

#1y
476
A4T

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΛΦΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Α.Μ:32666

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Μ. ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2012

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

Περιεχόμενα

1^ο Κεφάλαιο

Εισαγωγή στην Ρομποτική.....	Σελ. 5
Είδη Ρομπότ.....	Σελ. 6
Βιομηχανικοί Ρομποτικοί Βραχίονες.....	Σελ. 8
Βαθμοί Κινητικότητας.....	Σελ. 9
Χώρος Εργασίας.....	Σελ. 9
Ωφέλιμο Φορτίο.....	Σελ. 9
Ταξινόμηση Βραχιόνων.....	Σελ. 10

2^ο Κεφάλαιο

Ρομπότ & Ρομποτική.....	
Οργάνωση & λειτουργία.....	Σελ. 14
Βαθμός Ελευθερίας.....	Σελ. 15
Βραχίονας RV-2A.....	Σελ. 17
Ελεγκτής Βραχίονα RV-2A.....	Σελ. 18
Περιβάλλον Προγραμματισμού Cosirop.....	Σελ. 20
Κυρίως Περιβάλλον Προγραμματισμού Cosirop.....	Σελ. 22
Λειτουργίες RCI Explorer.....	Σελ. 23
Πρώτα Βήματα Προγραμματισμού.....	Σελ. 25
Περιγραφή Προγράμματος.....	Σελ. 26
Ορισμός Σημείων.....	Σελ. 27
Λίστα Σημείων.....	Σελ. 29
Παρακαλούθηση Εισόδων -Εξόδων.....	Σελ. 29
Συντακτικός Έλεγχος.....	Σελ. 30
Φόρτωση Προγράμματος.....	Σελ. 31
Αποσφαλμάτωση.....	Σελ. 31
Εκτέλεση Προγράμματος.....	Σελ. 32
Εντολές Ελέγχου Κίνησης.....	Σελ. 33
Κίνηση Γραμμικής Παρεμβολής.....	Σελ. 34
Συνεχής Κίνηση.....	Σελ. 36
Εντολές Ελέγχου Ταχύτητας.....	Σελ. 37
Εντολές Επιτάχυνσης - Επιβράδυνσης.....	Σελ. 38
Καθυστερήσεις.....	Σελ. 38
Υπορουτίνες.....	Σελ. 44

3^ο Κεφάλαιο

Τύποι Ρομπότ	
Ταξινόμηση Ανάλογα με τον τύπο Κίνησης.....	Σελ. 46
Τύποι Ρομποτικών Συστημάτων.....	Σελ. 47
Ρομποτικά Συστήματα Συνεχούς Δρόμου.....	Σελ. 48
Προγραμματισμός Τροχιάς.....	Σελ. 49
Ρομπότ Ελεγχόμενης Τροχιάς.....	Σελ. 51
Ρομπότ Καρτεσιανών Συντεταγμένων.....	Σελ. 52
Ρομπότ Κυλινδρικών Συντεταγμένων.....	Σελ. 53
Ρομπότ Σφαιρικών Συντεταγμένων.....	Σελ. 54
Αρθρωτά Ρομπότ.....	Σελ. 54
Ρομποτικά Συστήματα Ελέγχου.....	Σελ. 55

4^ο Κεφάλαιο

Περιγραφή Παλετοποίησης.....	Σελ. 61
Χώρος Υποδοχής.....	Σελ. 63
Ρομπότ Χαρτοκιβωτίων.....	Σελ. 64
Shuttle Car.....	Σελ. 65
Χώρος Υποδοχής Secondary.....	Σελ. 66
Main Diverter.....	Σελ. 70
Χώρος Εργασίας Ρομπότ.....	Σελ. 78

5^ο Κεφάλαιο

Περιγραφή & Λειτουργία.....	Σελ. 90
Περιτυλιχτικό Μηχάνημα.....	Σελ. 91
Οπτικές & Ηχητικές Ενδείξεις.....	Σελ. 97
Διακόπτες & Button.....	Σελ. 98
Σύστημα Scada.....	Σελ.101
Βελτιστοποίηση Λειτουργίας.....	Σελ.112
<u>Βιβλιογραφία</u>	Σελ.113

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εργοστασίου ΠΑΠΑΣΤΡΑΤΟΣ ΑΒΕΣ, τον καθηγητή μου κ. Παπουτσιδάκη καθώς και όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Αθήνα Αιγάλεω

Φεβρουάριος 2012

1^ο Κεφάλαιο

Εισαγωγή στην Ρομποτική



1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμοί και Ιστορικά Στοιχεία

Η Ρομποτική είναι εκείνος ο κλάδος της επιστήμης του μηχανικού που ασχολείται με τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία ρομπότ. Τα ρομπότ είναι μηχανές, η χρήση των οποίων αποσκοπεί στην αντικατάσταση του ανθρώπου στην εκτέλεση έργου. Η αντικατάσταση αυτή αφορά τόσο στο φυσικό επίπεδο του έργου όσο και στο επίπεδο λήψης απόφασης.

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.

Ορισμός του Ρομπότ

Σύμφωνα με το Robot Institute of America, ως ρομπότ μπορούμε να ορίσουμε ένα μηχανισμό σχεδιασμένο ώστε, μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων, να μεταφέρει υλικά, τεμάχια, εργαλεία ή ειδικευμένες συσκευές με σκοπό την επιτέλεση ποικιλίας εργασιών.

Ένας τέτοιος μηχανισμός περιλαμβάνει συνήθως τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Ένα μηχανολογικό υποσύστημα, το οποίο ενσωματώνει τη δυνατότητα του ρομπότ για εκτέλεση έργου. Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από μηχανισμούς που επιτρέπουν στο ρομπότ να κινείται όπως αρθρώσεις, συστήματα μετάδοσης κίνησης, επενεργητές-κινητήρες, οδηγούς κλπ.

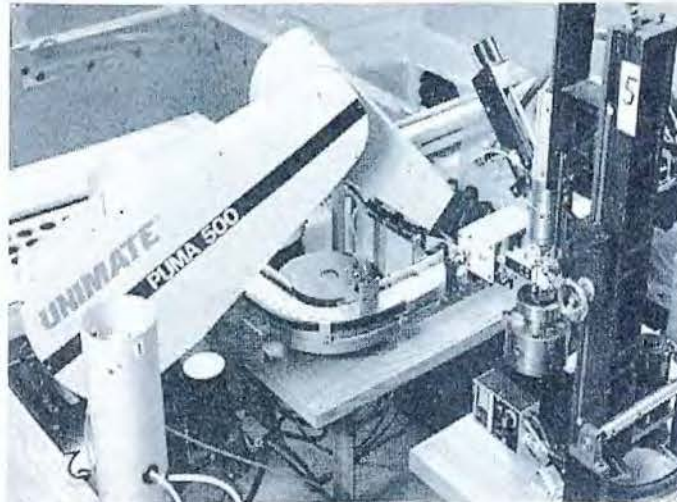
- Ένα υποσύστημα αίσθησης, μέσω του οποίου το ρομπότ συγκεντρώνει πληροφορίες για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τόσο το ίδιο όσο και το περιβάλλον. Το υποσύστημα αυτό εκτός των άλλων είναι υπεύθυνο για την αποδοχή των εξωτερικών εντολών, την επεξεργασία τους, τη μετάφρασή τους σε ηλεκτρική ισχύ που θα δοθεί στους κινητήρες του ρομπότ, καθώς επίσης και για την παραγωγή σημάτων εξόδου που θα πληροφορούν για την κατάσταση του συστήματος. Στο υποσύστημα αίσθησης περιλαμβάνονται όργανα μετρήσεως, αισθητήρες, ηλεκτρονικά στοιχεία κλπ..
- Ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο συνδυάζει κατάλληλα την αίσθηση με τη δράση, έτσι ώστε το ρομπότ να λειτουργεί αποτελεσματικά και με τον επιθυμητό τρόπο. Ο ελεγκτής του ρομπότ επιβλέπει και συντονίζει ολόκληρο το σύστημα, για τη σχεδίαση και υλοποίησή του δε απαιτείται ο συνδυασμός γνώσεων από πολλές γνωστικές περιοχές, όπως είναι ο αυτόματος έλεγχος, η τεχνητή νοημοσύνη, η επιστήμη των υπολογιστών κλπ..

1.2 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. Τα τελευταία είναι αυτά που αναφέραμε παραπάνω, 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 (Σχήμα 1).



Σχήμα 1 Ο Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας PUMA 560 της Unimation Inc.

- **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 (Σχήμα 2).
- **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 (Σχήμα 3).
- **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 (Σχήμα 4).



Σχήμα 2 AGV σε Βιομηχανικό Περιβάλλον



Σχήμα 3 Αυτόνομο Έντροχο Ρομπότ



Σχήμα 4 Ο Dante II του Εργαστηρίου JPL της NASA κατά τη διάρκεια ανάβασης σε βουνό της Αλάσκα

- **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 (Σχήμα 5).

- **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 (Σχήμα 6).
- **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 (Σχήματα 7 και 8).



Σχήμα 5 Απόδοση ενός ROV



Σχήμα 6 Απόδοση ενός AUV



Σχήμα 7 Ρομποτικό Ελικόπτερο του USC



Σχήμα 8 Το ρομπότ Helios της NASA

Όλες οι παραπάνω κατηγορίες ρομπότ αποτελούνται από τα βασικά υποσυστήματα που έχουμε ήδη αναφέρει. Τα υποσυστήματα αυτά θα περιγραφούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις παραγράφους που θα ακολουθήσουν δίνοντας όμως έμφαση κυρίως στην πρώτη κατηγορία ρομπότ. Ο λόγος είναι ότι από όλα τα είδη ρομπότ, αυτό που σήμερα έχει φτάσει σε ένα επίπεδο ώριμης τεχνολογίας είναι οι βιομηχανικοί ρομποτικοί βραχίονες. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι τα επόμενα χρόνια δεν θα υπάρξουν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις και στις υπόλοιπες κατηγορίες ρομπότ.

1.3 Βιομηχανικοί Ρομποτικοί Βραχίονες: Βασικές Έννοιες και Είδη

Όπως έχουμε ήδη σημειώσει ένας ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών στερεών σωμάτων που ονομάζονται σύνδεσμοι. Οι σύνδεσμοι συνδέονται ανά δύο μεταξύ τους μέσω αρθρώσεων σχηματίζοντας μία κινηματική αλυσίδα. Οι αρθρώσεις μπορεί να είναι :

πρισματικές : σχετική μεταφορική κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδέσμων,

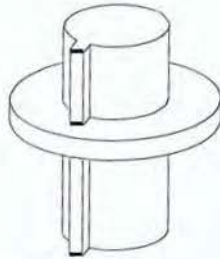
περιστροφικές : υλοποιούν σχετική περιστροφική κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδέσμων

σφαιρικές : υλοποιούν σφαιρική περιστροφική κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδέσμων.

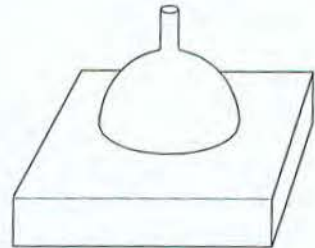
και παρέχουν στην κατασκευή από έναν βαθμό κινητικότητας (Σχήματα 9 - 11). Με τη σειρά της, μία κινηματική αλυσίδα χαρακτηρίζεται ως ανοικτή όταν υπάρχει μία μόνο διαδοχή συνδέσμων που να συνδέει τα δύο άκρα του βραχίονα και κλειστή όταν οι σύνδεσμοι που τη συνιστούν σχηματίζουν βρόχο.



Σχήμα 9 Πρισματική άρθρωση



Σχήμα 10 Περιστροφική άρθρωση



Σχήμα 11 Σφαιρική άρθρωση

Βαθμοί Κινητικότητας και Βαθμοί Ελευθερίας

Κρίνεται σκόπιμο να επισημάνουμε τη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στους βαθμούς κινητικότητας ενός βραχίονα και τους βαθμούς ελευθερίας που απαιτούνται για την εκτέλεση ενός έργου. Για ένα βραχίονα το πλήθος των βαθμών κινητικότητας είναι σταθερό και ίσο με το πλήθος των αρθρώσεών του (πρισματικών ή/και περιστροφικών). Από την άλλη πλευρά οι βαθμοί ελευθερίας είναι άμεσα συνδεδεμένοι με το συγκεκριμένο έργο που καλείται να φέρει εις πέρας ο βραχίονας. Για τη γενική περίπτωση που θέλουμε να τοποθετήσουμε και να προσανατολίσουμε ένα αντικείμενο στον τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται 6 βαθμοί ελευθερίας (3 για να τοποθετήσουμε ένα σημείο του αντικειμένου στο χώρο και 3 για να προσανατολίσουμε το αντικείμενο ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων αναφοράς). Είναι προφανές ότι ένας ρομποτικός βραχίονας με 6 βαθμούς κινητικότητας μπορεί να αντεπεξέλθει σ' αυτό το έργο, όπως επίσης και σε οποιοδήποτε άλλο έργο που απαιτεί μέχρι 6 βαθμούς ελευθερίας.

Χώρος Εργασίας

Ως χώρος εργασίας ορίζεται ο τρισδιάστατος χώρος τον οποίο μπορεί να σαρώσει η άκρη του ρομποτικού μηχανισμού. Το μέγεθος και η γεωμετρική μορφή του χώρου αυτού εξαρτώνται από την κατασκευαστική δομή του ρομπότ, κάτι που θα γίνει φανερό και στη συνέχεια.

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

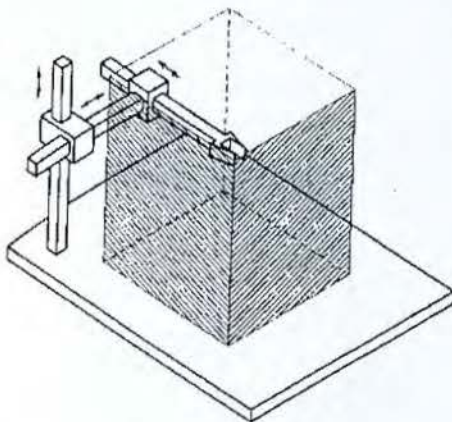
μπορεί να επιστρέψει στη συγκεκριμένη θέση μετά από ορισμένους κύκλους λειτουργίας. Δεδομένου ότι στις συνήθεις βιομηχανικές εφαρμογές οι επιθυμητές κινήσεις διδάσκονται στο ρομπότ αντιλαμβάνεται κανείς τη σπουδαιότητα της επαναληψιμότητας.

- **Ακρίβεια:** είναι η ικανότητα του ρομπότ να πηγαίνει ακριβώς στη θέση που του έχει δοθεί εντολή να πάει. Η ακρίβεια εξαρτάται κυρίως από τη διακριτότητα 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.

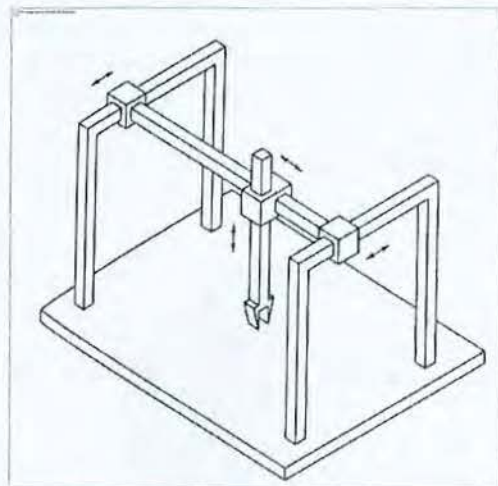
Ταξινόμηση Βραχιόνων βάσει της Γεωμετρικής Διαμόρφωσής τους

Ο τύπος και η διαδοχή των αρθρώσεων ενός βραχίονα επιτρέπει την ταξινόμησή των ρομπότ σε διάφορες κατηγορίες, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω. Οι αρθρώσεις που μας απασχολούν στο σημείο αυτό είναι οι τρεις πρώτες του βραχίονα και κατά συνέπεια εξαιρούνται οι αρθρώσεις του καρπού. Θα έχουμε λοιπόν τα εξής:

- **Καρτεσιανοί Βραχίονες:** η καρτεσιανή γεωμετρία υλοποιείται με τρεις διαδοχικές πρισματικές αρθρώσεις. Οι άξονες των αρθρώσεων αυτών είναι ανά δύο κάθετοι μεταξύ τους (Σχήμα 12). 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.
- **Βραχίονες Gantry:** οι βραχίονες Gantry είναι στην ουσία καρτεσιανοί, διαφέρουν όμως από τους τελευταίους στον τρόπο προσέγγισης τους αντικείμενου ενδιαφέροντος (Σχήμα 13). 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.



Σχήμα 12 Καρτεσιανός Βραχίονας



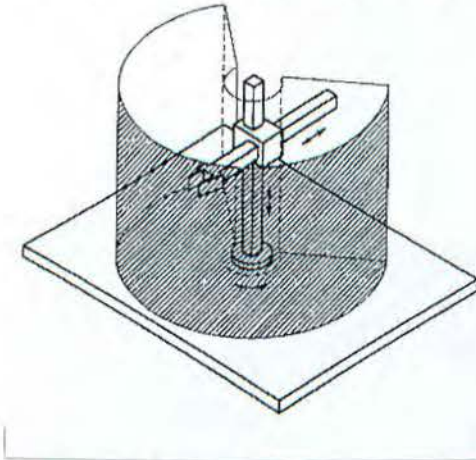
Σχήμα 13 Βραχίονας Gantry

- **Κυλινδρικοί Βραχίονες:** στους κυλινδρικούς βραχίονες η πρώτη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής έχει αντικατασταθεί από μία περιστροφική άρθρωση (Σχήμα 14). 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

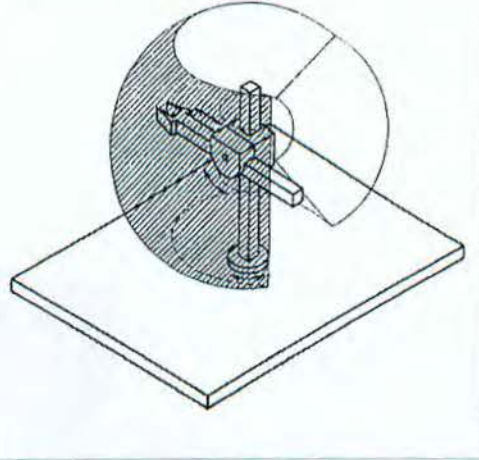
Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

της συγκεκριμένης γεωμετρίας είναι το ότι ο βραχίονας εισέρχεται στο χώρο εργασίας και τον περιορίζει.

- **Σφαιρικοί Βραχίονες:** στους βραχίονες αυτούς αντικαθίσταται πλέον και η δεύτερη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής με περιστροφική (Σχήμα 15). 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.

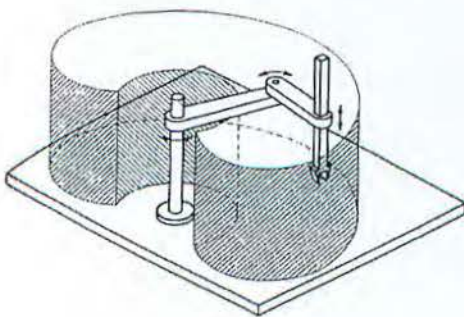


Σχήμα 14 Κυλινδρικός Βραχίονας

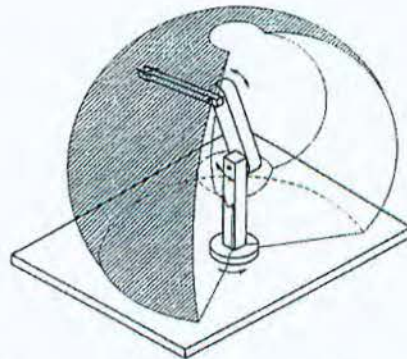


Σχήμα 15 Σφαιρικός Βραχίονας

- **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 (Σχήμα 16). 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.
- **Ανθρωπομορφικοί Βραχίονες:** η ανθρωπομορφική γεωμετρία υλοποιείται με τρεις διαδοχικές περιστροφικές αρθρώσεις. Ειδικότερα, ο άξονας περιστροφής της πρώτης άρθρωσης είναι κατακόρυφος και κάθετος στους άξονες περιστροφής των επομένων δύο αρθρώσεων, οι οποίοι είναι παράλληλοι μεταξύ τους (Σχήμα 17). Η συγκεκριμένη δομή παρέχει τη μεγαλύτερη επιδεξιότητα από όλες τις προηγούμενες, καθώς όλες οι αρθρώσεις είναι περιστροφικές. Ωστόσο η ακρίβεια του καρπού δεν είναι σταθερή εντός του χώρου εργασίας που έχει τη μορφή σφαίρας.



Σχήμα 16 Βραχίονας SCARA



Σχήμα 17 Ανθρωπομορφικός Βραχίονας

2^ο Κεφάλαιο

Ρομπότ & Ρομποτική



Οργάνωση και λειτουργία

Τα στοιχεία που αποτελούν ένα Ρομποτικό Σύστημα είναι το Μηχανικό μέρος και ο Ελεγκτής. Στην ανάλυση μας, θα έχουμε ως παράδειγμα στην συνέχεια της ανάλυσης μας το ρομποτικό βραχίονα (RV-2A), για να γίνουν πιο εύκολα και κατανοητά τα μέρη που περιγράφουμε, χωρίς να χάνεται η γενικότητα.

Το μηχανικό μέρος στο ρομπότ του εργαστηρίου μας αποτελεί ο βραχίονας. Ο βραχίονας αποτελείται από:

Αρθρώσεις : Οι αρθρώσεις είναι είτε γραμμικές που επιτρέπουν την κίνηση κατά μήκος ενός άξονα, είτε περιστροφικές, επιτρέπουν την κίνηση γύρω από τον άξονα τους. Παρατηρήστε ότι το RV-2A έχει έξι περιστροφικές αρθρώσεις.

Κινητήρες : Κάθε άρθρωση χρειάζεται και από ένα κινητήρα όπως είναι φανερό. Ο κινητήρας μπορεί να είναι ηλεκτρικός (βηματικός ,σερβοκινητήρας), υδραυλικός ή πνευματικός.

Αισθητήρια : Για να ελέγχουμε τη θέση του ρομπότ χρειαζόμαστε πληροφορίες για την θέση και την ταχύτητα της κάθε άρθρωσης. Έτσι χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αισθητηρίων, όπως ποτενσιόμετρα , ταχύμετρα ή encoders (ψηφιακοί οπτικοί κωδικοποιητές θέσης).

Στην περίπτωση του RV-2A κάθε άρθρωση έχει από ένα σερβοκινητήρα ψηφιακά ελεγχόμενο (PID έλεγχος-software). Το σύστημα ελέγχου θέσης κάθε άρθρωσης (γωνία στροφής - γωνιακή ταχύτητα κλπ.) αποτελείται από έναν υψηλής ακρίβειας ψηφιακό οπτικό κωδικοποιητή θέσης ο οποίος σε μία πλήρη περιστροφή της άρθρωσης αποδίδει 8192 παλμούς.

Τελικό στοιχείο δράσης : όλοι οι βραχίονες έχουν προσαρμοσμένο στο άκρο τους ένα μηχανικό εξάρτημα κατάλληλα σχεδιασμένο και επιλεγμένο , προκειμένου να εκτελούν την εργασία για την οποία έχουν προγραμματιστεί, που μπορεί να είναι μια αρπάγη για τη μεταφορά αντικειμένων, συγκολλητήης αντίστασης

,τόξου ,εργαλεία για διαφορες βιομηχανικές κατεργασίες (λείανση κοπή, τρύπημα, βαφή, συναρμολόγηση, παλετοποίηση κ.ο.κ). Το RV-2A έχει μια υποτυπώδη αρπάγη (βεντούζα) που λειτουργεί με κενό αέρος.

Ο ελεγκτής είναι η μονάδα που μας δίνει τη δυνατότητα να προγραμματίσουμε το ρομπότ και ο οποίος ελέγχει την κίνηση του και την εκτέλεση της εργασίας του. Αποτελείται από:

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

Ηλεκτρονικά (Hardware) : Αυτά είναι συνήθως ένας υπολογιστής, όπου αποθηκεύεται το πρόγραμμα που θα εκτελεστεί. Τα ηλεκτρονικά επικοινωνίας (Interface), που χρησιμεύουν στην επικοινωνία του ελεγκτή με το μηχανικό μέρος του ρομπότ και το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ενισχυτές ισχύος, που ενισχύουν τα σήματα ελέγχου στο επίπεδο που απαιτείται, ώστε οι κινητήρες να κινούν τις αρθρώσεις.

Λογισμικό (Software) : Κυρίως το λογισμικό ευθύνεται για τη δημιουργία των κατάλληλων σημάτων ελέγχου, σύμφωνα με κάποιον αλγόριθμο, παίρνοντας υπόψη του το φορτίο, την ταχύτητα, την θέση του ρομπότ και άλλες μεταβλητές. Επίσης, στο λογισμικό περιλαμβάνεται και κάποιο βοηθητικό πρόγραμμα (για το RV-2A υπάρχει το περιβάλλον προγραμματισμού COSIROP) που επιτρέπει τον προγραμματισμό του ρομπότ σε μία γλώσσα υψηλού επιπέδου. Ακόμη φροντίζει για την παρακολούθηση της λειτουργίας του και την ενημέρωση του χρήστη.

Βαθμός Ελευθερίας

Βασικό γνώρισμα κάθε ρομπότ αποτελεί ο Βαθμός Ελευθερίας (Degree Of Freedom – DOF) του. Σε γενικές γραμμές δηλώνει το πόσο ευκίνητο είναι ένα ρομπότ στο χώρο. Συνήθως, κάθε ανεξάρτητα κινούμενη άρθρωση προσθέτει ένα βαθμό ελευθερίας στο ρομπότ.

Ο ορισμός λέει:

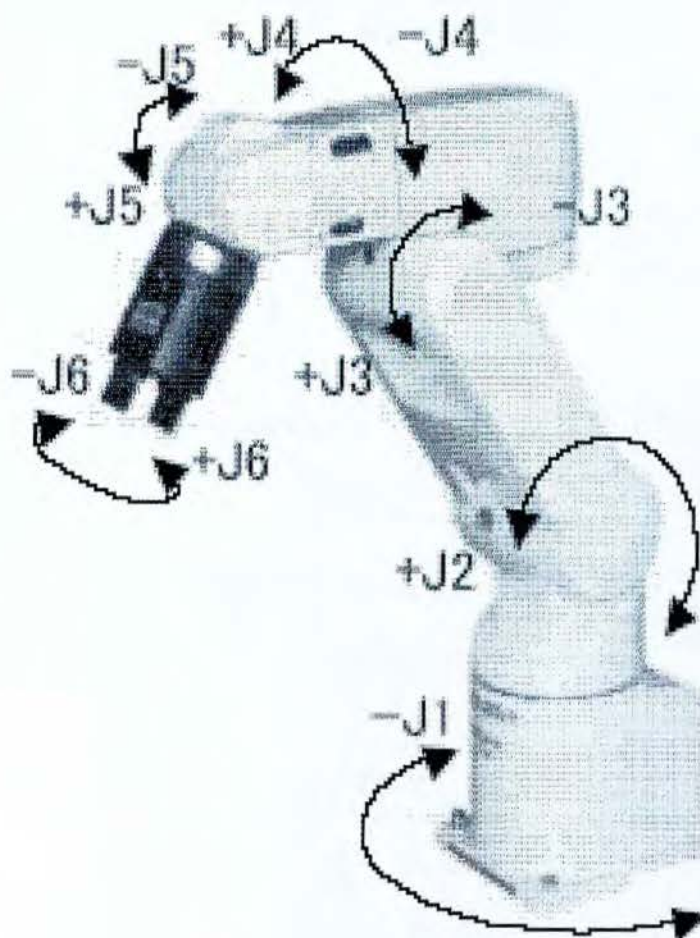
“Ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων, που προσδιορίζουν τη θέση ενός σώματος στο χώρο, ονομάζεται Βαθμός Ελευθερίας”

Για να περιγράψουμε ακριβώς τη θέση ενός στερεού σώματος στο χώρο, χρειαζόμαστε 6 μεταβλητές, 3 για την θέση και 3 για τον προσανατολισμό του. Άρα, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, για να μπορεί ένα ρομπότ να κινηθεί οπουδήποτε στο χώρο με οποιοδήποτε προσανατολισμό, πρέπει να έχει τουλάχιστον 6 βαθμούς ελευθερίας. Ο ρομποτικός βραχίονας του εργαστηρίου RV-2A έχει 6 βαθμούς ελευθερίας. Δηλαδή, κάθε περιστροφική του άρθρωση προσφέρει από ένα βαθμό ελευθερίας.

Ο ανθρώπινος βραχίονας υπολογίζεται ότι έχει 7 βαθμούς ελευθερίας. Στα βιομηχανικά ρομπότ σπάνια συναντάμε πάνω από 6 βαθμούς ελευθερίας, αφού ναι μεν θα βελτιωνόταν η ευελιξία τους, αλλά θα γινόταν πιο περίπλοκος ο αλγόριθμος ελέγχου τους χωρίς να επεκτείνεται ο χώρος δράσης τους.

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

Ο βραχίονας που θα παρουσιάσουμε είναι το μοντέλο ,RV-2A της Mitsubishi, είναι ένας αρθρωτός βιομηχανικός βραχίονας 6 βαθμών ελευθερίας. Έχει πεδίο δράσης ακτίνας 65 cm περίπου και μπορεί να χειριστεί αντικείμενα βάρους έως 2-2,5 kgg αναπτύσσοντας μέγιστη ταχύτητα 3,5 m/sec.



Πρώτη επαφή με τον βραχίονα RV-2A και το περιβάλλον προγραμματισμού COSIROP

Σύντομη περιγραφή του βραχίονα RV-2A

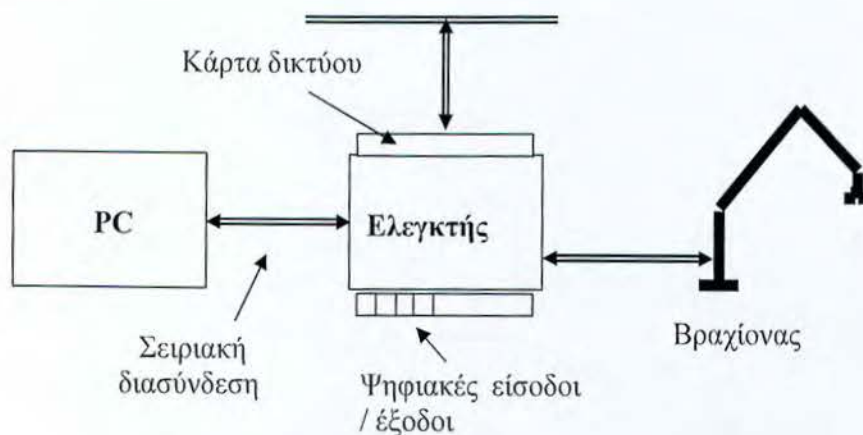
Ο ρομποτικός βραχίονας RV-2A, της Mitsubishi, είναι ένας βραχίονας 6 βαθμών ελευθερίας. Μπορεί να αναπτύξει μέγιστη ταχύτητα 3.5 m/sec για ένα μέγιστο φορτίο έως 2.5 kgr και έχει 'ακτίνα' δράσης περίπου 65 cm.

Ο ελεγκτής του διαθέτει:

¾ Σειριακή θύρα για σύνδεση με υπολογιστή.

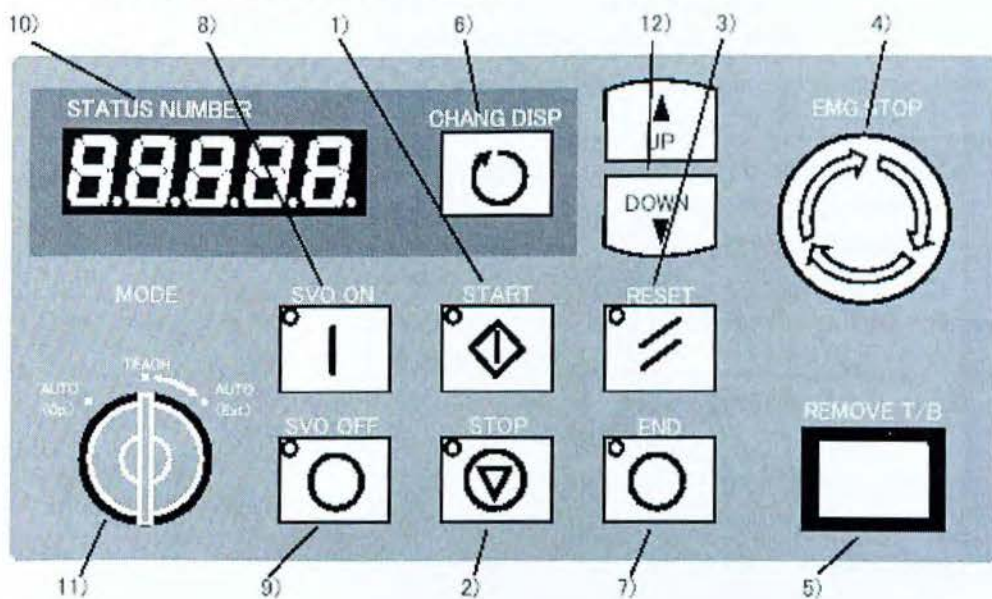
¾ Κάρτα δικτύου για σύνδεση με τοπικό δίκτυο.

¾ Κάρτες που ενσωματώνουν ψηφιακές εισόδους και εξόδους, γενικής χρήσης.

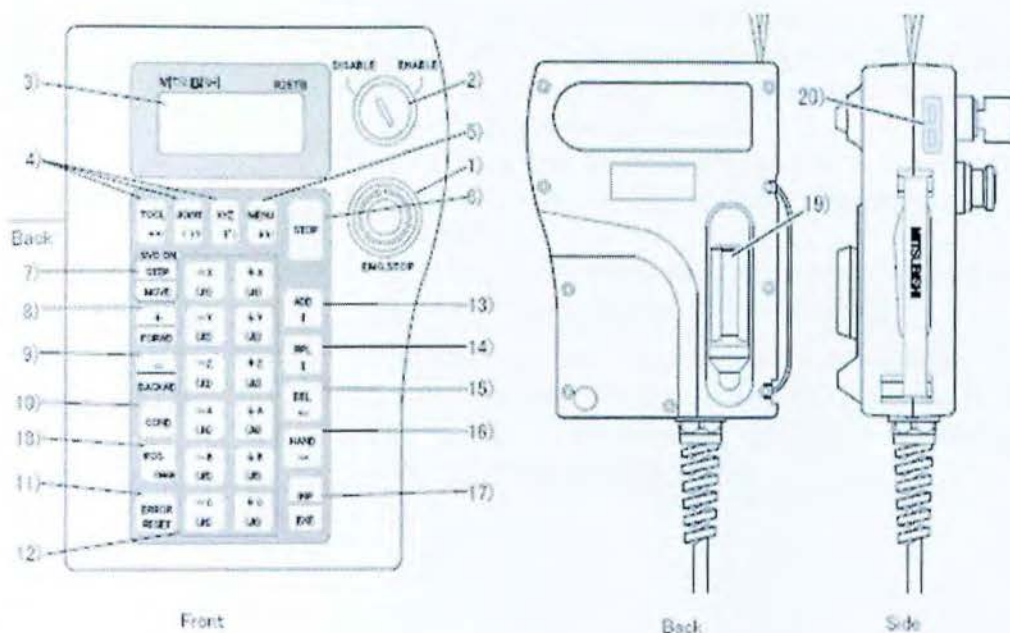


Ο ελεγκτής

Η όψη του ελεγκτή φαίνεται στη παρακάτω φωτογραφία.



Teaching Pendant



Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

№/Α	Όνομα	Λειτουργία
1	START	Ξεκινάει το πρόγραμμα που έχουμε επιλέξει. Το πρόγραμμα τρέχει στον ελεγκτή συνεχώς. Κατά την εκτέλεση του, το πράσινο λαμπάκι στο κουμπί ανάβει.
2	STOP	Σταματάει τον βραχίονα αμέσως, χωρίς να απενεργοποιεί τους σερβοκινητήρες. Το κόκκινο φωτάκι ανάβει.
3	RESET	Σε περίπτωση σφάλματος, το κόκκινο φωτάκι του κουμπιού ανάβει και η εκτέλεση του προγράμματος τερματίζεται. Πατώντας το κουμπί, επαναφέρουμε τον ελεγκτή σε κατάσταση λειτουργίας.
4	EMG. STOP	Σταματάει τον βραχίονα αμέσως και απενεργοποιεί τους σερβοκινητήρες.
5	REMOVE T/B	Χρησιμοποιείται όταν συνδέουμε ή αποσυνδέουμε το χειριστήριο εκπαίδευσης.
6	CHNG. DISP.	Εναλλαγή των ενδείξεων στην οθόνη του ελεγκτή.
7	END	Τερματίζει την εκτέλεση του προγράμματος.
8	SVO ON	Επιτρέπει την λειτουργία των σερβοκινητήρων παρέχοντάς τους ισχύ. Το πράσινο φωτάκι ανάβει.
9	SVO OFF	Απενεργοποιεί τους σερβοκινητήρες.
10	STATUS NUMBER	Δίνει της εξής πληροφορίες: Αριθμός Προγράμματος, Γραμμή κώδικα που εκτελείται ανά πάσα στιγμή. Την ταχύτητα εκτέλεσης(ο αριθμός που αναφέρεται στην ταχύτητα είναι η επί τοις εκατό αντιστοιχία της τρέχουσας ,με τη μέγιστη ταχύτητα που έχουμε ορίσει μέσα στο πρόγραμμα μας. Τον Αριθμό σφάλματος ή προβλήματος όταν ενεργοποιείται κάποιος συναγερμός (ανατρέχουμε στο σχετικό manual).
11	MODE	Teach : Δέχεται εντολές μόνο από το χειριστήριο εκπαίδευσης(teaching pendant). Auto (Op.) : Δέχεται εντολές μόνο από τον ελεγκτή(φάση εκτέλεσης ήδη αποθηκευμένων προγραμμάτων στον controller). Auto (Ext.) : Δέχεται εντολές μόνο από εξωτερική πηγή (Διασύνδεση με το τερματικό Υπολογιστή).
12	UP & DOWN	Ανάλογα με την πληροφορία που έχουμε επιλέξει να εμφανίζεται στην οθόνη του ελεγκτή, μπορούμε να επιλέξουμε πρόγραμμα, να ρυθμίσουμε την ταχύτητα κίνησης και να προσδιορίσουμε τα πιθανά λάθη.

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής Το περιβάλλον προγραμματισμού COSIROP

Ο βραχίονας RV-2A μπορεί να προγραμματισθεί είτε με την βοήθεια του ειδικού χειριστηρίου εκπαίδευσης (*Teaching Pendant*) είτε με την βοήθεια ενός υπολογιστή (PC).

Για την δεύτερη αυτή περίπτωση υπάρχει διαθέσιμο το «περιβάλλον» προγραμματισμού και παρακολούθησης COSIROP. Μέσα από το εν λόγω περιβάλλον, ο χειριστής μπορεί να προγραμματίσει πολλούς από τους βραχίονες της Mitsubishi, μεταξύ των οποίων και τον βραχίονα του εργαστηρίου RV-2A. Εκτός του προγραμματισμού, το COSIROP παρέχει την δυνατότητα ελέγχου και αποσφαλμάτωσης (*Debugging*) του προγράμματος, καθώς και παρακολούθησης του βραχίονα κατά την φάση της λειτουργίας του (παρακολούθηση κινηματικών και ηλεκτρικών μεγεθών). Η διασύνδεση του PC με τον ελεγκτή του βραχίονα πραγματοποιείται είτε μέσω σειριακής θύρας (*RS232 Serial Interface*) είτε μέσω δικτύου βάση του πρωτοκόλλου (*TCP/IP*)¹.

Πρώτη επαφή

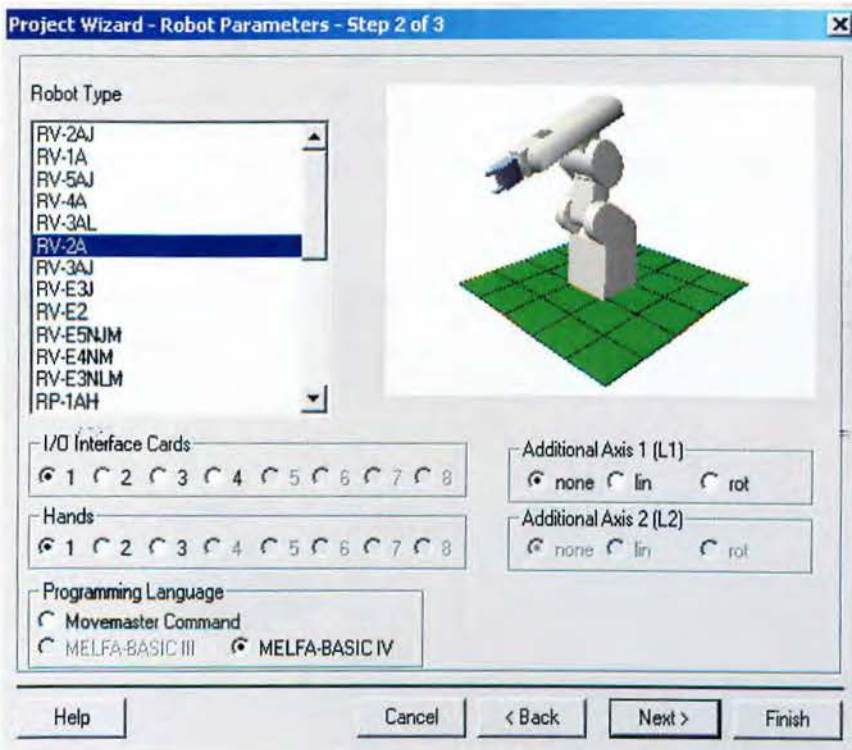
Αφού τρέξουμε το COSIROP, από το μενού *File*, επιλέγουμε *Project Wizard*. Στο πεδίο *Project Name*, δίνουμε το όνομα του *project*, όπως αυτό θα αποθηκευτεί στον φάκελο του υπολογιστή που έχουμε επιλέξει. Στο πεδίο *Program Name*, δίνουμε το όνομα του προγράμματος, όπως αυτό θα αποθηκευτεί στον ελεγκτή (ένας αριθμός μέχρι τέσσερα ψηφία). Προαιρετικά συμπληρώνουμε τα υπόλοιπα πεδία. Ένα παράδειγμα φαίνεται στη παρακάτω φωτογραφία.

The screenshot shows a 'Project Wizard - Step 1 of 3' dialog box. The fields are filled with the following information:

Field	Value
Project Name	Eργαστήριο 1
Program Name	001
Directory	C:\Program Files\COSIROP\Projects\Eργαστήριο 1
Created by	Πομποδάκης Κων/νος
Initials	ΚΠ
Description	Παρουσίαση του βιομηχανικού COSIROP

Buttons at the bottom: Help, Cancel, Next >, Finish.

Πατάμε *Next*. Στην επόμενη καρτέλα, επιλέγουμε τον τύπο του βραχίονα που θέλουμε να προγραμματίσουμε και δίνουμε ορισμένες πληροφορίες για το σύστημα του ρομπότ. Ο τύπος του βραχίονα (*Robot Type*) που χρησιμοποιούμε είναι ο **RV-2A**, έχει μία (1) αρπάγη (*Hands*) και μία (1) κάρτα ψηφιακών εισόδων / εξόδων (*I/O Interface Cards*). Η γλώσσα προγραμματισμού (*Programming Language*) που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η **Melfa – Basic IV**. Πρόσθετος άξονας (*Additional Axis*) δεν υπάρχει οπότε επιλέγουμε *none*.



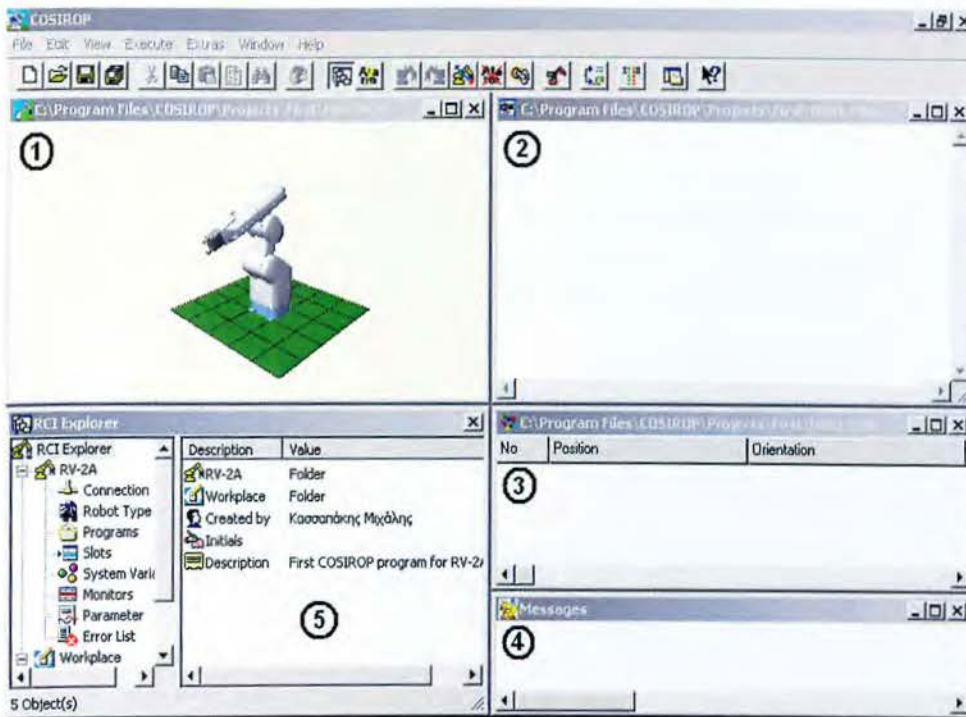
Τελειώνοντας το στάδιο αυτό (*Finish*), μεταφερόμαστε στην κυρίως οθόνη.

Στην περίπτωση που δεν επιθυμούμε να ξεκινήσουμε νέο *project*, αλλά να συνεχίσουμε την εργασία μας σε κάποιο προηγούμενο, τότε στην αρχική οθόνη του COSIROP δεν επιλέγουμε *Project Wizard*. Από το μενού *File*, επιλέγουμε *Open...* και αφού πάμε στον κατάλογο που θέλουμε, ανοίγουμε το αποθηκευμένο *project* που μας ενδιαφέρει.

Το κυρίως προγραμματιστικό περιβάλλον

Στην οθόνη εμφανίζονται πέντε παράθυρα :

1. Φαίνεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο του βραχίονα. Εδώ μπορούμε, κάνοντας δεξί κλικ, να δούμε τον βραχίονα από διαφορετικές όψεις να τον μεγεθύνουμε . Επίσης με μία διαδικασία που θα δούμε στην πορεία μπορούμε να έχουμε προσομοίωση της διάταξης του βραχίονα σε κάθε σημείο που έχουμε αποθηκεύσει .
2. Το παράθυρο προγραμματισμού (όπου γράφουμε τον κώδικα του προγράμματος). Το αρχείο, αποθηκεύεται στον υπολογιστή και έχει το όνομα που έχουμε προηγουμένως ορίσει με κατάληξη **MB4**.
3. Η λίστα με τα σημεία (*Position List*) που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα μας. Αρχείο με κατάληξη **POS**.
4. Παράθυρο μηνυμάτων μεταξύ ελεγκτή και υπολογιστή.
5. Το παράθυρο επικοινωνίας με τον ελεγκτή του βραχίονα : *Robot Controller Interface (RCI) Explorer*.



Λειτουργίες του RCI Explorer

Ο *RCI Explorer* υλοποιεί την σύνδεση μεταξύ του ρομπότ και του υπολογιστή μας. Είναι ένα κέντρο ανταλλαγής πληροφοριών και δεδομένων με τον ελεγκτή του ρομπότ. Δίνει πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του βραχίονα, μεταφέρει προγράμματα από και προς τον ελεγκτή και παρακολουθεί την εκτέλεση τους.

Το παράθυρο του *Explorer* χωρίζεται σε δύο φακέλους. Στον πρώτο, που έχει το όνομα του βραχίονα, περιέχονται πληροφορίες και δεδομένα του ελεγκτή. Αναλυτικότερα, οι λειτουργίες κατά σειρά εμφάνισης είναι:

Connection : Μας πληροφορεί για το είδος της σύνδεσης που έχει επιλεγεί (σειριακή ή δικτυακή) και την κατάσταση της. Από εδώ μπορούμε, κάνοντας δεξί κλικ, να ενεργοποιήσουμε ή να απενεργοποιήσουμε την σύνδεση του υπολογιστή με τον ελεγκτή. Επισημαίνουμε ότι, πριν ξεκινήσουμε οποιαδήποτε ανταλλαγή πληροφοριών, μεταξύ του ελεγκτή και του PC, είναι απαραίτητη η ενεργοποίηση της σύνδεσης.

Robot Type : Εμφανίζει στοιχεία του ελεγκτή, όπως την ελεύθερη μνήμη του, των αριθμό των προγραμμάτων που είναι υποθηκευμένα στον ελεγκτή κ.α.

Programs : Περιέχει τα προγράμματα που είναι αποθηκευμένα στον ελεγκτή. Από εδώ, κάνοντας δεξί κλικ σε ένα πρόγραμμα, μπορούμε να το τρέξουμε, να το σταματήσουμε, να το φορτώσουμε στον υπολογιστή, να ξεκινήσουμε την αποσφαλμάτωση του (*Debugging*) κ.ο.κ.

Slots : Ο συγκεκριμένος τύπος ελεγκτή υποστηρίζει την σύγχρονη εκτέλεση (*Multitasking*) έως 8 διαφορετικών προγραμμάτων, τα οποία μπορούμε να αποθηκεύσουμε στις 8 διαφορετικές θύρες (*Slots-περιοχές μνήμης*) του ελεγκτή. Η προεπιλεγμένη θύρα, για την αποθήκευση του προγράμματος μας, είναι η πρώτη.

System Variables : Μας ενημερώνει για διάφορες μεταβλητές συστήματος του ελεγκτή και τις τρέχουσες τιμές τους.

Monitors : Εδώ έχουμε τα εργαλεία παρακολούθησης του βραχίονα. Κάνοντας διπλό κλικ σε ένα από αυτά εμφανίζεται το αντίστοιχο παράθυρο. Πρόκειται για σημαντικά εργαλεία, που μας δίνουν την δυνατότητα να παρακολουθούμε την κάθε λεπτομέρεια του ρομπότ και να ελέγχουμε την πορεία του προγράμματος μας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι: Παρακολούθηση της εντολής του προγράμματος που εκτελείται (*Programs*), Παρακολούθηση της τιμής των μεταβλητών του προγράμματος (*Variables*), Παρακολούθηση και αλλαγή της κατάστασης των ψηφιακών εισόδων / εξόδων (*Inputs, Outputs*).

Parameter : Περιέχει τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται από το σύστημα του ελεγκτή και την τιμή αυτών. Η τιμές αυτών είναι προκαθορισμένες και δεν πρέπει να αλλαχτούν.

Error List : Εμφανίζει τα σφάλματα που έχουν συμβεί κατά την λειτουργία του συστήματος, ξεκινώντας από το πιο πρόσφατο. Εάν κάνουμε διπλό κλικ σε κάποιο από αυτά θα εμφανιστεί ο λόγος που προκάλεσε το σφάλμα και τι προτείνεται να κάνουμε.

Προχωράμε, στο δεύτερο φάκελο, που ονομάζεται *Workplace* και αφορά τον υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τον ελεγκτή, στον οποίο εργαζόμαστε. Οι λειτουργίες εδώ είναι οι εξής δύο:

Programs : Βλέπουμε τα προγράμματα που περιέχονται στο *project* το οποίο δουλεύουμε και είναι αποθηκευμένα στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή.

Tools : Πρόκειται για τα εργαλεία που προσφέρει το περιβάλλον COSIROP, τα οποία κάνουν τον προγραμματισμό του βραχίονα ευκολότερο. Το **Command Tool** είναι ένα εργαλείο αποστολής μεμονωμένων εντολών είτε στον ελεγκτή του βραχίονα, είτε στο παράθυρο προγραμματισμού. Στην περίπτωση που στείλουμε την εντολή στον ελεγκτή, μπορούμε να δούμε και την απόκριση του, στο πλαίσιο *Robot*.

Το εργαλείο **Jog Operation** είναι πάρα πολύ χρήσιμο και γι' αυτό θα ασχοληθούμε διεξοδικά παρακάτω. Επιγραμματικά αναφέρουμε ότι μέσω αυτού μπορούμε να κινήσουμε τον βραχίονα σε οποιαδήποτε θέση και με οποιοδήποτε προσανατολισμό.

Το **Project Management** δίνει μία συνολική εικόνα της εργασίας μας και των αρχείων των οποίων εμπλέκονται σε αυτή.

Το **Terminal** είναι ένα παράθυρο απ' ευθείας επικοινωνίας με τον ελεγκτή του βραχίονα και το πρόγραμμα το οποίο τρέχει.

Πρώτα βήματα στον προγραμματισμό

Σχεδιασμός προβλήματος

Βρισκόμαστε λοιπόν στην κυρίως οθόνη του COSIROP και έχουμε σκεφτεί τι θέλουμε να προγραμματίσουμε τον βραχίονα να κάνει. Στην προκειμένη περίπτωση, θέλουμε ο βραχίονας να ξεκινήσει από ένα σημείο (έστω P1), να κινηθεί γραμμικά σε ένα δεύτερο σημείο (έστω P2). Στο σημείο αυτό, να δώσει εντολή να λειτουργήσει ο ταινιόδρομος για 2sec και στη συνέχεια, αφού απενεργοποιήσει τον ταινιόδρομο να κινηθεί πίσω στο πρώτο σημείο (P1).

Αποκατάσταση επικοινωνίας

Πρώτα απ' όλα, εάν δεν το έχουμε ήδη κάνει, πρέπει να αποκαταστήσουμε την επικοινωνία του ελεγκτή με τον υπολογιστή. Κάνοντας δεξί κλικ στην λειτουργία **Connection του RCI Explorer**, επιλέγουμε **Connect**. Εμφανίζεται ένα παράθυρο που μας δίνει πληροφορίες για τον ελεγκτή και τον τύπο του βραχίονα, καθώς μας προειδοποιεί και για τις οδηγίες ασφαλείας που πρέπει να γνωρίζουμε προτού χειριστούμε το ρομπότ.

Βασικές αρχές ασφάλειας

Στο σημείο αυτό, θα επισημάνουμε κάποιες βασικές αρχές που πρέπει να έχουμε συνεχώς στο μυαλό μας, ώστε να χειριστούμε το ρομπότ με ασφάλεια, τόσο για εμάς και τους γύρω μας, όσο και για το ίδιο το ρομπότ.

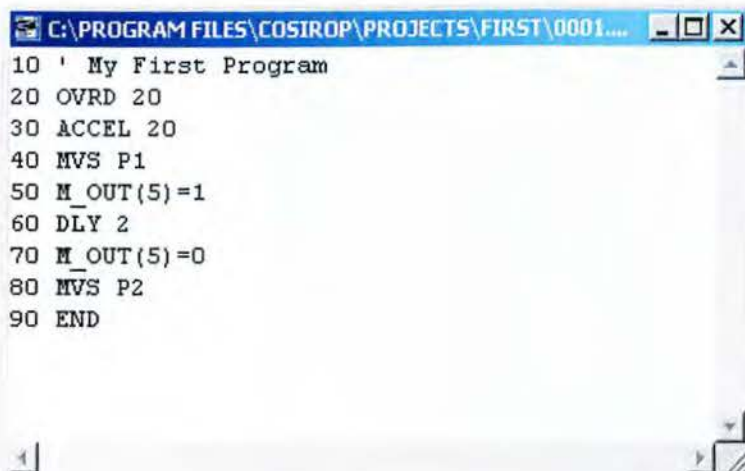
Κύρια αιτία τραυματισμού, όπως καταλαβαίνεται, είναι η ανεξέλεγκτη κίνηση του βραχίονα. Για αυτό πρέπει όταν δίνουμε εντολές στον ελεγκτή να είμαστε εντελώς σίγουροι για το ποια θα είναι η αντίδραση του βραχίονα. Πρώτα 'εκτελούμε' την εντολή στο μυαλό μας και μετά τη στέλνουμε για εκτέλεση στο ρομπότ. Με το ίδιο σκεπτικό, πριν από την τελική εκτέλεση κάθε προγράμματος μας στο ρομπότ, θα πρέπει να έχει προηγηθεί εκτέλεση βήμα-βήμα του προγράμματος, πρώτα νοητά στο μυαλό μας και στη συνέχεια στη πράξη χρησιμοποιώντας την διαδικασία αποσφαλμάτωσης. Εφόσον βεβαιωθούμε ότι έχουμε ερευνήσει διεξοδικά την λειτουργία του προγράμματος, τότε και μόνο τότε, το μεταφέρουμε στον ελεγκτή και ξεκινάμε την εκτέλεση του.

Τελευταίο, αλλά σημαντικότερο, είναι πάντα να βρισκόμαστε σε απόσταση ασφαλείας από τον βραχίονα και να είμαστε σε ετοιμότητα να σταματήσουμε την κίνηση του, πατώντας το κουμπί **STOP** ή **EMG. STOP** του ελεγκτή, εάν χρειαστεί.

Επίσης κατά την πρώτη εκτέλεση από τον controller, ρυθμίζουμε την ταχύτητα εκτέλεσης του προγράμματος σε χαμηλά επίπεδα εξασφαλίζοντας το χρονικό περιθώριο και τη δυνατότητα επέμβασής μας για τη διακοπή της ροής του προγράμματος μόλις αντιληφθούμε ότι κάτι δεν εξελίσσεται όπως θα περιμέναμε.

Περιγραφή του προγράμματος

Προχωράμε παραθέτοντας το πρόγραμμα που θα χρειαστεί να γράψουμε στο παράθυρο προγραμματισμού, ώστε το ρομπότ να εκτελέσει όσα είπαμε προηγουμένως.



```
C:\PROGRAM FILES\COSIROP\PROJECTS\FIRST\0001...
10 ' My First Program
20 OVRD 20
30 ACCEL 20
40 MVS P1
50 M_OUT(5)=1
60 DLY 2
70 M_OUT(5)=0
80 MVS P2
90 END
```

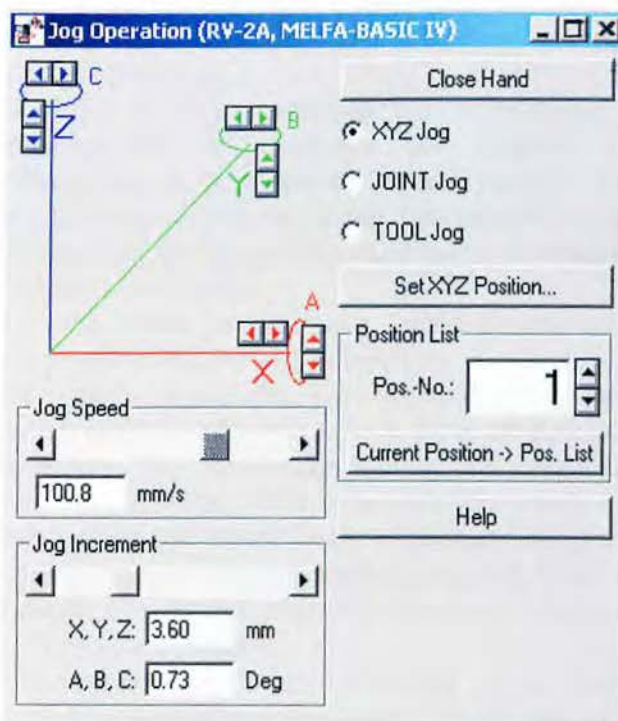
Ας κάνουμε μία σύντομη περιγραφή των εντολών που αποτελούν το πρόγραμμά μας. Το πρώτο χαρακτηριστικό των προγραμμάτων σε γλώσσα *Basic*, είναι ότι η κάθε σειρά αριθμείται με ένα μοναδικό νούμερο. Έχει καθιερωθεί, τα νούμερα αυτά να αυξάνονται κατά 10, χωρίς να απαγορεύεται να ακολουθήσουμε άλλο τρόπο (π.χ. 1, 3, 5...). Αριθμώντας αυξάνοντας κατά δέκα έχουμε τη δυνατότητα να προσθέσουμε επιπλέον κώδικα στην πορεία...

- 10 : Στη γραμμή αυτή κάνουμε μόνο κάποια σχόλια.
- 20 : Ορίζουμε την ταχύτητα κίνησης στο 20%.
- 30 : Ορίζουμε την επιτάχυνση / επιβράδυνση στο 20%.
- 40 : Κινήσου γραμμικά στο σημείο P1.
- 50 : Η ψηφιακή έξοδος 5 να έρθει στην κατάσταση λογικό "1" (Ενεργοποίηση του ταινιόδρομου).
- 60 : Καθυστέρησε 2 sec.
- 70 : Η ψηφιακή έξοδος 5 να έρθει στην κατάσταση λογικό "0" (Απενεργοποίηση του ταινιόδρομου).
- 80 : Κινήσου γραμμικά στο σημείο P2.
- 90 : Δηλώνει το τέλος του προγράμματος.

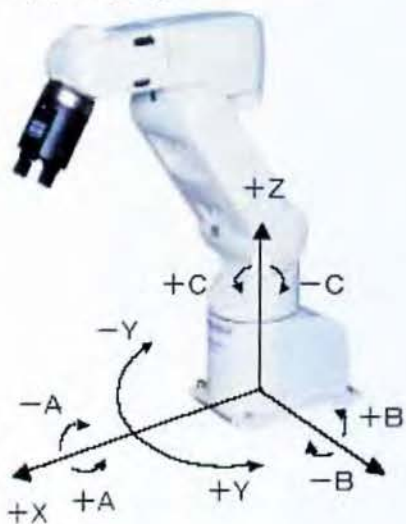
Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

Ορισμός σημείων

Επόμενο βήμα, είναι να ορίσουμε τα σημεία P1 και P2 στα οποία θα κινηθεί ο βραχίονας. Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που μας προσφέρει το COSIROP, για αυτή τη δουλειά είναι το *Jog Operation*. Ανοίγοντας το βλέπουμε το παρακάτω παράθυρο.



Εδώ, αρχικά, διακρίνουμε τους 3 άξονες και τα αντίστοιχα βέλη που χρησιμεύουν στο να κινήσουμε το ρομπότ. Παρατηρήστε ότι έχουμε 2 ζευγάρια βέλη ανά άξονα. Το ένα χρησιμεύει στην μετακίνηση πάνω στον άξονα και το άλλο στην περιστροφή γύρω από τον άξονα. Το σημείο αναφοράς είναι το άκρο (βεντούζα) του βραχίονα. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνονται οι άξονες και πως επηρεάζεται η κίνηση από την κάθε μεταβλητή (x, y, z, a, b, c), μόνο που θα έπρεπε η αρχή των αξόνων να βρίσκεται στην άκρη του βραχίονα.



Δύο πράγματα που πρέπει να τους δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή, είναι η ταχύτητα κίνησης (*Jog Speed*) και το βήμα (*Jog Increment*). Προτείνεται να ξεκινάμε από χαμηλές τιμές και να αυξάνουμε σταδιακά, ανάλογα τις απαιτήσεις.

Αθανάσιος Καλφόπουλος

Επίσης, πάντα πρέπει να περιμένουμε να ολοκληρωθεί η εντολή που έχουμε δώσει (δηλ. να σταματήσει την κίνηση του ο βραχίονας) και μετά να προχωρήσουμε στην επόμενη.

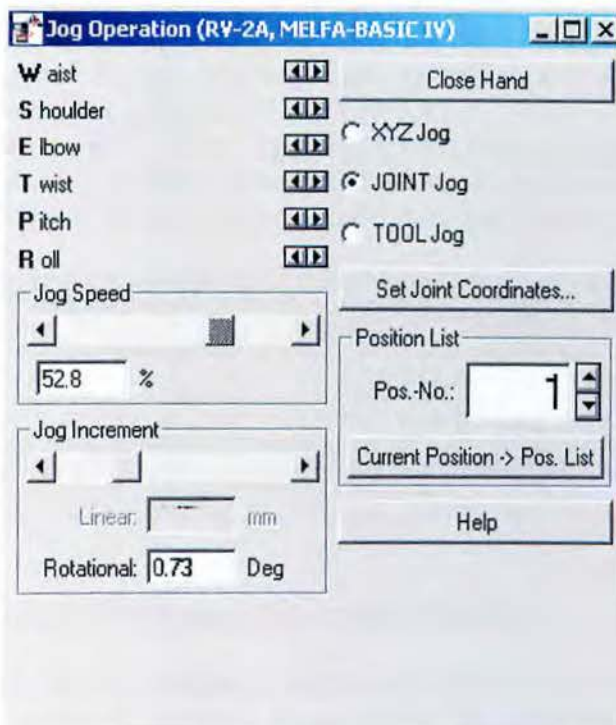
Προχωρώντας, βλέπουμε το κουμπί *Close Hand*, που στην περίπτωση μας δεν έχει εφαρμογή, καθώς δεν έχουμε προσαρμόσει τέτοιο εργαλείο στον βραχίονα. Κάτω από αυτό, βρίσκονται τρεις επιλογές.

XYZ Jog : Είναι το παράθυρο που περιγράψαμε προηγουμένως και χρησιμεύει στο να κινήσουμε τον βραχίονα μεταβάλλοντας τις συντεταγμένες (x, y, z) και τον προσανατολισμό (a, b, c) του άκρου. Επιτυγχάνουμε κίνηση της βάσης του τελικού στοιχείου δράσης κατά μήκος των αξόνων (x,y,z). Παρατηρούμε συνδυασμό κινήσεων όλων των αρθρώσεων ταυτόχρονα.

JOINT Jog : Μας μεταφέρει στο παράθυρο που φαίνεται παρακάτω. Εδώ κινούμε κάθε άρθρωση χωριστά.

TOOL Jog : Χρησιμεύει στην περίπτωση που έχουμε προσαρμόσει κάποιο τελικό στοιχείο δράσης στην άκρη του βραχίονα. Αυτό μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκο επηρεάζοντας την μορφολογία του βραχίονα, αρχικά προσθέτοντάς του κάποιο επιπλέον μήκος ή ακόμη και βαθμό ελευθερίας εφόσον διαθέτει κάποια επιπλέον άρθρωση. Πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξαρτήματος αυτού έχουμε δώσει στο λογισμικό σε σχετικό παράθυρο διαλόγου κατά την εκκίνηση της εφαρμογής όπως θυμάστε.

Χρησιμοποιούμε λοιπόν το *TOOL Jog* για να επιτύχουμε κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης κατά μήκος των αξόνων(x,y,z).



Εάν λοιπόν επιλέξουμε την λειτουργία *Joint Jog*, μπορούμε να κινήσουμε ξεχωριστά τον κάθε σερβοκινητήρα του ρομπότ με θετική ή αρνητική φορά. Αυτό γίνεται πατώντας ένα από τα δύο βελάκια που βρίσκονται δίπλα στο όνομα της κάθε άρθρωσης. Οι αρθρώσεις είναι γραμμένες κατά σειρά, δηλ. *J1=Waist*, *J2=Shoulder*, *J3=Elbow* κ.ο.κ.

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

Όπως προαναφέραμε, έτσι και εδώ, πρέπει πριν δώσουμε οποιαδήποτε εντολή κίνησης να δώσουμε αρχικά στην ταχύτητα (*Jog Speed*) και στο βήμα (*Jog Increment*) χαμηλές τιμές.

Όταν έχουμε φέρει στην επιθυμητή θέση τον βραχίονα, είτε με τον πρώτο τρόπο που περιγράψαμε είτε με τον δεύτερο, πρέπει να την αποθηκεύσουμε. Αφού λοιπόν επιλέξουμε τον αριθμό που θέλουμε να δώσουμε στην θέση αυτή (*Pos. No.*), κάνουμε κλικ στο κουμπί *Current Position -> Pos. List*. Έτσι, μεταφέρεται η παρούσα θέση του βραχίονα στην Λίστα σημείων που έχει δημιουργηθεί για το τρέχων πρόγραμμα. Στην περίπτωση μας, πρέπει να δημιουργήσουμε δύο σημεία, τα P1 και P2.

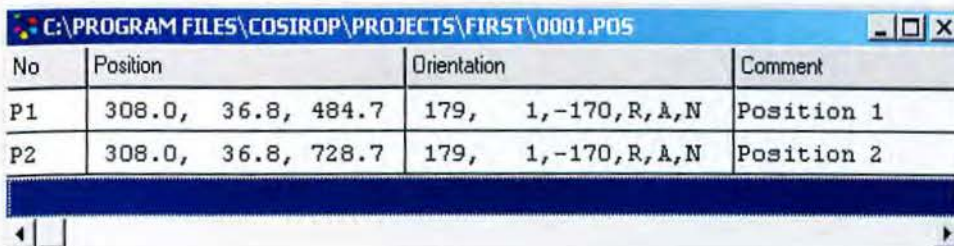
Αυτό που πρέπει να προσέχουμε, κάθε φορά που ορίζουμε κάποια σημεία, είναι πως αυτά θα χρησιμοποιηθούν μέσα στο πρόγραμμα και πως θα κινηθεί ο βραχίονας για να φτάσει σε αυτά. Δηλαδή, στην περίπτωση μας, θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας ότι ο βραχίονας θα κινηθεί γραμμικά από το σημείο P1 στο σημείο P2. Άρα θα πρέπει γύρω από την νοητή ευθεία που ενώνει τα δύο αυτά σημεία να μην παρεμβάλλεται κάτι που θα μπορούσε να ενοχλήσει την κίνηση του ρομπότ.

Λίστα σημείων

Αφού δημιουργήσουμε τα σημεία μας, το παράθυρο, που περιέχει τη Λίστα σημείων του αντίστοιχου προγράμματος, θα έχει την παρακάτω μορφή. Εδώ φαίνεται το νούμερο που έχουμε δώσει στο κάθε σημείο (*No.*), οι τιμές των συντεταγμένων *x*, *y*, *z* (*Position*) και οι τιμές του προσανατολισμού *a*, *b*, *c* (*Orientation*). Κάνοντας δεξί κλικ σε ένα από αυτά μπορούμε να το αλλάξουμε, να το διαγράψουμε κ.τ.λ.

Επίσης κάνοντας διπλό κλικ επάνω στο P1 ή στο P2 μπορούμε να δούμε στο πρώτο παράθυρο, την οπτική προσομοίωση της διάταξης του βραχίονα στο συγκεκριμένο σημείο. Η δυνατότητα αυτή αποτελεί σημαντικό βοήθημα, στην περίπτωση που η λίστα των σημείων έχει μεγαλώσει αρκετά, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να θυμόμαστε όλα τα σημεία.

Στη συνέχεια και εφόσον έχουμε την εικόνα ενός επιλεγμένου σημείου στο παράθυρο της προσομοίωσης, έχουμε τη δυνατότητα επίσης να στείλουμε το βραχίονα στο σημείο αυτό. Από το μενού *Execute*, επιλέγουμε *PC Position -> Robot*.



No	Position	Orientation	Comment
P1	308.0, 36.8, 484.7	179, 1, -170, R, A, N	Position 1
P2	308.0, 36.8, 728.7	179, 1, -170, R, A, N	Position 2

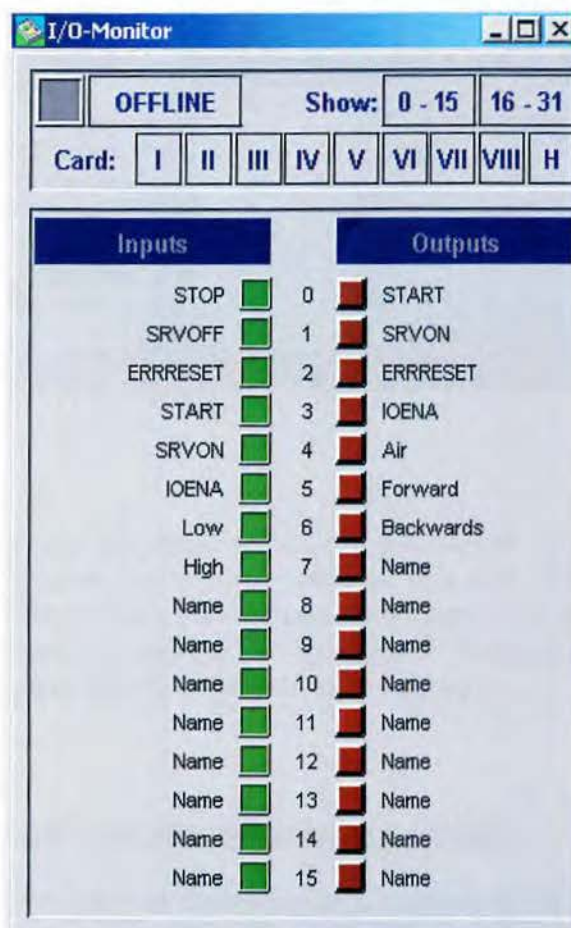
Παρακολούθηση ψηφιακών εισόδων / εξόδων

Επίσης, θα πρέπει να ελέγξουμε εάν η ψηφιακή έξοδος 5 είναι συνδεδεμένη με τον ταινιόδρομο και ότι το λογικό "1" τον θέτει σε λειτουργία. Για τον λόγο αυτό, υπάρχει το εργαλείο *I/O Monitor*, που βρίσκεται στον *RCI Explorer* και στο φάκελο που περιέχει τα εργαλεία παρακολούθησης της κατάστασης του ελεγκτή (*RV-2A -> Monitors*).

Το παράθυρο που εμφανίζεται μόλις το τρέξουμε, φαίνεται παρακάτω. Εδώ βλέπουμε ότι μπορούμε να επιλέξουμε την κάρτα (*Card*) που θα εξετάσουμε, οπότε εμφανίζονται οι αντίστοιχοι εισοδοί (*Inputs*) και εξοδοί (*Outputs*) με τα ονόματα αυτών

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

που χρησιμοποιούνται ήδη. Στην περίπτωση μας μόνο μία κάρτα υπάρχει συνδεδεμένη στον ελεγκτή και μπορούμε να δούμε τις πρώτες 16 (0-15) ή τις επόμενες 16 (16-31).



Πατώντας το αντίστοιχο κουμπί για να αρχίσει η λειτουργία *ONLINE*, βλέπουμε την τρέχουσα κατάσταση των εισόδων / εξόδων. Αναμμένη ένδειξη δίπλα στο όνομα συμβολίζει λογικό “1”, ενώ το αντίθετο λογικό “0”. Την κατάσταση των εισόδων είναι προφανές ότι δεν μπορούμε να την επηρεάσουμε, μόνο να την παρατηρήσουμε. Ενώ, για τις εξόδους, μπορούμε να βλέπουμε την τρέχουσα κατάσταση τους και κάνοντας κλικ πάνω στη ένδειξη να την αλλάζουμε.

Όσο αφορά το πρόγραμμα μας, μπορούμε να κάνουμε κλικ στην έξοδο 5 (*Forward*) ώστε να επαληθεύσουμε ότι ο ταινιόδρομος κινείται στη φορά που θέλουμε.

Συντακτικός έλεγχος

Έχοντας γράψει λοιπόν το πρώτο μας πρόγραμμα και αφού ορίσαμε τα απαραίτητα σημεία για την λειτουργία του, πρέπει να ελέγξουμε εάν υπάρχουν συντακτικά λάθη στο πρόγραμμα μας.



Στο παράθυρο του *RCI Explorer*, και στο φάκελο που αφορά τα προγράμματα του υπολογιστή (*Workplace* -> *Programs*) κάνουμε δεξί κλικ στο πρόγραμμα μας και επιλέγουμε *Syntax Check*. Εάν το πρόγραμμα είναι σωστό, στο παράθυρο μηνυμάτων θα πρέπει να εμφανιστεί το μήνυμα “0 Error(s), 0 Warning(s)”. Σε διαφορετική περίπτωση, μας λέει πόσα λάθη βρέθηκαν και σε ποιες γραμμές.

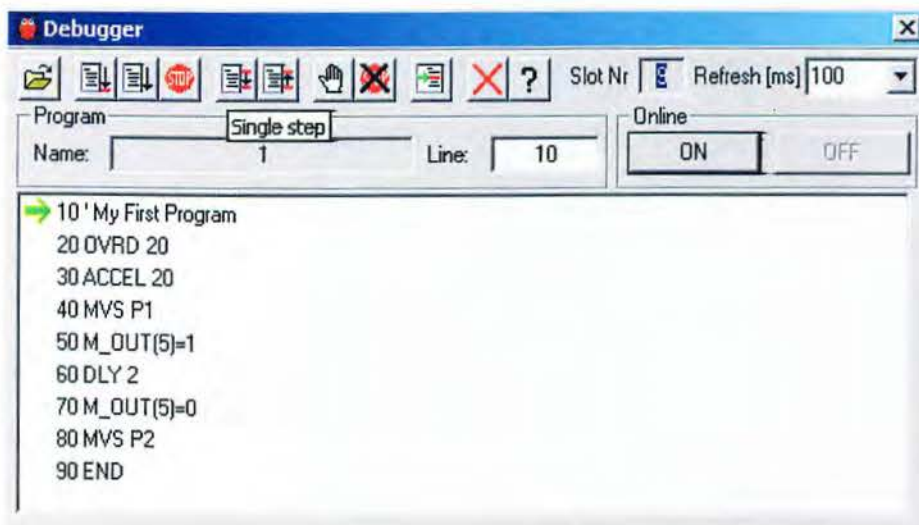
Φόρτωση του προγράμματος στον ελεγκτή

Το επόμενο βήμα είναι να κατεβάσουμε το πρόγραμμα και την αντίστοιχη λίστα σημείων που ετοιμάσαμε, στον ελεγκτή του βραχίονα, ώστε να μπορέσουμε να το τρέξουμε. Ακολουθούμε παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η διαφορά είναι ότι τώρα από το μενού όπου εμφανίζεται επιλέγουμε *Download*, τόσο για το πρόγραμμα (.MB4) όσο και για τη λίστα σημείων (.POS). Στο παράθυρο, που εμφανίζεται μόλις επιλέξουμε *Download*, πατάμε OK. Εφόσον, δεν υπάρχουν λάθη στο πρόγραμμα μας, η διαδικασία ολοκληρώνεται.

Αποσφαλμάτωση του προγράμματος

Πριν το τελικό βήμα, που είναι η εκτέλεση του προγράμματος, πρέπει να προηγηθεί η αποσφαλμάτωση του. Πρόκειται για ένα επιπλέον βήμα, ώστε να βεβαιωθούμε ότι το ρομπότ αντιδρά στις εντολές μας όπως είχαμε σχεδιάσει. Αυτό επιτυγχάνεται με το να εκτελέσουμε το πρόγραμμα σειρά-σειρά ώστε να δούμε άμεσα και βήμα-βήμα τις αντιδράσεις του ρομπότ.

Πηγαίνουμε, λοιπόν, στον *RCI Explorer* και στο φάκελο που περιέχει τα προγράμματα του ελεγκτή (*RV-2A* -> *Programs*). Εκεί θα πρέπει να υπάρχει το πρόγραμμα που γράψαμε και το οποίο πριν λίγο κατεβάσαμε στον ελεγκτή. Κάνουμε δεξί κλικ πάνω του και επιλέγουμε *Debug*, οπότε εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο.



Εδώ μας προσφέρονται οι κυριότερες λειτουργίες, που συναντάμε στους αποσφαλματωτές των περισσότερων γλωσσών προγραμματισμού. Μία από αυτές είναι η διαδικασία εκτέλεσης του προγράμματος μας σειρά-σειρά (*Single Step*). Η εντολή αυτή είναι το πέμπτο εικονίδιο από τ' αριστερά όπως φαίνεται στο παραπάνω παράθυρο. Επίσης, όταν δεν βρισκόμαστε *Online*, μπορούμε να ορίσουμε ποια θα είναι η γραμμή εκκίνησης της αποσφαλμάτωσης, π.χ. όταν φτάσουμε στο τέλος του προγράμματος και θέλουμε να ξαναρχίσουμε.

Ακόμη και σε αυτό το στάδιο, θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεχτικοί με την εκτέλεση των εντολών. Κανείς, ούτε ο προγραμματιστής, δεν θα πρέπει να βρίσκεται στην ακτίνα δράσης του ρομπότ και πάντα να είμαστε σε ετοιμότητα να σταματήσουμε (*EMG. STOP*) την κίνηση του βραχίονα.

Εκτέλεση του προγράμματος

Εφόσον είμαστε ικανοποιημένοι από το πρόγραμμα μας, έφτασε η στιγμή να το εκτελέσουμε κανονικά. Όπως πριν, κάνοντας δεξί κλικ στο πρόγραμμα μας, επιλέγουμε *Start (CYC)* ή *Start (REP)*. Στην πρώτη περίπτωση, το πρόγραμμα θα τρέξει μία φορά και όταν συναντήσει την εντολή *END* θα σταματήσει. Στην δεύτερη περίπτωση, θα εκτελείται συνεχώς, δηλ. μόλις συναντήσει την εντολή *END* θα επιστρέψει ξανά στην πρώτη γραμμή για να ξαναρχίσει, εωσότου εμείς σταματήσουμε την εκτέλεση του με κάποιο εξωτερικό τρόπο. Ένας τέτοιος τρόπος είναι να κάνουμε δεξί κλικ στο πρόγραμμα που εκτελείται και να επιλέξουμε *Stop*.

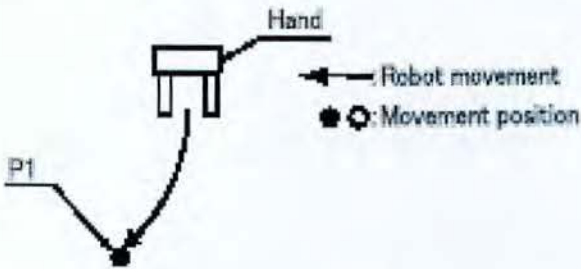
Εντολές Ελέγχου Κίνησης

Πρώτα θα ασχοληθούμε με εντολές που χρησιμεύουν στο να κινήσουμε το ρομπότ, καθώς και στον ορισμό απαραίτητων μεταβλητών ελέγχου της κίνησης αυτής.

JOINT INTERPOLATION MOVEMENT (Κίνηση ελεύθερης παρεμβολής)

Εντολή MOV

Η εντολή αυτή κινεί τον βραχίονα στο προκαθορισμένο σημείο (π.χ. *MOV P1*) χωρίς να μας ενδιαφέρει η διαδρομή που θα ακολουθηθεί. Το ρομπότ επιλέγει από μόνο του την διαδοχική κίνηση των αρθρώσεων βάση ενός συγκεκριμένου βέβαια αλγόριθμου που έχει δημιουργηθεί από τον κατασκευαστή για τις περιπτώσεις κινήσεων ελεύθερης παρεμβολής. Ο αλγόριθμος αυτός έχει στόχο να επιτύχει για παράδειγμα το μικρότερο συνδυασμό κινήσεων των αρθρώσεων, συντομία χρόνου, μικρότερη κατανάλωση ενέργειας κλπ. Εύκολα καταλαβαίνουμε ότι σπάνια αυτή η διαδρομή θα είναι ευθεία και φυσικά δεν μπορούμε να την γνωρίζουμε. Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι η χρήση της εντολής αυτής εμπεριέχει και κάποιο κίνδυνο.



- **MOV P1** : κινήσου ελεύθερα προς το P1
- **MOV P1,-50** : κινήσου ελεύθερα προς το P1, αλλά σταμάτα στο σημείο που βρίσκεται 50 χιλιοστά πριν από το P1.
- **MOV P1 WTH M_OUT(5)=1** : κινήσου ελεύθερα προς το P1 και ταυτόχρονα ενεργοποίησε (ON) την έξοδο 5.
- **MOV P1 WTHIF M_IN(6)=1,SKIP** : κινήσου ελεύθερα προς το P1 μόνο εφόσον η είσοδος 6 βλέπει λογικό 1, διαφορετικά αναίρεσε την εκτέλεση της εντολής και προχώρησε στην εκτέλεση της επόμενης γραμμής.
- **MOV P1+P2** : κινήσου ελεύθερα προς το σημείο που προκύπτει από την άθροιση των συντεταγμένων θέσης των σημείων P1 και P2.
- **MOV P1*P2**: ελεύθερη κίνηση προς το P2 σχετική ως προς το P1.

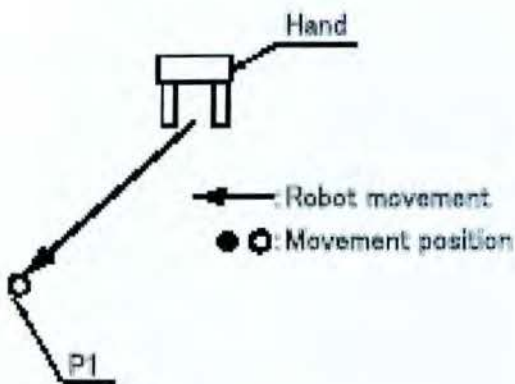
Παράδειγμα

```
1 OVRD 20
5 ACCEL 50,50
10 MOV P1
20 MOV P2,-50
30 MOV P2
40 MOV P3,-100 WTH M_OUT(5)=1
50 MOV P3
60 MOVP3,-100
70 END
```

LINEAR INTERPOLATION MOVEMENT (Κίνηση γραμμικής παρεμβολής)

Εννολή (MVS)

Το άκρο του βραχίονα, κατά συνέπεια και το τελικό στοιχείο δράσης κινείται γραμμικά από την θέση που βρίσκεται στο προκαθορισμένο σημείο. Μεταξύ δύο σημείων, η συντομότερη διαδρομή είναι η ευθεία. Αυτό όμως για το βραχίονα δε συνεπάγεται ευκολία στην επίτευξη της πορείας αυτής. Υπολογιστικά, θα πρέπει να λύσει την εξίσωση της ευθείας και να υπολογίσει τις συντεταγμένες όλων των ενδιάμεσων σημείων (όσο το δυνατόν περισσότερων σημείων ώστε να μην έχουμε μεγάλη καθυστέρηση). Έπειτα με συνδυασμό κινήσεων πιθανώς όλων των αρθρώσεων να κινηθεί σε κάθε ένα από τα σημεία αυτά, κατά τέτοιο τρόπο όμως ώστε να μας δίδει την εντύπωση μιας γρήγορης, συντονισμένης, ομαλής και συνεχούς κίνησης.



- **MVS P1** : κινήσου γραμμικά προς το P1
- **MVS P1,-50** : κινήσου γραμμικά προς το P1, αλλά σταμάτα στο σημείο που βρίσκεται 50 χιλιοστά πριν από το P1.
- **MVS P1 WTH M_OUT(5)=1** : κινήσου γραμμικά προς το P1 και ταυτόχρονα ενεργοποίησε (ON) την έξοδο 5.
- **MVS P1 WTHIF M_IN(6)=1,SKIP** : κινήσου γραμμικά προς το P1 μόνο εφόσον η είσοδος 6 βλέπει λογικό 1, διαφορετικά αναίρεσε την εκτέλεση της εντολής και προχώρησε στην εκτέλεση της επόμενης γραμμής.
- **MVS P1+P2** : κινήσου γραμμικά προς το σημείο που προκύπτει από την άθροιση των συντεταγμένων θέσης των σημείων P1 και P2.
- **MVS P1*P2**: γραμμική κίνηση προς το P2 σχετική ως προς το P1.
- **MVS P1 TYPE 0,1** κίνηση προς το P1 με τριών αξόνων γραμμική ορθογώνια παρεμβολή.

Παράδειγμα

```

1 OVRD 20
5 ACCEL 50,50
10 MVS P1
20 MVS P2,-50 TYPE 0,1
30 MVS P2
40 MVS P3,-100 WTH M_OUT(5)=1
50 MVS P3
60 MVS P3,-100
70 END
    
```

CIRCULAR INTERPOLATION MOVEMENT (Κίνηση κυκλικής παρεμβολής)

Εντολές MVR, MVR2, MVR3, MVC

Οι εντολές αυτές κινούν τον βραχίονα στην τροχιά του τόξου ενός κύκλου που ορίζεται από τρία (3) σημεία.

Η πρώτη συντάσσεται ως εξής *MVR P1, P2, P3*. Στην περίπτωση αυτή το άκρο του βραχίονα θα κινηθεί από το αρχικό σημείο P1 (**start point**) και, αφού περάσει από το ενδιάμεσο P2 (**transit point**), θα καταλήξει στο τελικό P3 (**end point**), κινούμενο στο τόξο του κύκλου που ορίζεται από τα σημεία P1, P2 και P3.

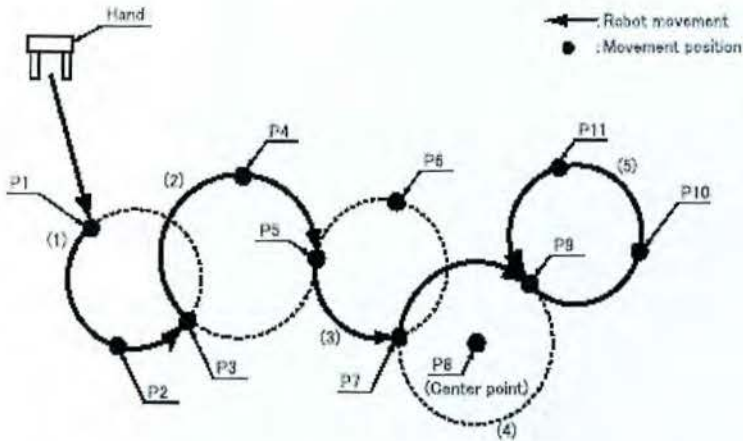
Η δεύτερη εντολή συντάσσεται ως εξής *MVR2 P1, P3, P2*. Τα τρία αυτά σημεία ορίζουν πάλι ένα κύκλο. Το άκρο του βραχίονα θα κινηθεί γραμμικά στο αρχικό σημείο P1 και θα καταλήξει στο τελικό P3, κινούμενο στο τόξο του κύκλου που έχει οριστεί, αποφεύγοντας όμως να περάσει από το σημείο P2.

Για την τρίτη εντολή έχουμε, *MVR3 P1, P3, P2*. Εδώ ορίζουμε ένα κύκλο με κέντρο το σημείο P2 και τα δύο άλλα (P1 και P3) να βρίσκονται πάνω στον κύκλο. Το άκρο του βραχίονα θα κινηθεί από το αρχικό σημείο P1 και θα καταλήξει στο τελικό P3, κινούμενο στο τόξο του κύκλου που έχουμε ορίσει.

Εντολή, *MVC P1, P2, P3* Η διαφορά είναι ότι εδώ, το άκρο του βραχίονα κινείται κατά μήκος όλου του κύκλου που ορίζουν τα σημεία P1, P2 και P3. Δηλαδή, το άκρο του βραχίονα θα κινηθεί από το αρχικό σημείο P1 και θα καταλήξει πάλι σε αυτό, αφού περάσει από τα άλλα δύο. Δηλαδή εδώ το P1 είναι start και end point και τα άλλα δύο P2, P3 είναι τα ενδιάμεσα (transit points).

Για την καλύτερη κατανόηση όλων των παραπάνω, παραθέτω ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί τις πιο πάνω εντολές. Στο διάγραμμα που ακολουθεί βλέπουμε την πορεία του άκρου του βραχίονα.

```
1 OVRD 20
5 ACCEL 50,50
10 MVR P1, P2, P3
20 MVR P3, P4, P5
30 MVR2 P5, P7, P6
40 MVR3 P7, P9, P8
50 MVC P9, P10, P11
60 END
```



CONTINUOUS MOVEMENT (Συνεχής κίνηση)
Εντολή CNT

Ορίζοντας μια διαδρομή με αρκετά σημεία που έχουν αποθηκευτεί, με τη λειτουργία του Continuous Movement έχουμε τη δυνατότητα συνεχούς κίνησης του βραχίονα χωρίς stop σε κάθε ένα από τα σημεία αυτά. Η αρχή και το τέλος του Continuous Movement ορίζονται με εντολή και η ταχύτητα κίνησης μεταξύ των ενδιάμεσων σημείων μπορεί να μεταβάλλεται.

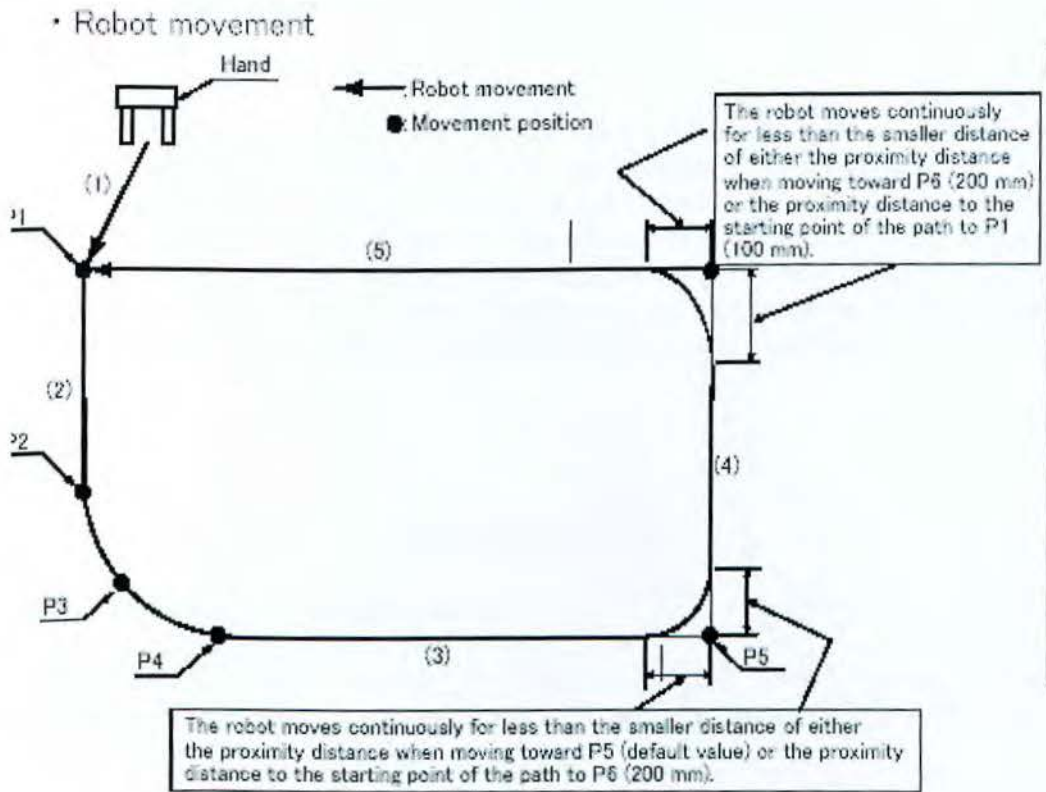
Η λειτουργία αυτή σκοπεύει στο να αποφευχθεί το άσκοπο χάσιμο χρόνου που επιφέρει η επιβράδυνση και η στιγμιαία ακινητοποίηση του βραχίονα σε κάθε ένα από τα ενδιάμεσα σημεία. Κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Σύντομότερη εκτέλεση της εφαρμογής.

Με την εντολή **CNT 1** ορίζουμε μέσα στο πρόγραμμά μας ότι αρχίζει Continuous Movement και με την **CNT 0** το τέλος του.

Με την εντολή **CNT 1,200,100** ορίζουμε ότι ο βραχίονα δε θα περνά από τα ενδιάμεσα σημεία αλλά κοντά σε αυτά, προσπερνώντας τα διαγράφοντας τόξα, όπως φαίνεται στο σχήμα.

```

10 OVRD 50
20 ACCEL 60,80
30 MOV P1
40 CNT 1
50 MVR P2,P3,P4
60 CNT 1,100,200
70 MVS P5
80 CNT 1,200,100
90 MVS P6
100 CNT 0
110 MVS P1
120 END
    
```



ΕΝΤΟΛΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

SPD

Με αυτή την εντολή ορίζουμε ποια είναι η μέγιστη ταχύτητα, σε *mm/sec*, που επιτρέπεται να φτάσει το άκρο του βραχίονα(τελικό στοιχείο δράσης) κατά την εκτέλεση των εντολών που αφορούν την γραμμική και την κυκλική κίνηση. Η σύνταξη της είναι, για παράδειγμα, **SPD 80**, και δηλώνει μέγιστη ταχύτητα *80 mm/sec*.

OVRD

Χρησιμοποιούμε την εντολή αυτή, για να ορίσουμε την ταχύτητα σε ένα ποσοστό της μέγιστης δυνατής. Εάν δηλαδή γράψουμε, **OVRD 50**, το άκρο του βραχίονα επιτρέπεται να κινηθεί με ταχύτητα που φτάνει μέχρι το 50% της μέγιστης, που ορίστηκε προηγουμένως.

JOVRD

Συντάσσεται όπως η προηγούμενη εντολή, αλλά χρησιμεύει στο να περιορίσουμε την ταχύτητα κίνησης των αρθρώσεων, σε ένα ποσοστό της μέγιστης.

ΕΝΤΟΛΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ-ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ

ACCEL

Σε αντιστοιχία με τη προηγούμενη εντολή, εδώ ορίζουμε το ποσοστό της μέγιστης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, που επιτρέπουμε στον βραχίονα. Ο λιγότερος χρόνος που χρειάζεται το άκρο του βραχίονα για να φτάσει στην μέγιστη ταχύτητα (ή αντίστοιχα από την μέγιστη ταχύτητα να σταματήσει) είναι 0.2 sec. Έτσι, εάν γράψουμε *ACCEL 40, 80*, ορίζουμε ότι η επιτάχυνση θα φτάνει μέχρι το 40% της μέγιστης και η επιβράδυνση το 80% της μέγιστης. Δηλαδή, τα ποσοστά αυτά σε χρόνους είναι, $0.2/40\%=0.5$ sec για να επιταχύνει και $0.2/80\%=0.25$ sec για να επιβραδύνει.

ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ

DLY 2 :καθυστέρηση δύο δευτερολέπτων

WAIT A=15 Το A είναι μια μεταβλητή (π.χ. A,B,X,...) που την τιμή της την ορίζουμε μέσα στη ροή του προγράμματος .Ο βραχίονας ακινητοποιείται εωσότου η μεταβλητή πάρει την τιμή 15.

WAIT M_IN(4)=1 Ο βραχίονας ακινητοποιείται εωσότου η είσοδος 4 δει λογικό 1.Μπορεί λοιπόν στην είσοδο 4 να έχουμε συνδέσει ένα αισθητήριο. Στην περίπτωση αυτή μπλοκάρουμε το βραχίονα εωσότου το αισθητήριο ανιχνεύσει κάτι.

M_OUT(10)=1 DLY 5 Ενεργοποιεί την έξοδο 10 για 5 δευτερόλεπτα.

ΕΝΤΟΛΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

High Accurancy path mode

PREC ON

:

:

PREC OFF

Το μπλοκ εντολών που περιλαμβάνεται στο βρόχο ,εκτελείται με μεγάλη ακρίβεια. Συγκεκριμένα αυξάνονται τα feedback συστήματα (συστήματα ελέγχου-ανατροφοδότηση) του μηχανήματος, επηρεάζοντας βέβαια την ταχύτητά του.

Εντολές Ελέγχου Ροής Προγράμματος

Σκοπός

Θα περιγράψουμε εντολές που σχετίζονται με την ροή εκτέλεσης των εντολών του προγράμματος μας. Θα δούμε πως μπορούμε εφόσον χρειαστεί να αλλάζουμε την φυσιολογική σειρά εκτέλεσης του προγράμματός μας, μεταβαίνοντας κατ'επιλογή σε όποια γραμμή θελήσουμε, να επιστρέψουμε πίσω κλπ.. Επίσης να δημιουργήσουμε βρόχους επαναλήψεων (loop) και μπλοκ εντολών που η εκτέλεση τους ή όχι θα εξαρτάται από το εάν ισχύει κάποια συνθήκη, από την τρέχουσα τιμή κάποιας μεταβλητής ή από το αποτέλεσμα κάποιων λογικών πράξεων. Έτσι, θα είμαστε σε θέση να εμπλουτίσουμε τα προγράμματα μας και να υλοποιήσουμε πιο πολύπλοκες εργασίες.

Αναλυτικός Πίνακας Αριθμητικών & Λογικών Πράξεων

Class	Operator	Meaning	Statement example
Substitution	=	The right side is substituted in the left side.	$P1 = P2$ $P5 = P$; Substitute P2 in position variable P1. ; Substitute the current coordinate value in current position variable P5. ; $_CURR P10 Z = 100.0$; Set the position variable P10 Z coordinate value to 100.0. ; $M1 = 1$; Substitute value 1 in numeric variable M1. ; $STSS="OK"$; Substitute the character string OK in the character string variable STSS.
Arithmetic operation	+	Add	$P10 = P1 + P2$; Substitute the results obtained by adding the P1 and P2 coordinate elements to position variable P10. ; $MOV P8 + P9$; Move to the position obtained by adding the position variable P8 and P9 coordinate elements. ; $M1 = M1 + 1$; Add 1 to the numeric variable M1. ; $STSS = "ERR"$; Add the character string 001 to the character string ERR and substitute in character string variable STSS. $+ "001"$
	-	Subtract	$P10 = P1 - P2$; Substitute the results obtained by subtracting the P2 coordinate element from P1 in position variable P10. ; $MOV P8 - P9$; Move to the position obtained by subtracting the P9 coordinate element from the position variable P8. ; $M1 = M1 - 1$; Subtract 1 from the numeric variable M1.
	*	Multiply	$P1 = P10 * P3$; Substitute the relative conversion results from P10 to P3 in position variable P1. ; $M1 = M1 * 5$; Multiple the numeric variable M1 value by 5.
	/	Divide	$P1 = P10 / P3$; Substitute the reverse relative conversion results from P10 to P3 in position variable P1. ; $M1 = M1 / 2$; Divide the numeric variable M1 value by 2.
	^	Exponential operation	$M1 = M1 ^ 2$; Square the numeric variable M1 value
	≠	Integer division	$M1 = M1 \text{ } \neq \text{ } 3$; Divide the numeric variable M1 value by 3 and make an integer (round down).
	MOD	Remainder operation	$M1 = M1 \text{ MOD } 3$; Divide the numeric variable M1 value by 3 and leave redundant.
-	Sign reversal	$P1 = - P1$; Reverse the sign for each coordinate element in position variable P1. ; $M1 = - M1$; Reverse the sign for the numeric variable M1 value	

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

Comparison operation	=	Compare whether equal	IF M1 = 1 THEN 200 IF STSS = "OK" THEN 100	; Branch to line 200 if numeric variable M1 value is 1. ; Branch to line 100 if character string in character string variable STSS is OK.
	< > or > <	Compare whether not equal	IF M1 < > 2 THEN 300 IF STSS < > "OK" THEN 900	; Branch to line 300 if numeric variable M1 value is 2. ; Branch to line 900 if character string in character string variable STSS is not OK.
	<	Compare whether smaller	IF M1 < 10 THEN 300 IF LEN(STSS) < 3 THEN 100	; Branch to line 300 if numeric variable M1 value is less than 10. ; Branch to line 100 if No. of characters in character string STSS variable is less than 3.
	>	Compare whether larger	IF M1 > 9 THEN 200 IF LEN(STSS) > 2 THEN 300	; Branch to line 200 if numeric variable M1 value is more than 9. ; Branch to line 300 if No. of characters in character string variable STSS is more than 2.
	= < or < =	Compare whether equal to or less than	IF M1 < = 10 THEN 200 IF LEN(STSS) < = 5 THEN 300	; Branch to line 200 if numeric variable M1 value is equal to or less than 10. ; Branch to line 300 if No. of characters in character string variable STSS is equal to or less than 5.
	= > or > =	Compare whether equal to or more than	IF M1 > = 11 THEN 200 IF LEN(STSS) > = 6 THEN 300	; Branch to line 200 if numeric variable M1 value is equal to or more than 11. ; Branch to line 300 if No. of characters in character string variable STSS is equal to or more than 6.
Logical operation	AND	Logical AND operation	M1 = M_INB(1) AND & H0F	; Convert the input signal bit 1 to 4 status and substitute in numeric variable M1. (Input signal bits 5 to 8 remain OFF)
	OR	Logical OR operation	M_OUTB(20) = M1 OR & H80	; Output the numeric variable M1 value to output signal bit 20 to 27. Output bit signal 27 is always ON at this time.
	NOT	NOT operation	M1 = NOT M_INW(1)	; Reverse the status of input signal bit 1 to 16 to create a value, and substitute in numeric variable M1.
	XOR	Exclusive OR operation	M2 = M1 XOR M_INW(1)	; Obtain the exclusive OR of the states of M1 and the input signal bits 1 to 16, convert into a value and substitute in numeric variable M2.
	< <	Logical left shift operation	M1 = M1 < < 2	; Shift numeric variable M1 two bits to the left.
	> >	Logical right shift operation	M1 = M1 > > 1	; Shift numeric variable M1 bit to the right.

GOTO

Η κλασικότερη εντολή ελέγχου της ροής ενός προγράμματος. Για παράδειγμα, γράφοντας *GOTO 50*, η εκτέλεση του προγράμματος συνεχίζει από την γραμμή 50, χωρίς κανένα έλεγχο.

Μία εναλλακτική γραφή, για λόγους ευχρηστίας, είναι, αντί για τον αριθμό της γραμμής, να δώσουμε κάποια ετικέτα. Ένα παράδειγμα είναι:

```
...
30 GOTO *LABEL
...
70 *LABEL
80 MOVS PI
...
```

Στο παραπάνω παράδειγμα η γραμμή 70 έχει πάρει το όνομα *LABEL*. Έτσι στη γραμμή 30 μπορούμε να γράψουμε είτε *GOTO 70* είτε *GOTO *LABEL*, έχοντας το ίδιο αποτέλεσμα. Προσοχή στον αστερίσκο, ο οποίος δηλώνει ότι το όνομα που ακολουθεί είναι ετικέτα κάποιας γραμμής.

FOR, NEXT

Ο πιο απλός τρόπος για τη δημιουργία ενός βρόχου επαναλήψεως.(Loop). Η σύνταξη της φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα:

```
FOR MI=0 TO 10 STEP 2  επίσης αντί για τον αριθμό 10 μπορούμε να
:                      χρησιμοποιήσουμε μια μεταβλητή ,την τιμή
BLOCK εντολών        οποίας να ελέγχουμε κάπου μέσα στο
:                      πρόγραμμα μας πχ. FOR MI=0 TO A STEP 2
NEXT MI
```

Εκτελεί το *BLOCK* εντολών, ωστόσο η μεταβλητή *M1* φτάσει από την τιμή 0 στην τιμή 10. Ο ρυθμός αύξησης (βήμα) της μεταβλητής είναι 2 και αυξάνεται κάθε φορά που εκτελείται η εντολή *NEXT*. Εάν παραλείψουμε το *STEP*, ο ρυθμός αύξησης είναι 1. Μόλις η μεταβλητή *M1* ξεπεράσει την καθορισμένη τιμή 10, η εκτέλεση του προγράμματος μας συνεχίζεται στην επόμενη γραμμή από αυτή της εντολής *NEXT*.

IF THEN (ELSE)

Πρόκειται για εντολή ελέγχου, η οποία εξετάζει εάν αληθεύει μια ορισμένη συνθήκη και ανάλογα εκτελεί ή όχι κάποιες εντολές.

Συντάσσεται σε μία γραμμή ως εξής:

IF (Συνθήκη ελέγχου) THEN εντολή 1 ELSE εντολή 2

Για παράδειγμα, *IF (M1=1) THEN 80 ELSE M2=2*. Εδώ, ελέγχουμε την τιμή της μεταβλητής *M1*. Εάν είναι ίση με 1, τότε η ροή του προγράμματος συνεχίζει από την γραμμή 80 (προσέξτε ότι το *GOTO* παραλείπεται), αλλιώς η μεταβλητή *M2* γίνεται ίση με 2. Μπορούμε, σε περίπτωση που δεν χρειάζεται κάποια ενέργεια, όταν η συνθήκη δεν αληθεύει, να παραλείψουμε το κομμάτι της *ELSE*.

Επίσης, για σύνθετες Συνθήκες Ελέγχου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους λογικούς τελεστές *OR*, *AND*, *NOT*, *XOR*.

Όταν θέλουμε, αντί για μία εντολή, να εκτελεστεί κάποιο σεν εντολών, η σύνταξη γίνεται ως εξής:

```
IF (Συνθήκη ελέγχου) THEN
:
BLOCK εντολών 1
:
ELSE
:
BLOCK εντολών 2
:
ENDIF
```

Σε περίπτωση που το *ELSE* παραληφθεί, η σύνταξη γίνεται:

```
IF (Συνθήκη ελέγχου) THEN
:
BLOCK εντολών
:
ENDIF
```

SELECT, CASE

Με την εντολή αυτή, επιλέγουμε μία μεταβλητή (πχ. *M1*) την τιμή της οποίας ελέγχουμε μέσα από το πρόγραμμά μας. Αναλόγως λοιπόν της τρέχουσα τιμής της, εκτελείται και κάποιο διαφορετικό *BLOCK* εντολών. Συντάσσεται ως εξής:

```
SELECT M1
  CASE 1
    BLOCK εντολών 1
  BREAK
  CASE 2
    BLOCK εντολών 2
  BREAK
  CASE 5
    BLOCK εντολών 3
  BREAK
  DEFAULT
    BLOCK εντολών 4
  BREAK
END SELECT
```

Έτσι, εάν η τιμή της μεταβλητής *M1* είναι 1, θα εκτελεστεί το πρώτο σεν εντολών. Εάν είναι 2 το δεύτερο σεν εντολών, εάν είναι 5 το τρίτο σεν εντολών. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις (π.χ. η τιμή της *M1* είναι 3) θα εκτελεστεί το τέταρτο σεν εντολών.

Εάν δεν συμπεριλάβουμε *BLOCK* εντολών *DEFAULT* και η τιμή της μεταβλητής δεν αντιστοιχεί στην τιμή κάποιου *CASE*, αυτονόητο είναι ότι δεν θα εκτελεστεί κανένα από αυτά και το πρόγραμμα θα συνεχίσει στην επόμενη γραμμή.

WHILE, WEND

Η σύνταξη αυτής της εντολής είναι:

WHILE (Συνθήκη ελέγχου)

:

BLOCK εντολών

:

WEND

Το **BLOCK** εντολών εκτελείται όσο ισχύει η συνθήκη ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να μην εκτελεστεί ποτέ, εάν κατά τον πρώτο έλεγχο η συνθήκη δεν αληθεύει. Μπορεί, όμως, να εκτελείται και συνεχώς (ατέρμον βρόχος) όταν, για παράδειγμα το σετ εντολών δεν επηρεάζει την τιμή της μεταβλητής που βρίσκεται στη συνθήκη ελέγχου.

Ένα παράδειγμα φαίνεται παρακάτω.

M1=3

WHILE (M1>=0) AND (M1<=10)

:

BLOCK εντολών

:

M1=M1+1

WEND

Εδώ, το **BLOCK** εντολών θα εκτελείται μέχρι η μεταβλητή **M1** να ξεπεράσει την τιμή 10. Προσέξτε ότι η αρχική τιμή της μεταβλητής ορίζεται έξω από τον βρόχο, ίση με 3. Οπότε επιτρέπει στον βρόχο να ξεκινήσει. Επίσης, μέσα στο **BLOCK** εντολών έχουμε αύξηση της τιμής της κατά 1, κάθε φορά που εκτελείται ο βρόχος. Οπότε, κάποια στιγμή, θα ξεπεράσει την τιμή 10 και η εκτέλεση του προγράμματος θα προχωρήσει στην γραμμή που έπεται της *WEND*.

Υπορουτίνες

Οι υπορουτίνες είναι ένα είδος υποπρογραμμάτων, όπου η εκτέλεση τους ενεργοποιείται εάν πληρούνται κάποιες συνθήκες. Η χρήση τους αποσκοπεί στην κατάτμηση του προγράμματος και την ομαδοποίηση κάποιων τμημάτων κώδικα ,για την επίτευξη καλύτερης οργάνωσης σε μεγάλα προγράμματα. Με τη δημιουργία υπορουτινών ,ο κώδικάς μας γίνεται ευανάγνωστος και περισσότερο ξεκάθαρος για τον προγραμματιστή που μπορεί ευκολότερα να οργανώσει τη σκέψη του.

GOSUB

Όταν συναντήσουμε στο πρόγραμμα μας αυτή την εντολή, η εκτέλεση του προγράμματος μεταβαίνει στην σειρά που μας υποδεικνύεται. Λειτουργεί δηλαδή περίπου όπως την εντολή *GOTO*. Η κύρια διαφορά όμως είναι, ότι μόλις εκτελεστεί το τμήμα των εντολών που αποτελεί την υπορουτίνα, ο έλεγχος του προγράμματος επιστρέφει στην σειρά απ' όπου αρχικά καλέσαμε την συγκεκριμένη υπορουτίνα.

Το παρακάτω παράδειγμα είναι διαφωτιστικό:

```

...
80 GOSUB *LABEL
90 MOV P3

...
130 END

...
500 *LABEL
510 MOVS P1

...
550 RETURN

```

Στο παραπάνω παράδειγμα, οι πρώτες γραμμές, μέχρι τη γραμμή 130 αποτελούν το κυρίως πρόγραμμα. Αυτό δηλώνεται με την εντολή *END*. Από εκεί και κάτω, μπορούν να ακολουθήσουν μια σειρά από υποπρογράμματα, όπου, εάν χρειαστεί, θα τα καλέσουμε χρησιμοποιώντας κατάλληλα την εντολή *GOSUB*. Εδώ, στη γραμμή 500 με ετικέτα *LABEL*, ξεκινάει η υπορουτίνα, η οποία καλούμε, και τελειώνει στη σειρά 550 με την εντολή *RETURN*.

Έτσι, όταν η εκτέλεση του κυρίως προγράμματος φτάσει στην γραμμή 80, τότε θα μεταβεί στην υπορουτίνα *LABEL*. Θα εκτελεστούν οι γραμμές από 500 έως 550 και στη συνέχεια η εκτέλεση του προγράμματος θα συνεχίσει κανονικά στη γραμμή 90.

Προσέχουμε πάντα να οριοθετούμε την υπορουτίνα μας, βάζοντας στο τέλος την εντολή *RETURN*. Επίσης, θα μπορούσαμε εναλλακτικά της εντολής *GOSUB *LABEL*, να γράφαμε *GOSUB 500*.

ON, GOSUB

ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ :

```

ON M_IN(5)=1 GOSUB 500
ON M_IN(5)=1 GOSUB *LABEL

```

```

ON COM(1) GOSUB 300
ON COM(1) GOSUB *LABEL

```

ON, GOTO

```

ON M_IN(5)=1 GOTO 500
ON M_IN(5)=1 GOTO *LABEL

```

```

ON COM(1) GOTO 300
ON COM(1) GOTO *LABEL

```

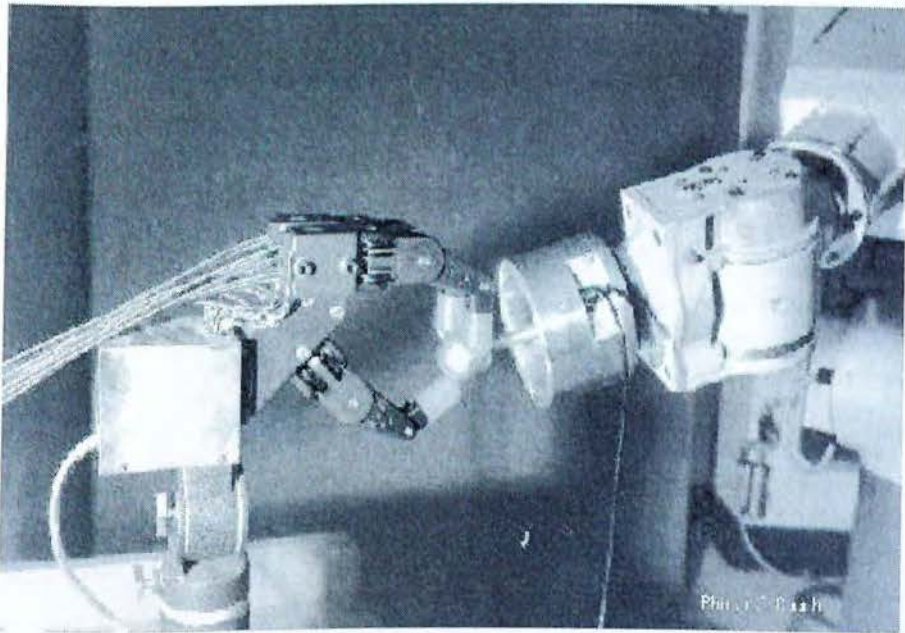
```

ON M1 GOTO 100,200,300,350,320,..... αναλόγως την τιμή
της μεταβλητής M1(1,2,3,4,5,...)
μετάβαση στη γραμμή
100,200,300,.....

```

3^ο Κεφάλαιο

Τύποι Robot



3.1 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

3.1.1 Ρομποτικά συστήματα σημείου – προς - σημείο

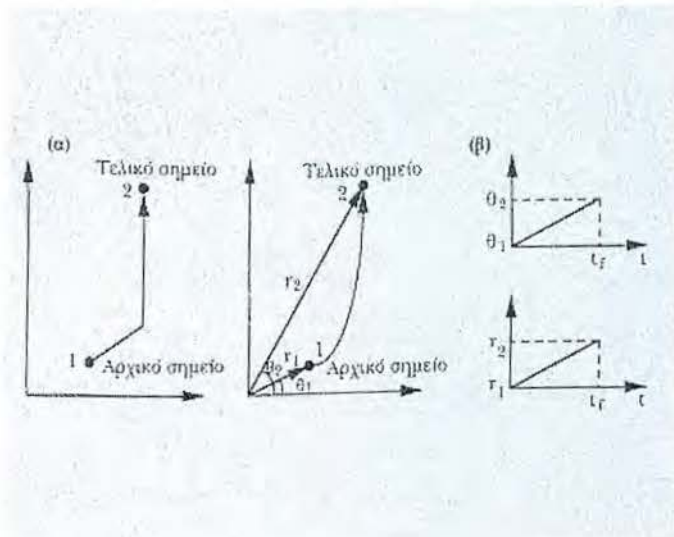
Ένα τυπικό σύστημα σημείου- προς -σημείο υπάρχει σε ένα ρομπότ σημειακής συγκόλλησης . Στην περίπτωση αυτή το ρομπότ κινείται μέχρις ότου το σημείο που πρόκειται να συγκολληθεί βρεθεί ακριβώς μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων του πιστολιού συγκόλλησης, οπότε και εκτελείται η συγκόλληση. Μετά από αυτό, το ρομπότ 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



τελική θέση του ρομπότ. Οι συντεταγμένες κάθε επιθυμητής θέσης φορτώνονται στους μετρητές με διακριτική ικανότητα που εξαρτάται από τη 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,

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

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 ταυτόχρονα. Ακριβώς παρακάτω γίνεται εκτενέστερη αναφορά στις περιπτώσεις αυτές.

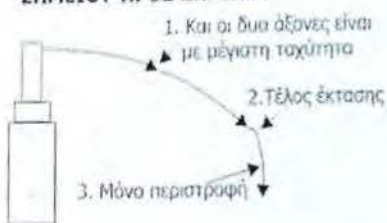
Τύποι ρομποτικών συστημάτων σημείου-προς-σημείο

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.

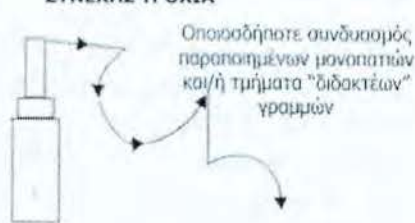
Τα αρχικά ψηφιακά ελεγχόμενα ρομπότ μπορούσαν να επεξεργαστούν την κίνηση μόνο ενός άξονα κάθε φορά. Οι άξονες κινούνταν διαδοχικά μέχρι ο καθένας να είχε μεταφερθεί από το αρχικό του σημείο στο τελικό. Οι μοντέρνοι ελεγκτές είναι γρηγορότεροι, οπότε η διαδοχική κίνηση σημείου – προς – σημείο δεν χρησιμοποιείται πια.



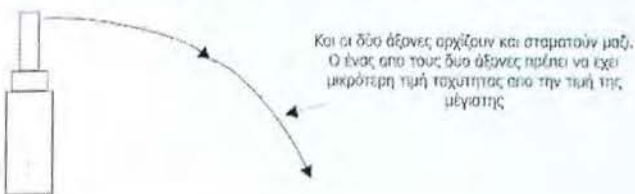
ΜΗ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ-ΠΡΟΣ-ΣΗΜΕΙΟΥ



ΣΥΝΕΧΗΣ ΤΡΟΧΙΑ



ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ-ΠΡΟΣ-ΣΗΜΕΙΟ



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, φτάνουν 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 γίνονται 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.

3.1.2 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.

Ο 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 συγκολλήσεως 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.

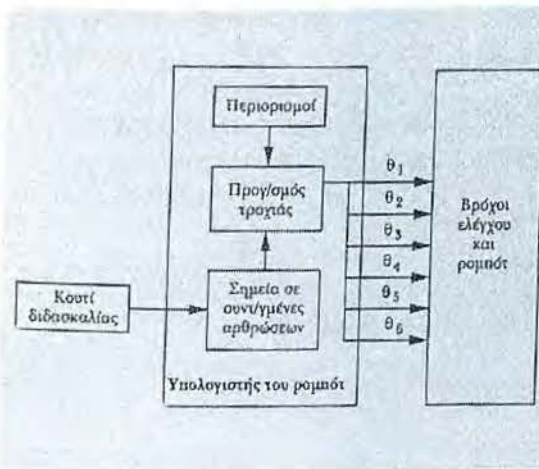
Τα ρομπότ συνεχούς δρόμου χρησιμοποιούνται για συγκολλήσεις τόξου, χρωματισμό με ψεκασμό, καθαρισμό μεταλλικών εξαρτημάτων, πολύπλοκες διεργασίες συναρμολόγησης, επίβλεψη, κ.ά.

3.1.3 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 συντεταγμένων 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.

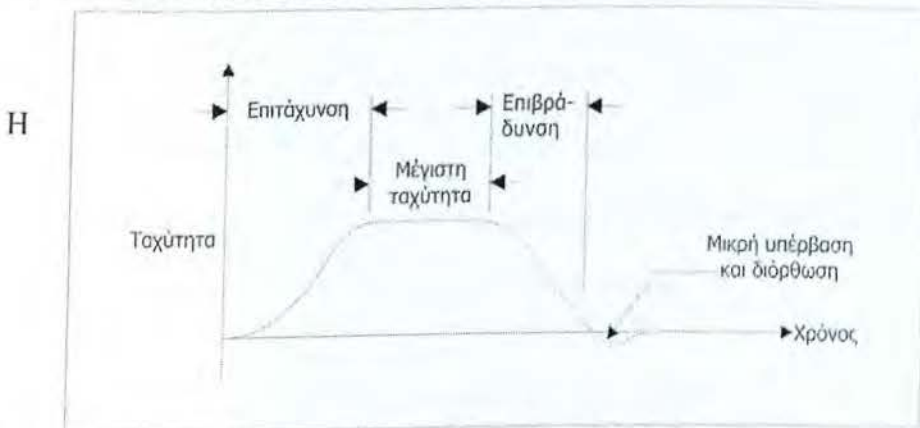
Οι μηχανουργοί ή οι μηχανικοί έδεναν σε κάποιο μέρος του σώματος τους (κυρίως στο χέρι) διάφορους αισθητήρες θέσης. Η κίνηση την οποία εκτελούσαν οι μηχανουργοί, καταγραφόταν μέσω των αισθητήρων αυτών, σε μια μαγνητική ταινία. Αργότερα, οι ταινίες αυτές “ξανάπαιζαν” και μετατρέπονταν σε σήματα ελέγχου για ηλεκτρικούς βραχιόνες (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 παρακάτω εικόνα δείχνει πως ένας ρομποτικός άξονας αντιδρά, συναρτήσει της ταχύτητας, σε μια εντολή κίνησης.

Ο άξονας προοδευτικά επιταχύνεται. 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.



ταχύτητα του ρομποτικού άξονα παραμένει μέγιστη μέχρι ο αισθητήρας που ανιχνεύει την θέση του άξονα, 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.

3.1.4 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.

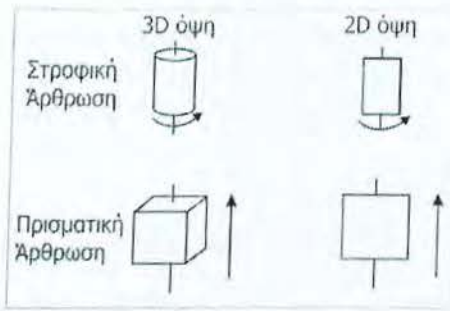
3.2 Ταξινόμηση ανάλογα με την μηχανική δομή

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 αρθρώσεών 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. Τούτο πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη κατά τον προγραμματισμό της εργασίας για την ασφάλεια των εργαζομένων.

3.2.1 Ρομπότ Καρτεσιανών Συντεταγμένων

Το κυρίως σώμα ενός ρομπότ του τύπου αυτού αποτελείται από τρεις γραμμικούς άξονες. Η δομή μπορεί να είναι όμοια με τις εργαλειομηχανές (βάση, τραπέζι εργασίας, κ.ά.) αλλά τότε ο λόγος μεταξύ του χώρου εργασίας του ρομπότ και του χώρου που καταλαμβάνει είναι μικρότερος.

Γενικά, τα χαρακτηριστικά (ηλεκτρονικό υλικό, πρόγραμμα ελέγχου, κλπ.) ενός



καρτεσιανού ρομπότ είναι όμοια με εκείνα των εργαλειομηχανών υπολογιστικού αριθμητικού ελέγχου (CNC). Έτσι η διακριτική ικανότητα και η επαναληψιμότητα ενός καρτεσιανού ρομπότ μπορεί να είναι πολύ καλή όπως και στις εργαλειομηχανές.

Σε πολλά καρτεσιανά ρομπότ η βάση δεν είναι σταθερή αλλά μπορεί να κινείται μέσα σε ορισμένα όρια. Ο καρπός ενός καρτεσιανού ρομπότ μπορεί να ακολουθήσει μια ευθύγραμμη τροχιά, αν κάθε άξονας κινηθεί με σταθερή ταχύτητα. Στα άλλα είδη ρομπότ οι σχέσεις που δίνουν τις ταχύτητες των αξόνων για τη λήψη ευθύγραμμων τροχιών δεν είναι τόσο απλές. Στα ρομπότ αυτά πρέπει να γίνει μετασχηματισμός των

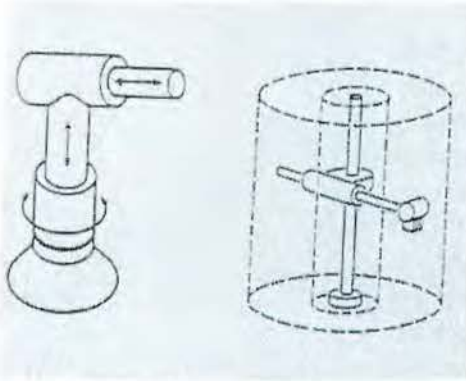
καρτεσιανών συντεταγμένων των αρθρώσεων του ρομπότ. Άλλο πλεονέκτημα των καρτεσιανών ρομπότ είναι η σταθερότητα της διακριτικής ικανότητας θέσης. Δηλαδή η ΒΜΔΙ είναι ορισμένη για κάθε άξονα και παραμένει σταθερή σε όλα τα σημεία του χώρου εργασίας του ρομπότ. Αυτό δεν συμβαίνει στα μη καρτεσιανά ρομπότ.

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, τα καρτεσιανά ρομπότ δεν είναι προτιμητέα στη βιομηχανία. Τούτο συμβαίνει γιατί δεν έχουν μηχανική ευελιξία (δεν μπορούν λ.χ. να φθάσουν αντικείμενα που βρίσκονται στο πάτωμα ή δεν είναι ορατά από τη βάση τους). Επίσης η ταχύτητα λειτουργίας στο οριζόντιο επίπεδο είναι συνήθως

Αθανάσιος Καλφόπουλος

μικρότερη από την αντίστοιχη ταχύτητα των ρομπότ που έχουν περιστρεφόμενη βάση. Παραδείγματα καρτεσιανών ρομπότ είναι τα ρομπότ DEA Pragma, Renault Acma Criber και Mitsubishi Robitus (για συγκολλήσεις σημείων) και το ρομπότ Shin Melwa για συγκολλήσεις τόξου.

3.2.2 Ρομπότ κυλινδρικών Συντεταγμένων



Το κυρίως σώμα ενός ρομπότ του τύπου αυτού αποτελείται από ένα οριζόντιο βραχίονα στερεωμένο σε μια κατακόρυφη κολώνα. Η κολώνα είναι με τη σειρά της στερεωμένη πάνω σε μια περιστρεφόμενη βάση. Ο οριζόντιος βραχίονας κινείται προς τα εμπρός και προς τα πίσω κατά τη διεύθυνση του διαμήκους άξονά του και επίσης ανεβοκατεβαίνει στην κολώνα. Κολώνα και βραχίονας στρέφονται σαν ένα σώμα πάνω στη βάση γύρω από τον

κατακόρυφο άξονα.

Η διακριτή ικανότητα ενός κυλινδρικού ρομπότ δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από την απόσταση r μεταξύ της κολώνας και του εργαλείου κατά μήκος του οριζοντίου βραχίονα.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ότι η διάταξη μέτρησης της θέσης του στρεφόμενου άξονα ενός κυλινδρικού ρομπότ είναι ένας ψηφιακός κωδικοποιητής που στέλνει 6.000 παλμούς ανά περιστροφή και ότι είναι άμεσα στερεωμένος πάνω στον άξονα. Εάν η μέγιστη απόσταση κολώνας και εργαλείου πάνω στον οριζόντιο βραχίονα είναι $r=1\text{m}$, η χειρότερη διακριτική ικανότητα στη θέση του εργαλείου είναι ίση με

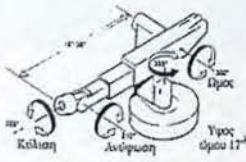
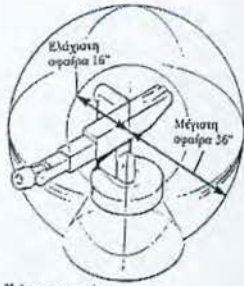
$$\alpha * r = (360/6000 * \pi/180) * 1000\text{mm} = 1.05 \text{ mm}$$

όπου α είναι διακριτική ικανότητα στη βάση (σε rad).

Παρατηρούμε ότι η διακριτική ικανότητα θέσης του θεωρούμενου κυλινδρικού ρομπότ γύρω από τον άξονα είναι κατά δύο τάξεις χειρότερη από την αντίστοιχη των καρτεσιανών ρομπότ ή των εργαλειομηχανών (0.01 mm). Τούτο είναι ένα από τα μειονεκτήματα των κυλινδρικών ρομπότ απέναντι στα καρτεσιανά ρομπότ. Τα κυλινδρικά όμως ρομπότ λόγω του περιστρεφόμενου άξονα προσφέρουν μεγαλύτερη ταχύτητα στο άκρο του βραχίονα. Βέβαια η ταχύτητα αυτή περιορίζεται από το φορτίο που σηκώνει το εργαλείο του ρομπότ και από τη θέση του βραχίονα. Επίσης η δυναμική συμπεριφορά των ρομπότ που έχουν στρεφόμενους άξονες εξαρτάται από τη ροπή αδράνειας του όλου συστήματος ως προς τη βάση, που εξαρτάται από το βάρος που σηκώνει το ρομπότ και από την απόσταση του βάρους αυτού από τον άξονα της βάσης.

Επειδή δε η ενεργός αυτή ροπή αδράνειας μεταβάλλεται με το χρόνο και με τη θέση, η δυναμική συμπεριφορά του κυλινδρικού (σφαιρικού και αρθρωτού) ρομπότ είναι χειρότερη από εκείνη του καρτεσιανού ρομπότ που δεν έχει στρεφόμενο άξονα.

3.2.3 Ρομπότ Σφαιρικών (Πολικών) Συντεταγμένων



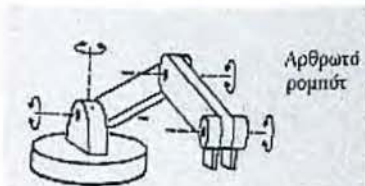
Τα ρομπότ του τύπου αυτού αποτελούνται από μια στρεφόμενη βάση, ένα ανυψούμενο στέλεχος στους άξονες. Το βασικό μειονέκτημα των σφαιρικών ρομπότ είναι και πάλι η μικρή διακριτική ικανότητα θέσης των δύο στροφικών αξόνων που μεταβάλλεται με το μήκος του βραχίονα.

Έστω ένα σφαιρικό ρομπότ με βραχίονα μήκους 500 mm, το οποίο έχει τρεις κωδικοποιητές που στέλνουν 1000 παλμούς ανά πλήρη περιστροφή ο καθένας. Ο γραμμικός άξονας ενεργοποιείται (τίθεται σε κίνηση) με τη βοήθεια ενός κοχλίου με βήμα 10 mm. Ο αντίστοιχος κωδικοποιητής είναι στερεωμένος στον κοχλία. Οι άλλοι δύο κωδικοποιητές είναι στερεωμένοι στους άξονες μέσω οδοντωτών τροχών που έχουν λόγο στροφών 1:22.

Ο γραμμικός άξονας έχει διακριτική ικανότητα $10\text{mm}/1000 = 0.01\text{mm}$. Οι στροφικοί άξονες έχουν διακριτική ικανότητα $(500\text{ mm}) \times (1/22) \times (360/1000) \times \pi/180 = 0.14\text{ mm}$.

Το παράδειγμα αυτό δείχνει τη μεγάλη διαφορά διακριτικής ικανότητας των γραμμικών και στροφικών αξόνων. Τα σφαιρικά ρομπότ, εκτός από το πλεονέκτημα της αυξημένης ταχύτητας κίνησης των στροφικών αξόνων, έχουν και το πλεονέκτημα της αυξημένης ευελιξίας σε σχέση τόσο με τα καρτεσιανά όσο και με τα κυλινδρικά ρομπότ.

3.2.4 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.

3.3 Ρομποτικά Συστήματα Ελέγχου

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

- Ανοιχτού βρόχου
- Κλειστού

Στην πρώτη κατηγορία (ανοικτού βρόχου) η έξοδος δεν έχει καμία επίδραση στην είσοδο, δεν υπάρχει δηλαδή ανατροφοδότηση. Σαν ένα παράδειγμα ας θεωρήσουμε



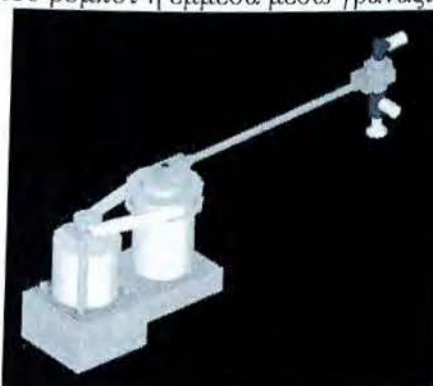
ένα ηλεκτρικό κινητήρα στον οποίο εφαρμόζουμε μια σταθερή τάση, οπότε ο κινητήρας περιστρέφεται. Έξοδος του συστήματος εδώ είναι η ταχύτητα περιστροφής του άξονα και είσοδος η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα. Εάν εφαρμοσθεί κάποιο φορτίο στον κινητήρα η ταχύτητά του θα αυξηθεί. Οι αυξομειώσεις αυτές 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 μιάντων.



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.

Αναλυτικότερα ακόμα θα γίνει αναφορά στους κινητήρες – μοτέρ στο επόμενο κεφάλαιο.

3.4 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 μετράται από αισθητήριες διατάξεις και ανατροφοδοτείται στην είσοδο. Ο άξονας του κινητήρα μπορεί να οδηγήσει 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 τη

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 ολισθήση 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 (off-line) 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.

4^ο Κεφάλαιο

Περιγραφή της εγκατάστασης Παλετοποίησης τσιγάρων σε Βιομηχανικό Χώρο



Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια εκτενής παρουσίαση της εγκατάστασης που χρησιμοποιείται για την παλετοποίηση των τσιγάρων στο εργοστάσιο Παλαστράτος της PMI στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα θα παρουσιάσουμε αναλυτικά όλα τα συστήματα και τους αυτοματισμούς που περιλαμβάνει η συγκεκριμένη γραμμή για την παραγωγή και παλετοποίηση των τσιγάρων.

Γενική Περιγραφή της Παλετοποίησης

Ο χώρος της παλετοποίησης βρίσκεται στο ισόγειο του εργοστασίου δίπλα στο χώρο του secondary. Στο χώρο αυτό καταλήγουν τα χαρτοκιβώτια με τα τσιγάρα από τις μηχανές, διαχωρίζονται με βάση τη μάρκα τσιγάρου, παλετάρονται και αποθηκεύονται μέχρι να φορτωθούν στα φορτηγά.



Χώρος Παλετοποίησης

Ο χώρος αποτελείται από 4 κύρια μέρη.

- Το πρώτο είναι ο χώρος εισόδου από το secondary στην παλετοποίηση, όπου ενώνονται οι δύο διάδρομοι παραγωγής σε έναν που καταλήγει στο main diverter.

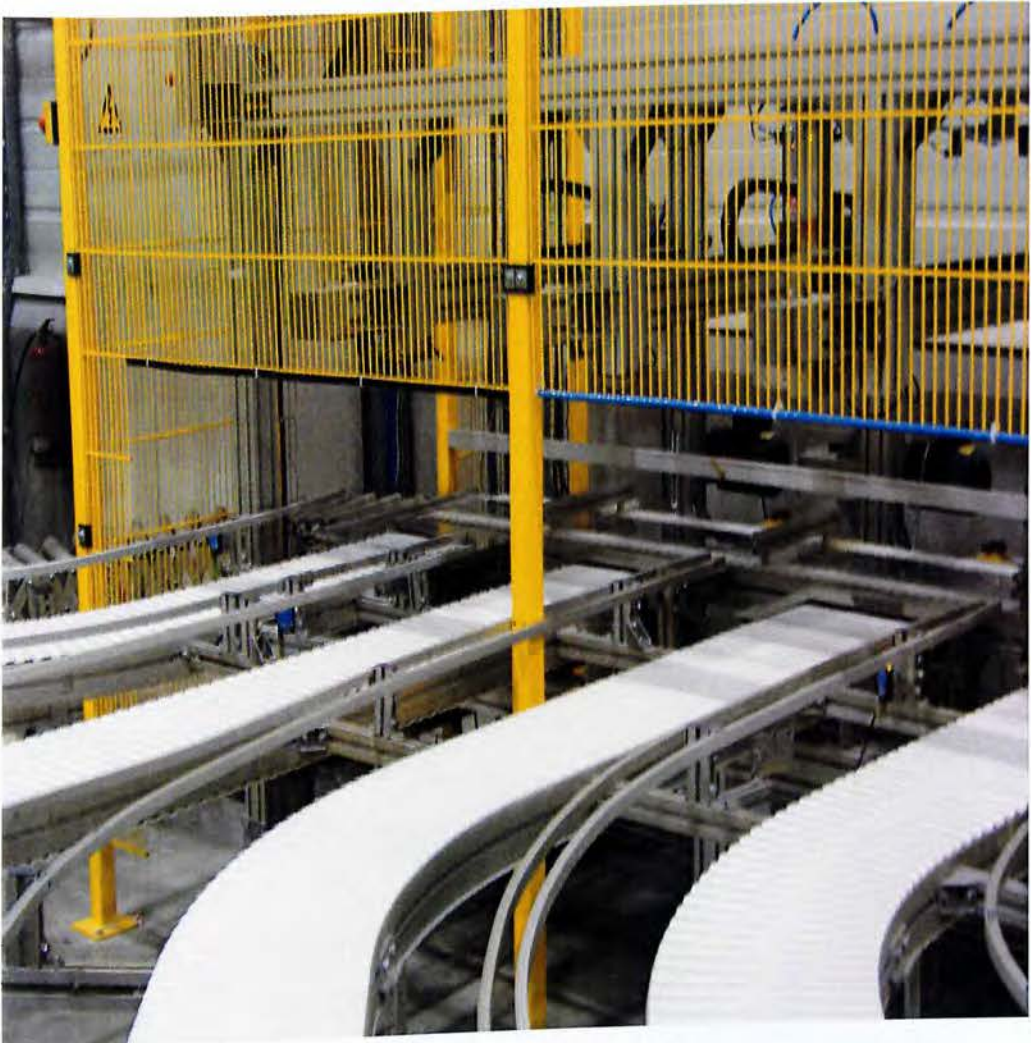


Χώρος Υποδοχής



Χώρος Υποδοχής

- Το δεύτερο μέρος είναι το main diverter. Εκεί γίνεται ο διαχωρισμός των χαρτοκιβωτίων ανάλογα τη μάρκα τσιγάρου και στέλνεται στο αντίστοιχο Robot.



η

Main Diverter

Στην συνέχεια ακολουθεί ο χώρος που περιλαμβάνει τα Robot με των οποίων την λειτουργία και βελτιστοποίηση των κινήσεων τους θα ασοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

- Το τρίτο μέρος περιλαμβάνει τα Robot και το χώρο εργασίας τους όπου τα χαρτοκιβώτια τοποθετούνται πάνω στις παλέτες. Συνολικά στον χώρο υπάρχουν τρία Robot.



Robot για την μεταφορά χαρτοκιβωτίων

Στην συνέχεια ακολουθεί το τέταρτο και τελευταίο κομμάτι της γραμμής παραγωγής.

- Στο τέταρτο και τελευταίο κομμάτι περιλαμβάνεται το *suttle car* κ το περιτυλικτικό μηχάνημα. Το *suttle car* είναι το αμαξίδιο που παραλαμβάνει την παλέτα από το Robot και την στέλνει στο περιτυλικτικό μηχάνημα το οποίο τυλίγει την παλέτα με σελοφάν.

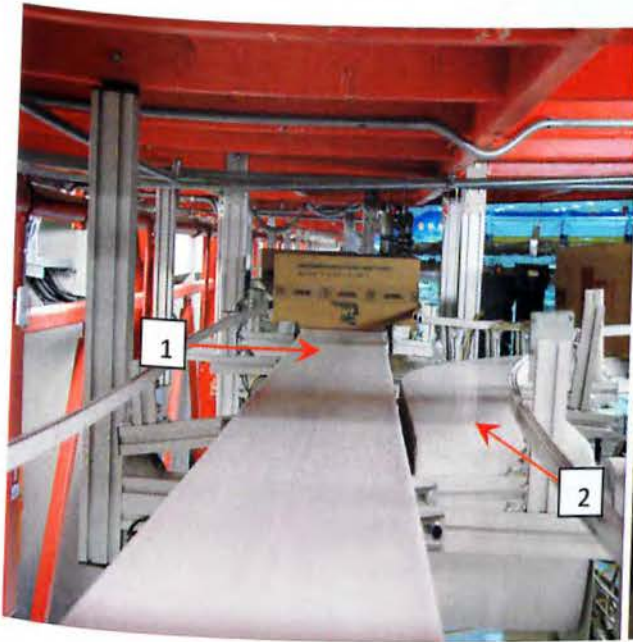


Suttle car



Περιτυλικτικό

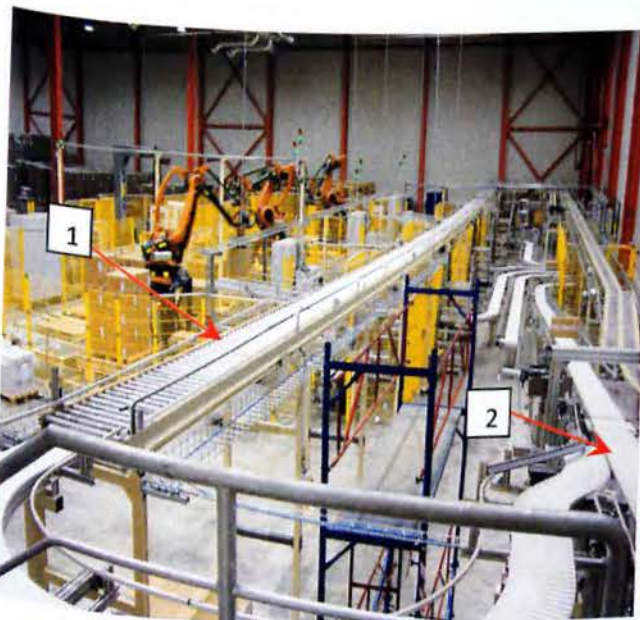
Χώρος υποδοχής από το secondary στην παλετοποίηση



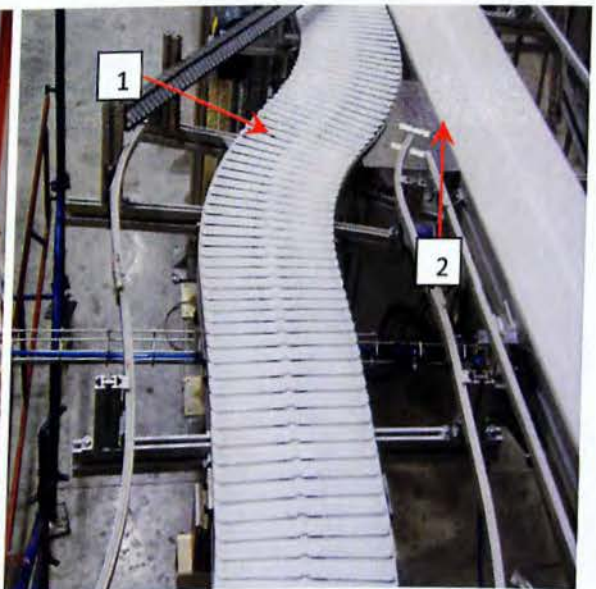
Εικόνα 1.1



Εικόνα 1.2



Εικόνα 1.3



Εικόνα 1.4

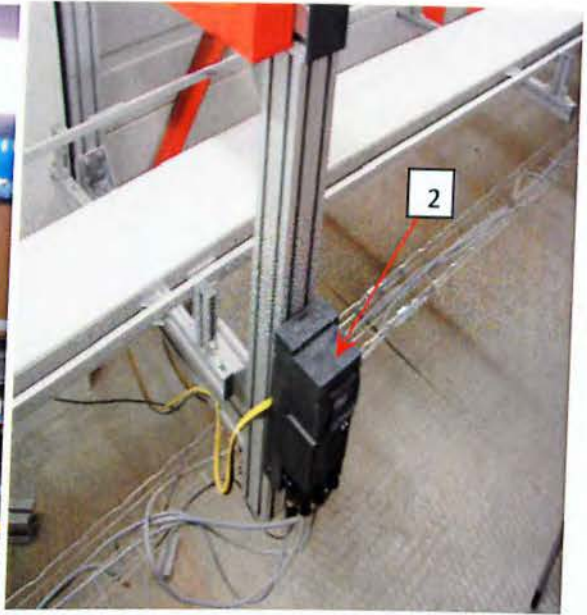
Ο χώρος υποδοχής από το secondary στην παλετοποίηση είναι ο χώρος όπου οι δύο ραουλόδρομοι, που μεταφέρουν τα χαρτοκιβώτια με τα τσιγάρα από τις τσιγαροποιητικές μηχανές, ενώνονται σε έναν που οδηγεί στο main diverter. Στην εικόνα 1.1 φαίνονται οι δύο ραουλόδρομοι από την παραγωγή και στην εικόνα 1.2 φαίνεται ο κεντρικός ραουλόδρομος της παλετοποίησης που οδηγεί στο main diverter. Στην έξοδο από το δωμάτιο υποδοχής προς το main diverter υπάρχει άλλος ένας ραουλόδρομος που οδηγεί στο buffer.

Το buffer φαίνεται στην εικόνα 1.3(1) ενώ στο σημείο (2) φαίνεται ο κεντρικός ραουλόδρομος και ο ραουλόδρομος του buffer που συναντιούνται. Το σημείο αυτό φαίνεται καλύτερα στην εικόνα 1.4. Ο ραουλόδρομος (1) είναι του buffer και ο ραουλόδρομος (2) είναι ο κεντρικός. Εκεί βρίσκεται ένα μετακινούμενο εξάρτημα που αν χρησιμοποιείται το buffer αυτό όταν περνάει ένα κιβώτιο το σπρώχνει από τον κεντρικό διάδρομο στο διάδρομο του buffer.

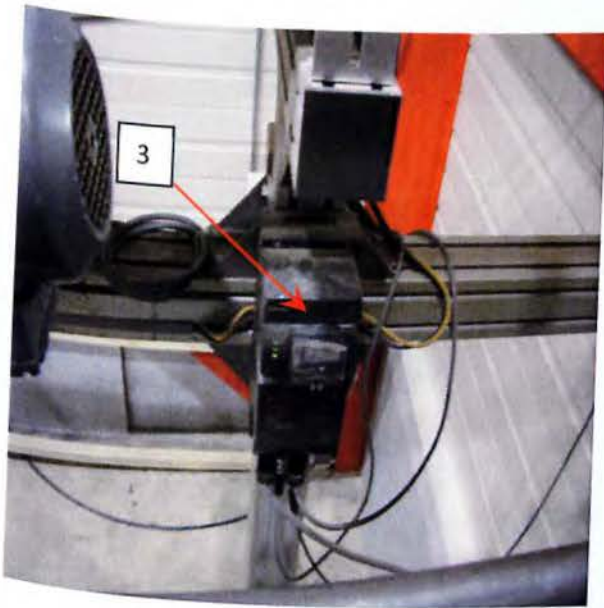
Σκοπός του buffer είναι σε περίπτωση κάποιας βλάβης στη διαδικασία παλετοποίησης το προϊόν να αποθηκεύεται στο buffer και να στέλνεται στο main diverter αφού αποκατασταθεί η βλάβη. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται τυχόν συμφόρηση στους ραουλόδρομους της παραγωγής και του χώρου αποθήκευσης.



Εικόνα 1.5



Εικόνα 1.6



Εικόνα 1.7



Εικόνα 1.8

Στο χώρο υποδοχής βρίσκονται τρία θερμικά. Το πρώτο (εικόνα 1.5) βρίσκεται στο σημείο που ενώνονται οι ραουλόδρομοι από την παραγωγή. Το δεύτερο (εικόνα 1.6) βρίσκεται μέσα στο δωμάτιο του χώρου υποδοχής, κοντά στο παράθυρο ασφαλείας. Το τρίτο θερμικό (εικόνα 1.7) βρίσκεται κάτω από τον κεντρικό ραουλόδρομο στην έξοδο από το δωμάτιο του χώρου υποδοχής προς το main diverter. Στην εικόνα 1.8 φαίνεται η πρόσοψη των θερμικών. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται τα θερμικά είναι για να αποφεύγεται η καταστροφή των κινητήρων σε περίπτωση αυξημένου βάρους στους ραουλόδρομους και γενικότερα οποιασδήποτε δυσκολίας στην κίνηση των κινητήρων.



Εικόνα 1.9



Εικόνα 1.10

Στην εικόνα 1.9 φαίνεται το παράθυρο ασφαλείας που υπάρχει στον χώρο υποδοχής. Σε περίπτωση πυρκαγιάς είτε στο χώρο της παραγωγής είτε στο χώρο της παλετοποίησης αυτό κλείνει για να διαχωρίσει την παραγωγή από την παλετοποίηση ώστε να αποφευχθεί η διάδοση της πυρκαγιάς.

Το παράθυρο κλείνει αυτόματα καθώς διαθέτει ένα αισθητήριο καπνού. Αν το παράθυρο κλείσει υπάρχει το αισθητήριο που φαίνεται στην εικόνα 1.10 το οποίο ενεργοποιείται και σταματάει τη λειτουργία του χώρου υποδοχής και του main diverter. Επίσης ο φάρος του main diverter ανάβει κόκκινο για ένδειξη προβλήματος. Το παράθυρο ανοίγει μόνο χειροκίνητα.

Main Diverter





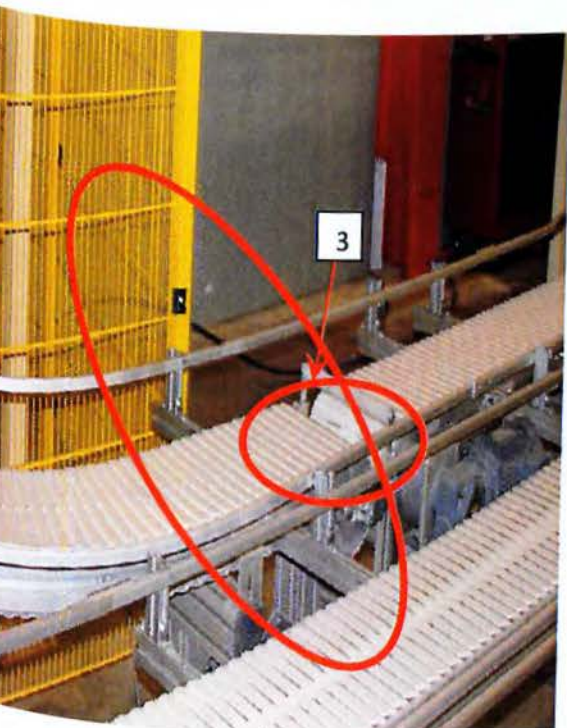
Τα χαρτοκιβώτια αφού φύγουν από το χώρο υποδοχής (εικόνα 2.1.1) περνούν από τον κεντρικό ραουλόδρομο (εικόνα 2.1.2), στον οποίο μετά το buffer υπάρχουν 2 αισθητήρια τα οποία ανιχνεύουν το πέρασμα των χαρτοκιβωτίων. Σε περίπτωση που αυτά τα αισθητήρια παραμείνουν ενεργοποιημένα για περίπου 10sec ή είναι ανενεργά για περίπου 3min, τότε ο κεντρικός ραουλόδρομος σταματά την κανονική λειτουργία του και κινείται βηματικά ώστε στην πρώτη περίπτωση να αποφεύγεται ο συνωστισμός χαρτοκιβωτίων και στην δεύτερη σαν τρόπος προειδοποίησης για τυχόν προβλήματα στη γραμμή παραγωγής πριν από το σημείο των αισθητηρίων.

Στην εικόνα 2.2.1 βλέπουμε το κεντρικό ραουλόδρομο από τον οποίο έρχονται τα χαρτοκιβώτια και μπαίνουν μέσα στο main diverter ώστε να γίνει ο διαχωρισμός τους σε έναν από τους 3 διαδρόμους (εικόνα 2.2.3-4-5) και να οδηγηθούν στο αντίστοιχο κελί του Robot.

Τέλος στην εικόνα 2.2.2 φαίνεται ο διάδρομος απόρριψης όπου εισέρχονται τα χαρτοκιβώτια που δεν μπορεί να διαβαστεί το barcode τους.



Εικόνα 2.3



Εικόνα 2.4



Εικόνα 2.5

Στην είσοδο του main diverter υπάρχουν 3 αισθητήρια τα οποία κάνουν τις εξής λειτουργίες: τα 2 πρώτα αισθητήρια (εικόνα 2.3.1) 'βλέπουν' αν υπάρχει χαρτοκιβώτιο ενώ το αισθητήριο στην εικόνα 2.3.2 'βλέπει' αν η κούτα που εισέρχεται στον κεντρικό διάδρομο του diverter έχει τερματίσει.

Με το συνδυασμό που επιτυγχάνεται όταν δεν υπάρχει κούτα που να ενεργοποιεί το ζεύγος των αισθητηρίων 2.3.1, ενώ υπάρχει κούτα που να ενεργοποιεί το αισθητήριο 2.3.2 σηκώνονται τα κλαπέτα της εικόνας 2.4 και 2.5 ώστε να μην δημιουργείται συμφόρηση χαρτοκιβωτίων ούτε να περάσει και δεύτερο χαρτοκιβώτιο στον κεντρικό διάδρομο του main diverter και σταματάει το τελευταίο κομμάτι του κεντρικού ραουλόδρομου. Στη συνέχεια ενεργοποιείται ο βηματικός διάδρομος του diverter για να κάνει έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας.



Εικόνα 2.6



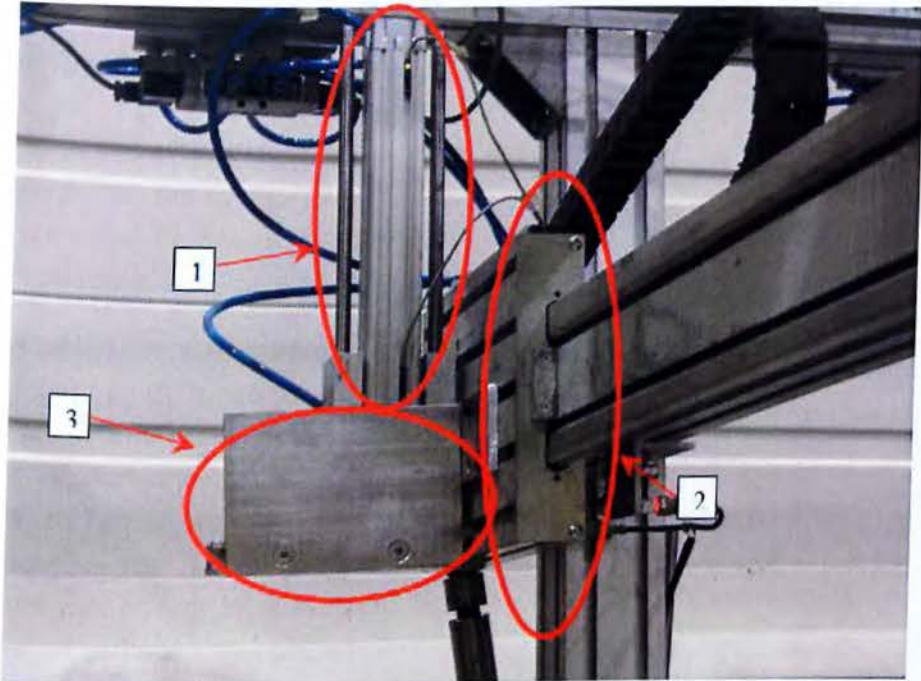
Εικόνα 2.7



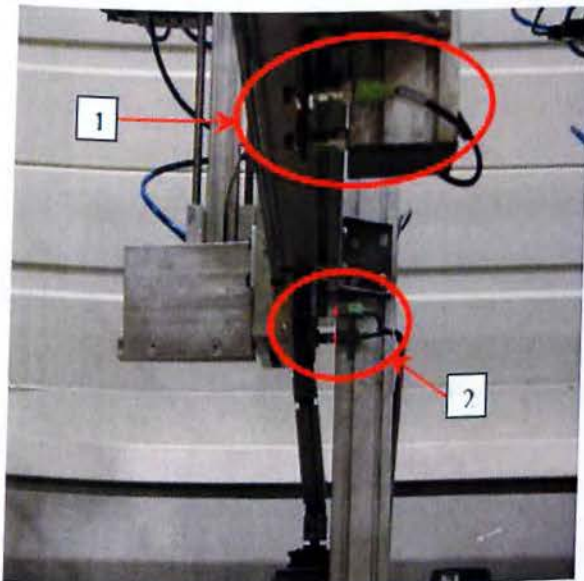
Εικόνα 2.8

Ξεκινώντας ο κύκλος λειτουργίας του diverter τίθεται σε ισχύ ο βηματικός διάδρομος με αποτέλεσμα τα μπράτσα που είναι ενσωματωμένα στον διάδρομο (εικόνα 2.6) να μετακινούν όλα τα χαρτοκιβώτια κατά μία θέση.

Το τελευταίο χαρτοκιβώτιο που μπήκε στο diverter περνάει από το scanner (εικόνα 2.7) όπου διαβάζεται το barcode του και αποφασίζεται σε ποιο διάδρομο θα σταλεί στα επόμενα βήματα. Το εξάρτημα στην εικόνα 2.8 δίνει την τροφοδοσία στο scanner και δέχεται τα δεδομένα από αυτό.



Εικόνα 2.9



Εικόνα 2.10



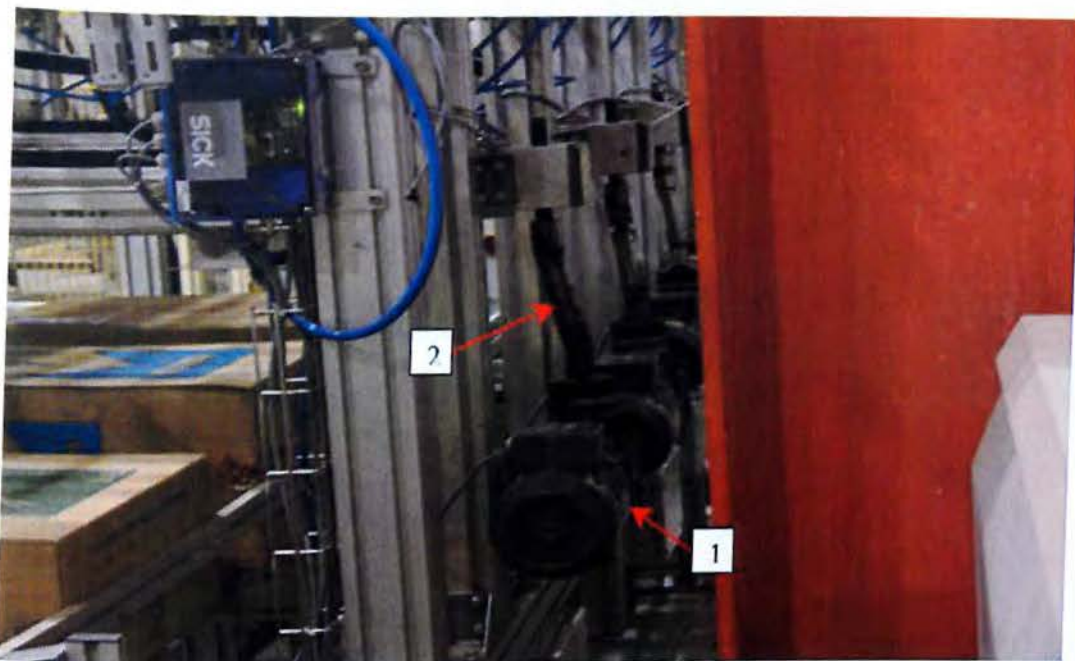
Εικόνα 2.11

Έχοντας αποθηκευμένους τους κωδικούς τον χαρτοκιβωτίων που είναι στον κεντρικό διάδρομο υπολογίζονται οι κύκλοι που έχουν γίνει και μόλις ένα χαρτοκιβώτιο είναι στη θέση που αντιστοιχεί στον ραουλόδρομο του robot που πρέπει να σταλεί τότε ενεργοποιείται το αντίστοιχο pusher (εικόνα 2.9). Το pusher αποτελείται από τρία διαφορετικά μέλη. Το ένα είναι ένα έμβολο με κίνηση πάνω-κάτω (εικόνα 2.9.1) όπου έχει δύο αισθητήρια ένδειξης σε ποια θέση βρίσκεται.

Το δεύτερο είναι ένα μετακινούμενο μεταλλικό εξάρτημα (εικόνα 2.9.2) το οποίο κινείται δεξιά για να σπρώξει το χαρτοκιβώτιο και αριστερά για να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Και από την μεταλλική επιφάνεια (εικόνα 2.9.3) η οποία έρχεται σε επαφή με το χαρτοκιβώτιο και το σπρώχνει. Καθώς λοιπόν ενεργοποιείται το pusher κατεβαίνει το έμβολο, μετακινείται μπροστά σπρώχνοντας το χαρτοκιβώτιο και μόλις τελειώσει η μπροστινή κίνηση ανεβαίνει το έμβολο στην πάνω θέση. Στο επόμενο κύκλο του diverter γυρίζει στην πίσω θέση και αν έχει χαρτοκιβώτιο κάνει την κίνηση από την αρχή αλλιώς παραμένει έτσι όπως έχει.

Για να σταματήσει η κίνηση αριστερά-δεξιά που κάνει το pusher έχει δύο επαγωγικά αισθητήρια στη δεξιά θέση (εικόνα 2.10.1) και δύο επαγωγικά αισθητήρια στην αριστερή θέση (εικόνα 2.10.2). Μόλις ενεργοποιηθεί το πρώτο από τα δύο σε σειρά δίνεται εντολή για slow κίνηση για να γίνει το σταμάτημα πιο ομαλά και μόλις ενεργοποιηθεί το δεύτερο δίνεται η εντολή για να σταματήσει η κίνηση.

Το ίδιο σύστημα κίνησης με επαγωγικά αισθητήρια slow και stop υπάρχουν και για την κίνηση του βηματικού διαδρόμου. Όσον αφορά το pusher σε περίπτωση που δεν λειτουργήσει κάποιο αισθητήριο και δεν σταματήσει η κίνηση προς κάποια κατεύθυνση υπάρχει από ένας ηλεκτρικός διακόπτης ασφαλείας σε κάθε κατεύθυνση κίνησης πάνω σχεδόν από τα επαγωγικά αισθητήρια που αν έρθει σε επαφή με το pusher σταματάει την κίνησή του (εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.12



Εικόνα 2.13

Το κάθε pusher είναι συνδεδεμένο με ένα κινητήρα για να πραγματοποιεί την κίνηση δεξιά-αριστερά (εικόνα 2.12.1). Στο κάθε κινητήρα του pusher υπάρχει ένα κόμπλερ (εικόνα 2.12.2) που μεταδίδει τις στροφές του κινητήρα στο pusher. Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα στην κίνηση του pusher για να αποφευχθεί τυχόν ζημία στον κινητήρα ή στο pusher, το κόμπλερ αρχίζει να περιστρέφεται χωρίς να δίνει κίνηση στο pusher.

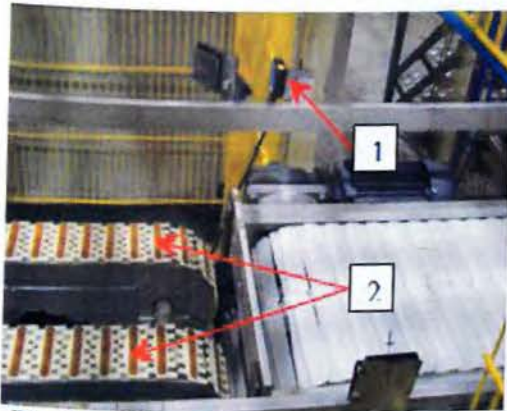
Σε κάθε ραουλόδρομο υπάρχει ένα αισθητήριο υπερύθρων (εικόνα 2.13). Όταν το χαρτοκιβώτιο σπρώχνεται από το pusher, εισέρχεται στον ραουλόδρομο και μόλις το αισθητήριο δει το κιβώτιο θέτει σε λειτουργία τον ραουλόδρομο ώστε να φτάσει το χαρτοκιβώτιο στο κελί του robot.

Χώρος Εργασίας του Robot

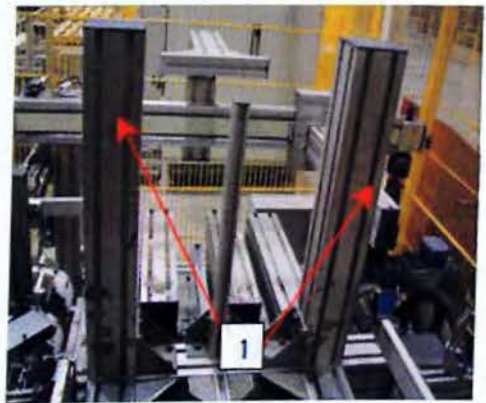
Αφου το χαρτοκιβώτιο έχει σταλεί στο σωστό ραουλόδρομο από το main diverter καταλήγει στο αντίστοιχο robot. Σε κάθε είσοδο των κελιών του Robot υπάρχει ένα αισθητήριο (εικόνα 3.1.1) το οποίο όταν ενεργοποιηθεί, ενεργοποιεί τον ραουλόδρομο (εικόνα 3.1.2) που οδηγεί στο σταυρό (εικόνα 3.2.1).

Στη συνέχεια δίπλα στο σταυρό υπάρχουν άλλα 2 αισθητήρια. Το πρώτο αισθητήριο (εικόνα 3.3.1) ανιχνεύει ότι υπάρχει χαρτοκιβώτιο στο ραουλόδρομο και σηκώνει το κλαπέτο που υπάρχει στην είσοδο του κελιού (εικόνα 3.4) ώστε να αποφεύγονται διπλά χαρτοκιβώτια στο σταυρό. Το δεύτερο ανιχνεύει ότι έχει τερματίσει το χαρτοκιβώτιο και δίνει εντολή να περιστραφεί ο σταυρός.

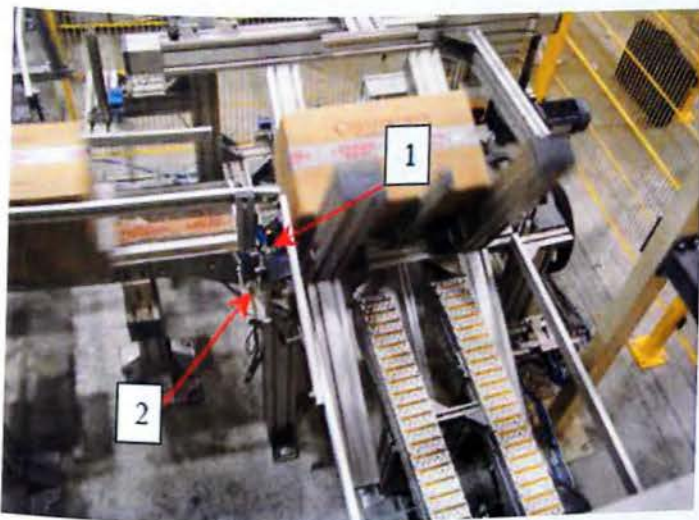




Εικόνα 3.1



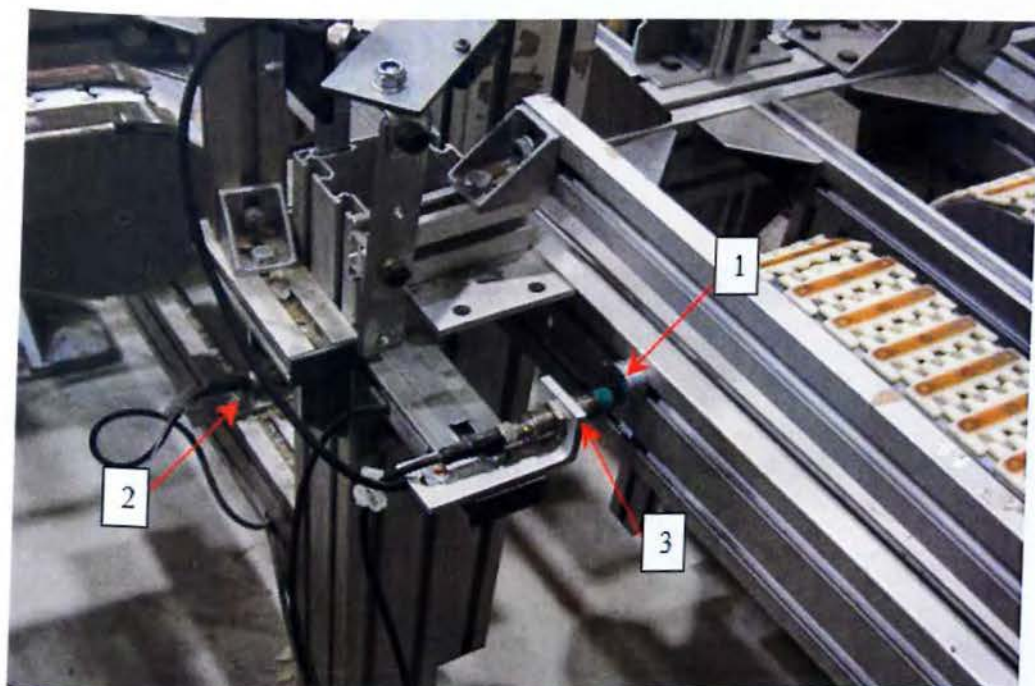
Εικόνα 3.2



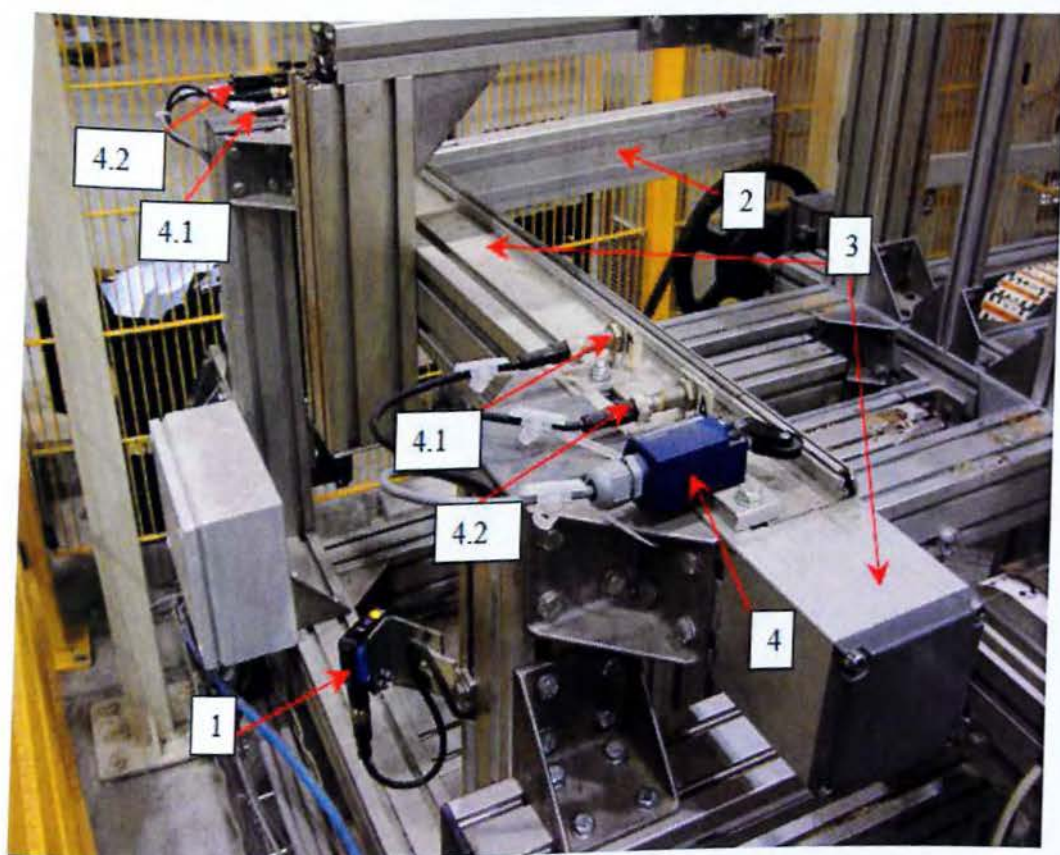
Εικόνα 3.3



Εικόνα 3.4



Εικόνα 3.5



Εικόνα 3.6

Πάνω στην μια πλευρά του σταυρού υπάρχει μια μεταλλική επιφάνεια (εικόνα 3.5.1) η οποία έχει σαν ρόλο να ενεργοποιεί τα αισθητήρια 2 και 3. Στο αισθητήριο 2 (εικόνα 3.5.2) μόλις περάσει από μπροστά του αυτή η μεταλλική επιφάνεια τότε θέτει τον κινητήρα σε πιο αργή λειτουργία έτσι ώστε να μετακινηθεί ομαλά το χαρτοκιβώτιο και να μην αναπηδήσει όταν θα ολοκληρώνει τον πλήρη κύκλο του.

Το αισθητήριο 3 (εικόνα 3.5.3) χρησιμοποιείται για να σταματήσει τη λειτουργία του κινητήρα που μετακινεί το σταυρό. Στη συνέχεια αφού ολοκληρωθεί ένα βήμα του σταυρού το αισθητήριο 1 (εικόνα 3.6.1) ανιχνεύει εάν υπάρχει χαρτοκιβώτιο στο οπτικό του πεδίο και σε συνδυασμό με το αισθητήριο που σταματάει το σταυρό δίνει εντολή να μετακινηθεί μια μεταλλική ράβδος (εικόνα 3.6.2) προς τα εμπρός ώστε να μετακινήσει το χαρτοκιβώτιο στον βηματικό ραουλόδρομο.

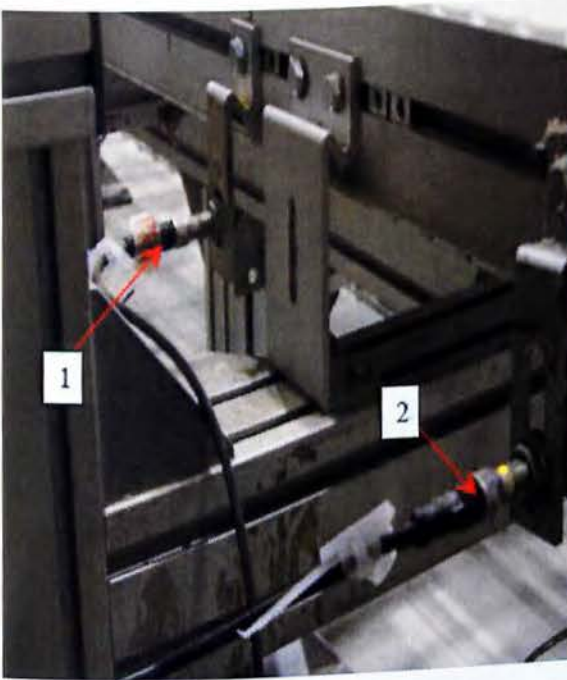
Η μεταλλική αυτή ράβδος μετακινείται πάνω σε ένα διάδρομο (εικόνα 3.6.3) στην οποία πάνω βρίσκονται 4 επαγωγικά αισθητήρια και ένας τερματικός διακόπτης ασφαλείας. Τα αισθητήρια στην εικόνα 3.6.4.1 θέτουν τον κινητήρα που μετακινεί την ράβδο σε πιο αργή λειτουργία και τα αισθητήρια στην εικόνα 3.6.4.2 είναι για να απενεργοποιούν τον κινητήρα αυτόν. Στο τέλος του διαδρόμου υπάρχει και ένας ηλεκτρικός τερματικός διακόπτης ασφαλείας για τον κινητήρα που μετακινεί τη ράβδο ο οποίος μόλις ενεργοποιηθεί σταματάει αμέσως την κίνηση της ράβδου. Αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείς σε περίπτωση που δεν λειτουργήσει ένα από τα δύο επαγωγικά αισθητήρια αργής κίνησης και σταματήματος.



Εικόνα 3.7



Εικόνα 3.8



Εικόνα 3.9



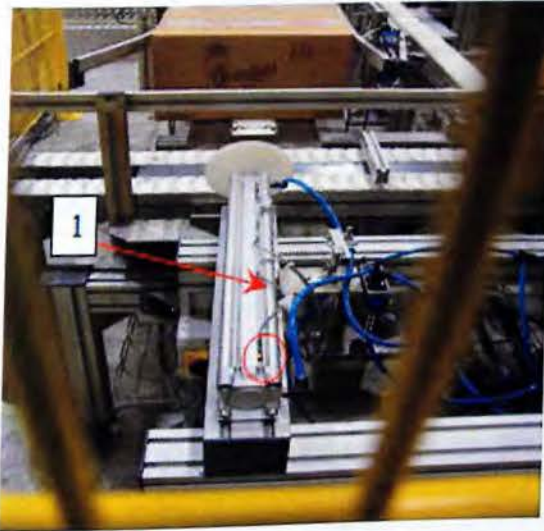
Εικόνα 3.10

Αφού ολοκληρωθεί το βήμα του σταυρού και ανιχνεύσει χαρτοκιβώτιο το αισθητήριο που φαίνεται στην εικόνα 3.6.1, μετακινείται η μεταλλική ράβδος για να σπρώξει το χαρτοκιβώτιο στον βηματικό ραουλόδρομο που ακολουθεί.

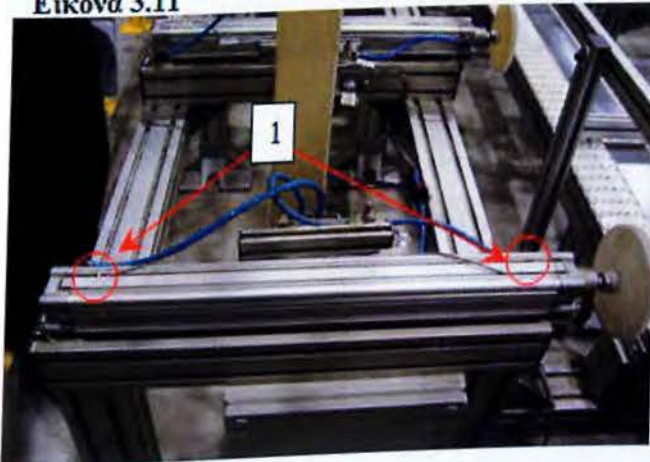
Παράλληλα με την κίνηση της μεταλλικής ράβδου που μετακινεί το χαρτοκιβώτιο υπάρχει ένα scanner (εικόνες 3.7 και 3.8.1) το οποίο διαβάζει το barcode του χαρτοκιβωτίου ώστε να δει σε ποιο από τους 5 διαδρόμους θα σταλεί και μόλις διαβαστεί μετακινείται ο βηματικός ραουλόδρομος κατά μια θέση.

Αν το Scanner δεν μπορέσει να διαβάσει σωστά το barcode τότε το στέλνει στο διάδρομο απόρριψης που θα αναφερθούμε παρακάτω.

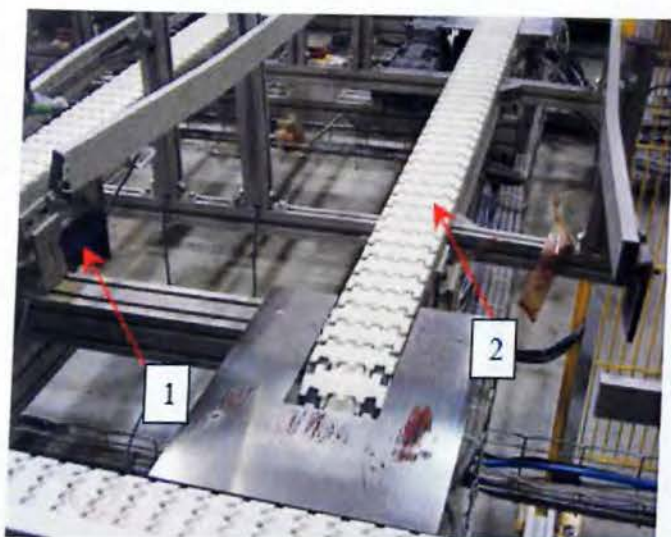
Ο βηματικός ραουλόδρομος έχει και αυτός δυο επαγωγικά αισθητήρια τα οποία χρησιμοποιούνται για την αργή (εικόνα 3.9.1) και stop (εικόνα 3.9.2) λειτουργία του κινητήρα που μετακινεί το ραουλόδρομο τα οποία ενεργοποιούνται με την μεταλλική επιφάνεια του μπράτσου του ραουλόδρομου (εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.11



Εικόνα 3.12



Εικόνα 3.13

Μετά το βήμα του ραουλόδρομου αν υπάρχει χαρτοκιβώτιο στο σωστό διάδρομο πιέζεται προς τα εμπρός με ένα πνευματικό έμβολο (εικόνα 3.11.1). Το έμβολο αυτό διαθέτει δύο αισθητήρια (εικόνα 3.12.1) τα οποία ελέγχουν τη θέση που βρίσκεται το έμβολο δηλαδή μπρός ή πίσω. Στην συγκεκριμένη φωτογραφία είναι αναμμένο το πίσω αισθητήριο μόνο διότι το έμβολο βρίσκεται στην πίσω θέση.

Στην περίπτωση που δεν είναι ενεργοποιημένο ένα από τα δύο αισθητήρια τότε σημαίνει ότι κάποιο από τα δύο αισθητήρια έχει πρόβλημα ή έχει μετακινηθεί από τη θέση του και δεν ανιχνεύει σωστά. Και στις δύο περιπτώσεις ανάβει η ένδειξη ALARM.

Στη συνέχεια αφού πιεσθεί το χαρτοκιβώτιο προς τα εμπρός περνάει από ένα αισθητήριο (εικόνα 3.13.1) το οποίο μετράει τον αριθμό των χαρτοκιβωτίων που έχουν περάσει και αν συμπληρωθεί ο συγκεκριμένος αριθμός που έχει δοθεί από το πρόγραμμα συνήθως 2 ή 4 χαρτοκιβώτια ενεργοποιείται ο ραουλόδρομος που φαίνεται στην εικόνα 3.13.2

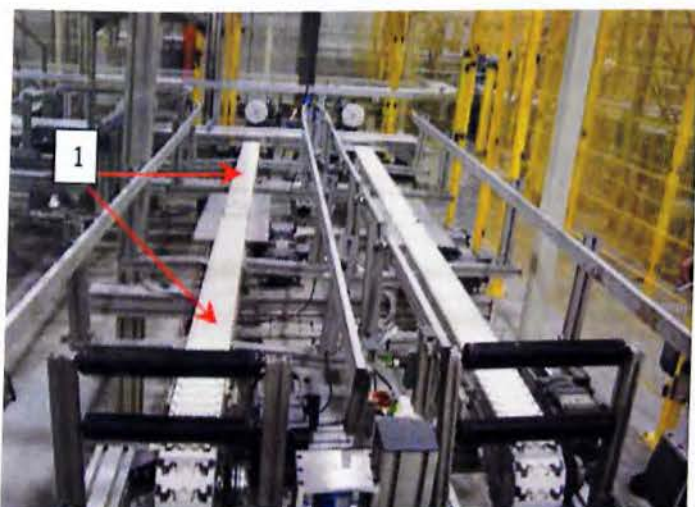


Εικόνα 3.14

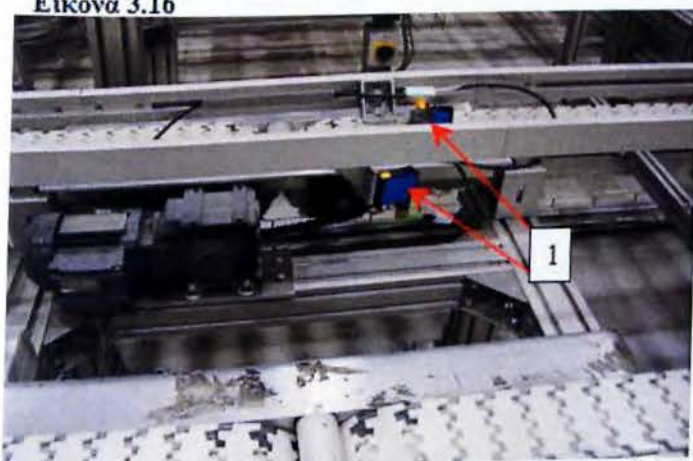


Εικόνα 3.15

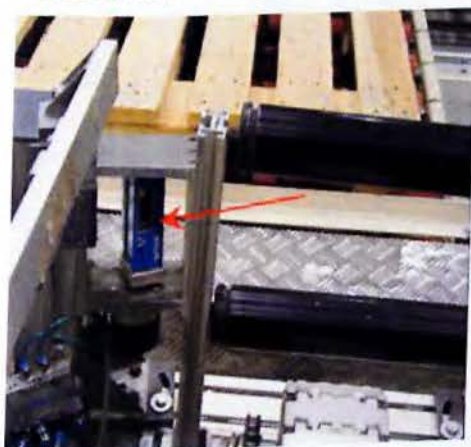
Εδώ βλέπουμε το έμβολο και το διάδρομο απόρριψης σε περίπτωση που το Scanner (εικόνα 3.8) δεν μπορέσει να διαβάσει σωστά το barcode. Το έμβολο (εικόνα 3.14) έχει ακριβώς την ίδια λειτουργία όπως και τα υπόλοιπα. Αν μαζευτούν 2 κούτες στην απόρριψη (εικόνα 3.15) ανάβει η ένδειξη ALARM γιατί το δεύτερο χαρτοκιβώτιο θα εμποδίζει τον βηματικό ραουλόδρομο.



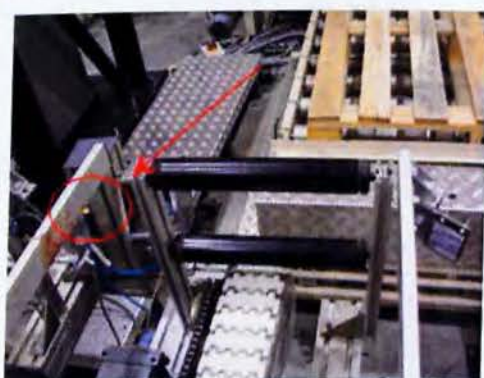
Εικόνα 3.16



Εικόνα 3.17



Εικόνα 3.18



Εικόνα 3.19

Ο κάθε ένας από τους πέντε διαδρόμους που σπρώχνονται τα χαρτοκιβώτια διαθέτει 2 ραουλόδρομους (εικόνα 3.16.1). Αφού ολοκληρωθεί ο αριθμός που απαιτούνται για να λειτουργήσει ο πρώτος ραουλόδρομος στο τέλος αυτού υπάρχει άλλο ένα αισθητήριο (εικόνα 3.17.1) το οποίο μόλις ανιχνεύσει κίνηση ενεργοποιεί και το δεύτερο ραουλόδρομο ο οποίος λειτουργεί λίγο παραπάνω χρόνο από τη στιγμή που φτάνει το πρώτο ώστε να τερματίσουν τα χαρτοκιβώτια στο τέλος του διαδρόμου και να μην υπάρχουν κενά μεταξύ τους γιατί από εκείνο το σημείο θα τα παραλάβει το Robot και πρέπει να έχουν συγκεκριμένες θέσεις. Το αισθητήριο που δίνει εντολή ότι τερμάτισαν τα χαρτοκιβώτια φαίνεται στην εικόνα 3.19.

Το επόμενο βήμα είναι αφού τερματίσουν να ελεγχθεί το barcode από ένα scanner (εικόνα 3.18) ώστε να γνωρίζει το Robot σε ποια παλέτα θα το τοποθετήσει. Επειδή το Robot λαμβάνει 2 χαρτοκιβώτια κάθε φορά το scanner διαβάζει το πρώτο χαρτοκιβώτιο με το που τερματίζουν οι κούτες στο διάδρομο και το δεύτερο αφού πρώτα πιάσει τη μια κούτα το Robot και την ανασηκώσει λίγο ώστε να μπορεί να διαβάσει και του δεύτερου.



Εικόνα 3.20



Εικόνα 3.21

Το Robot λαμβάνει 2 χαρτοκιβώτια κάθε φορά και το scanner διαβάζει το πρώτο χαρτοκιβώτιο με το που τερματίζουν οι κούτες στο διάδρομο και το δεύτερο αφού πρώτα πιάσει τη μια κούτα το Robot και την ανασηκώσει λίγο ώστε να μπορεί να διαβάσει και του δεύτερου (εικόνα 3.21)

Όταν το scanner (εικόνα 3.18) δεν διαβάσει σωστά κάποιο από τα δυο barcode των χαρτοκιβωτίων τότε το Robot τα παίρνει και τα δύο και ας είναι ένα από τα δύο σωστό και τα μεταφέρει στο διάδρομο απορριψής (εικόνα 3.20.1)

Η τοποθέτηση της παλέτας γίνεται μέσω της πίσω πλευράς του shuttle car (εικόνα 3.22) το οποίο μεταφέρεται στη θέση στην οποία προμηθεύεται τις παλέτες, παραλαμβάνει μια και την μεταφέρει στον αντίστοιχο διάδρομο που δεν έχει παλέτα.

Αφού το shuttle car σπρώξει την παλέτα, αυτή ανιχνεύεται από ένα αισθητήριο (εικόνα 3.23.1) και δίνει κίνηση στα ράουλα του διαδρόμου ώστε να μεταφερθεί προς τα εμπρός και σταματάει όταν ανιχνεύσει την παλέτα το αισθητήριο στο τέλος του διαδρόμου (εικόνα 3.23.2). Τέλος υπάρχει άλλο ένα αισθητήριο το οποίο είναι για να ανιχνεύει ότι υπάρχουν χαρτοκιβώτια πάνω στην παλέτα (εικόνα 3.23.3)



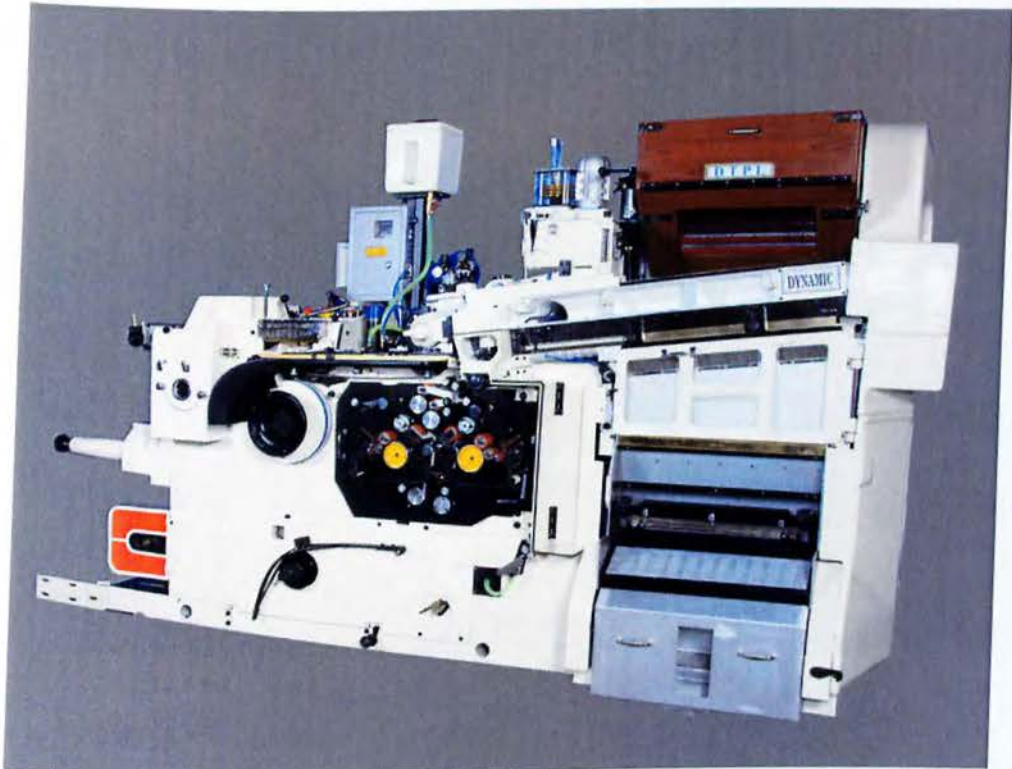
Εικόνα 3.22



Εικόνα 3.23

5^ο Κεφάλαιο

Λειτουργία & Βελτιστοποίηση της εγκατάστασης Παλετοποίησης τσιγάρων σε Βιομηχανικό Χώρο



Στην συνέχεια της περιγραφής μας σχετικά με την λειτουργία της γραμμής παραγωγής στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την περιγραφή και λειτουργία του Shuttle Car και του περιτυλιχτικού μηχανήματος.



Εικόνα 4.1

Μόλις έχει ολοκληρωθεί μια παλέτα παίρνει εντολή το shuttle car και πηγαίνει να την παραλάβει . Πρώτα μπαίνει η γεμάτη παλέτα στη θέση 1, στη συνέχεια μετακινείται το shuttle car ώστε να ευθυγραμμιστεί η θέση 2 που έχει την άδεια παλέτα με τον διάδρομο που πλέον είναι άδειος και τοποθετεί την άδεια παλέτα στον διάδρομο.

Μελέτη Βελτιστοποίησης Βιομηχανικής Γραμμής Παραγωγής

Μόλις τελειώσει αυτή η διαδικασία το Shuttle car πηγαίνει στη θέση που φαίνεται στην εικόνα 4.2 όπου προωθεί την γεμάτη παλέτα στον διάδρομο που καταλήγει στο περιτυλιχτικό και στη συνέχεια προμηθεύεται καινούρια άδεια παλέτα από το μηχάνημα της εικόνας 4.3.



Εικόνα 4.2 - 4.3

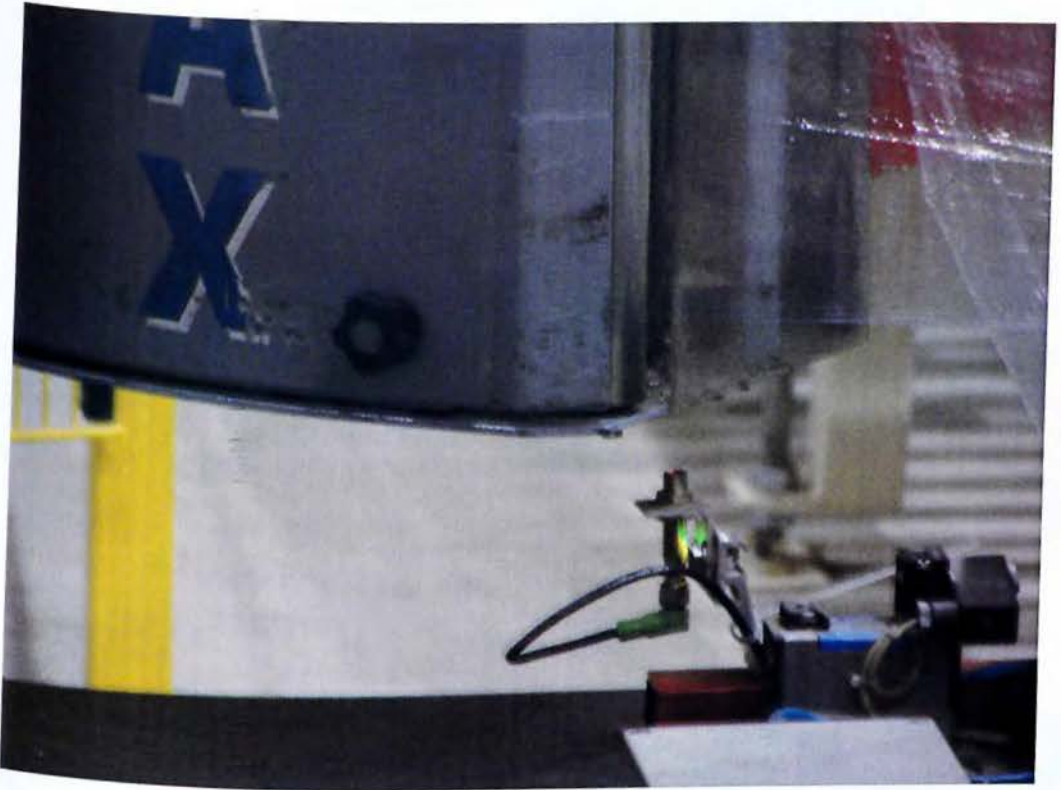


Η παλέτα από το shuttle car πάει σε ένα περιστρεφόμενο διάδρομο (εικόνα 4.4) ώστε να την στρίψει και να την στείλει στον διάδρομο που βρίσκεται το περιτυλιχτικό. Τέλος επισημαίνεται πως σε όλους τους διαδρόμους υπάρχουν αισθητήρια υπερέθρων για να γίνεται έλεγχος αν βρίσκεται παλέτα στο διάδρομο και τότε να αρχίζει να δουλεύει ο κινητήρας και να την προχωράει στον επόμενο διάδρομο και να μην δουλεύει συνέχεια ο κινητήρας (εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.4 - 4.5





Εικόνα 4.7α

Στις εικόνες 4.7 και 4.8 φαίνεται το περιτυλιχτικό εν ώρα λειτουργίας. Μόλις τελειώσει το τύλιγμα η παλέτα προχωράει στους διαδρόμους που φαίνονται στην εικόνα 4.7 και φτάνει στο τέλος της παλετοποίησης, όπου την παραλαμβάνει ο οδηγός του Κλαρκ (εικόνα 4.9) και την τοποθετεί μαζί με τις υπόλοιπες έτοιμες παλέτες.



Εικόνα 4.7β



Εικόνα 4.8



Εικόνα 4.9

Οπτικές και Ηχητικές Ενδείξεις

Σε όλα τα μέρη της παλετοποίησης υπάρχουν φάροι με οπτικές ενδείξεις. Πράσινη ένδειξη σημαίνει πως όλα δουλεύουν χωρίς πρόβλημα. Η πορτοκαλί ένδειξη είναι προειδοποιητική και η κόκκινη σημαίνει ότι υπάρχει σταμάτημα της λειτουργίας. Υπάρχει φάρος για το τμήμα του main diverter (εικόνα 5.1), για κάθε Robot και για τους διαδρόμους με τις παλέτες (εικόνα 5.2), για το Shuttle car (εικόνα 5.3) και για το περιτυλιχτικό (εικόνα 5.4).

Πέρα από τις οπτικές ενδείξεις υπάρχουν και ηχητικές όπου διαφορετική συχνότητα αντιστοιχεί σε διαφορετική οπτική ένδειξη.

Όταν μια παλέτα είναι έτοιμη για παραλαβή από το shuttle car τότε αναβοσβήνει πορτοκαλί ο φάρος που δείχνει τους διαδρόμους του συγκεκριμένου κελιού και ακούγεται η αντίστοιχη ηχητική ένδειξη. Όταν το Shuttle car μετακινείται ανάβει πορτοκαλί ένδειξη στο φάρο του και ακούγεται πάλι ηχητική ένδειξη. Επίσης όταν μια παλέτα είναι τελειωμένη ανάβει πορτοκαλί ο φάρος του περιτυλιχτικού καθώς επίσης και η αντίστοιχη ηχητική ένδειξη.



εικόνα 5.1



εικόνα 5.2



εικόνα 5.3



εικόνα 5.4

Διακόπτες & Μπουτόν

Σε όλο το χώρο της παλετοποίησης βρίσκονται μπουτόν ασφαλείας. Στην εικόνα 6.1 φαίνεται η όψη των emergency stop. Βρίσκονται σε πολλά σημεία της παλετοποίησης και σε περίπτωση που πατηθεί σταματάει να δουλεύει όλο το κομμάτι της παλετοποίησης στο οποίο αναφέρεται το μπουτόν. Για να ξεκινήσει ξανά το κομμάτι της παλετοποίησης που σταμάτησε πρέπει να δοθεί εντολή από το πρόγραμμα που υπάρχει στον υπολογιστή για έλεγχο της παλετοποίησης.

Τα μπουτόν της εικόνας 6.2 βρίσκονται ένα σε κάθε πόρτα του κελιού των Robot και ένα στην πόρτα του main diverter. Για να εισέλθεις σε κάποιο κελί ή στο main diverter για λόγους ασφαλείας πατάς το κουμπί, σταματάει η λειτουργία και μετά μπαίνεις μέσα. Όταν βγεις πατάς πάλι το κουμπί και ξεκινάει η λειτουργία του κελιού.



Εικόνα 6.1



Εικόνα 6.2

Όλοι οι κινητήρες που υπάρχουν στην παλετοποίηση εκτός από τον έλεγχο μέσω Scada έχουν και έναν διακόπτη όπως φαίνεται στην εικόνα 6.3. Σε περίπτωση ανάγκης από το κουμπί αυτό ανοίγουμε και κλείνουμε τον κινητήρα.



Εικόνα 6.3

Στην συνέχεια της παρουσιάσής μας θα περιγράψουμε αναλυτικά και το σύστημα Scada που διαθέτει η εγκατάσταση καθώς και τις επιμέρους λειτουργίες του.

Σύστημα SCADA

Για τον έλεγχο και την εποπτεία των λειτουργιών της παλετοποίησης χρησιμοποιούνται προγράμματα SCADA. Στο WinCC της Siemens όταν πατάμε την επιλογή Production (εικόνα 7.1.1) μας εμφανίζει στην οθόνη την εικόνα 7.1.

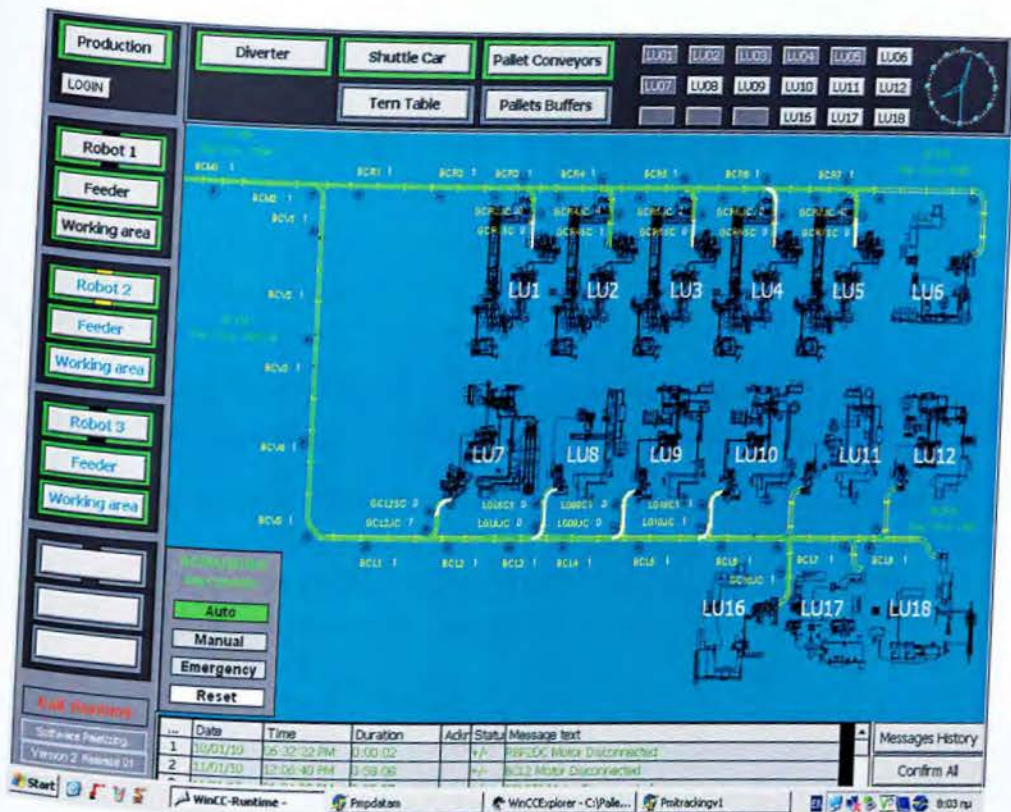
Αν πατήσουμε πάνω σε μία μηχανή μας εμφανίζει ένα παράθυρο (εικόνα 7.2.1) με ενδείξεις αισθητηρίων και μετρητές. Στο παράθυρο αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι ο μετρητής των χαρτοκιβωτίων που έχουν παραχθεί από την μηχανή (εικόνα 7.2.2). Επίσης μπορούμε να επιλέξουμε τις λειτουργίες που εμφανίζονται στην εικόνα 7.2.3.

Σε κανονικές συνθήκες είναι αναμμένη η ένδειξη 'AUTO' που σημαίνει ότι κομμάτι μεταφοράς χαρτοκιβωτίων στην παλετοποίηση γίνεται αυτόματα.

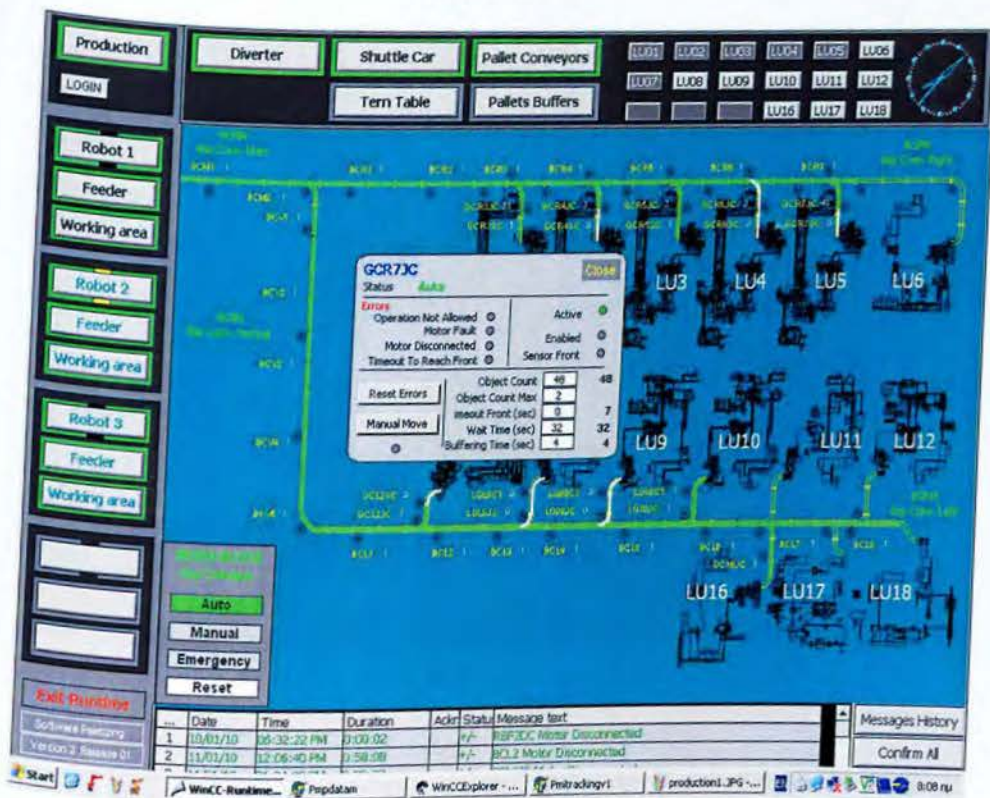
Εάν θέλουμε να το χειριστούμε χειροκίνητα πατάμε στο 'AUTO' για να σβήσει και πατάμε την επιλογή 'MANUAL'.

Εάν πατηθεί ένα μπουτόν ασφαλείας σταματάει αυτό το κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας και ανάβει με κόκκινο χρώμα η ένδειξη 'EMERGENCY'.

Με την επιλογή RESET γίνεται reset σε όλα τα αισθητήρια και τους μετρητές. Στην επόμενη σελίδα παραθέτουμε τις εικόνες που προαναφέραμε.



Εικόνα 7.1



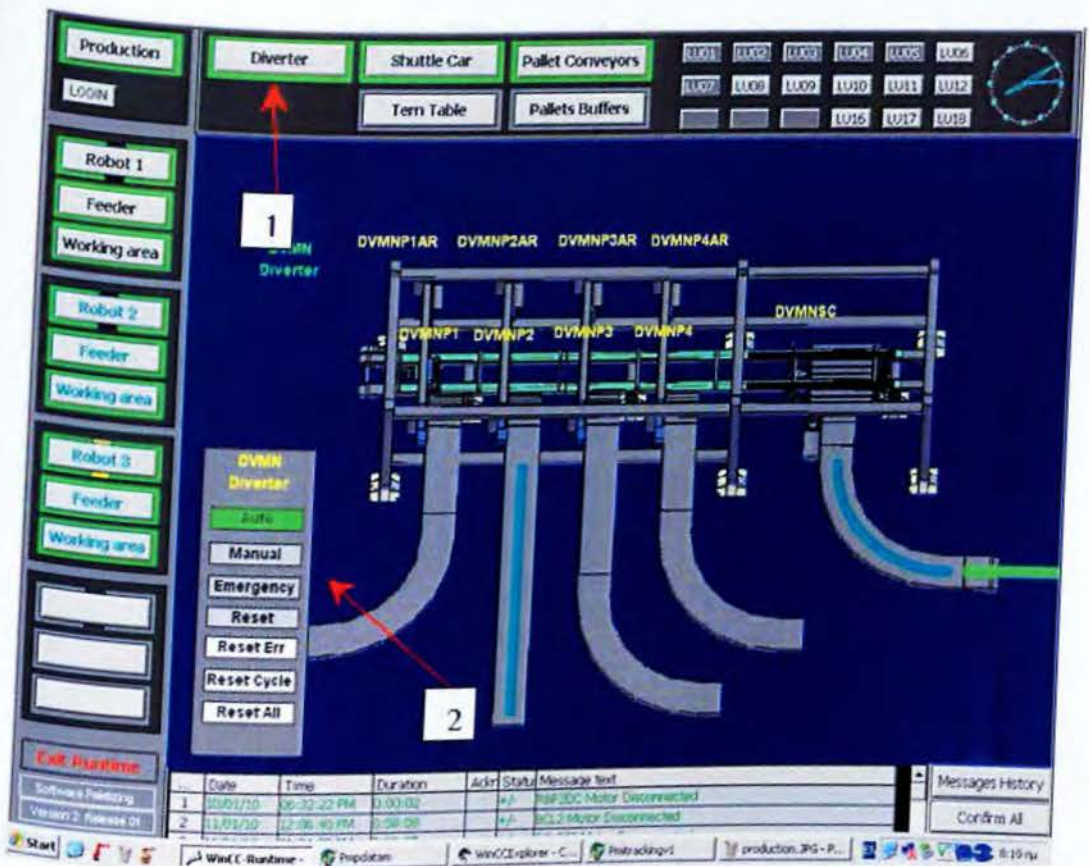
Εικόνα 7.2

Όταν πατήσουμε την επιλογή production (εικόνα 7.3.1) εμφανίζεται η εικόνα εξομοίωσης του main diverter. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται το κομμάτι του diverter που δουλεύει κάθε στιγμή.

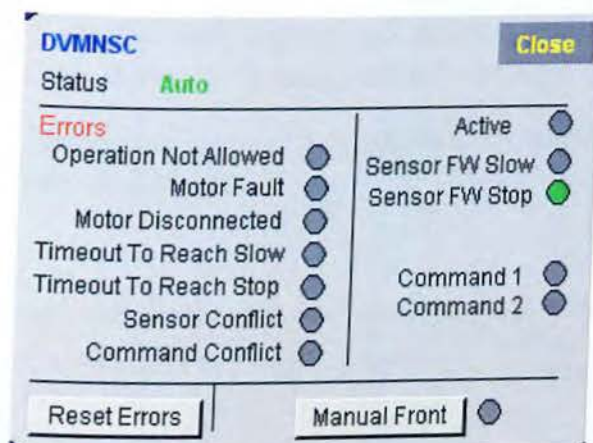
Υπάρχουν οι επιλογές όπως και πριν αυτο, manual και reset(εικόνα 7.3.2) καθώς και κάποιες άλλες επιλογές όπως το reset cycle που κάνει reset το main diverter και το προχωράει κατά ένα βήμα.

Πατώντας στην επιλογή DVMNSC βγάζει το παράθυρο της εικόνας 7.4 όπου φαίνονται οι καταστάσεις και οι ενδείξεις των αισθητηρίων του βηματικού διαδρόμου.

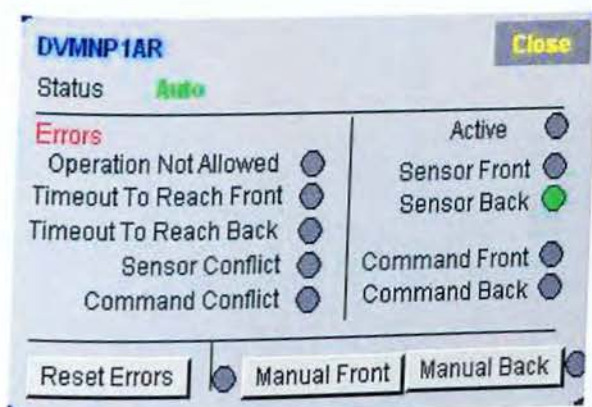
Πατώντας στην επιλογή DVMNPIAR εμφανίζεται παράθυρο με τις ενδείξεις για το pusher που στέλνει τα χαρτοκιβώτια στο κελί 1(εικόνα 7.5). Αντίστοιχα εμφανίζονται ενδείξεις για τα υπόλοιπα pusher στις αντίστοιχες επιλογές. Φαίνονται επίσης και οι επιλογές που υπάρχουν για να κινήσεις χειροκίνητα τα pusher ή τον βηματικό διάδρομο.



Εικόνα 7.3

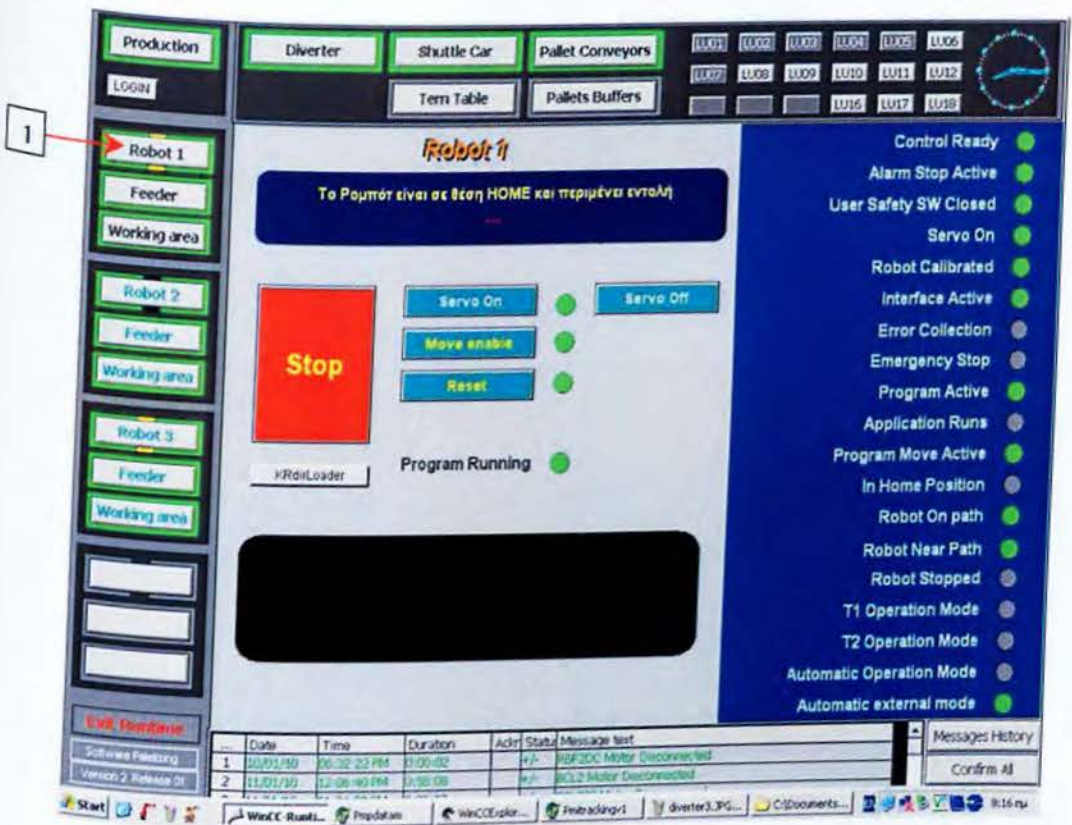


Εικόνα 7.4



Εικόνα 7.5

Πατώντας την επιλογή robot1 (εικόνα 7.6.1) εμφανίζονται οι δυνατές επιλογές για τον χειρισμό του robot. Οι κύριες επιλογές είναι το μπουτόν stop που σταματά τη λειτουργία του robot και το servo on που θέτει σε λειτουργία το robot. Δεξιά βρίσκονται κάποιες παράμετροι του robot και αν έχουν πράσινο χρώμα δίπλα σημαίνει πως είναι ενεργοποιημένες. Σημαντική παράμετρος που πρέπει να είναι ενεργοποιημένη είναι το Automatic external mode, το οποίο σημαίνει πως ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται και να δίνει εντολές από το πρόγραμμα Wincc που περιγράφουμε.

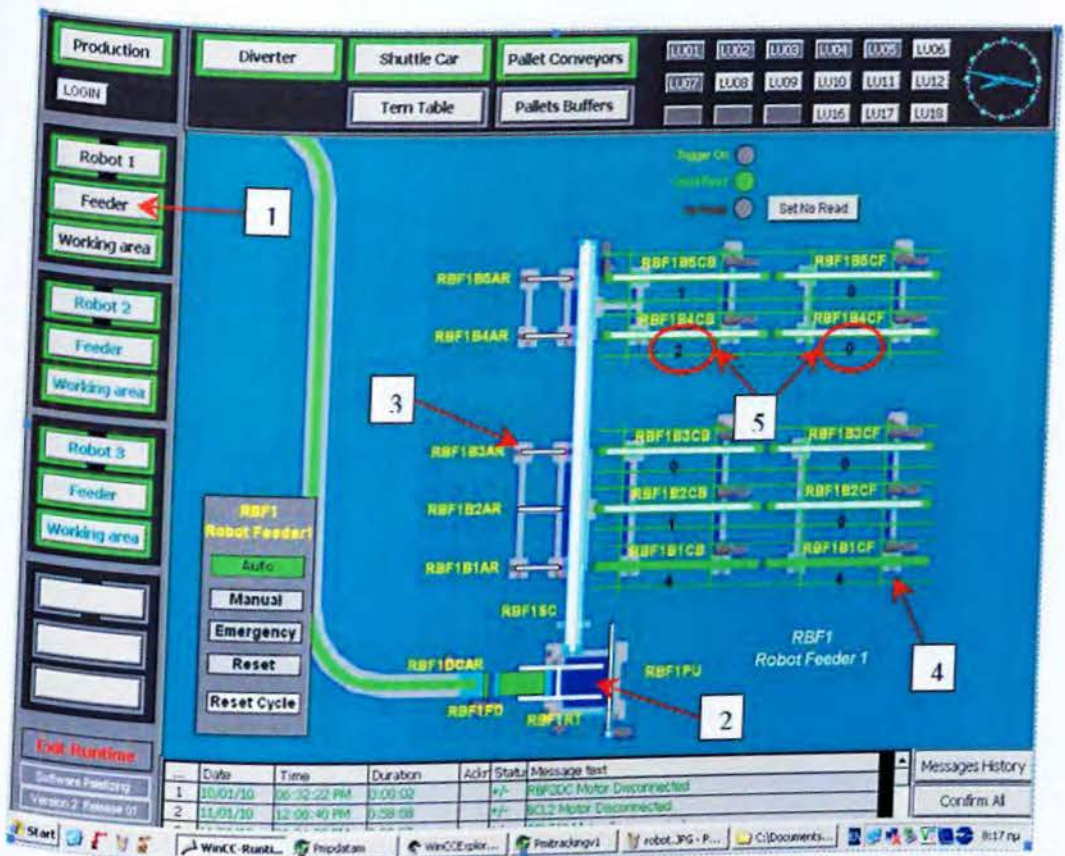


Εικόνα 7.6

Πατώντας την επιλογή feeder στο robot1 (εικόνα 7.7.1) εμφανίζεται η απεικόνιση της λειτουργίας του κελιού 1. Κάθε διάδρομος που απεικονίζεται με πράσινο χρώμα σημαίνει πως είναι σε λειτουργία αυτή την στιγμή.

Στην απεικόνιση φαίνεται κάθε κομμάτι του κελιού ξεχωριστά, όπως ο σταυρός (εικόνα 7.7.2), τα pusher (εικόνα 7.7.3) και οι διάδρομοι (εικόνα 7.7.4).

Οι αριθμοί στους διαδρόμους (εικόνα 7.7.5) δηλώνουν τον αριθμό χαρτοκιβωτίων που βρίσκονται στον αντίστοιχο διάδρομο.



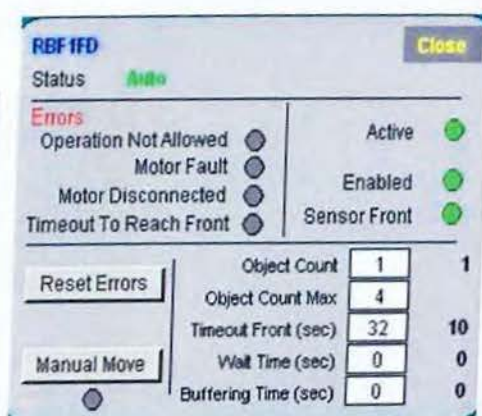
Εικόνα 7.7

Πατώντας στην εικόνα 7.7 την επιλογή RBFIDCAR μας εμφανίζει το παράθυρο της εικόνας 7.8 που αντιστοιχεί στο ραουλόδρομο πριν από το κελί και βλέπουμε την κίνηση που έχει.

Αν πατήσουμε την επιλογή RBFIFD μας εμφανίζει το παράθυρο της εικόνας 7.9 που η ένδειξη object count το οποίο αντιστοιχεί στο αισθητήριο που υπάρχει εκεί για 'βλέπει' ότι πέρασε μια κούτα.



Εικόνα 7.8



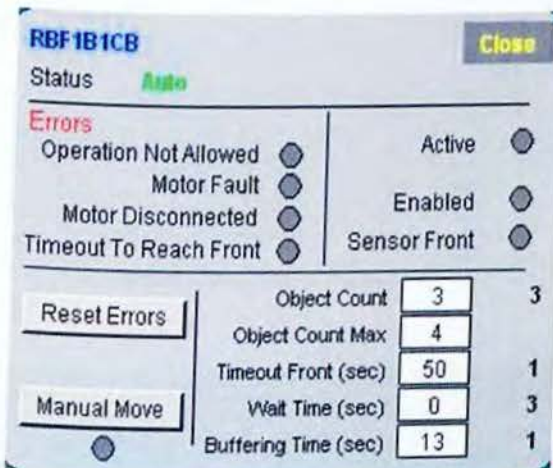
Εικόνα 7.9



Εικόνα 7.10



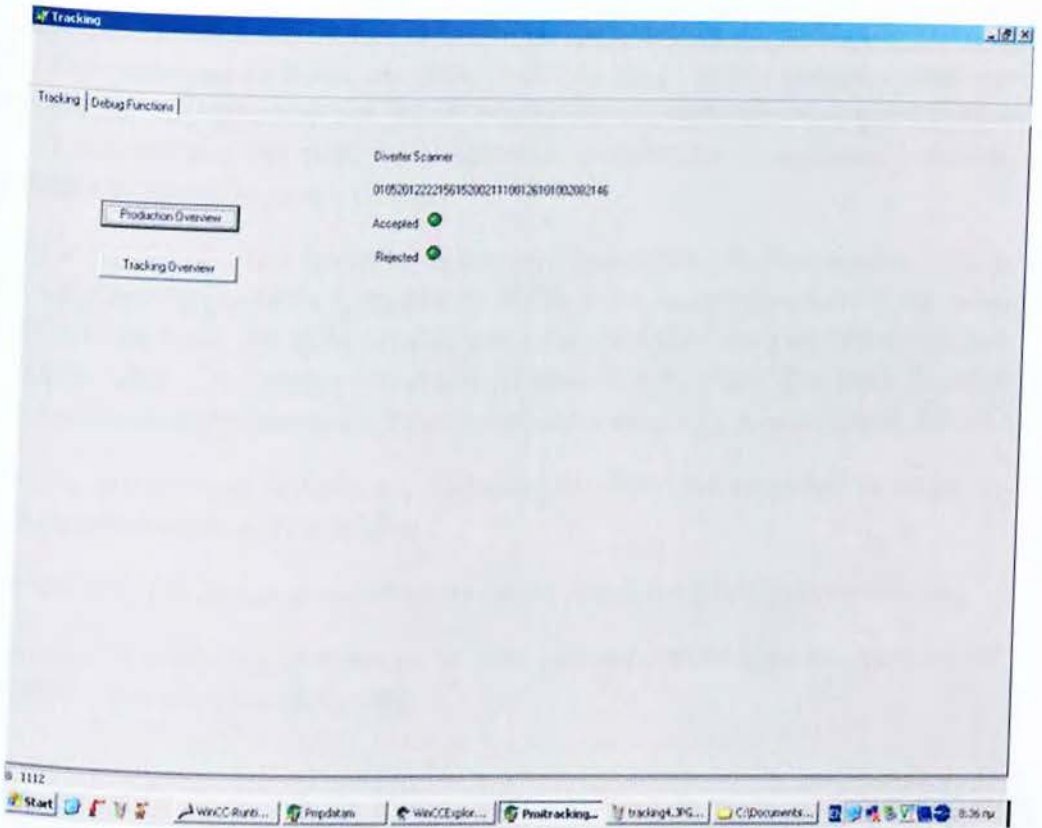
Εικόνα 7.11



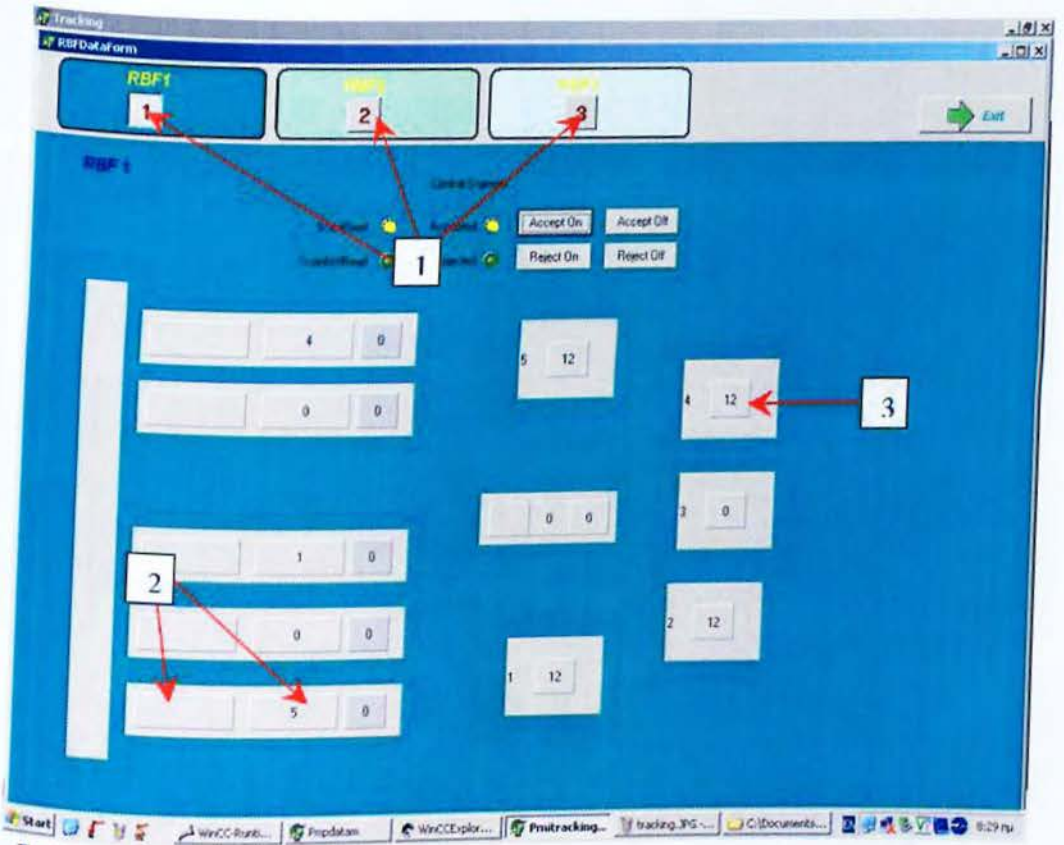
Εικόνα 7.12

Αν ανοίξουμε το παράθυρο Pmitracking πατώντας στην επιλογή Production Overview ή Tracking overview (εικόνα 7.13) μπορούμε να δούμε επιλογές που έχουν σχέση με το που και πόσες παλέτες βρίσκονται κάθε φορά στο κάθε κελί αλλά και τους κωδικούς των χαρτοκιβωτίων που στοιβάζονται. Μπορούμε να δούμε τα στοιχεία αυτά για κάθε ξεχωριστά πατώντας στα νούμερα 1,2,3 (εικόνα 7.14.1)

Στην εικόνα 7.14.2 βλέπουμε πόσες κούτες υπάρχουν στους δύο ραουλόδρομους πριν τα παραλάβει το ρομπότ. Στην εικόνα 7.14.3 βλέπουμε πόσες κούτες έχει τοποθετήσει το ρομπότ πάνω σε κάθε παλέτα.



Εικόνα 7.13



Εικόνα 7.14

Πατώντας στην επιλογή Tracking Overview θα μας εμφανίσει το παράθυρο της εικόνας 7.15. Εκεί μπορούμε να δούμε στο πεδίο Buffer το πόσες κούτες υπάρχουν πάνω στο ραουλόδρομο πριν φθάσουν στο τελικό σημείο και τις παραλάβει το ρομπότ (εικόνα 7.15.1). Στη συνέχεια στο πεδίο Ready φαίνονται οι κούτες που είναι έτοιμες για να τις παραλάβει το ρομπότ (εικόνα 7.15.2).

Το πεδίο Rejected μας δείχνει τις κούτες που έχουν γίνει απόρριψη (εικόνα 7.15.2). Όταν ολοκληρωθεί μια δυάδα ή τετράδα στο buffer και οι κούτες μεταφερθούν στο πεδίο Ready τότε θα δούμε στο πεδίο ακριβώς από κάτω (In Robot Arm) τις δύο κούτες που βρίσκονται πάνω στην αρπάγη του ρομπότ (εικόνα 7.15.4). Τέλος στο πεδίο In pallet βλέπουμε όλα τα χαρτοκιβώτια που έχουν τοποθετηθεί πάνω στην παλέτα (εικόνα 7.15.5)

Από τις επιλογές των αριθμών που υπάρχουν στα RBF1,2,3 μπορούμε να δούμε τα χαρακτηριστικά οποιασδήποτε παλέτας.

Στην εικόνα 7.16 βλέπουμε το παράθυρο στο οποίο γίνεται η δήλωση της κάθε παλέτας.

Δηλώνουμε τη μάρκα του τσιγάρου και το πόσα χαρτοκιβώτια θα βάλει το ρομπότ πάνω στην παλέτα και πατάμε ενεργοποίηση.

The screenshot shows the 'Tracking Overview' window with the following data tables:

Buffer

CP	Time	Date	Barcode
0	01 001505	100126	01052012222172682011111001
2	01 001404	100126	01052012222172682011111001
3	01 001305	100126	01052012222172682011111001

Ready

CP	Time	Date	Barcode
0			

In Robot Arm

CP	Time	Date	Barcode
1	06 071753	100126	01052012222177632007111100126
2	06 071818	100126	01052012222177632007111100126

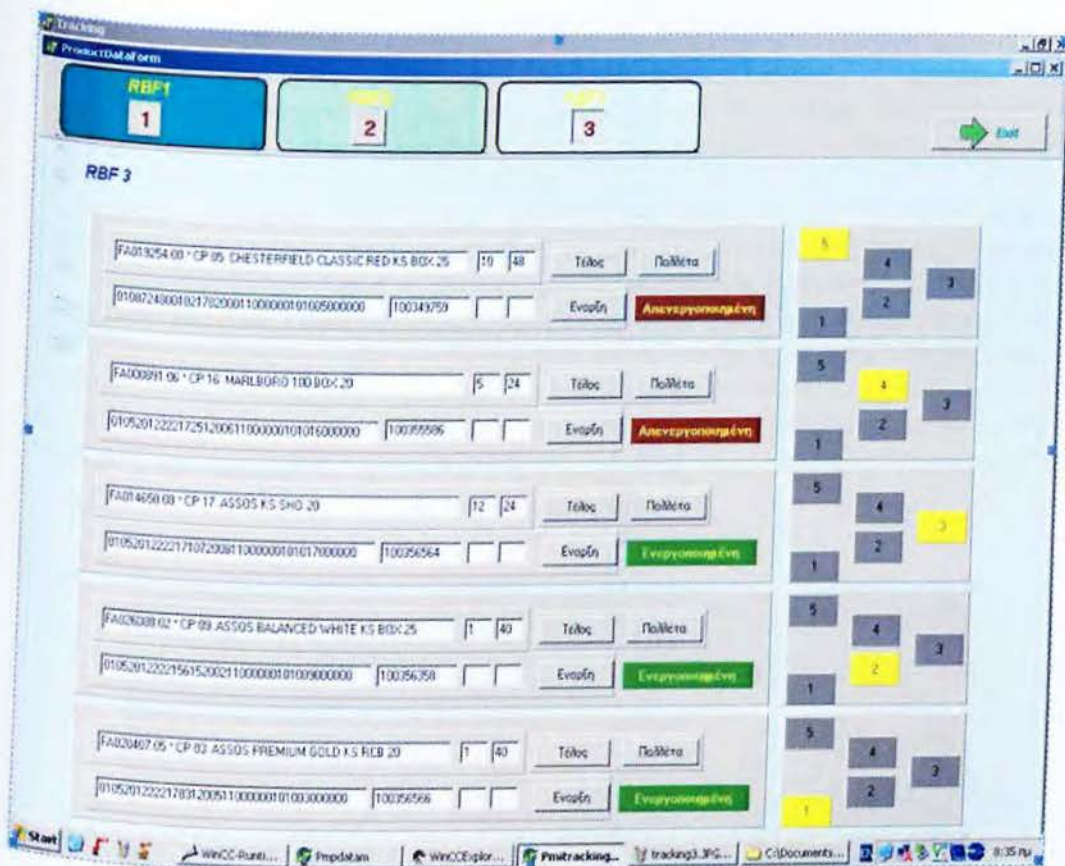
Rejected

CP	Time	Date	Barcode
1	01 041044	100126	01052012222172682011111001
2	01 040940	100126	01052012222172682011111001

In Pallet

CP	Time	Date	Barcode
1	01 081205	100126	01052012222172682011111001
2	01 081101	100126	01052012222172682011111001
3	01 080959	100126	01052012222172682011111001
4	01 080826	100126	01052012222172682011111001
5	01 080727	100126	01052012222172682011111001
6	01 080627	100126	01052012222172682011111001
7	01 080527	100126	01052012222172682011111001
8	01 080430	100126	01052012222172682011111001
9	01 080331	100126	01052012222172682011111001

Εικόνα 7.15



Εικόνα 7.16

Στο σημείο αυτό θα κλείσουμε την περιγραφή του συστήματος Scada και στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με την βελτιστοποίηση των λειτουργιών της γραμμής παραγωγής και συγκεκριμένα του ρομποτικού βραχίονα που βρίσκεται στην γραμμή παραγωγής και του οποίου την λειτουργία περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Ρομποτικού Βραχίονα

Μετά την ολοκλήρωση της επίσκεψης μας στον χώρο παραγωγής του εργοστασίου και την αναλυτική παρουσίαση που μας έγινε από το προσωπικό της εγκατάστασης παρατηρήσαμε ότι ο ρομποτικός βραχίονας εκτελεί μια επιπλέον κίνηση προκειμένου να τοποθετήσει τα χαρτοκιβώτια στην παλέτα.

Συγκεκριμένα αφού δεν υπάρχει μια δεύτερη ετικετέζα για να τοποθετήσει το αυτοκόλλητο με το barcode που διαβάζουν τα αισθητήρια του ρομπότ για να τοποθετήσει το χαρτοκιβώτιο στην σωστή παλέτα, τότε ο ρομποτικός βραχίονας αναγκάζεται να εκτελέσει μια ακόμη επιπλέον κίνηση και με την δαγκάνα του επαναλαμβάνει την κίνηση όπου αρπάζει ξανά το κιβώτιο προκειμένου να το τοποθετήσει στην ετικετέζα και να κολληθεί αυτή την φορά το συγκεκριμένο αυτοκόλλητο, στην σωστή και επιλεγμένη θέση.

Στην εικόνα 3.21 που παραθέτουμε παρακάτω φαίνεται ξεκάθαρα σε ποιο σημείο ακριβώς έχει τοποθετηθεί η ετικέτα που περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την σωστή προώθηση και ταξινόμηση του χαρτοκιβωτίου.



Εικόνα 3.21

Μια ακόμη παρατήρηση που έχουμε σχετικά με την λειτουργία της συγκεκριμένης γραμμής είναι ότι όταν παρουσιασθεί σφάλμα στην λειτουργία των ρομπότ να σταματά άμεσα η ροή των χαρτοκιβωτίων από τον χώρο του secondary προκειμένου να μην συσσωρευτεί περιττό βάρος επάνω στους ραουλόδρομους και τα κιβώτια να προωθούνται προς τον προορισμό τους πιο εύκολα και χωρίς συνοστισμό. Στο σημείο αυτό θα κλείσουμε την παρουσίαση μας .

- Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή στην Ρομποτική « βλέπε 1 »
- Κεφάλαιο 2^ο : Ρομπότ & Ρομποτική «βλέπε 2»
- Κεφάλαιο 3^ο : Τύποι Ρομπότ «βλέπε 4 & 5»
- Κεφάλαιο 4^ο : Περιγραφή της εγκατάστασης Παλετοποίησης τσιγάρων σε Βιομηχανικό Χώρο « βλέπε 6 ».
- Κεφάλαιο 5^ο : Λειτουργία & Βελτιστοποίηση της εγκατάστασης Παλετοποίησης τσιγάρων σε Βιομηχανικό Χώρο «βλέπε 7».

Παράρτημα

Βιβλιογραφία

- 1) «The robot builder's bonanza – Second edition», McComb G.
- 2) M., «Building robot drive trains», Clark D, Owings
- 3) «Basic Machines and how they work», Naval Education and Training Programs Management support activity.
«Mechanisms and Mechanical Devices sourcebook [3rd edition]»,
Sclater N., Chironis N.,
- 4) «Robotics: Designing the mechanisms for automated machinery [2nd edition]»,
Academic Press, 2002, Sandler Ben-Zion,
- 5) «Industrial Robotics: Technology, Programming and applications»,
Groover M., Weiss M., Nagel R., Odrey N
- 6) «Introductory Robotics», Selig J.
- 7) Siemens Instruction manual v.1.0.5