναι ο έλεγχος των διαστάσεων ενός αντικειμένου σε μία γραμμή παραγωγής, ο έλεγχος ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, ο έλεγχος της στάθμης του νερού στο οικιακό πλυντήριο και η απεικόνιση της ταχύτητας ενός αυτοκινήτου. Οι αισθητήρες είναι ένα είδος μετατροπέα, μετατρέπουν δηλαδή, μια μορφή ενέργειας σε μια άλλη. Γι' αυτό το λόγο, οι αισθητήρες ταξινομούνται σύμφωνα με τον τύπο της μεταφοράς ενέργειας που ανιχνεύουν.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές του φαινομένου Hall – Χανιά)

Η αντίληψη του φυσικού κόσμου προϋποθέτει την ενασχόληση με ποικιλόμορφες φυσικές και χημικές ποσότητες, οι οποίες όσον αφορά το μετρούμενο μέγεθος διακρίνονται στις παρακάτω έξι περιοχές σήματος.

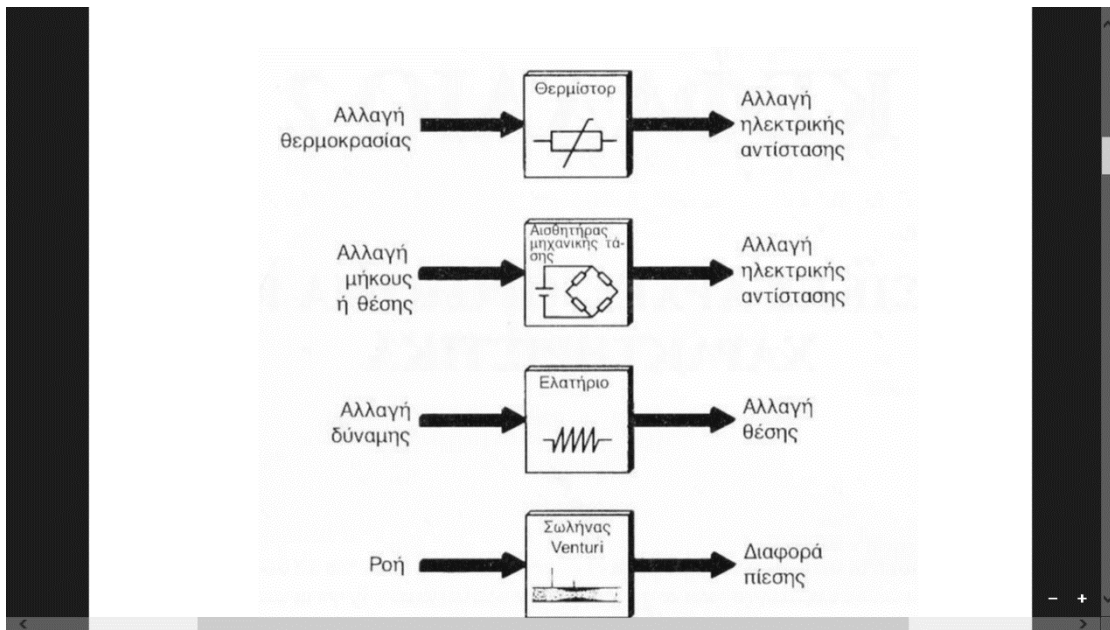
- **Την περιοχή θερμικού σήματος:** Με συνηθέστερα σήματα την θερμοκρασία, την θερμότητα και τη ροή θερμότητας.
- **Την περιοχή μηχανικού σήματος:** Με συνηθέστερα σήματα τη δύναμη, την πίεση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση και τη θέση
- **Την περιοχή χημικού σήματος:** Τα σήματα αυτής της κατηγορίας είναι οι εσωτερικές ποσότητες ύλης, όπως είναι η συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου υλικού, η σύνθεσή του ή ο ρυθμός αντίδρασης
- **Την περιοχή μαγνητικού σήματος:** Με συνηθέστερα σήματα την ένταση του μαγνητικού πεδίου, την πυκνότητα ροής και την μαγνήτιση
- **Την περιοχή σήματος ακτινοβολίας:** Τα σήματα αυτά είναι ποσότητες που χαρακτηρίζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως η ένταση, το μήκος κύματος, η πόλωση και η φάση
- **Την περιοχή ηλεκτρικού σήματος:** Με συνηθέστερα σήματα την τάση, την ένταση και το φορτίο.

Η παραπάνω ταξινόμηση αφορά τις φυσικές ποσότητες που ο αισθητήρας πρέπει να αντιληφθεί και έτσι είναι αυτονόητο ότι και η ταξινόμηση των αισθητήρων ακολουθεί την παραπάνω ταξινόμηση.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Αισθητήρες κίνησης και μετατόπισης – Χανιά)

Έτσι χωρίζονται σε:

- Θερμικούς
- Ηλεκτρομαγνητικούς
- Μηχανικούς
- Χημικούς
- Οπτικής ακτινοβολίας
- Ιονίζουσας ακτινοβολίας
- Ακουστικοί



ΕΙΚΟΝΑ 6.1

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές του φαινομένου Hall – Χανιά)

Μια εναλλακτική μέθοδος ταξινόμησης των αισθητήρων βασίζεται στο κατά πόσο χρησιμοποιούν ή όχι βοηθητική πηγή ενέργειας. Οι αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρικό σήμα εξόδου χωρίς βοηθητική πηγή ενέργειας καλούνται παθητικοί ή αυτοδιεγερόμενου σήματος εξόδου (self-generating). Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου αισθητήρα είναι θερμοστοιχείο το οποίο παράγει μια ηλεκτροδιεγερτική δύναμη από τη διαφορά στις θερμοκρασίες επαφής.

Οι αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρικό σήμα εξόδου με βοηθητική πηγή ενέργειας καλούνται ενεργητικοί ή διαμορφωμένου σήματος (modulating). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φωτοδιόδοι, τα φωτοκύτταρα και τα θερμίστορ. Στους ενεργητικούς αισθητήρες η βοηθητική πηγή ενέργειας χρησιμεύει σαν κύρια πηγή για το σήμα εξόδου του αισθητήρα και η μετρούμενη φυσική ποσότητα το διαμορφώνει ενισχύοντας ή υποβιβάζοντάς το.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Αισθητήρες κίνησης και μετατόπισης – Χανιά)

Συστήματα μέτρησης

Ένα σύστημα μέτρησης εμφανίζει ή καταγράφει μία ποσοτική έξοδο που αντιστοιχεί στη μεταβλητή που μετρά, η οποία αποτελεί την ποσότητα εισόδου. Τα συστήματα μέτρησης δεν αντιδρούν στην τιμή της ποσότητας εισόδου, παρά μόνο την εμφανίζουν με έναν τρόπο που είναι κατανοητός από το χρήστη. Πολλά συστήματα μέτρησης είναι πιο περίπλοκα και είναι χρήσιμο να τα ανάγουμε σε επιμέρους τμήματα, που είναι ο αισθητήρας, η μονάδα ρύθμισης σήματος και η μονάδα καταγραφής ή απεικόνισης.



EIKONA 6.2

Ο αισθητήρας μετατρέπει τη φυσική ποσότητα που μετρείται σε ένα σήμα που μπορεί, μετά από τροποποίηση, να εμφανιστεί στο χρήστη σε κατανοητή μορφή. Η μονάδα ρύθμισης του σήματος τροποποιεί το σήμα που δημιουργεί ο αισθητήρας σε ένα σήμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη μονάδα εμφάνισης ή καταγραφής.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές του φαινομένου Hall – Χανιά)

6.1.3 Ορολογία Αισθητήρων

Απόλυτες μετρήσεις

Η απόλυτη μέτρηση (absolute measurement) χρησιμοποιεί κλίμακες μέτρησης που βασίζονται στις βασικές μονάδες ενός συστήματος. Σχετίζεται με την κατάσταση, στην οποία ένα σύστημα δεν περιέχει καμία από τις μεταβλητές που μετρούνται. Η έννοια αυτή ευρίσκεται σε αντίθεση με την έννοια των αυθαίρετων κλιμάκων (arbitrary scales), στις οποίες οι τιμές αναφέρονται σε μία προκαθορισμένη αριθμητική τιμή. Για παράδειγμα, όταν περιγράφουμε τη μέτρηση της θερμοκρασίας αναφερόμαστε στις κλίμακες θερμοκρασίας Κελσίου και Κέλβιν. Η κλίμακα Κέλβιν είναι απόλυτη, επειδή σχετίζει την υπάρχουσα θερμοκρασία με την κατάσταση όπου η θερμοκρασία μίας ουσίας είναι μηδέν, ενώ η κλίμακα Κελσίου είναι αυθαίρετη, επειδή σε αυτήν οι τιμές της θερμοκρασίας σχετίζονται με τη θερμοκρασία πήξης του νερού, που ορίζεται αυθαίρετα ως μηδέν βαθμοί Κελσίου.

Ρυθμισμένο σήμα

Ένα ρυθμισμένο σήμα (conditioned signal) είναι η έξοδος ενός αισθητήρα, η οποία έχει υποστεί κατάλληλη τροποποίηση ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή από μία συσκευή απεικόνισης ή καταγραφής, μία συσκευή ελέγχου ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή.

Έλεγχος

Αναφορικά με τα συστήματα μέτρησης, έλεγχος είναι ο χειρισμός ή η λειτουργία ενός συστήματος ή μίας συσκευής.

Διασύνδεση

Η σύνδεση δύο ηλεκτρονικών συσκευών με τη σχεδίαση ή προσαρμογή των εισόδων και εξόδων τους, ώστε να συνεργάζονται, ονομάζεται διασύνδεση (interfacing).

Τοπική ένδειξη

Όταν ένας αισθητήρας παρέχει ένδειξη κοντά στο σημείο μέτρησης τότε λέμε ότι λαμβάνουμε μία τοπική ένδειξη (local reading) της εξόδου του αισθητήρα.

Μετρούμενη ποσότητα

Μετρούμενη ποσότητα (measurand) ονομάζεται η είσοδος του συστήματος μέτρησης, δηλαδή η ποσότητα ή παράμετρος που πρόκειται να μετρηθεί. Για παράδειγμα, ένα θερμομέτρο μετρά θερμοκρασίες, και επομένως η μετρούμενη ποσότητα ενός θερμομέτρου είναι η θερμοκρασία.

Ηλεκτρικός θόρυβος

Ηλεκτρικός θόρυβος ονομάζεται η παρουσία ανεπιθύμητων ηλεκτρικών σημάτων. Αυτά μπορούν να αποκρύψουν ή να αλλοιώσουν το σήμα το οποίο μεταφέρει χρήσιμη πληροφορία, όπως είναι η έξοδος ενός αισθητήρα ή το σήμα σφάλματος.

Παράμετρος

Παράμετρος ονομάζεται μία μεταβλητή ποσότητα με καθορισμένα όρια.

Ακροδέκτης μέτρησης

Ακροδέκτης μέτρησης (probe) ονομάζεται μία συσκευή, η οποία ενώνει έναν αισθητήρα ή οθόνη εμφάνισης με τη μετρούμενη ποσότητα ή ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

Ένδειξη από απόσταση

Όταν η ένδειξη ενός αισθητήρα μπορεί να αναγνωσθεί από απόσταση, δηλαδή όταν το σημείο ανάγνωσης είναι μακριά από το σημείο μέτρησης, τότε λέμε ότι η ένδειξη που παρέχεται είναι από απόσταση (remote reading).

Προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές (specifications) μίας συσκευής είναι η τεχνική περιγραφή των χαρακτηριστικών, της κατασκευής και της απόδοσης της, καθώς και κάθε άλλης σχετικής πληροφορίας.

Μεταβλητή

Στο πεδίο των αισθητήρων και των συστημάτων μέτρησης, ως μεταβλητή (variable) μπορεί να θεωρηθεί οτιδήποτε, συνήθως μία φυσική ή μία μετρούμενη ποσότητα, που μπορεί να λάβει διαφορετικές τιμές.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές του φαινομένου Hall – Χανιά)

6.1.4 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Η επιλογή κάποιου αισθητήρα για ένα σύστημα μέτρησης ή ελέγχου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι το κόστος, η διαθεσιμότητα και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Όταν επιλέγουμε έναν αισθητήρα είναι σημαντικό να προσαρμόζονται τα χαρακτηριστικά του στην ποιότητα της εξόδου που απαιτούμε να λαμβάνουμε. Υπάρχουν, για παράδειγμα, πολλά είδη αισθητήρων που μπορούν να μετρούν τη θερμοκρασία, αλλά δεν είναι όλα κατάλληλα για να δείχνουν τη θερμοκρασία του αέρα σε έναν κηπουρό. Μερικά είδη δεν θα μπορούσαν να μετρήσουν το εύρος των θερμοκρασιών του αέρα, αλλά θα ήταν πολύ ακριβά και άλλα απαιτούν επιπρόσθετη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακρίβεια

Η ακρίβεια (accuracy) μιας συσκευής ή ενός συστήματος είναι ο βαθμός στον οποίο η τιμή την οποία δημιουργεί μπορεί να είναι εσφαλμένη, ή αλλιώς το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να παράγει. Στην περίπτωση ενός αισθητήρα είναι η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη μετρούμενη τιμή. Στην πράξη, κάθε συσκευή παράγει κάποιο σφάλμα, οσοδήποτε μικρό, και έχει κάποιον πεπερασμένο βαθμό ακρίβειας. Αυτή μπορεί να εκφραστεί ως προς τις μονάδες της μετρούμενης ποσότητας, και έτσι για παράδειγμα έχουμε θερμομέτρα με ακρίβεια $\pm 0.20\text{C}$. Αυτό σημαίνει ότι εάν λάβουμε μια μέτρηση θερμοκρασίας με το θερμομέτρο αυτό και δούμε ότι η τιμή που προκύπτει είναι 20.10C , τότε η πραγματική θερμοκρασία θα ευρίσκεται κάπου μεταξύ των τιμών 19.9 και 20.30C . Με άλλο τρόπο, η ακρίβεια μπορεί να εκφραστεί ως το επί τοις εκατό σφάλμα ως προς το εύρος μέτρησης της συσκευής.

Βαθμονόμηση

Η έννοια της βαθμονόμησης (calibration) μίας συσκευής αναφέρεται στις μονάδες, στις οποίες βαθμολογείται η κλίμακα εμφάνισης ή καταγραφής ενός οργάνου. Για παράδειγμα, ένα είδος αισθητήρα που μετρά την ταχύτητα ενός οχήματος παράγει μία

ηλεκτρική έξοδο. Το μέγεθος της τάσης είναι ανάλογο της ταχύτητας του οχήματος. Ο δείκτης του ταχυμέτρου κινείται ανάλογα με την τάση που εφαρμόζεται σε αυτόν, αλλά η θέση του χαρακτηρίζεται από κάποια τιμή ταχύτητας και όχι κάποια τιμή τάσης. Άρα λέμε ότι το ταχύμετρο βαθμονομείται ως προς την ταχύτητα.

Νεκρή ζώνη

Όταν οι προδιαγραφές αναφέρονται σε μία νεκρή ζώνη (dead-zone, dead-band), αυτή δηλώνει το μέγιστο ποσό αλλαγής της μετρούμενης ποσότητας που δεν προκαλεί αλλαγή στην έξοδο, ή αλλιώς το εύρος τιμών εισόδου που δεν προκαλεί εμφάνιση κάποιας εξόδου. Οι νεκρές ζώνες προκύπτουν λόγω στατικής τριβής ή υστέρησης (που θα εξηγηθεί στη συνέχεια). Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει νεκρή ζώνη καθ' όλο το εύρος ενός οργάνου και συχνά οι υπολογίσιμες νεκρές ζώνες εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Ένα κοινό παράδειγμα νεκρής ζώνης υπάρχει στο διακόπτη ρύθμισης της έντασης ενός οικιακού φωτιστικού σώματος. Συχνά, όταν ο διακόπτης μεταφέρεται στην τιμή μηδέν και στη συνέχεια στραφεί για να ξεκινήσει ο φωτισμός, δεν υπάρχει άμεση απόκριση, δηλαδή η λάμπα δεν φωτίζει αμέσως. Στην περίπτωση αυτή η νεκρή ζώνη εκτείνεται από το σημείο μηδέν έως το σημείο όπου η λάμπα φωτίζει για πρώτη φορά.

Διαστάσεις

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα ή συστήματος μέτρησης είναι το μέτρο του φυσικού του μεγέθους και αναγράφονται σχεδόν πάντοτε στις προδιαγραφές του.

Ολίσθηση

Ολίσθηση (drift) ονομάζεται η φυσική τάση μίας συσκευής ή συστήματος να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του με το χρόνο και λόγω περιβαλλοντικών μεταβολών. Εμφανίζεται τότε μεταβολή στην έξοδο που παρέχει το σύστημα, ενώ η είσοδος παραμένει αμετάβλητη, και έτσι επηρεάζεται η ακρίβεια. Η ολίσθηση λαμβάνει χώρα σε διάφορες χρονικές κλίμακες και για διάφορους λόγους. Ένα από τα πιο συνηθισμένα αλλά και σημαντικά αίτια ολίσθησης είναι η αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό στις προδιαγραφές των αισθητήρων αναφέρεται η επίδραση της θερμοκρασίας στα διάφορα χαρακτηριστικά της συσκευής. Σε μία παλαιότερη συσκευή μπορεί να εμφανιστεί επιπρόσθετη ολίσθηση λόγω γήρανσης των υλικών κατασκευής, όπως είναι η οξειδωση κάποιων μεταλλικών μερών της. Ολίσθηση μπορεί επίσης να προκληθεί από μηχανική διάβρωση ή ιδιοθέρμανση κάποιων τμημάτων της συσκευής.

Σφάλμα

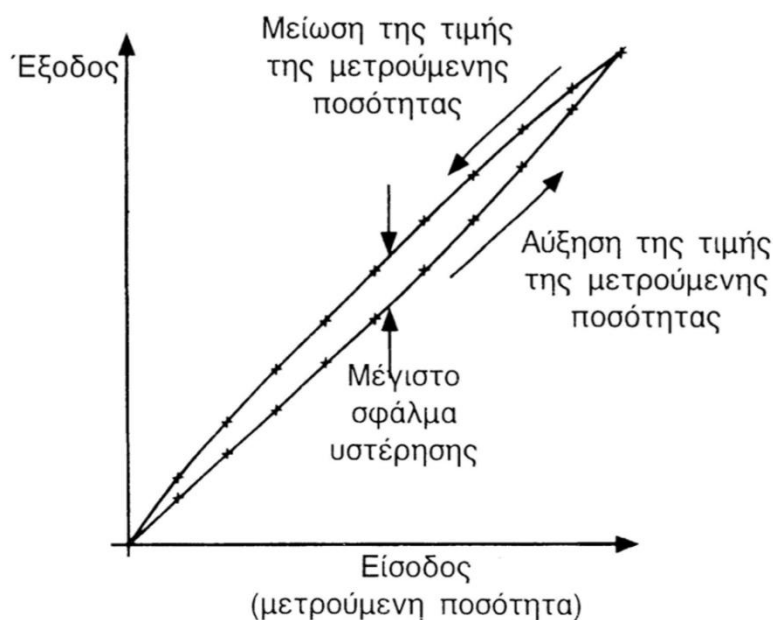
Το σφάλμα ισούται με τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και την πραγματική τιμή μίας ποσότητας. Για παράδειγμα, ένας χάρακας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση

του πλάτους της σελίδας ενός βιβλίου, και αυτό βρίσκεται ίσο, π.χ. με 210.5 mm. Εντούτοις, το πραγματικό μέγεθος της σελίδας είναι 209.9 mm, και επομένως η μέτρηση έχει σφάλμα ίσο με $210.5 \text{ mm} - 209.9 \text{ mm} = 0.6 \text{ mm}$. Τα σφάλματα μπορούν συχνά να εκφράζονται επί τοις εκατό, οπότε τότε αντιπροσωπεύουν την ακρίβεια του συστήματος.

Υστέρηση

Η υστέρηση προκαλεί διαφορές στην έξοδο που δίνει ένας αισθητήρας, όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Με τον τρόπο αυτό παράγεται σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την επίδραση της υστέρησης με τη βοήθεια μίας γραφικής παράστασης. Η είσοδος του αισθητήρα, δηλαδή η μετρούμενη ποσότητα, αυξάνει με σταθερό βήμα. Όταν φτάσει τη μέγιστη δυνατή τιμή, μειώνεται με το ίδιο σταθερό βήμα έως ότου λάβει ξανά την τιμή μηδέν. Η γραφική παράσταση δείχνει τη διαφορά που υπάρχει στην έξοδο του αισθητήρα όταν η μετρούμενη ποσότητα αυξάνει ή μειώνεται. Αυτό το γεγονός ονομάζεται υστέρηση (hysteresis) του συστήματος.

Δεν εμφανίζουν υστέρηση όλοι οι αισθητήρες και τα συστήματα μέτρησης. Η υστέρηση προκαλείται από διάφορους παράγοντες, ειδικότερα τη μηχανική τάση και την τριβή. Η χαλάρωση των συστημάτων γραναζιών και ο "τζόγος" σε συστήματα κοχλιών αποτελούν επίσης σημαντικά αίτια. Επομένως τα συστήματα μέτρησης που είναι πιθανό να εμφανίσουν υστέρηση πρέπει να περιέχουν μηχανικά γρανάζια, ρουλεμάν και άλλα κινητά μέρη, τα οποία να τείνουν να είναι ελαστικά, όπως είναι το λάστιχο, τα πλαστικά και κάποια μέταλλα.



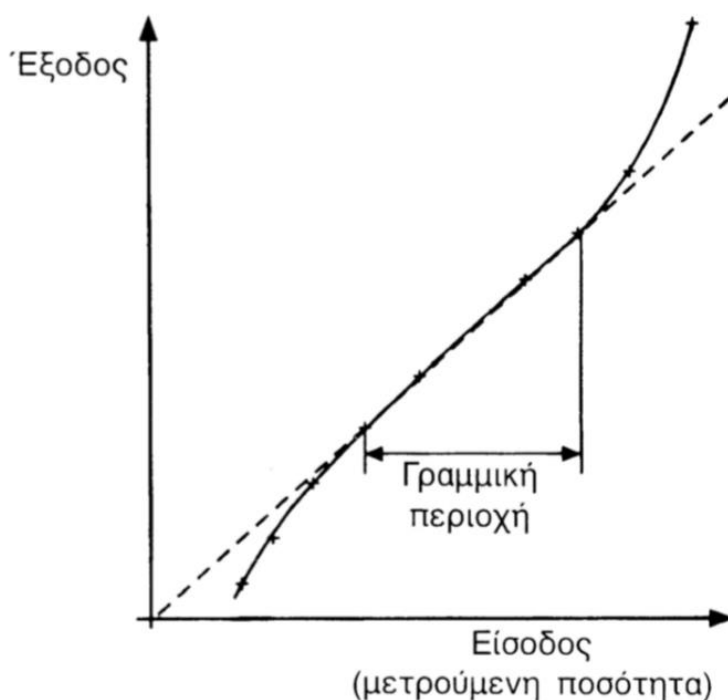
EIKONA 6.3

Καθυστέρηση

Καθυστέρηση (lag) ονομάζεται η καθυστέρηση της αλλαγής της τιμής εξόδου ενός αισθητήρα ως προς την αλλαγή της εισόδου του. Μετριέται σε δευτερόλεπτα (ή συννηθέστερα σε κλάσματα του δευτερολέπτου). Σε μερικές εφαρμογές, όπως είναι ο έλεγχος, η καθυστέρηση μπορεί να επηρεάζει αποφασιστικά την απόδοση.

Γραμμικότητα

Η γραμμικότητα (linearity) ενός αισθητήρα αποτελεί το βαθμό, στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός σε μία περιοχή τιμών εισόδου, όπως εικονίζεται παρακάτω. Επίσης, η γραμμικότητα μπορεί να εκφράζεται ως προς το μέγιστο βαθμό απόκλισης από την ευθεία γραμμή, σε όλο το εύρος τιμών εισόδου, και τότε αναφέρεται ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας



ΕΙΚΟΝΑ 6.4

Χρόνος λειτουργίας

Ο ωφέλιμος χρόνος λειτουργίας (operating life) ενός αισθητήρα αποτελεί ένδειξη του χρόνου, κατά τον οποίο αυτός αναμένεται να λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του. Εκφράζεται σε μονάδες χρόνου ή με τον αριθμό των λειτουργιών ή κύκλων λειτουργίας που μπορεί να διεκπεραιώσει με επιτυχία.

Επαναληψιμότητα

Η επαναληψιμότητα μίας συσκευής είναι ο βαθμός στον οποίο αυτή παράγει το ίδιο αποτέλεσμα όταν, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, τροφοδοτείται με ακριβώς την ίδια είσοδο. Στα αγγλικά αποδίδεται με τη λέξη precision, η οποία συχνά συγχέεται με την καθημερινή έννοια της ακρίβειας (accuracy). Εντούτοις, στην ορολογία των συστημάτων μέτρησης, ένας αισθητήρας μπορεί να έχει υψηλή επαναληψιμότητα, και να δίνει παρόμοια έξοδο όταν μετρά πολλές φορές μία συγκεκριμένη είσοδο, αλλά, εάν υπάρχει σημαντικό σφάλμα στην έξοδο, τότε η έξοδος δεν είναι ακριβής. Στις προδιαγραφές των συσκευών η επαναληψιμότητα ορίζεται με γενικούς όρους (όπως ότι το όργανο διαθέτει υψηλή ακρίβεια, high-precision), αλλά και με τους ειδικούς όρους repeatability και reproducibility. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι υπάρχουν διάφοροι ορισμοί της επαναληψιμότητας. Εντούτοις, σε κάποιες προδιαγραφές ή άλλα κείμενα, η επαναληψιμότητα μπορεί να αναφέρεται ως διακριτική ικανότητα (resolution). Η επαναληψιμότητα εκφράζεται ως ένα (\pm) μέγιστο ποσοστό επί της ένδειξης, ή ως τα όρια ακρίβειας (\pm) κάθε ένδειξης.

Εύρος

Το εύρος λειτουργίας (operating range) μίας συσκευής ισούται με τα όρια, στα οποία μπορεί η συσκευή να λειτουργεί αξιόπιστα. Το εύρος λειτουργίας ενός αισθητήρα εκφράζεται συνήθως με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που είναι ικανός να μετρά. Άλλες έννοιες του εύρους που αναγράφονται συχνά στις προδιαγραφές είναι το θερμοκρασιακό εύρος, δηλαδή η περιοχή θερμοκρασιών στην οποία μπορεί να λειτουργεί ο αισθητήρας. Συχνά αναφέρονται επίσης το εύρος τιμών πίεσης και το εύρος τιμών υγρασίας. Είναι σημαντικό ο αισθητήρας να εμπίπτει στο εύρος λειτουργίας που καθορίζεται, ώστε όχι μόνο να εκτελεί σωστές μετρήσεις, αλλά και για να μην καταστραφούν ή αλλοιωθούν κάποια ευαίσθητα τμήματα του, και κατ' επέκταση να μην αποτελέσει εν δυνάμει κίνδυνο για την υγεία και ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται κοντά του.

Ονομαστική τιμή

Η ονομαστική τιμή (rating) μίας συσκευής αποτελεί το σύνολο των βέλτιστων συνθηκών, ηλεκτρικών, μηχανικών κ.ά., υπό τις οποίες αυτή θα λειτουργεί με επιτυχία και ασφάλεια. Συνήθως δίνεται μία περιγραφή των ονομαστικών τιμών, όπως είναι η μέγιστη τιμή θερμοκρασίας και η μέση τιμή φόρτισης.

Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία (reliability) μίας συσκευής είναι συγγενής έννοια με το χρόνο λειτουργίας της, και συχνά μπορεί να αναφέρεται αντί για αυτόν, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Η αξιοπιστία είναι η ικανότητα της συσκευής να λειτουργεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες για μία δεδομένη χρονική περίοδο ή ένα δεδομένο αριθμό κύκλων λειτουργίας, παραμένοντας πάντοτε στα πλαίσια των προδιαγραφών.

Απόκριση

Η απόκριση (response) μίας συσκευής ισούται με το χρόνο που απαιτεί για να λάβει την τελική τιμή εξόδου της για μία δεδομένη είσοδο. Μπορεί να εκφραστεί σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου, ή κάποιες φορές ως ποσοστό επί της τελικής τιμής εξόδου. Για παράδειγμα, εάν οι προδιαγραφές ορίζουν ότι ο χρόνος απόκρισης 95% είναι 3 sec, αυτό σημαίνει ότι η συσκευή χρειάζεται 3 sec για να λάβει η έξοδος της το 95% της τελικής τιμής.

Διακριτική ικανότητα

Η διακριτική ικανότητα (resolution) με την οποία μία συσκευή ή ένας αισθητήρας ανιχνεύει ή εμφανίζει μία τιμή, αναφέρεται στην μικρότερη είσοδο ή αλλαγή εισόδου που μπορεί αυτός να ανιχνεύσει. Εκφράζεται συνήθως ως προς το μικρότερο διάστημα που μπορεί να ανιχνευθεί ή μετρηθεί. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα ενός ενδείκτη, τόσο μικρότερο είναι το βήμα που μπορεί ο αισθητήρας να μετρήσει. Για παράδειγμα, ένας ψηφιακός ενδείκτης πέντε ψηφίων μπορεί να εμφανίσει τιμές έως το 0.00001 της μονάδας μέτρησης, και έχει μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα από έναν ενδείκτη τεσσάρων ψηφίων, η οποία μπορεί να εμφανίσει ενδείξεις έως το 0.0001 της μονάδας μέτρησης. Συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό.

Ευαισθησία

Η ευαισθησία (sensitivity) εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή της εξόδου και την αντίστοιχη αλλαγή της εισόδου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά των τιμών εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών της εισόδου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας. Άρα είναι:

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\text{μέγιστη τιμή εξόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εξόδου}}{\text{μέγιστη τιμή εισόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εισόδου}}$$

EIKONA 6.5

Οι μονάδες στις οποίες μετριέται η ευαισθησία ορίζονται από την παραπάνω εξίσωση και επομένως διαφέρουν, ανάλογα με τη φύση του αισθητήρα και τη μετρούμενη ποσότητα. Για παράδειγμα υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν μικρές αποστάσεις όπου κινείται κάποιο αντικείμενο και παρέχουν τάση. Στην περίπτωση αυτή η ευαισθησία θα εκφράζεται σε volt ανά mm. Εάν η σχέση ανάμεσα στη μετρούμενη ποσότητα και την έξοδο είναι γραμμική, η ευαισθησία μπορεί να εκφράζεται ως προς το όλο εύρος. Εάν δεν είναι γραμμική, τότε η ευαισθησία της συσκευής θα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και θα αναφέρεται ως προς συγκεκριμένες περιοχές τιμών εισόδου.

Ευστάθεια

Η ευστάθεια (stability) αποτελεί το μέτρο της μεταβολής της εξόδου μίας συσκευής, όταν η είσοδος και οι συνθήκες παραμένουν σταθερά, κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης χρονικής περιόδου.

Στατικό σφάλμα

Το στατικό σφάλμα (static error) είναι ένα σταθερό σφάλμα που υπεισέρχεται καθ' όλο το εύρος τιμών εισόδου μίας συσκευής. Εάν αυτό το σφάλμα είναι γνωστό, τότε μπορεί να αντισταθμιστεί χωρίς να υπάρξει υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος.

Ανοχή

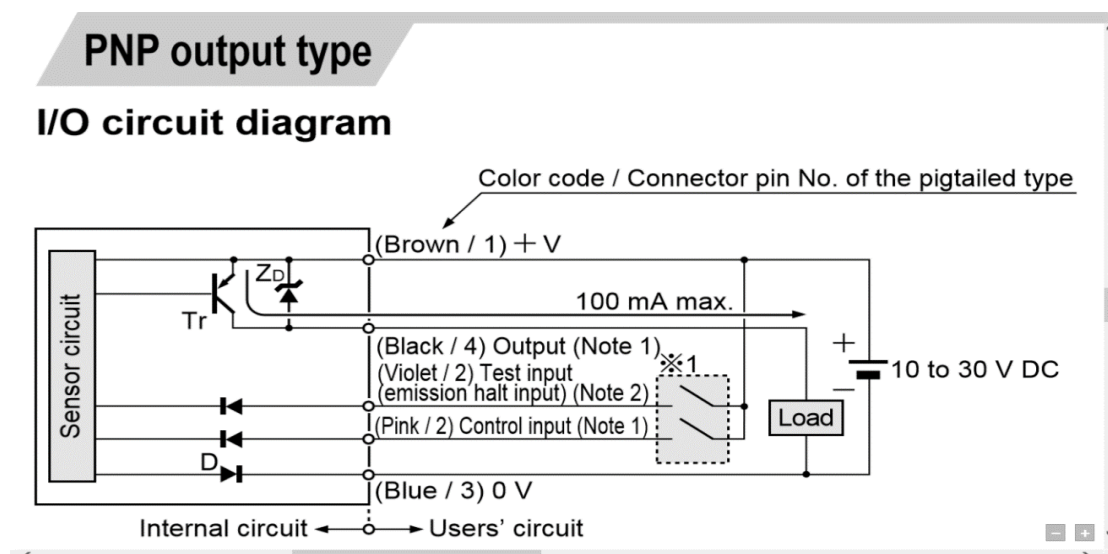
Η ανοχή (tolerance) μίας συσκευής είναι το μέγιστο ποσό σφάλματος που μπορεί να υπάρξει κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Ανάλογα με τη φύση της συσκευής, μπορεί συχνά να αναφέρεται η ανοχή αντί της ακρίβειας στις προδιαγραφές.

(Βιβλιογραφική αναφορά: Εφαρμογές του φαινομένου Hall – Χανιά)

6.2 Περιγραφή των αισθητηρίων της εφαρμογής μας

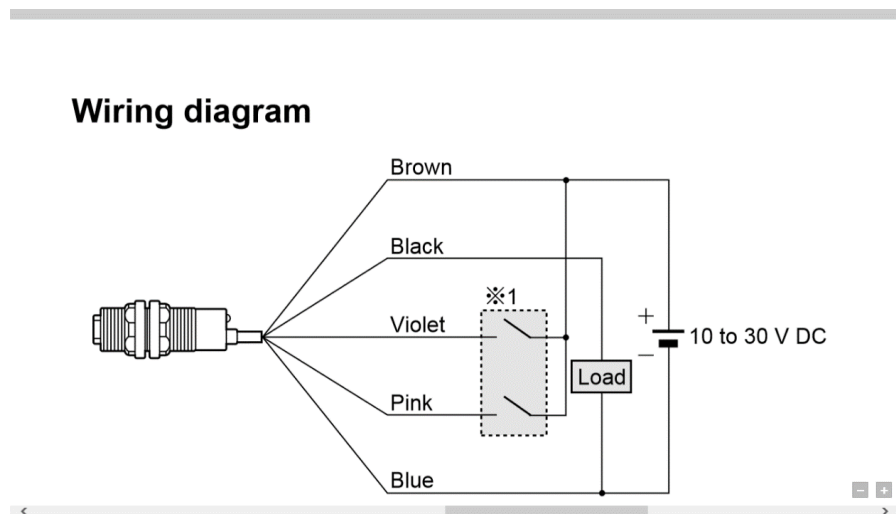
Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιούμε δύο τερματικά και τέσσερις αισθητήρες τύπου PNP 2 μαγνητικούς, δύο φωτοκύτταρα ο ένας με ακτίνα δέσμης και ο δεύτερος με ανάκλαση.

Παρακάτω βλέπουμε το κύκλωμα λειτουργίας:



EIKONA 6.6

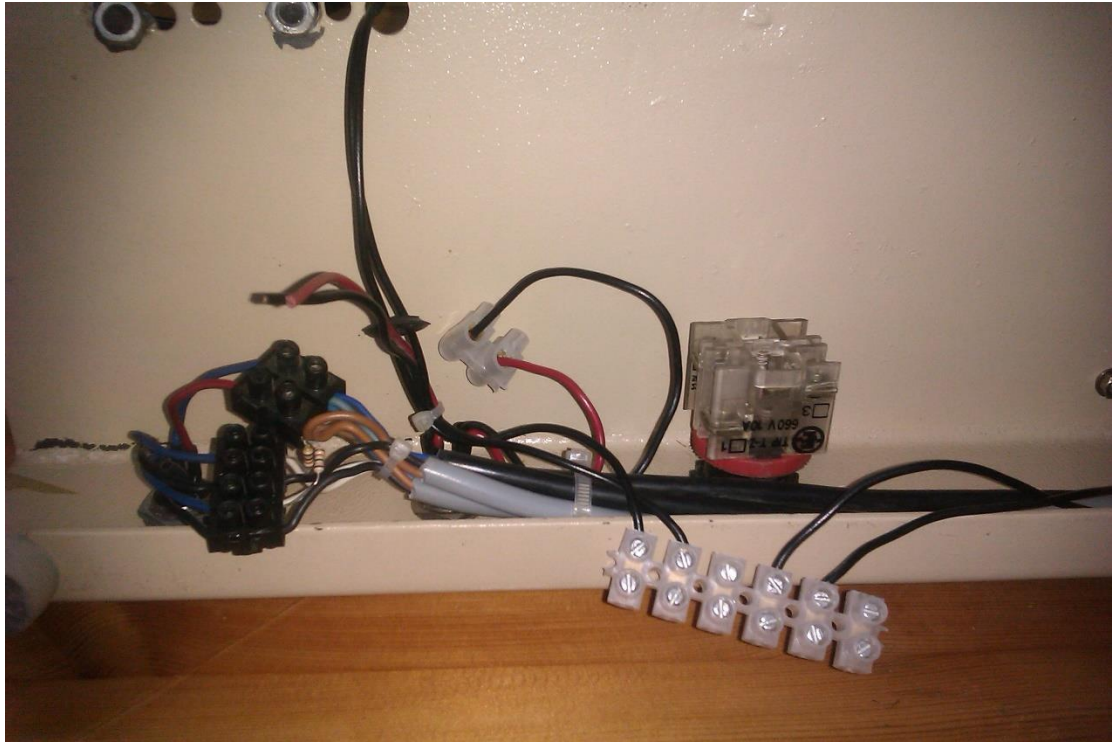
Καθώς και το διάγραμμα καλωδίωσης:



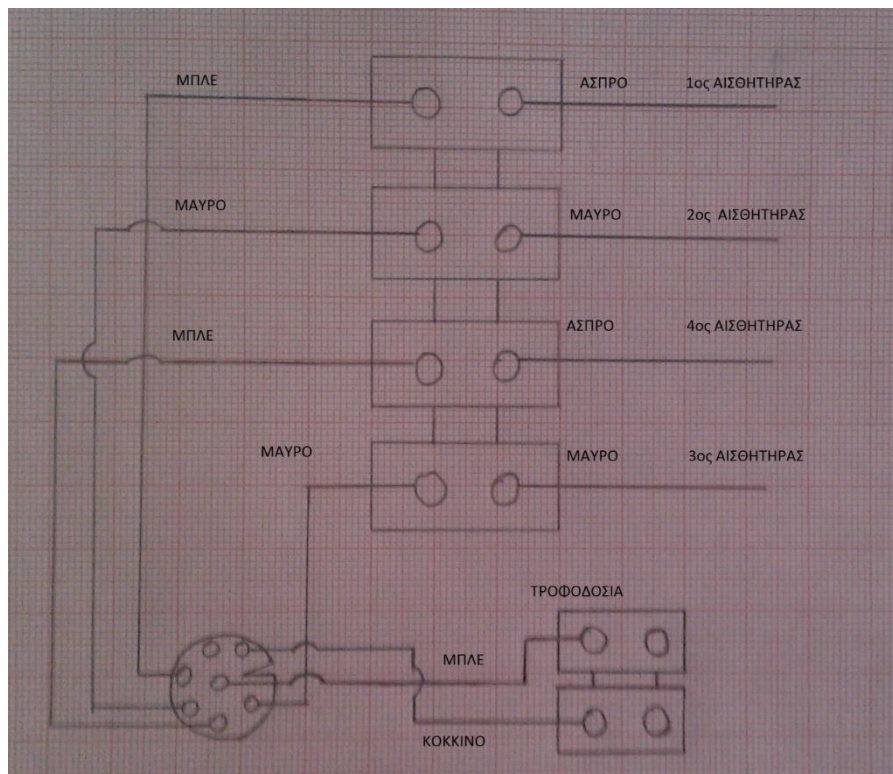
EIKONA 6.7

(Βιβλιογραφική αναφορά: <http://www.clrwtr.com/PDF/SUNX/SUNX-CY-Series-Photoelectric-Sensors.pdf>)

Παρακάτω βλέπουμε την καλωδίωση των αισθητηρίων που πραγματοποιήσαμε μαζί με την τροφοδοσία τους:



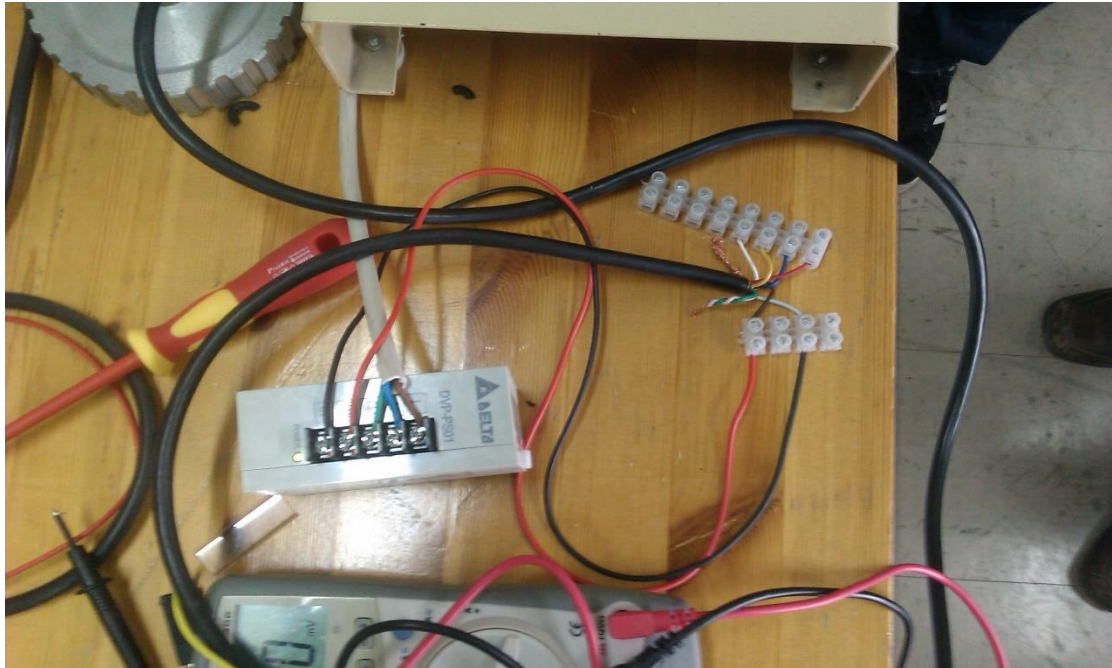
ΕΙΚΟΝΑ 6.8



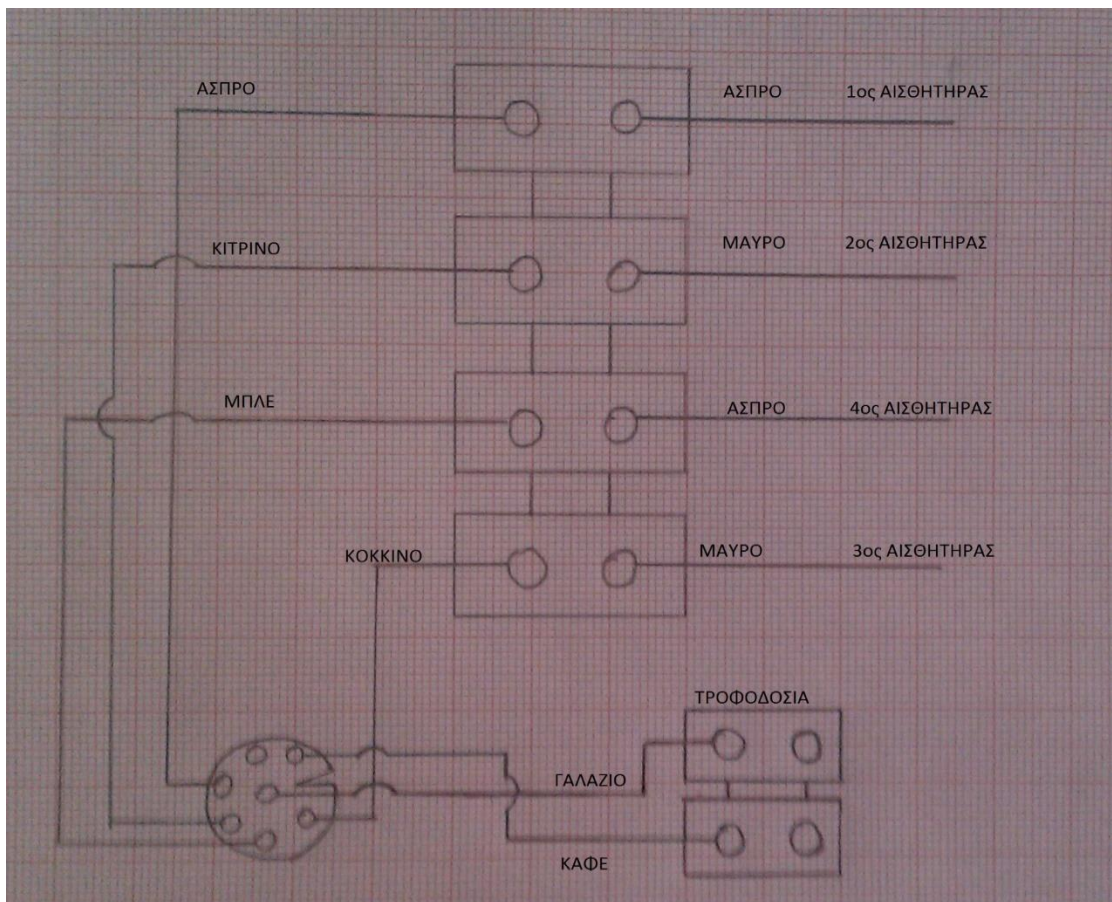
ΕΙΚΟΝΑ 6.9

Ο 1^{ος} και ο 4^{ος} αισθητήρας είναι τα φωτοκύτταρα και ο 2^{ος} και ο 3^{ος} είναι οι μαγνητικοί. Όπως θα δούμε στις εικόνες 6.12 & 6.13.

Στις εικόνες 6.10 & 6.11 βλέπουμε την αντιστοιχία του παραπάνω κυκλώματος με το καλώδιο τροφοδοσίας:



EIKONA 6.10

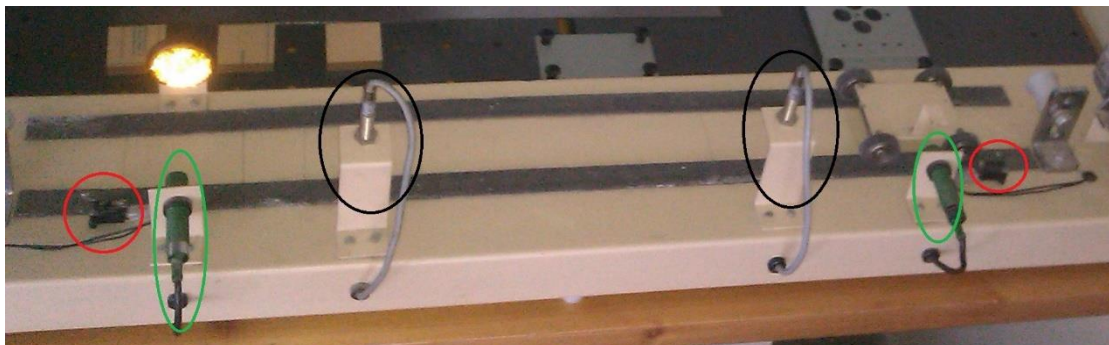


EIKONA 6.11

Στην εικόνα 6.12 βλέπουμε τη διάταξη των αισθητηρίων στον ταινιόδρομο που χρησιμοποιούμε στην εφαρμογή:



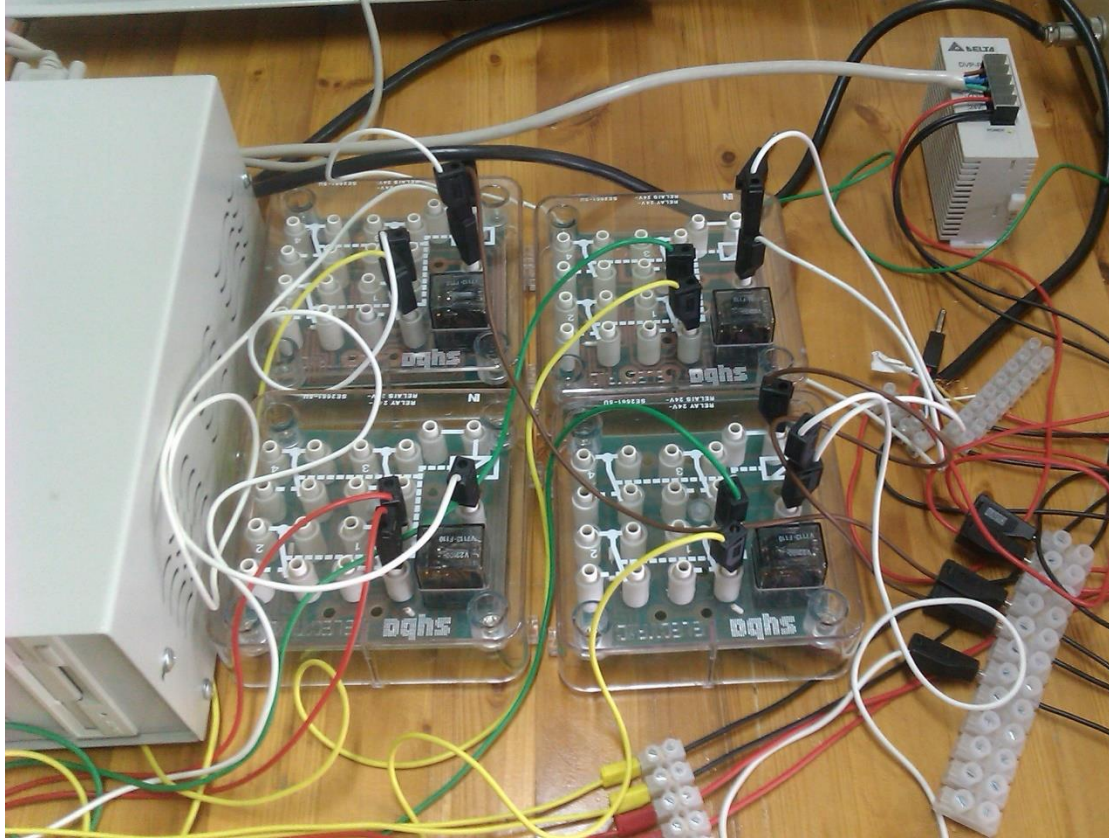
EIKONA 6.12



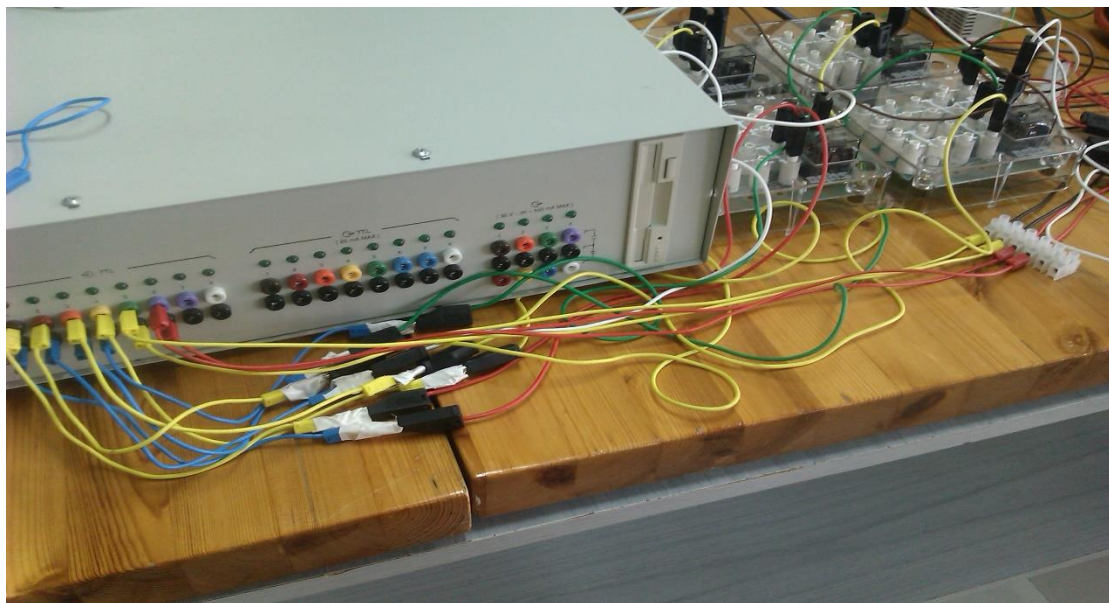
EIKONA 6.13

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 6.13 από δεξιά προς τα αριστερά αριθμούμε τους αισθητήρες από το 1 έως το 4 (δεν περιλαμβάνονται τα τερματικά). Με το κόκκινο χρώμα είναι οι δύο τερματικοί διακόπτες, με το πράσινο βλέπουμε τα δύο φωτοκύτταρα και τέλος με μαύρο χρώμα διακρίνουμε τους μαγνητικούς αισθητήρες.

Στις εικόνες 6.14 και 6.15 βλέπουμε το κύκλωμα που κατασκευάσαμε με τα ρελέ το οποίο μεσολαβεί μεταξύ των αισθητήρων και των εισόδων TTL (4 ρελέ για τους 4 αισθητήρες).



EIKONA 6.14



EIKONA 6.15

Κεφάλαιο 7

Υλοποίηση της Εφαρμογής

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε την εφαρμογή που αναπτύξαμε. Η εφαρμογή εξομοιώνει μια γραμμή παραγωγής με ταινιόδρομο στον οποίο υπάρχουν δυο τερματικές επαφές και τέσσερις αισθητήρες ανίχνευσης κίνησης και αντικειμένων που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι στο πρόγραμμα που αναπτύξαμε. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο ρομποτικός βραχίονας εκτελεί διάφορες διεργασίες που του έχουμε ορίσει εμείς με τη βοήθεια του λογισμικού Robotics.

Οι ρομποτικοί βραχίονες χρησιμοποιούνται στις γραμμές παραγωγής γιατί παρέχουν περισσότερη ακρίβεια, ταχύτητα, ασφάλεια και έχουν τη δυνατότητα να δουλεύουν εικοσιτέσσερις ώρες την ημέρα χωρίς να επηρεάζονται από τον παράγοντα της κούρασης σε σχέση με την ανθρώπινη εργασία αυξάνοντας έτσι την παραγωγή. Αναλύουμε την εφαρμογή σε κάθε φάση με φωτογραφίες και παρουσιάζουμε το πρόγραμμα με γραμμές εντολών. Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέτουμε τα συμπεράσματά μας.

7.2 Περιγραφή του προγράμματος

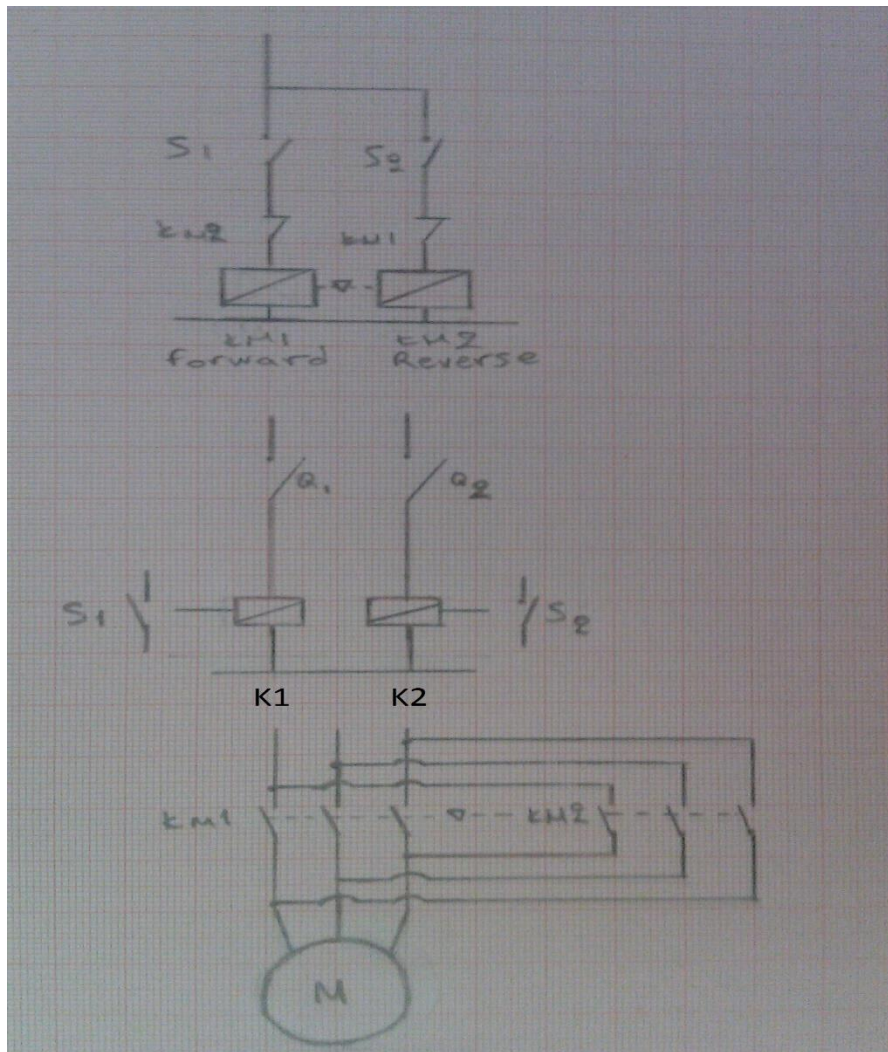
Όταν το καρτ ξεκινήσει και φτάσει στον πρώτο αισθητήρα ο ρομποτικός βραχίονας θα τοποθετήσει πάνω του ένα φορτίο. Όταν αυτό φτάσει στο δεύτερο αισθητήρα ο ρομποτικός βραχίονας θα πάρει το φορτίο από το καρτ και θα το τοποθετήσει σε έναν κοντέινερ. Στη συνέχεια θα τοποθετήσει ένα νέο φορτίο πάνω στο καρτ. Η διαδικασία θα συνεχιστεί έως ότου το καρτ να φτάσει στο τέλος του ταινιόδρομου όπου εκεί ο ρομποτικός βραχίονας θα πάρει το κοντέινερ και θα το τοποθετήσει σε μια παλέτα εκφόρτωσης. Ταυτόχρονα το καρτ θα επιστρέψει στην αρχική του θέση για να συνεχιστεί η παραγωγή.

Τα βήματα αναλυτικά είναι τα εξής:

1. Το καρτ ξεκινάει
2. Το καρτ φτάνει στον πρώτο αισθητήρα και σταματάει
3. Ο βραχίονας παίρνει το πρώτο φορτίο και το τοποθετεί στο καρτ
4. Το καρτ ξεκινάει
5. Το καρτ φτάνει στο δεύτερο αισθητήρα και σταματάει
6. Ο βραχίονας παίρνει το πρώτο φορτίο από το καρτ
7. Ο βραχίονας τοποθετεί το πρώτο φορτίο στο κοντέινερ
8. Ο βραχίονας παίρνει το δεύτερο φορτίο και το τοποθετεί στο καρτ
9. Το καρτ ξεκινάει
10. Το καρτ φτάνει στο τρίτο αισθητήρα και σταματάει
11. Ο βραχίονας παίρνει το δεύτερο φορτίο από το καρτ
12. Ο βραχίονας τοποθετεί το δεύτερο φορτίο στο κοντέινερ
13. Ο βραχίονας παίρνει το τρίτο φορτίο και το τοποθετεί στο καρτ
14. Το καρτ ξεκινάει
15. Το καρτ φτάνει στο τέταρτο αισθητήρα και σταματάει

16. Ο βραχίονας παίρνει το τρίτο φορτίο
17. Ο βραχίονας τοποθετεί το τρίτο φορτίο στο κοντέινερ
18. Το καρτ ξεκινάει
19. Το καρτ φτάνει στον ένα τερματικό διακόπτη και σταματάει
20. Ο βραχίονας παίρνει το κοντέινερ
21. Ο βραχίονας τοποθετεί το κοντέινερ στην παλέτα εκφόρτωσης
22. Ο βραχίονας γυρίζει σε μια αρχική θέση
23. Το καρτ ξεκινάει προς τα δεξιά και σταματά όταν φτάσει τον άλλο τερματικό

Η εκκίνηση και η στάση του καρτ καθώς και η αλλαγή της φοράς της κίνησης του δίνεται από δύο ρελέ. Το ρελέ KM1 δίνει την κίνηση προς τα αριστερά και το ρελέ KM2 προς τα δεξιά. Παρακάτω βλέπουμε το κύκλωμα που σχεδιάσαμε.



EIKONA 7.1

Η επαφή Q1 κλείνει και ενεργοποιεί το βοηθητικό ρελέ K1, τότε η επαφή S1 κλείνει και το KM1 ενεργοποιείται, το καρτ κινείται προς τα αριστερά. Όταν η επαφή Q1 ανοίξει τότε το βοηθητικό ρελέ K1 απενεργοποιείται και η επαφή S1 ανοίγει, το KM1 απενεργοποιείται και αυτό με αποτέλεσμα το καρτ να σταματά. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με την επαφή Q2 ώστε να δώσει την κίνηση του καρτ προς τα δεξιά. Τέλος βλέπουμε και το κύκλωμα του τριφασικού κινητήρα και το πώς γίνεται η αλλαγή της φοράς περιστροφής.

7.3 Πρόγραμμα γραμμών εντολών

Όλες οι εντολές που θα δούμε στο πρόγραμμα που ακολουθεί έχει αναλυθεί η σύνταξή τους και η σημασία τους στο κεφάλαιο 5.

Πρόγραμμα:

001: SPEED 30

(Η ταχύτητα ρυθμίζεται στο 30)

002: MOVETO SOFTHOME

(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

003: RELAY(1) CLOSE

(Το καρτ ξεκινάει)

004: IF INPUT(1)=HIGH

(Ελέγχει αν στέλνεται σήμα από την είσοδο TTL1 ότι το καρτ βρίσκεται στον 1^ο αισθητήρα)

005: RELAY(1) OPEN

(Το καρτ σταματάει)

006: MOVETO POINT1

(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

007: GRIPOPEN

(Ανοίγει η αρπαγή)

008: MOVETO PLEX1

(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

009: GRIPCLOSE

(Κλείνει η αρπαγή)

0010: MOVETO POINT1

(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

0011: MOVETO SOFTHOME

(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

- 0012: MOVETO CART1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0013: MOVETO CART1.1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0014: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)
- 0015: MOVETO CART1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0016: RELAY(1) CLOSE
(Το καρτ ξεκινάει)
- 0017: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0018: ENDIF
(Τέλος εάν)
- 0019: IF INPUT(2)= HIGH
(Ελέγχει αν στέλνεται σήμα από την είσοδο TTL2 ότι το καρτ βρίσκεται στον 2^ο αισθητήρα)
- 0020: RELAY(1) OPEN
(Το καρτ σταματάει)
- 0021: MOVETO CART2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0022: MOVETO CART2.1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0023: GRIPCLOSE
(Κλείνει η αρπαγή)
- 0024: MOVETO CART2

- (Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0025: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0026: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0027: MOVETO BOX
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0028: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)
- 0029: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0030: MOVETO POINT1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0031: MOVETO PLEX2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0032: GRIPCLOSE
(Κλείνει η αρπαγή)
- 0033: MOVETO POINT1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0034: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0035: MOVETO CART2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0036: MOVETO CART2.1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0037: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)

- 0038: MOVETO CART2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0039: RELAY(1) CLOSE
(Το καρτ ξεκινάει)
- 0040: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0041: ENDIF
(Τέλος εάν)
- 0042: IF INPUT(3)=HIGH
(Ελέγχει αν στέλνεται σήμα από την είσοδο TTL3 ότι το καρτ βρίσκεται στον 3^ο αισθητήρα)
- 0043: RELAY(1) OPEN
(Το καρτ σταματάει)
- 0044: MOVETO CART3
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0045: MOVETO CART3.1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0046: GRIPCLOSE
(Κλείνει η αρπαγή)
- 0047: MOVETO CART3
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0048: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0049: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0050: MOVETO BOX
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

- 0051: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)
- 0052: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0053: MOVETO POINT1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0054: MOVETO PLEX3
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0055: GRIPCLOSE
(Κλείνει η αρπαγή)
- 0056: MOVETO POINT1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0057: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0058: MOVETO CART3
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0059: MOVETO CART3.1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0060: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)
- 0061: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0062: RELAY(1) CLOSE
(Το καρτ ξεκινάει)
- 0063: ENDIF
(Τέλος εάν)
- 0064: IF INPUT(4)= HIGH

(Ελέγχει αν στέλνεται σήμα από την είσοδο TTL4 ότι το καρτ βρίσκεται στον 4^ο αισθητήρα)

- 0065: RELAY(1) OPEN
(Το καρτ σταματάει)
- 0066: MOVETO CART4.2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0067: MOVETO CART4.1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0068: GRIPCLOSE
(Κλείνει η αρπαγή)
- 0069: MOVETO CART4.2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0070: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0071: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0072: MOVETO BOX
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0073: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)
- 0074: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0075: RELAY(1) CLOSE
(Το καρτ ξεκινάει)
- 0076: ENDIF
(Τέλος εάν)
- 0077: IF INPUT(5)=HIGH

(Ελέγχει αν στέλνεται σήμα από την είσοδο TTL5 ότι το καρτ βρίσκεται στον τερματικό διακόπτη)

- 0078: RELAY(1) OPEN
(Το καρτ σταματάει)
- 0079: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0080: MOVETO BOX1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0081: GRIPCLOSE
(Κλείνει η αρπαγή)
- 0082: MOVETO BOX2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0083: MOVETO SAFEPOINT
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0084: MOVETO SOFTHOME
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0085: MOVETO PLATE1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0086: MOVETO PLATE2
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0087: MOVETO PLATE4
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0088: GRIPOPEN
(Ανοίγει η αρπαγή)
- 0089: MOVETO PLATE1
(Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)
- 0090: RELAY(2) CLOSE

(Το καρτ ξεκινάει κίνηση προς την αντίθετη κατεύθυνση)

0091: MOVETO SOFTHOME
 (Μετακίνηση στο επιθυμείο σημείο)

0092: ENDIF
 (Τέλος εάν)

0093: IF INPUT(6)=HIGH
 (Ελέγχει αν στέλνεται σήμα από την είσοδο TTL6 ότι το καρτ
 βρίσκεται στον τερματικό διακόπτη)

0094: RELAY(2) OPEN
 (Το καρτ σταματάει)

0095: ENDIF
 (Τέλος εάν)

0096: RESTART
 (Επανεκκίνηση)

0097: END
 (Τέλος)

7.4 Παρουσίαση της εφαρμογής με τη βοήθεια φωτογραφιών

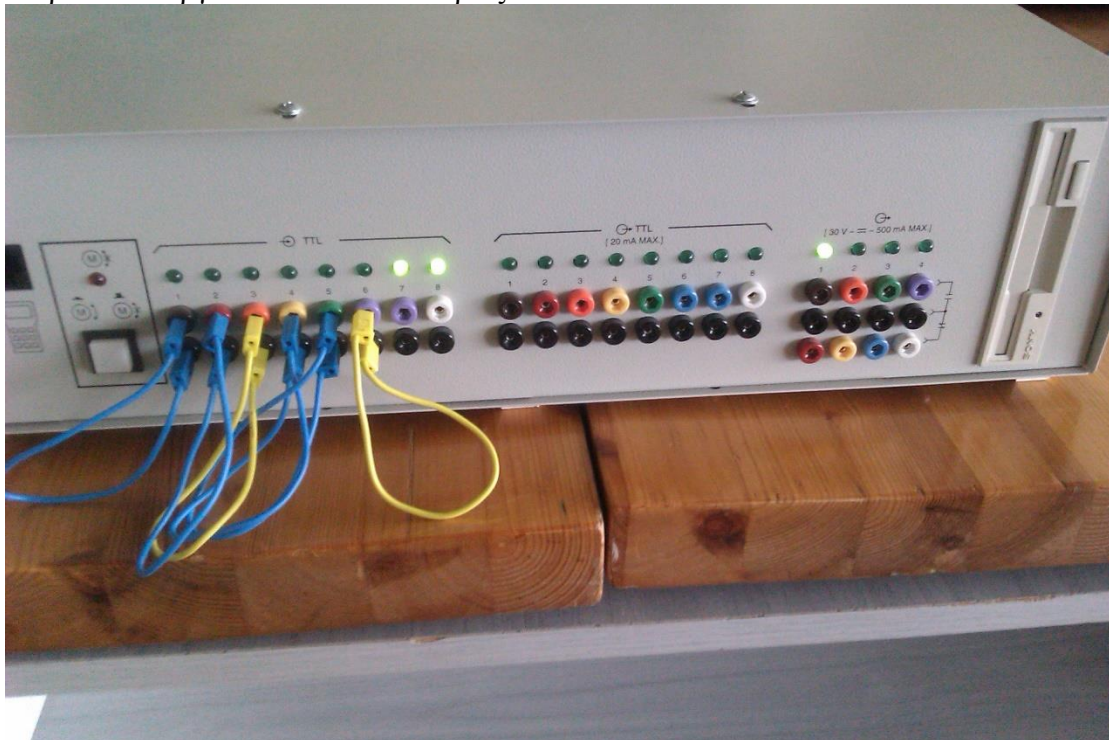
Οι παρακάτω φωτογραφίες τραβήχτηκαν κατά την εκτέλεση της εφαρμογής στο εργαστήριο.

Ο βραχίονας βρίσκεται σε μια αρχική θέση (Soft Home)



EIKONA 7.2

Το ρελέ 1 ενεργοποιείται και το καρτ ξεκινάει



EIKONA 7.3

Το καρτ φτάνει στον 1^ο αισθητήρα και στέλνει σήμα η πρώτη είσοδος TTL1. Το ρελέ 1 απενεργοποιείται και το καρτ σταματά.



EIKONA 7.4

Ο βραχίονας παίρνει το πρώτο φορτίο.



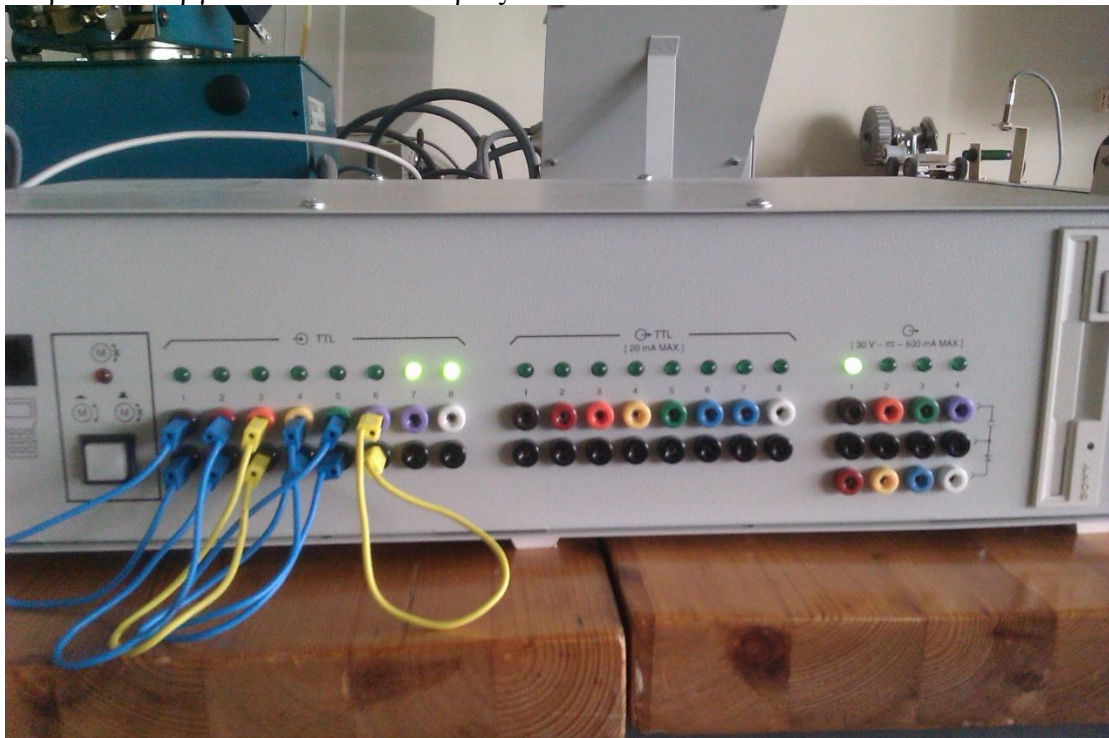
EIKONA 7.5

Ο βραχίονας τοποθετεί το φορτίο στο καρτ.



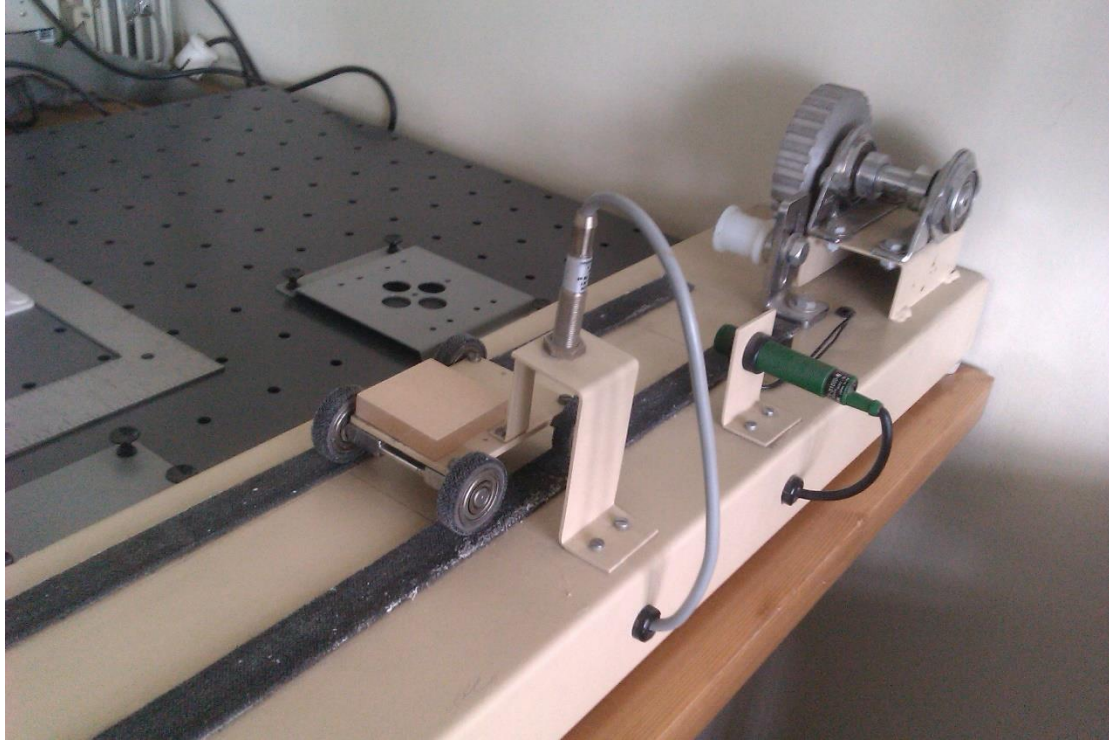
EIKONA 7.6

Το ρελέ 1 ενεργοποιείται και το καρτ ξεκινάει



EIKONA 7.7

Το καρτ φτάνει στον 2^ο αισθητήρα



EIKONA 7.8

Ο οποίος στέλνει σήμα στην είσοδο TTL2. Το ρελέ 1 απενεργοποιείται και το καρτ σταματά.



EIKONA 7.9

Ο βραχίονας παίρνει το φορτίο από το καρτ



EIKONA 7.10

Και το τοποθετεί στο κοντέινερ



EIKONA 7.11



EIKONA 7.12

Στη συνέχεια παίρνει το 2^ο φορτίο



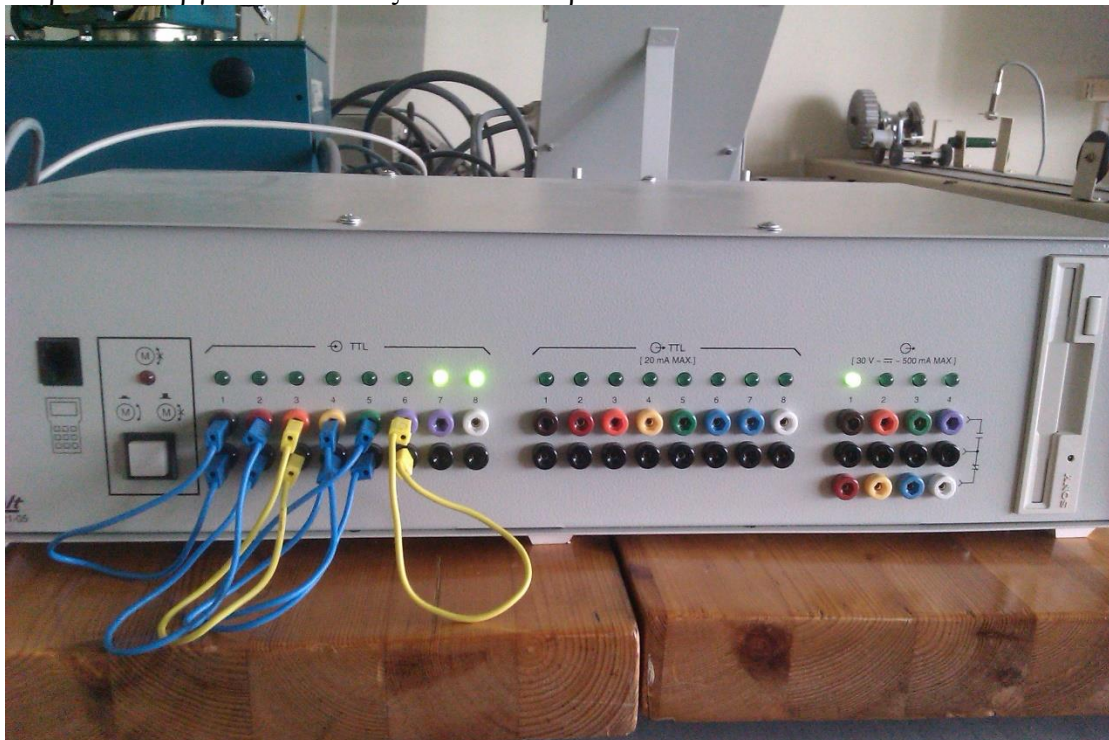
EIKONA 7.13

Και το τοποθετεί στο καρτ

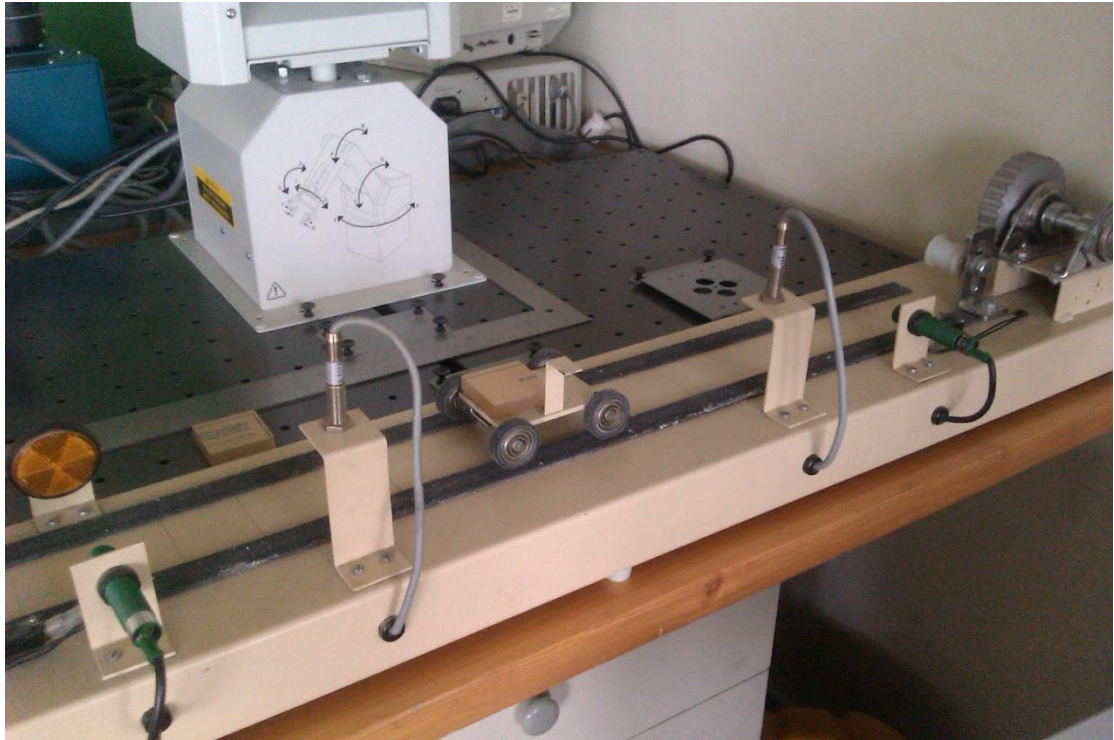


EIKONA 7.14

Το ρελέ 1 ενεργοποιείται και ξεκινάει το καρτ



EIKONA 7.15



EIKONA 7.16

Το καρτ φτάνει στο 3^ο αισθητήρα και αυτός στέλνει σήμα στην είσοδο TTL2. Το ρελέ 1 απενεργοποιείται και το καρτ σταματάει.



EIKONA 7.17

Ο βραχίονας παραλαμβάνει το φορτίο από το καρτ



EIKONA 7.18

Και το τοποθετεί στο κοντέινερ



EIKONA 7.19



EIKONA 7.20

Στη συνέχεια παίρνει το επόμενο φορτίο



EIKONA 7.21

Και το τοποθετεί στο καρτ



EIKONA 7.22

Το ρελέ 1 ενεργοποιείται και το καρτ ξεκινάει



EIKONA 7.23

Το καρτ φτάνει στον τέταρτο αισθητήρα και στέλνει σήμα στην είσοδο TTL4. Το ρελέ 1 απενεργοποιείται και το καρτ σταματά.



EIKONA 7.24



EIKONA 7.25

Ο βραχίονας παίρνει το φορτίο από το καρτ και το τοποθετεί στο κοντέινερ



EIKONA 7.26

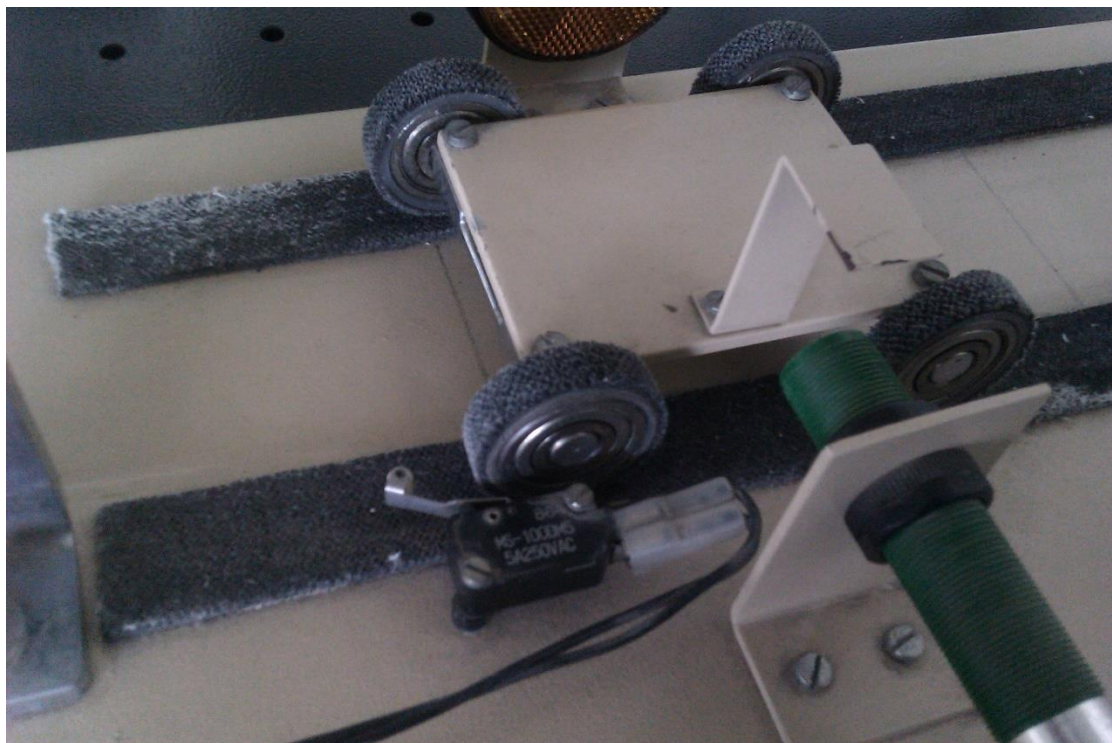


EIKONA 7.27

Το ρελέ 1 ενεργοποιείται και το καρτ ξεκινάει.



EIKONA 7.28

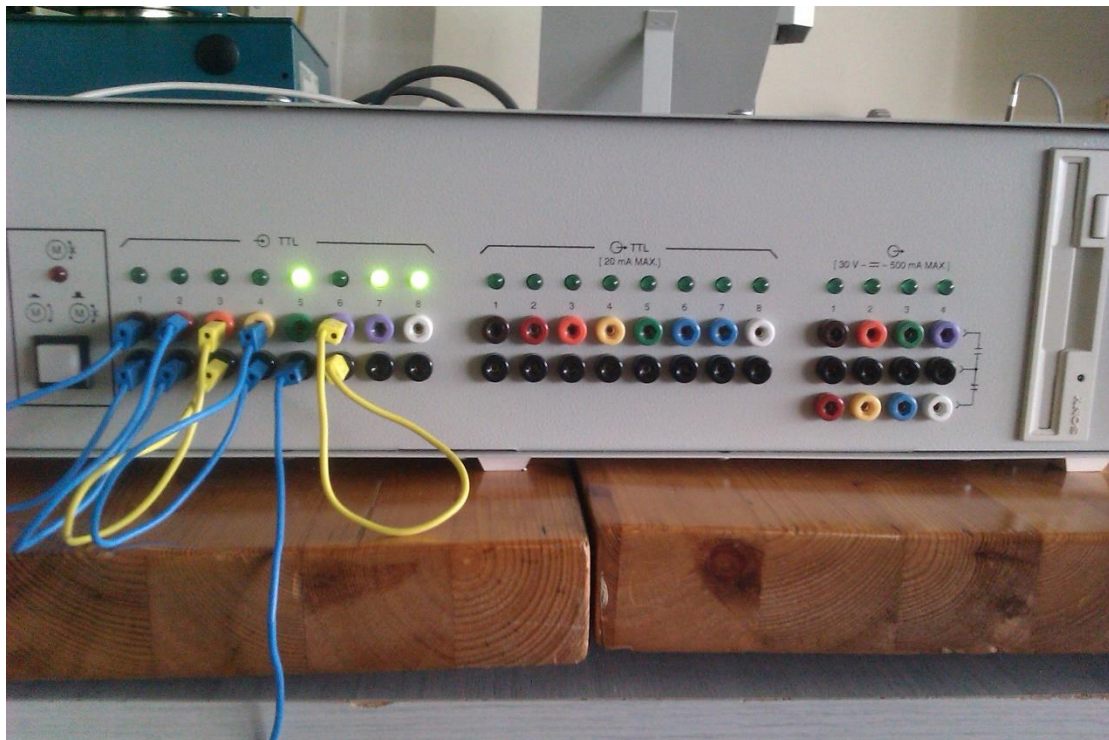


EIKONA 7.29

Το καρτ φτάνει στον τερματικό διακόπτη, αυτός στέλνει σήμα στην είσοδο TTL5 και το ρελέ 1 απενεργοποιείται. Το καρτ σταματά.



EIKONA 7.30



EIKONA 7.31

Ο βραχίονας παραλαμβάνει το κοντέινερ και το μετακινεί στην παλέτα εκφόρτωσης.



EIKONA 7.31

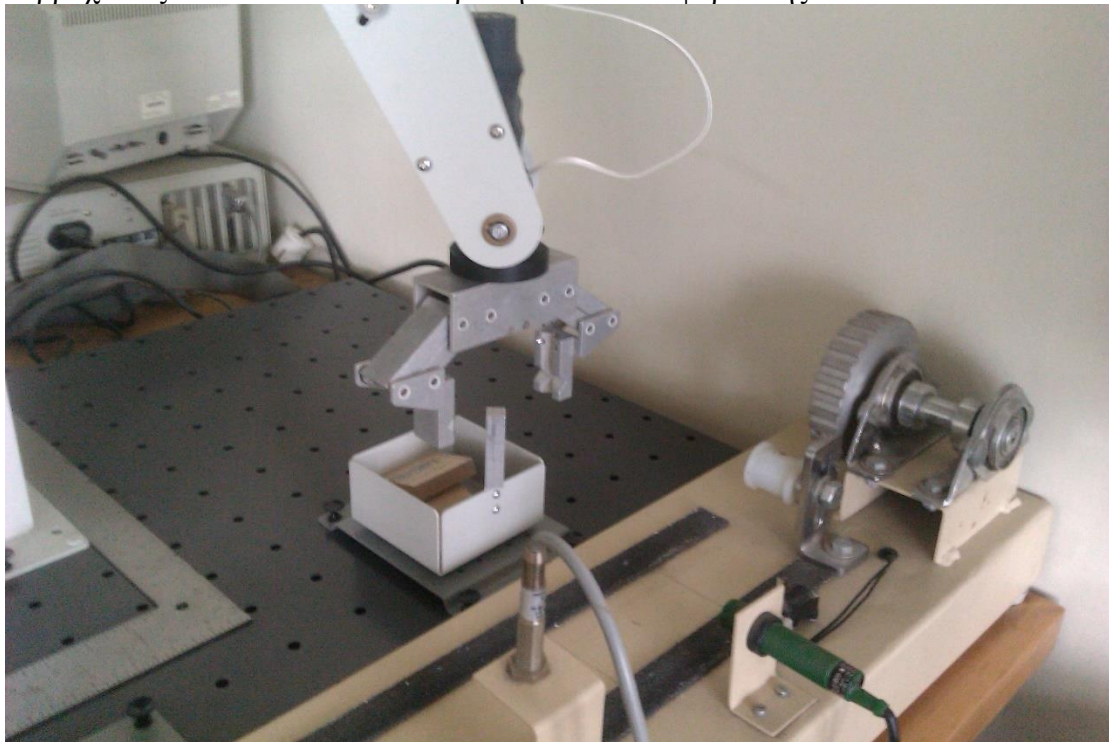


EIKONA 7.32



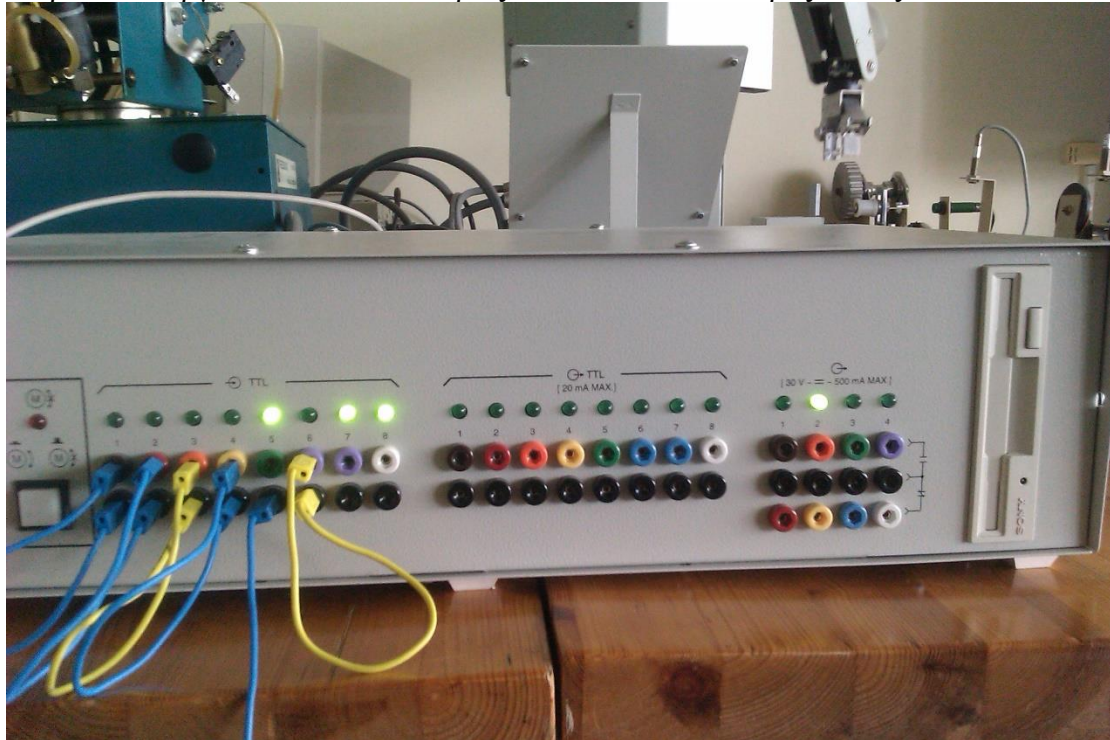
EIKONA 7.33

Ο βραχίονας τοποθετεί το κοντέινερ στην παλέτα εκφόρτωσης.



EIKONA 7.34

Το ρελέ 2 ενεργοποιείται και το καρτ ξεκινάει να κινείται προς τα δεξιά

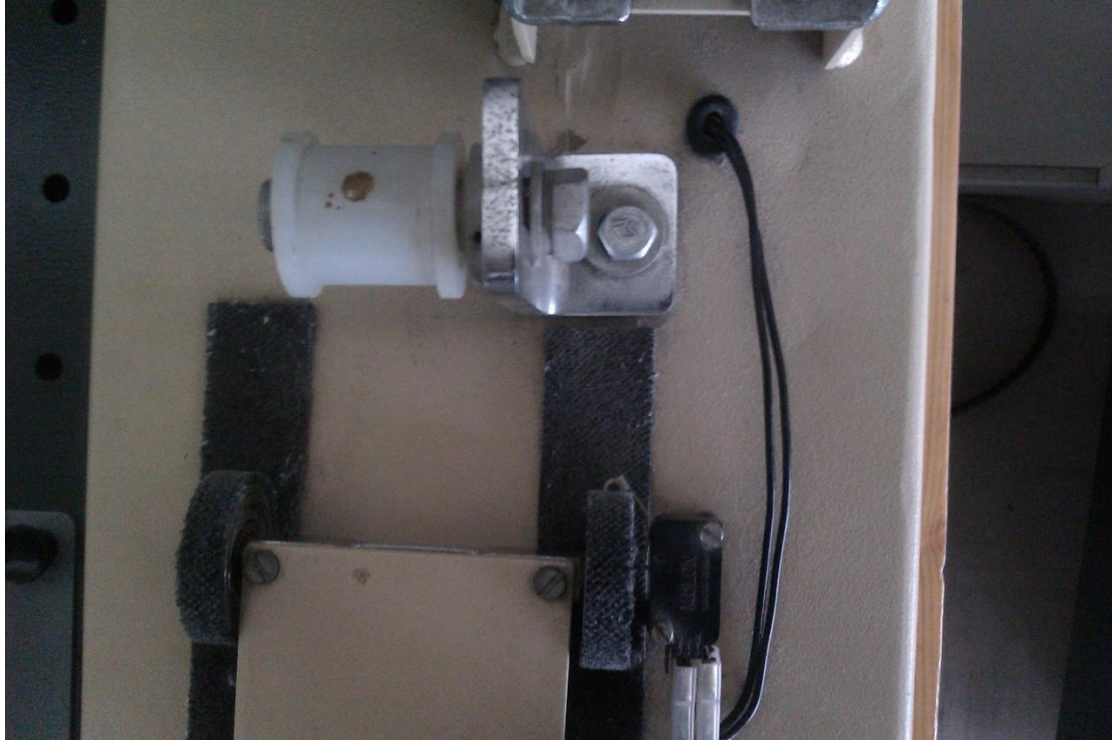


EIKONA 7.35



EIKONA 7.36

Όταν το καρτ φτάσει στον άλλο τερματικό διακόπτη το ρελέ 2 απενεργοποιείται, το καρτ σταματάει. Τότε το ρελέ 1 ενεργοποιείται και η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή.



EIKONA 7.37



EIKONA 7.38

Παράλληλα με την κίνηση του καρτ προς το τερματικό ο βραχίονας επιστρέφει στην αρχική του θέση.



EIKONA 7.39

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη πτυχιακή μας εργασία αποκτήσαμε σημαντικές γνώσεις πάνω στον τομέα της ρομποτικής. Κάναμε μία ιστορική αναδρομή στο πως δημιουργήθηκε η ανάγκη του ανθρώπου για τη χρήση των ρομποτικών συστημάτων, είδαμε την χρήση τους σε διάφορους τομείς από τα παλαιότερα χρόνια μέχρι και σήμερα.

Στις σύγχρονες γραμμές παραγωγής έχει κυριαρχήσει η χρήση της ρομποτικής επιστήμης και συγκεκριμένα οι ρομποτικοί βραχίονες, επιφέροντας πολλά πλεονεκτήματα όπως η αύξηση της παραγωγής επειδή δεν υπάρχει ο παράγοντας της κούρασης, η μείωση των λαθών, οι εργασίες γίνονται πλέον με περισσότερη ακρίβεια. Καταργούνται κάποιες θέσεις εργασίας που υπήρχαν παλαιότερα και έκαναν τη δουλειά που γίνεται τώρα από τα ρομποτικά συστήματα. Όμως από την άλλη αυξάνονται οι θέσεις εργασίας για άλλους τομείς, όπως η συντήρηση των συστημάτων, η επίβλεψη της σωστής λειτουργίας, απαιτείται επίσης εξειδικευμένο προσωπικό για την τροποποίηση των προγραμμάτων που λειτουργούν τους βραχίονες προσαρμόζοντάς τα στις εκάστοτε ανάγκες της παραγωγής ενός προϊόντος. Επίσης με τα ρομποτικά συστήματα μειώνεται ο χρόνος παραγωγής ενός προϊόντος ενώ από την άλλη αυξάνεται το κόστος του προϊόντος. Παρά τα λίγα μειονεκτήματα που υπάρχουν η χρήση των ρομποτικών συστημάτων κρίνεται αναγκαία στη σύγχρονη εποχή που ζούμε.

Συγκεκριμένα ασχοληθήκαμε με το ρομποτικό βραχίονα μαθαίνοντας έτσι τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί καθώς και αποκτήσαμε σημαντικές γνώσεις πάνω στον προγραμματισμό του. Η εφαρμογή που αναπτύξαμε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια πραγματική γραμμή παραγωγής και είναι άμεσα εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε διεργασία για την υλοποίηση ενός προϊόντος, κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις στο ήδη υπάρχον πρόγραμμα και προσαρμόζοντας τα κατάλληλα εργαλεία στην άκρη του βραχίονα. Τέλος παραθέτουμε κάποιες προοπτικές εξέλιξης που θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στη γραμμή παραγωγής μας.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ:

Θα μπορούσαν να υπάρχουν και παραπάνω από ένα ρομποτικοί βραχίονες, οι οποίοι θα επεξεργάζονταν το φορτίο που τοποθετεί ο δικός μας βραχίονας πάνω στη γραμμή. Όπως ένας βραχίονας ο οποίος στη θέση της αρπαγής θα είχε ένα πιστόλι βαφής, κάποιος άλλος ένα πιστόλι συγκόλλησης που όλοι μαζί θα συνεργάζονταν για την ολοκλήρωση κάποιας διαδικασίας. Το καλύτερο παράδειγμα σε αυτό είναι οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ:

1. Servo Robot System Model 5250 (User's manual) (Lab-Volt)
2. Servo Robot System Model 5250 (Student's manual) (Lab-Volt)

ΠΤΥΧΙΑΚΕΣ:

1. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ (ΜΑΡΓΑΡΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ – ΡΕΜΠΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΠΑΤΡΑ 2012)
2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ (ΤΡΙΤΣΩΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΤΕΡΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΧΑΝΙΑ 2012)
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ 6 ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΤΟΥ (ΜΟΥΣΤΑΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011)
4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΣΑΙΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΚΟΖΑΝΗ 2003)
5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΝΟΣΗΛΕΥΤΗ (ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ, ΠΑΤΡΑ 2010)
6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ HALL (ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ, ΧΑΝΙΑ)

ΙΣΤΟΤΟΠΟΣ:

1. <http://www.plant-management.gr/>
2. <http://www.poulakis-urology.com/history>
3. <http://www.clrwtr.com/PDF/SUNX/SUNX-CY-Series-Photoelectric-Sensors.pdf>
4. <http://www.oikade.gr/Children/technology/robot/exereunwntas-to-diastima-me-robot/>
5. <http://1lyk-arsak-ekalis.att.sch.gr/wp-content/uploads/2013/07/%CE%A1%CE%9F%CE%9C%CE%A0%CE%9F%CE%A4-%CE%9A%CE%91%CE%99-%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91.pdf>
6. http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf