



UNIVERSITY OF PATRAS

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING & AERONAUTICS

DIVISION OF DESIGN & MANUFACTURING

LABORATORY FOR MANUFACTURING SYSTEMS & AUTOMATION

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**[A Literature Review on Automatic Tool Changer and Development of a
Framework for Collaborative Robots]**

Michalis Papadokostakis

1054576

Dimitris MOURTZIS Professor

Patras, February 2022

Ορολογία	Ορολογία στην αγγλική	Επεξήγηση
Επενεργητής πέρατος	End effector	Σημείο ρομποτικού βραχίονα που αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον του.
Συνεργατικό ρομπότ	Collaborative robot	Είδος ρομπότ σχεδιασμένο για να αλληλοεπιδρά με ανθρώπους.
Μέθοδος λιτής παραγωγής	Lean manufacturing	Μέθοδος παραγωγής που εστιάζει στην μείωση διεργασιών που δεν προσφέρουν αξία στο τελικό προϊόν.
Βιομηχανία 4.0	Industry 4.0	4 ^η βιομηχανική επανάσταση
Επικοινωνία κοντινού πεδίου	Near Field Communication (NFC)	Τεχνολογία ανταλλαγής δεδομένων σε μικρή απόσταση.
Ευελιξία	Flexibility	Η δυνατότητα ενός συστήματος να ανταποκρίνεται γρήγορα σε εναλλαγές της παραγωγής.

Αρχικά, γίνεται μια γενική αναφορά στους ρομποτικούς βραχίονες και σε ορισμένα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την κατανόηση της λειτουργίας τους. Ένας ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από συνδέσμους και αρθρώσεις με τους συνδέσμους να αποτελούν τα άκαμπτα μέρη της δομής του ρομπότ και τις αρθρώσεις τα μέρη που επιτρέπουν την κίνηση των συνδέσμων. Οι αρθρώσεις του βραχίονα ορίζονται μεταξύ των συνδέσμων και μπορεί να είναι περιστροφικές, πρισματικές, κυλινδρικές ή σφαιρικές. Τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούν μόνο περιστροφικές αρθρώσεις ωστόσο υπάρχουν και διάφορες άλλες διατάξεις που εξυπηρετούν την λύση διάφορων προβλημάτων. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο των ρομποτικών βραχιόνων είναι ο end effector ή επενεργητής πέρατος ο οποίος είναι το σημείο όπου εγκαθίσταται το εργαλείο του ρομπότ ώστε να επιτραπεί η χρήση του σε κάποια

συγκεκριμένη διεργασία. Συνήθως, η εγκατάσταση του εργαλείου στον end effector γίνεται μέσω κοχλιωτής σύνδεσης η οποία πραγματοποιείται χειροκίνητα και απαιτεί πολύ χρόνο. Αν το εργαλείο πρέπει να εγκατασταθεί με ακρίβεια τότε η απαραίτητη ευθυγράμμιση του εργαλείου με την φλάντζα του end effector μπορεί να μην είναι εύκολο να επιτευχθεί πράγμα που προκαλεί επιπλέον προσαρμογές και σπατάλη χρόνου. Για να επιτραπεί στους ρομποτικούς βραχίονες να εκτελούν πολλές εργασίες ή να προσαρμόζονται εύκολα σε μεταβολές στην παραγωγή ώστε να αυξηθεί η ευελιξία τους είναι αναγκαία η συχνή αλλαγή των εργαλείων τους πράγμα που είναι χρονοβόρο. Αυτό είναι ακόμα μεγαλύτερο πρόβλημα για τα συνεργατικά ρομπότ, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να δουλεύουν κοντά σε ανθρώπους, διότι η ευελιξία που προσφέρουν λόγω του εύκολου προγραμματισμού τους και της ευκολίας μετακίνησης τους περιορίζεται από την ανάγκη αλλαγής εργαλείων. Η λύση που προτείνεται σε αυτό το πρόβλημα είναι η σύσταση ενός πλαισίου λειτουργίας που επιτρέπει την αλλαγή εργαλείων σε συνεργατικά ρομπότ. Η αλλαγή των εργαλείων θα μπορεί να πραγματοποιείται αυτόματα από το ρομπότ και θα γίνεται με μεγάλη ακρίβεια και επαναληψιμότητα σε ελάχιστο χρόνο. Με αυτό το τρόπο το συνεργατικό ρομπότ θα μπορεί να αξιοποιείται σε διαφορετικές διεργασίες με κατάλληλες αλλαγές εργαλείων άρα η ευελιξία του θα αυξηθεί σημαντικά. Πρώτα, πραγματοποιείται μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω σε συστήματα αλλαγής εργαλείων που έχουν ερευνηθεί και βρίσκονται στην αγορά. Στην συνέχεια γίνεται η ανάπτυξη του πλαισίου λειτουργίας για αυτόματη αλλαγή εργαλείων με βάση το συνεργατικό ρομπότ UR10. Οι ρομποτικοί βραχίονες αναπτύχθηκαν για να προσφέρουν λύσεις για την αυτοματοποίηση διεργασιών ώστε να αυξήσουν την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα. Συνεπώς, τα συστήματα αυτόματης αλλαγής εργαλείων που επεκτείνουν τις δυνατότητες των ρομπότ ευνοούν ένα αποδοτικό σύστημα παραγωγής. Για να γίνει κατανοητό αυτό είναι σημαντικό να αναφερθούν οι σημαντικές αλλαγές που έχει υποστεί η βιομηχανία και είναι γνωστές ως βιομηχανικές επαναστάσεις. Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση μηχανοποίησε την παραγωγή χρησιμοποιώντας τον ατμό, η δεύτερη εισήγαγε την μαζική παραγωγή με χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας και η τρίτη βελτίωσε σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή μέσω της ραγδαίας ανάπτυξης

των ψηφιακών υπολογιστών και της αυτοματοποίησης. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση αναπτύσσεται με βάση την τρίτη αυξάνοντας περαιτέρω τις πρακτικές βιομηχανικού αυτοματισμού μέσω σύγχρονων έξυπνων τεχνολογιών.

Μία μέθοδος βελτιστοποίησης της παραγωγής είναι η μέθοδος λιτής παραγωγής. Αυτή η μέθοδος στοχεύει στην αφαίρεση πρακτικών από την διαδικασία παραγωγής, όπως η μη απαραίτητη μετακίνηση υλικών, οι οποίες δεν προσφέρουν αξία στο τελικό προϊόν. Η διαδικασία απαλοιφής αυτών των πρακτικών γίνεται με την χρήση ορισμένων σημαντικών αρχών. Η βιομηχανία 4.0, που αναφέρεται στην 4^η βιομηχανική επανάσταση, αναμένεται να βελτιώσει τα οφέλη που προσφέρει η λιτή παραγωγή μέσω της ενσωμάτωσης πληροφοριακών και επικοινωνιακών τεχνολογιών στα συστήματα παραγωγής ώστε να δημιουργηθούν ψηφιακά-φυσικά συστήματα.

Οι συσκευές αλλαγής εργαλείων επιτρέπουν στο ρομπότ να αλλάζει εργαλεία μέσω ενός ειδικού μηχανισμού που τις κατηγοριοποιεί σε αυτόματες ή χειροκίνητες ανάλογα με τον τρόπο που ενεργοποιείται. Αυτές οι συσκευές αποτελούνται από το κύριο μέρος που είναι εγκατεστημένο στον end effector του ρομπότ και το δευτερεύον μέρος που είναι προσαρμοσμένο κατάλληλα στο κάθε εργαλείο. Για κάθε αλλαγή εργαλείου, το ρομπότ αρχικά πλησιάζει το δευτερεύον μέρος του εργαλείου και ευθυγραμμίζει κατάλληλα το κύριο μέρος ως προς το δευτερεύον. Αφού γίνει η ευθυγράμμιση των μελών, ενεργοποιείται ο μηχανισμός κλειδώματος της συσκευής αλλαγής εργαλείων, χειροκίνητα ή αυτόματα, ενώνοντας τα δύο μέλη ώστε να προκύψει μία άκαμπτη σύνδεση που θα επιτρέψει την χρήση του εργαλείου. Η διεπαφή μεταξύ των δύο μελών προσφέρει ηλεκτρικούς και πνευματικούς συνδέσμους ώστε να μπορεί να γίνει μεταφορά ενέργειας για την λειτουργία του εργαλείου και δεδομένων για τον έλεγχο του ή τους αισθητήρες που μπορεί να έχει. Οι συσκευές αυτόματης αλλαγής εργαλείων χωρίζονται σε παθητικές συσκευές, που ενεργοποιούν τον μηχανισμό κλειδώματος με κινήσεις του ρομπότ και ενεργητικές συσκευές που ενεργοποιούν τον μηχανισμό κλειδώματος με χρήση εξωτερικής ενέργειας.

Αφού έχει γίνει μελέτη της βιβλιογραφίας, στο τελευταίο κεφάλαιο περιγράφεται το πλαίσιο λειτουργίας για αλλαγή εργαλείων που αναπτύχθηκε. Το πλαίσιο λειτουργίας αφορά αυτοματοποιημένα ευέλικτα ρομποτικά κελιά και στοχεύει στην αύξηση της ευελιξίας και της παραγωγικότητας. Το κύριο μέρος της προτεινόμενης συσκευής αποτελείται από δύο πλάκες που συνδέονται μεταξύ τους με την βοήθεια ενός άξονα με σπείρωμα που συνδέεται με μία οπή με σπείρωμα. Ο άξονας αυτός φέρει εγκάρσια στο άκρο του έναν ειδικό πείρο που περνάει από μία ειδική οπή του δευτερεύοντος μέρους και χρησιμοποιείται για την σύζευξη των δύο μελών. Για την ύπαρξη επαρκούς ευθυγράμμισης του κύριου και δευτερεύοντος μέρους της συσκευής χρησιμοποιούνται δύο ράβδοι που είναι εγκατεστημένοι στο κύριο μέρος και εισέρχονται σε δύο οπές στο δευτερεύον μέρος κατά την διάρκεια αλλαγής εργαλείου. Επίσης, και τα δύο μέρη έχουν ηλεκτρικούς συνδέσμους με την μορφή μεταλλικών πείρων στο κύριο μέρος που σφηνώνουν σε κατάλληλες μεταλλικές οπές στο δευτερεύον μέρος ώστε να μπορούν να μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα. Ακόμα, το κύριο μέρος φέρει δύο ειδικούς διακόπτες διαμετρικά της συσκευής που κλείνουν όταν τα δύο μέρη έρχονται σε επαφή ώστε το ρομπότ να γνωρίζει ότι η σύνδεση έγινε σωστά προσφέροντας ασφάλεια και αυτονομία. Κατά την διάρκεια μιας αλλαγής εργαλείου, ο ειδικός πείρος στον άξονα με το σπείρωμα του κύριου μέρους περνάει από μία οπή του δευτερεύοντος μέρους. Όταν γίνει αυτό οι ράβδοι της ευθυγράμμισης έχουν εισέλθει στις οπές του δευτερεύοντος μέρους ενώ οι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι έχουν ενωθεί και οι διακόπτες έχουν κλείσει. Έπειτα, το ρομπότ περιστρέφει την φλάντζα που αντιστοιχεί στον end effector ανθρωπολογικά προκαλώντας τον άξονα να ξεβιδώσει και να δημιουργήσει μια προένταση μεταξύ του κύριου και δευτερεύοντος μέλους που έχει σαν αποτέλεσμα την συγκράτηση των δύο μερών. Αυτό γίνεται διότι ο ειδικός πείρος που βρίσκεται στην άκρη του άξονα κυλίνεται πάνω στην επιφάνεια του δευτερεύοντος μέρους όπως ακριβώς η κεφαλή μιας βίδας όταν η βίδα στρέφεται για σύσφιξη. Οι διακόπτες που έχουν εγκατασταθεί μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα από το ρομπότ για την εύρεση πιθανών βλαβών στην συσκευή αν μετά την διαδικασία κλειδώματος ενός εργαλείου οι δύο διακόπτες δεν είναι ταυτόχρονα κλειστοί. Επίσης, μια μέθοδος ταυτοποίησης του κάθε εργαλείου χρησιμοποιείται ώστε το

ρομπότ να γνωρίζει ποιο εργαλείο έχει επιλέξει. Αυτό γίνεται με τεχνολογία επικοινωνίας κοντινού πεδίου με έναν αναγνώστη εγκατεστημένο στο κύριο μέρος της συσκευής και μια ετικέτα σε κάθε δευτερεύον μέρος στην οποία αποθηκεύονται πληροφορίες για το κάθε εργαλείο. Με αυτούς τους αισθητήρες μπορεί να γίνει ανάπτυξη ενός ψηφιακού δίδυμου της συσκευής ώστε να βρεθεί ο μέγιστος αριθμός κύκλων φόρτισης της συσκευής μέχρι να χρειαστεί συντήρηση. Με χρήση της θεωρίας της φθοράς μπορεί να αναπτύσσεται ένα μοντέλο για την φθορά της επιφάνειας του δευτερεύοντος μέρους της συσκευής όπου γλιστράει ο ειδικός πείρος κατά την διάρκεια κλειδώματος ενός εργαλείου. Στην συνέχεια, για την σωστή λειτουργία του συστήματος, αναπτύσσεται μια βάση όπου θα αποθηκεύονται τα εργαλεία μέχρι να χρησιμοποιηθούν από το ρομπότ. Για να μπορεί το ρομπότ να χειρίζεται αντικείμενα, επιλέγεται σαν εργαλείο η αρπάγη RG 2 της εταιρίας OnRobot. Επίσης, για να επιτραπεί στο ρομπότ να εκτελεί διεργασίες φρεζαρίσματος αναπτύσσεται ένα εργαλείο που φέρει έναν ειδικό ηλεκτροκινητήρα στον οποίο μπορούν να εγκατασταθούν κονδύλια φρεζαρίσματος. Το κάθε ένα από αυτά τα εργαλεία βιδώνεται κατάλληλα σε ένα δευτερεύον μέρος της συσκευής αλλαγής εργαλείων που προτάθηκε ώστε το ρομπότ να μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε ένα από αυτά. Ακόμα, εισάγεται στο σύστημα και μια δεύτερη αρπάγη τριών σιαγόνων στην οποία θα συγκρατείται το κομμάτι. Η διαδικασία λειτουργίας του κελιού ξεκινάει με την 3D εκτύπωση ενός κομματιού σε εκτυπωτή και την μετακίνηση του από το ρομπότ, όταν η διαδικασία τελειώσει, σε ένα ειδικό μέρος για έλεγχο για ελαττώματα. Αν κάποιο ελάττωμα βρεθεί, το ρομπότ μετακινεί το κομμάτι στην αρπάγη τριών σιαγόνων και την ενεργοποιεί ώστε να συγκρατήσει το κομμάτι με χρήση μιας σωληνοειδούς βαλβίδας που ενεργοποιείται από τον ελεγκτή του ρομπότ. Έπειτα, το ρομπότ αφήνει την αρπάγη στην βάση αποθήκευσης των εργαλείων και δεσμεύει το εργαλείο του φρεζαρίσματος με το οποίο φρεζάρει τα ελαττώματα του κομματιού. Μετά το φρεζάρισμα, το ρομπότ αφήνει το εργαλείο φρεζαρίσματος και δεσμεύει την αρπάγη όπου χρησιμοποιείται για την παραλαβή του αντικειμένου από την αρπάγη τριών σιαγόνων και την μετακίνηση του στην έξοδο του ρομποτικού κελιού.

Τελειώνοντας, το αποτέλεσμα αυτής της εργασίας ήταν η θεωρητική ανάπτυξη του πλαισίου λειτουργίας αλλαγής εργαλείων με την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Προτάθηκε μια συσκευή που θα επιτρέψει την αλλαγή εργαλείων χρησιμοποιώντας έναν πολύ απλό μηχανισμό κλειδώματος που ενεργοποιείται παθητικά και αυτόματα από το ρομπότ. Η δομή της συσκευής δείχθηκε ότι είναι ικανή να φέρει αισθητήρες, ηλεκτρικούς συνδέσμους αλλά και ειδικούς διακόπτες για την ανίχνευση της κατάστασης της σύζευξης μεταξύ των δύο μερών της. Επίσης, αποδείχθηκε ότι είναι δυνατή η ανάπτυξη ενός ψηφιακού διδύμου της συσκευής αξιοποιώντας την θεωρία της φθοράς ώστε να προβλεφθεί ο χρόνος μέχρι την ανάγκη για συντήρηση. Η εργασία που παρουσιάστηκε μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω με τον αναλυτικό σχεδιασμό της συσκευής αυτόματης αλλαγής εργαλείων. Η συσκευή αυτή πρέπει να προσφέρει αλλαγές εργαλείων με επαναληψιμότητα, ακρίβεια και αξιοπιστία πράγμα που αποτελεί πρόκληση. Με την ανάπτυξη και κατασκευή της συσκευής αυτής είναι δυνατή η κατασκευή του πλαισίου εργασίας στον φυσικό κόσμο ώστε να δοκιμαστούν και να αναπτυχθούν περαιτέρω οι λειτουργίες ανίχνευσης σφαλμάτων και το ψηφιακό δίδυμο.