

Ενσωμάτωση Συστήματος Οχημάτων Αυτόματης Πλοήγησης σε Ευέλικτο Σύστημα Κατεργασιών

Γ.-Χ. ΒΟΣΝΙΑΚΟΣ

Επικούρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται κατ' αρχήν παρουσίαση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό ενός συστήματος Οχημάτων Αυτόματης Πλοήγησης για την εξυπηρέτηση των μεταφορικών αναγκών ενός Ευέλικτου Συστήματος Κατεργασιών. Στη συνέχεια, εξετάζονται λύσεις στα προβλήματα της εγκατάστασης σχετικά με τη σχεδίαση του δικτύου, την εκλογή μηχανισμού φορτοεκφόρτωσης παλετών, την εξασφάλιση ακρίβειας στάθμευσης, το σύστημα πλοήγησης των ΟΑΠ, το σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας, το σύστημα επικοινωνίας οχημάτων και κεντρικού Η/Υ καθώς και με την αξιολόγηση της σχεδίασης μέσω προγράμματος εξομοίωσης γραμμένου στη γλώσσα ECSL. Το τελευταίο κατέδειξε ότι η καλύτερη λύση με κριτήρια την παραγωγικότητα του ΕΣΚ και τη χωρητικότητα ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι το δικατευθυντικό δίκτυο μορφής γραμμής με ένα όχημα και το δικατευθυντικό δίκτυο μορφής βρόχου με δύο οχήματα για την κάλυψη πιθανής αλλαγής του μείγματος προϊόντων του ΕΣΚ. Το τελευταίο, όπως και η πολιτική επιλογής οχήματος και παλέτας, είναι βασικοί παράγοντες διαφοροποίησης της τελικής λύσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα οχήματα αυτόματης πλοήγησης (ΟΑΠ) είναι το περισσότερο εξελιγμένο τεχνολογικά μέσο μεταφοράς σε σύγχρονο περιβάλλον παραγωγής, όπως αυτό τυπικά εκφράζεται στα Ευέλικτα Συστήματα Κατεργασιών. Ευέλικτο Σύστημα Κατεργασιών (ΕΣΚ) είναι ένα σύστημα παραγωγής που εκμεταλλεύεται μικροηλεκτρονική και μηχανολογία, με σκοπό να εφαρμοστεί η οικονομία της μαζικής παραγωγής στην παραγωγή σε μικρές και μεσαίου μεγέθους μερίδες. Η ροή των υλικών, η λειτουργία των επιμέρους στοιχείων και η ροή των πληροφοριών τέτοιων συστημάτων παραγωγής καθορίζονται και ελέγχονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Ένα αυτόματο ή μη μέσο μεταφοράς για την εξυπηρέτηση ενός ΕΣΚ μεταφέρει [2]:

- Ακατέργαστα υλικά από το σταθμό αποθήκευσης στο σταθμό προετοιμασίας.

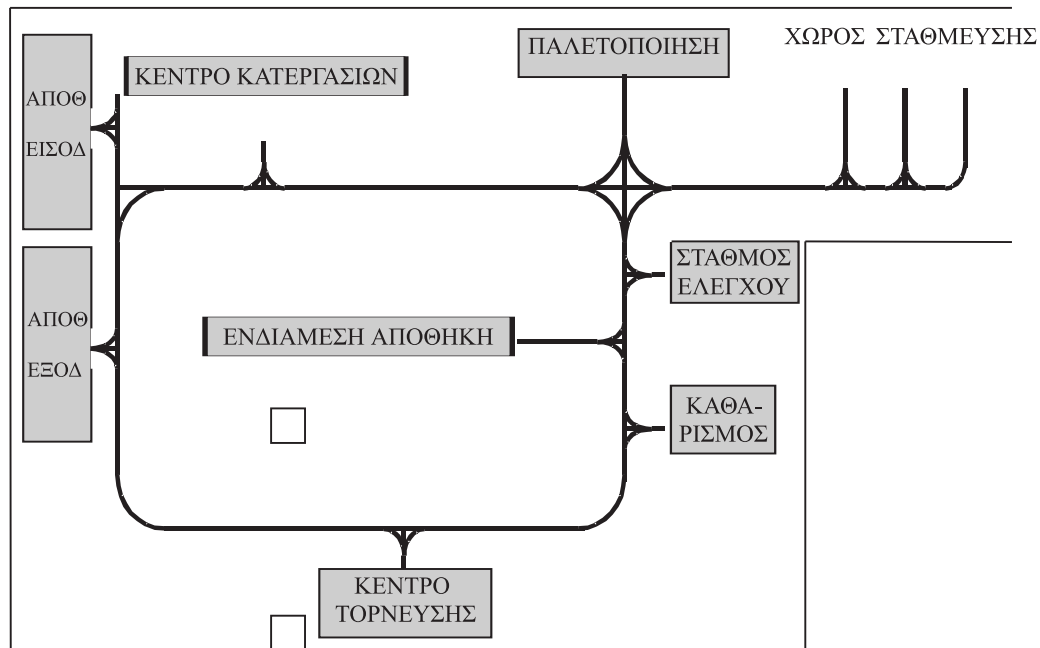
- Ιδιοσυσκευές και παλέτες από το σταθμό αποθήκευσης στο σταθμό προετοιμασίας και αντίστροφα.
- Ημι-κατεργασμένα προϊόντα προσαρμοσμένα σε παλέτες από σταθμό σε σταθμό σύμφωνα με το φασεολόγιο κάθε προϊόντος.
- Εργαλεία από το σταθμό αποπαλετοποίησης στους αντίστοιχους σταθμούς κατεργασίας.
- Έτοιμα προϊόντα από το σταθμό προετοιμασίας στο χώρο αποθήκευσης.
- Απόβλητο υλικό κυρίως από τους σταθμούς κατεργασίας και το σταθμό καθαρισμού προς τους χώρους διάθεσης του αποβλήτου.
- Υλικά συντήρησης, υγρά κοπής κ.λπ.

Στα επόμενα παρουσιάζονται η εκλογή παραμέτρων και ο σχεδιασμός του συστήματος οχημάτων αυτόματης πλοήγησης για ένα συγκεκριμένο ΕΣΚ.

2. ΤΟ ΕΣΚ ΤΟΥ UMIST

Το σύστημα, που φαίνεται στο σχήμα 1, είναι ένα τυπικό μικρού μεγέθους ΕΣΚ για την παραγωγή αξονοσυμμετρικών και πρισματικών τεμαχίων. Τα περισσότερα στοιχεία του είναι ήδη εγκατεστημένα στο Πανεπιστήμιο UMIST της Βρετανίας. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα κέντρο κατεργασιών CNC, έναν τόρνο CNC, ένα σταθμό καθαρισμού ημιέτοιμων και έτοιμων προϊόντων, μία μηχανή μέτρησης διαστάσεων (CMM), ένα σταθμό προσωρινής αποθήκευσης προϊόντων και το σταθμό προετοιμασίας εργαλείων και παλετών που είναι και ο μόνος εξυπηρετούμενος από ανθρώπινο δυναμικό.

Τα τμήματα προσωρινής αποθήκευσης, που υπάρχουν σε κάθε σταθμό του συστήματος, είναι δύο θέσεων και αποτελούν ουσιαστικά σημεία παραλαβής-παράδοσης ημιέτοιμων ή έτοιμων προϊόντων από και προς τα Οχήματα Αυτόματης Πλοήγησης.



Σχήμα 1: Το ΕΣΚ του UMIST.
Figure 1: UMIST FMS.

Για την πληρέστερη κατανόηση της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος παραγωγής και του ρόλου του μεταφορικού μέσου σε αυτό παρατίθεται η ακόλουθη τυπική σειρά γεγονότων:

- Ένα αντικείμενο προς κατεργασία εισέρχεται στο σταθμό αποθήκευσης του συστήματος και καταγράφεται από το σύστημα ελέγχου.
- Η κατάλληλη παλέτα και ιδιοσυσκευή συγκράτησης μεταφέρονται στο σταθμό προετοιμασίας.
- Το προς κατεργασία αντικείμενο μεταφέρεται στο σταθμό προετοιμασίας, προσαρμόζεται στην παλέτα και ενημερώνεται το σύστημα ελέγχου.
- Για κάθε τύπο αντικειμένου ο Η/Υ τηρεί μία λίστα των απαραίτητων διαδοχικών σταθμών και έτσι καθορίζει τον επόμενο προορισμό του αντικειμένου. Αν αυτός είναι κατειλημμένος, τότε το αντικείμενο μεταφέρεται στο σταθμό προσωρινής αποθήκευσης.
- Το σύστημα μεταφοράς παραλαμβάνει τυχόν άλλα ημι-κατεργασμένα αντικείμενα που αναμένουν στον ίδιο σταθμό προορισμού.
- Μετά τη μεταφορά στο σταθμό ξεκινάει ο κύκλος κατεργασίας του αντικειμένου εκεί. Αφού τελειώσει αυτή, ενημερώνεται το σύστημα ελέγχου και επαναλαμβάνονται τα τελευταία τρία βήματα.
- Ο τελευταίος σταθμός στη λίστα κάθε τύπου προϊόντος είναι ο σταθμός προετοιμασίας, όπου το κατεργασμένο πλέον αντικείμενο αποχωρίζεται από την παλέτα και μεταφέρεται στο χώρο αποθήκευσης.

3. ΤΟ ΟΧΗΜΑ

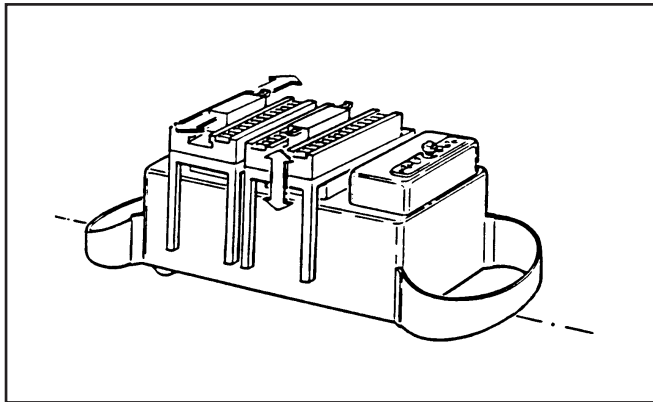
3.1. Παράμετροι κατασκευής ΟΑΠ

Ο καταλληλότερος τύπος ΟΑΠ για χρήση σε ΕΣΚ είναι αυτός του μοναδιαίου φορτίου, βλ. σχήμα 2, με δυνατότητα μεταφοράς μέχρι 300 kg [2].

Η θέση των τροχών του οχήματος είναι σημαντική για την ευστάθεια του συστήματος ελέγχου αλλά και για την ικανότητά του να ακολουθεί απότομες στροφές. Τρίκυκλα ΟΑΠ είναι μία από τις δυνατές λύσεις, αλλά υπάρχει πρόβλημα ευστάθειας του συστήματος ελέγχου κατά την ανάστροφη φορά κίνησης [3]. Η επικρατέστερη λύση είναι αυτή της διαφορικής κίνησης των δύο κύριων τροχών, τοποθετημένων στα πλάγια του οχήματος και κινούμενων από ανεξάρτητους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, ενώ δύο ακόμη παντοκατευθυντικοί τροχοί στο κέντρο εμπρός και στο κέντρο πίσω του οχήματος διατηρούν την ισορροπία του.

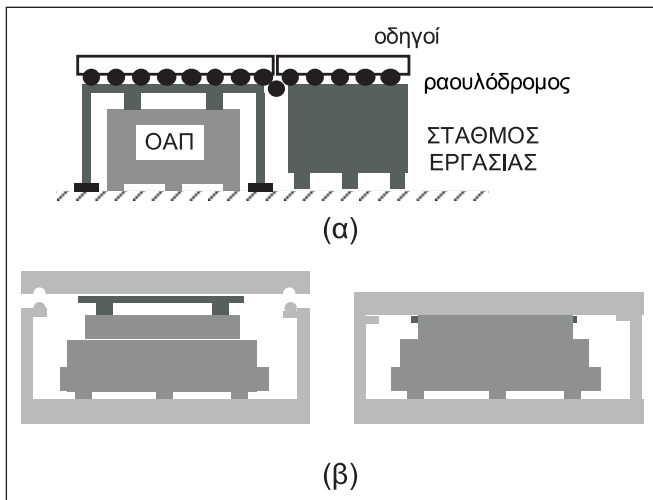
Η ενέργεια λειτουργίας προέρχεται από μπαταρίες που διαρκούν έως 24 ώρες και συνεπώς πρέπει να φορτίζονται. Στο χώρο στάθμευσης του ΕΣΚ του σχήματος 1 γίνεται και φόρτιση μπαταριών είτε ευκαιριακά είτε σε πλήρη κύκλο. Για μικρές εγκαταστάσεις αντικατάσταση μπαταριών με νέες και φόρτισή τους off-line είναι η βέλτιστη λύση.

Η μέγιστη ταχύτητα του ΟΑΠ μπορεί να είναι έως περίπου 36 χλμ./ώρα [2]. Η ακινητοποίηση του οχήματος σε περίπτωση κινδύνου σύγκρουσης πραγματοποιείται με χρήση προφυλακτήρων μορφής ημικυλινδρικού ελάσματος αναρτημένου στο εμπρός και πίσω μέρος του ΟΑΠ και φέρο-



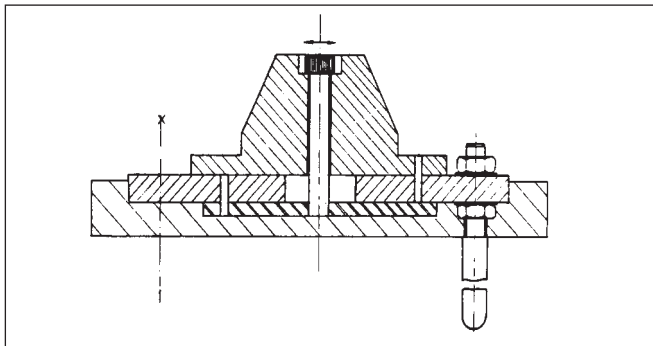
Σχήμα 2: Τυπικό ΟΑΠ για ΕΣΚ με μηχανισμό ώσης - έλξης για φορτοεκφόρτωση παλετών.

Figure 2: Typical AGV with push-pull mechanism for pallet loading / unloading.



Σχήμα 3: Μηχανισμοί φορτοεκφόρτωσης παλετών (α) με κυλιόμενα ράουλα, (β) με πλατφόρμα "χιαστί".

Figure 3: Pallet loading / unloading mechanisms (a) roller-type, (b) scissor type.



Σχήμα 4: Σχεδίαση συστήματος ακριβούς στάθμευσης μηχανισμού διαχείρισης παλετών.

Figure 4: Design of precision positioning of palletiser.

ντος μικροδιακόπτες στις κατάλληλες θέσεις, βλ. σχήμα 2, ή συμπαγούς μπλόκ υλικού ευαίσθητου στην παραμικρή πίεση. Συμπληρωματικό μέτρο ασφαλείας είναι σύστημα υπερήχων ή υπέρυθρης ακτινοβολίας για τη σάρωση του χώρου εμπρός από το ΟΑΠ. Εάν εντοπισθεί εμπόδιο, ανακόπτεται η ταχύτητα του οχήματος και τελικά αυτό σταματά λίγο πριν δίνοντας ηχητικό/οπτικό σήμα για να απομακρυνθεί το εμπόδιο [2].

3.2. Μηχανικά interfaces

Σημαντικό τμήμα του ΟΑΠ είναι η πλατφόρμα / μηχανισμός φορτοεκφόρτωσης. Η αρχή λειτουργίας και η μορφή του εξαρτώνται από τον τύπο της παλέτας προς χρήση. Εξετάστηκαν τρεις μηχανισμοί [4].

Ο πρώτος μηχανισμός, βλ. σχήμα 3(α), είναι τύπος μεταφορικής ταινίας με ράουλα που παίρνουν κίνηση από κινητήρα του ΟΑΠ και τη μεταδίδουν στο συνεργαζόμενο τμήμα του σταθμού του ΕΣΚ. Ο μηχανισμός αυτός είναι απλός και οικονομικός, αλλά η ακρίβεια μεταφοράς πρέπει να αποδειχθεί με πρακτικές δοκιμές.

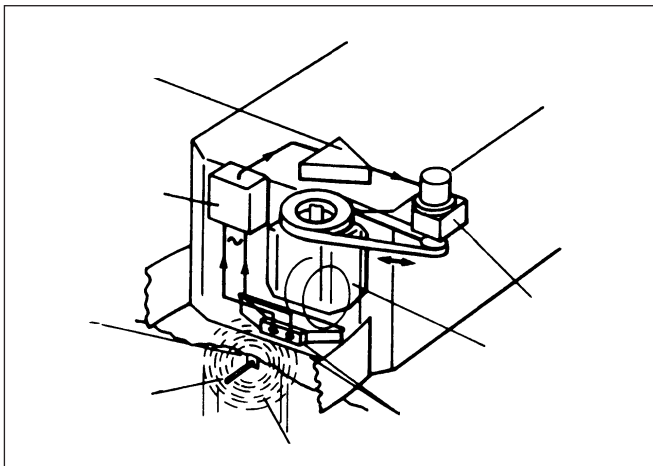
Ο δεύτερος μηχανισμός, βλ. σχήμα 2, είναι μηχανισμός ώσης-έλξης που τοποθετείται στο τραπέζι που περιγράφηκε παραπάνω και το οποίο ανεβαίνει και κατεβαίνει μέσω υδραυλικού συστήματος. Αυτή η λύση είναι πολύπλοκότερη και στην πράξη είναι πολλές φορές προβληματική η λειτουργία των ειδικών ηλεκτρομαγνητικών διατάξεων που χρησιμοποιεί για τη μετατόπιση παλετών.

Ο τρίτος μηχανισμός, βλ. σχήμα 3(β), είναι παραλλαγή του προηγούμενου. Ο σταθμός υποδοχής έχει σχήμα πετάλου και έτσι αποφεύγεται ο μηχανισμός ώσης-έλξης του ΟΑΠ. Η λύση αυτή προσφέρεται για την περίπτωση των σταθμών αποθήκευσης προϊόντων και παλετών, αλλά απαιτεί συμπληρωματικό εξοπλισμό για εξυπηρέτηση εργαλειομηχανών.

Η ακρίβεια τοποθέτησης του μηχανισμού φορτοεκφόρτωσης παλετών του ΟΑΠ σε σχέση με το σταθμό υποδοχής μπορεί να εξασφαλιστεί στη δεύτερη και τρίτη παραπάνω περίπτωση μέσω κωνικών προεξοχών στο σταθμό υποδοχής που συνεργάζονται με κωνικές κοιλότητες στα αντίστοιχα σημεία του μηχανισμού φορτοεκφόρτωσης, βλ. σχήμα 4.

3.3. Σύστημα ελέγχου ΟΑΠ

Το όχημα ακολουθεί για την πλοήγησή του ένα καλώδιο που βρίσκεται 5-10 εκ. κάτω από το έδαφος και στο οποίο κυκλοφορεί ρεύμα τάσης 40 V, έντασης περί τα 400 mA και συχνότητας 1-15 KHz [1]. Ένα ζευγάρι ειδικών πηνίων χρησιμοποιείται στο ΟΑΠ για τον εντοπισμό του καλωδίου, βλ. σχήμα 5. Η διαφορά των σημάτων από τα δύο πηνία είναι ανάλογη της διαφοράς της απόστασής τους από το καλώδιο και χρησιμοποιείται σε σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου.



Σχήμα 5: Αρχή αυτόματης πλοήγησης ΟΑΠ.

Figure 5: Automatic guidance principle.

Λύσεις αυτόνομης πλοήγησης χωρίς καλώδιο μέσω laser, υπερήχων, υπέρυθρης ακτινοβολίας κ.λπ. για τον εντοπισμό των αντικειμένων του περιβάλλοντος [2] κρίνονται εξωτικές και οικονομικά ασύμφορες, δεδομένου ότι οι διαδρομές, που εκτελεί το ΟΑΠ, είναι προκαθορισμένες και δεν προβλέπεται επέκταση του ΕΣΚ.

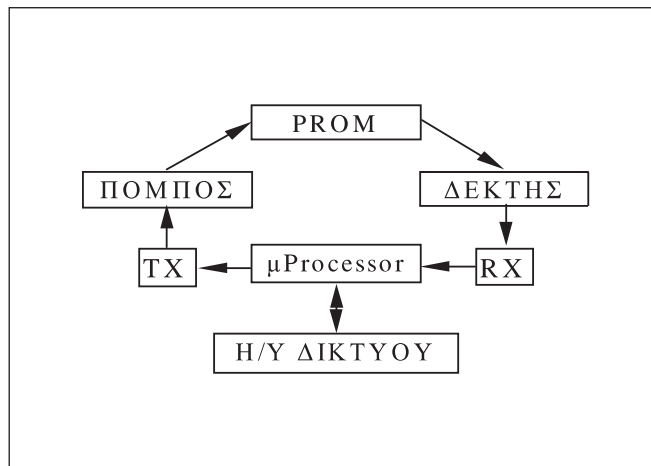
Από την άποψη του hardware του δικτύου, που είναι απαραίτητο για την αυτόματη πλοήγηση των ΟΑΠ, εφαρμόζεται η μέθοδος της “εκλογής συχνότητας”, όπου σε κάθε κλάδο που συγκλίνει σε έναν κόμβο του δικτύου κυκλοφορεί ρεύμα διαφορετικής συχνότητας έτσι, ώστε εκλογή ενός κλάδου προς κίνηση σημαίνει ουσιαστικά συντονισμό του ΟΑΠ σε αυτή τη συχνότητα. Εναλλακτικά, η μέθοδος “εκλογής κλάδου” συνίσταται στη διακοπή του ρεύματος όλων των κλάδων ενός κόμβου εκτός του τρέχοντος και του επομένου, μέσω ειδικής διάταξης εγκατεστημένης σε κάθε κλάδο. Η πρώτη μέθοδος είναι απλούστερη, άρα πιο αξιόπιστη, αλλά απαιτεί ξεχωριστή τροφοδοσία για κάθε συχνότητα.

Κατά τη διαδικασία ανταλλαγής παλετών μεταξύ ΟΑΠ και σταθμών του ΕΣΚ, κάθε παλέτα φέρει κωδικό αναγνώρισης είτε σε programmable read only memory (PROM) τσίπ, που διαβάζεται από τον μικροεπεξεργαστή του ΟΑΠ, είτε σε bar-code.

Η ορθότητα της θέσης του ΟΑΠ ελέγχεται από μικροδιακόπτες τοποθετημένους έτσι, ώστε να κλείνουν μετά από πίεση από κάποιο συγκεκριμένο σημείο του οχήματος. Με τον ίδιο τρόπο ελέγχεται και η παρουσία της παλέτας στη σωστή θέση.

3.4. Σύστημα επικοινωνίας

“Διακεκριμένη” επικοινωνία βασίζεται σε επαγωγικά ή οπτικά συστήματα. Επαγωγικά επικοινωνεί ένα ΟΑΠ, μόνο όταν βρίσκεται επάνω από ειδικούς βρόχους εμφυτευμένους στο δάπεδο, ο καθένας από τους οποίους έχει συγκεκριμένη



Σχήμα 6: Μέθοδος επικοινωνίας ΟΑΠ με κεντρικό H/Y.

Figure 6: Communication of AGV and central controller.

διεύθυνση - κωδικό. Αντίστοιχα λειτουργούν και συστήματα LED ή υπερύθρων. Η θέση, όμως, των σημείων επικοινωνίας επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Αυτό δεν συμβαίνει με τη μέθοδο της συνεχούς επικοινωνίας μέσω ραδιοσυχνοτήτων, η οποία όμως είναι ευαίσθητη σε ηλεκτρομαγνητικό “θόρυβο” παραγόμενο από μεγάλους κινητήρες, εξοπλισμό συγκολλήσεων κ.λπ., βλ. σχήμα 6.

Ο σταθμός υποδοχής και το ΟΑΠ, που σταθμεύει μπροστά του, επικοινωνούν βάσει πρωτοκόλλου που έχει συνήθως αναπτυχθεί από τον κατασκευαστή του οχήματος. Ένας δυνατός τρόπος υλοποίησης αυτού του πρωτοκόλλου είναι με χρήση μιας σειράς LED και φωτοκυττάρων στο όχημα και στο σταθμό υποδοχής.

Για την επικοινωνία του ΟΑΠ με το περιβάλλον του υιοθετήθηκαν μικροσκοπικά PROM με μνήμη συνήθως 1 Kb όπου αποθηκεύονται εύκολα οποιαδήποτε αλφαριθμητικά δεδομένα [4]. Όταν το PROM απέχει περίπου 1 m από ειδικό πομποδέκτη, ενεργοποιείται και ο κώδικας μεταδίδεται τελικά στο σύστημα ελέγχου. Τα PROMs μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορες θέσεις του δικτύου και ο πομποδέκτης στο όχημα. Αναγνωρίσιμες θέσεις μπορεί να σηματοδοτούν π.χ. την έναρξη επιβράδυνσης του οχήματος πριν από τη στάθμευση σε ένα σταθμό υποδοχής. Αυτή η τεχνολογία διευκολύνει την επέκταση του δικτύου.

4. ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

4.1. Σχεδίαση δικτύου

Η δυσκολία του προβλήματος έγκειται στο ότι δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων η πυκνότητα κυκλοφορίας μεταξύ διαφόρων σταθμών του ΕΣΚ και στο ότι εμπλέκεται και ο ταυτόχρονος καθορισμός αριθμού οχημάτων και αλγορίθμων ελέγχου κυκλοφορίας. Κατ’ αρχήν, η ύπαρξη εναλλακτικών διαδρομών μεταξύ σταθμών, η μικρή απόσταση του χώρου

φόρτισης μπαταριών και η θεώρηση της μέγιστης απαίτησης παραγωγής οδηγούν σε καλύτερα αποτελέσματα σχεδίασης [5].

Δίκτυο απλής φοράς κυκλοφορίας είναι ευκολότερο να ελεγχθεί από αυτό διπλής κυκλοφορίας, προκειμένου περί μεγάλου αριθμού ΟΑΠ. Για ένα έως τρία οχήματα, όμως, το δίκτυο διπλής κυκλοφορίας εν γένει προσφέρεται, γιατί απαιτεί λιγότερα ΟΑΠ για ίδια παραγωγικότητα με το απλής φοράς και έχει μικρότερο μήκος καλωδιώσεων [6].

Από όλους τους δυνατούς κλάδους X_{ij} που μπορεί να συνδέουν ανά δύο τους σταθμούς i, j ενός ΕΣΚ, για προφανείς λόγους οικονομίας και χώρου, μόνο λίγοι τελικά υλοποιούνται. Για τους κλάδους που υλοποιούνται $X_{ij}=1$, αλλιώς $X_{ij}=0$ [5]. Ένας τρόπος να βρεθούν αυτοί είναι η ελαχιστοποίηση μιας συνάρτησης “κόστους” αποτελούμενης από το άθροισμα πανομοιότυπων όρων για όλα τα ζεύγη κόμβων. Κάθε τέτοιος όρος είναι το γινόμενο της πυκνότητας κυκλοφορίας επί το μέσο μήκος των τεσσάρων συντομότερων δρόμων μεταξύ των δύο κόμβων. Η ελαχιστοποίηση γίνεται μέσω ευρετικού αλγορίθμου ή με λογισμικό γραμμικού προγραμματισμού.

4.2. Σύστημα ελέγχου δικτύου

Ο έλεγχος του δικτύου περιλαμβάνει έλεγχο κυκλοφορίας και καθορισμό αποστολής των ΟΑΠ.

Ο έλεγχος της κυκλοφορίας γίνεται με το χωρισμό του δικτύου σε ζώνες, όπου π.χ. κάθε ζώνη αποτελείται από έναν κλάδο. Ύπαρξη ενός ΟΑΠ σε μία ζώνη σημαίνει απαγόρευση εισόδου σε αυτή τη ζώνη οποιουδήποτε άλλου ΟΑΠ [2]. Ο έλεγχος της κυκλοφορίας μπορεί να γίνει είτε από τον κεντρικό υπολογιστή είτε από επιμέρους υπολογιστές που επιβλέπουν τμήματα του δικτύου. Για μικρό αριθμό οχημάτων προτιμάται ο κεντρικός έλεγχος [7].

Ανάθεση αποστολής σημαίνει επιλογή του κατάλληλου κενού οχήματος και της κατάλληλης κενής ή φορτωμένης παλέτας που αυτό θα παραλάβει προς μεταφορά. Ο καθορισμός αποστολής γίνεται σε κεντρικό υπολογιστή, ο οποίος τηρεί “χάρτη” του δικτύου ενημερωμένο ως προς τη θέση και την κατάσταση του κάθε ΟΑΠ [8]. Όταν ένα μόνο όχημα είναι διαθέσιμο και περισσότερες από μία παλέτες περιμένουν παραλαβή, οι ακόλουθοι κανόνες μπορούν να εφαρμοσθούν:

- παραλαβή τυχαίας παλέτας (Π1),
- παραλαβή της πλησιέστερης στο ΟΑΠ παλέτας (Π2),
- παραλαβή παλέτας από το σταθμό όπου περιμένουν οι περισσότερες παλέτες (Π3),
- παραλαβή της παλέτας με το μακρότερο χρόνο αναμονής (Π4),
- παραλαβή παλετών κατά σειρά χρόνου αναμονής ως ποσοστού του συνολικού χρόνου κατεργασίας (Π5),

- παραλαβή παλέτας κατά σειρά (εξωτερικά καθοριζόμενης) προτεραιότητας (Π6).

Αν περιμένει μόνο μία παλέτα και είναι διαθέσιμα περισσότερα οχήματα, η επιλογή οχήματος μπορεί να γίνει σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- επιλογή του ΟΑΠ με το μακρότερο χρόνο αναμονής (Ο1),
- επιλογή του πλησιέστερου στην παλέτα ΟΑΠ (Ο2),
- επιλογή του ΟΑΠ με το μεγαλύτερο συνολικό χρόνο αναμονής (κενό) (Ο3).

Με την εφαρμογή ενός ζεύγους από τις παραπάνω δύο κατηγορίες κανόνων υπάρχει πιθανότητα να φθάσει το σύστημα σε μορφή λειτουργικού αδιεξόδου, εάν:

- όλοι οι προσωρινοί χώροι αποθήκευσης είναι κατειλημμένοι,
- όλα τα ΟΑΠ μεταφέρουν παλέτες και οι χώροι αποθήκευσης είναι πλήρεις.

Ανάλογοι κανόνες διέπουν και τον καθορισμό προτεραιότητων διέλευσης οχημάτων συναντώμενων σε διασταυρώσεις - κόμβους του δικτύου [9].

4.3. Αξιολόγηση σχεδιασμού δικτύου

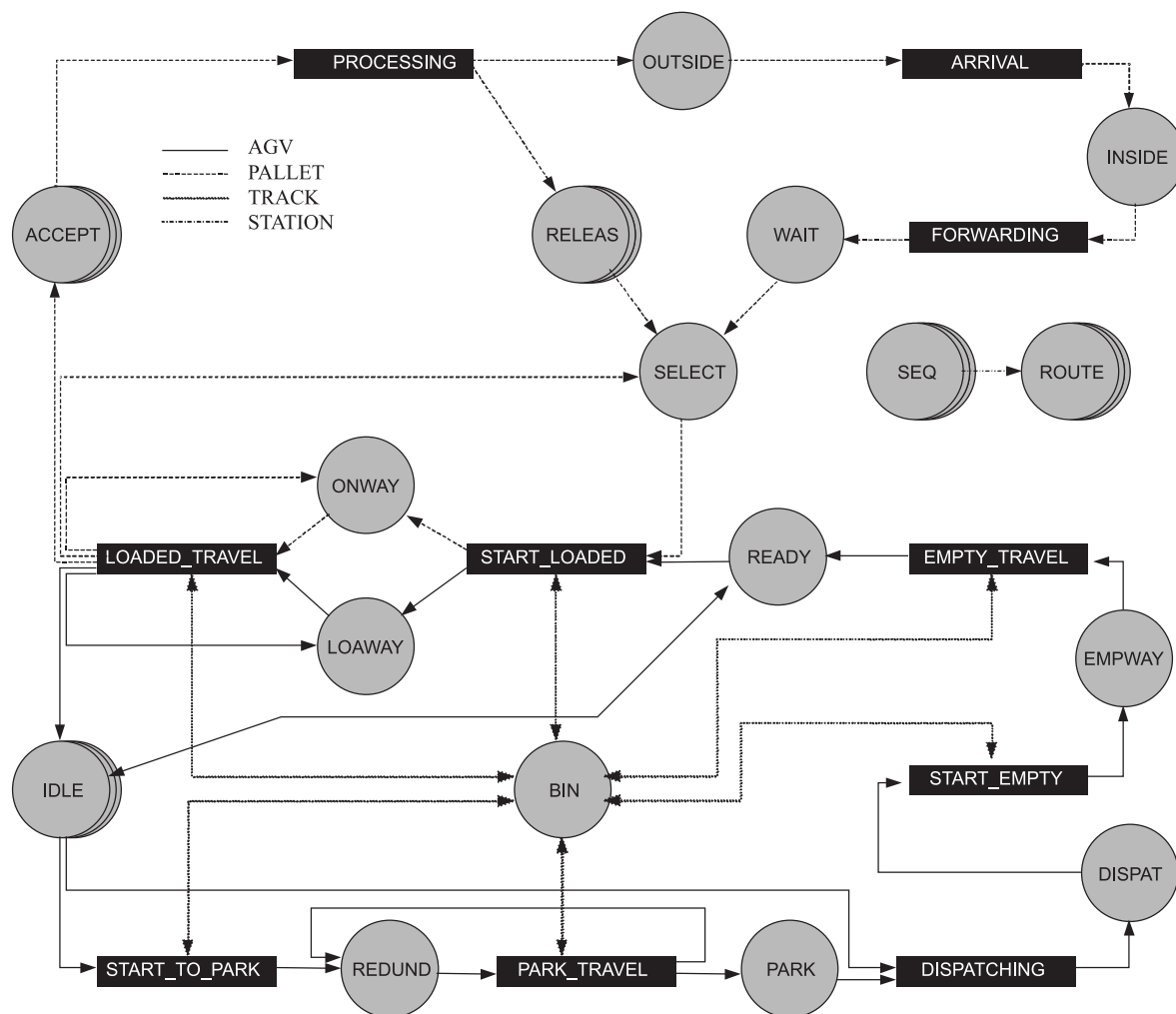
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο σχεδιασμός του δικτύου και η αξιολόγηση των αλγορίθμων ελέγχου - λειτουργίας του μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια προσομοίωσης.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας κατ' αρχήν δημιουργήθηκε ένα μοντέλο του συστήματος του σχήματος 1, με τη μορφή Διαγράμματος Κύκλων Δραστηριοτήτων (ΔΚΔ), βλ. σχήμα 7). Με βάση αυτό γράφτηκε κώδικας στη γλώσσα ECSL, ο οποίος εκτελέστηκε για διάφορες τιμές των κυρίων παραμέτρων-δεδομένων.

Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι φυσικά και λογικά. Φυσικά δεδομένα είναι η περιγραφή του δικτύου (κόμβοι, κλάδοι), χρόνοι κατεργασίας και φορτο-εκφόρτωσης (φασεολόγιο) κάθε προϊόντος, βλ. πίνακα 1, μίγμα προϊόντων, ταχύτητα των οχημάτων (εξετάστηκαν ταχύτητες 33, 50 και 100 cm/s) και αριθμός οχημάτων (1, 2 ή 3).

Λογικά δεδομένα είναι ο τύπος δικτύου (εξετάστηκαν μονοκατευθυντικός βρόχος με μέση απόσταση σταθμών 20.81 m, δικατευθυντική γραμμή με μέση απόσταση σταθμών 7.95 m και δικατευθυντικός βρόχος με μέση απόσταση σταθμών 9.61 m), κανόνες επιλογής παλέτας: (κανόνες Π6, Π4 και Π5, βλ. παράγρ. 4.2) και ΟΑΠ (κανόνας Ο1 με προτεραιότητα στα παρκαρισμένα οχήματα ή στα αναμένοντα σε σταθμό εργασίας, και κανόνες Ο2 και Ο3, βλ. παράγρ. 4.2), κανόνες διέλευσης διασταυρώσεων κ.λπ.

Τα κριτήρια αξιολόγησης των αποτελεσμάτων είναι το μήκος ουρών αναμονής, ο βαθμός χρησιμοποίησης των ΟΑΠ, των κλάδων του δικτύου και των σταθμών κατεργα-



Σχήμα 7: Διάγραμμα Κύκλων Δραστηριοτήτων του ΕΣΚ του σχήματος 1.

Figure 7: Activity Cycle Diagram of the FMS of figure 1.

Πίνακας 1: Δεδομένα μίγματος προϊόντων ΕΣΚ του σχήματος 1.

Table 1: Product mix data for FMS of figure 1.

Προϊόν 1		Προϊόν 2		Προϊόν 3	
Κατεργασία	min	Κατεργασία	min	Κατεργασία	min
Παλετοποίηση	3	Παλετοποίηση	3	Παλετοποίηση	3
Τόρνευση	11	Φρεζάρισμα	8	Φρεζάρισμα	9
Φρεζάρισμα	21	Τόρνευση	3	Καθαρισμός	3
Καθαρισμός	3	Καθαρισμός	3	Έλεγχος	7
Τόρνευση	7	Έλεγχος	7	Παλετοποίηση	3
Καθαρισμός	3	Παλετοποίηση	5	Αποθ. εξόδου	
Έλεγχος	4	Τόρνευση	7		
Παλετοποίηση	3	Φρεζάρισμα	8		
Αποθ. Εξόδου		Καθαρισμός	3		
		Έλεγχος	7		
		Παλετοποίηση	3		
		Αποθ. εξόδου			

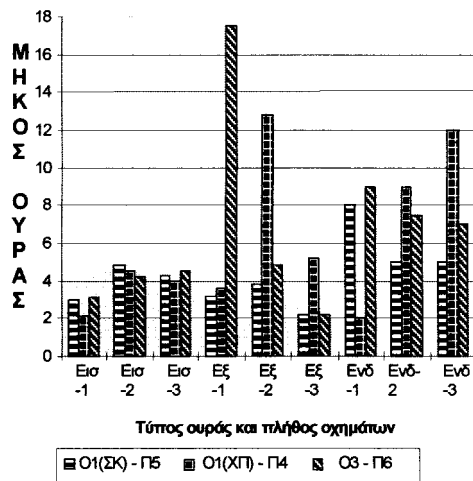
σίας του ΕΣΚ, ο χρόνος απαγόρευσης της πρόσβασης σε κάθε κλάδο του δικτύου και κυρίως η παραγωγικότητα του ΕΣΚ.

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τα αποτελέσματα έξι δοκιμών προσομοίωσης για μίγμα τριών προϊόντων με το ίδιο μέγεθος παρτίδας και με φασεολόγια που φαίνονται στον πίνακα 1, για διάρκεια λειτουργίας ΕΣΚ 8 ώρες με εισαγωγή ακατέργαστων υλικών στο σύστημα σύμφωνα με κατανομή Poisson στα πρώτα 20 λεπτά του 8ώρου και με πολιτική επιλογής ΟΑΠ αυτή της ελάχιστης απόστασης. Φαίνεται καθαρά ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές όσον αφορά στο βαθμό χρησιμοποίησης και την παραγωγικότητα του ΕΣΚ. Διαφορές παρατηρούνται κυρίως στο μέσο μήκος ουρών αναμονής πριν και μετά από κάθε σταθμό του ΕΣΚ. Η λύση του ενός ΟΑΠ δημιουργεί ανάγκη 2 θέσεων αποθήκευσης, ενώ η λύση των δύο ΟΑΠ απαιτεί 4-5 τέτοιες θέσεις κατά μέσο όρο.

Πίνακας 2: Παραδείγματα αποτελεσμάτων εξομοίωσης του συστήματος ΕΣΚ-ΟΑΠ.

Table 2: Sample FMS-AGV system simulation results.

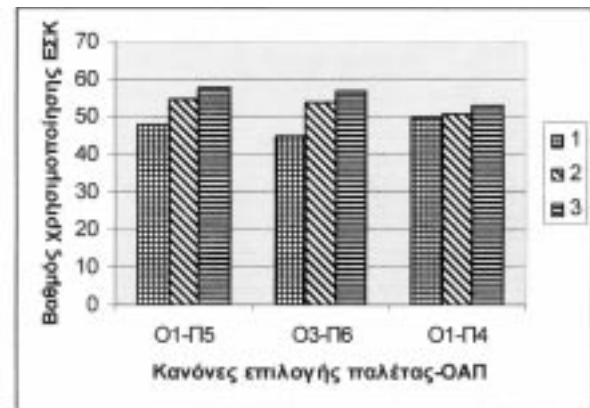
	Βαθμός χρησιμοποίησης ΕΣΚ (%)			Έξοδος ΕΣΚ (κομμάτια / 8ωρο)			Βαθμός χρησιμοποίησης ΟΑΠ (%)			Μέσο μήκος ουρών εισόδου (κομμάτια)			Μέσο μήκος ουρών εξόδου (κομμάτια)		
	33	50	100	33	50	100	33	50	100	33	50	100	33	50	100
Ταχύτητα															
1 ΟΑΠ	52	55	56	19	20	20	84	82	75	1.65	2.18	2.78	1.78	2.33	2.04
2 ΟΑΠ	55	56	56	19	20	20	49	42	47	3.12	3.28	3.40	3.48	3.48	4.67



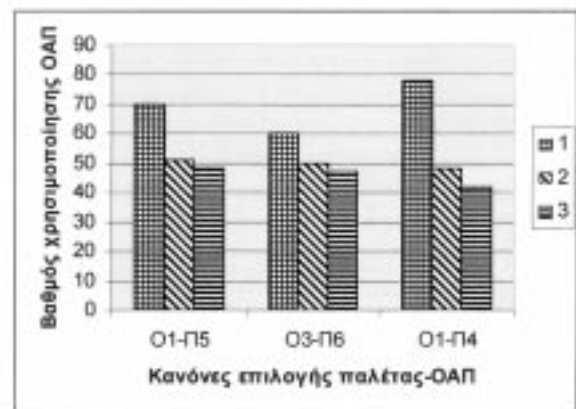
Σχήμα 8: Επίδραση πολιτικής επιλογής οχήματος - παλέτας.

Figure 8: Influence of AGV and pallet allocation policy.

Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται η επίδραση της πολιτικής επιλογής ΟΑΠ και παλέτας στο μήκος ουρών αναμονής πριν από κάθε σταθμό κατεργασίας, μετά από κάθε σταθμό κατεργασίας και στο σταθμό ενδιάμεσης αποθήκευσης για τρεις περιπτώσεις που κρίθηκαν πρακτικές και εξετάστηκαν επισταμένα: ένα ΟΑΠ σε δικατευθυντική γραμμή, δύο ΟΑΠ σε δικατευθυντικό βρόχο και τρία ΟΑΠ σε μονοκατευθυντικό βρόχο. Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται για τις ίδιες τρεις περιπτώσεις η επίδραση στο βαθμό χρησιμοποίησης των ΟΑΠ και των σταθμών κατεργασίας του ΕΣΚ. Συμπεραίνεται ότι η απόδοση του δικτύου εξαρτάται πολύ από την πολιτική επιλογής οχήματος και παλέτας που θα υιοθετηθεί. Τα παραπάνω ισχύουν για ένα συγκεκριμένο μίγμα προϊόντων με χρόνους κατεργασίας και διαχείρισης που φαίνονται στον πίνακα 1. Για αυτές τις συνθήκες ένα όχημα ταχύτητας 50 cm/sec αρκεί για πολιτική επιλογής ΟΑΠ FIFO και παλέτας σύμφωνα με τον απομένοντα χρόνο κατεργασίας. Επειδή όμως αυτό το όχημα έχει βαθμό χρησιμοποίησης 78%, για να καλυφθεί η περίπτωση μεταβολής του μίγματος των προϊόντων, επιλέγεται εναλλακτικά η λύση των δύο ΟΑΠ με αντίστοιχα αποτελέσματα αλλά με μεγαλύτερες μελλοντικές δυνατότητες.



(α)



(β)

Σχήμα 9: Παραγωγή ΕΣΚ για 1, 2, 3 ΟΑΠ σε δικατευθυντική γραμμή, δικατευθυντικό βρόχο και μονοκατευθυντικό βρόχο.

Figure 9: FMS output for 1, 2 and 3 AGVs in bidirectional line, bidirectional loop and uni-directional loop layout.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη του συγκεκριμένου ΕΣΚ του UMIST έδειξε τα ακόλουθα:

- Η σχεδίαση ενός δικτύου ΟΑΠ για ένα ΕΣΚ απαιτεί, εκτός της πλήρους περιγραφής του ΕΣΚ, και λεπτομερειακή γνώση του είδους και της ποσότητας των αντικειμένων που κατεργάζεται το ΕΣΚ.
- Ο τύπος ΟΑΠ που προτείνεται είναι μοναδιαίου φορτίου

με δικό του μικροεπεξεργαστή και προηγμένα συστήματα ασφαλείας με υπερήχους.

- Το δίκτυο προτείνεται να είναι γραμμή διπλής κατεύθυνσης για 1 ΟΑΠ ή βρόχος διπλής κατεύθυνσης για 2 ΟΑΠ.
- Προτείνονται τρεις μηχανισμοί φορτοεκφόρτωσης παλετών φερόμενοι επί του ΟΑΠ με ακρίβεια στάθμευσης του ΟΑΠ επιτεύξιμη μέσω συστήματος κώνων επί του εδάφους.
- Η αυτόματη πλοήγηση θα στηρίζεται στη μέθοδο της επιλογής συχνότητας.
- Έλεγχος της κυκλοφορίας γίνεται με χωρισμό του δικτύου σε ζώνες από κεντρικό υπολογιστή σε συνεργασία με το μικροεπεξεργαστή του ΟΑΠ.
- Η επικοινωνία κεντρικού υπολογιστή και μικροεπεξεργαστή του ΟΑΠ είναι προτιμότερο να είναι συνεχής με ραδιοσυχνότητες, εάν οι παρεμβολές είναι χαμηλές.

Οι αλγόριθμοι ελέγχου του συστήματος αξιολογήθηκαν μέσω προσομοίωσης. Έτσι βελτιστοποιείται και η λειτουργία του ΕΣΚ, αλλά σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα ισχύουν μόνο για ένα ορισμένο μείγμα προϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Premi S. and Besant C., "A review of various guidance techniques that can be used by mobile robots or AGVs", **Proc. of the 2nd International Conference on AGVS**, 1983, Stuttgart, IFS Publications, p. 195.
2. Koff G., "Automatic guided vehicle systems: applications, control and planning", **Material Flow**, vol. 4, 1987, p. 3.
3. Larcombe M., "Tracking stability of wire guided vehicles", **Proceedings of the 1st International Conference on AGVS**, 1981, Stratford-upon-Avon, IFS Publications, p. 137.
4. Mc Ellin P., "AGV design for FMS", **Proceedings of the 3rd International Conference on AGVS**, 1985, Stockholm, IFS Publications, p. 345.
5. De Guzman M.C., Prabhu N. and Tanchoco J.M.A., "Complexity of the AGV shortest path and single-loop guide path layout problems", **International Journal of Production Research**, vol. 35, no 8, 1997, p. 2083.
6. Majety S.V. and Wang M.H., "Terminal location and guide path design in terminal based AGV systems", **International Journal of Production Research**, vol. 33, no 7, 1995, p. 1925.
7. Mantel R.J. and Landeveerd H.R.A., "Design and operational control of an AGV system", **International Journal of Production Economics**, vol. 41, no 1-3, 1995, p. 257.
8. Klein C.M. and Kim J., "AGV dispatching", **International Journal of Production Research**, vol. 34, no 1, 1996, p. 95.
9. Vosniakos G. and Davies B.J., "On the path layout and operation of an AGV system serving an FMS", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, vol. 4, 1989, p. 243.

Extended summary

Integration of an Automatically Guided Vehicle System into a Flexible Manufacturing System

G.-C. VOSNIAKOS

Assistant Professor, N.T.U.A.

Abstract

This work draws on a survey of technology applied when installing Automated Guided Vehicle (AGV) systems to meet transportation requirements in a flexible manufacturing system (FMS). Based on that, a study is made of the installation of an AGV system in a particular FMS. Possible solutions are described for problems relating to layout design, selecting and designing the proper loading / unloading mechanism on the AGV and to ensuring parking accuracy, to the vehicle's navigation requirements, to flow path design, to communication between AGV and central supervisory computer-controller and to evaluation of the design through a simulation program written in the ECSL language. The latter suggests a bi-directional line layout for one vehicle or a bi-directional loop layout for a two vehicle installation using the criterion of maximum FMS throughput and capacity of intermediate storage buffers. The solution is based on a particular product mix; an additional influence stems from part-pallet scheduling and vehicle dispatching policies.

1. INTRODUCTION

AGVs are the most advanced means of transport in Flexible Manufacturing Systems. They cover transport of the following items [2], [12], [14]: raw material, pallets and fixtures, semi-finished palletised parts, tools, finished parts, chip and maintenance material. This work presents design solutions for both vehicle and system-network for a small FMS which has been installed at UMIST in Britain. The system is meant to produce small prismatic and rotational parts and contains a machining centre, a turning centre, a coordinate measuring machine, a washing station, an intermediate storage station and a palletising-depalletising station which is the only manned station, see fig. 1.

2. AGV DESIGN

Wheel location is important for vehicle stability and control system stability. The best solution is two independently DC powered side wheels complemented by two multi-directional wheels at the front and rear. The AGV is stopped in the

case of emergency through sheet metal or solid elastic bumpers equipped with micro-switches complemented by infrared or ultrasound scanners [1].

The pallet loading-unloading mechanism of the AGV conforms to the type of pallet targeted. Three alternatives are presented [7] of which the most versatile is a push-pull linkage mounted on a lowering-lifting table, see fig. 2. A variation is shown in fig. 3(b). Positioning precision of this mechanism in front of an FMS station is ensured through metal cones on the ground and their counterparts on the vehicle, see fig. 4.

The vehicle follows a wire buried in the ground conducting current of 40V, 400 mA and 1-15 KHz. A pair of detective inductors is used on the vehicle for tracking purposes, see fig. 5.

Selection of the branch to be followed at a junction is best based on frequency tuning. This is reliable, but needs a different frequency for each branch of the junction, i.e. more than one power supply [1].

Communication of the AGV with the central controller can be continuous through radio-frequencies, see fig. 6, provided that interference from large motors, welding equipment etc. is eliminated.

3. SYSTEM DESIGN

From all possible branches X_{ij} joining two nodes i, j of the FMS only a few are implemented. For those $X_{ij}=1$ otherwise $X_{ij}=0$ [8]. One way to find those branches is to formulate a cost function as a sum of terms for all pairs of nodes. Each term is the product of density of traffic flow and the mean length of the four shortest paths between the pair of nodes. Minimisation uses heuristics.

Traffic control is based on division of the network into zones. If an AGV is moving within a zone, no other AGV is allowed to enter that zone. Traffic control for a system of few vehicles is best "centralised".

Vehicle and pallet dispatching is critical to the control of the system. This uses a "map" of the network. The following

rules can be applied for pallet selection : randomly, closest pallet, selection from busiest station, longest waiting pallet either absolutely or relative to processing time, selection according to external priorities. For AGV selection the following rules apply: random selection, closest AGV to pallet, longest waiting AGV.

A special algorithm to avoid vehicle interference at junctions has been developed, including automatic selection of alternative shortest paths.

4. SIMULATION

System design cannot be concluded without simulation tests. For this purpose an Activity Cycle diagram of the FMS was designed, see fig. 7, and then implemented in ECSL. The data used concern network description, process plan of each product, see table 1, product mix. Parameters studied were vehicle number and velocity, type of layout (bi-directional line, bi-directional loop, unidirectional loop), AGV and pallet dispatching rules (see section 3).

Results were evaluated according to the mean length of input, output and intermediate storage queues, utilisation of the FMS, of the AGVs and of the network branches, total blockage time of branches and FMS output. Table 2 presents sample results for an equal mix of the three products of table 1 for simulation duration of 8 hrs. The vehicle selection rule used was that of shortest distance. No spectacular differences were noted in FMS output and utilisation. The main differences related to storage queue length and this made the one vehicle case in bi-directional line layout the best one. Fig. 8

depicts the great sensitivity of results to AGV and pallet selection-dispatching rules.

A velocity of 50 cm/sec was sufficient for either one or two AGVs with the FIFO rule for AGV selection and the highest remaining processing time for pallet selection. Two AGVs were preferred in view of potential changes in product mix and the associated need for spare capacity.

5. CONCLUSIONS

A unit load AGV with an on-board push-pull and lift-lower palletiser mechanism with precision docking cones is suggested.

Communication should be continuous and based on radio-frequencies. Micro-switches, LED arrays and PROMs complete the communication system.

Traffic control is based on zones supervised by a central computer. Navigation employs shortest path and segment blockage detection algorithms.

Dispatching rules were found by a custom developed simulation program in ECSL to be a major influence on the output of the FMS.

For a certain product mix, shortest distance and highest remaining processing time rules for AGV and pallet selection are consistently good choices.

Path layout should be bi-directional for either one AGV or (if expansion potential is considered) two AGVs.