



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρ. Μηχ/κών και Μηχ/κών Υπολογιστών
Τομέας Σημάτων, Ελέγχου και Ρομποτικής

ΔΠΜΣ «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

« ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ »

Άσκηση 1. Ρομποτικό Κύτταρο

Υπεύθυνος Εργαστηρίου: Κ. Τζαφέστας

Email: ktzaf@cs.ntua.gr

Web: <https://robotics.ntua.gr/members/ktzaf/>

<https://helios.ntua.gr/course/view.php?id=2805>

Μεταπτυχιακοί Συνεργάτες:

Οικονόμου Παρασκευάς, Email: oikonpar@mail.ntua.gr

Παρατήρηση:

Η Άσκηση 1 θα διεξαχθεί στο χώρο του Εργαστηρίου Ρομποτικής και Αυτοματισμού στο Κτήριο Β (Γενικές Έδρες), 2^{ος} Όροφος, τηλ. 210-7721546.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ & ΜΗΧ/ΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ**

«Εργαστήριο Ρομποτικής»

Άσκηση 1

Ρομποτικό Κύτταρο

Περιεχόμενα

1.1	Εισαγωγή	4
1.2	Ο Ρομποτικός Χειριστής IR52C	6
1.3	Τεχνικές προγραμματισμού του ρομποτικού βραχίονα IR52C και το περιβάλλον προγραμματισμού PSI.....	7
1.3.1	Εισαγωγή	7
1.3.2	Προγραμματισμός του ρομποτικού χειριστή	8
1.3.2.1	Συστήματα συντεταγμένων	8
1.3.2.2	Αρχές κίνησης του ρομποτικού βραχίονα.....	11
1.3.2.3	Τροχιές κίνησης του ρομποτικού βραχίονα.....	13
1.3.2.4	Παράμετροι κίνησης του ρομποτικού βραχίονα	14
1.3.2.5	Στοιχεία ενός προγράμματος κίνησης του ρομποτικού βραχίονα	16
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Σύντομη περιγραφή ρεπερτορίου εντολών PSI.....		20
Βιβλιογραφία :		22

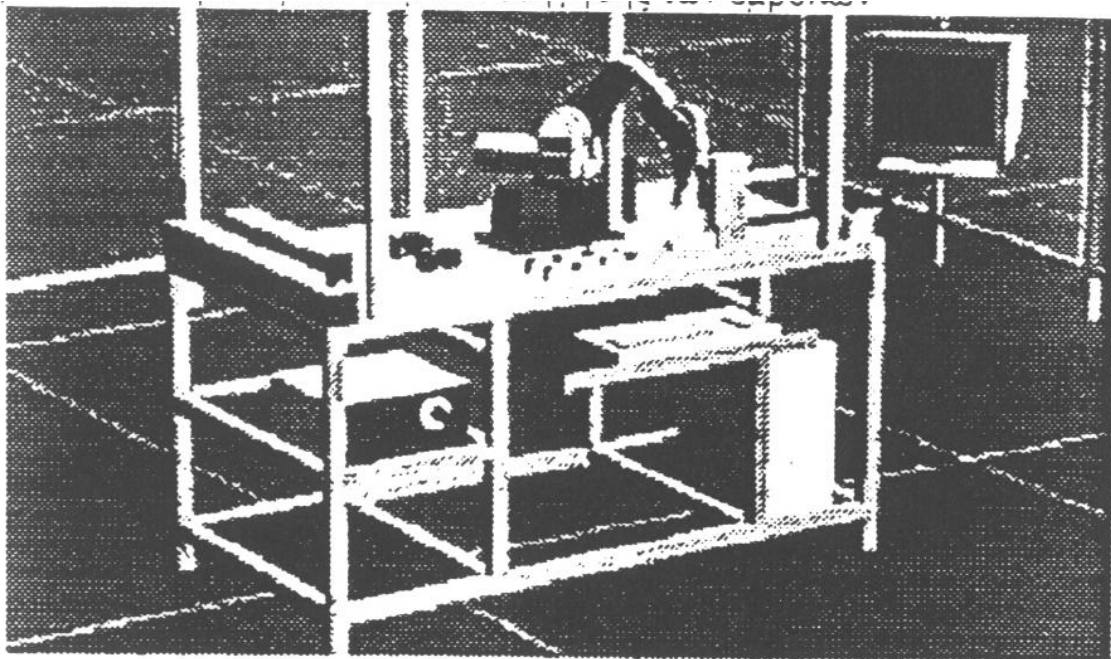
Προγραμματισμός του Αυτόματου Συστήματος Διαλογής Δοκιμίων με την χρήση του Ρομποτικού Χειριστή IR52c

1.1 Εισαγωγή

Η άσκηση αυτή εκτελείται στην εργαστηριακή διάταξη MASH (Modular Educational System for Handling Technology) της εταιρείας EurobTec. Η διάταξη αυτή προσφέρει ένα ευέλικτο προσανατολισμένο στην εκπαίδευση και εργονομικό μέσο διδασκαλίας επικεντρωμένο στην προβληματική φύση της τεχνολογίας των βιομηχανικών διαδικασιών παραγωγής.

Η εργαστηριακή διάταξη (Σχήμα 1.1) περιλαμβάνει

- Αισθητήρες (οπτικούς, επαγωγικούς, χωρητικούς)
- Ηλεκτροπνευματικά έμβολα και βαλβίδες
- Ένα αρθρωτό ρομπότ IR52C
- Διασύνδεση της κάρτας ελέγχου του ρομποτικού χειριστή με τα ηλεκτρικά σήματα των αισθητήρων και τα ηλεκτρικά σήματα οδήγησης των εμβόλων



Σχήμα 1.1 : Η εργαστηριακή διάταξη MASH.

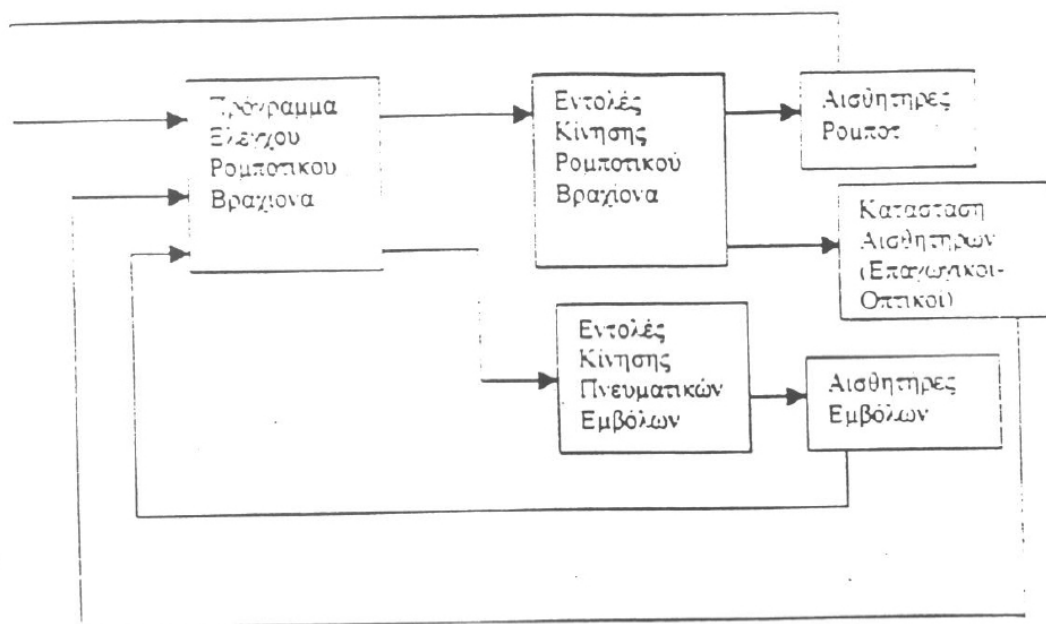
Ο ρομποτικός χειριστής προγραμματίζεται μέσω ενός περιβάλλοντος προγραμματισμού PSI (Programming System for Industrial Robots) με σκοπό να εκτελεί

αυτόματα μια κυκλική διαδικασία διαλογής δοκιμών. Το πρόγραμμα, διαβάζοντας κατάλληλα (διασύνδεση RS232 με τον ελεγκτή του ρομπότ) από τους αισθητήρες την πληροφορία που αφορά στην τρέχουσα κατάσταση της διαδικασίας, οδηγεί αντίστοιχα τόσο την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα όσο και των ηλεκτροπνευματικών εμβόλων της διάταξης.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι ο στόχος που επιχειρούμε να πετύχουμε με την σειρά των εργαστηριακών ασκήσεων που βασίζονται στην χρήση της διάταξης αυτής είναι η εξοικείωση του φοιτητή με θέματα όπως :

- ηλεκτρο-πνευματικές διατάξεις ενεργοποίησης (πνευματικά έμβολα)
- ο ρομποτικός χειριστής IR52C και ο προγραμματισμός του (λειτουργία σε συνδυασμό με την διάταξη ή και χωρίς αυτή)
- τεχνολογία αισθητήρων (οπτικοί, επαγωγικοί, χωρητικοί)
- αυτοματοποίηση διαδικασιών

Για να ανταπεξέλθει κανείς σε όλες αυτές τις απαιτήσεις, πρέπει να έχει βασικές γνώσεις στην τεχνολογία ρομποτικής, ελέγχου και αυτοματισμού. Ο αυτοματισμός και ο έλεγχος της διάταξης (συμπεριλαμβανομένου και του Robot) μπορεί να γίνει εξ' ολοκλήρου με την βοήθεια του περιβάλλοντος PSI. Το διάγραμμα της διαδικασίας απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.2 : Διάγραμμα Αυτοματοποίησης Διαδικασίας.

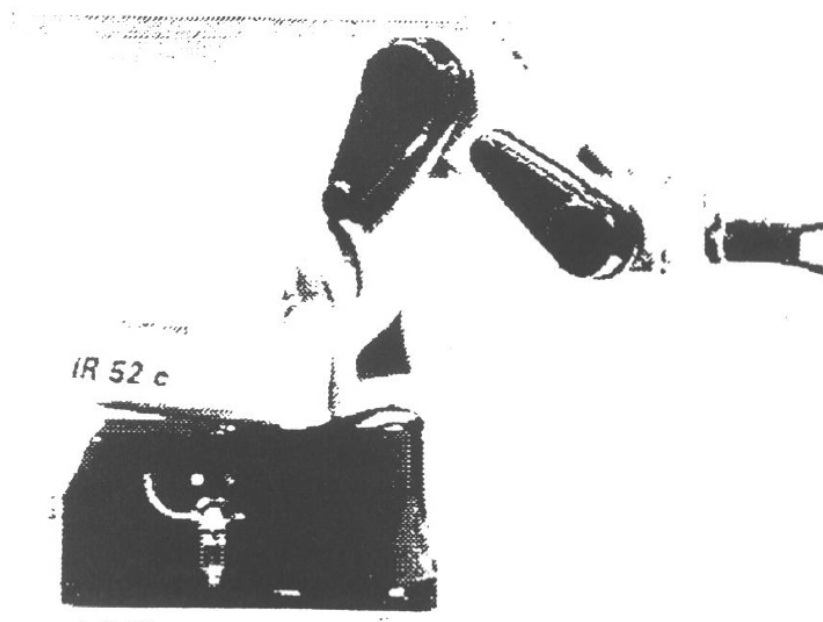
Στην εργαστηριακή διάταξη έχουμε την απεικόνιση μίας μη γραμμικής διαδικασίας επιλογής και μέτρησης δοκιμών (δοκίμια ίδιας διατομής που διακρίνονται σε μεταλλικά, πλαστικά και μπαταρίες). Αυτό συμβαίνει λόγω της ύπαρξης του ρομποτικού βραχίονα ο οποίος δίνει μια μεγάλη ευελιξία στον τρόπο σχεδιασμού και

υλοποίησης της διαδικασίας. Όσον αφορά τώρα την διαδικασία που υλοποιείται στην διάταξη αυτή συνοψίζεται στα ακόλουθα. Υπάρχει μια θέση παραλαβής δοκιμίων από τον ρομποτικό βραχίονα (που ελέγχεται από οπτικό αισθητήρα (φωτοκύτταρο)) στην οποία και προωθούνται με την χρήση ενός πνευματικού εμβόλου. Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος της ταυτότητας και καθορισμός των ιδιοτήτων των δοκιμίων (μέτρηση της τάσης τους, χρήση επαγωγικών-χωρητικών αισθητήρων) που οδηγεί στην μεταφορά τους σε θέσεις εκτύπωσης (πνευματικά έμβολα) των διακριτικών χαρακτηριστικών τους και τέλος στην αποθήκευσή τους σε κατάλληλες θέσεις υποδοχής.

1.2 Ο Ρομποτικός Χειριστής IR52C

Το Robot είναι ένα IR52C (Σχήμα 1.3) ειδικά κατασκευασμένο για εφαρμογές που απαιτούν ένα συμπαγές και ευέλικτο σύστημα χειρισμού. Αποτελείται από 5 περιστροφικούς άξονες και μια αρπάγη σαν τελικό στοιχείο δράσης. Ο ελεγκτής του Robot είναι προσαρμοσμένος στη βάση του. Το προγραμματιστικό περιβάλλον του Robot είναι το PSI, έχει δοκιμαστεί αρκετά στην πράξη και είναι αρκετά καλό για μια πρώτη επαφή με σχετικές εφαρμογές.

Όλα τα κομμάτια του Robot είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο. Κάθε ένας από τους 5 ανεξάρτητους άξονες περιστροφής οδηγείται από έναν υψηλής απόδοσης σερβοκινητήρα. Ο έλεγχος θέσης επιτυγχάνεται με την βοήθεια αυξητικών κωδικοποιητών. Με βάση την αρχή αυτή είναι δυνατή πολύ υψηλής ακρίβειας ανάλυση των 415.000 βημάτων ανά άξονα περιστροφής.



Σχήμα 1.3 : Ρομποτικός Χειριστής IR52C.

Ακολουθώντας τις σημερινές υψηλές απαιτήσεις ασφαλείας, κάθε άξονας είναι εφοδιασμένος με δύο οριακούς διακόπτες τερματισμού. Χάρη στην υψηλή ελευθερία κίνησης εύρους από 200° έως 400° στους μεμονωμένους άξονες, το IR52C χαρακτηρίζεται από μεγάλη κινητικότητα και ευελιξία.

Ο ελεγκτής του ρομπότ, αρκετά συμπαγής και μικρός, είναι τοποθετημένος στη βάση του Robot μαζί με τα στάδια εξόδου του κινητήρα. Επί προσθέτως με τους 5 άξονες του Robot, ο PID ελεγκτής επιτρέπει τον έλεγχο 2 επιπλέον εξωτερικών αξόνων (για παράδειγμα ενός γραμμικού σιδηροδρόμου πάνω στον οποίο μπορεί να προσαρμοστεί ο βραχίονας με αποτέλεσμα την επέκταση του χώρου εργασίας του Robot). Ο ελεγκτής ενσωματώνει τον επεξεργαστή V25 της NEC. Μέσω σειριακής επικοινωνίας τύπου RS232 το Robot μπορεί να προγραμματιστεί από ένα PC.

Τα εργαλεία (τελικά στοιχεία δράσης) που μπορούν να προσαρμοστούν στο Robot ακολουθούν το πρότυπο standardized tool flange DIN ISO. Ανάλογα με την εφαρμογή υπάρχει επιλογή ανάμεσα σε τρεις τύπους εργαλείων: αρπάγη ηλεκτρική, πνευματική (όπως και στην διάταξη που εξετάζουμε) ή κενού. Όλες οι απαραίτητες προετοιμασίες έχουν ήδη γίνει στο Robot για την χρήση του μελλοντικά με εργαλεία εφοδιασμένα με αισθητήρες. Το Robot μπορεί να εφοδιαστεί ακόμα και με ένα σύστημα αλλαγής εργαλείων. Για την παραπέρα επέκταση του συστήματος διατίθενται από την EurobTec βιβλιοθήκες προγραμματισμού για τις γλώσσες C++ και C, που οδηγούν στην ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών κατά περίπτωση. Επίσης διατίθεται και ένα πλήρες σύστημα ανάπτυξης για ένα σύστημα όρασης στην C++.

1.3 Τεχνικές προγραμματισμού του ρομποτικού βραχίονα IR52C και το περιβάλλον προγραμματισμού PSI

1.3.1 Εισαγωγή

Η έκδοση του PSI με την οποία θα ασχοληθούμε στη συνέχεια εκτελείται σε περιβάλλον MS-DOS και χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό της κίνησης του αρθρωτού Robot έξι συνδέσμων IR52C της EurobTec και τον αυτοματισμό της διαδικασίας επιλογής δοκιμίων. Το PSI έχει δύο καταστάσεις λειτουργίας, κατά την συγγραφή, διόρθωση και εκτέλεση προγραμμάτων: η μία χωρίς το robot συνδεδεμένο, off-line, και η άλλη με το robot ενεργό, on-line. Όταν το PSI εκτελείται off-line, το robot δεν είναι απαραίτητο και με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται πιθανές συγκρούσεις όταν τα προγράμματα δεν έχουν ακόμα ελεγχθεί. Όταν ο προγραμματισμός γίνεται on-line, τότε δίνεται η δυνατότητα αλληλεπιδραστικού προγραμματισμού του robot, διδάσκοντάς του τις διαδοχικές θέσεις του κύκλου εργασιών του και του ελέγχου σε πραγματικές συνθήκες των προγραμμάτων. Το PSI ενεργοποιείται από την γραμμή εντολών του DOS με την εντολή

PSI {online} {<αρχείο προγράμματος του robot>}

Αν προσδιοριστεί το όνομα κάποιου προγράμματος, τότε το πρόγραμμα φορτώνεται μαζί με το περιβάλλον του PSI. Αν η παράμετρος online παραληφθεί, τότε το PSI υποθέτει ότι το robot δεν είναι συνδεδεμένο και ξεκινάει σε off-line λειτουργία.

1.3.2 Προγραμματισμός του ρομποτικού χειριστή

Όταν ασχολείται κανείς με τον προγραμματισμό και την λειτουργία ενός robot αλλά και γενικότερα την αυτοματοποίηση μιας διαδικασίας το σημαντικότερο πράγμα που πρέπει να λαμβάνεται είναι η ασφαλής λειτουργία σε σχέση με το περιβάλλον.

Όσον αφορά το robot, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος συγκρούσεων με αντικείμενα ή και ανθρώπους που βρίσκονται εντός του χώρου εργασίας του robot ειδικά κατά την διάρκεια ανάπτυξης και δοκιμής προγραμμάτων. Βέβαια παρά τις προσπάθειες η πιθανότητα λειτουργικών σφαλμάτων του περιβάλλοντος προγραμματισμού PSI ή των ηλεκτρονικών του robot δεν μπορεί να αποκλειστεί με βεβαιότητα. Σε κάθε περίπτωση μπορεί να προκληθούν βλάβες σε αντικείμενα, στο ίδιο το robot, ή ακόμα και σε ανθρώπους.

Είναι απαραίτητο κατά την δοκιμή των προγραμμάτων του robot να γίνονται τα ακόλουθα :

- Τα προγράμματα να δοκιμάζονται αρχικά υπό ελαττωμένη ταχύτητα εκτέλεσης.
- Να είστε σε ετοιμότητα κατά την διάρκεια της περιόδου δοκιμής να ενεργοποιήσετε το EMERGENCY-OFF για το robot, εάν και όποτε είναι απαραίτητο.
- Έχετε υπ' όψη ότι ένα αρθρωτό robot όπως το IR52C μπορεί να κινηθεί και κάτω από το επίπεδο του πάγκου εργασίας.

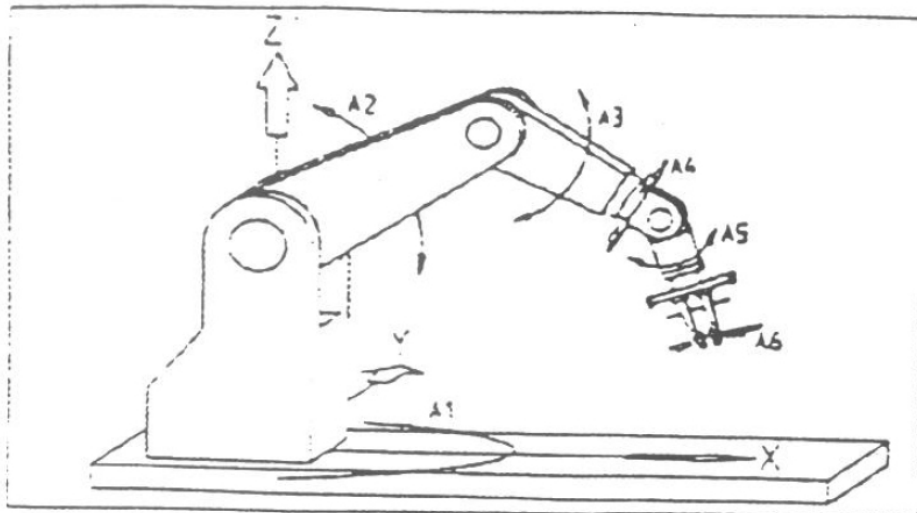
Ο προγραμματισμός του ρομποτικού ελεγκτή αποσκοπεί στην μετακίνηση του τελικού στοιχείου δράσης (αρπάγη) σε επιλεγμένα σημεία της εργαστηριακής διάταξης και με συγκεκριμένο προσανατολισμό του εργαλείου (αρπάγης) προκειμένου να εκτελέσει εργασίες μετακίνησης δοκιμών. Τα σημεία αυτά προσδιορίζονται με την θεώρηση του κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων.

1.3.2.1 Συστήματα συντεταγμένων

Με το PSI υπάρχει η δυνατότητα να προγραμματίσουμε το robot σε τρία διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων, τα οποία κατά περίπτωση εμφανίζουν κάποια πλεονεκτήματα. Αναλυτικότερα έχουμε :

Σύστημα Παγκόσμιων Συντεταγμένων

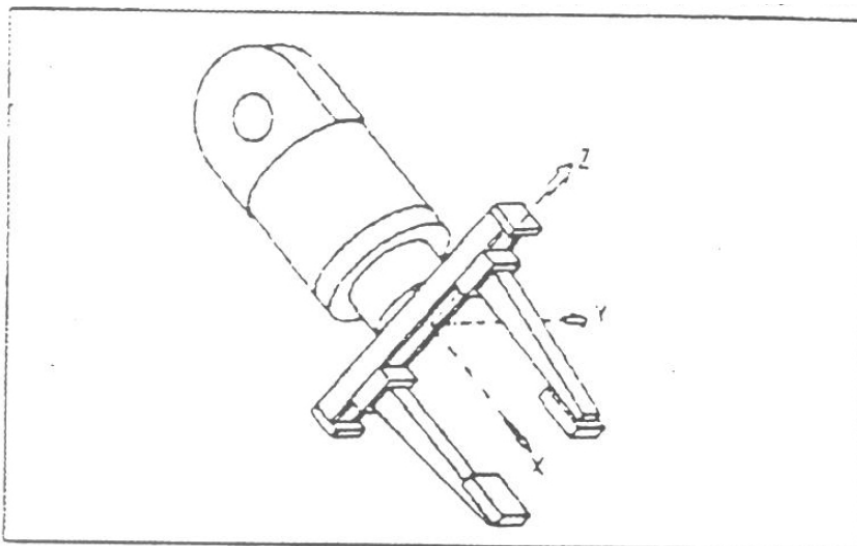
Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί τα σημεία του χώρου προσδιορίζονται από τρεις συντεταγμένες (x,y,z) που βρίσκονται πάνω σε τρεις ανά δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες, οι οποίοι ορίζουν ένα ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων. Η αρχή του συστήματος των συντεταγμένων βρίσκεται στην βάση του robot στο κέντρο του πρώτου άξονα περιστροφής A1. Οι αποστάσεις μετρούνται σε mm και η θετική κατεύθυνση φαίνεται στο σχήμα. Ιδιαίτερη σημασία για τον προσδιορισμό της θέσης του robot έχει η θέση του κεντρικού σημείου της άκρης του εργαλείου που χρησιμοποιείται κατά περίπτωση.



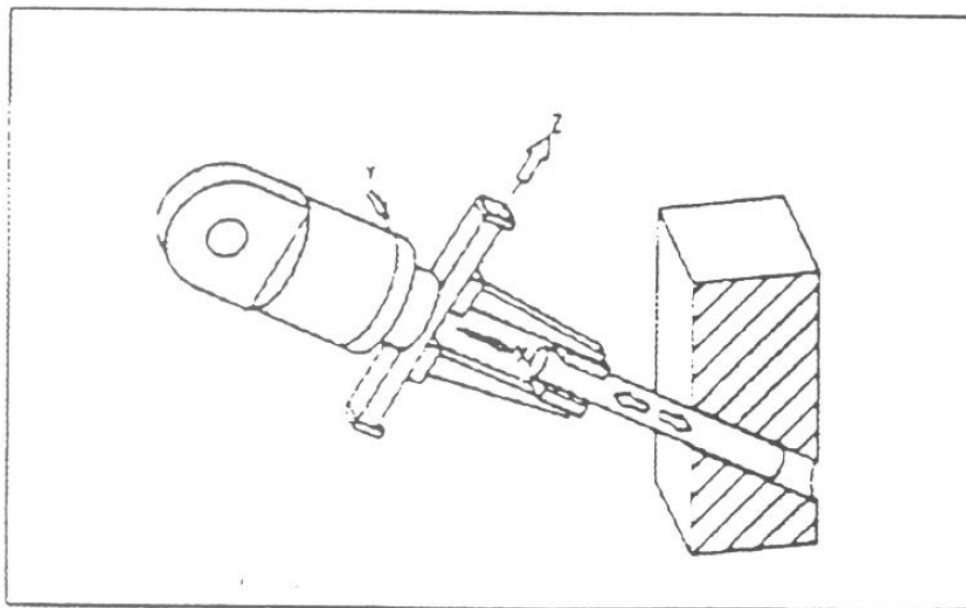
Σχήμα 1.4 : Σύστημα Παγκόσμιων Συντεταγμένων.

Σύστημα Συντεταγμένων Εργαλείου

Το σύστημα αυτό βασίζεται στην ίδια φιλοσοφία με το προηγούμενο με τη διαφορά ότι η αρχή του είναι στο κεντρικό σημείο του εργαλείου που χρησιμοποιούμε. Ο προσανατολισμός των αξόνων φαίνεται στο σχήμα. Όσον αφορά το εργαλείο του IR52C, που υπάρχει στο εργαστήριο δεν υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης της αρπάγης κατά την γ διεύθυνση.



Σχήμα 1.5 : Σύστημα Συντεταγμένων Εργαλείου.

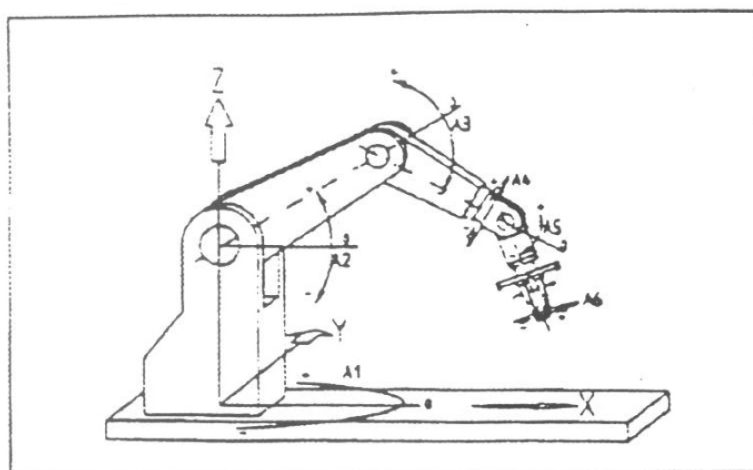


Σχήμα 1.6 : Κίνηση με Χρήση Συντεταγμένων Εργαλείου.

Αυτό το σύστημα συντεταγμένων είναι ιδιαίτερα χρήσιμο κατά την εκπαίδευση του robot για κινήσεις που αλλιώς θα ήταν αδύνατες ή δύσκολα εκπαιδευσιμες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.6.

Σύστημα Αξονικών Συντεταγμένων

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται όλοι οι άξονες κίνησης του robot για τον προσδιορισμό της θέσης του και την περιγραφή των σημείων του χώρου. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ο τρόπος αναφοράς στους άξονες καθώς και η θετική φορά κίνησης. Οι γωνίες μετριοούνται σε μοίρες.



Σχήμα 1.7 : Σύστημα Αξονικών Συντεταγμένων

Στα επόμενα σχήματα δίνονται και οι παράμετροι προσδιορισμού του προσανατολισμού του εργαλείου a , b , c που μετριοούνται επίσης σε μοίρες.

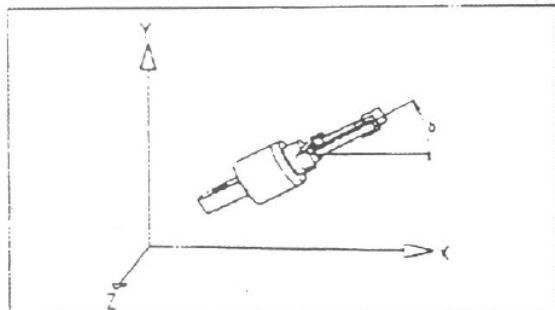


Fig. 2-5 Significance and position of the transmission angles (1st joint)

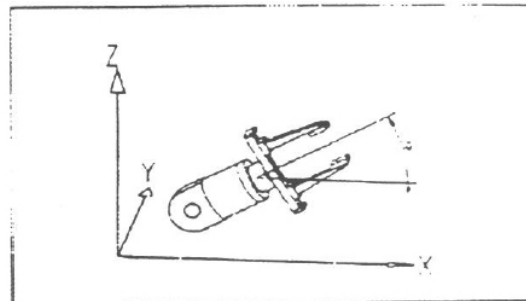


Fig. 2-6 Significance and position of the transmission angles (2nd joint)

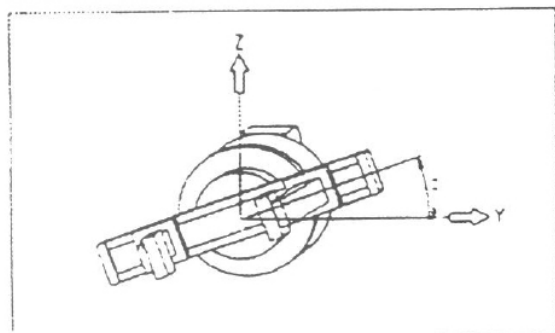


Fig. 2-7 Significance and position of the transmission angles (3rd joint)

Σχήμα 1.8 : Προσανατολισμός του τελικού στοιχείου δράσης

1.3.2.2 Αρχές κίνησης του ρομποτικού βραχίονα

Για να εκτελέσει το robot μια εντολή κίνησης είναι απαραίτητο να ορίσουμε ποιο είναι το σημείο του προορισμού του και με ποιο τρόπο θα μεταβεί στο σημείο αυτό (ευθεία γραμμή, κίνηση σε τόξο, κλπ.). Σαν σημείο εκκίνησης θεωρείται πάντα το σημείο στο οποίο ήδη βρίσκεται το robot. Επίσης προσδιορίζεται και ο προσανατολισμός που θα έχει το τελικό σημείο δράσης στο τέλος της μετάβασης.

Τα σημεία προορισμού αποθηκεύονται ως εξής :

- Προσδιορίζεται σε παγκόσμιες καρτεσιανές συντεταγμένες η θέση του τελικού σημείου δράσης (x , y , z)
- Προσδιορίζεται ο προσανατολισμός του εργαλείου με τις γωνίες (a , b , c) όπως υποδεικνύουν τα τρία σχέδια που προηγήθηκαν

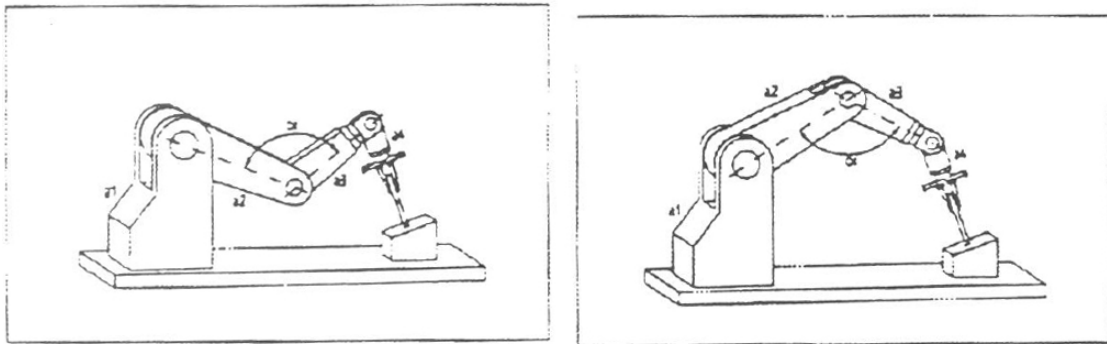
Ο τρόπος αυτός προσδιορισμού των σημείων είναι ανεξάρτητος του robot στο οποίο εκτελείται το πρόγραμμα. Έτσι θεωρητικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρόγραμμα για άλλο robot με διαφορετικό κινηματικό μοντέλο, αλλά πρακτικά αυτό είναι πάντα συνάρτηση του χώρου εργασίας του robot.

Όπως είναι γνωστό κατά την επίλυση του ανάστροφου κινηματικού προβλήματος είναι δυνατόν να έχουμε περισσότερες από μια αποδεκτές λύσεις. Αυτό σημαίνει ότι το robot μπορεί να προσεγγίσει την ίδια τελική θέση και προσανατολισμού του

εργαλείου, όμως με διαφορετική τελική κατάσταση των αρθρώσεών του. Για το λόγο αυτό πρέπει κατά τον προγραμματισμό να υποδείξουμε στο robot ποια από τις δυνατές λύσεις είναι και επιθυμητή. Αυτό φαίνεται καθαρά από τις εικόνες στα τέσσερα παραδείγματα που ακολουθούν. Συγκεκριμένα για το robot που εξετάζουμε υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί βαθμοί ελευθερίας. Αυτοί είναι :

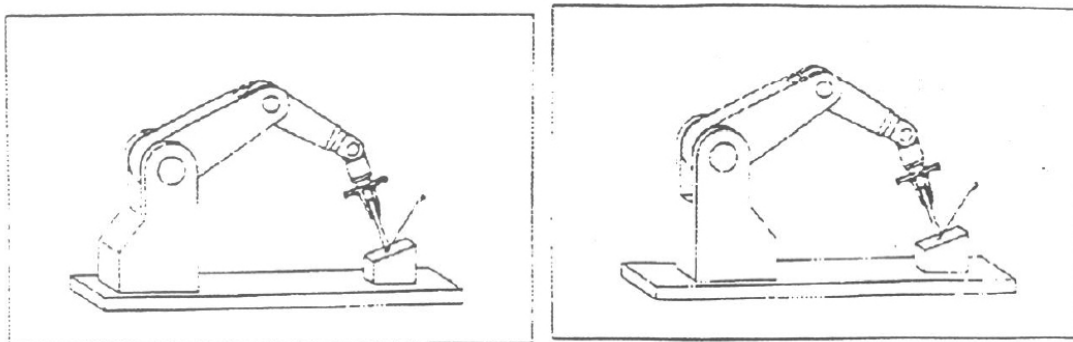
1. ELBOW UP
2. ELBOW DOWN
3. FRONT
4. BACK

Όπως υποδηλώνει και το όνομα τους οι δύο πρώτοι είναι αμοιβαία αποκλειόμενοι και προσδιορίζουν αν η προσέγγιση που θα επιχειρήσει το robot προς το σημείο προορισμού θα γίνει με τον αγκώνα να κοιτάει προς τα πίσω (κάτω) ή μπροστά (πάνω).



Σχήμα 1.9(a) : Κίνηση Elbow-Down και Elbow-Up

Αντίστοιχα για τους δύο τελευταίους, οι οποίοι επίσης αποκλείονται αμοιβαία, προσδιορίζεται αν το robot εργάζεται βλέποντας μπροστά του το χώρο εργασίας, ή αν ο χώρος εργασίας βρίσκεται πίσω του, σε σχέση πάντα με την αρχική του κατάσταση.



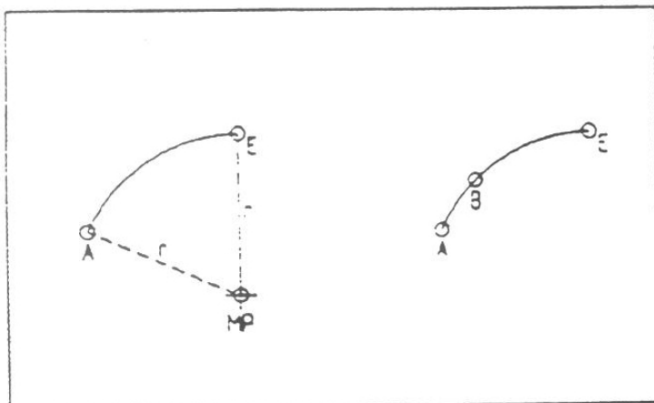
Σχήμα 1.9(b) : Κίνηση Front και Back

1.3.2.3 Τροχιές κίνησης του ρομποτικού βραχίονα

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι κίνησης του robot κατά την διάρκεια της μετάβασης του από ένα σημείο σε άλλο. Αυτοί είναι : *Synchro-PTP*, *Γραμμική κίνηση* και *Κίνηση σε κύκλο*.

- Κατά την εκτέλεση κίνησης *synchro-PTP*, όλοι οι άξονες του robot κινούνται συγχρόνως προς το σημείο προορισμού και τερματίζουν ταυτόχρονα την κίνησή τους. Το τελικό στοιχείο δράσης κινείται σε μια όχι ακριβώς προσδιορίσιμη διαδρομή στο συντομότερο δυνατό χρόνο (κίνηση βέλτιστη ως προς το χρόνο).
- Κατά την *γραμμική κίνηση* το τελικό στοιχείο δράσης ακολουθεί μια ευθεία γραμμή προς το σημείο προορισμού. Αν ο προσανατολισμός του εργαλείου διαφέρει από την αρχική προς την τελική θέση, τότε οι παράμετροι a , b , c μεταβάλλονται γραμμικά κατά την διάρκεια της μετακίνησης.
- Για την εκτέλεση της *κυκλικής κίνησης* απαιτείται ο προσδιορισμός ενός ακόμα σημείου. Το σημείο αυτό μπορεί είτε να είναι ένα σημείο πάνω στην περιφέρεια του κύκλου (πάνω στο τόξο) που θα διαγράψει κατά την κίνησή του το τελικό στοιχείο δράσης, είτε το κέντρο του κύκλου στον οποίο ανήκει το τόξο που θα διαγραφεί. Αν ο προσανατολισμός του εργαλείου διαφέρει από την αρχική προς την τελική θέση, τότε οι παράμετροι a , b , c μεταβάλλονται γραμμικά κατά την διάρκεια της μετακίνησης. Εδώ χρειάζεται να έχουμε υπ' όψη τα εξής :
 1. Το robot θα φροντίσει ώστε να ακολουθήσει το μικρότερο τόξο στην περιφέρεια του κύκλου, στην περίπτωση που προσδιορίζουμε το κέντρο.
 2. Γενικά η διαγραφόμενη τροχιά είναι τμήμα έλλειψης.

Όσον αφορά το τελευταίο τρόπο μετακίνησης δείτε και το επόμενο σχήμα.



Σχήμα 1.10 : Κίνηση σε τόξο

Οι επιμέρους απλές κινήσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως (εκτός της synchro-PTP) και μπορεί να εκτελέσει το robot, όταν συνδυαστούν και εκτελεστούν χωρίς διακοπές λέμε ότι συνιστούν μια διαδρομή για το robot. Η διαδρομή αυτή μπορεί να τηρηθεί από το robot μέσα σε κάποια όρια ανεκτικότητας, που ρυθμίζονται από κατάλληλες παραμέτρους εντός του προγράμματος.

1.3.2.4 Παράμετροι κίνησης του ρομποτικού βραχίονα

Οι παράμετροι με τις οποίες μπορεί να ελέγξει κανείς τον τρόπο διάσχισης ενός μονοπατιού περιγράφονται στην συνέχεια.

Ταχύτητα διάσχισης :

Σε συγκεκριμένες εφαρμογές είναι σημαντικό, το τελικό στοιχείο δράσης να κινείται ακριβώς με προκαθορισμένη ταχύτητα πάνω στην τροχιά του. Μέσω του PSI είναι δυνατή η ρύθμιση της ταχύτητας κατά μήκος της ακολουθούμενης διαδρομής. Η ταχύτητα μετριέται πάντα σε mm/sec. Αν το robot δεν είναι ικανό να διατηρήσει την επιθυμητή ταχύτητα κατά μήκος του μονοπατιού τότε το PSI αυτόματα μειώνει την ταχύτητα χωρίς ενδεικτικό μήνυμα λάθους. Για παράδειγμα στην περίπτωση που έχουμε απότομες αλλαγές κατά την εξέλιξη της διαδρομής μετά από κάθε αλλαγή κατεύθυνσης το PSI επιταχύνει το robot και πάλι έως την επιθυμητή ταχύτητα.

Ταχύτητα αξόνων :

Η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να επιτύχει κάθε άξονας του robot ξεχωριστά είναι προκαθορισμένη σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του robot και δεν είναι δυνατό να αλλάξει από το χρήστη. Αν η μέγιστη αξονική ταχύτητα κάποιου από τους άξονες ξεπερνιέται κατά την διάσχιση μιας διαδρομής τότε το PSI απαγορεύει την εκτέλεση της διαδρομής αυτής και επισημαίνει το γεγονός με κατάλληλο μήνυμα λάθους. Στην πράξη, μία διαδρομή του robot που περνάει κοντά από τον κατακόρυφο z του παγκόσμιου συστήματος συντεταγμένων του robot συνήθως παρουσιάζει το πρόβλημα αυτό. Αυτό συμβαίνει γιατί ακόμα και μικρές αλλαγές στη θέση του τελικού στοιχείου δράσης αντιστοιχούν σε μεγάλες αλλαγές στην γωνία του άξονα 1. Το PSI επιβάλλει την τήρηση του ορίου της μέγιστης ταχύτητας του άξονα.

Επιτάχυνση :

Για να είναι δυνατή η μετακίνηση μεγάλων φορτίων στην μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα, το PSI προσφέρει την δυνατότητα του ορισμού της επιτάχυνσης του robot. Αυτή ορίζεται επί του ποσοστού της μέγιστης επιτάχυνσης που μπορεί να επιτύχει το robot σύμφωνα με τη σχέση μέγιστη επιτάχυνση * <Acceleration> 100.

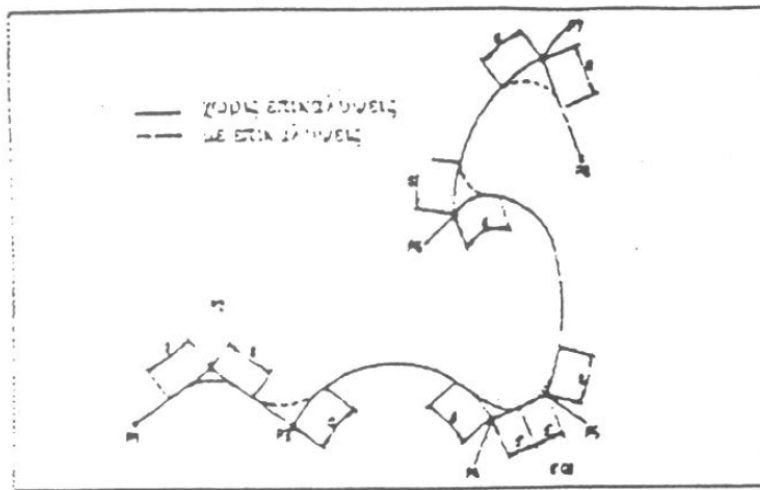
Ακρίβεια μονοπατιού :

Για την εξασφάλιση της ακρίβειας με την οποία κινείται το robot κατά μήκος μιας διαδρομής, είναι δυνατόν να οριστεί η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση από την ιδανική (προγραμματισμένη) διαδρομή. Αν η υποδεικνυόμενη ακρίβεια είναι κοντά στην

απόλυτη ακρίβεια που μπορεί να επιτύχει το robot τότε είναι αναμενόμενη η μείωση της μέγιστης ταχύτητας που μπορεί να επιτευχθεί κατά την κάλυψη της διαδρομής.

Επικάλυψεις :

Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται από ένα robot να καλύψει μία διαδρομή η οποία αποτελείται από διαδοχικά τμήματα ευθύγραμμης ή κυκλικής κίνησης, τα οποία καλούνται και συνιστώσες της διαδρομής. Δεν είναι πάντα όμως απαραίτητο το τελικό στοιχείο δράσης να περάσει από κάθε ένα από τα σημεία που σχηματίζουν την καμπύλη της διαδρομής (εκτός του αρχικού και του τελικού σημείου της διαδρομής), ή ακόμα και να σταματά μόλις καλύψει μια συνιστώσα και πριν ξεκινήσει να διατρέχει την επόμενη. Η ιδέα που υλοποιεί το PSI, φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί και ουσιαστικά αντικαθιστά τα απότομα τμήματα της διαδρομής, στα οποία γίνεται η σύνδεση των συνιστωσών με ένα ομαλό και εφαπτόμενο συνδετικό τμήμα.



Σχήμα 1.11 : Κίνηση με ή χωρίς επικάλυψη.

Κατά τον προγραμματισμό ορίζεται η παράμετρος d (σε mm) η οποία καθορίζει την μέγιστη απόσταση, πάνω στην καμπύλη της διαδρομής, από το σημείο σύνδεσης, πέρα από την οποία είναι δυνατή η εγκατάλειψη της αρχικής διαδρομής. Δηλαδή όταν το τελικό στοιχείο δράσης πλησιάσει το τελικό σημείο της συνιστώσας της διαδρομής απόσταση μικρότερη ή ίση από d τότε μπορεί να εγκαταλείψει την συνιστώσα. Επίσης κατά την προσέγγιση προς την επόμενη συνιστώσα της διαδρομής μπορεί να παραληφθεί το πολύ μήκος d από την συνιστώσα έως ότου το τελικό στοιχείο δράσης ταυτιστεί με την διαδρομή που ορίζει αυτή. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η παράμετρος d τόσο γρηγορότερα καλύπτει το τελικό στοιχείο δράσης την διαδρομή που προκύπτει μετά την επικάλυψη. Αντίστροφα όσο μικρότερη τιμή έχει η παράμετρος αυτή τόσο πιο πιστά ακολουθεί το robot την αρχική διαδρομή.

Όταν επιθυμούμε να απενεργοποιηθεί, σε περίπτωση που κάποια διεργασία απαιτεί την πιστή κάλυψη ενός μονοπατιού, η λειτουργία της επικάλυψης τότε αρκεί να οριστεί η παράμετρος d με τιμή 0, $d=0$.

1.3.2.5 Στοιχεία ενός προγράμματος κίνησης του ρομποτικού βραχίονα

Πέρα από τον απλό προγραμματισμό των κινήσεων που μπορεί να κάνει το robot, ορίζοντάς του μια διαδοχική ακολουθία από σημεία που πρέπει να ακολουθήσει σε κάποιο από τα διαθέσιμα συστήματα συντεταγμένων και της κίνησης που θα ακολουθήσει με τις διάφορες παραμέτρους της, το PSI παρέχει και ορισμένες προγραμματιστικές δομές. Μερικές από τις δομές αυτές ο έμπειρος αναγνώστης τις έχει συναντήσει σε απλές γλώσσες όπως η basic και θα ήταν εύστοχο να ισχυριστεί κανείς, ότι προγραμματισμός στο PSI είναι προγραμματισμός σε ένα υποσύνολο της basic, με επιπλέον δυνατότητες προσανατολισμένες στον προγραμματισμό robot. Εξάλλου τόσο η basic όσο και το PSI, εκτελούνται με τη χρήση διερμηνέα (interpreter environment). Συμπεριλαμβάνονται δομές δήλωσης υπορουτίνων, εντολές αλλαγής της ροής του προγράμματος, εντολές ελέγχου συνθηκών και βέβαια εντολές δήλωσης και χειρισμού μεταβλητών. Σημαντικές είναι οι δυνατότητες που παρέχει το PSI, όσον αφορά την σχετική κίνηση του robot ως προς ένα σημείο, την εντολή δήλωσης και αξιοποίησης με απλό τρόπο παλετών, εντολές ελέγχου του εργαλείου που είναι προσαρτημένο στο robot κλπ. Το βασικό ρεπερτόριο των εντολών συνοδεύομενων από σύντομη επεξήγηση της χρήσης τους περιέχονται στο παράρτημα, ενώ στην συνέχεια αναπτύσσονται εν συντομία κάποια προχωρημένα θέματα ρομποτικού προγραμματισμού.

Μεταβλητές :

Η σημαντικότερη ίσως δυνατότητα του PSI, από προγραμματιστικής απόψεως είναι η δήλωση μεταβλητών. Οι μεταβλητές μπορεί να έχουν τυχαίο όνομα αλλά μήκος μέχρι οχτώ χαρακτήρες. Συνίσταται να μην χρησιμοποιούνται δεσμευμένες λέξεις ως μεταβλητές και επίσης το όνομα που αποδίδεται σε μια μεταβλητή καλό θα ήταν να υποδηλώνει και την χρήση της, βελτιώνοντας έτσι την αναγνωσιμότητα του προγράμματος.

Υπάρχουν δύο τύποι μεταβλητών οι αριθμητικές μεταβλητές που αποθηκεύουν μια αριθμητική τιμή (δεν γίνεται διάκριση μεταξύ ακέραιων ή πραγματικών αριθμών) και οι μεταβλητές σημείου που δύνανται να αποθηκεύσουν την θέση του τελικού σημείου δράσης (στο παγκόσμιο σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων του robot), μαζί με τον προσανατολισμό του. Όσον αφορά τον ορισμό την χρήση και την εμβέλεια των μεταβλητών είναι παρόμοια με αυτήν στην basic.

Οι αριθμητικές μεταβλητές ορίζονται με την εντολή ανάθεσης ως εξής :

LET <Variable> = Value

και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην θέση για παράδειγμα μίας από τις συντεταγμένες ενός σημείου. Μπορούν να προστεθούν, αφαιρεθούν, πολλαπλασιαστούν ή διαιρεθούν μεταξύ τους. Επίσης λαμβάνουν μέρος σε εντολές άλματος υπό συνθήκη.

Ένα τυπικό πρόγραμμα του PSI με χρήση μεταβλητών δίνεται στη συνέχεια


```

1  REFERENCE
2  LINE  x      -250 00      y      -0 00  z      -150
      a      -90 00      b      -0 00  c      -0 00
3  LET  yvar = -250
4  LINE  x      -250 00      y      yvar  z      -150
      a      -90 00      b      -0 00  c      -0 00
5  LABEL loop
6  ADD  yvar  =      yvar  +      50 00
7  LINE  x      -300 00      y      yvar  z      -150
      a      -90 00 b      -0 00  c      -0 00
8  ADD  yvar  =      yvar  +      50 00
9  LINE  x      +250 00      y      yvar  z      -150
      a      -90 00      b      -0 00  c      -0 00
10 IF  yvar  <      250 00 JUMP loop
11 PRINT End of program

```

Οι μεταβλητές σημείου είναι χρήσιμες διότι επιτρέπουν την αναφορά και χρήση ενός σημείου σε ένα πρόγραμμα με απλή αναφορά στο όνομά του, ιδιαίτερα όταν ο προγραμματισμός γίνεται χωρίς το robot, και μάλιστα όταν ο ακριβής προσδιορισμός των συντεταγμένων των σημείων δεν είναι διαθέσιμος κατά την αρχική φάση του προγραμματισμού.

Σχετική κίνηση :

Στην πράξη ένα robot απαιτείται να εκτελέσει μία ακολουθία όμοιων κινήσεων σε διαφορετικά σημεία του χώρου εργασίας του. Για την αποφυγή άσκοπης επανάληψης παρόμοιων τμημάτων προγράμματος, δίνεται η εντολή RELATIVE, με την χρήση της οποίας μπορούν να προγραμματιστούν κινήσεις σχετικές ως προς κάποια αρχική θέση αναφοράς. Ο προγραμματισμός δηλαδή γίνεται ως προς το σημείο αναφοράς και η εκτέλεση γίνεται στο τρέχον σημείο, σαν να βρισκόταν το robot στο σημείο αναφοράς. Η εντολή RELATIVE κατά κανόνα χρησιμοποιείται μέσα σε υπορουτίνες. Η έναρξη μίας υπορουτίνας υποδεικνύεται με την εντολή SUB.

Η εντολή RELATIVE δέχεται σαν παράμετρο το σημείο αναφοράς και οι εντολές που ακολουθούν εκτελούνται σαν να ξεκινούσε το robot από το σημείο αυτό, μέχρι είτε το τέλος της υπορουτίνας είτε την εκτέλεση της εντολής REL_END. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων συνίσταται εντολή REL_END να ακολουθείται αμέσως από την SUN_END. Όταν καλείται μια υπορουτίνα η οποία εκτελεί σχετικές κινήσεις ως προς κάποιο σημείο συμβαίνουν τα ακόλουθα. Υπολογίζεται η τρέχουσα θέση του robot. Η εντολή RELATIVE δεν προκαλεί καμία μετακίνηση του robot. Πριν εκτελεστεί οποιαδήποτε από τις επόμενες εντολές που σχετίζονται με την κίνηση του robot, τροποποιούνται τα σημεία που εμπλέκονται. Αφαιρείται αρχικά η τιμή της x συντεταγμένης της θέσης αναφοράς από την x συντεταγμένη κάθε σημείου που εμπλέκεται στο τμήμα της σχετικής κίνηση και στην συνέχεια προστίθεται η x συντεταγμένη της τρέχουσας θέσης του robot. Το ίδιο συμβαίνει αντιστοίχως και για τις συντεταγμένες y, z. Σε κάθε περίπτωση ο προσανατολισμός του τελικού στοιχείου δράσης (παράμετροι a, b, c) μένει ανεπηρέαστος. Τελικά το robot εκτελεί την ακολουθία των κινήσεων που

ορίζονται εντός της υπορουτίνας ξεκινώντας από το σημείο που βρίσκεται όταν κληθεί η υπορουτίνα.

Παλέτες :

Με τον όρο παλέτα εννοούμε την διάταξη εκείνη από την οποία το robot μπορεί να εναποθέτει ή να λαμβάνει αντικείμενα παραταγμένα σε γραμμές και στήλες. Το PSI υποθέτει πάντα ότι η παράταξη αυτή γίνεται σε ένα επίπεδο παράλληλο με το επίπεδο (x, y, 0) και οι στήλες είναι κάθετες προς τις γραμμές. Ο ορισμός μιας παλέτας παρέχει ένα εύκολο και συνοπτικό τρόπο προγραμματισμού των κινήσεων του robot για τον χειρισμό παλετών.

Μία παλέτα ορίζεται στην αρχή του προγράμματος με την βοήθεια της εντολής "PALLET D" και της αποδίδεται ένα όνομα. Στην συνέχεια δίνονται δύο σημεία που ανήκουν στην παλέτα η θέση στη πρώτη γραμμή και πρώτη στήλη (θέση {1,1} στη παλέτα) και η θέση στην δεύτερη γραμμή και δεύτερη στήλη (θέση {2,2} στη παλέτα). Με τον τρόπο αυτό το PSI μπορεί να εξάγει όλη την απαραίτητη πληροφορία για τον προσδιορισμό όλων των θέσεων της παλέτας. Βέβαια θεωρητικά υπάρχει για PSI η θέση (1000,1500) σε μία παλέτα ακόμα και αν στην πράξη η παλέτα μας έχει μόνο παράδειγμα 12 στοιχεία. Επίσης είναι ευθύνη του προγραμματιστή να ορίζει σωστά τις παραμέτρους γραμμής στήλης κατά την προσπέλαση μιας παλέτας, όπως επίσης και να φροντίζει ώστε όλες οι θέσεις που ανήκουν σε μία παλέτα είναι προσβάσιμες από το robot, αλλιώς το πρόγραμμα δεν θα λειτουργεί σωστά.

Αφού οριστεί μια παλέτα μπορεί αργότερα να γίνει ανάκληση μιας θέσης που ανήκει σε αυτή απλώς και μόνο με το όνομα της παλέτας και τον αριθμό γραμμής και στήλης που επιθυμούμε, με χρήση της εντολής PALLET C που προκαλεί κίνηση του robot στην εν λόγω θέση.

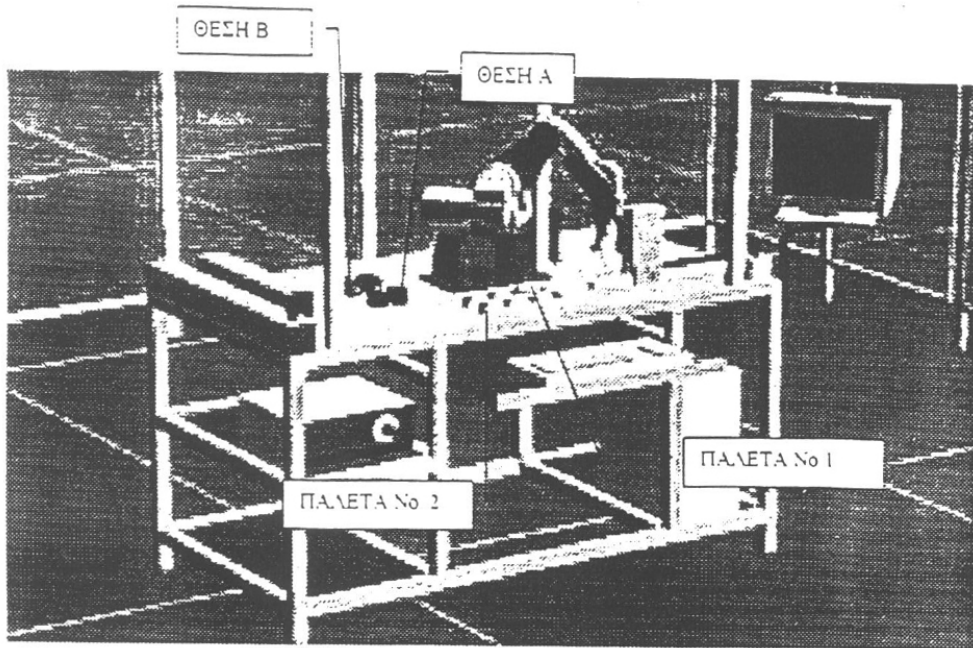
Η τεχνική που προτείνεται για την χρήση μιας παλέτας είναι σε συνδυασμό με την εντολή RELATIVE και συνίσταται από τα ακόλουθα βήματα :

1. Ορισμός της παλέτας σε κάποια απόσταση πάνω από την πραγματική θέση της παλέτας (για λόγους ασφαλείας κατά την μετακίνηση στις διάφορες θέσεις).
2. Ορισμός κάποιου σταθερού σημείου πάνω από την παλέτα που ορίσαμε, σαν σημεί αφίξης και αναχώρησης από το στάδιο λήψης – εναπόθεσης στην παλέτα.
3. Ορισμός μίας υπορουτίνας με σχετικές κινήσεις του τρόπου με τον οποίο αφού το robot έλθει πάνω από την παλέτα λαμβάνει ή εναποθέτει, με την απαιτούμενη ακρίβεια ένα αντικείμενο.
4. Στο κυρίως πρόγραμμα το robot μεταβαίνει πάνω από την παλέτα.
5. Κινείται πάνω από την επιθυμητή θέση κατά γραμμή και στήλη.
6. Καλείται η υπορουτίνα επεξεργασίας (λήψης – εναπόθεσης).
7. Το robot επιστρέφει στην αρχική θέση πάνω από την παλέτα και το τμήμα της διαδικασίας ολοκληρώνεται.

Χειρισμός Εμβόλων-Αρπάγης :

Το PSI, δίνει την δυνατότητα χειρισμού του εργαλείου που είναι προσαρτημένο στο robot μέσω της ακόλουθης διαδικασίας.

Στην αρχή του προγράμματος δηλώνεται το εργαλείο, οι διαστάσεις του και η ακρίβεια του, με την εντολή TOOL D. Για την πνευματική αρπάγη που χρησιμοποιούμε έχουμε ακρίβεια 0 και διαστάσεις 118.00 mm μήκος. Στην συνέχεια καλείται το εργαλείο προς χρήση με την εντολή TOOL C. Τέλος η εντολή GRIPPER θέτει την αρπάγη στην επιθυμητή κατάσταση 0 (ανοιχτή αρπάγη) ή 1 (κλειστή αρπάγη) για την περίπτωσή μας.



Σχήμα 1.12

Προγραμματισμός

Ζητείται να γραφεί το πρόγραμμα για την εκτέλεση της παρακάτω διαδικασίας.

Ανάληψη του πλαστικού δοκιμίου από την παλέτα Νο 1, μεταφορά του στην θέση Α και επανατοποθέτησή του στην θέση 3 στην παλέτα Νο 1.

Ανάληψη του μεταλλικού δοκιμίου από την παλέτα Νο 2, μεταφορά του στην θέση Β και επανατοποθέτησή του στην θέση 3 στην παλέτα Νο 2.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Σύντομη περιγραφή ρεπερτορίου εντολών PSI

Τα προγράμματα του robot αποθηκεύονται σε αναγνώσιμη μορφή ASCII αρχείων. Το πλεονέκτημα αυτής της υλοποίησης είναι ότι ο χρήστης μπορεί να διαβάσει και να γράψει προγράμματα για το robot και με άλλους editors. Κάθε εντολή σε ένα πρόγραμμα του robot καταλαμβάνει ακριβώς μία γραμμή στο αρχείο. Κάθε γραμμή ξεκινά με την συντομογραφία της εντολής, που δεν καταλαμβάνει περισσότερο από τρεις χαρακτήρες, ακολουθούμενα από κόμμα <,>. Οι συντομογραφίες των εντολών δίνονται κατά την περιγραφή των διαθέσιμων εντολών στην συνέχεια. Στην συνέχεια δίνονται οι παράμετροι, αν υπάρχουν, πάλι χωριζόμενες με κόμμα.

Οι παράμετροι που αναπαριστούν σημεία αποτελούνται από μία μεταβλητή σημείου, ή έξι αριθμούς, ή μεταβλητές χωριζόμενων με κενά (ή συνδυασμό των προηγούμενων).

Παράδειγμα ορισμού μεταβλητής σημείου είναι το ακόλουθο:

pn.point1, -100 100 50 (Παγκόσμιες συντεταγμένες)
0 45 -30 (Προσανατολισμός αρπάγης)

Στο παραπάνω παράδειγμα, οι παράμετροι είναι το όνομα της μεταβλητής του σημείου "point 1" και οι συντεταγμένες του σημείου, το οποίο αντιπροσωπεύει η μεταβλητή. Μετά το τέλος μιας εντολής αρχίζει με την έναρξη της επόμενης γραμμής (ASCII code 13).

Αλφαβητική απαρίθμηση διαθέσιμων εντολών με μικρή περιγραφή			
Όνομα εντολής	Συντομογραφία	Περιγραφή	Ομάδα
ACCEL	AC	Ορισμός επιτάχυνσης	Παράμετροι robot
ADD	-	Πρόσθεση μεταβλητών	Αριθμητικές εντολές
BACK SIDE	BA	Ορισμός front-side βαθμού ελευθερίας	Παράμετροι robot
CALL	C	Κλήση υπορουτίνας	Έλεγχος ροής προγράμματος
CIRCARC	CA	Κυκλική μετακίνηση μέσω σημείου τόξου	Εντολές κίνησης
CIRCCENT	CC	Κυκλική μετακίνηση γύρω από κεντρικό σημείο	Εντολές κίνησης
CLS	CLS	Καθαρισμός οθόνης χρήστη	Εντολές εξόδου
DIVIDE	/	Διαίρεση μεταβλητών	Αριθμητικές εντολές
ELBOW DOWN	ED	Ορισμός elbow βαθμού ελευθερίας	Παράμετροι robot
ELBOW UP	EU	Ορισμός elbow βαθμού ελευθερίας	Παράμετροι robot
EXACTNESS	EX	Ορισμός ακρίβειας μονοπατιού	Παράμετροι robot

FRONT SIDE	FR	Ορισμός front-side βαθμού ελευθερίας	Παράμετροι robot
GRIPPER	GR	Ορισμός αρπάγης	Παράμετροι robot
IF<	IF<	Σύγκριση μεταβλητών (μικρότερο)	Άλμα υπό συνθήκη
IF=	IF=	Σύγκριση μεταβλητών (ισότητα)	Άλμα υπό συνθήκη
IF>	IF>	Σύγκριση μεταβλητών (μεγαλύτερο)	Άλμα υπό συνθήκη
IF KEY	IFK	Αναγνώριση του τελευταίου πλήκτρου που πατήθηκε	Άλμα υπό συνθήκη
IF PORT = L	IFL	Άλμα αν πόρτα σε χαμηλή κατάσταση	Άλμα υπό συνθήκη
IF PORT = H	IFH	Άλμα αν πόρτα σε υψηλή κατάσταση	Άλμα υπό συνθήκη
INKEY	INK	Αναμονή για πάτημα οποιουδήποτε πλήκτρου	Άλμα υπό συνθήκη
INTE PORT	INE	Τερματισμός ελέγχου διακοπών	Έλεγχος ροής προγράμματος
INT PORT = L	INL	Διακοπή αν πόρτα σε χαμηλή κατάσταση	Έλεγχος ροής προγράμματος
INT PORT = H	INH	Διακοπή αν πόρτα σε υψηλή κατάσταση	Έλεγχος ροής προγράμματος
JUMP	J	Άλμα σε ετικέτα	Έλεγχος ροής προγράμματος
LABEL	LB	Ορισμός ετικέτας	Έλεγχος ροής προγράμματος
LET	=	Ανάθεση τιμής σε μεταβλητή	Αριθμητικές εντολές
LINE	L	Μετακίνηση πάνω σε ευθεία γραμμή	Εντολές κίνησης
MULTIPLY	*	Πολλαπλασιασμός μεταβλητών	Αριθμητικές εντολές
OVERLAP	OV	Ορισμός παραμέτρου επικάλυψης	Παράμετροι robot
PALLET C	PC	Κλήση παλέτας	Παράμετροι προγράμματος
PALLET D	PD	Ορισμός παλέτας	Παράμετροι προγράμματος
POINT VARIABLE	PV	Ορισμός μεταβλητής σημείου	Παράμετροι προγράμματος
PORT>L	PL	Απενεργοποίηση πόρτας	Εντολές εξόδου
>H	PH	Ενεργοποίηση πόρτας	Εντολές εξόδου
PRINT	PRN	Εκτύπωση μηνύματος στην οθόνη	Εντολές εξόδου
PROTECT	PRO	Ορισμός προστατευόμενου	Παράμετροι προγράμματος

		χώρου	
PTP	P	Σύγχρονη μετακίνηση σημείο προς σημείο	Εντολές κίνησης
REFERENCE	REF	Μετακίνηση στο προκαθορισμένο σημείο αναφοράς	Εντολές κίνησης
RELATIVE	REL	Έναρξη σχετικών μετακινήσεων	Παράμετροι προγράμματος
REL_END	REE	Τέλος σχετικών μετακινήσεων	Παράμετροι προγράμματος
REMARK	REM	Εισαγωγή σχολίου	Εντολές εξόδου
RETURN	R	Επιστροφή από υπορουτίνα	Έλεγχος ροής προγράμματος
SPEED	SP	Ορισμός ταχύτητας τροχιάς	Παράμετροι robot
SUB_END	E	Τέλος υπορουτίνας	Έλεγχος ροής προγράμματος
SUBSTRUCT	-	Αφαίρεση μεταβλητών	Αριθμητικές εντολές
SUB	S	Ορισμός υπορουτίνας	Έλεγχος ροής προγράμματος
TOOL C	TC	Επιλογή εργαλείου	Παράμετροι robot
TOOL D	TD	Ορισμός εργαλείου	Παράμετροι robot
WAIT	W	Προσωρινή παύση της εκτέλεσης για ορισμένο χρόνο	Έλεγχος ροής προγράμματος
WORKSPACE	WSP	Ορισμός χώρου εργασίας	Παράμετροι προγράμματος

Βιβλιογραφία :

- [1] PSI Programming system for industrial robots – Software Manual, EurobTec.
[2] IR52C Robot manual, EurobTec.