

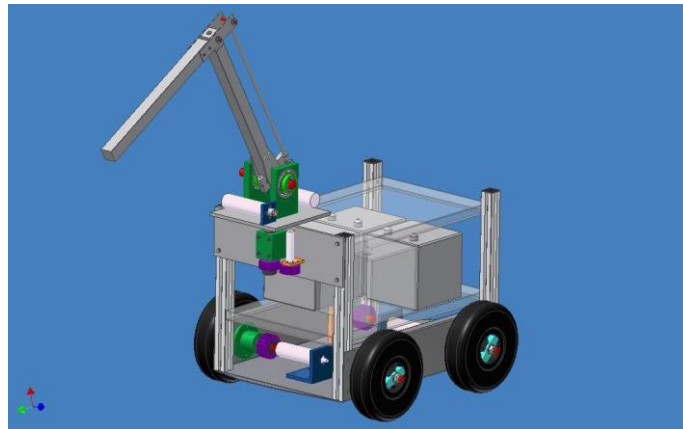
Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Τμήμα : Μηχανολογίας



Πτυχιακή εργασία

ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ ΤΡΙΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ



[ΔΡΑΚΟΥΛΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ]

ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΒΒΟΥΣΑΝΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	σελ: 2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : Πληροφορίες για αγροτικά robot	
1.1.1 : Ρομπότ στην καλλιέργεια των χωραφιών	σελ: 3
1.1.2 : Τεχνολογίες και Μηχανική	σελ: 6
1.1.3 : Δομή του συστήματος του πεδίου ρομπότ Weedy	σελ: 7
1.1.4 : Αγροτικά Οχήματα Ρομπότ με GPS	σελ: 11
1.1.5 : Πρωτογενής παραγωγή	σελ: 15
1.1.6 : Βελτιστοποίηση απόδοσης αγροτικού ρομπότ συλλογής καρπών από τα χωράφια	σελ: 16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : Επεξεργασία στα μέρη του βραχίονα	
2.2.1 : Επεξεργασία ντίζας	σελ: 20
2.2.2 : Επεξεργασία στις χλάπες	σελ: 22
2.2.3 : Επεξεργασία γранаζιών	σελ: 24
2.2.4 : Επεξεργασία αξόνων	σελ: 27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : Συναρμολόγηση ρομποτικού βραχίονα	
3.3.1 : Συναρμολόγηση κομματιών του βραχίονα	σελ: 28
3.3.2 : Τοποθέτηση κινητήρων	σελ: 33
3.3.3 : Τοποθέτηση γранаζιών	σελ: 35
3.3.4 : Τοποθέτηση ιμάντων	σελ: 36
3.3.5 : Πρόσθετα	σελ: 37
3.3.6 : Σύσφιξη ανοχών	σελ: 38
3.3.7 : Έλεγχος	σελ: 39
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Τελική μορφή ρομποτικού βραχίονα	σελ: 40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ: 43

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επέλαση των μηχανών έφερε επανάσταση στη βιομηχανική και αγροτική παραγωγή κατά τον 19^ο και 20^ο αιώνα. Οι μηχανές αυτές συνεχώς εξελίσσονται χάρη στη δημιουργία νέων αυτοματισμών. Μεγάλο μέρος της έρευνας στις μέρες μας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη αυτών των αυτοματισμών. Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συναρμολόγηση ρομποτικού βραχίονα τριών βαθμών ελευθερίας με απώτερο σκοπό τη διευκόλυνση των αγροτικών εργασιών σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις. Αρχικά έγινε η προσεκτική μελέτη του σχεδίου για να καταλάβουμε τις απαιτήσεις της συναρμολόγησης. Στη συνέχεια αφού συγκεντρώθηκαν τα απαραίτητα υλικά, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των επιμέρους εξαρτημάτων στον τόρνο και τη φρέζα για να επιτευχθεί τη σωστή τοποθέτηση τους πάνω στο βραχίονα. Τα εξαρτήματα αυτά ήταν η ντίζα, τα γρανάζια, οι χλάπες και οι άξονες. Κατόπιν πραγματοποιήθηκε βήμα βήμα η συναρμολόγηση των κομματιών βάση σχεδίου. Με την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης των κομματιών έγινε η τοποθέτηση των κινητήρων, των γραναζιών καθώς και των ιμάντων. Έπειτα από τη σωστή τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων έγινε η απαραίτητη σύσφιξη σε όλα τα μέρη του βραχίονα για να αποφευχθούν η ανοχή και πιθανές δυσλειτουργίες. Η συναρμολόγηση ολοκληρώθηκε με τον απαραίτητο έλεγχο ο οποίος πιστοποίησε ότι ο ρομποτικός βραχίονας τριών βαθμών ελευθερίας είναι πλήρως λειτουργικός.

The use of machines revolutionized the industrial and agricultural production during the 19th and 20th centuries. Machines are under constant evolution and improvement due to the generation of new automations. Nowadays, a great amount of research is focused in the development of such automations. The aim of this thesis is the development of a robotic arm with three degrees of freedom, an automation of particular use in agricultural work in greenhouses. First, a thorough plan was made in order to comprehend the requirements for the assembly of the robotic arm. Secondly, upon the collection of the proper materials, individual parts were processed by a lathe or a mill in order to properly fit in the robotic arm. These individual parts consist of cables, gears, accessory supporting parts and axons. Consequently, the assembly of the individual parts was completed step by step following the original plans. After completion of the assembly of the individual parts, the engine, the gears as well as the belts were put in place. Tightening of all parts on the arm followed in order to avoid rupture forces and possible malfunctions. Finally, a thorough check of the robotic arm was performed in order to verify that the newly made automation is fully functional.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Αγροτικά Robot

1.1.1 : Ρομπότ στην καλλιέργεια των χωραφιών

Ο τρόπος που διαμορφώνεται η ζωή μας, οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες που διογκώνουν το πρόβλημα της έλλειψης χρόνου, οι ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις των εταιριών αλλά και οι αυστηρότεροι νόμοι για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των καλλιεργειών και οι κανονισμοί για τις διάφορες πιστοποιήσεις καθιστούν πιο αναγκαία από ποτέ τη χρήση νέων τεχνολογιών. Ένα βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται πια στη γεωργία ακριβείας είναι η αξιοποίηση πληροφορίας που προέρχεται από διαφορετικές πηγές, είτε αυτή είναι σε ψηφιακή μορφή είτε όχι (Graglia, 2004). Η πλειοψηφία των παραγωγών θα κληθεί μελλοντικά να λάβει αποφάσεις για τις καλλιεργητικές φροντίδες με βάση μια πληθώρα δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Οι αυριανοί γεωργοί ουσιαστικά θα πρέπει να γίνουν αγρότες-managers και τα αγροκτήματά τους θα πρέπει να γίνουν επιχειρήσεις. Μόνο έτσι θα είναι βιώσιμο το μέλλον τους. Ωστόσο για να γίνει αυτό όταν παίρνουν αποφάσεις για την καλλιέργειά τους θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους την κατάσταση της αγοράς και τις τιμές, τις οδηγίες και τους περιορισμούς που επιβάλλουν οι νόμοι/οδηγίες τόσο στη χώρα τους όσο και σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα δεδομένα που θα προκύπτουν από συστήματα αισθητήρων που θα είναι εγκατεστημένοι στον ίδιο τους τον αγρό, τα υφιστάμενα πρότυπα διαχείρισης των καλλιεργειών και άλλες ακόμα πληροφορίες. Και όλα αυτά στο πλαίσιο μιας άκρως ανταγωνιστικής διεθνούς αγοράς, (Christensen et. al., 2005).

Εντός της επόμενης δεκαετίας εκτιμάται ότι θα εισαχθούν στη γεωργική παραγωγή ρομπότ, ικανά να εργασθούν αυτόνομα σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Με τις ρομποτικές γεωργικές μηχανές θα υλοποιούνται τεχνικές γεωργίας ακριβείας, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην ορθολογική διαχείριση και να μειώσουν τις εισροές χημικών στον αγρό, με σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος, (Blackmore, Have, and Fountas, 2002). Στο αγρόκτημα του μέλλοντος λοιπόν ο αγρότης θα χρειάζεται να κάνει σημαντικά λιγότερη χειρωνακτική εργασία και σαφώς πολύ περισσότερη διαχείριση των μηχανικών, ηλεκτρονικών και πληροφοριακών συστημάτων που θα έχει στη διάθεσή του. Μηχανές και ρομπότ που σκέφτονται και

εργάζονται είναι πια πραγματικότητα. Ρομπότ που περνάει μέσα στο χωράφι και σπέρνει, ρομπότ προγραμματισμένο να καθαρίζει τις καλλιέργειες από τα ζιζάνια, αισθητήρες που ελέγχουν το έδαφος και την κατάσταση της καλλιέργειας και συστήματα που αποφασίζουν για την αναγκαία ποσότητα νερού, λιπάσματος αλλά και φυτό-προστατευτικών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν Ρομπότ για όλες τις δουλειές, (Ieropoulos, Greenman, and Melhuish, 2003). Στο μέλλον τόσο λόγω των κανονισμών που θα το επιβάλλουν όσο και λόγω των διαθέσιμων τεχνολογιών που θα το καθιστούν δυνατό, θα έχουμε μείωση στην χρήση φυτοφαρμάκων, βέλτιστη χρήση του νερού και εξοικονόμηση καυσίμου στις καλλιέργειες. Το μελλοντικό αγρόκτημα συμβάλλει στη μείωση όλων αυτών των παραμέτρων που πρέπει άμεσα να σημειώσουν κατακόρυφη πτώση χρήσης στις καλλιέργειες. Το πρόβλημα του νερού, το πρόβλημα των πολλών φυτό-προστατευτικών, το πρόβλημα των καυσίμων, το πρόβλημα της ρύπανσης εδάφους και αέρα βρίσκουν λύση στο μελλοντικό αγρόκτημα, (Blackmore, 2006).



Σύμφωνα με τους μέχρι τώρα υπολογισμούς από την χρήση των νέων τεχνολογιών στις καλλιέργειες η χρήση καυσίμων περιορίστηκε σε ποσοστό 20%, μειώθηκε ο χρόνος ασχολίας, περιορίστηκε η χρήση των χημικών σε ποσοστό 15-20%, ενώ σημαντικός ήταν και ο περιορισμός του νερού. Βέβαια όλα τα παραπάνω θα ήταν απλά πολύ ωραία αλλά ουσιαστικά άχρηστα αν δεν συνέβαλαν στην αύξηση των κερδών των αγροτών. Φυσικά όμως και το αγρόκτημα του μέλλοντος είναι ένα κερδοφόρο αγρόκτημα. Άλλωστε η γεωργία ακριβείας αυτό ακριβώς είναι που κάνει εκτός από το να ωφελεί το περιβάλλον, (Blackmore, 2006). Από την στιγμή που τα

ρομπότ και οι μηχανές γνωρίζουν ακριβώς τι πρέπει να φυτευτεί που, πόσο νερό και λίπασμα ή φυτό-προστατευτικά πρέπει να χρησιμοποιηθούν έτσι και το παραγόμενο προϊόν αρχικά έχει πολύ καλύτερη ποιότητα, ενώ την ίδια στιγμή και η παραγωγή μεγιστοποιείται. Παράλληλα από την στιγμή που τα προϊόντα είναι καλύτερα ποιοτικά αλλά περισσότερα ποσοτικά οι αγρότες θα έχουν την δυνατότητα να αναπτύξουν επιχειρηματική δράση και σε νέες αγορές ή στις υπάρχουσες αλλά με πολύ καλύτερους όρους (Morimoto, Suguri, and Umeda, 2005).

Είναι απόλυτα εύλογο η πρώτη σκέψη που έρχεται στο μυαλό όλων να είναι και το κόστος για όλα αυτά. Δεν είναι παράξενο καθώς και μόνο στο άκουσμα των ρομπότ και των μηχανών τελευταίας τεχνολογίας ο καθένας θα αναρωτιέται πόσο μπορεί να κοστίζουν ή ότι σίγουρα θα είναι αρκετά ακριβά, όμως τίποτα δεν είναι άπιαστο και εξωπραγματικό (Søgaard, and Heisel, 2002). Μπορεί μια συγκεκριμένη μηχανή ή ένα ρομπότ να κοστίζουν πιο ακριβά ωστόσο υπάρχουν και συστήματα που ακόμα και τώρα σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες ή στην Αμερική χρησιμοποιούνται κατά κόρον χωρίς ακόμα να είναι καθόλου γνωστά στην Ελλάδα. Πρόκειται για απλά συστήματα που τοποθετούνται πάνω στο τρακτέρ ή στο αγροτικό μηχάνημα, ουσιαστικά σαν GPS αλλά δεν είναι, και λειτουργούν έτσι ώστε να καθορίζουν την πορεία που θα ακολουθήσει το αγροτικό μηχάνημα για να μην περνάει από τα ίδια σημεία, για να καταγράψει την παραγωγή κ.α.



(Αγροτικό μηχάνημα με GPS)

1.1.2 Τεχνολογίες και Μηχανική

Οι πρόσφατες εξελίξεις στο χώρο της ηλεκτρονικής, τεχνολογίες αισθητήρα και μηχανική έχουν ανοίξει στους νέους τις επιλογές της έρευνας στον τομέα των μικρών αυτόνομων γεωργικών ρομπότ. Ενώ οι διαγωνισμοί ρομπότ -όπως το φεστιβάλ Robot – έχει ήδη αποδείξει τις μελλοντικές επιλογές και την ανάγκη για διεπιστημονικές προσεγγίσεις, τα προϊόντα δεν είναι ακόμη διαθέσιμα. Πρόσφατα, οι ερευνητές έχουν προτείνει μια νέα αντίληψη για ένα σπονδυλωτό αυτόνομο ρομπότ για τον έλεγχο των ζιζανίων στις καλλιέργειες, (Bak, and Jakobsen, 2003). Την υλοποίηση του συστήματος ετοιμάζουν σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών (Osnabrück / Γερμανία) και μια εταιρεία της γεωργικής τεχνολογίας (Amazonen-Werke).

Το αρθρωτό σύστημα ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να πλοηγηθεί αυτόνομα σε σπαρμένους με αραβόσιτο αγρούς. Αυτό σημαίνει ότι το ρομπότ θα πρέπει να είναι σε θέση να οδηγεί πάνω από τις καλλιέργειες χωρίς να καταστρέφει τα φυτά και χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Για να επιτευχθεί ισχυρή πλοήγηση, η καθοδηγήτρια γραμμή του ρομπότ πρέπει να λειτουργήσει είτε σε ευθείες ή καμπύλες γραμμές, ακόμη και αν το χώμα είναι υγρό ή αν τα φυτά λείπουν στην γραμμή. Ένα άλλο σημαντικό τμήμα της αυτόνομης πλοήγησης εκτός από την καθοδηγήτρια γραμμή είναι η αυτόνομη στροφή στο τέλος του στην επόμενη (Blackmore, Have, and Fountas, 2002).

Το δεύτερο καθήκον του ρομπότ είναι ο αυτόνομος επιλεκτικός έλεγχος των ζιζανίων. Σύμφωνα με τον προεπιλεγμένο ορισμό των ζιζανίων, τα ζιζάνια πρέπει να είναι πράσινα πάντα εντός του πεδίου, εκτός από τα φυτά αραβοσίτου, ώστε το ρομπότ να είναι σε θέση να εντοπίσει τα φυτά στο χώρο μεταξύ των γραμμών (Blackmore, 2006).

Προκειμένου το ρομπότ να εκπληρώσει τις οριακές συνθήκες για τα δύο κύρια καθήκοντα του στον τομέα της αυτόνομης πλοήγησης (σε έναν αγρό αραβοσίτου) και τον εντοπισμό ζιζανίων , υπάρχουν εναλλακτικές στρατηγικές για την εφαρμογή του οι οποίες έχουν αξιολογηθεί σε ένα μηχανοκίνητο σύστημα από μηχανικούς ηλεκτρονικών και λογισμικών συστημάτων (Blackmore, Have, and Fountas, 2001).



(Αγροτικό ρομπότ αυτόματης πλοήγησης)

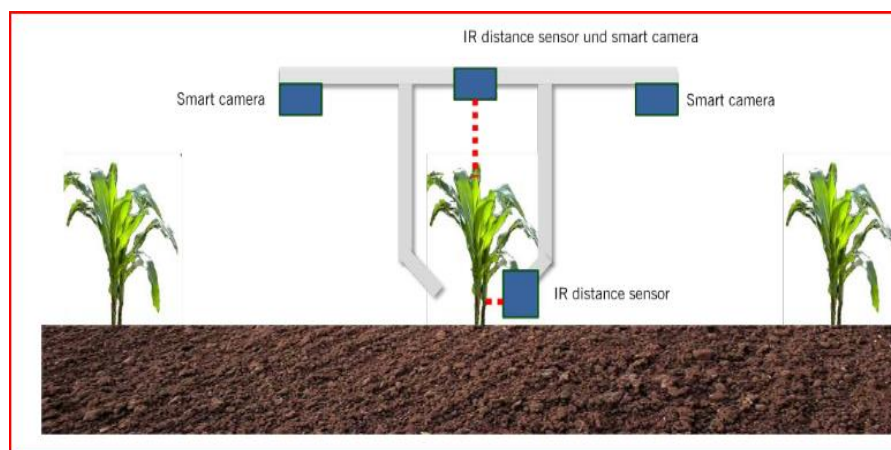
1.1.3 Δομή του συστήματος του πεδίου ρομπότ Weedy

Η αρχιτεκτονική του συστήματος χωρίζεται σε πέντε κύρια μέρη: το σύστημα ελέγχου ρομπότ, το σύστημα ελέγχου πλοήγησης, το σύστημα ελέγχου των ζιζανίων, η ταχύτητα και το σύστημα διεύθυνσης του συστήματος ελέγχου και η ασφάλεια συστήματος. Καθένα από αυτά τα τέσσερα συστήματα περιέχει τους σχεδιασμούς ηλεκτρονικών, της μηχανικής και λογισμικού για την ειδική λειτουργία του. Αυτά τα πέντε κύρια συστήματα του ρομπότ συνδέονται μέσω ενός CAN-bussystem, Τα γραφικά διεπαφών χρήστη αναπτύχθηκαν για να επιτρέψει στο χρήστη να αλληλεπιδρά με το ρομπότ με ένα άνετο τρόπο και να εξασφαλίσει την ηλεκτρονική τεκμηρίωση. Αυτές οι διασυνδέσεις χρήστη μπορούν να δημιουργήσουν μια σύνδεση με το ρομπότ μέσω του διαύλου CAN ή μέσω ασύρματης σύνδεσης LAN χρησιμοποιώντας το σημείο πρόσβασης ενσωμάτωσης στην αρχιτεκτονική ρομπότ, (Birrell, and Hummel, 2001).

Κάμερες, οπτικά και ακουστικοί αισθητήρες αποστάσεως, καθώς και άλλοι χαμηλού κόστους αισθητήρες (όπως κωδικοποιητή θέσης ή αισθητήρες γωνιακής) χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση και τον εντοπισμό ζιζανίων. Ο συνδυασμός των διαφορετικών συστημάτων αισθητήρων και των αλγόριθμων για τα καθήκοντα βασίζονται σε έναν αισθητήρα με την έννοια της σύντηξης για να πάρουν μια μεγαλύτερη ευρωστία για την πλοήγηση και τον έλεγχο των ζιζανίων ώστε να

αντισταθμίσει πιθανές δυσμένειες ή να παρεμβαίνει και να επηρεάζει σε ένα ενιαίο σύστημα αισθητήρα, (Tang, Tian, and Steward, 2000).

Οι διαφορετικοί τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούν διαφορετικές φυσικές για τη μέτρηση έχουν ενσωματωθεί στα συστήματα ελέγχου. Μια άλλη απαίτηση είναι να υπάρξει μια σταθερή απόδοση πλοήγησης του ρομπότ ακόμη και αν αλλάξει οι σειρές καλλιέργειας. Για να διατηρήσει την ποιότητα της καθοδήγησης σειράς σταθερά, ο αισθητήρας της σύντηξης πρέπει να είναι ευέλικτος και ρυθμιζόμενος. Από τη μία πλευρά, είναι δυνατόν να μετατρέψει μόνο αισθητήρες μακριά και από την άλλη πλευρά είναι δυνατόν να καθοριστούν οι προτεραιότητες για τους διαφορετικούς αισθητήρες (Fountas, Pedersen, and Blackmore, 2002).



(Τρόπος λειτουργίας ρομπότ Weedy)

Για τον έλεγχο των ζιζανίων, αποφασίστηκε να χρησιμοποιούν ένα σύστημα ψεκασμού αντί για ένα μηχανικό ενεργοποιητή. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι η καταπολέμηση των ζιζανίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα είδος του ενεργοποιητή, αντί των διαφορετικών μηχανικών συστημάτων τα οποία θα πρέπει να καλύπτουν και τους τρεις τομείς του αραβοσίτου σειράς. Είναι απαραίτητο να έχουν τρεις διαφορετικούς αισθητήρες και συστήματα ψεκασμού για τη ανίχνευση και τη θεραπεία των ζιζανίων κατά την αριστερή και δεξιά σειρά στο κέντρο του ρομπότ. Για τον ενεργοποιητή ελέγχου ζιζανίων, είναι πολύ σημαντικό να είναι πάντα κεντραρισμένη πάνω από τα φυτά η μεσαία γραμμή αραβοσίτου για να κρατήσει μια σταθερή απόσταση από τα φυτά (Graglia, 2004). Δεδομένου ότι το ρομπότ δεν οδηγείτε πάντα τέλεια στη μέση της γραμμής κατά τη διέλευση από καμπύλες, το ζιζάνιο πρέπει να κινείται για να γίνει η ενεργοποίηση έλεγχου. Καθώς ο ενεργοποιητής για την μονάδα ελέγχου ζιζανίων είναι ένα συγκρότημα μιας

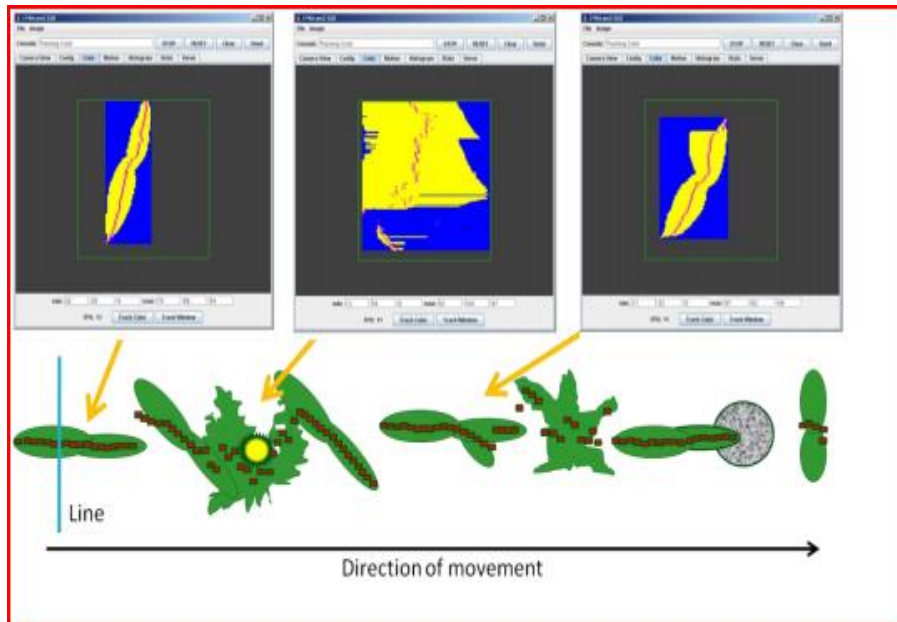
γραμμικής κίνησης, που χρησιμοποιείται για κεντράρισμα του ενεργοποιητή πάνω από την γραμμή αραβοσίτου, αλλά και ένας συνδυασμός από μια αντλία που χρησιμοποιούνται διαφορετικοί ψεκαστήρες , (Griepentrog, Skou, Soriano, and Blackmore, 2005b).

Το σύστημα ελέγχου ζιζανίων χωρίζεται σε δύο διαφορετικά μέρη: το μεταξύ σειρών ελέγχου των ζιζανίων και η ενδο-σειρά / close-to-καλλιέργεια ζιζανίων. Οι δύο τομείς ενδο-σειρά / close-to-καλλιέργεια θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ένα, δεδομένου ότι είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη και δεδομένου ότι δεν θα είναι δυνατόν να ανιχνευθεί το ζιζάνιο στη στενή προς καλλιέργεια περιοχή με αυτό το σύστημα, που έχει ως αποτέλεσμα την χρήση αισθητήρων. Ωστόσο, αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τις περαιτέρω εξελίξεις του στενού προς καλλιέργεια ζιζανίων σύστημα ανίχνευσης με χρήση για παράδειγμα πολύπλοκων αλγόριθμων επεξεργασίας εικόνας. Το ζιζάνιο ανιχνεύεται μεταξύ των σειρών θα γίνει από την ανάλυση των δεδομένων των δύο. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ζιζάνιο εντός μεταξύ σειρών στη περιοχή ορίζεται ως κάθε οργανισμό ορατό με πράσινο χρώμα. Δεδομένου ότι η αντίθεση μεταξύ του πράσινου χρώματος των ζιζανίων και το σκούρου καφέ χρώματος του εδάφους είναι πολύ υψηλό και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το χρώμα παρακολούθησης ως χαρακτηριστικό της CMUcam. Σύμφωνα με αυτό, το ζιζάνιο ανιχνεύεται μέσα στο χώρο της σβάρνας μόλις η CMUcam μπορεί να παρακολουθεί το καθορισμένο χρώμα των ζιζανίων, (Shibusawa et, al., 2000).

Η ανίχνευση της ενδο-σειράς ζιζανίων γίνεται από έναν συνδυασμό διαφορετικών αισθητήρων που ενσωματώνονται σε μια έννοια τήξης αισθητήρων. Το πρώτο σύστημα αισθητήρων που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του στα αραβόσιτου φυτά είναι ένας συνδυασμός των δύο αισθητήρων τριγωνισμού λέιζερ. Ο πρώτος αισθητήρας τοποθετείται στη μέση του ενεργοποιητή ελέγχου ζιζανίου προς τα κάτω για τα φυτά. Με αυτόν τον προσανατολισμό, είναι σε θέση να μετρήσει το προφίλ ύψους των φυτών και των ζιζανίων. Αυτή η πληροφορία συνδυάζεται με το αποτέλεσμα της μέτρησης του αισθητήρα λέιζερ τριγωνισμού που τοποθετείται στο πλάι του ενεργοποιητή ελέγχου ζιζανίου για τη μέτρηση του πάχους των αξόνων των φυτών (Birrell, and Hummel, 2001).

Ένας επιπλέον δείκτης για ένα φυτό αραβοσίτου είναι απαραίτητος. Ως εκ τούτου, τα πακέτα στατιστικών γραμμών της CMUcam μπορούν να αναλυθούν. Στο παρακάτω Σχήμα: παρουσιάζονται οι διαφορετικές θέσεις της μέσης τιμής της κάθε γραμμής που έχουν καταγραφεί με την CMUcam. Στην περίπτωση αυτή, η CMUcam υπολογίζει την ελάχιστη και τη μέγιστη αξία, καθώς και τη θέση της μέσης τιμής του χρώματος για την παρακολούθηση μέσα σε κάθε γραμμή.

Το παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα δείχνει τις θέσεις των μέσων τιμών για διαφορετικά φυτά αραβοσίτου και τις πικραλίδες (που αντιπροσωπεύουν το ζιζάνιο). Για την ανίχνευση του ζιζανιού εντός των φυτών αραβοσίτου είναι τώρα απαραίτητο να ρίξουμε μια ματιά στις αλλαγές της θέσης της μέσης τιμής. Το σχήμα δείχνει το αποτέλεσμα του υπολογισμού της αλλαγής θέσης της μέσης τιμής σε σύγκριση με την προηγούμενη θέση. Μπορεί να φανεί ότι ο ρυθμός της αλλαγής θέσης είναι υψηλότερος στην περίπτωση που εμφανίζονται ζιζάνια στην εικόνα. Σύμφωνα με αυτό, η τυπική απόκλιση των μέσων θέσεων στην αξία της κάθε γραμμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα τρίτο δείκτη για ένα φυτό αραβοσίτου (Bak, and Jakobsen, 2003).



Επιπλέον, από την αρχή μια έννοια της ασφάλειας έχει ενσωματωθεί, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη από τα ρομπότ στους ανθρώπους ή στα ζώα. Το ρομπότ είναι σε θέση να ανιχνεύσει εμπόδια στην γύρω περιοχή, έχοντας κουμπιά

έκτακτης ανάγκης τα οποία έχουν ενσωματωθεί στις δυσλειτουργίες του συστήματος με αποτέλεσμα το λογισμικό να κλείνει τα φώτα σηματοδότησης ώστε να δείχνουν την κατάσταση της λειτουργίας του ρομπότ.

Ως αποτέλεσμα αναπτύχθηκε το ρομπότ Weedy το οποίο είναι σε θέση να πλοηγηθεί αυτόνομα μέσω αγρών σπαρμένους με αραβόσιτο και να είναι σε θέση να εκτελέσει τον έλεγχο των ζιζανίων στο μεταξύ σειρών, ενδο-γραμμών και close-to-καλλιεργειών της περιοχής του αραβοσίτου σειράς. Η ολοκλήρωση του συστήματος, καθώς και η λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος έχει δοκιμαστεί με επιτυχία υπό εργαστηριακές προϋποθέσεις για πρώτη φορά (Blackmore, 2006).



(Ρομπότ ανιχνευτής ζιζανίων)

1.1.4 Αγροτικά Οχήματα Ρομπότ με GPS

Εντός της επόμενης δεκαετίας εκτιμάται ότι θα εισαχθούν στη γεωργική παραγωγή ρομπότ, ικανά να εργασθούν αυτόνομα σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Όμως, ήδη, ρομποτικές τεχνολογίες έχουν ενσωματωθεί στα σύγχρονα γεωργικά μηχανήματα (π.χ., τρακτέρ, θεριζοαλωνιστικές).

Ιδιαίτερα επιτυχημένο παράδειγμα αποτελεί, η αυτόνομη πλοήγηση αγροτικών οχημάτων με GPS. "Στα οχήματα αυτά- εξηγεί- ο αγρότης/χειριστής προγραμματίζει εκ των προτέρων στον υπολογιστή πλοήγησης την επιθυμητή πορεία του οχήματος

στο χωράφι κι αυτό μπορεί να την ακολουθήσει αυτόνομα, με ακρίβεια που φτάνει τα δύο εκατοστά. Έτσι, ο αγρότης παύει να είναι οδηγός και μπορεί να επικεντρωθεί στην εκτέλεση της καλλιεργητικής εργασίας (Blackmore, Have, and Fountas, 2001).

Η αυτόνομη πλοήγηση ακριβείας μπορεί να συνδυασθεί με αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, καθώς και με τις τεχνολογίες λίπανσης και ψεκασμού ακριβείας.

Υλοποιούνται έτσι τεχνικές γεωργίας ακριβείας, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην ορθολογική διαχείριση και να μειώσουν τις εισροές χημικών στον αγρό, με σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος.

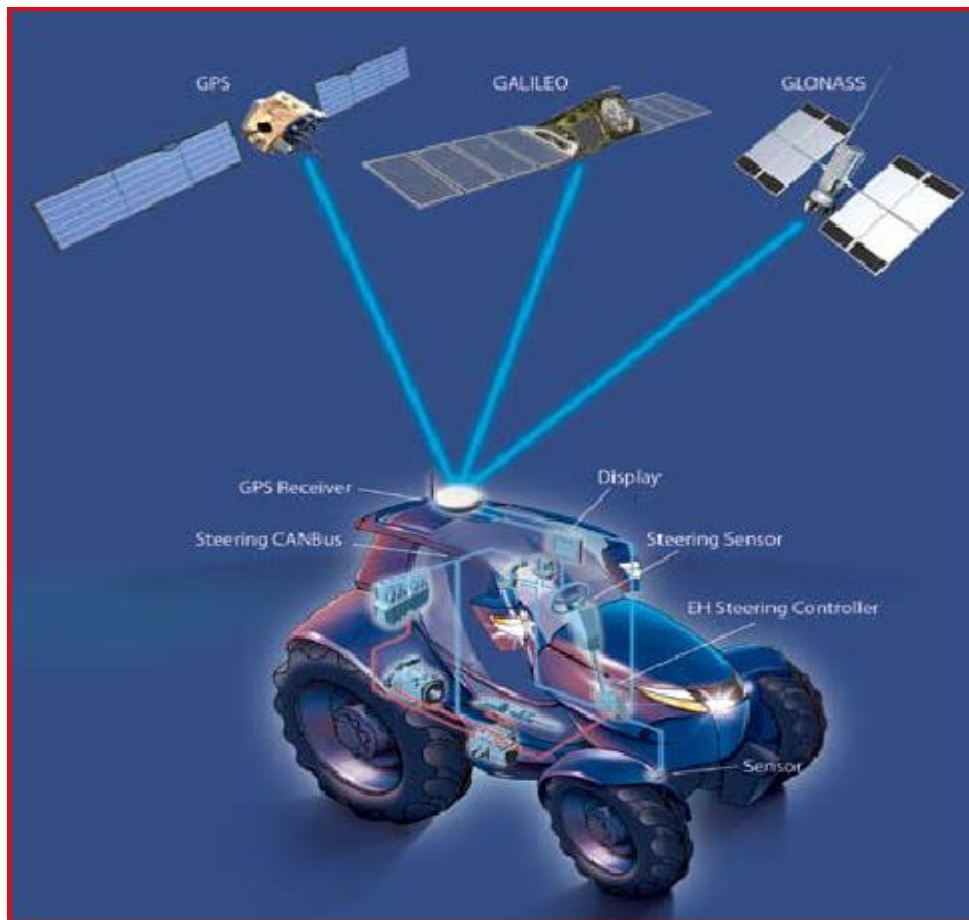
Η τάση αυτή προβλέπεται ότι θα συνεχιστεί και τα γνωστά γεωργικά μηχανήματα θα έχουν όλο και περισσότερες δυνατότητες αυτόνομης λειτουργίας, συλλογής και καταγραφής πληροφορίας σχετικής με τις εργασίες που εκτελούν, αλλά και με την ίδια τη λειτουργία τους. Οι δυνατότητες αυτές θα επεκτείνονται, μάλιστα, και στην επικοινωνία με προγράμματα διαχείρισης αγροκτήματος και μελλοντικά με άλλα συνεργαζόμενα γεωργικά μηχανήματα, (Ieropoulos, Greenman, and Melhuish, 2003).

Είναι λοιπόν φανερό ότι αποτελέσματα της έρευνας στη ρομποτική έχουν ήδη ενσωματωθεί στα σύγχρονα γεωργικά μηχανήματα, ενώ στην επόμενη δεκαετία εκτιμάται ότι θα υπάρξουν εξειδικευμένα ρομποτικά συστήματα να διατίθενται στην αγορά.

Για να εκμεταλλευτεί πλήρως τις δυνατότητες της ρομποτικής τεχνολογίας, ο γεωργός θα πρέπει, σύμφωνα με τον ίδιο, να λάβει βασική κατάρτιση σχετική με τις αρχές και τη λογική της λειτουργίας της, ενώ το υψηλότερο κόστος απόκτησης, χρήσης και συντήρησης του εξοπλισμού, καθώς και η απαιτούμενη τεχνογνωσία θα καθιστά δυνατή τη χρήση της κυρίως από σχήματα λειτουργίας, όπως αυτά της εργολαβικής ανάληψης καλλιεργητικών φροντίδων, της συνεταιριστικής γεωργίας, είτε από μεγάλες γεωργικές επιχειρήσεις, (Blackmore et, al., 2004).

Η συντριπτική πλειοψηφία των ρομπότ που λειτουργούν, σήμερα, αποτελείται από προγραμματιζόμενους βιομηχανικούς βραχίονες εγκατεστημένους σε παραγωγικές μονάδες, όπου εκτελούν αυστηρά επαναλαμβανόμενες εργασίες, σε κατάλληλα

δομημένο, απόλυτα ελεγχόμενο περιβάλλον, όπως, για παράδειγμα, αυτό της αυτοκινητοβιομηχανίας.



(Μηχανοκίνητο ρομπότ με G.P.S.)

Η λειτουργία ρομπότ σε γεωργικό περιβάλλον, συμπεραίνει ο κ. Βουγιούκας, αποτελεί ιδιαίτερη τεχνολογική πρόκληση, κυρίως λόγω της αδυναμίας μας να τα σχεδιάσουμε και να τα προγραμματίσουμε ώστε να συνυπάρχουν και να αλληλεπιδρούν αξιόπιστα, με ασφάλεια και ταχύτητα με ανθρώπους, ζώα και φυτά. Ενέργειες, οι οποίες για τους ανθρώπους είναι απλές, όπως ο εντοπισμός και η συλλογή ενός φρούτου που βρίσκεται ανάμεσα στα φύλλα ενός δέντρου, παραμένουν ακόμα εκτός των δυνατοτήτων των σύγχρονων ρομπότ, σε επίπεδο παραγωγής, (Griepentrog, et, al., 2005b).



(Ρομπότ συγκομιδής σιταριού)

Σε ερευνητικό επίπεδο, όμως, έχουν κατασκευαστεί ποικίλα γεωργικά ρομπότ για εργασίες σημαντικού οικονομικού ενδιαφέροντος και έντασης εργασίας, όπως μεταφυτεύσεις σε φυτώρια, συλλογή καρπών, εντοπισμός ζιζανίων και επιλεκτικός ψεκασμός ακριβείας.

Η συλλογή οπωροκηπευτικών έχει τραβήξει το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον, κυρίως λόγω οικονομικών μεγεθών. Για παράδειγμα, στην Ιαπωνία, όπου η έλλειψη εργατικού δυναμικού είναι έντονη μια και δεν υπάρχουν αρκετοί ξένοι εργάτες, αναπτύχθηκε ένα ρομπότ συλλογής φράουλας, το οποίο χρησιμοποιεί κενό για να τραβήξει και να συγκρατήσει τον καρπό και ειδικό ψαλίδι για να τον κόψει. Το κόστος κατασκευής του κυμαίνεται στα €50.000, ενώ απαιτεί ειδική διαμόρφωση φυτών και θερμοκηπίου (Birrell, and Hummel, 2001).

Αντίστοιχα στο Πανεπιστήμιο Wageningen της Ολλανδίας αναπτύχθηκε ρομπότ συλλογής αγγουριών, το οποίο επίσης απαιτεί ειδικά διαμορφωμένα φυτά και χρησιμοποιεί τους επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης ενός θερμοκηπίου ως ράγες για να κινηθεί. Ένας έμπειρος εργάτης απαιτεί μόνον 6 δευτερόλεπτα και συγκομίζει το 100% των καρπών. Το ποσοστό επιτυχούς αναγνώρισης, υπολογισμού της θέσης και κοπής αγγουριών από το ρομπότ ανέρχεται στο 80%, ενώ η όλη διαδικασία απαιτεί περίπου 45 δευτερόλεπτα ανά τεμάχιο.

Πρόσφατα, επίσης, κατασκευάστηκε και δοκιμάστηκε στο ίδιο Πανεπιστήμιο ένα ρομποτικό όχημα καταστροφής πλατύφυλλων ζιζανίων, το οποίο καταργεί τη χρήση

φυτοφαρμάκων και διευκολύνει την οργανική-βιολογική γεωργία. Το όχημα ανιχνεύει οπτικά τα ζιζάνια μέσα στον αγρό και κατόπιν τα καταστρέφει με μηχανικό τρόπο, με συνολικό ποσοστό επιτυχίας 73%. Το εκτιμώμενο κόστος κατασκευής είναι μικρότερο από €50.000 και το ετήσιο κόστος λειτουργίας περίπου €10.000.

Αν το ίδιο όχημα ψέκαζε κάθε ζιζάνιο με μία πολύ μικρή δόση ζιζανιοκτόνου, υπολογίζεται ότι θα μείωνε τη χρήση χημικών κατά 99%, ενώ η χρήση χημικών και όχι μηχανικής ισχύος, θα μείωνε δραματικά το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του ρομπότ, (Blackmore, Have, and Fountas, 2002).

Παρ' όλο το σχετικά υψηλό κόστος, την περιορισμένη ταχύτητα και αξιοπιστία των πειραματικών γεωργικών ρομπότ, εκτιμάται από ειδικούς ότι εντός της επόμενης δεκαετίας θα εισαχθούν στην παραγωγή ρομπότ ικανά να εργασθούν αυτόνομα σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής.

1.1.5 Πρωτογενής παραγωγή

Η πρωτογενής γεωργική παραγωγή, είναι δραστηριότητα ιδιαίτερης οικονομικής και κοινωνικής σημασίας για την Ελλάδα. Τα προϊόντα της συναντούν, όμως, έντονο ανταγωνισμό στη διεθνή και στην εντόπια αγορά, κυρίως λόγω υψηλού κόστους.

Οι απαιτήσεις για αύξηση της ποσότητας και ποιότητας των προϊόντων, με ταυτόχρονη μείωση εισροών (χημικά, ενέργεια), τήρηση κωδίκων ορθής καλλιέργειας (π.χ., EUREPGAP) και τεκμηρίωση λειτουργιών έρχονται σε σύγκρουση με την απαίτηση για χαμηλό κόστος παραγωγής, (Bak, and Jakobsen, 2003).

Ένα μεγάλο τμήμα του κόστους αυτού προέρχεται από την χειρωνακτική εργασία, ενώ συχνά παρατηρείται δυσκολία εξεύρεσης μόνιμων ή εποχιακών εργατών, ιδιαίτερα τις περιόδους συγκομιδής. Το φαινόμενο δεν είναι τοπικό, αλλά κοινό στις οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει διεθνώς

μία προσπάθεια εισαγωγής τεχνολογιών ρομποτικής στον πρωτογενή γεωργικό τομέα.



(Ρομπότ συγκομιδής καρπών από δένδρα)

1.1.6 Βελτιστοποίηση απόδοσης αγροτικού ρομπότ συλλογής καρπών από τα χωράφια

Η χρήση αγροτικών ρομπότ για την εκτέλεση αγροτικών εργασιών έχει ωριμάσει τα τελευταία χρόνια και έχει επεκταθεί από τα πλαίσια του πρώιμου ερευνητικού πεδίου σε αυτό των επιχειρηματικών εφαρμογών. Οι πιο διαδεδομένες χρήσεις αγροτικών ρομπότ αφορούν τον ελεγχόμενο και στοχευόμενο ψεκασμό παρασίτων και το κλάδεμα καλλιεργειών. Τα πλεονεκτήματα δε της χρήσης των αγροτικών ρομπότ είναι η απρόσκοπτη εργασία, ο περιορισμός του κόστους εκτέλεσης, η ανώτερη μέση ποιότητα και η ανώτερη μέση ακρίβεια στην εκτέλεση των αγροτικών εργασιών που τους ανατίθενται. Στον αντίποδα σοβαρό μειονέκτημα αποτελεί η πιθανότητα λήψης μιας εντελώς λανθασμένης λειτουργικής απόφασης που ποτέ δεν θα έκανε ένας

έμπειρος εργαζόμενος. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η μείωση του κόστους της συγκομιδής καρπών ενός χωραφιού με τη χρήση αγροτικού ρομπότ, (Birrell and Hummel, 2001).

Στην υλοποίηση του αλγόριθμου λήφθηκε υπόψη το κόστος σε καύσιμο που υφίσταται από τη μετακίνηση του ρομπότ στο χωράφι καθώς και το επιπλέον κόστος μεταφοράς των μεταφερόμενων φρούτων στον χώρο εκφόρτωσης του χωραφιού, το οποίο αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με το βάρος των φρούτων που μεταφέρονται ανά πάσα στιγμή. Ο χώρος αποθήκευσης του ρομπότ είναι συγκριτικά μικρός και αναμένεται να μην ξεπερνά τα τριάντα έως εβδομήντα κιλά, (Christensen et. al., 2005).



(Ρομπότ συγκομιδής καρπών)

Αυτό αναγκάζει το ρομπότ να επιστρέφει για ξεφόρτωμα των φρούτων που περισυνέλεξε σε ένα σημείο που βρίσκεται στην αρχή του χωραφιού, κάθε φορά που η μέγιστη χωρητικότητα του αποθηκευτικού του χώρου δεν επιτρέπει τη περισυλλογή επιπρόσθετων φρούτων. Όσον αφορά το χωράφι, οι καρποί και κατά συνέπεια τα φυτά, αναμένεται να είναι διαταγμένοι σε παράλληλες σειρές με ίσες αποστάσεις μεταξύ των καρπών. Επίσης η απόσταση μεταξύ των σειρών είναι ίση με την απόσταση μεταξύ των καρπών. Τέλος, στον υπολογισμό της λύσης, προσθέτονται και οι περιορισμοί μέσης ολικής ωριμότητας των καρπών που συλλέχθηκαν, ολικού αριθμού καρπών και του μέσου ολικού βάρους των καρπών. Οι παραπάνω περιορισμοί οριοθετούν τις φυσικές ιδιότητες του τελικού φορτίου έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι εμπορικές παράμετροι της διάθεσης συγκεκριμένου φορτίου φρούτων στην αγορά, (Godwin et. al., 2001).

Το συγκεκριμένο πρόβλημα λόγω της συνδυαστικής φύσης των πιθανών λύσεων – η βέλτιστη λύση δεν είναι παρά κάποιος από τους συνδυασμούς των φρούτων με τη

σειρά συλλογής τους – πιθανότερο είναι να έχει περισσότερες από μια λύσεις. Για να εκτιμηθεί η ποιότητα μιας πιθανής λύσης αλλά και να υπάρξει μια καλύτερη κατανόηση του ερωτήματος ποια λύση μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, κρίθηκε αναγκαίο να αναπτυχθεί το μαθηματικό μοντέλο του κατώτατου ορίου κόστους μιας πιθανής λύσης. Η λύση κατώτατου ορίου κόστους έχει κατασκευαστεί χαλαρώνοντας τους περιορισμούς του προβλήματος και υπεραπλουστεύοντας την εξάρτηση μεταξύ των ταξιδιών συλλογής φρούτων σε τέτοιο βαθμό που στην πραγματικότητα η λύση αυτή καθίσταται μη ρεαλιστική (Blackmore et. al, 2004).

Αρκεί όμως το γεγονός ότι οριοθετεί ένα χαλαρό κατώτατο όριο που οποιαδήποτε λύση του προβλήματος δεν πρέπει να ξεπερνά παρά μόνο να προσεγγίζει στην καλύτερη περίπτωση. Πέραν της λύσης κατώτατου ορίου, για λόγους σύγκρισης μιας πιθανής λύσης με κάποια εύκολα αντιληπτή μεθοδολογία, αναπτύχθηκε και ένας πρώιμος αλγόριθμος μη αποδοτικής λειτουργίας. Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί με την έννοια της άπληστης επιλογής, δηλαδή επιτρέπει στο ρομπότ να διασχίζει τις γραμμές του χωραφιού τη μια μετά την άλλη και να συλλέγει κάθε φρούτο που βρίσκει στην πορεία του εφόσον υπάρχει διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος, ενώ με την έξοδο του από κάθε γραμμή επιστρέφει στο χώρο εκφόρτωσης για να παραδώσει το φορτίο του, (Blackmore, Have, and Fountas, 2002).



Η αρχική προσέγγιση στο πρόβλημα επέβαλε στο πρόβλημα τον περιορισμό της ελευθερίας κίνησης. Το ρομπότ είχε την δυνατότητα να κινηθεί μόνο σε μια κατεύθυνση μέσα στις γραμμές των καρπών του χωραφιού και κατά συνέπεια δεν είχε

την δυνατότητα να κινηθεί «προς τα πίσω». Αυτός ο περιορισμός επέβαλλε την προσπέλαση ολόκληρης της γραμμής καρπών από τη στιγμή που το ρομπότ επέλεγε να εισέλθει σε κάποια συγκεκριμένη γραμμή. Για την επιλογή των φρούτων προς συλλογή ανά προσπέλαση γραμμής, χρησιμοποιήθηκε δυναμικός προγραμματισμός, (Griepentrog, Nørremark, Nielsen, and Soriano, 2006). Η προσέγγιση αυτή έδωσε λύσεις με πολύ βελτιωμένες αποδόσεις της εκτελούμενης εργασίας από το αγροτικό ρομπότ, σε σχέση με την προσέγγιση άπληστης επιλογής που επιλέγει αν θα συλλέξει το επόμενο φρούτο που βρίσκεται στο δρόμο του βάσει του κριτηρίου αν έχει διαθέσιμο χώρο μεταφοράς και μόνο. Η αρχική προσέγγιση στο πρόβλημα επέβαλε στο πρόβλημα τον περιορισμό της ελευθερίας κίνησης.

Το ρομπότ είχε την δυνατότητα να κινηθεί μόνο σε μια κατεύθυνση μέσα στις γραμμές των καρπών του χωραφιού και κατά συνέπεια δεν είχε την δυνατότητα να κινηθεί «προς τα πίσω». Αυτός ο περιορισμός επέβαλλε την προσπέλαση ολόκληρης της γραμμής καρπών από τη στιγμή που το ρομπότ επέλεγε να εισέλθει σε κάποια συγκεκριμένη γραμμή. Για την επιλογή των φρούτων προς συλλογή ανά προσπέλαση γραμμής, χρησιμοποιήθηκε δυναμικός προγραμματισμός. Η προσέγγιση αυτή έδωσε λύσεις με πολύ βελτιωμένες αποδόσεις της εκτελούμενης εργασίας από το αγροτικό ρομπότ, σε σχέση με την προσέγγιση άπληστης επιλογής που επιλέγει αν θα συλλέξει το επόμενο φρούτο που βρίσκεται στο δρόμο του βάσει του κριτηρίου αν έχει διαθέσιμο χώρο μεταφοράς και μόνο, (Fountas, Pedersen, and Blackmore, 2002).

Παρόλο που ο αλγόριθμος δυναμικού προγραμματισμού βελτίωνε κατά πολύ τα αποτελέσματα του αλγόριθμου άπληστης επιλογής, οι λύσεις που ανέπτυξε ήταν μακριά από το αποτέλεσμα του υπολογισμού της λύσης κατώτατου ορίου. Αυτό οδήγησε στην διερεύνηση του προβλήματος με κατάργηση του περιορισμού στην κίνηση του ρομπότ. Για την επίλυση αυτής της προσέγγισης έγινε χρήση γενετικών αλγορίθμων και παρόλο που οι χρόνοι εκτέλεσης αυξήθηκαν, οι προτεινόμενες λύσεις βελτιώθηκαν θεαματικά σε σημείο που σε ορισμένες περιπτώσεις προσέγγιζαν αρκετά τη λύση κατώτατου ορίου (Blackmore, et. al., 2004).

Για την ενσωμάτωση των περιορισμών της μέσης ολικής ωριμότητας, του ολικού αριθμού φρούτων και του μέσου ολικού βάρους χρησιμοποιήθηκε και δεύτερος φωλιασμένος δυαδικός γενετικός αλγόριθμος, ο οποίος οδηγά στην επιλογή του υποσυνόλου του χωραφιού που ικανοποιεί τις τιμές του χρήστη για τους παραπάνω

περιορισμούς και ταυτόχρονα έχει το λιγότερο κόστος συγκομιδής από το ρομπότ. Για την υιοθέτηση μιας καλύτερης αντίληψης της παραγόμενης από τον αλγόριθμο λύσης, αναπτύχθηκε λογισμικό που προσομοιώνει τη συγκομιδή των καρπών από το ρομπότ με την χρήση γραφικών και κίνησης.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων κατέδειξαν την ικανότητα των συγκεκριμένων αλγορίθμων να επιλύουν προβλήματα μη ντετερμινιστικής φύσεως κατασκευάζοντας πολύ καλές λύσεις οι οποίες προσεγγίζουν κατά το δυνατό τις ιδανικές λύσεις, (Blackmore, Have, and Fountas, 2002). Ειδικά όσον αφορά το συγκεκριμένο πρόβλημα της χρήσης αγροτικών ρομπότ για τη συλλογή καρπών από χωράφι, τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η ανάπτυξη ενός τέτοιου γεωργικού μηχανήματος τοποθετεί στα χέρια του γεωργικού παραγωγού ένα πολύ υποσχόμενο και χρήσιμο εργαλείο, αφού μειώνει τα έξοδα συλλογής καρπών ενώ ταυτόχρονα εφαρμόζει τις απαιτήσεις του παραγωγού που αφορούν στις φυσικές ιδιότητες του τελικού φορτίου προς διάθεση στην αγορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Επεξεργασία στα μέρη του βραχίονα

2.2.1 Επεξεργασία ντίζας

Στη διάθεση μας είχαμε ράβδο αλουμινίου πάχους 15mm και μήκους 80cm. Στη συνέχεια η ράβδος υπέστη κοπή με πριονοκορδέλα ώστε να πάρει το επιτρεπτό μήκος το οποίο χρειαζόμαστε για τη σωστή λειτουργία του βραχίονα δηλαδή το μήκος της να φτάσει τα 62cm.



Εικόνα : 2.2.1 (Ντίζα)

Έπειτα τονάραμε τα πρόσωπα της ντίζας για να πετύχουμε την ομοιομορφία τους . Το επόμενο βήμα ήταν με τη βοήθεια κεντραδόρου να βρούμε τα κέντρα στα πρόσωπα.



Εικόνα : 2.2.2 (Ντίζα στο κεντραδόρο)

Έπειτα ανοίξαμε οπή με τρυπάνι 8,5mm



Εικόνα : 2.2.3 (Άνοιγμα οπής

στη ντίζα)

και κατόπιν περάσαμε το κολαούζο (10*1,5)mm για να γίνει το σπείρωμα όπου θα βιδωθούν τα γόνατα.



Εικόνα : 2.2.4 (Άνοιγμα

σπειρωμάτων στη ντίζα)

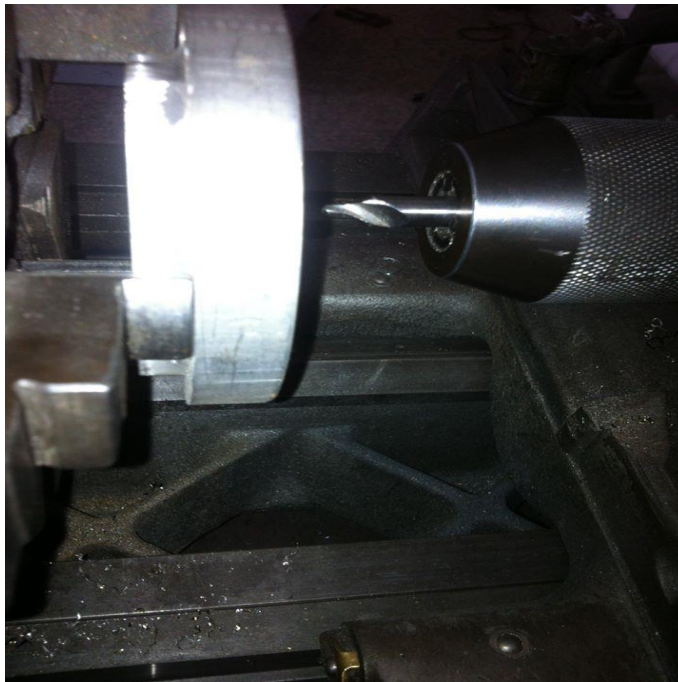
2.2.2 Επεξεργασία στις χλάπες

Οι χλάπες τοποθετούνται για να συγκρατούν τα ρουλεμάν τα οποία είναι εφαρμοσμένα στη μεγάλη άρθρωση του βραχίονα.



Εικόνα : 2.2.5 (Χλάπα)

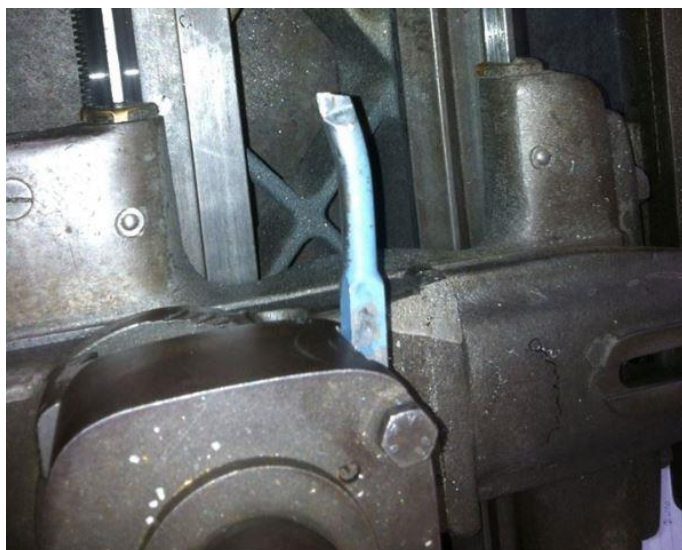
Μας δόθηκαν δυο άξονες διαμέτρου 10cm και μήκους 15mm . Στη συνέχεια σε κάθε άξονα έγινε επεξεργασία κοπής όπου το αποτέλεσμα ήταν τέσσερα κομμάτια διαμέτρου 10cm και πάχους 7mm . Κατόπιν οι χλάπες οδηγήθηκαν στον τόρνο όπου έγινε τριβή των προσώπων με αποτέλεσμα το τελικό τους πάχος να γίνει 5mm . Στη συνέχεια με τη βοήθεια κεντραδόρου βρήκαμε το κέντρο από τις χλάπες



κεντραδόρο)

Εικόνα : 2.2.6 (Χλάπα στο

ανοίχτηκαν στον τόρνο οπές με κοπτικό μπάρα τρύπας (βίδι) για να περάσει ο άξονας .



Εικόνα : 2.2.7 (Μπάρα τρύπας

κοπτικό)

Οι οπές που ανοίχτηκαν ήταν διαμέτρου 25.5mm ώστε κατά την περιστροφή του άξονα να μην υπάρχει τριβή με τις χλάπες . Κατόπιν οι χλάπες οδηγήθηκαν στη φρέζα όπου με διαίρετη φρέζας ανοίχτηκαν τέσσερις οπές των 6mm οι οποίες σχημάτιζαν μεταξύ τους 90° μοίρες γωνία , δηλαδή το λεγόμενο καρέ . Επειτα απ τις οπες της λαπας βαλαμε σημαδια πανω στην αρθρωση οπου θα γινονταν τα σπειρωματα για να πιαστούν οι χλάπες . Τα σημεια που ειχαν σημαδι τρυπήθηκαν με τρυπάνι 4 , 2mm και στη συνέχεια ανοίχτηκαν τα σπειρώματα με κολαούζο (5 * 0.8)mm . Επιπλεον στις οπές της χλάπας όπου θα περνούσαν οι βίδες έγινε εφαρμογή φρέζας στις άκρες τους για να εισχωρήσουν οι κεφαλές από τις βίδες ώστε να μην προεξέχουν .



Εικόνα : 2.2.8 (Χλάπα στη

φρέζα)

2.2.3 Επεξεργασία γραναζιών

Για τον δεύτερο βαθμό ελευθερίας δηλαδή για τα γρανάζια που θα κινούν και τα δυο κομμάτια του βραχίονα , μας δόθηκαν γρανάζια από υλικό « μαντέμι » . Τα στοιχεία τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Ονομασία	Γρανάζι Κινητήρα	Γρανάζι Άξονα
Αριθμός Δοντιών (N)	22	66
Σχέση Μετάδοσης (i)	1	3
Διάμετρος γραναζιού (dw)	60 mm	165 mm



Εικόνα : 2.2.9 (Αρχική

κατάσταση γραναζιών)

Τα γρανάζια τα οποία θα εφαρμόζαν στους άξονες και τους κινητήρες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την μετάδοση κίνησης στον δεύτερο και τρίτο βαθμό ελευθερίας είχαν περιττό εξόγκωμα υλικού . Λόγο του ότι οι κινητήρες στα σημεία αυτά δέχονταν μεγάλο φορτίο πραγματοποιήσαμε αφαίρεση υλικού στον τόρνο από τα γρανάζια ώστε να πετύχουμε την λιγότερη δυνατή φόρτιση .



Εικόνα : 2.2.10 (Αφαίρεση υλικού γραναζιού)

Στο γρανάζι που εφαρμόζει στον άξονα μεγαλώσαμε την οπή για την σωστή εφαρμογή πάνω στον άξονα και από 15 mm έγινε 25 mm . Στη συνέχεια με κοπτικό κάθετη πλάνια αφαιρέσαμε 2 .5mm υλικού για την εφαρμογή σφήνας .



Εικόνα : 2.2.11 (Αφαίρεση υλικού για σφήνα)

Στο γρανάζι που εφαρμόζει στον κινητήρα για το λόγο ότι η διάμετρος του άξονα του κινητήρα ήταν μικρότερη από την οπή του γραναζιού έγινε εφαρμογή δαχτυλιδιού στο γρανάζι . Η διαδικασία ήταν η εξής: Αυξήσαμε την οπή γραναζιού με κοπτικό μπάρα τρύπας από 15 mm σε 28 .5 mm . Έπειτα σε άξονα αλουμινίου όπου υπέστη κοπή σε πριονοκορδέλα στο μήκος της οπής και η διάμετρος του κατέληξε στα $28 .5 + (\frac{2}{10})$ mm ώστε να εχουμε την καλύτερη δυνατή εφαρμογή δαχτυλιδιού μέσα στο γρανάζι . Στη συνέχεια με κοπτικό κάθετη πλάνια αφαιρέσαμε από το δαχτυλίδι 2.5mm υλικού για την εφαρμογή σφήνας .



Εικόνα : 2.2.12 (Αφαίρεση

υλικού σε δαχτυλίδι)

Για τον τρίτο βαθμό ελευθερίας δηλαδή για τα γρανάζια που θα κινούν το τελευταίο μέρος του βραχίονα μας δόθηκαν γρανάζια με τα εξής στοιχεία :

Ονομασία	Γρανάζι Κινητήρα	Γρανάζι Άξονα
Αριθμός Δοντιών (N)	22	33
Σχέση Μετάδοσης (i)	1	1,5
Διάμετρος Γραναζιού (dw)	60mm	86mm

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω και στα δυο γρανάζια έγινε αφαίρεση υλικού καθώς και στο γρανάζι το οποίο εφαρμόζει στον κινητήρα έγινε τοποθέτηση δαχτυλιδιού . Επίσης με κοπτικό μπάρα τρύπας (βίδι) έγινε αφαίρεση υλικού 2 ,5 mm από τα γρανάζια για εφαρμογή σφήνας .

Για τον πρώτο βαθμό ελευθερίας ο οποίος είναι υπεύθυνος για την περιστροφή ολόκληρου του βραχίονα μας δόθηκαν γρανάζια από αλουμίνιο με τα εξής στοιχεία :

Ονομασία	Γρανάζι Κινητήρα	Γρανάζι Άξονα
Αριθμός Δοντιών (N)	30	30
Σχέση Μετάδοσης (i)	1	1
Διάμετρος Γραναζιού (dw)	32 mm	32 mm

Τα γρανάζια δεν δεχτήκαν κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία διότι εφαρμόζαν ακριβώς με τους άξονες του κινητήρα και της περιστροφής βραχίονα . Έγινε αφαίρεση 2 mm υλικού με κάθετη πλάνια και στα δυο γρανάζια για την εφαρμογή σφήνας .

2.2.4 Επεξεργασία αξόνων

Οι άξονες του μπράτσου οδηγήθηκαν σε κάθετη πλάνια όπου αφαιρέθηκαν 2.5 mm υλικού για την εφαρμογή σφήνας . Μονό ο άξονας ο οποίος είναι υπεύθυνος για την περιστροφή του βραχίονα δεν δέχτηκε περαιτέρω επεξεργασία γιατί μας δόθηκε με έτοιμο λούκι 2 mm για την εφαρμογή σφήνας .



Εικόνα : 2.2.13 (Γραμμικό σχέδιο αναπαράστασης άξονα – γραναζιού)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Συναρμολόγηση ρομποτικού βραχίονα

3.3.1 Συναρμολόγηση κομματιών του βραχίονα

Αρχικά έπειτα από μελέτη του σχεδίου έγινε η προσεκτική συναρμολόγηση των κομματιών του βραχίονα με μεγάλη προσοχή ώστε να αποφευχθεί η παραμόρφωση ή ζημιά των κομματιών μας το οποίο μπορούσε να έχει αποτέλεσμα τη μη ομαλή λειτουργία του βραχίονα .Αρχίσαμε με τη περιστρεφόμενη βάση όπου πάνω της τοποθετήθηκε το μπράτσο .



Εικόνα : 3.3. (Μπράτσο)

Το κάτω μέρος της περιστρεφόμενης βάσης (βλέπε εικόνα 14.4) τοποθετήθηκε στη



Εικόνα : 3.3.2 (Άξονας

περιστροφής)

Φωλιά ρουλεμάν η οποία είχε τοποθετηθεί στην σταθερή βάση .



Εικόνα : 3.3.3

(Περιστρεφόμενη βάση με φωλιά ρουλεμάν)

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν τα ρουλεμάν στους άξονες και κατόπιν οι άξονες με τα ρουλεμάν εφαρμόστηκαν με μεγάλη προσοχή στις υποδοχές του μπράτσου με τη βοήθεια πρέσας . Κατά την εφαρμογή αυτή για να μην καταπονηθούν τα υλικά μας έγινε χρήση ειδικού λιπαντικού πάνω στα ρουλεμάν το οποίο διευκόλυνε την εφαρμογή αυτών μέσα στις υποδοχές .



Εικόνα : 3.3.4 (Άξονες ρουλεμάν)



Εικόνα : 3.3.5 (Άξονες στο μπράτσο)

Το επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση του πρώτου κομματιού του βραχίονα μήκους 50 cm .



κομμάτι βραχίονα)

Εικόνα : 3.3.6 (Πρώτο

Για να επιτευχθεί αυτό τοποθετήθηκαν δυο πιάστρες στους άξονες του μπράτσου οι οποίες λειτουργούσαν σαν βάσεις στις οποίες θα βιδωθεί το πρώτο κομμάτι . Η αριστερή πιάστρα είναι αυτή η οποία δίνει κίνηση στο μπράτσο διότι εφαρμόζει στον αριστερό άξονα ο οποίος παίρνει κίνηση απ' τον κινητήρα σχέσης μετάδοσης 1:3



αξόνων)

Εικόνα : 3.3.7 (Πιάστρες

Σειρά έχει τώρα το δεύτερο κομμάτι του βραχίονα το οποίο θα πιάσει στο πρώτο κομμάτι . Στο τέλος του πρώτου κομματιού τοποθετήθηκε μια υποδοχή στην οποία έπιαναν τα αυτάκια .



Εικόνα : 3.3.8 (Άρθρωση)

Στα αυτάκια βιδώνονταν το δεύτερο κομμάτι του βραχίονα απ' την μπροστινή μεριά . Στην πίσω μεριά με τη χρήση μικρού άξονα εφαρμόζονταν η ντίζα όπου έπιανε στον άξονα με την τοποθέτηση γονάτου . Εκατέρωθεν από το γόνατο τοποθετήσαμε δυο αποστάτες των 2 cm για τη μη ταλάντευση του γονάτου .

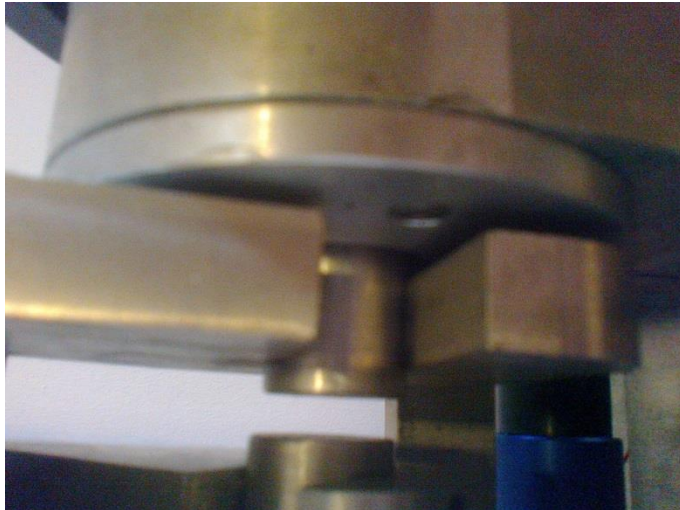


Εικόνα : 3.3.9 (Άρθρωση)



Εικόνα : 3.3.10 (Αποστάτες)

Η άλλη μεριά της ντιζας επίσης με την τοποθέτηση γονάτου στα άκρα της εφαρμόζόταν σε πιάστρα . Στη συνέχεια η πιάστρα αυτή εφαρμόζόταν στο δεξί άξονα με κινητήρα σχέσης μετάδοσης 1:1.5



δεξιού άξονα)

Εικόνα : 3.3.11 (Πιάστρα

όπου δίνει κίνηση στη ντίζα η οποία λειτουργεί σαν κινητήριος μοχλός για το δεύτερο κομμάτι του βραχίονα .



μοχλός)

Εικόνα : 3.3.12 (Κινητήριος

Στη συνέχεια τοποθετήσαμε τις χλάνες μέσα και έξω από τα μπράτσα .



μπράτσα)

Εικόνα : 3.3.13 (Χλάνες στα

Επιπλέον βιδώσαμε τις βάσεις των κινητήρων στα κατάλληλα σημεία ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα .

3.3.2 Τοποθέτηση κινητήρων

Οι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση των γριναζιών με σχέση μετάδοσης 1:3 και 1:1.5 ήταν DC-Micromotor (συνεχούς ρεύματος) της FAULHABER (Ελβετική) που παράγει σχετικά μεγάλες ροπές σε σχέση με το μέγεθος της κατασκευής τους. Το μοντέλο 036c της σειράς 3863 παράγει 110 mNm και με τον ενσωματωμένο μειωτήρα 111:1 δίνει μέγιστη ροπή 20 Nm. Επίσης περιλαμβάνει και encoder για τον έλεγχο της κίνησης του. Το υλικό περιβλήματος και μηχανισμών του κινητήρα ήταν από υλικό χάλυβα . Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται ο κινητήρας μαζί με τον ενσωματωμένο μειωτήρα .



Εικόνα : 3.3.14

(Κινητήρας36V)

Ο μικρός κινητήρας που επιλέχτηκε για την κίνηση των γραναζιών με σχέση μετάδοσης 1:1 ήταν DC-Micromotor (συνεχούς ρεύματος) της FAULHABER (Ελβετική) που παράγει σχετικά μεγάλες ροπές σε σχέση με το μέγεθος της κατασκευής τους. Το μοντέλο 26/1 της σειράς 2642W παράγει 3.5 mNm και με τον ενσωματωμένο μειωτήρα 134:1 δίνει μέγιστη ροπή 4.5 Nm. Επίσης περιλαμβάνει και encoder για τον έλεγχο της κίνησης του.



Εικόνα : 3.3.15

(Κινητήρας 24V)

Οι κινητήρες βιδώθηκαν προσεκτικά πάνω στις βάσεις οι οποίες είχαν διάδρομο ώστε να μπορούν να ταλαντευτούν για γίνει ευκολότερη η τοποθέτηση των μάντων .

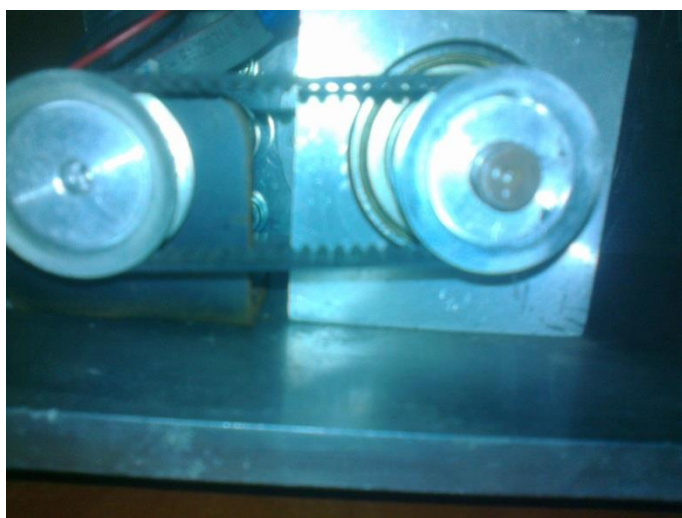


Εικόνα : 3.3.16 (Τοποθέτηση

κινητήρων)

3.3.3 Τοποθέτηση γραναζιών

Αρχικά τοποθετήθηκαν τα γρανάζια τα οποία δίνουν κίνηση για την περιστροφή ολόκληρου του βραχίονα . Στους άξονες κινητήρα και περιστροφής τοποθετήθηκε σφήνα και στη συνέχεια τα γρανάζια . Για να μην υπάρχει ταλάντευση στα γρανάζια έγινε σύσφιξη με τους άξονες με βίδα Allen χωρίς κεφάλι η οποία έχει την ιδιότητα να κρατήσει το γρανάζι σταθερό πάνω στους άξονες . Η βίδα που χρησιμοποιήθηκε είναι 2 mm , περνά από το γρανάζι καταλήγοντας στον άξονα . Για να περάσει η βίδα από το γρανάζι ανοίχτηκε οπή με τρυπάνι 1.2 mm και στη συνέχεια εφαρμόσαμε κολαούζο (2 * 0.5) mm .



Εικόνα : 3.3.17

(Σχέση μετάδοσης 1:1)

Το επόμενο βήμα ήταν να τοποθετηθούν τα γρανάζια τα οποία δίνουν κίνηση στα δυο κομμάτια του βραχίονα μήκους 50cm το καθένα τα οποία λειτουργούν σαν χέρι (δεύτερος βαθμός ελευθερίας) . Έγινε η τοποθέτηση σφήνας στον άξονα και στη συνέχεια η εφαρμογή του γραναζιού (d=165mm) πάνω σε αυτόν . Έπειτα με την ίδια διαδικασία τοποθετήθηκε σφήνα στον άξονα του κινητήρα και στη συνέχεια έγινε η εφαρμογή του γραναζιού (d=60mm) πάνω σε αυτόν . Για τη σταθεροποίηση των γραναζιών πάνω στους άξονες περάστηκαν βίδες και από τα δυο γρανάζια οι οποίες έκαναν σύσφιξη πάνω στους άξονες . Στα γρανάζια ανοίχτηκαν οπές με τρυπάνι 3,2mm όπου στη συνέχεια περάστηκαν με κολαούζο (4*0,7) mm για να πραγματοποιηθεί το σπείρωμα όπου θα περάσει η βίδα . Η βίδα η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Allen 4mm χωρίς κεφάλι (σκουληκοβίδα) η οποία σταθεροποιεί το γρανάζι πάνω στον άξονα



(Σχέση μετάδοσης 1 :1,5)



Εικόνα : 3.3.19

Εικόνα : 3.3.18

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα γρανάζια τα οποία κινούν το τελευταίο κομμάτι του βραχίονα μήκους 50cm(τρίτος βαθμός ελευθερίας). Στον άξονα του μπράτσου τοποθετήθηκε σφήνα και στη συνέχεια έγινε η εφαρμογή του γραναζιού($d=86\text{mm}$) πάνω σε αυτόν . Κατόπιν με τον ίδιο τρόπο στον άξονα του κινητήρα έγινε τοποθέτηση του γραναζιού ($d = 60 \text{ mm}$) . Επίσης και στα δυο γρανάζια έγινε σταθεροποίηση με τους άξονες καθώς και εδώ περάσαμε βίδα Allen μέσα από τα γρανάζια .



(Σχέση μετάδοσης 1:3)



Εικόνα : 3.3.21

Εικόνα : 3.3.20

3.3.4 Τοποθέτηση ιμάντων

Μετά την τοποθέτηση των κινητήρων και των γραναζιών τοποθετήθηκαν οι ιμάντες . Αφήνοντας λάσκα τις βάσεις των κινητήρων πάνω στους διαδρόμους της βάσης τοποθετήθηκαν οι ιμάντες αρχικά στα γρανάζια των αξόνων και έπειτα στα γρανάζια τα οποία είχαν εφαρμοστεί πάνω στους κινητήρες .



μιάτων)

Εικόνα : 3.3.22 (Τοποθέτηση

Ο λόγος ήταν ότι έγινε ευκολότερη η τοποθέτηση των μιάτων και στη συνέχεια κοντράραμε τις βάσεις των κινητήρων μέσα στους διαδρόμους ώστε να βιδωθούν στη καταλληλότερη απόσταση για να καταφέρουμε το πλήρες τέντωμα των μιάτων , με αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή (δίχως απώλειες) κίνηση του βραχίονα .



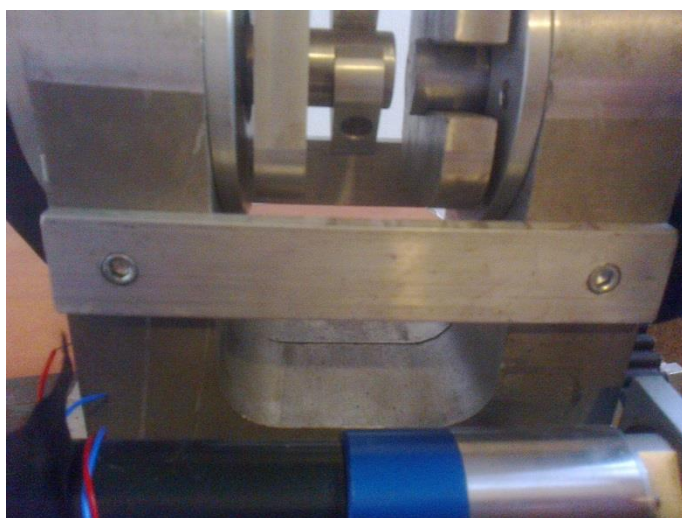
βάσεων κινητήρων)

Εικόνα : 3.3.23 (Διάδρομοι

3.3.5 Πρόσθετα

Οι κινήσεις του βραχίονα περιορίζονται ανάλογα με τις πληροφορίες του κινητήρα . Παρατηρήθηκε όμως πριν την τοποθέτηση των συστημάτων κίνησης ότι ο βραχίονας στα κατώτατα του σημεία στηρίζονταν πάνω στους κινητήρες δευτέρου και τρίτου βαθμού ελευθερίας κάτι που δεν συμβαίνει μετά την πλήρη εφαρμογή κινητήρων ,

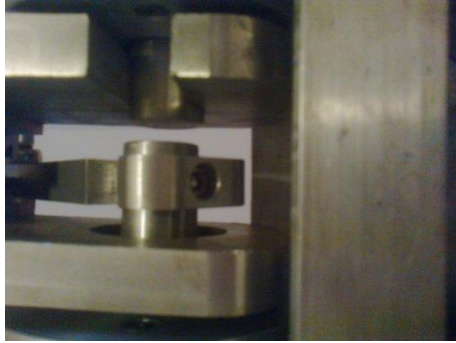
ιμάντων , γραναζιών . Όμως στη σκέψη ότι μπορεί στο μέλλον να εμφανιστεί κάποια δυσλειτουργία σε έναν από τους δυο κινητήρες ή η αποκοπή κάποιου ιμάντα έπρεπε να προβλέψουμε την ασφάλεια των κινητήρων , για τον λόγο αυτό προσθέσαμε δυο ράβδους αλουμινίου πάνω από το ύψος των κινητήρων . Οι ράβδοι αυτοί λειτουργούν σαν ασφάλειες (stop) του βραχίονα για να αποφύγουμε οποιαδήποτε πρόσκρουση του βραχίονα με τους κινητήρες .



Εικόνα : 3.3.24 (Ασφάλεια)

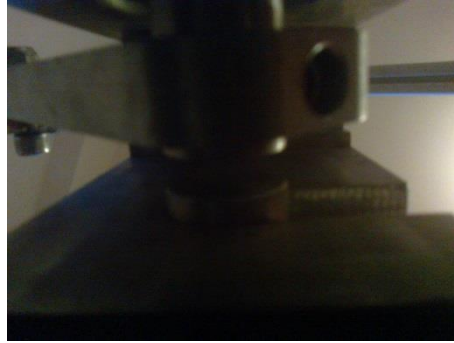
3.3.6 Σύσφιξη ανοχών

Σε όλα τα μέρη του βραχίονα έγινε ο απαραίτητος έλεγχος για ανοχές οι οποίες θα μπορούσαν να φέρουν δυσλειτουργία στο βραχίονα κι έτσι σε όλα τα μέρη έγινε η επιτρεπτή σύσφιξη . Όμως υπήρχε ένας ενδοιασμός .Στον άξονα ο οποίος κινεί και τα δυο μέρη του βραχίονα δέχεται μεγάλο φορτίο . για το λόγο αυτό το σημείο που εφαρμόζει ο άξονας με το μοχλό κίνησης του βραχίονα είναι πολύ επικίνδυνο έπειτα από κάποιες ώρες λειτουργίας να υποστεί κάποια διαστρέβλωση το υλικό η οποία στη συνέχεια θα επιφέρει μια ανοχή την οποία θα θέλαμε να αποφύγουμε . Όποτε τα δυο σημεία άξονας-μοχλοί κίνησης (πιάστρες) δεχτήκαν μια επιπλέον σύσφιξη η οποία ήταν η εξής . στις πιάστρες έγινε μια οπή με κοπτικό βίδι η αλλιώς μπάρα τρυπός . Στο αντίστοιχο σημείο των αξόνων για να γίνει η οπή και στη συνέχεια το σπείρωμα όπου θα βιδωθούν τα δυο σημεία πραγματοποιήσαμε οπή με τρυπάνι 3,2mm στη συνέχεια εφαρμόσαμε κολαούζο (4*0,7)mm όπου έγινε σπείρωμα για βίδα 4mm. Έτσι τα δυο σημεία έχουν σύσφιξη με βίδα και είμαστε σίγουροι ότι πάρα το μεγάλο φορτίο που δέχονται δεν θα υποστούν κάποια ζημιά .



(Σύσφιξη στις πιάστρες)

Εικόνα : 3.3.25



Εικόνα : 3.3.26

3.3.7 Έλεγχος

Η συναρμολόγηση του ρομποτικού βραχίονα τριών βαθμών ελευθερίας ολοκληρώθηκε έπειτα από το τελευταίο έλεγχο . Έγινε λεπτομερής έλεγχος σε όλα τα σημεία του βραχίονα ώστε να υπάρχει η απαραίτητη σύσφιξη σε όλα τα μέρη τα οποία τοποθετήθηκαν και συναρμολογήθηκαν . Στη συνέχεια έγινε έλεγχος και σε όλους τους βαθμούς ελευθερίας για τυχόν ανοχές . Ο βραχίονας πληροί όλες τις προϋποθέσεις και είναι έτοιμος για προγραμματισμό . Αναμένουμε την επιτυχή λειτουργία του .

Τελική μορφή του ρομποτικού βραχίονα





ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Καββουσανό Εμμανουήλ κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του για την επίλυση διάφορων θεμάτων καθώς και για όλες τις πληροφορίες που μου παρείχε .

Θα θελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bak, T. and Jakobsen, H. (2003) Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection. *Biosystems Engineering* 87:2125-136.
- Birrell, S. J. and Hummel, J. W. (2001) Real-time multi ISFET/FIA soil analysis system with automatic sample extraction. *Computers and Electronics in Agriculture* 45-67.
- Blackmore, B. S., Fountas, S., Vougioukas, S., Tang, L., Sørensen, C. G., and Jørgensen, R. (2004). *A method to define agricultural robot behaviours*. Mechatronics & Robotics Conference (MECHROB) 2004. pp.1197-1200.
- Blackmore, B. S., Have, H., and Fountas, S. (2001). *A specification of behavioural requirements for an autonomous tractor*. 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Conference. eds. M. Zude, B. Herold, and M. Guyer. Potsdam - Bornim, Germany, Institute für Agrartechnik Bornim e.V. pp.25-36.
- Blackmore, B. S., Have, H., and Fountas, S. (2002). *A proposed system architecture to enable behavioural control of an autonomous tractor (Keynote address)*. Automation Technology for Off-Road Equipment. ed. Q. Zhang. 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA, ASAE. pp.13-23.
- Brooks, R. A. (1986) A robust layered control system for a mobile robot. *Journal of Robotics and Automation* RA-2:14-23.
- Chamen, W. C. T., Dowler, D., Leede, P. R., and Longstaff, D. J. (1994) Design, operation and performance of a gantry system: Experience in arable cropping. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59:145-60.
- Christensen, L. K., Upadhyaya, S. K., Jahn, B., Slaughter, D. C., Tan, E., and Hills, D. (2005) Determining the influence of water deficiency on NPK stress

discrimination in maize using spectral and spatial information. *Precision Agriculture Journal* 6:539-550.

- Fountas, S., Pedersen, S. M., and Blackmore, B. S. (2002). *A new methodology for decision analysis in Precision Farming based on user's experience*. 6th International Conference on Precision Agriculture. eds. P. C. Robert, R. H. Rust, and W. E. Larson. Madison, WA, USA., ASA, CSSA, SSSA & ASAE. pp.1640-1654.
- Godwin, R. J., Earl, R., Taylor, J. C., Wood, G. A., Bradley, R. I., Welsh, J. P., Richards, T., Blackmore, B. S., Carver, M. C., Knight, S. M., and Welti, B. (2001). *Precision Farming of cereal crops: A five-year experiment to develop management guidelines*. Project report 264e, - 328pp. London, Home Grown Cereals Authority. http://www.hgca.com/publications/documents/cropresearch/267_Complete_Final_Report.pdf.
- Graglia, E. (2004). *Importance of herbicide concentration, number of droplets and droplet size on growth of Solanum nigrum L, using droplet application of Glyphosphate*. XIIeme Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes. Griepentrog, H. W., Nørremark, M., Nielsen, H., and Blackmore, B. S. (2005a) Seed Mapping of Sugar Beet. *Precision Agriculture Journal* 6:2157-165.
- Griepentrog, H. W., Nørremark, M., Nielsen, J., and Soriano, J. F. (2006). *Close-to-crop thermal weed control using a CO2 laser*. Proceedings of CIGR World Congress. Bonn Germany, In preparation.
- Griepentrog, H. W., Skou, P. T., Soriano, J. F., and Blackmore, B. S. (2005b). *Design of a seeder to achieve highly uniform sowing patterns*. 5th European conference on Precision Agriculture. ed. J. Stafford, V. 6700 AE Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers. pp.675-682.

- Ieropoulos, I., Greenman, J., and Melhuish, C. (2003). *Imitating metabolism: Energy autonomy in biologically inspired robots*. AISB '03 Second international symposium on imitation in animals and artifacts. Aberystwyth, Wales, pp.191-194.
- Kelly, I., Holland, O., and Melhuish, C. (2000). *SlugBot: A robotic predator in the natural world*. 5th International symposium on artificial life and robotics. Oita, Japan, pp.470-475.
- Lund, I. and Søgaard, H. T. (2005). *Robotic Weeding- Plant recognition and micro spray on single weeds*. 5ECPA. ed. J. V. Stafford.
- Morimoto, E., Suguri, M., and Umeda, M. (2005) Vision-based navigation system for autonomous transportation vehicle. *Precision Agriculture* 6:239-254.
- Nørremark, M. and Griepentrog, H. W. (2004). *Physical methods to control weeds within crop rows*. AgEng04, Leuven, Belgium.
- Pedersen, B. B. (2001) *Weed density estimation from digital images in spring barley*. Unpublished MSc thesis KVL, Denmark Pedersen, S. M., Fountas, S., Have, H., and
- Blackmore, B. S. (2006) Agricultural robots - system analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture Journal* In Press: Shibusawa, S. (1996). *PhytoTechnology – An introduction to the concept and topic of a new project*. <http://phytech.ishikawac.ac.jp/WhatIs.html>
- Shibusawa, S., Anom, I. M., Sata, H., Sasao, A., Hirako, S., Otomo, A., and Blackmore, B. S. (2000). *On-line real-time soil spectrophotometer*. 5th International Conference on Precision Agriculture. eds. P. C. Robert, R. H. Rust, and W. E. Larson. ASA, CSSA, SSSA & ASAE.

- Søgaard, H. T. and Heisel, T. (2002). *Weed classification by active shape models*. AgEng 2002, International Conference on Agricultural Engineering, Budapest, Hungary, June-July 2002.

- Tang, L., Tian, L., and Steward, B. L. (2000) Color image segmentation with genetic algorithm for in-field weed sensing. *Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers* 43:41019-1028.