



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ 2014-2020
ΕΥΔ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
Επενδυτικά Σχέδια Καινοτομίας
Κωδικός πράξης: KMP6-0083129
Κωδικός MIS: 5136571

Δικαιούχος: ΑΔΕΛΦΟΙ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΟΥΡΤΙΔΗ, ΕΛΚΕ – ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ

«Βελτιστοποίηση τοποθέτησης και καταμέτρησης εμπορευμάτων σε μεγάλους βιομηχανικούς χώρους με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών»

Τίτλος Πράξης (Αγγλικά) Optimization of placement and counting products in large industrial areas using UAV

Παραδοτέο

Π3.1 Μέθοδος αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων

Αρ. Παραδοτέου	Π3.1
Ενότητα Εργασίας	ΕΕ3. Ανάπτυξη μεθόδων αυτόματης καταμέτρησης και βέλτιστης τοποθέτησης βιομηχανικών προϊόντων
Υπεύθυνος Φορέας ΕΕ3 / Π3	Αδελφοί Γεωργίου Κουρτίδη - ΔΙ.ΠΑ.Ε.
Είδος Παραδοτέου	Τεχνική Αναφορά
Παράδοση	Δεκέμβριος 2023
Σύντομη Περιγραφή Ενότητας	Πραγματοποίηση δοκιμαστικών πτήσεων για διαμόρφωση των ΣμηΕΑ και τη συλλογή δεδομένων, ανάπτυξη μεθόδων για την καταγραφή θέσης και ποσότητας προϊόντων, ανάπτυξη μεθόδων βέλτιστης τοποθέτησης προϊόντων, πρόγραμμα σε ελεύθερο λογισμικό.
Έναρξη Προγράμματος, Λήξη	Οκτώβριος 2021, Δεκέμβριος 2024
Φορείς	ΑΔΕΛΦΟΙ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΟΥΡΤΙΔΗ, ΕΛΚΕ – ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



Λίστα συγγραφέων:

#	Όνοματεπώνυμο	Φορέας	email
1	Γεώργιος Κουρτίδης	ΝΕΚΤΑΡ	info@nektar.gr
2	Γεώργιος Κουρτίδης	ΝΕΚΤΑΡ	info@nektar.gr
3	Ειρήνη Κουρτίδου	ΝΕΚΤΑΡ	info@nektar.gr
4	Αναστάσιος Βαζικόγλου	ΝΕΚΤΑΡ	info@nektar.gr
5	Δημήτριος Βαρσάμης	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	dvarsam@ihu.gr
6	Αλκιβιάδης Τσιμπίρης	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	atsimpiris@ihu.gr
7	Κωνσταντίνος Χειλάς	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	chilas@ihu.gr
8	Πάρις Μαστοροκώστας	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	mast@uniwa.gr
9	Δημήτριος Μάνος	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	dmanos@ihu.gr
10	Ιορδάνης Ζιώγας	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	ziogasi@ihu.gr
11	Ηλίας Πανταζής	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	hpant@ihu.gr

Επιμέλεια εγγράφου:

#	Όνοματεπώνυμο	Φορέας	email
	Γεώργιος Κουρτίδης	ΝΕΚΤΑΡ	info@nektar.gr
	Δημήτριος Βαρσάμης	ΔΙ.ΠΑ.Ε.	dvarsam@ihu.gr



Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
1. Περίληψη έργου	4
2. Περίληψη Ενότητας Εργασίας 3 (ΕΕ3).....	5
3. Αρχική Μέθοδος αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων.....	6
Μεθοδολογία	6
Εισαγωγή	6
Μέθοδος ωμής βίας (brute force).....	7
Μελέτη χρονικής πολυπλοκότητας.....	12
Συμπεράσματα - Μελλοντική έρευνα.....	13
Αναφορές	14
4. Τελική Μέθοδος αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων	15
Εισαγωγή	15
Μεθοδολογία	15
Σύστημα Ελέγχου και Πλοήγησης UAV	15
Σάρωση Αποθήκης με Τεχνολογία LiDAR.....	16
Αλγόριθμος Ανίχνευσης και Σάρωσης Αποθεμάτων.....	21
Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	21
Συμπεράσματα	22
5. Κατάλογος όρων και συντομογραφιών.....	22



1. Περίληψη έργου

Ο σκοπός του παρόντος έργου είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού συστήματος με στόχο την βέλτιστη τοποθέτηση εμπορευματοκιβωτίων σε μεγάλους βιομηχανικούς χώρους. Για την επίτευξη του αρχικά, θα δημιουργηθεί μία κεντρική σχεσιακή βάση δεδομένων η οποία θα ενοποιεί δεδομένα από διαφορετικές πηγές και χρονικές στιγμές, της επιχείρησης. Έπειτα, θα γίνει καθορισμός των απαιτήσεων και μεθόδων για την ανάλυση των δεδομένων της βάσης μέσω της σκιαγράφησης ενός γενικότερου προτύπου εκτέλεσης όλων των διαδικασιών παραγωγής. Η αποθήκη δεδομένων (warehouse), θα λειτουργήσει ως βάση για την ανάπτυξη και εφαρμογή αλγορίθμων που έχουν ως στόχο την εξαγωγή και παρουσίαση Business Analytics υπό μορφή γραφημάτων, πινάκων και δεικτών.

Ακολούθως, θα πραγματοποιηθούν δοκιμαστικές πτήσεις των ειδικών για το έργο ΣμηΕΑ, πρωτίστως για την διαμόρφωσή τους και εν συνεχεία για την καταγραφή της θέσης και της διαθέσιμης ποσότητας του κάθε προϊόντος. Με βάση τα δεδομένα αυτά, θα αναπτυχθούν υπολογιστικές μέθοδοι οι οποίες θα είναι σε θέση να εντοπίζουν το ζητούμενο προϊόν και να υπολογίζουν την διαθεσιμότητά του. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, αλλά και με χρήση business analytics, προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με την ζήτηση και την αναγκαία επάρκεια των προϊόντων.

Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί μία ειδική μέθοδος βελτιστοποίησης η οποία με δεδομένα όλα τα παραπάνω στοχεύει στην βέλτιστη τοποθέτηση των παραγόμενων προϊόντων στην αποθήκη με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Τέλος, θα αναπτυχθεί ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα το οποίο θα εκτελεί αυτόματη καταμέτρηση της αποθήκης και θα προτείνει την βέλτιστη τοποθέτηση προϊόντων βάση προδιαγραφών που θα δίνονται από τον χρήστη. Το σύστημα αυτό, γίνεται πράξη μέσω της ανάπτυξης ολοκληρωμένης πλατφόρμας αλλά και εφαρμογής για έξυπνες κινητές συσκευές, με τη βοήθεια της οποίας οι εργαζόμενοι της επιχείρησης θα μπορούν να έχουν εικόνα της αποθήκης προϊόντων κάθε στιγμή καθώς και την δυνατότητα μετάδοσης της εικόνας αυτής μεταξύ συνεργατών μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή κινητής τηλεφωνίας για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής επικοινωνίας και συνεργασίας αυτών.

Το έργο λοιπόν, υποβοηθώντας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, θα συνδράμει σημαντικά στη μείωση των εξόδων της εταιρίας, θα μειώσει τον φόρτο εργασίας των εργαζομένων απαλλάσσοντάς τους από τετριμμένες διαδικασίες και θα καταστήσει την επιχείρηση ιδιαίτερα ανταγωνιστική στον χώρο της παραγωγής. Επιπρόσθετα, η αξία ενός τέτοιου προϊόντος δεν περιορίζεται μόνο στο λειτουργικό του κομμάτι αλλά εστιάζεται και στο εμπορικό, καθιστώντας την επιχείρηση που το διαθέτει άκρως ανταγωνιστική στην αγορά εργασίας, καθώς μία τέτοια εφαρμογή προσδίδει υπεραξία στην επιχείρηση αν επιλεγεί η εμπορική της εκμετάλλευσή της.

Το έργο αποτελείται από έξι επιμέρους ενότητες εργασίας, η ολοκλήρωση των οποίων θα οδηγήσει στην επίτευξη του έργου. Οι ενότητες αυτές είναι:

- ΕΕ1 Σχεδίαση υλοποίησης έργου
- ΕΕ2 Ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων οργάνωσης δεδομένων



- ΕΕ3 Ανάπτυξη μεθόδων αυτόματης καταμέτρησης και βέλτιστης τοποθέτησης βιομηχανικών προϊόντων
- ΕΕ4 Ανάπτυξη διαδικτυακής πλατφόρμας και εφαρμογής σε έξυπνες κινητές συσκευές
- ΕΕ5 Πιλοτική λειτουργία και αξιολόγηση ολοκληρωμένου συστήματος
- ΕΕ6 Υποστήριξη έργου

2. Περίληψη Ενότητας Εργασίας 3 (ΕΕ3)

Κατά τη διάρκεια της ΕΕ3 θα πραγματοποιηθούν δοκιμαστικές πτήσεις για την βέλτιστη διαμόρφωση των ΣμηΕΑ. Παράλληλα, με βάση τα δεδομένα που θα συλλεχθούν, θα αναζητηθούν μέθοδοι και παραμετροποιήσεις έτσι ώστε να πραγματοποιείται σωστή καταγραφή των προϊόντων ως προς την θέση τους και ως προς την ποσότητα τους. Θα αναπτυχθούν εξειδικευμένες υπολογιστικές μέθοδοι οι οποίες με βάση τα δεδομένα που θα συλλέγουν τα ΣμηΕΑ, θα εντοπίζουν το προϊόν, τη θέση του και θα καταμετρούν την ποσότητα ανά θέση και ανά προϊόν. Με βάση τις πληροφορίες από την αποθήκη δεδομένων και τα αποτελέσματα των υπολογιστικών μεθόδων, θα αναπτυχθεί μια ειδική μέθοδος βελτιστοποίησης η οποία έχει σκοπό τη βέλτιστη τοποθέτηση των παραγόμενων προϊόντων στην αποθήκη με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές, για παράδειγμα με βάση τις αναμενόμενες πωλήσεις, τους διαθέσιμους πόρους κ.α.

Παραδοτέα:

- Π3.1 Μέθοδος αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων
- Π3.2 Μέθοδος βέλτιστης τοποθέτησης παραγόμενων βιομηχανικών προϊόντων
- Π3.3 Πρόγραμμα σε ελεύθερο λογισμικό (π.χ. Python) αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων
- Π3.4 Πρόγραμμα σε ελεύθερο λογισμικό (π.χ. Python) βέλτιστης τοποθέτησης παραγόμενων βιομηχανικών προϊόντων



3. Αρχική Μέθοδος αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων

Κατά την μέθοδο αυτόματης καταμέτρησης των βιομηχανικών προϊόντων, βασική προϋπόθεση είναι η αποτύπωση της τοπολογίας της αποθήκης, όπου η τοποθέτηση των εν λόγω προϊόντων είναι προκαθορισμένη. Επιπρόσθετα, θεωρούμε δεδομένες τις διαστάσεις (Υψος-Πλάτος-Μήκος) των παλετών συσκευασίας αλλά και αυτές των δοχείων συσκευασίας. Η διαδικασία θα ξεκινάει με την έναρξη της πτήσης του ΣμηΕΑ, σε προσχεδιασμένη πτήση πάνω από τα κεντρικά σημεία των στοιβαγμένων παλετών. Με την βοήθεια του ενσωματωμένου συστήματος LIDAR θα πραγματοποιούνται μετρήσεις και θα αποτυπώνονται οι εκάστοτε αποστάσεις από τα κεντρικά σημεία των παλετών σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας τις απαραίτητες πληροφορίες στο ολοκληρωμένο σύστημα. Μετά από αλγοριθμικές αναλύσεις που θα λαμβάνουν χώρα θα πραγματοποιείται κανονικοποίηση των δεδομένων και με βάση αυτά θα αναπτύσσονται υπολογιστικές μέθοδοι οποίες θα είναι σε θέση να εντοπίζουν το ζητούμενο προϊόν και να υπολογίζουν την διαθεσιμότητά του. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, αλλά και με χρήση business analytics, θα προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με την ζήτηση και την αναγκαία επάρκεια των προϊόντων.

Στην περίπτωση που οι διαστάσεις των συσκευασιών των βιομηχανικών προϊόντων διαφέρουν, με την ίδια μέθοδο, στην οποία θα λαμβάνονται υπόψη οι εν λόγω οι διαστάσεις οι οποίες θα έχουν καταχωρηθεί στο ολοκληρωμένο σύστημα, πέρα από την αυτόματη καταμέτρηση τους θα πραγματοποιείται και αναγνώριση ανά είδος.

Μεθοδολογία

Η καταμέτρηση προϊόντων σε έναν υπαίθριο ή στεγασμένο αποθηκευτικό χώρο βασίζεται στην εκ των προτέρων γνώση των διαστάσεων της παλέτας. Τα δεδομένα εισόδου είναι ένα νέφος τρισδιάστατων σημείων τα οποία δημιουργούνται από τρισδιάστατους σαρωτές (LIDAR) προσαρμοσμένους σε εναέρια μέσα (drones). Για τους σκοπούς της έρευνας έχει υλοποιηθεί ένας προσομοιωτής αποθήκης στην γλώσσα python (έκδοση 3.9). Στην πρώτη φάση της έρευνας εξετάζεται η ιδανική περίπτωση διασποράς των σημείων στο χώρο με ακέραιες τιμές συντεταγμένων και με μία μονάδα μήκους να αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών pixels κατά την οριζόντια ή κατακόρυφη διεύθυνση. Σε επόμενο στάδιο της έρευνας θα τροποποιηθεί ο γεννήτορας τρισδιάστατων σημείων ώστε να παράγονται πιο ρεαλιστικά μοντέλα αποθήκης και θα προταθούν βελτιωμένες εκδόσεις των υφιστάμενων αλγορίθμων που να λαμβάνουν υπόψη τις διακυμάνσεις του ύψους.

Εισαγωγή

Η εισαγωγή των τεχνολογιών αυτοματισμού στους χώρους αποθήκευσης διαφόρων προϊόντων κρίνεται σήμερα απαραίτητη, προκειμένου η λειτουργία και οργάνωση των χώρων αποθήκευσης να είναι εύρυθμη και αποτελεσματική. Η σημασία της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών αυτοματισμού είναι ιδιαίτερα μεγάλη, ειδικά στη σύγχρονη εποχή της παγκοσμιοποίησης, καθώς υπάρχουν πολυάριθμες πολυεθνικές εταιρίες με ευρεία προϊόντων κάθε μορφής, οι οποίες



απαιτείται να ελέγχουν και να οργανώνουν τις αποθήκες διανομής τους με τον πλέον σύγχρονο και επωφελή για αυτές τρόπο, ο οποίος επιτυγχάνεται με την αξιοποίηση της τεχνολογίας στο έπακρο.

Η αυτοματοποιημένη δημιουργία δεδομένων και εξαγωγή γνώσης από χώρους αποθήκευσης απασχολεί εκτενώς την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Η ραγδαία ανάπτυξη των εναέριων μέσων (drones) σε συνδυασμό με το σχετικά χαμηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας τους συμβάλει σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση. Στην εργασία των Vergouw B. et. al. [1] περιγράφονται οι διαφορετικοί τύποι των εναέριων μέσων και γίνεται μία κατηγοριοποίησή τους με βάση το μέγεθός τους, το βάρος τους και την κατανάλωση ενέργειας ώστε να γίνει η σωστή επιλογή σε κάθε περίπτωση χρήσης.

Οι H.R. Everett et. al. [2] περιγράφουν με επιτυχία τον ταυτόχρονο έλεγχο πολλών ρομπότ αυτόνομης πλοήγησης σε περιβάλλον βιομηχανικής αποθήκης.

Οι Arango C, Morales CA. [3] προτείνουν μία μέθοδο υπολογισμού του όγκου ενός αποθηκευμένου υλικού το οποίο είναι ατάκτως διασκορπισμένο στον χώρο της αποθήκης.

Οι Mokroš M. et. al. [4] χρησιμοποιούν μία συσκευή GNSS προσαρμοσμένη σε μη επανδρωμένο εναέριο όχημα για την εκτίμηση του όγκου τεσσάρων πασσάλων από ροκανίδια με την χρήση αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας.

Οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις απαιτούν αρχικά την λήψη των δεδομένων και σε δεύτερο χρόνο την επεξεργασία τους για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στην παρούσα εργασία επικεντρωνόμαστε στην απλοποίηση των αλγοριθμικών μεθόδων, όχι όμως σε βάρος της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, ώστε να μειωθεί η υπολογιστική τους πολυπλοκότητα και να είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο. Η συλλογή των δεδομένων γίνεται με αισθητές LIDAR (Light Detection And Ranging) προσαρμοσμένους σε εναέρια μέσα (UAV - Unmanned Aerial Vehicle).

Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται σε θεωρητικό επίπεδο η μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων και όχι η μεθοδολογία συλλογής και μοντελοποίησης αυτών. Θέματα σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές των αισθητήρων και των εναέριων μέσων και της εύρεσης των βέλτιστων συχνοτήτων δειγματοληψίας και ταχύτητας πτήσης θα μας απασχολήσουν σε μελλοντική έρευνα.

Μέθοδος ωμής βίας (brute force)

Η μέθοδος της ωμής βίας [5] ασχολείται εξαντλητικά με όλα τα σημεία του χώρου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διάταξη αυτών κατά γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Έτσι γίνεται αναγωγή των σημείων του χώρου σε ένα είδος δισδιάστατου πλέγματος στο οποίο ο αριθμός γραμμής ενός κελιού αντιστοιχεί στην x συνιστώσα του σημείου, ο αριθμός στήλης στην y συνιστώσα και η τιμή του κελιού στην z συνιστώσα. Σε συνθήκες προσομοίωσης οι τιμές των συνιστωσών είναι ακέραιοι αριθμοί.

Έστω $P = \{\hat{p}_1, \hat{p}_2 \dots \hat{p}_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο τρισδιάστατων διανυσμάτων, όπου κάθε διάνυσμα αντιστοιχεί σε ένα σημείο του νέφους με $\hat{p}_i = (x_i, y_i, z_i)$. Αρχικά δημιουργούνται δύο διατεταγμένα σύνολα X, Y των διακριτών τιμών των συνιστωσών x και y αντίστοιχα. Η δημιουργία τους γίνεται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα καταγράφονται σε δύο σύνολα οι μοναδικές τιμές



των x και y για όλα τα σημεία του νέφους και στο επόμενο βήμα ταξινομούνται τα σύνολα αυτά κατά αύξουσα σειρά. Η κατάταξη των συνιστωσών στα δύο σύνολα γίνεται με ένα πέρασμα των σημείων του νέφους, δηλαδή έχει πολυπλοκότητα $O(n)$. Για την ταξινόμηση των συνόλων έχει επιλεγεί ο αλγόριθμος merge sort με χρονική πολυπλοκότητα $O(n \log n)$. Έτσι, η συνολική πολυπλοκότητα της φάσης δημιουργίας των διατεταγμένων συνόλων για τις συνιστώσες x, y είναι $O(n \log n)$.

Εν συνεχεία δημιουργείται ένας πίνακας κατακερματισμού (hash table) για την κατάταξη της τιμής της z συνιστώσας των σημείων του νέφους. Ως κλειδί χρησιμοποιείται μία κωδικοποίηση των συνιστωσών x, y του σημείου σε ένα αλφαριθμητικό της μορφής « (x, y) ». Δηλαδή, η συνάρτηση κατακερματισμού ορίζεται ως εξής:

$$f: "(x_i, y_i)" \rightarrow z_i, \forall p_i = (x_i, y_i, z_i) \in P$$

Η χρονική πολυπλοκότητα δημιουργίας του πίνακα κατακερματισμού είναι $O(n)$ ενώ η πολυπλοκότητα ανάκτηση στην γενική περίπτωση είναι $O(1)$.

Τα διατεταγμένα σύνολα X, Y μαζί με τον πίνακα κατακερματισμού της z συνιστώσας δημιουργούν την επιθυμητή διάταξη των σημείων του νέφους σε ένα πλέγμα. Δημιουργείται δηλαδή ένα ορθογώνιο σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων με άξονες τις τιμές των συνόλων X και Y όπου στη θέση (x, y) υπάρχει η τιμή ύψους z .

Βασική παραδοχή του συγκεκριμένου αλγορίθμου που αποτυπώνεται τυπικά στο Σχήμα 1 είναι ότι όλες οι στοίβες είναι στοιχισμένες στο χώρο και η σάρωση γίνεται κατά μήκος της μίας πλευράς τους.

Αν το σημείο $P_i = (x_i, y_i, z_i)$ ανήκει στην κάτω αριστερή γωνία της στοίβας και θεωρήσουμε ότι το πλάτος και το μήκος αυτής είναι w και l μονάδες μήκους αντίστοιχα, τότε όλα τα σημεία που βρίσκονται στην ορθογώνια περιοχή που οριοθετείται από τις συντεταγμένες των σημείων (x_i, y_i) και $(x_i + w, y_i + l)$ θα ανήκουν επίσης στην στοίβα. Θα έχουν δηλαδή την ίδια τιμή z .

Αλγόριθμος καταμέτρησης πλήθους παλετών σε νέφος σημείων

```
1. procedure COUNT_PALLETS( $P, w, l, h$ )
2.    $X \leftarrow []$ 
3.    $Y \leftarrow []$ 
4.    $HASH \leftarrow \{\}$ 
5.    $PALLETS \leftarrow 0$ 
6.   for  $p$  in  $P$  do
7.     if  $p.x$  not in  $X$  then
8.        $X.append(p.x)$ 
9.     end if
10.    if  $p.y$  not in  $Y$  then
11.       $Y.append(p.y)$ 
12.    end if
```



```
13.     key ← "(p.x, p.y)"
14.     HASH[key] ← p.z
15.     end for
16.     merge_sort(X)
17.     merge_sort(Y)
18.     for i←1 to LENGTH(X) do
19.         for j←1 to LENGTH(Y) do
20.             EXISTS, HEIGHT ← CHECK_STACK(i, j, X, Y, HASH, w, l)
21.             if EXISTS then
22.                 PALLETS ← PALLETS + HEIGHT/h
23.                 REMOVE_STACK(i, j, X, Y, HASH, w, l)
24.             end if
25.         end for
26.     end for
27.     return PALLETS
28. end procedure
```

ΣΧΗΜΑ 1: Αλγόριθμος καταμέτρησης πλήθους παλετών

Ο αλγόριθμος ελέγχου ύπαρξης στοίβας στην θέση (i, j) (CHECK_STACK) παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

```
Αλγόριθμος ελέγχου ύπαρξης στοίβας στη θέση i, j
1. procedure CHECK_STACK(i, j, X, Y, HASH, w, l, dx, dy)
2.     KEY ← "(X[i],Y[j])"
3.     z ← HASH[KEY]
4.     if z = NULL or z = 0 then
5.         return FALSE, 0
6.     end if
7.
8.     k ← i + 1
9.     width ← 0
10.    while X[k] - X[i] ≤ w do
11.        KEY ← "(X[k],Y[j])"
12.        if HASH[KEY] = z then
13.            width ← X[k] - X[i]
14.            k ← k + 1
15.        else
```



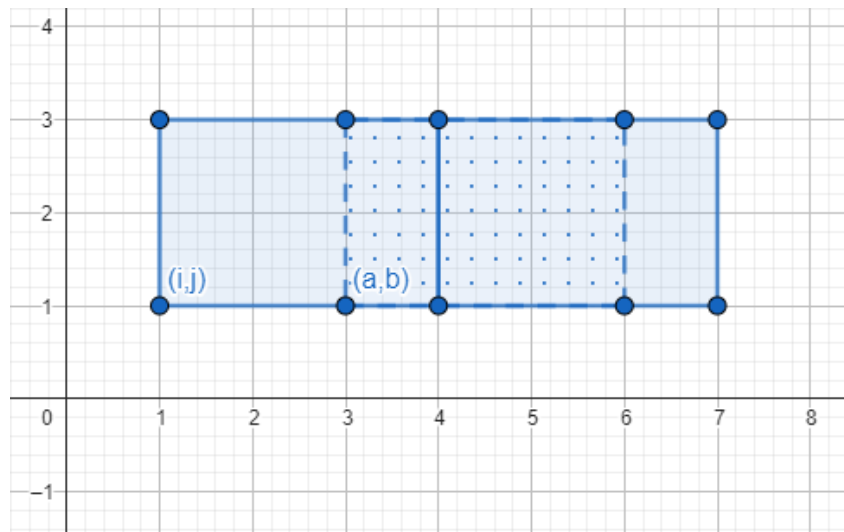
```
16.     break
17.     end if
18.     end while
20.     k ← j + 1
21.     length ← 0
22.     while Y[k] - Y[j] <= 1 do
23.         KEY ← "(X[i],Y[k])"
24.         if HASH[KEY] = z then
25.             length ← Y[k] - Y[j]
26.             k ← k + 1
27.         else
28.             break
29.         end if
30.     end while
32.     if width >= w - 2*dx and length >= 1 - 2dy then
33.         return TRUE, z
34.     else
35.         return FALSE, 0
36.     end if
37. end procedure
```

ΣΧΗΜΑ 2: Αλγόριθμος καταμέτρησης πλήθους παλετών

Επειδή η σάρωση του χώρου από τους αισθητήρες LIDAR γίνεται βηματικά με μία συγκεκριμένη και προκαθορισμένη συχνότητα είναι απίθανο να ανιχνευθούν σημεία ακριβώς στα όρια της στοίβας.

Έστω dx η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων κατά πλάτος η οποία εξαρτάται από την μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας του LIDAR και την ταχύτητα πτήσης του UAR. Αν το αναμενόμενο πλάτος της στοίβας είναι W τότε το χειρότερο σενάριο που οδηγεί στην μέγιστη απόκλιση είναι να ανιχνευθεί ένα σημείο λίγο πριν ή αμέσως μετά την αρχή και το τέλος της στοίβας αντίστοιχα. Έτσι, η μέγιστη απόκλιση που μπορεί να παρατηρηθεί είναι $2dx$. Τα ίδια ακριβώς ισχύουν και για την σάρωση κατά μήκος. Αυτές οι παράμετροι λαμβάνονται υπόψη στον αλγόριθμο CHECK_STACK ώστε να ανιχνεύονται στοίβες με πλάτος και μήκος ελαφρώς μικρότερα του αναμενόμενου με βάση την συχνότητα σάρωσης.

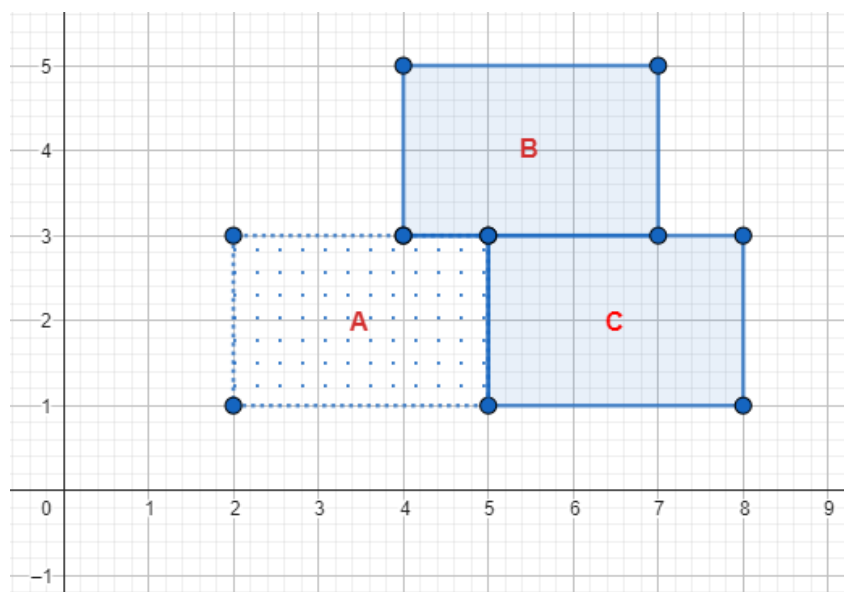
Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η ύπαρξης γειτονικών στοίβων, όπως φαίνεται ενδεικτικά στο Σχήμα 3.



ΣΧΗΜΑ 3: Ανίχνευση δύο γειτονικών στοιβών

Αν το τρέχον σημείο ελέγχου είναι το (a, b) είναι προφανές ότι θα ανιχνευθεί μία μη υπάρχουσα στοιβα από την επικάλυψη των σημείων των δύο γειτονικών στοιβών. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η περίπτωση και με δεδομένο ότι ο αλγόριθμος θα εξετάσει το σημείο (i, j) πριν από το (a, b) λόγω της διάταξης των συνόλων X και Y , εφόσον ανιχνευθεί στοιβα στη θέση (i, j) αυτή θα αφαιρείται από τον πίνακα κατακερματισμού αφαιρώντας όλα τα κλειδιά των σημείων που ανήκουν σ' αυτήν εκτός από τα σημεία της πάνω και δεξιάς πλευράς που ενδέχεται να ανήκουν στην αρχή μιας γειτονικής στοιβάς. Έτσι, το σημείο (a, b) δεν θα ελεγχθεί ξανά.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τρεις γειτνιάζουσες στοιβες (A, B, και C) και αποτυπώνονται τα σημεία που έχουν αφαιρεθεί από τον πίνακα κατακερματισμού μετά την ανίχνευσης της στοιβάς A.





ΣΧΗΜΑ 4: Ανίχνευση τριών γειτονικών στοιβών

Ο αλγόριθμος αφαίρεσης στοιβάς (REMOVE_STACK) παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.

Αλγόριθμος αφαίρεσης στοιβάς από τη θέση i, j (κάτω δεξιά)
<pre>1. procedure REMOVE_STACK($i, j, X, Y, HASH, w, l$) 2. $m \leftarrow i$ 3. $n \leftarrow j$ 4. while $X[m] - X[i] < w$ do 5. while $Y[n] + Y[j] < l$ do 6. $KEY \leftarrow "(X[m], Y[n])"$ 7. $HASH.remove(KEY)$ 8. $n \leftarrow n + 1$ 9. end while 10. $m \leftarrow m + 1$ 11. $n \leftarrow j$ 12. end while 13. end procedure</pre>

ΣΧΗΜΑ 5: Αλγόριθμος αφαίρεσης στοιβάς

Μελέτη χρονικής πολυπλοκότητας

Η ελάχιστη χρονική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου καταμέτρησης είναι προφανώς $O(n)$ αφού καθένα από τα n σημεία του νέφους θα πρέπει να εξεταστεί τουλάχιστον μία φορά. Οι δύο βρόγχοι **while** στον αλγόριθμο CHECK_STACK ανεβάζουν την χρονική πολυπλοκότητα θεωρητικά σε $O(n^2)$. Αυτό όμως πρακτικά δεν υφίσταται αφού αφενός οι δύο βρόγχοι ελέγχουν μόνο τις δύο πλευρές της στοιβάς και όχι τα ενδιάμεσα σημεία και αφετέρου οι διαστάσεις της στοιβάς είναι κατά πολύ μικρότερες αυτών της αποθήκης. Έτσι, με προκαθορισμένο και σταθερό μέγεθος στοιβών ο αλγόριθμος CHECK_STACK έχει πρακτικά σταθερή πολυπλοκότητα $O(1)$!

Κάτι ανάλογο ισχύει και για τον αλγόριθμο REMOVE_STACK. Οι δύο εμφωλευμένοι βρόγχοι **while** στις γραμμές 4 και 5 μπορεί θεωρητικά να εκτελεστούν n φορές καθιστώντας έτσι την συνολική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου σε $O(n^2)$. Το ακραίο θεωρητικό σενάριο εμφανίζεται στην περίπτωση ύπαρξης μίας στοιβάς στο μέγεθος της αποθήκης, το οποίο προφανώς δεν ισχύει στην πραγματικότητα. Έτσι, οι πολύ μικρότερες διαστάσεις της στοιβάς σε σχέση με την αποθήκη και το γεγονός ότι ο REMOVE_STACK εκτελείται μόνο στην περίπτωση ανίχνευσης στοιβάς, καθιστούν την χρονική του πολυπλοκότητα πρακτικά σταθερή, δηλαδή $O(1)$!. Δηλαδή, μπορούμε να



θεωρήσουμε ότι πρακτικά η χρονική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου καταμέτρησης είναι $O(n)$ η οποία συνδυαστικά με την πολυπλοκότητα ταξινόμησης των σημείων του νέφους καθιστούν την συνολική χρονική πολυπλοκότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε $O(n \log n)$!

Συμπεράσματα - Μελλοντική έρευνα

Η απαίτηση για την παράλληλη στοίχιση των στοιβών με την διεύθυνση σάρωσης είναι αρκετά δεσμευτική. Στην περίπτωση άτακτης τοποθέτησης αυτών στον χώρο της αποθήκης η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτυγχάνει. Αν το τρέχον εξεταζόμενο σημείο έχει ύψος μεγαλύτερο του σημείου αναφοράς (δεν ανήκει δηλαδή στο δάπεδο της αποθήκης) δεν μπορούμε να το θεωρήσουμε ως το κάτω δεξιό άκρο μιας ενδεχόμενης στοίβας. Οι βρόγχοι ελέγχου while του CHECK_STACK θα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να ανιχνεύουν την διεύθυνση των πλευρών. Μία προφανής μέθοδος αντιμετώπισης θα μπορούσε να είναι η αναδρομική εξέταση των γειτόνων του υπό εξέταση σημείου προκειμένου να βρεθεί ο προσανατολισμός της στοίβας. Αυτό όμως αυξάνει δραματικά την χρονική πολυπλοκότητα και καθιστά τον αλγόριθμο πρακτικά μη εφαρμόσιμο οπότε θα πρέπει να ακολουθηθεί μία διαφορετική προσέγγιση.

Στην συνέχεια της έρευνας θα μελετηθούν και θα αξιολογηθούν αλγόριθμοι αναγωγής του νέφους σημείων σε εικόνες με τιμές φωτεινότητας την τιμή της z-συνιστώσας ώστε να εφαρμοστούν τεχνικές τμηματοποίησης από το επιστημονικό πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων για τον εντοπισμό συνεκτικών περιοχών η οποίας πιθανόν να ανήκουν σε θέσεις στοίβας.

Για την εφαρμογή του αλγορίθμου σε πραγματικές συνθήκες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι μικρές διακυμάνσεις στις τιμές των συνιστωσών των σημείων. Στην συγκεκριμένη ιδανική περίπτωση που εξετάστηκε, οι τιμές των συνιστωσών ήταν ακέραιοι αριθμοί. Στην πράξη αναμένονται μικρές αποκλίσεις στις τιμές αυτών για σημεία που θα πρέπει να κατηγοριοποιηθούν στο ίδιο ύψος, πλάτος ή μήκος. Ο αλγόριθμος προσομοίωσης της αποθήκης θα τροποποιηθεί κατάλληλα με την εισαγωγή παραμέτρων σφάλματος για τις τρεις συνιστώσες. Συνιστώσες σημείων με τιμές εντός των ορίων του σφάλματος θα θεωρούνται ίσες.

Τέλος, θα δοκιμαστούν τεχνικές παραλληλοποίησης των αλγορίθμων ώστε να μειωθούν οι χρόνοι εκτέλεσης και να επιτραπεί η εφαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο. Οι συγκεκριμένες υλοποιήσεις των αλγορίθμων CHECK_STACK και REMOVE_STACK προσφέρονται για παράλληλη εκτέλεση αφού δεν υπάρχουν γραμμικές εξαρτήσεις. Η παραλληλοποίηση θα μπορούσε να γίνει, ιδανικά, στην κάρτα γραφικών (GPU). Οι σύγχρονες GPU διαθέτουν εκατοντάδες πυρήνες που μπορούν να εκτελέσουν παράλληλα στοιχειώδεις υπολογισμούς. Ωστόσο, ο αντικειμενικός στόχος της εργασίας είναι η εφαρμογή των αλγορίθμων «on-the-fly». Η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων θα γίνεται από μικροελεγκτές ή μικροϋπολογιστές (π.χ. Raspberry Pi) προσαρμοσμένους στα εναέρια μέσα. Αυτοί οι μικροϋπολογιστές έχουν εγγενώς περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και κάρτες γραφικών με λίγους πυρήνες. Έτσι, πρωταρχικά ο παραλληλισμός θα γίνει σε επίπεδο CPU. Προφανώς σε δεύτερο στάδιο μπορεί να γίνει επεξεργασία των συνολικών δεδομένων «off-the-fly» σε υπολογιστικά συστήματα που προσφέρουν δυνατότητες παραλληλοποίησης στην GPU.



Αναφορές

1. Vergouw B, Nagel H, Bondt G, Custers B. Drone technology: types, payloads, applications, frequency spectrum issues and future developments. *The Future of Drone Use*. New York, NY: Springer; 2016:21-45.
2. Everett HR, Gage DW, Gilbreath GA, Laird RT, Smurlo RP. Real-world issues in warehouse navigation. In: Wolfe WJ, Chun WH, eds. *Mobile Robots IX*. Vol 2352. Bellingham, Washington: International Society for Optics and Photonics, SPIE; 1995:249-259.
3. Arango C, Morales CA. Comparison between multicopter uav and total station for estimating stockpile volumes. *ISPRS Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*. 2015;XL-1(W4):131-135.
4. Mokroš M, Tabacák M, Lieskovský M, Fabrika M. Unmanned aerial vehicle use for wood chips pile volume estimation. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci*. 2016;41:953.
5. HEULE, Marijn JH; KULLMANN, Oliver. The science of brute force. *Communications of the ACM*, 2017, 60.8: 70-79.



4. Τελική Μέθοδος αυτόματης καταμέτρησης βιομηχανικών προϊόντων

Εισαγωγή

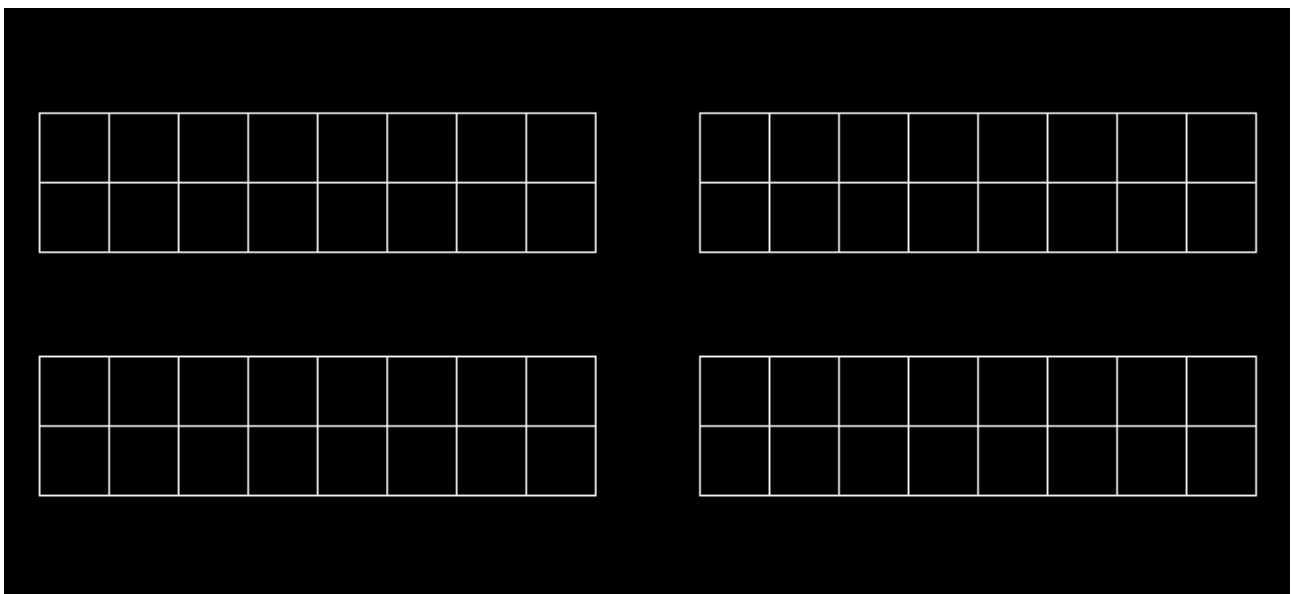
Η πρόοδος της τεχνολογίας έχει επηρεάσει ριζικά τις βιομηχανικές λειτουργίες, ενισχύοντας την αποδοτικότητα μέσω εξειδικευμένων εργαλείων. Στο πλαίσιο αυτό, το άρθρο παρουσιάζει μια καινοτόμο μέθοδο για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση αποθεμάτων χρησιμοποιώντας **μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs)** εξοπλισμένα με **τεχνολογία LiDAR**. Αντί για περίπλοκα και ακριβά συστήματα, η προτεινόμενη προσέγγιση εστιάζει στην απλοποίηση της διαδικασίας απογραφής, μειώνοντας τον χρόνο καταμέτρησης των παλετών στις αποθήκες.

Μεθοδολογία

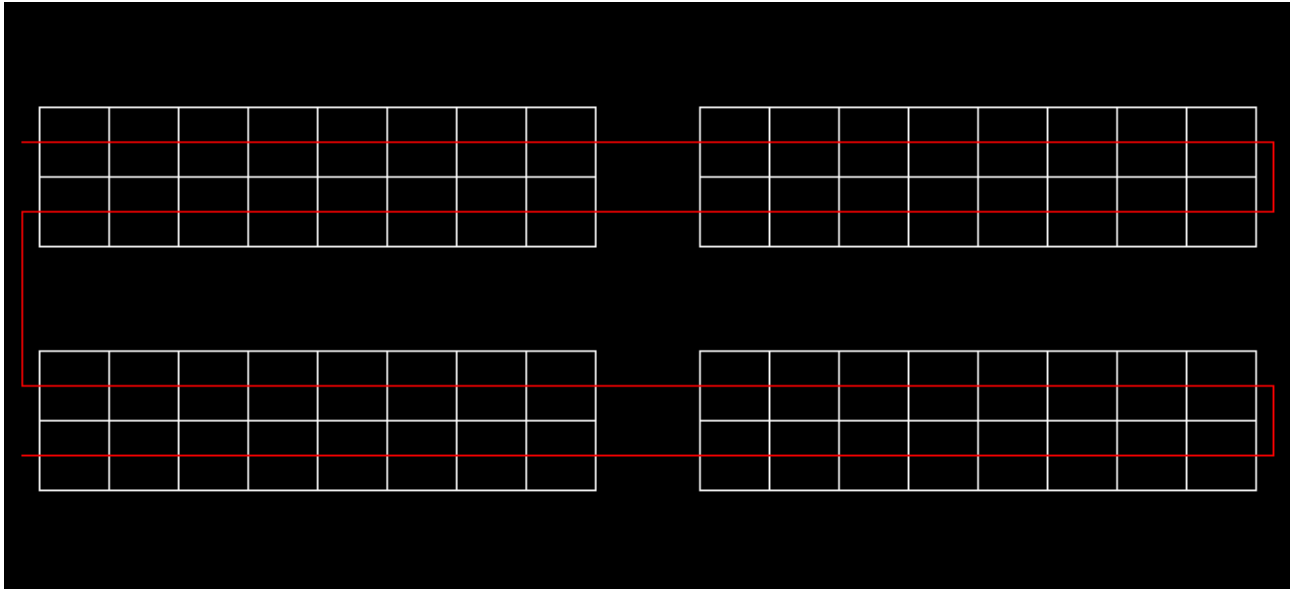
Σύστημα Ελέγχου και Πλοήγησης UAV

Η έρευνα βασίζεται στη χρήση ενός **εξειδικευμένου τετρακόπτερου** εξοπλισμένου με **μονοκατευθυντικό και υψηλής συχνότητας αισθητήρα LiDAR**. Το UAV επιχειρεί αυτόνομα, ακολουθώντας προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης, καταγράφοντας δεδομένα αποθεμάτων σε υψηλή συχνότητα.

- Ο χειριστής δημιουργεί ένα **σχέδιο πτήσης** μέσω ειδικού λογισμικού, π.χ. **Mission Planner**, το οποίο χρησιμοποιεί τεχνολογία **point-to-point navigation**.
- Η διαδρομή προγραμματίζεται βάσει **συντεταγμένων GPS**, και το UAV εκτελεί την αποστολή χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.
- Η ελάχιστη παρέμβαση απαιτείται μόνο σε περίπτωση κινδύνου για το περιβάλλον λειτουργίας.



Σχήμα 1. Σχεδιασμός Αποθήκης

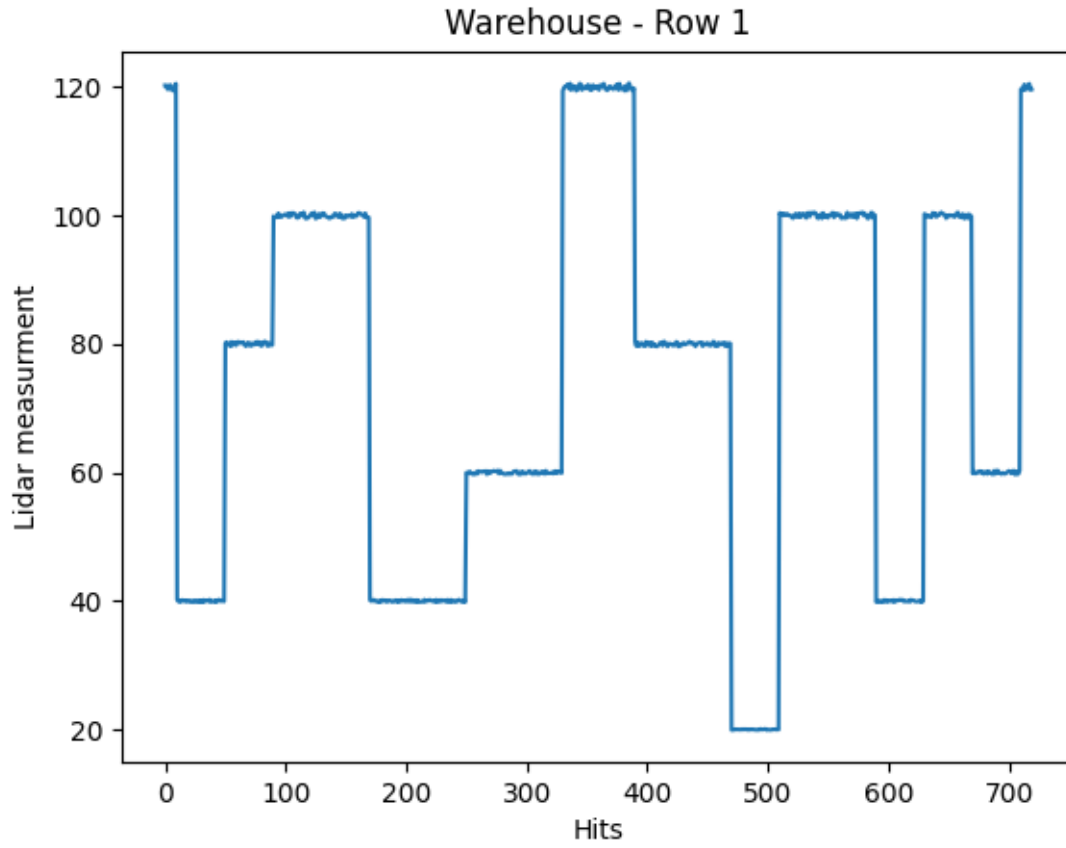


Σχήμα 2. Σχεδιασμός Πτήσης

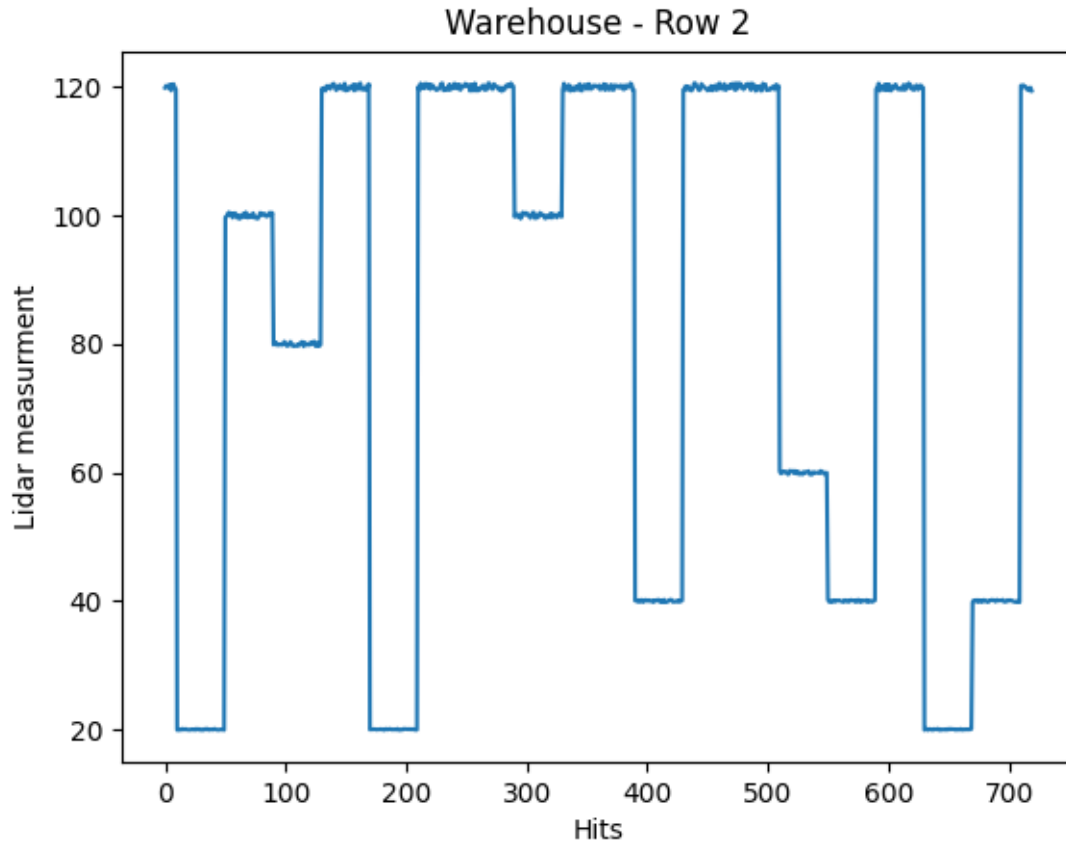
Σάρωση Αποθήκης με Τεχνολογία LiDAR

Το UAV χρησιμοποιεί **αισθητήρα LiDAR** για την καταγραφή δεδομένων υψομετρίας.

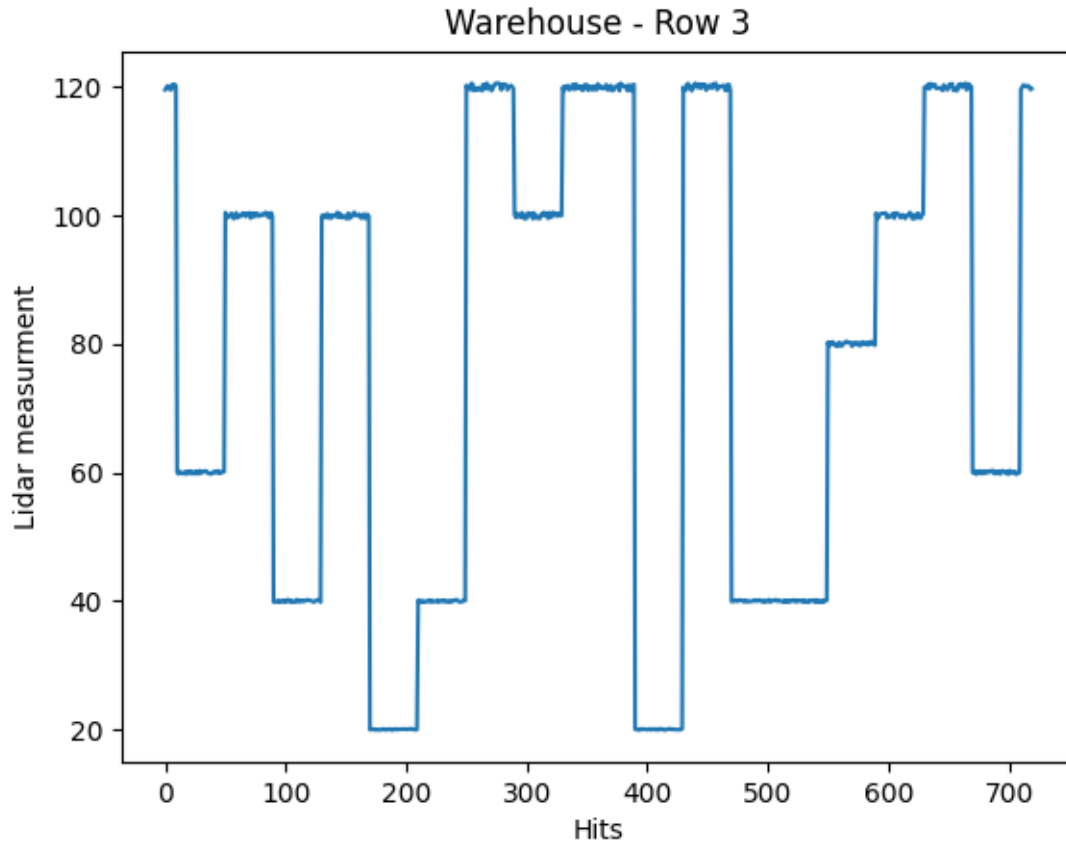
- Οι παλέτες τοποθετούνται σε προκαθορισμένες περιοχές, γεγονός που διευκολύνει την αναγνώρισή τους.
- Ο αισθητήρας LiDAR μετρά την απόσταση από το UAV προς τις παλέτες, επιτρέποντας την ακριβή εκτίμηση του ύψους των στοίβων.
- Τα δεδομένα από τη σάρωση αποθηκεύονται για **επεξεργασία μετά την πτήση**.



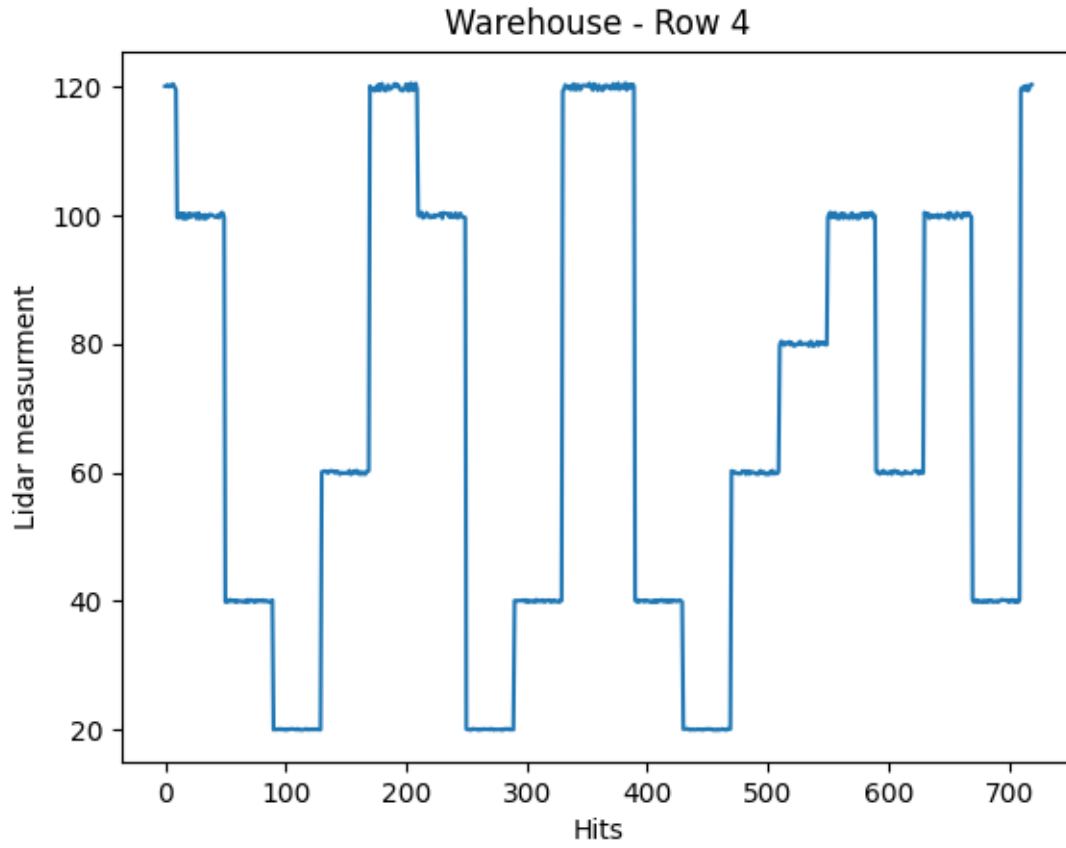
Σχήμα 3. Αποτύπωση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar στην πρώτη γραμμή της πτήσης



Σχήμα 4. Αποτύπωση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar στην δεύτερη γραμμή της πτήσης



Σχήμα 5. Αποτύπωση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar στην τρίτη γραμμή της πτήσης



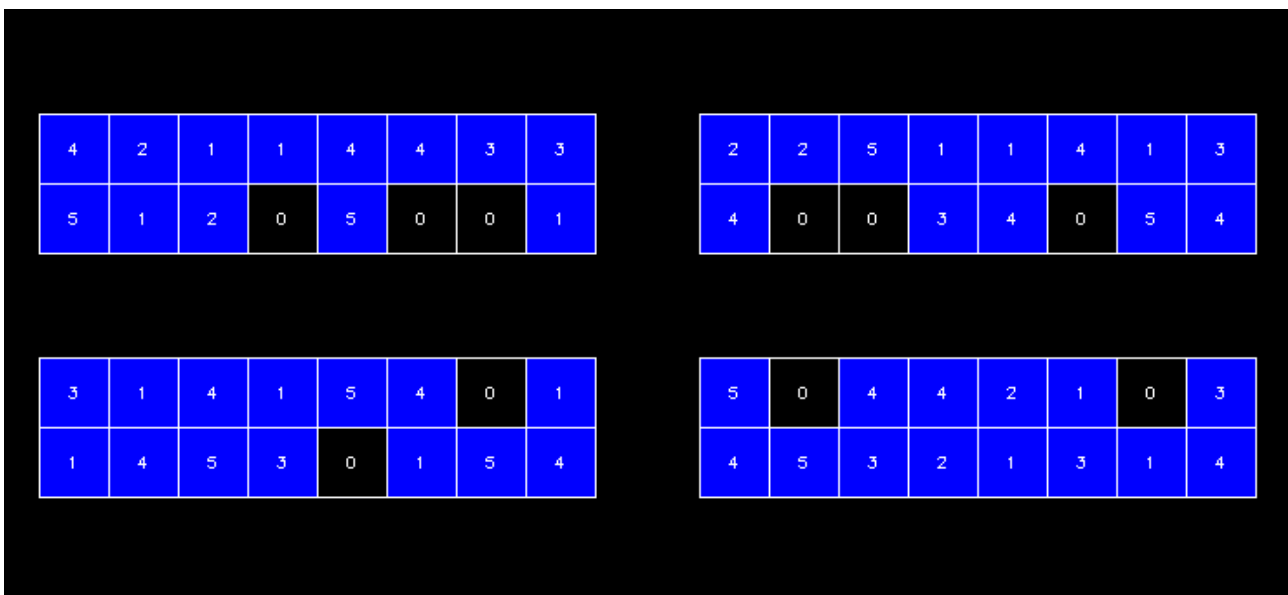
Σχήμα 6. Αποτύπωση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar στην τέταρτη γραμμή της πτήσης



Αλγόριθμος Ανίχνευσης και Σάρωσης Αποθεμάτων

Τα δεδομένα LiDAR χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του αριθμού των παλετών σε κάθε στοίβα.

- Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη **παραμέτρους όπως:**
 - Ύψος πτήσης UAV
 - Ανάλυση δειγματοληψίας LiDAR
 - Προκαθορισμένες διαστάσεις των παλετών
 - Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος στοίβαξης
- Ο **αλγόριθμος ομαδοποιεί τις μετρήσεις LiDAR** και αναγνωρίζει διαδοχικές στοίβες παλετών, διασφαλίζοντας **ακριβή εκτίμηση αποθέματος**.



Σχήμα 6. Αποτύπωση μετρήσεων του αισθητήρα Lidar στην τέταρτη γραμμή της πτήσης

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Το προτεινόμενο σύστημα δοκιμάστηκε σε **πειραματική αποθήκη**, καταγράφοντας ακρίβεια **100%**.

- Η ανίχνευση των αποθεμάτων ολοκληρώθηκε **ταχύτερα** σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους.
- Η χαρτογράφηση του αποθηκευτικού χώρου επέτρεψε την **οπτικοποίηση των παλετών**, διευκολύνοντας τη διαχείριση των αποθεμάτων.
- Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί και σε **δυναμικά περιβάλλοντα αποθηκών**, με έμφαση στην **παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο**.



Συμπεράσματα

Η χρήση UAVs με τεχνολογία LiDAR αποδεικνύεται **αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική** λύση για τη **διαχείριση αποθεμάτων**.

- **Πλεονεκτήματα:**

- **Μείωση κόστους** σε σχέση με ακριβότερα συστήματα RFID/QR code.
- **Αυτονομία και ελαχιστοποίηση ανθρώπινων σφαλμάτων.**
- **Εφαρμογή σε αποθήκες με μεταβαλλόμενη διάταξη προϊόντων.**

Η μελλοντική έρευνα θα επικεντρωθεί στην **επέκταση της μεθοδολογίας σε βιομηχανικές αποθήκες με δυναμικές αλλαγές προϊόντων**, δίνοντας έμφαση στη **ζωντανή παρακολούθηση και συνεχή ενημέρωση αποθεμάτων**.

5. Κατάλογος όρων και συντομογραφιών

ΣμηΕΑ	Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών
ΔΙ.ΠΑ.Ε.	Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος
ΠΑ.Δ.Α.	Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Δ.Ε.Π.	Διδακτικό Ερευνητικό Προσωπικό
Ε.ΔΙ.Π.	Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό
Α.Ε.Ι.	Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Τ.Ε.Ι.	Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δ.Ο.Α.Τ.Α.Π.	Διεπιστημονικός Οργανισμός Αναγνώρισης Τίτλων Ακαδημαϊκών και πληροφόρησης