



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΟΔΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ



ΚΑΛΛΙΜΑΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Ευχαριστίες

Τελειώνοντας την διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κ. Κεπαπτσόγλου, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ για την ανάθεση ,την υποστήριξη και την συνεργασία που είχαμε όχι μόνο στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αλλά και κατά την διάρκεια φοίτησης μου στην σχολή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υποψήφια Διδάκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ κ. Χριστίνα Ηλιοπούλου για τις παρατηρήσεις της, την βοήθεια και τον χρόνο που αφιέρωσε σε όλα τα στάδια για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ ακόμη τους φίλους και συμφοιτητές μου για την πολύτιμη βοήθεια τους καθώς και για τη συμπαράσταση που μου έδειξαν για να τελειώσω όχι μόνο την διπλωματική μου εργασία αλλά και τις σπουδές μου.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια για να αποπερατώσω την σχολή μου και θα τους είμαι ευγνώμων για πάντα.

Με εκτίμηση
Καλλιμάνης Απόστολος

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός μοντέλου επιθεώρησης οδικών υποδομών με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Drone). Στόχος της είναι η εύρεση του δικτύου των διαδρομών με το ελάχιστο κόστος για την επιθεώρηση των συγκεκριμένων οδικών υποδομών. Το πρότυπο που δημιουργείται διατυπώνεται ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων από μια προέλευση σε πολλούς προορισμούς, υπό περιορισμούς, όπως η διάρκεια λειτουργίας των μη επανδρωμένων οχημάτων, και η συνολική διάρκεια της επιθεώρησης. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζεται γενετικός αλγόριθμος ο οποίος παράγει λύσεις σε μικρούς υπολογιστικούς χρόνους. Για τη διερεύνηση της επιρροής ορισμένων παραμέτρων στη βέλτιστη λύση, πραγματοποιείται εκτεταμένη ανάλυση ευαισθησίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το μέγεθος της μπαταρίας αποτελεί σημαντική παράμετρο για την επιλογή των διαδρομών.

Abstract

The scope of this thesis is to develop a model for road infrastructure inspection using unmanned aerial vehicle (UAVs). The model finds optimal routes for the UAVs in order to minimize the inspection cost. The problem is formulated as a one-to-many vehicle routing problem under constraints such as route and inspection duration. To solve this problem, a genetic algorithm is implemented which generates solutions in small computing times. An extended sensitivity analysis is carried out in order to estimate the impact of parameters such as battery capacity on the generated solution. Results show that battery capacity is a significant factor in the solution process.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Αντικείμενο εργασίας	9
1.2 Δομή διπλωματικής εργασίας.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Πρόβλημα Δρομολόγηση Οχημάτων VRP (Vehicle Routing Problem)	11
2.3 Κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης VRP	13
2.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	15
2.5 Επιθεώρηση οδοστρωμάτων	16
2.6 Επιθεώρηση και VRP	18
2.7 Επιθεώρηση με μη επανδρωμένα οχήματα (Drone)	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	21
3.1 Εισαγωγή – Στόχοι.....	21
3.2 Προβλήματα δρόμων.....	21
3.2.1 Είδη Φθοράς.....	21
3.2.2 Δομικές Αποτυχίες σε Εύκαμπτα Οδοστρώματα	23
3.2.3 Βασικοί τύποι καταπόνησης Οδοστρωμάτων	24
3.3 DRONES	37
3.3.1 Ιστορικά στοιχεία για τα Drone.....	37
3.3.2 Νομοθεσία και Drones	38
3.3.3 Είδη Drone	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	43
4.1 Γενετικοί αλγόριθμοι.....	45
4.1.1 Πλεονεκτήματα των Γενετικών Αλγορίθμων	49
4.2 Περιβάλλον προγράμματος	51
4.2.1 Περιγραφή γενετικού αλγορίθμου.....	51
4.2.2 Διαδικασία επίλυσης αλγορίθμου	51
4.2.2.1 Αναπαράσταση λύσης	54
4.2.2.2 Αρχικοποίηση πληθυσμού (τυχαίες τιμές)	54
4.2.2.3 Γενετικοί τελεστές	54
4.2.2.4 Αξιολόγηση λύσεων	55

4.2.3 Τερματισμός γενετικού αλγορίθμου	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
5.1 Εισαγωγή.....	55
5.2 Δεδομένα για την εξεταζόμενη περιοχή	55
5.3 Ανάλυση δεδομένων.....	55
5.4 Σύστημα Βελτιστοποίησης.....	59
5.5 Αποτελέσματα γενετικού αλγορίθμου	61
5.6 Ανάλυσης ευαισθησίας.....	63
5.6.1 Ταχύτητα κίνησης Drone.....	63
5.6.2 Διάρκεια κίνησης Drone	64
5.7 Συμπεράσματα	65
5.7.1 Παράμετροι του γενετικού αλγορίθμου	65
5.7.2 Ανάλυση ευαισθησίας	66
5.7.3 Χρησιμότητα αλγορίθμου.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	72

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη δημιουργία ενός βέλτιστου προγράμματος για την επιθεώρηση κακοτεχνιών εντός μίας αστικής περιοχής με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροπλάνων (Drone). Κάθε υπηρεσία είναι υποχρεωμένη να επιθεωρεί όλα τα έργα υποδομής της πόλης, καθώς το φαινόμενο επιθεώρησης λακουβών εμφανίζεται αρκετά συχνά. Στη σημερινή εποχή, οι επιθεωρητές δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο πρόγραμμα σχετικά με τις ενέργειές τους, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα το κόστος κάθε υπηρεσίας, είτε δημόσιας είτε ιδιωτικής να αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει ένα προκαθορισμένο πλάνο εργασίας όταν οι επιθεωρητές επισκέπτονται την περιοχή μελέτης. Έτσι, πραγματοποιούνται αρκετές δαπάνες, που αφορούν τόσο τις ώρες εργασίας όσο και τα έξοδα για την επίσκεψη αυτή, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό καθώς η Ελλάδα διανύει μία περίοδο έντονης οικονομικής κρίσης. Στο κύριο μέρος της εργασίας θα εφαρμοστεί το προτεινόμενο μοντέλο στο δίκτυο της Αλεξανδρούπολης και θα δημιουργηθεί ένα βέλτιστο πρόγραμμα επιθεώρησης. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα οι κόμβοι των διασταυρώσεων των δρόμων θα θεωρηθούν ως «πελάτες», τους οποίους θα πρέπει να επισκεφθεί κάποιο drone. Στόχος είναι η εύρεση διαδρομών με το ελάχιστο κόστος επιθεώρησης, για ένα σύνολο από drone, τα οποία θα αναχωρούν από το κέντρο ελέγχου, «αποθήκη», με σκοπό να επισκεφθούν όλους τους πελάτες και να επιστρέψουν πάλι στην αποθήκη.

Το κόστος παράδοσης περιλαμβάνει το κόστος μεταφοράς, δηλαδή τα έξοδα για την πτήση των drones (διάρκεια μπαταρίας) και για το τμήμα ελέγχου (επιθεωρητές και ώρες εργασίας), καθώς και το κόστος επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Το πρόβλημα αυτό περιλαμβάνει και κάποιους περιορισμούς, όπως εκείνους των χρονικών παραθύρων, όπου το drone θα πρέπει να μένει για μερικά λεπτά στις διασταυρώσεις των δρόμων για την καλύτερη καταγραφή του κόμβου, καθώς επίσης και του περιορισμού (που αφορά τη διάρκεια της μπαταρίας).

Στόχος είναι η υποστήριξη της μονάδας συντήρησης με τον βέλτιστο σχεδιασμό διαδρομών, για τη μείωση του κόστους της επιθεώρησης. Οι επαρχιακοί και αστικοί δρόμοι της Αλεξανδρούπολης θα επιλεγθούν ως περιοχή μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπου το πρόγραμμα βελτιστοποίησης θα σχεδιάσει τις καλύτερες διαδρομές για τη διαδικασία επιθεώρησης. Έτσι, αυτό το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για την υποστήριξη των επιθεωρητών δρόμων για τεχνικά προβλήματα, ώστε να διατεθούν αποτελεσματικά οι πόροι για τη διαδικασία επιθεώρησης και να επιτευχθεί ο στόχος της μείωσης του χρόνου επιθεώρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καθώς όλο και περισσότερα οχήματα συσσωρεύονται στο δρόμο, η κυκλοφοριακή ροή στο δίκτυο των οδών δημιουργεί ταχύτατους ρυθμούς φθοράς των δρόμων. Η επίτευξη της ποιότητας των οδοστρωμάτων σε επαρκές επίπεδο γίνεται επομένως κρίσιμη και αυτό επηρεάζει την ασφάλεια του δρόμου, καθώς και έμμεσα τη συμφόρηση και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η επιθεώρηση ωστόσο, των οδικών τμημάτων για τον εντοπισμό προβλημάτων είναι χρονοβόρα και ταυτόχρονα δαπανηρή. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός μοντέλου για την πραγματοποίηση επιθεωρήσεων με χρήση drone.

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου για το βέλτιστο σχεδιασμό διαδρομών. Οι διαδρομές αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την επιθεώρηση οδοστρώματος και ως αντικείμενο μελέτης θεωρείται μια περιοχή της Αλεξανδρούπολης. Η επιθεώρηση θα γίνει με την χρήση drone και θα φέρουν μια φωτογραφική μηχανή για την καταγραφή του δρόμου. Τα drone θα πετούν πάνω από τα οδικά τμήματα της συγκεκριμένης περιοχής και στις αξονοδιασταυρώσεις των οικοδομικών τετράγωνων της περιοχής αυτής θα κάνουν μια στάση για να καταγράψουν καλύτερα τον κόμβο. Στην συνέχεια τα drones θα επιστρέφουν από εκεί που ξεκίνησαν δηλαδή την βάση ή το κέντρο ελέγχου.

Για να υπολογιστεί η βέλτιστη διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει ένα drone χρησιμοποιήθηκε μια αντικειμενική συνάρτηση η οποία θα μας δίνει το κόστος της διαδρομής που θα κάνει ένα drone. Στόχος είναι να βρεθούν οι βέλτιστες αποστάσεις για κάθε drone δηλαδή να ελαχιστοποιεί η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για όλα τα drone. Όμως έχουμε θέσει και κάποιους περιορισμούς όπως αυτόν της διάρκειας πτήσης μια και δεν μπορούν να πετούν για πολύ ώρα. Η χρήση γενετικού αλγορίθμου είναι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος και η βελτιστοποίηση έγινε με την βοήθεια του Envolner. Στο τέλος της διπλωματικής εργασίας παρατίθεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη της λύσης.

1.2 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής και της λίστας με τις βιβλιογραφικές πηγές και το παράρτημα

Το 1^ο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή στη διπλωματική εργασία και εξηγεί το αντικείμενο και τη συνεισφορά αυτής.

Το 2^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την επιθεώρηση και τη χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων στην επιθεώρηση οδοστρωμάτων. Ακόμα, δίνεται έμφαση στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, το οποίο αποτελεί το υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας

Το 3^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη διατύπωση του προβλήματος και τη μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του. Παρουσιάζονται τα προβλήματα των οδοστρωμάτων και περιγράφονται τα μέσα με τα οποία θα γίνει η επιτήρηση.

Στο 4^ο κεφαλαίο παρουσιάζεται η διατύπωση του προβλήματος με την μορφή μαθηματικού προτύπου. Ακολούθως παρουσιάζεται η μεθοδολογία επίλυσης και περιγράφεται ο γενετικός αλγόριθμος.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου αλλά και το περιβάλλον στο οποίο έγινε η βελτιστοποίηση. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία και δίνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη νέων μεθόδων πάνω στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

ΚΕΦΑΛΑΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Η διαδικασία επιθεώρησης χωρίζεται στις εξής κατηγορίες: α) τη συχνή επιθεώρηση, β) την τακτική επιθεώρηση και γ) την ειδική επιθεώρηση. Κατά τη διαδικασία αυτή το προσωπικό συμπληρώνει τις σχετικές εκθέσεις. Η παρούσα διπλωματική εργασία κατασκευάζει ένα μοντέλο υποστήριξης αποφάσεων για την τακτική διαδικασία επιθεώρησης. Το μοντέλο εφαρμόζεται σε μέρος του οδικού δικτύου της Αλεξανδρούπολης. Η αποθήκη από όπου θα ξεκινούν τα drones βρίσκεται σε κεντρικό σημείο και τα οχήματα επιθεώρησης θα περνούν από τα οδικά τμήματα, που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η έρευνα αυτή αναπτύσσει ένα μοντέλο για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στην επιθεώρηση οδοστρωμάτων. Το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται στο κλασικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (vehicle routing problem) και προσδιορίζει τις διαδρομές που θα πρέπει να ακολουθήσει μια ομάδα drone ώστε να έχουμε το ελάχιστο κόστος. Σε συνδυασμό με τους πρακτικού περιορισμούς δημιουργείται ένα πρότυπο επιθεώρησης οδικών τμημάτων. Το συγκεκριμένο πρότυπο συντελεί σε πιο αποδοτική κατανομή πόρων με το σχεδιασμό των βέλτιστων διαδρομών για την επιθεώρηση.

2.2 Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων VRP (Vehicle Routing Problem)

Τα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων είναι γνωστά στη διεθνή βιβλιογραφία ως VRP (Vehicle Routing Problem) και αναφέρονται στον βέλτιστο σχεδιασμό διαδρομών ενός στόλου οχημάτων διανομής / συλλογής για την εξυπηρέτηση ενός συνόλου από σημεία σε ένα δίκτυο με γνωστή ποσότητα ζήτησης. Αποτελεί ένα δημοφιλές συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται ευρέως στους τομείς της διανομής και μεταφοράς. Το VRP θεωρείται μια γενίκευση του προβλήματος του περιοδευοντος πωλητή (TSP). Κύριος στόχος της είναι να καθοριστεί ένα σύνολο βέλτιστων διαδρομών για μια ομάδα ομοιογενών οχημάτων, με αφετηρία μια ή περισσότερες αποθήκες, για την παροχή των υπηρεσιών ή αγαθών σε ένα δεδομένο αριθμό πελατών. Κάθε πελάτης πρέπει να εξυπηρετηθεί τουλάχιστον μια φορά από τουλάχιστον ένα όχημα. Επιπλέον, δεν θα πρέπει να ξεπεραστεί η χωρητικότητά του οχήματος από την συνολική ζήτηση των πελατών σε κάθε διαδρομή. Σε γενικές γραμμές, το VRP συνήθως ορίζεται σε ένα γράφημα δικτύου, που είναι ένα σύνολο όλων των κορυφών, δηλαδή των πελατών ή των στόχων.

Οι Dantzig και Ramser (1959) παρουσίασαν για πρώτη φορά το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, το οποίο θεωρείται η βάση για τα προβλήματα διανομής. Οι ερευνητές δημιούργησαν το πρώτο προσεγγιστικό αλγόριθμο και τον εφάρμοσαν για να τη διανομή βενζίνης σε σταθμούς τροφοδοσίας.

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων είναι ένα πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού και ανήκει στην κατηγορία των μη πολυωνυμικών δύσκολων προβλημάτων (Np - Hard). Αυτό έχει σαν συνέπεια η υπολογιστική δύναμη που απαιτείται για την λύση του προβλήματος να αυξάνεται εκθετικά με το μέγεθος του προβλήματος. Τα συγκεκριμένα προβλήματα και συγχρόνως οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι, που έχουν δημιουργηθεί, μπορούν να λύσουν ένα περιορισμένο αριθμό προβλημάτων, δηλαδή εκείνα των δικτύων που δεν ξεπερνούν τους 50 κόμβους και έχουν λίγους περιορισμούς, σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Γι' αυτό τον λόγο, προκειμένου να επιλυθούν τα προβλήματα που έχουν μεγαλύτερη έκταση και πλησιάζουν περισσότερο σε πραγματικά δεδομένα, αναπτύχθηκαν οι ευρετικοί αλγόριθμοι.

Σε ένα σύνθετο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων παρατηρούνται τα παρακάτω επιμέρους στοιχεία:

- Οι πελάτες, οι οποίοι πρέπει να εξυπηρετηθούν, ορίζονται ως κόμβοι
- Ένας συγκεκριμένος αριθμός οχημάτων, ο οποίος θα πρέπει να εξυπηρετεί τους πελάτες
- Η ζήτηση που έχει κάθε πελάτης
- Οι χρονικοί περιορισμοί, που πιθανότατα υπάρχουν (παραλλαγές του VRP)
- Οι επιπρόσθετοι περιορισμοί

Οι στόχοι σε ένα σύνθετο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων είναι οι εξής:

- Να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή, η οποία ουσιαστικά θα επιφέρει χαμηλό κόστος. Αυτό επιτυγχάνεται βρίσκοντας τη μικρότερη σε μήκος διαδρομή.
- Να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των οχημάτων, τα οποία θα εξυπηρετούν τους πελάτες.

Το μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής προσπάθειας έχει επικεντρωθεί σε μια τυποποιημένη έκδοση του προβλήματος, που ονομάζεται κλασικό VRP, επειδή πολλοί από τους αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί για την συγκεκριμένη περίπτωση, ως επί το πλείστον ευριστικοί (heuristics), μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ανταποκρίνονται στις πιο περίπλοκες καταστάσεις που παρατηρούνται στην πραγματικότητα. Η κλασική μορφή του VRP ορίζεται σε ένα μη κατευθυνόμενο γράφημα $G=(V,A)$ όπου $V=\{0,1,2,\dots,n\}$ και η κορυφή A είναι το τόξο. Το 0 αντιπροσωπεύει μια κεντρική αποθήκη στην οποία βρίσκονται το πολύ m πανομοιότυπα οχήματα χωρητικότητάς Q . Το πρόβλημα συνίσταται στον καθορισμό ενός συνόλου με M διαδρομές των οχημάτων από και προς την αποθήκη, ώστε κάθε πελάτης να εξυπηρετείται από ακριβώς ένα όχημα με άμεσο αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους.

Το VRP είναι ένα Np - Hard πρόβλημα, συνεπώς όλη η ερευνητική προσπάθεια έχει επικεντρωθεί στους ευριστικούς και μεταευριστικούς αλγόριθμους. Ένας άλλος λόγος που χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι αυτοί είναι επειδή τείνουν να είναι πολύ πιο ευέλικτοι και πιο εύκολα προσαρμόσιμοι, ώστε να αντιμετωπίσουν την ποικιλία των παραλλαγών που προκύπτουν στην πράξη.

2.3 Κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης VRP

Στην καθημερινότητα δημιουργούνται διαφορετικά προβλήματα δρομολόγησης, τα οποία έχουν διαφορετικά δεδομένα και διαφορετικούς περιορισμούς. Αυτό έχει ως απόρροια να αναπτυχθούν διαφορετικές κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης οι οποίες χρησιμοποιούνται ανάλογα με τα δεδομένα και το πρόβλημα που έχει τεθεί προς επίλυση κάθε φορά. Οι κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης είναι οι ακόλουθες:

1. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Συγκεκριμένο Όριο Χωρητικότητας (Capacitated Vehicle Routing Problem – CVRP)

Το CVRP έχει μελετηθεί εκτενώς από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 και τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκαν πολλές νέες ευρετικές και ακριβείς προσεγγίσεις. Τα μεγαλύτερα προβλήματα, τα οποία μπορούν να επιλυθούν με συνέπεια από τους αλγόριθμους μέχρι στιγμής, περιέχουν περίπου 50 πελάτες, ενώ τα μεγαλύτερα προβλήματα μπορούν να λυθούν μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Έτσι, περιστάσεις με εκατοντάδες πελάτες, όπως αυτές που προκύπτουν σε πρακτικές εφαρμογές, μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με ευρετικές μεθόδους.

Θεωρείται ότι η στατική και ντετερμινιστική βασική εκδοχή του προβλήματος είναι γνωστή ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με συγκεκριμένη χωρητικότητα (CVRP). Στο CVRP όλοι οι πελάτες ανταποκρίνονται στις παραδόσεις, οι απαιτήσεις είναι ντετερμινιστικής μορφής, τα οχήματα είναι ίδια και έχουν ως κέντρο αναφοράς μια ενιαία κεντρική αποθήκη, όπου στα οχήματα επιβάλλονται κάποιοι περιορισμοί χωρητικότητάς. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (ο αριθμός των δρομολογίων, το μήκος και ο χρόνος διαδρομής τους), που απαιτείται για να εξυπηρετήσει όλους τους πελάτες. (Toth & Vigo 1999)

2. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Παράθυρα (Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW)

Το VRPTW εξετάζει το πρόβλημα της δρομολόγησης του οχήματος με χρονικά παράθυρα, που είναι μια γενίκευση του VRP, όπου η εξυπηρέτηση κάθε πελάτη πραγματοποιείται μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, που ονομάζεται χρονικό παράθυρο. Οι περιορισμοί σχετικά με τα χρονικά παράθυρα χαρακτηρίζονται ελαστικοί όταν η παραβίαση τους επιφέρει ένα κόστος ποινής και ανελαστικοί όταν η μη τήρηση τους οδηγεί σε μη εφικτές λύσεις. Με τη σειρά του, το VRTW αποτελεί τη βάση για τη μοντελοποίηση αρκετών προβλημάτων σχεδιασμού δικτύων εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο στόχος επίλυσης τέτοιου είδους προβλημάτων, είναι η εύρεση ενός συνόλου διαδρομών, και η κάθε διαδρομή θα έχει ως αρχή και τέλος την αποθήκη, ενώ δεν μπορεί να παραβιάζονται οι περιορισμοί της χωρητικότητας και των χρονικών παραθύρων. Απώτερος σκοπός των παραπάνω είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού μήκους της κάθε διαδρομής και κατά συνέπεια και του κόστους αυτής. (Lau & Sim & Teo, 2003)

3. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Διανομή και Παραλαβή κατά τη Διάρκεια της Διαδρομής (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery – VRPPD)

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος με διανομή και παραλαβή (VRPPD) είναι μία από τις κύριες κατηγορίες του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP). Αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα διότι πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του και την παραλαβή προϊόντων από τους πελάτες. Αυτό έχει ως συνέπεια ότι σε κάθε κόμβο θα πρέπει να ελέγχεται η επάρκεια της χωρητικότητας του οχήματος. Ο περιορισμός αυτός είναι πολύ περίπλοκος και δυσκολεύει το πρόβλημα αρκετά, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη διαχείριση του χώρου που διαθέτει το όχημα και να οδηγήσει σε κακή διαχείριση του στόλου. (Dagano & Hall, 1993)

4. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Backhauls (Vehicle Routing Problem with Backhauls – VRPB)

Το συγκεκριμένο πρόβλημα παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το προηγούμενο (VRPPD), όμως διαφοροποιείται στο γεγονός ότι το όχημα θα πρέπει να περάσει από όλους τους κόμβους – πελάτες, να παραδώσει το αντικείμενο και στην συνέχεια να επιστρέψει στην αποθήκη, αφού πρώτα περάσει ξανά από τους κόμβους – πελάτες, οι οποίοι θέλουν να δώσουν ένα αντικείμενο. Θεωρείται ότι όλες οι παραδόσεις σε κάθε διαδρομή πρέπει να πραγματοποιούνται πριν από οποιαδήποτε παραλαβή. Αυτό προκαλείται από το γεγονός ότι τα οχήματα είναι εκ νέου φορτωμένα και η αναδιάταξη των φορτίων στα οχήματα και στα σημεία παράδοσης δεν θεωρείται εφικτή. Οι ποσότητες που πρέπει να παραδοθούν και να παραληφθούν είναι σταθερές και γνωστές εκ των προτέρων. Υπάρχει ομοιόμορφος στόλος οχημάτων, το καθένα από τα οποία υποτίθεται ότι έχει σταθερή χωρητικότητα κάποιου βάρους ή και όγκου. Ως εκ τούτου, μια εφικτή λύση στο πρόβλημα αποτελείται από ένα σύνολο διαδρομών, όπου όλες οι παραδόσεις για κάθε διαδρομή ολοκληρώνονται πριν από οποιαδήποτε παραλαβή και η χωρητικότητα του οχήματος δεν παραβιάζεται ούτε από τα σημεία γραμμής, ούτε από τα σημεία επιστροφής. (Goetschalckx & Jacobs, 1993)

5. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Πολλαπλά Κέντρα Διανομής (Vehicle Routing Problem with Multiple Depot – MDVRP)

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (MDVRP) είναι μια παραλλαγή του βασικού VRP. Όμως, έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον, διότι δεν είναι κατάλληλο για ορισμένες περιπτώσεις, όπου μια εταιρεία έχει περισσότερες από μία αποθήκες. Υπάρχουν δηλαδή πρόσθετες αποθήκες για την συγκέντρωση των προϊόντων, και η ανάθεση πελατών σε κάθε αποθήκη αποτελεί μεταβλητή απόφασης. Συνήθως πρέπει να επιλυθεί πρώτα το πρόβλημα της ομαδοποίησης των πελατών πριν από εκείνο της δρομολόγησης και του προγραμματισμού. Το πρόβλημα είναι πιο δύσκολο και πολύπλοκο από το VRP με τη μια αποθήκη. Εκτός αυτού, το MDVRP είναι NP - Hard, που σημαίνει ότι ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος για την ακριβή επίλυση του προβλήματος δεν είναι διαθέσιμος. (Ombuki & Hanshar, 2009)

6. Περιοδικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Periodic Vehicle Routing Problem– PVRP)

Στα συνηθισμένα προβλήματα VRP η δρομολόγηση αναφέρεται σε επίπεδο ημέρας, όμως το περιοδικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων είναι αρκετά περίπλοκο, γιατί το διάστημα πραγματοισμού εκτείνεται σε περισσότερες από μια μέρες. Αυτή η περιοδικότητα επιβάλλει μια ισχυρή σχέση μεταξύ των αποφάσεων που πρέπει να ληφθούν κατά τη διάρκεια των ημερών. Επομένως δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί το πρόβλημα σε μια μόνο μέρα αλλά σε κάποιο συγκεκριμένο διάστημα N μερών. Επί της ουσίας είναι ένα πολυεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης. (Angelelli & Speranza, 2002)

2.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του βασικού προβλήματος VRP. Οι Laporte & Osman (1995) και Nagy & Salhi (2007) παρουσιάζουν μια σχετική εκτεταμένη επισκόπηση των προβλημάτων αυτών. Οι Taillard (1993) και Rochat & Taillard (1995) χρησιμοποίησαν μια διαδικασία απαγορευμένης αναζήτησης, Tabu search, σε διάφορες παραλλαγές του VRP. Όμως οι Renaud (1996) υποστήριξαν ότι οι ευρετικοί αλγόριθμοι επειδή έχουν πολλούς παραμέτρους, ο χρόνος επίλυσης ενός τέτοιου προβλήματος έχει μεγάλη έκταση. Τα πρόβλημα (VRP) είναι N_p -hard και μπορούν να επιλυθούν μόνο κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς και σε μικρά δίκτυα όπως αναφέρθηκε από τον Dumas (1991).

Στη σημερινή εποχή, η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης οχημάτων είναι πολύ σημαντική παρόλο που παραμένει μια αρκετά δύσκολη εργασία. Στην καθημερινή ζωή, υπάρχουν αρκετά τέτοια προβλήματα που για να λυθούν χρησιμοποιούνται κυρίως ευρετικές μέθοδοι και μεταερευτικές μέθοδοι. Δυο κατηγορίες αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων είναι: (Ching – Wu Chu, (2003)

1. Οι κλασικοί ευρετικοί αλγόριθμοι που εφευρέθηκαν μεταξύ του 1960 και του 1990,
2. Οι μεθευρετικοί οι οποίοι αρχίσαν να αναπτύσσονται από το 1990 μέχρι και σήμερα.

Η συχνότερη αναφορά ευρετικής μεθόδου είναι αυτή των Clarke & Wright (1964), στην οποία έχουν στηριχθεί πολλές παραλλαγές. Μια ακόμη ευρετική τεχνική βελτίωσης των διαδρομών για το πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή (TSP) είναι αυτή που αναφέρθηκε από τους Lin (1965) και Lin και Kernighan (1973). Οι παραπάνω μέθοδοι βασίζονται στην τοπική αναζήτηση και προσπαθούν να βρискουν μερικές τοπικές βέλτιστες λύσεις οι οποίες είναι αρκετά ευαίσθητες ως προς τις αρχικές (Laporte, 2000, Van Breebam, 2001).

Το πλεονέκτημα των μεθευρετικών αλγορίθμων είναι ότι καταφέρνουν να ξεπεράσουν την αδυναμία της τοπικής αναζήτησης. Τέτοιοι αλγόριθμοι είναι ο Tabu Search (TS), Ant Colony Algorithm (ACO), Genetic Algorithm (GA) και Guided Local Search (GLS) και αρκετοί ακόμα μιας και το εύρος των

προβλημάτων που πρέπει να λυθούν είναι πάρα πολύ μεγάλο. Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι μπορεί να αποδέχονται μια κακή λύση που έχει προέλθει από την εύρεση τοπικών βέλτιστων λύσεων και στη συνέχεια έχουν τη δυνατότητα να ξεφύγουν από αυτό.

Στα προβλήματα της δρομολόγησης οχημάτων χρησιμοποιήθηκε από πολλούς η μέθοδος την απαγορευμένης αναζήτησης. Οι Osman (1993), Taillard (1993), Gendreau κ.α. (1994), Rochat και Taillard (1995), Xu και Kelly (1996), Rego και Roucairol (1996) χρησιμοποίησαν την μέθοδο αυτή με αρκετά καλά αποτελέσματα. Επίσης οι Gendreau κ.α. (1999), Ichoua κ.α. (2000), Ghiani κ.α. (2003) χρησιμοποίησαν την απαγορευμένη αναζήτηση σε πραγματικό χρόνο για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων.

Οι Baker και Ayeche (2003) & Potvin (1996) αναφέρουν εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων σε μια παραλλαγή του VRP. Επίσης γενετικούς αλγόριθμους παρουσιάζει ο Salhi (1998) για τον προσδιορισμό διαδρομών με πολλαπλές αφετηρίες εκκίνησης των οχημάτων (multi-depot routing problem) και διαδρομών σχολικών λεωφορείων.

Ένας τεράστιος αριθμός των επεκτάσεων στην κλασική VRP έχει εισαχθεί τα τελευταία χρόνια, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης της περιορισμένης χωρητικότητας, των παραθύρων του χρόνου, των χαρακτηριστικών του στόλου και τα pick-up σενάρια / παράδοσης. Οι Pillac & Gendreau(2011) έδωσαν έμφαση στην σημαντικότητα δύο βασικών συστατικών σε εφαρμογές της πραγματικής ζωής που συχνά παραλείπονται από την κλασική VRP με στόχο την δρομολόγηση, δηλαδή στην εξέλιξη και στην ποιότητα των πληροφοριών. Οι συγγραφείς Braekers & Ramaekers(2015) επισημαίνουν ότι το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας VRP θεωρεί καθοριστική την ποιότητα των πληροφοριών, με μια μειοψηφία να απευθύνεται σε στοχαστικές ή σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες. Περαιτέρω αναφέρει ότι δεν υπάρχουν τυποποιημένοι διαθέσιμοι ορισμοί προβλημάτων για δυναμικό VRP.

Οι Enright, κ.α.(2011) στην ερευνά τους αναφέρουν το πρόβλημα με την μορφή ενός δυναμικού, στοχαστικού προβλήματος όπου οι στόχοι δημιουργούνται με βάση την διαδικασία του Poisson, με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής μεταξύ της εμφάνισης και της παρατήρησης του στόχου.

2.5 Επιθεώρηση οδοστρωμάτων

Η συμβατική επιθεώρηση στο πεδίο με χρήση οχημάτων και πολυάριθμα συνεργεία, έχει αποδειχθεί ότι είναι ασύμφορη. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα να εξετάζονται αυτά τα έργα σε πολύ σύντομο διάστημα και με χαμηλότερο κόστος χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία του πληρώματος επιθεώρησης στο πεδίο. Έτσι, είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα βέλτιστο σύστημα επιθεώρησης των έργων υποδομής.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αφορά την επιθεώρηση των οδοστρωμάτων για τον εντοπισμό φθοράς ,είτε λόγω κακής κατασκευής είτε λόγω συχνών διελεύσεων οχημάτων

Ουσιαστικά η επιθεώρηση είναι μια σειρά από ενέργειες κατά την λειτουργία των δρόμων που αφορούν τον εντοπισμό προβλημάτων. Για να είναι εφικτή η σωστή λειτουργία των δρόμων θα πρέπει τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων να καταγράφονται σε κάποιο αρχείο και να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβή, προκειμένου να μπορεί ανά πασα στιγμή να εντοπιστεί πότε αστόχησε το υλικό και για ποιο λόγο. Για τους παραπάνω λόγους οι επιθεωρήσεις είναι πολύ σημαντικές. Από τις επιθεωρήσεις λαμβάνονται πληροφορίες για τα σημαντικά προβλήματα των δρόμων και την επίδραση που έχουν στα οχήματα, που κινούνται πάνω σε αυτούς. Η επιθεώρηση πριν από κάθε παραλαβή νέου δρόμου είναι ένα σημαντικό στοιχείο για δύο λόγους. Πρώτον για να ελεγχθεί ότι ο δρόμος κατασκευάστηκε σωστά και δεύτερον για να υπάρχει μια αρχή αναφοράς για αυτόν. Έτσι, μια σωστή επιθεώρηση είναι σημαντική όχι μόνο για τα νέα έργα αλλά και για τα παλιά.

Η επιθεώρηση μπορεί να διακριθεί σε 6 διαφορετικά είδη:

1. Ετήσια
2. Περιοδική
3. Επιφανειακή
4. Γενική
5. Κύρια
6. Ειδική

Σε όλα τα είδη επιθεωρήσεων, εκτός από εκείνο της κύριας, ο τρόπος καταγραφής είναι προσεγγιστικός, εκτός εξαιρέσεων, δηλαδή καταγράφεται κάθε αστοχία σε συγκεκριμένο κομμάτι του δρόμου χωρίς πολλές λεπτομέρειες, όπως το πάχος και η ακριβής θέση.

Στην επιθεώρηση καταγράφονται σε ένα πλήρες αρχείο τα ακόλουθα στοιχεία:

- Γενικά στοιχεία: Όνομα, τοποθεσία και είδος δρόμου, ημερομηνία επιθεώρησης και όνομα επιθεωρητή
- Στοιχεία κατασκευής: Είδος κατασκευής δρόμου, υλικό και διαστάσεις
- Στοιχεία επιφάνειας
- Άλλα στοιχεία
- Άλλα σχόλια, που θα βοηθήσουν σε μελλοντικές επιθεωρήσεις

Διαβάζοντας όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πόσο χρονοβόρες μπορεί να είναι οι επιθεωρήσεις ενός νέου ή παλιού δρόμου. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί μια επιθεώρηση ενός τέτοιου έργου υποδομής να γίνει από το γραφείο και να ελεγχθεί όσες φορές χρειάζεται. Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροπλάνων (Drone) μπορεί να αποδειχθεί σημαντική για την μείωση του κόστους επιθεώρησης καθώς για την καλύτερη λειτουργία της διαδικασίας. Επίσης, με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχουν πλέον κάμερες με πάρα πολύ υψηλή ανάλυση και μεγέθυνση.

Η επιθεώρηση, ως μοναδική ενέργεια, συνήθως δεν είναι χρονοβόρα, αλλά η μετακίνηση από ένα σημείο σε ένα άλλο που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος της διαδικασίας. Η χρήση της βέλτιστης δυνατής διαδρομής, με την βοήθεια των Προγραμμάτων Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP), μπορεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος της επιθεώρησης.

2.6 Επιθεώρηση και VRP

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος (VRP) χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό μιας βέλτιστης διαδρομής για ένα στόλο οχημάτων με σκοπό την εξυπηρέτηση ενός συνόλου πελατών, δεδομένου ενός συνόλου περιορισμών. Το VRP χρησιμοποιείται και για την επιθεώρηση ενός έργου υποδομής. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του VRP, που διαμορφώνονται με βάση τη φύση των μεταφερόμενων προϊόντων, την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών και τα χαρακτηριστικά των πελατών και των οχημάτων. Το VRP έχει πολύ ευρύ φάσμα και μελετήθηκε λόγω της ποικιλίας της εφαρμογής του και της σημασίας του κατά τον καθορισμό αποτελεσματικών στρατηγικών για τη μείωση της επιχειρησιακής λειτουργίας κόστους στα δίκτυα διανομής.

Το VRP μπορεί να οριστεί ως το πρόβλημα σχεδιασμού των λιγότερο δαπανηρών διαδρομών από μια αποθήκη σε ένα σύνολο κόμβων (πελάτες) με βάση κάποιους περιορισμούς. Έτσι το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων βοηθάει αρκετά την επιθεώρηση, καθώς έχει τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος αυτής. Όπως προαναφέρθηκε, οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι, των οποίων οι λύσεις έχουν μεγάλη αξιοπιστία σε περιορισμένο χρόνο, μπορούν να έχουν εφαρμογή σε καθημερινά προβλήματα. Έτσι στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιούνται γενετικοί αλγόριθμοι, καθώς έχουν τη δυνατότητα να επιλύσουν προβλήματα που χαρακτηρίζονται από πολλά drone και να αντιμετωπίσουν διαφορετικές συνθήκες επιθεώρησης.

Μιας και οι επιθεωρήσεις των οδικών τμημάτων μπορούν να γίνουν και σε πραγματικό χρόνο, υπάρχουν παραλλαγές της κλασικής εκδοχής του VRP, τα δυναμικά προβλήματα δρομολόγησης οχήματος (Dynamic Vehicle Routing Problem - DVRP). Αυτά αναφέρονται ως προβλήματα on – Line δρομολόγησης οχήματος και έχουν προκύψει πρόσφατα λόγω της προόδου της πληροφορικής και της τεχνολογίας της επικοινωνίας που επιτρέπουν στην παροχή και επεξεργασία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Στο DVRP ορισμένες από τις παραγγελίες είναι γνωστές εκ των προτέρων, πριν ακόμα και από την έναρξη της εργάσιμης ημέρας, αλλά κατά τη διάρκεια αυτής, νέες παραγγελίες φτάνουν και πρέπει να ενσωματωθούν σε ένα εξελισσόμενο χρονοδιάγραμμα.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντική η παράθεση μιας αναφοράς που έχει γίνει σχετικά με την επιθεώρηση και τα VRPs. Ο Peng κ.α.(2010) και οι Peng & Ouyang (2012) μελέτησαν προβλήματα προγραμματισμού συντήρησης της γραμμής (track maintenance scheduling problems-TMSP) σε ένα δίκτυο σιδηροδρόμου. Θεώρησαν δυο περιορισμούς, τον αμοιβαίο και τον χρονικό αποκλεισμό. Η προτεινόμενη προσέγγιση τους έχει εφαρμοστεί στην πράξη τα τελευταία χρόνια. Τόσο τα TMSP και όσο και τα Rail Inspection Scheduling

Problem (RISP) αφορούν δρομολογήσεις ενώ οι εργασίες επιθεώρησης και συντήρησης στο δίκτυο, έχουν προγραμματιστεί σε ένα συγκεκριμένο ορίζοντα χρόνου και έχουν εκχωρηθεί σε ένα σύνολο ομάδων.

Τα δύο προβλήματα έχουν επίσης κάποιους παρόμοιους περιορισμούς όπως τα χρονικά παράθυρα. Ο προγραμματισμός χρονικού ορίζοντα της TMSP μπορεί να χωρίζεται σε εβδομάδες. Στα RISP, τα καθήκοντα έχουν συνεχή διάρκεια, που κυμαίνεται από λιγότερο από μία ώρα έως μερικές εβδομάδες. Ως εκ τούτου, είναι πολύ δύσκολο να θεωρηθεί διακριτός ορίζοντας προγραμματισμού σε RISP. Τα TMSP χρησιμοποιούνται για μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, λύνονται σπάνια (π.χ., μία φορά το χρόνο), και ένας χρόνος απόκλισης λίγων ωρών είναι συχνά αποδεκτός. Ωστόσο, τα RISP συνήθως λύνονται πολύ πιο συχνά (π.χ. κάθε εβδομάδα), και ο χρήστης μερικές φορές αναμένει να δει μια λύση μέσα σε λίγα λεπτά.

Επειδή το RISP είναι ένα παρόμοιο πρόβλημα με το VPR, όπου κάθε διαδρομή ξεκινάει από μια μόνο κορυφή του δικτύου, μοιάζει με πρόβλημα δρομολόγησης τόξου (arc routing problem). Ένα σύνολο δυαδικών μεταβλητών χρησιμοποιείται για να εκπροσωπεί το αν ο πελάτης εξυπηρετείται σε μια συγκεκριμένη ημέρα ή όχι.

Με τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πόσο σημαντικό ρολό παίζει το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων στην εύρεση μιας βέλτιστης διαδρομής για την επιθεώρηση των δρόμων.

2.7 Επιθεώρηση με μη επανδρωμένα οχήματα (Drone)

Η δρομολόγηση UAV θεωρείται επίσης ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP).

Αρκετοί συγγραφείς έχουν αντιμετωπίσει την δρομολόγηση μέσω Drone ως ένα στατικό και καθοριστικό πρόβλημα. Οι συγγραφείς Shetty και Subit (2008) προτείνουν έναν αλγόριθμο απαγορευμένης αναζήτησης (Tabu search) σε δύο στάδια ανάθεση στόχου και στόχου δρομολόγησης. Οι Jacobson & McLay (2006) χρησιμοποιούν στρατηγικές αναζητήσεις με έναν γενικευμένο αλγορίθμο αναρρίχησης λόφων (hill climbing). Οι Kinney & Hill(2005) και Harder & Hill(2004) προτείνουν μια αναζήτηση ταμπού για στατικό πρόβλημα δρομολόγησης Drone.

Ο Liu Zheng (2013) εξετάζει μια δυναμική και στοχαστική μοντελοποίηση της δρομολόγησης drone αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα του προγραμματισμού του χρόνου διαδρομής, στοχεύοντας να ξεπεραστούν πιθανά εμπόδια. Οι Edison & Shima(2011), Kuroki και Young(2010) παρουσιάζουν μια προσέγγιση ενός γενετικού αλγορίθμου για ένα τηλεκατευθυνόμενο αεροσκάφος δρομολόγησης. Όπως και στις περιπτώσεις των δυναμικών προβλημάτων δρομολόγησης στόχου, η βιβλιογραφία των δυναμικών και ντετερμινιστικών προβλημάτων δρομολόγησης, επικεντρώνεται κυρίως στην παροχή γρήγορης επίλυσης προβλημάτων που αφορούν στρατηγικές αποφάσεις και στην εκ νέου βελτιστοποίηση της δρομολόγησης,

σε διάφορα σημεία του χρόνου βασισμένα σε σημαντικές δυναμικές αλλαγές στο περιβάλλον. Οι Ruz, Arevalo(2007) και Berger & Boukhtouta(2012) εξετάζουν τη χρήση του μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες τροχιές. Οι Duan, Zhang (2003) και Lamont, Slear(2007) παρουσιάζουν μια προσεγγιστική επίλυση Γενετικού Αλγόριθμου στο σχεδιασμό της δρομολόγησης των drone.

Οι Le Ny, Dahleh, Feron(2008) εισάγουν μια προσέγγιση χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo, που μοντελοποιεί μια ανεξάρτητη, αλυσίδα Markov για κάθε στόχο.

Μια συνοπτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις μεθόδους βελτιστοποίησης της δρομολόγησης μπορεί να βρεθεί στην εργασία του Alotaibi (2014), ο οποίος χρησιμοποίησε δυο ακέραιες γραμμικές μεθοδολογίες για δρομολόγηση drone. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι για τη δυναμική εκδοχή του VRP απαιτούν την εκ νέου βελτιστοποίηση για την συνεκτίμηση δυναμικών αλλαγών, με την επιβολή περαιτέρω προκλήσεων.

Οι επιλύσεις σε πραγματικό χρόνο (παράλληλοι υπολογιστικοί αλγόριθμοι) περιγράφοντας ένα κινούμενο στόχο παρουσιάζονται ήδη από το 2003. Μια δεκαετία αργότερα, ο κινούμενος στόχος - TSP επιλύεται με χρήση γενετικών αλγορίθμων και με βελτιωμένη τροχιά. Άλλες μεθοδολογίες περιλαμβάνουν αλγορίθμους αποικίας μυρμηγκιών (ant colony algorithms), υβριδικές μεταευριστικές (hybrid metaheuristic), αλγόριθμους αναζήτησης γειτονιάς (neighbourhood search algorithm).

Πιο πρόσφατα, όσον αφορά την αυτόνομη δρομολόγηση, οι Jaishankar και Pralhad (2009) αναπτύσσουν ένα αυτόνομο σύστημα δρομολόγησης για τα UAV βασισμένο στην ενσωμάτωση multiple-criteria decision analysis MCDA με GIS, σε συνδυασμό με την τεχνική μετασχηματισμού απόστασης. Ένας συνδυασμός AHP και TOPSIS (technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) παρουσιάστηκε από τους Yilmaz και Arlak (2011) σαν μεθοδολογία επίλυσης για την αξιολόγηση εναλλακτικών διαδρομών για ένα VRP. Ο Dedemen (2016) χρησιμοποιεί AHP με PROMETHEE και GIS για την επιλογή της διαδρομής σε εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Ο Wu (2009) ανέπτυξε ένα 4-D αυτόνομο σύστημα δρομολόγησης drone για αστικές περιοχές χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο πολλαπλών σταδίων σε συνδυασμό με MACBETH. Στις ίδιες γραμμές, οι Jaishankar και Pralhad ανέπτυξαν ένα αυτόνομο σύστημα δρομολόγησης για drone με GIS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή – Στόχοι

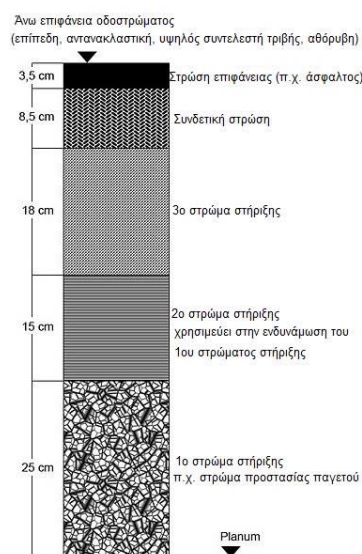
Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα για την βέλτιστη διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα Drones έτσι ώστε να καταγράψουν τους επιθυμητούς δρόμους. Με την βοήθεια καμερών που θα φέρουν τα Drone θα καταγραφούν όλοι οι δρόμοι έτσι ώστε στη συνέχεια οι επιθεωρητές να καταγράψουν την ζημία που έχουν υποστεί οι δρόμοι. Έτσι όπως θα δούμε και παρακάτω το συγκεκριμένο πρόβλημα θα λυθεί ως ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χρόνου στους κόμβους με το λιγότερο δυνατό κόστος.

3.2 Προβλήματα δρόμων

3.2.1 Είδη Φθοράς

Υπάρχουν δύο είδη φθοράς οδοστρωμάτων : δομική και λειτουργική.

1. Η δομική φθορά, είναι η κατάρρευση της δομής του οδοστρώματος ή η βλάβη μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος σε τέτοιο βαθμό, ώστε το οδόστρωμα να μην είναι σε θέση να παραλάβει τα φορτία που εξασκούνται στην επιφάνειά του.



Εικόνα 1: Δομικά στοιχεία Οδοστρώματος (Πηγή: www.4troxoi.gr)

2. Η λειτουργική φθορά, μπορεί να συνοδεύεται ή όχι από δομική φθορά, αλλά είναι τέτοια ώστε το οδόστρωμα να μην μπορεί να λειτουργήσει χωρίς να ταλαιπωρεί τους ταξιδιώτες ή χωρίς να προκαλεί ισχυρές καταπονήσεις στο όχημα που το διατρέχει, λόγω της ανώμαλης επιφάνειάς του.



Εικόνα 2: Λειτουργική φθορά οδοστρώματος (Πηγή: www.patrasevents.gr)

Ο βαθμός καταπόνησης διαβαθμίζεται και για τις δύο κατηγορίες και η σοβαρότητα της φθοράς ενός οδοστρώματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υποκειμενική γνώμη του προσώπου που την κρίνει. Πάντως, η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων καταπόνησης είναι σημαντική και ο μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να τη διακρίνει. Ως παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος με ασφαλτική επίστρωση. Η επιφάνεια ενδέχεται να παρουσιάσει ανωμαλίες σαν αποτέλεσμα φθοράς της ασφαλτικής στρώσης (λειτουργική βλάβη) χωρίς δομική βλάβη της όλης κατασκευής. Αντίθετα, το ίδιο οδόστρωμα είναι δυνατόν να παρουσιάσει ρήγματα και φθορές σαν αποτέλεσμα υπερφόρτισης (δομική βλάβη). Τα μέτρα συντήρησης για την πρώτη περίπτωση μπορούν να περιοριστούν σε ανανέωση της επιφανειακής στρώσης για την εξασφάλιση λείας επιφάνειας. Η δομική φθορά, όμως, ίσως να χρειάζεται πλήρη ανακατασκευή.

Υπάρχουν τρεις αιτίες που προκαλούν συνθήκες καταπόνησης. Πρώτον, υπερφόρτιση με μεγάλα μικτά φορτία, υψηλός βαθμός επανάληψης των φορτίων και υψηλές πιέσεις ελαστικών ενδέχεται να προκαλέσουν είτε δομική είτε λειτουργική βλάβη. Δεύτερον, κλιματικές καθώς και περιβαλλοντικές συνθήκες είναι δυνατόν να προκαλέσουν επιφανειακές ανωμαλίες και στατικές ανεπάρκειες. Π.χ. η διόγκωση λόγω παγετού ή η ανεπαρκής αποστράγγιση μπορεί να είναι αιτίες καταπόνησης. Πολλές από τις κλιματικές μεταβλητές μπορούν να εκτιμηθούν, αλλά πρόγνωση των κλιματικών συνθηκών είναι αβέβαιη. Μια τρίτη αιτία μπορεί να είναι η αποσάθρωση των υλικών οδοστρώσεως λόγω πήξης και τήξης ή ύγρυνσης και ξήρανσης. Επίσης, οι μέθοδοι κατασκευής ενδέχεται να έχουν κάποια επίδραση. Για παράδειγμα, αν κατά την κατασκευή δημιουργηθούν στο υπέδαφος λακκούβες που ευνοούν την συσσώρευση νερού και επομένως τη χαλάρωση του υπεδάφους μετά την

αποπεράτωση της κατασκευής, τότε δημιουργείται φθορά του οδοστρώματος. Η χρήση ακάθαρτων αδρανών και η ανεπαρκής επίβλεψη της κατασκευής είναι προφανείς παράγοντες φθοράς του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι σχεδιασμού πρέπει να συνοδεύονται από αυστηρή επίβλεψη και έλεγχο κατασκευής για οδοστρώματα καλής ποιότητας.

Πολλά είδη καταπόνησης των οδοστρωμάτων είναι συνάρτηση της συντήρησης ή, πιο σωστά, έλλειψης της συντήρησης. Η σφράγιση ρηγμάτων και αρμών σε κανονικά χρονικά διαστήματα εξασφαλίζει συμπαγή επιφανειακή στρώση, γιατί εμποδίζει τη διείσδυση νερού. Κατά τον ίδιο τρόπο, το σφράγισμα επιφανειακών εύκαμπτων οδοστρωμάτων είναι εξαιρετικά ευεργετικό. Από τα παραπάνω πρέπει να αναγνωριστεί ότι ο ανεπαρκής στατικός σχεδιασμός δεν είναι παρά ένας από τους πολλούς παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν καταπόνηση του οδοστρώματος. Κατά το στάδιο της μελέτης είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη πολλές από τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και οι μέθοδοι κατασκευής και συντήρησης. Εν κατακλείδι, η καλή συμπεριφορά των οδοστρωμάτων προϋποθέτει αλληλεξάρτηση πολλών παραγόντων.

Ο μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσει εντελώς τους παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό των οδοστρωμάτων. Επιπλέον πρέπει να είναι σε θέση να επεκτείνει τις αρχές σχεδιασμού σε περιπτώσεις που δεν καλύπτονται εντελώς από τις σύγχρονες μεθόδους σχεδιασμού. Ιδιαίτερα για τα εύκαμπτα οδοστρώματα υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στις μεθόδους σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται από διάφορες πολιτείες. Ένα από τα σημαντικότερα ερωτήματα που πρέπει να εξετασθούν είναι : “τι δημιουργεί την αποτυχία οδοστρωμάτων ;”. Με σκοπό να απαντηθεί το ερώτημα αυτό πρέπει αρχικά να κατανοηθούν οι τύποι καταπόνησης των οδοστρωμάτων. Ιδιαίτερη σημασία έχει να διαπιστωθεί, αν ορισμένοι τύποι καταπόνησης έχουν χαρακτήρα προοδευτικό, που πιθανόν οδηγεί σε τελική αποτυχία της οδού ή αν δεν είναι προοδευτικοί.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθούν πάλι οι δύο τύποι αποτυχίας, η δομική (κατάρρευση μίας ή περισσοτέρων στρώσεων του οδοστρώματος) και η λειτουργική (που σημαίνει ότι το οδόστρωμα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στη λειτουργία για την οποία προορίζεται). Οι δύο τύποι αποτυχίας δεν εμφανίζονται απαραίτητα μαζί ενώ η λειτουργική αποτυχία εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό τραχύτητας της επιφάνειας της οδού.

3.2.2 Δομικές Αποτυχίες σε Εύκαμπτα Οδοστρώματα

Οι δομικές αποτυχίες οφείλονται σε κόπωση της επιφάνειας, στερεοποίηση ή διάτμηση που αναπτύσσονται στο υπεδάφος, την υπόβαση, τη βάση ή την επιφανειακή στρώση. Το πλάτος μιας αυλάκωσης δείχνει γενικά το βάθος της αποτυχημένης στρώσης. Αυτό πάντως δεν είναι απόλυτα σωστό και πρέπει να αντιμετωπίζεται με επιφύλαξη. Οι αποτυχίες του υπεδάφους σε διάτμηση εκδηλώνονται με επιφανειακές διογκώσεις σε κάποια απόσταση από την αυλάκωση, ενώ οι αποτυχίες της επιφανειακής στρώσης σε διάτμηση καταλήγουν σε διόγκωση σε μικρή σχετικά απόσταση από το ίχνος του τροχού.

Αν και τα παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν γενικοί κανόνες, υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις και επομένως πρέπει να γίνεται μια ακριβέστερη ανάλυση για να καθορισθεί ποια στρώση έχει αποτύχει.

Η μετατόπιση της επιφανειακής στρώσης προκαλείται συνήθως από στερεοποίηση και επομένως καθίζηση μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος, χωρίς να συνοδεύεται από διόγκωση. Η πλευρική ώθηση προκαλεί επίσης επιφανειακές ανωμαλίες. Καταπόνηση προξενείτε από υπερβολική ή ανεπαρκή ποσότητα ασφάλτου, ενώ η αποτυχία της επιφανειακής στρώσης οφείλεται ίσως σε παγετό ή τήξη.

Οι διερευνήσεις γίνονται με τη διάνοιξη χαντακιών και οπτική επισκόπηση ή μετρήσεις για να προσδιορισθούν οι στρώσεις που μετατοπίστηκαν κατακόρυφα ή οριζόντια. Δοκιμές σε κάθε στρώση του οδοστρώματος δίνουν πολύτιμες πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ανάλυση.

3.2.3 Βασικοί τύποι καταπόνησης Οδοστρωμάτων

Υπάρχουν ορισμένοι βασικοί τύποι καταπόνησης οδοστρωμάτων, οι οποίοι δεν καλύπτουν όλο το φάσμα αλλά είναι οι συνηθέστεροι. Αποκλίσεις από τους τύπους αυτούς είναι πιθανές καθώς και συνδυασμοί διαφόρων τύπων μεταξύ τους :

- Ρηγμάτωση μορφής αλιγάτορα
- Αυλακώσεις
- Αποτυχίες σε διάτμηση
- Διαμήκεις ρωγμές
- Διόγκωση παγετού
- Ανοιξιάτικη θραύση
- Εφίδρωση
- Καθίζηση ή μετακίνηση θεμελίωσης
- Ανακλαστική ρηγμάτωση
- Δυσμενείς συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα



Εικόνα 3: Ρηγμάτωση μορφής Αλιγάτορα (Πηγή: www.hellaskps.gr)



Εικόνα 4: Αυλακώσεις (Πηγή: www.drivinganarchy.blogspot.gr)



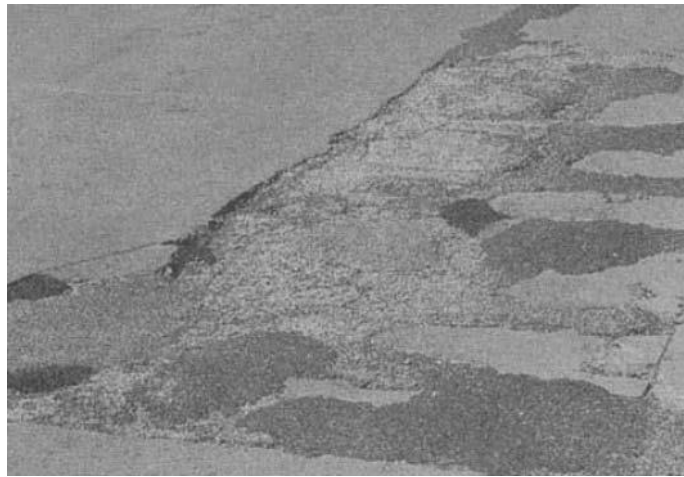
Εικόνα 5: Διαμήκεις ρωγμές (Πηγή: www.willhitweb.com)



Εικόνα 6: Διόγκωση παγετού (Πηγή: www.fresnoautoinsurances.com)



Εικόνα 7: Καθίζηση δρόμου (Πηγή: www.cnbc.com)



Εικόνα 8: Ανακλαστική ρηγμάτωση (Πηγή: www.civilblog.org)

Όλες οι φθορές που εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ρηγματώσεις, στη δεύτερη οι παραμορφώσεις παντός είδους, στην τρίτη οι αποσαθρώσεις και στην τέταρτη η λείανση της επιφάνειας κύλισης. Αναλυτική περιγραφή όλων των αναπτυσσόμενων φθορών μαζί με τα πιθανά αίτια που τις προκαλούν δίνεται παρακάτω. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, για τον καθορισμό της καταλληλότερης συντήρησης-θεραπείας των φθορών θα πρέπει πρώτα να καθορίζεται επακριβώς η κύρια αιτία που προκάλεσε τη φθορά.

A. Ρηγματώσεις (cracking).

Οι μορφές των επιφανειακών ρηγματώσεων του οδοστρώματος ποικίλλουν και οφείλονται σε διάφορες αιτίες. Σε πολλές περιπτώσεις η έγκαιρη απλή σφράγιση της ρωγμής ή των ρωγμών είναι η σωστότερη και αποτελεσματικότερη συντήρηση. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, είναι αναγκαία η πλήρης εξυγίανση της περιοχής που προσβλήθηκε. Έχουμε διαφορετικούς τύπους ρωγμών που παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (alligator cracks) ή ρωγμές συρρίκνωσης (shrinkage cracks).

Οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα έχουν συνήθως ακανόνιστη μορφή. Είναι διακλαδιζόμενες και αλληλοσυνδεόμενες ρωγμές που σχηματίζουν πολυγωνικά κομμάτια (μπλοκ) με οξείες γωνίες όμοια με αυτά του δέρματος του αλιγάτορα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κομμάτια αυτά δίνουν την εντύπωση ότι είναι σχεδόν έτοιμα να αποκολληθούν. Τα αίτια που προκαλούν τις ρηγματώσεις αυτές τις περισσότερες φορές, είναι το μεγάλο βέλος κάμψης που αναπτύσσεται στις ασφαλτικές στρώσεις του οδοστρώματος λόγω μειωμένης φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή και της υπόβασης / βάσης. Η μείωση προέρχεται από τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των στρώσεων αυτών λόγω εποχιακής αύξησης της υγρασίας στις στρώσεις αυτές ή λόγω κακής αποστράγγισης της βάσης και υπόβασης. Οι ρωγμές στην περίπτωση αυτή συνήθως εμφανίζονται τοπικά και σε περιορισμένη έκταση. Όταν οι ρωγμές τύπου αλιγάτορα εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση κατά μήκος του δρόμου, η αιτία εμφάνισής τους είναι διαφορετική. Στην προκειμένη περίπτωση η αιτία(-ες) που προκάλεσε τη φθορά αυτή είναι η πλήρης κόπωση του οδοστρώματος λόγω των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων του οδοστρώματος από τον κυκλοφοριακό φόρτο, σε συνδυασμό πιθανότατα και με την ύπαρξη ασθενούς υπεδάφους ή μειωμένου πάχους υποκείμενων στρώσεων. Το τελευταίο θα πρέπει πάντοτε να ελέγχεται και να καθορίζεται.



Εικόνα 9: Alligator cracks (Πηγή: www.coastalroadrepair.com)

2. Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος (edge cracks).

Οι ρωγμές αυτές είναι συνήθως επιμήκεις και εμφανίζονται περίπου 30-50 cm από τα άκρα του οδοστρώματος μετά ή άνευ εγκαρσίων ρωγμών. Οφείλονται κυρίως στην ανεπαρκή υποστήριξη του οδοστρώματος λόγω ενός ή περισσότερων από τους παρακάτω λόγους: κακή συμπύκνωση, κακή αποστράγγιση, δράση παγετού, συρρίκνωση λόγω ξηρασίας του εδάφους της περιοχής ή λόγω μειωμένου πάχους των στρώσεων στα σημεία αυτά.



Εικόνα 10: Edge Cracks(Πηγή: www.mocktheorytest.com)

3. Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή δια πλάτυνσης (lane and widening cracks)

Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται μεταξύ των λωρίδων διάστρωσης ή της δια πλάτυνσης και είναι πάντοτε διαμήκεις (εκτός της περίπτωσης διακοπής των εργασιών). Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο σε κακοτεχνία κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπως: διάστρωση τάπητα με μειωμένη ποσότητα ασφαλτομίγματος στη ραφή, κακή ή ανεπαρκή συγκόλληση της κάθετης επιφάνειας της προηγούμενης λωρίδας διάστρωσης και πτώση της θερμοκρασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών. Στην ειδική περίπτωση, που η ρωγή εμφανίζεται πάνω στο σημείο που έγινε διαπλάτυνση της οδού, το αίτιο πιθανόν να είναι η κακή συμπύκνωση των υποκείμενων νέων στρώσεων. Πλην όμως, στις περιπτώσεις αυτές θα υπάρχει, κατά πάσα πιθανότητα, εμφάνιση και άλλης μορφής αστοχίας του οδοστρώματος (κυρίως καθίζηση).



Εικόνα 11: Lane and Widening cracks(Πηγή: www.economy365.gr)

4. Διαμήκεις ρωγμές και εγκάρσιες ρωγμές.

Πρόκειται για διαμήκεις ρηγματώσεις κατά μήκος της οδού, που εμφανίζονται κοντά στον άξονα της οδού ή στα άκρα του οδοστρώματος. Πιθανά αίτια είναι η κακοτεχνία στη συναρμογή των λωρίδων διάστρωσης, κακή αποστράγγιση, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος, δράση παγετού, κακή συμπύκνωση κλπ. Διαμήκης ρωγμές κοντά στον άξονα (αριστερά) και στο άκρο (δεξιά) της οδού. Αντίστοιχα, οι εγκάρσιες ρωγμές είναι ρηγματώσεις κάθετες προς τον άξονα της οδού. Πιθανά αίτια τους είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος, τοπικές αστοχίες κλπ.

5. Ρωγμές από ανάκλαση (Reflection cracks)

Οι ρωγμές από ανάκλαση εμφανίζονται κατά κανόνα σε πρόσθετες ασφαλτικές στρώσεις (overlays) που διαστρώθηκαν στο παρελθόν για την αποκατάσταση σοβαρών φθορών του οδοστρώματος. Η μορφή και η κατεύθυνσή τους ποικίλλει και είναι διαμήκης, εγκάρσια, διαγώνια ή και μερικώς διακλαδιζόμενη, ανάλογα με τη μορφή που είχαν οι παλαιές ρωγμές της επισκευασθείσας επιφάνειας. Τυπικές ρωγμές από ανάκλαση είναι αυτές που εμφανίζονται σε ασφαλτικές επιστρώσεις πάνω σε δύσκαμπτα οδοστρώματα, ή οδοστρώματα από βάση με ισχνό σκυρόδεμα ή ακόμη σε επιστρώσεις που έγιναν πάνω από παλαιά εγκιβωτισμένα ερείσματα ή διαπλάτυνεις. Τα αίτια που προκαλούν αυτού του είδους τις ρωγμές είναι οι κάθετες και οριζόντιες μετακινήσεις του υποκείμενου οδοστρώματος. Οι μετακινήσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε μετακινήσεις του υπεδάφους, ή στη διόγκωση / συρρίκνωση αυτού λόγω ύπαρξης αργιλικών υλικών σε συνδυασμό με τη μεταβολή των επιπέδων υγρασίας ή στην κάθετη μετακίνηση των πλακών του δύσκαμπτου οδοστρώματος ή στην κάθετη μετακίνηση των ανεξάρτητων ρηγματωμένων κομματιών της παλαιάς επιφάνειας, γενικότερα ή λόγω της ύπαρξης τσιμέντου ως σταθεροποιητή.



Εικόνα 12: Reflection cracks(Πηγή: www.civilblog.org)

6. Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (Slippage cracks)

Η μορφή των ρωγμών από ολίσθηση των ταπήτων έχει σχήμα "μισοφέγγαρου". Οι ρωγμές αυτές οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην ολίσθηση του τάπητα κυκλοφορίας επί της υποκείμενης στρώσης λόγω κακής συνοχής αυτών. Η κακή συνοχή των ταπήτων οφείλεται στην απουσία συγκολλητικής επάλειψης ή την ανεπαρκή και κακή συγκολλητική επάλειψη, ή την ύπαρξη μεταξύ των στρώσεων χωμάτων (κυρίως αργιλικών) ή λαδιών αυτοκινήτων ή ύδατος. Οι ρωγμές αυτής της μορφής μπορεί να οφείλονται επίσης, ελάχιστες όμως φορές στη μεγάλη, περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε λεπτόκοκκα αδρανή ή ακόμη και στην κακή συμπύκνωση της υπερκείμενης στρώσης.



Εικόνα 13: Slippage cracks (Πηγή: www.onsitepaving.com)

7. Ρωγμές στην τροχιά των τροχών (Wheel path cracks)

Οι ρωγμές αυτές, που εμφανίζονται στην τροχιά των τροχών είναι πάντοτε διαμήκεις. Οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στην τοπική θραύση του οδοστρώματος. Η θραύση οφείλεται στη μειωμένη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους (εποχιακή ή μη) σε συνδυασμό με τα μεγάλα αξονικά φορτία που επιβάλλονται και το μειωμένο πάχος των ασφαλτικών στρώσεων και της βάσεως (περίπτωση υπό-διαστασιολόγησης του οδοστρώματος). Πλην όμως, η εμφάνιση ρωγμών στην τροχιά των τροχών μπορεί να οφείλεται και στην κόπωση των ασφαλτομιγμάτων (σύνηθες φαινόμενο). Συνεπώς, απαιτείται η συστηματική διερεύνηση των αιτιών και η λήψη των κατάλληλων μέτρων προς αποφυγή περαιτέρω επιδείνωσης.



Εικόνα 14: Wheel path cracks (Πηγή: www.fhwa.dot.gov)

8. Ευθύγραμμες ρηγματώσεις κόπωσης (Wheel track cracking)

Είναι λεπτές ρωγμές επιμήκεις, παράλληλες προς τον άξονα του δρόμου, που εμφανίζονται πάνω ή κοντά στα ίχνη των τροχών των οχημάτων. Οφείλονται σε:

- Κόπωση του οδοστρώματος
- Ανεπαρκή φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος ή του εδάφους κυκλοφορίας
- Υποχώρηση της στρώσης κυκλοφορίας κάτω από την επίδραση βαριάς κυκλοφορίας (κυρίως την άνοιξη). Το μήκος τους μεταβάλλεται από μερικά εκατοστά μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα. Εξελίσσονται σε ρηγματώση τύπου αλλιγάτορα.



Εικόνα 15: Wheel track cracking (Πηγή: www.boulderlibrary.net)

B. Παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) της επιφάνειας (Surface Distortion).

Οι παραμορφώσεις ή στρεβλώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι, σε γενικές γραμμές, οι φθορές εκείνες που χαρακτηρίζουν το οδόστρωμα ως μη επίπεδο. Η εμφάνιση επιφανειακών παραμορφώσεων αυξάνει την επικινδυνότητα της οδού δεδομένου ότι, αναλόγως της ταχύτητας του οχήματος, χάνεται ή μειώνεται η επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα. Επιπροσθέτως, επιφέρουν σημαντική μείωση της άνεσης κατά την οδήγηση. Οι παραμορφώσεις μπορεί να συνοδεύονται και από ρηγματώσεις γεγονός που επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την κατάσταση, κυρίως ως προς τη δομική λειτουργία του οδοστρώματος.

Οι παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος μπορεί να οφείλονται σε έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω λόγους :

- στην ελαστοπλαστική συμπεριφορά του ασφαλτομίγματος
- στη χαμηλή ευστάθεια των ασφαλτομιγμάτων
- στη μη καλή συμπύκνωση όλων των στρώσεων
- στην καθίζηση του υπεδάφους.

1. Τοπικά βυθίσματα (Depression / Bird Path).

Είναι καθίζηση μικρής έκτασης της επιφάνειας του οδοστρώματος συνήθως κυκλικής μορφής. Συνοδεύεται συχνά και από ρηγματώσεις. Δημιουργούνται λεκάνες βάθους δύο ή περισσότερων εκατοστών που συγκρατούν νερό με αποτέλεσμα την επιταχυνόμενη φθορά του οδοστρώματος και τη δημιουργία κινδύνου στην κυκλοφορία των οχημάτων (υδρολίσθηση, παγετός). Ως πιθανά αίτια αναφέρονται:

- Η Ελλιπής συνάφεια ασφαλτικού σκυροδέματος και βάσης του οδοστρώματος
- Η Τοπική απώλεια συνοχής της στρώσης της βάσης (κακή ποιότητα υλικών, ανεπαρκές πάχος)
- Η Χαμηλή αντοχή υπεδάφους

Η φθορά αυτής της μορφής εξελίσσεται σε ρηγμάτωση τύπου αλιγάτορα και στη συνέχεια σε λάκκο με απόσπαση υλικών.



Εικόνα 16: Depression (Πηγή: www.pinsdaddy.com)

2. Καθίζηση (Subsidence).

Πρόκειται για υποχώρηση ορατή και αρκετά εκτεταμένη είτε κοντά στο έρεισμα, είτε στη μέση της οδού. Τα πιθανά αίτια αυτής της βλάβης είναι:

- Το ανεπαρκές πάχος οδοστρώματος τοπικά
- Ανάμιξη των υλικών των στρώσεων του οδοστρώματος με αργιλικές γαίες.
- Τοπική κακοτεχνία
- Κακή αποστράγγιση.

Την καθίζηση ακολουθούν σύντομα και άλλες βλάβες (κύριες τοπικές ανυψώσεις, ρωγμές τύπου αλιγάτορα κλπ).



Εικόνα 17: Subsidence (Πηγή: www.nornow.org)

3. Διόγκωση οδοστρώματος κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας (Shoving along).

Πρόκειται για ανύψωση ασφαλτικού υλικού κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας που συνοδεύεται από παραμόρφωση του τύπου Π1 ή Π2 (ίχνη τροχών) ή από άλλη παραμόρφωση του οδοστρώματος και συνήθως συνοδεύεται από θραύση του οδοστρώματος στην ανυψωμένη περιοχή. Τα πιθανά αίτια είναι:

- Καθίζηση των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος
- Κακή συμπύκνωση κατά την κατασκευή
- Τοπική κακοτεχνία του οδοστρώματος (ανεπαρκές πάχος, μόλυνση υλικού κλπ).
- Παγοπληξία της υποδομής ή των κατώτερων στρώσεων του οδοστρώματος.
- Δυνατόν επίσης να προέρχεται από διαστολή, λόγω υγρασίας, διογκούμενων εδαφών.

Εξελίσσεται σε «μπακλαβάδιασμα» των παραμορφώσεων, αύξηση του βάθους των ιχνών ή των τοπικών καθιζήσεων κλπ.



Εικόνα 18: Shoving along (Πηγή: www.bikeportland.org)

4. Παραμορφώσεις κυματοειδούς μορφής (πτυχώσεις ή ρυτιδώσεις) (corrugations) ή εγκάρσιες πτυχώσεις (Shoving).

Οι ρυτιδώσεις ή πτυχώσεις, είναι μια μορφή πλαστικής μετατόπισης που έχει ως αποτέλεσμα την τοπική εξόγκωση της επιφάνειας, υπό την μορφή κυματώσεων. Στην ειδική περίπτωση που η πλαστική μετατόπιση είναι τοπική, το φαινόμενο ονομάζεται "απώθηση" (shoving). Οι εγκάρσιες πτυχώσεις είναι οριζόντιες μετακινήσεις των υλικών της επιφανειακής στρώσης, κυρίως προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Οι ρυτιδώσεις ή απωθήσεις εμφανίζονται, συνήθως σε περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές διατρητικές τάσεις, όπως σε περιοχές πέδησης σε σημεία της οδού όπου η κυκλοφορία σταματά για μικρό χρονικό διάστημα (στάσεις λεωφορείων, διασταυρώσεις, σταθμούς διοδίων κλπ), ή σε ανωφέρειες και κατωφέρειες και δεν συνοδεύονται από ρηγματώσεις, εκτός ορισμένων περιπτώσεων απωθήσεων. Οι ρυτιδώσεις αναπτύσσονται σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι όμως, περισσότερο έντονες στην κύρια λωρίδα της κυκλοφορίας. Ως πιθανά αίτια αναφέρονται:

- Ανεπαρκής ευστάθεια του ασφαλτομίγματος της στρώσης κυκλοφορίας (αυξημένο ποσοστό ασφάλτου, μαλακή άσφαλτος, μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων αδρανών, στρογγυλεμένα αδρανή κλπ).
- Ρύπανση της στρώσης κυκλοφορίας από ορυκτέλαια.
- Κακή εξάτμιση των πτητικών του ασφαλτικού διαλύματος στο ασφαλτόμιγμα.
- Κακή σύνδεση μεταξύ της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης και της υποκείμενης στρώσης του οδοστρώματος (κακότεχνη συγκολλητική επάλειψη). Η φθορά εξελίσσεται με αύξηση του ύψους της πτύχωσης και ρηγμάτωση του ασφαλτικού στα σημεία των σημαντικότερων ανυψώσεων.



Εικόνα 19: Corrugations (Πηγή: www.pennbiotechgroup.com)

5. Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών (channel or ruts) ή ίχνη τροχών μικρού εύρους (Rutting Ornierage).

Οι αυλακώσεις αυτές είναι καναλοποιημένες καθιζήσεις κατά μήκος των ιχνών των τροχών. Η παραμόρφωση αυτή αφορά συνήθως την στρώση κυκλοφορίας και εκτείνεται σε μεγάλα μήκη. Εμφανίζονται κυρίως στην ακραία (δεξιά) λωρίδα κυκλοφορίας του αυτοκινητόδρομου. Οι βασικές αιτίες είναι οι ακόλουθες:

- Κακή συμπύκνωση των ασφαλτικών στρώσεων κατά την κατασκευή
- Ολίσθηση μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος κυκλοφορίας που έχει συμπυκνωθεί υπερβολικά, κάτω από την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας, ή περιέχει πολύ άσφαλτο
- Κακή σύνθεση του ασφαλτομίγματος
- Ανεπαρκής πλευρική στήριξη του οδοστρώματος από τα ερείσματα.
- Υψηλές θερμοκρασίες
- Σημαντικές κυκλοφοριακές επιπονήσεις (βαριά κυκλοφορία, περιοχές διοδίων, σηματοδοτών) σε περιόδους με μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Αυτού του είδους η φθορά συνοδεύεται από εξίδρωση (ανάδυση ασφάλτου) και δημιουργία τοπικών ανυψώσεων.



Εικόνα 20: Channel or ruts (Πηγή: www.en.wikipedia.org)

C. Αποσυνθέσεις

Αποσύνθεση είναι η θρυμματίση του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Σε αυτήν περιλαμβάνεται και η αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Εάν η αποσύνθεση, όπως ορίστηκε παραπάνω, δεν αποκατασταθεί έγκαιρα, είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει πολύ σύντομα σε κατάσταση όπου θα απαιτείται αντικατάσταση του οδοστρώματος. Οι κυριότερες μορφές αποσύνθεσης σε αρχικό στάδιο είναι η αποκόλληση αδρανών (ravelling) και οι λακκούβες (potholes).

1. Αποκόλληση αδρανών από ασφαλτοτάπητες (Raveling)

Η αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι το γνωστό «ψώριασμα» ή απογύμνωση της επιφάνειας, που αρχίζει, συνήθως, από την άκρη του οδοστρώματος και διαδίδεται προς το κέντρο. Η αποκόλληση των αδρανών γίνεται προοδευτικά. Πρώτα αποκολλώνται τα λεπτόκοκκα αδρανή και κατόπιν τα χονδροκόκκα. Στα πρώτα στάδια, η επιφάνεια παρουσιάζει μια σχετική τραχύτητα και κατόπιν μικρές 'φωλιές' οι οποίες αρχίζουν να πυκνώνουν και να μεγαλώνουν, δημιουργώντας έτσι σε πολλές περιπτώσεις λακκούβες. Ως πιθανά αίτια αναφέρονται :

- Ανεπαρκής συμπύκνωση της στρώσης.
- Κατασκευή του τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες (βροχές, χαμηλές θερμοκρασίες κλπ) 20
- Χρησιμοποίηση μη καθαρών αδρανών ή αδρανών που συντρίβονται με την πάροδο του χρόνου (π.χ. ψαμμιτικά αδρανή).
- Μικρή περιεκτικότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα ή υπερθέρμανσή του. Με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η διαπερατότητα της ασφαλτικής στρώσης, δεν συγκρατούνται πλέον τα αδρανή τα οποία αποκολλώνται, με συνέπεια την αποσύνθεση της επιφάνειας του οδοστρώματος και τη δημιουργία λάκκων.



Εικόνα 21: Raveling (Πηγή: www.lacoon.info)

2. Απογύμνωση αδρανών (Desenrobage).

Πρόκειται για απώλεια λεπτόκοκκων αδρανών και ασφαλτικού υλικού γύρω από τα αδρανή μιας στρώσης κυκλοφορίας. Απογύμνωση αδρανών στην επιφάνεια ασφαλτοτάπητα . Τα πιθανά αίτια είναι :

- Ανεπαρκής συνάφεια συνδετικού υλικού, αδρανών.
- Κατασκευή τάπητα με κακές καιρικές συνθήκες.
- Συγκέντρωση νερών στο οδόστρωμα.

Ακολουθείται από αύξηση της διαπερατότητας του ασφαλτομίγματος με σύγχρονη απώλεια σκύρων που δεν συγκρατούνται μετά την απογύμνωσή τους. Πρέπει να επισκευάζεται αμέσως χρησιμοποιώντας ασφαλτική επάλειψη.



Εικόνα 22: Desenrobage (Πηγή: www.hiveminer.com)

3.3 DRONES

Τα drones είναι τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα που ελέγχονται είτε από κάποιον απομακρυσμένο χειριστή είτε αυτόνομα ακολουθώντας κάποιο προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης. Μπορεί να είναι πολυκόπτερα (τρικόπτερα, τετρακόπτερα, εξακόπτερα κοκ) ή και αεροπλάνα.

Πολλοί αναφέρονται με τον όρο drones και γενικότερα σε οποιοδήποτε μη επανδρωμένο όχημα ελέγχεται από απόσταση ή από κάποιο προκαθορισμένο σχέδιο άσχετα με το που δραστηριοποιείται:

- ξηρά – unmanned ground vehicles (UGVs)
- θάλασσα – unmanned marine vehicles (UMVs) και
- αέρα – unmanned aerial vehicles (UAVs)

Άλλοι πάλι δε χρησιμοποιούν τον όρο drone για τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα γιατί θεωρούν ότι η ονομασία drone παραπέμπει σε στρατιωτικές αποστολές. Πλέον με τον όρο drones εννοούνται τα πολυκόπτερα (multicopters, multirotors).

3.3.1 Ιστορικά στοιχεία για τα Drones

Η κατασκευή των drones ξεκίνησε για στρατιωτικούς σκοπούς από την Αμερική και χρησιμοποιούνταν από τη CIA για την καταπολέμηση της τρομοκρατίας και για παρακολούθηση.

Μερικά χαρακτηριστικά για τα Drones:

1. Τα drones χρησιμοποιούνται για πολλούς λόγους: για χαρτογραφήσεις περιοχών, για κτηματομεσιτικούς σκοπούς, για αγροτικές καλλιέργειες, για να παραδίδουν τροφή και φάρμακα σε εμπόλεμες ζώνες, πιθανόν και για παρακολούθησεις προσώπων.

2. Η πιο εκτεταμένη χρήση των drones είναι για την εναέρια κάλυψη αθλητικών γεγονότων, συναυλιών, εκδηλώσεων και φυσικά, γάμων!
3. Το μειονέκτημα των drones είναι η μπαταρία τους, αφού ακόμα δεν τα επιτρέπει να πετούν για πολλή ώρα. Τα πιο ακριβά μπορούν να πετάξουν για μια ώρα περίπου.

3.3.2 Νομοθεσία και Drones

Τα drones μπορεί να είναι επικίνδυνα για τα αεροπλάνα, αλλά και για τους ανθρώπους και τις περιουσίες τους, για αυτό από 1 Ιανουαρίου 2017, θεσπίστηκαν νόμοι που οριοθετούν τη χρήση τους.

Σύμφωνα με το νέο νόμο τα drones χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Την ανοιχτή κατηγορία για drones μέχρι 25 κιλά με δυνατότητα πτήσης μικρότερη από 500 μέτρα από τον χειριστή.
- Την ειδική κατηγορία για την οποία είναι απαραίτητη άδεια πτητικής λειτουργίας, εγγραφή σε μητρώο και ασφαλιστήριο συμβόλαιο.
- Και την πιστοποιημένη κατηγορία, για την οποία απαιτείται νηολόγηση του drone και ο χειριστής θα πρέπει να έχει ειδική εκπαίδευση.

Σε όλες τις κατηγορίες, ακόμα και στην ανοιχτή, όταν το drone δεν προορίζεται για ερασιτεχνική χρήση, ο χειριστής πρέπει να παρακολουθήσει ορισμένα σεμινάρια πτήσης.

Όταν το drone προορίζεται για επαγγελματική χρήση πρέπει να είναι ασφαλισμένο και να έχει ειδική άδεια από την ΥΠΑ (Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας), η οποία πρέπει να ανανεώνεται κάθε χρόνο.

Όλα τα drones που έχουν τη δυνατότητα να πετούν πάνω από 50 μέτρα από το χειριστή τους, ανεξάρτητα από τη χρήση τους, πρέπει να δηλώνονται στο Μητρώο της ΥΠΑ. Ακόμα και τα ερασιτεχνικά (με μια απλή ηλεκτρονική δήλωση).

Σε κάθε περίπτωση, ο κανονισμός τονίζει ότι πρέπει να γίνεται σεβαστή η νομοθεσία για την προστασία προσωπικών δεδομένων.

Τα drones Ανοικτής Κατηγορίας που χρησιμοποιούνται επαγγελματικά, τα drones της Ειδικής Κατηγορίας και τα drones της Πιστοποιημένης Κατηγορίας πρέπει να ασφαλιζονται για υλικές ζημιές έως 150000 ευρώ και για σωματικές βλάβες έως 1.000.000 ευρώ.

Τα drones επιτρέπεται να πετούν:

- A. Κάτω από ύψος 400 ποδών, δηλαδή, κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών.
- B. Πάνω από ύψος 46.000 ποδών, δηλαδή, πάνω από τα ανώτερα όρια του εναέριου χώρου για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών.
- C. Εντός προσωρινών περιοχών που προσδιορίζονται από τις υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας της ΥΠΑ.

Τα drones απαγορεύεται να πετούν:

- A. Σε περιοχές που διενεργούνται πτήσεις επανδρωμένων αεροσκαφών.
- B. Σε απόσταση μικρότερη των 8 χιλιομέτρων από αεροδρόμια.
- C. Πάνω από ανθρώπους και συγκεντρώσεις ανθρώπων – εκτός αν υπάρχει ειδική άδεια και το drone έχει εξοπλισμό όπως αλεξίπτωτο, αφρώδες υλικό ή πολύ μικρό βάρος σώματος.
- D. Πάνω από στρατιωτικές εγκαταστάσεις.
- E. Πάνω από σχολεία, νοσοκομεία, ιδρύματα, φυλακές.
- F. Μισή ώρα πριν την ανατολή και μέχρι μισή ώρα μετά τη δύση του ηλίου.

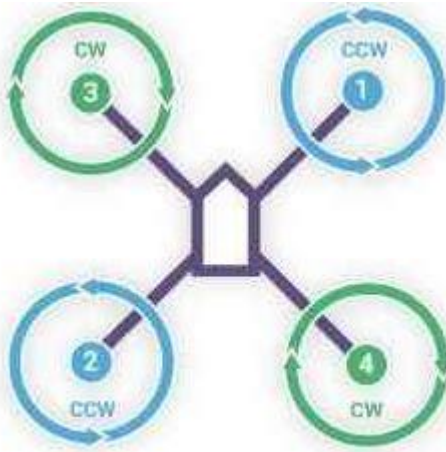
3.3.3 Είδη Drones

Τα **πολυκόπτερα** είναι τηλεχειριζόμενα ιπτάμενα οχήματα των οποίων η κίνηση και ευστάθεια στον αέρα οφείλεται στην ώθηση των κινητήρων τους. Είναι αεροδυναμικά ασταθή και απαιτούν on-board υπολογιστή (flight controller – ελεγκτής πτήσης) για να πετάξουν με σταθερότητα. Ο υπολογιστής αυτός συνδυάζει δεδομένα από τους αισθητήρες που διαθέτει (γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο, βαρόμετρο και GPS) για να υπολογίσει την κατάσταση και τη θέση του οχήματος.

Το **τετρακόπτερο** είναι η πιο δημοφιλής κατηγορία πολυκοπτερών. Το τετρακόπτερο έχει 4 κινητήρες, με τον κάθε κινητήρα-προπέλα να λειτουργεί με αντίθετη φορά από τον διπλανό του. Το τετρακόπτερο ελέγχει την κίνηση του αυξάνοντας και μειώνοντας τις στροφές των κινητήρων του.

Το drone (τετρακόπτερο) για να κινηθεί αυξομειώνει ανάλογα με την εντολή που του δίνουμε τις στροφές των κινητήρων του. Για παράδειγμα:

- Για να προχωρήσει μπροστά αυξάνει τις στροφές των 2 κινητήρων που βρίσκονται στην οπίσθια πλευρά (2,4) και μειώνει τις στροφές στους εμπρόσθιους (3,1).
- Για να πετάξει προς τα αριστερά αυξάνει τις στροφές στους 2 κινητήρες στη δεξιά πλευρά (1,4) και μειώνει τις στροφές στους 2 κινητήρες στην αριστερή πλευρά (3,2).
- Αν θέλει να κινηθεί αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα γύρω από τον αεροσκάφος αυξάνει τις στροφές στο ένα ζευγάρι των μοτέρ που βρίσκονται διαγώνια (π.χ. 1,2) ρίχνοντας τις στροφές στο άλλο ζευγάρι (π.χ. 3,4) ή αντίστροφα.
- Για να ανέβει ψηλότερα το drone αυξάνει τις στροφές σε όλους τους κινητήρες και για να χαμηλώσει το ύψος του μειώνει τις στροφές.

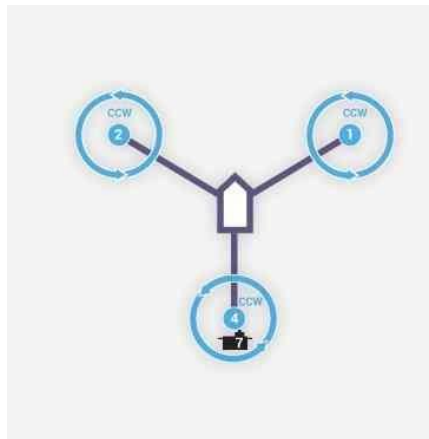


Εικόνα 23: Πως κινούνται τα τετρακόπτερα (Πηγή: www.dronesworld.gr)

Βασικοί Τύποι Drones – Πολυκοπτερών σύμφωνα με τη διάταξη των κινητήρων τους

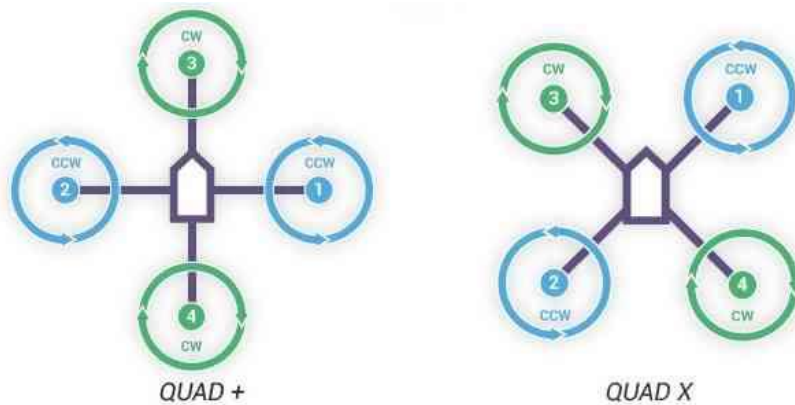
a) Τρικόπτερο

Τα τρικόπτερα έχουν 3 κινητήρες σε σχήμα “Υ” ή “Τ”. Είναι μια φτηνή αλλά πολύπλοκη λύση και δε προσφέρει τη σταθερότητα των τύπων με περισσότερους κινητήρες.



Εικόνα 24: Τρικόπτερο (Πηγή: www.dronesworld.gr)

b) Τετρακόπτερο



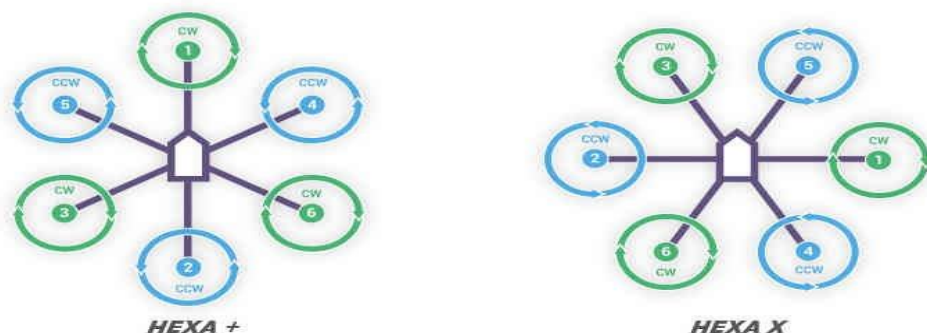
Εικόνα 25: Τετρακόπτερο (Πηγή: www.dronesworld.gr)

Το τετρακόπτερο συνήθως έχει σχήμα “X” και έχει 4 κινητήρες: οι 2 διαγώνιοι κινούνται αριστερόστροφα και οι άλλοι 2 διαγώνιοι δεξιόστροφα. Έτσι δημιουργούν αντίθετες δυνάμεις και το drone μένει σταθερό. Είναι ο πιο συνηθισμένος και απλός τύπος drone και αυτός που έχουν οι περισσότεροι στο μυαλό τους όταν αναφέρονται στο τι είναι τα drones. Σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα το τετρακόπτερο χάνει τον έλεγχο και πέφτει αβοήθητο.

c) Εξακόπτερο

Το εξακόπτερο έχει 6 κινητήρες και προσφέρει μεγαλύτερη ανυψωτική δύναμη από τα προηγούμενα και επιπλέον την ασφάλεια του ότι αν ένας κινητήρας αντιμετωπίσει πρόβλημα το drone δε θα πέσει αβοήθητο αλλά θα παραμείνει αρκετά σταθερό για να προσγειωθεί με ασφάλεια. Κοστίζουν όμως περισσότερο και είναι ακριβότερα από τους προηγούμενους τύπους.

d) Εξακόπτερο – Διαταξη Y

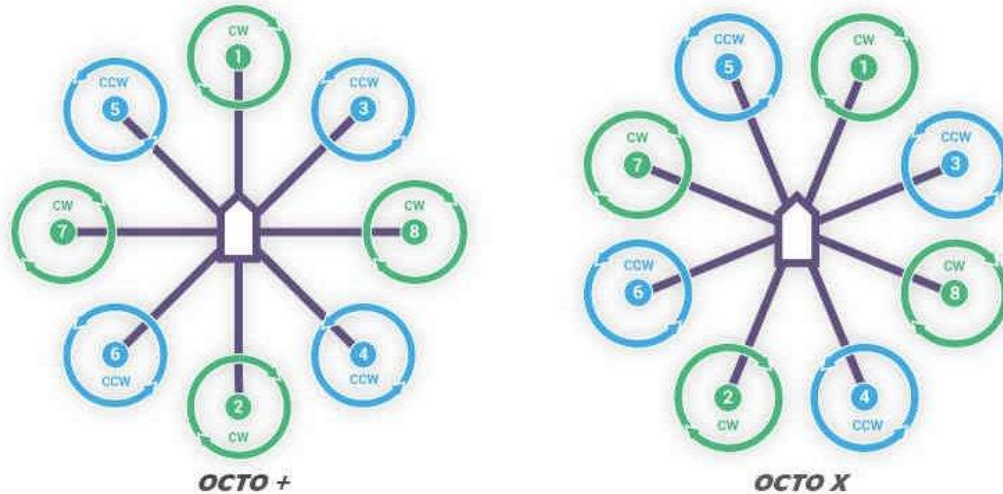


Εικόνα 26: Εξακόπτερο (Πηγή: www.dronesworld.gr)

Το Εξακόπτερο σε Διαταξη Y συνδυάζει την ανυψωτική δύναμη του εξακόπτερου σε μέγεθος τρικόπτερου.

ε) Οκτακόπτερο

Όπως και το εξακόπτερο, έτσι και το οκτακόπτερο έχει ακόμη μεγαλύτερη ανυψωτική δύναμη, είναι ακόμη μεγαλύτερο και απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να πετάξει. Χρησιμοποιείται καθαρά για επαγγελματικούς λόγους για να σηκώσει ακριβό φωτογραφικό εξοπλισμό.



Εικόνα 27: Οκτακόπτερο (Πηγή: www.dronesworld.gr)

Τα drone μπορεί να είναι πολύ χρήσιμα για την εκτέλεση πολύπλοκων εργασιών σε ένα κατανεμημένο περιβάλλον όπως ο εντοπισμός στόχων και αναζήτηση σημείων ενδιαφέροντος. Τα συστήματα Drone είναι σε θέση να λύσουν δυναμικά προβλήματα προγραμματισμού δεδομένου ότι κάθε Drone μπορεί να κινείται από μια συγκεκριμένη θέση σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των μη επανδρωμένων οχημάτων κοινώς γνωστών ως Drone ανοίγει νέες δυνατότητες για την δημιουργία ομάδων οχημάτων που είναι σε θέση να εκτελέσουν πολύπλοκες αποστολές με μεγάλο βαθμό αυτονομίας. Ναι μεν τα Drone μπορεί να είναι ακριβά όσον αφορά την αγορά τους αλλά για να χρησιμοποιηθούν είναι αρκετά φτηνότερα από ένα αυτοκίνητο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια μαθηματική διατύπωση του προβλήματος που αφορά στη δρομολόγηση Drone για την επιθεώρηση οδικών τμημάτων. Το προτεινόμενο μοντέλο πολλαπλών κριτηρίων βελτιστοποίησης λαμβάνει υπόψη τρεις στόχους:

1. το σύνολο των αποστάσεων που διανύονται από τα Drone να είναι το ελάχιστο
2. ελαχιστοποίηση των διαθέσιμων Drone

Σε αυτή την υπό ενότητα θα αναλυθεί το μαθηματικό μοντέλο και θα διατυπωθεί η αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει το πρόβλημα και οι περιορισμούς που θα χρησιμοποιηθούν. Στην συνέχεια θα περιγράψουν τα μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για να επιλυθεί το πρόβλημα καθώς και θα γίνει αναφορά στους γενετικούς αλγορίθμους αφού με αυτούς λύθηκε το παρακάτω πρόβλημα.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα θα λυθεί με την χρησιμοποίηση ακέραιου, μη γραμμικού προγραμματισμού.

Για την μαθηματική συνάρτηση του προβλήματος θα πρέπει να ορίσουμε ένα σύνολο κόμβων C με πλήθος 25 όπου αντιπροσωπεύουν τους κόμβους των δρόμων, σε ένα σύνολο ακμών, δηλαδή αναφέρονται στις κορυφές των οικοδομικών τετραγώνων. Η κάθε ακμή ορίζεται μονοσήμαντα από ένα ζεύγος (i,j) όπου i,j ανήκει στο V , και το i είναι διαφορετικό από το j . Για κάθε i,j αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο κόστος C_{ij} το οποίο είναι το συνολικό κόστος διαδρομής του κάθε drone για τον συγκεκριμένο κόμβο. Έτσι το πρόβλημα διατυπώνεται μαθηματικά ως εξής:

$$\text{Minimize } \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} \sum_{k \in C} (C_{ij} \cdot x_{ijk}) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{k \in W} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in C \quad (2)$$

$$\left(\sum_{j \in C} x_{ijk} \right) \leq Q_k \quad \forall i \in C \quad (3)$$

$$\sum_{i \in C} x_{ipk} = \sum_{j \in C} x_{pjk} \quad \forall p \in C, k \in W \quad (4)$$

$$\sum_{i \in C} s_{ik} \sum_{j \in C} x_{ijk} + \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} t_{ijk} \cdot x_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \in W \quad (5)$$

$$\sum_{j \in C/\{0\}} x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in W \quad (6)$$

$$\sum_{i \in C/\{0\}} x_{0ik} \leq 1 \quad \forall k \in W \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in S \quad \forall i \in C, j \in C, k \in W \quad (8)$$

$$S = \left\{ x_{ijk} : \sum_{i \in B} \sum_{j \in B} x_{ijk} \leq |B| - 1 \text{ for } B \subseteq C / \{0\}; |B| \geq 2 \right\} \quad (9)$$

- C είναι το σύνολο των αξονοδιασταυρωσεων
- W το σύνολο των Drone
- i,j,r κομβοί που ανήκουν στο C
- K είναι το Drone Που ανήκει στο W
- C_{i,j} είναι το κόστος της διαδικασίας
- S_{ij} είναι ο χρόνος που κάθε drone μένει πάνω από κάθε κόμβο
- T_k είναι ο μέγιστος χρόνος δρομολογίου για το Drone k

Η συνάρτηση αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, που έχει σα στόχο να ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος για το δίκτυο, το οποίο αποτελεί το άθροισμα των παραμέτρων. Έτσι η αντικειμενική συνάρτηση (1) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος. Οι περιορισμοί (2) και (3) εξασφαλίζουν ότι κάθε κόμβος εξυπηρετείται από ακριβώς ένα drone. Ο περιορισμός (4) εγγυάται ότι ένα drone θα εξέρχεται από τον κόμβο στον οποίο εισέρχεται. Ο περιορισμός (5) αφορά το μέγιστο επιτρεπόμενο χρόνο ταξιδιού και οι περιορισμοί (6) και (7) είναι για να εξασφαλιστεί ότι ο μέγιστος αριθμός drone δεν θα ξεπεραστεί. Τέλος οι περιορισμοί (8) και (9) είναι για την απαγόρευση των υπό-διαδρομών (sub-tour elimination).

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιείται η Visual Basic for Application η οποία είναι μια εξειδικευμένη μορφή της Microsoft Visual Basic σε συνδυασμό με το πρόγραμμα Palisade Evolver 5.0 . Η VBA χρησιμοποιείται για την αυτοματοποίηση κάποιων διαδικασιών οι οποίες συνήθως είναι λειτουργίες που χρησιμεύουν στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

4.1 Γενετικοί αλγόριθμοι

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, παρατηρείται ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη συστημάτων επίλυσης προβλημάτων βασισμένων στις αρχές της Φυσικής Εξέλιξης. Συστήματα αυτού του είδους λειτουργούν κρατώντας σταθερό έναν πληθυσμό κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων του προβλήματος που πρόκειται να επιλυθούν, και εφαρμόζοντας πάνω σε αυτόν διάφορες διαδικασίες εμπνευσμένες από τη βιολογική εξέλιξη. Έτσι, από γενιά σε γενιά, τα συστήματα αυτά αναπτύσσουν συνεχώς νέους πληθυσμούς πιθανών λύσεων βελτιώνοντας τους προηγούμενους πληθυσμούς.

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms) αποτελούν ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος, οι οποίοι μαζί με τον Εξελικτικό Προγραμματισμό (Evolutionary Programming.), τις Στρατηγικές Εξέλιξης (Evolution Strategies), τα Συστήματα Ταξινόμησης (Classifier Systems) και το Γενετικό Προγραμματισμό (Genetic Programming) συγκροτούν μια κατηγορία συστημάτων επίλυσης προβλημάτων, που είναι ευρύτερα γνωστή με τον όρο Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms).

Η πρώτη εμφάνιση των Γενετικών Αλγόριθμων (Γ.Α.) χρονολογείται στις αρχές της δεκαετίας του 1950, όταν διάφοροι επιστήμονες από το χώρο της βιολογίας αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν υπολογιστές στην προσπάθειά τους να αναπαραστήσουν πολύπλοκα βιολογικά συστήματα. Η συστηματική τους ανάπτυξη, όμως, που τους οδήγησε στην μορφή με την οποία είναι γνωστοί σήμερα, πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 1970 από τον John Holland (Holland 1975) και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο του Michigan. Η βασική ιδέα των Γ.Α. είναι η απομίμηση των μηχανισμών της βιολογικής εξέλιξης, που υπάρχουν στη φύση. Ένα παράδειγμα είναι οι λαγοί και ο τρόπος που αναπαράγονται και εξελίσσονται από γενιά σε γενιά (Michalewicz, 1996). Έστω ότι η αρχή σημειώνεται από την παρατήρηση ενός συγκεκριμένου πληθυσμού από λαγούς σε ένα οικοσύστημα. Όπως είναι φυσικό, κάποιοι από αυτούς θα είναι πιο γρήγοροι.

Οι συγκεκριμένοι λαγοί έχουν περισσότερες πιθανότητες ενδεχόμενα να επιβιώσουν στο φυσικό τους περιβάλλον (δηλαδή να εξασφαλίζουν τροφή και να ξεφεύγουν από τα διάφορα αρπακτικά που τους καταδιώκουν, όπως για παράδειγμα τις αλεπούδες) από ότι κάποιοι πιο αργοί ή λιγότερο έξυπνοι λαγοί. Φυσικά δεν είναι λίγοι οι αργοί ή λιγότερο έξυπνοι λαγοί που κατορθώνουν να επιβιώνουν εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, όπως η τύχη. Όλοι αυτοί οι λαγοί, που καταφέρνουν να επιζήσουν, θα αρχίσουν την παραγωγή της επόμενης γενιάς τους, μιας γενιάς που θα συνδυάζει με διάφορους τρόπους όλα τα χαρακτηριστικά της προηγούμενης. Έτσι, μερικοί αργοί λαγοί θα αναμειχθούν με κάποιους γρήγορους, κάποιοι γρήγοροι με άλλους γρήγορους, κάποιοι εύστροφοι λαγοί με κάποιους μη εύστροφους και ούτω καθεξής, αναπτύσσοντας έτσι με την πάροδο του χρόνου έναν πληθυσμό που χαρακτηρίζεται από λαγούς, οι οποίοι κατά μέσο όρο είναι εξυπνότεροι και ταχύτεροι από τους προγόνους τους. Ευτυχώς, όμως, και τα αρπακτικά υφίστανται την ίδια διαδικασία εξέλιξης από γενιά σε γενιά, προκειμένου η φύση

να διατηρηθεί σε ισορροπία, διαφορετικά οι λαγοί θα γίνονταν υπερβολικά γρήγοροι και έξυπνοι με αποτέλεσμα να μη μπορούν να τους πιάσουν.

Οι Γ.Α. χρησιμοποιούν ορολογία από το χώρο της Φυσικής Γενετικής. Αναφέρονται σε άτομα (individuals) ή γενότυπους (genotypes) μέσα σε ένα πληθυσμό. Κάθε άτομο ή γενότυπος αποτελείται από χρωμοσώματα (chromosomes). Στους Γ.Α. συνήθως γίνεται αναφορά σε άτομα με ένα μόνο χρωμόσωμα. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από γονίδια (genes), τα οποία είναι διατεταγμένα σε γραμμική ακολουθία. Κάθε γονίδιο είναι υπεύθυνο για την κληρονομικότητα ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Τα γονίδια που επηρεάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ατόμου βρίσκονται και σε συγκεκριμένες θέσεις του χρωματοσώματος που καλούνται loci. Κάθε χαρακτηριστικό γνώρισμα του ατόμου (όπως για παράδειγμα το χρώμα μαλλιών) έχει τη δυνατότητα να εμφανιστεί με διάφορες μορφές, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το αντίστοιχο γονίδιο που το επηρεάζει. Οι διαφορετικές αυτές καταστάσεις που μπορεί να πάρει το γονίδιο καλούνται alleles (τιμές χαρακτηριστικού γνωρίσματος). Κάθε γενότυπος αναπαριστά μια πιθανή λύση σε ένα πρόβλημα. Το «αποκωδικοποιημένο» περιεχόμενο ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος ονομάζεται φαινότυπος (phenotype) (π.χ. ένας ζωντανός οργανισμός είναι ο φαινότυπος των χρωμοσωμάτων του). Μια διαδικασία εξέλιξης που έχει εφαρμογή πάνω σε ένα πληθυσμό αντιστοιχεί σε μία εκτενή αναζήτηση στο χώρο των πιθανών λύσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχημένη έκβαση μιας τέτοιας αναζήτησης αποτελεί η εξισορρόπηση δύο διαδικασιών που είναι προφανώς αντικρουόμενες, της εκμετάλλευσης και διατήρησης των καλύτερων λύσεων, και της όσο το δυνατόν καλύτερης εξερεύνησης όλου του διαστήματος.

Οι Γ.Α. διατηρούν έναν πληθυσμό πιθανών λύσεων, του προβλήματος που εκφράζει ένα ενδιαφέρον στην παρούσα διπλωματική εργασία, πάνω στον οποίο δουλεύουν, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αναζήτησης που επεξεργάζονται ένα μόνο σημείο του διαστήματος αναζήτησης. Έτσι ένας Γ.Α. πραγματοποιεί αναζήτηση σε πολλές κατευθύνσεις, καταγράφει και ανταλλάσσει πληροφορίες μεταξύ αυτών των κατευθύνσεων. Ο πληθυσμός δέχεται μια προσομοιωμένη γενετική εξέλιξη. Σε κάθε γενιά, οι σχετικά "καλές" λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά "κακές" απομακρύνονται. Ο διαχωρισμός και η αποτίμηση των διαφόρων λύσεων γίνεται με την χρήση μιας αντικειμενικής συνάρτησης (objective ή fitness function), η οποία παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο αναπτύσσεται ο πληθυσμός.

Η δομή ενός απλού Γ.Α. είναι σε γενικές γραμμές ως εξής (Michalewicz, 1996). Κατά την διάρκεια της γενιάς t , ο Γ.Α. διατηρεί ένα πληθυσμό $P(t)$ από n πιθανές λύσεις (individuals): $P(t) = \{x_1^t, \dots, x_n^t\}$. Κάθε μέλος x_i αξιολογείται με βάση την αντικειμενική συνάρτηση και η τιμή αυτή δίνει ένα μέτρο της καταλληλότητας και ορθότητάς του. Αφού ολοκληρωθεί η αποτίμηση όλων των μελών του πληθυσμού, δημιουργείται ένας νέος πληθυσμός (γενιά $t+1$), ο οποίος προκύπτει από την επιλογή των καταλληλότερων στοιχείων του πληθυσμού της προηγούμενης γενιάς. Μερικά μέλη από τον καινούργιο αυτό πληθυσμό δέχονται αλλαγές με την βοήθεια των γενετικών διαδικασιών της διασταύρωσης και της μετάλλαξης σχηματίζοντας νέες πιθανές λύσεις. Η διασταύρωση συνδυάζει τα στοιχεία των χρωμοσωμάτων δύο γονέων για να δημιουργήσει δύο νέους απογόνους ανταλλάσσοντας κομμάτια από τους

γονείς. Για παράδειγμα, έστω ότι δύο γονείς αναπαρίστανται με χρωματοσώματα πέντε γονιδίων (a_1, b_1, c_1, d_1, e_1) και (a_2, b_2, c_2, d_2, e_2) αντίστοιχα, τότε οι απόγονοι που θα προκύψουν από διασταύρωση με σημείο διασταύρωσης (crossover point) το σημείο 2 είναι οι (a_1, b_1, c_2, d_2, e_2) και (a_2, b_2, c_1, d_1, e_1). Η διασταύρωση αυτή εξυπηρετεί την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών πιθανών λύσεων. Η διαδικασία της μετάλλαξης αλλάζει αυθαίρετα ένα ή περισσότερα γονίδια ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος. Πραγματοποιείται με τυχαία αλλαγή γονιδίων με πιθανότητα ίση με το ρυθμό μετάλλαξης (mutation rate). Για παράδειγμα, έστω ότι ένας individual παρίσταται με ένα διάνυσμα πέντε διαστάσεων (a_1, b_1, c_1, d_1, e_1), τότε ο individual που θα προκύψει με μετάλλαξη στη δεύτερη και στην τέταρτη διάσταση είναι ο ($a_1, b_1^*, c_1, d_1^*, e_1$). Έτσι, η μετάλλαξη εξυπηρετεί την εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων, διαφορετικών από τις υπάρχουσες, στον ήδη υπάρχοντα πληθυσμό.

Συνοψίζοντας, ένας Γ.Α. για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω πέντε συστατικά:

1. Μια γενετική αναπαράσταση των πιθανών λύσεων του προβλήματος.
2. Έναν τρόπο δημιουργίας ενός αρχικού πληθυσμού από πιθανές λύσεις (αρχικοποίηση).
3. Μια αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης των μελών του πληθυσμού, που παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος.
4. Γενετικούς τελεστές για τη δημιουργία νέων μελών (λύσεων).
5. Τιμές για τις διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιεί ο Γ.Α. (μέγεθος πληθυσμού, πιθανότητες εφαρμογής των γενετικών τελεστών, κ.τ.λ.).

Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθεί ο Γενετικός Αλγόριθμος, σύμφωνα με την έρευνα των Γεωργόπουλου & Λυκοθανάση (1999), είναι τα ακόλουθα:

(α) Αρχικοποίηση πληθυσμού (Initialization): δημιουργείται ένας αρχικός πληθυσμός λύσεων, το μέγεθος του οποίου παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια της επίλυσης.

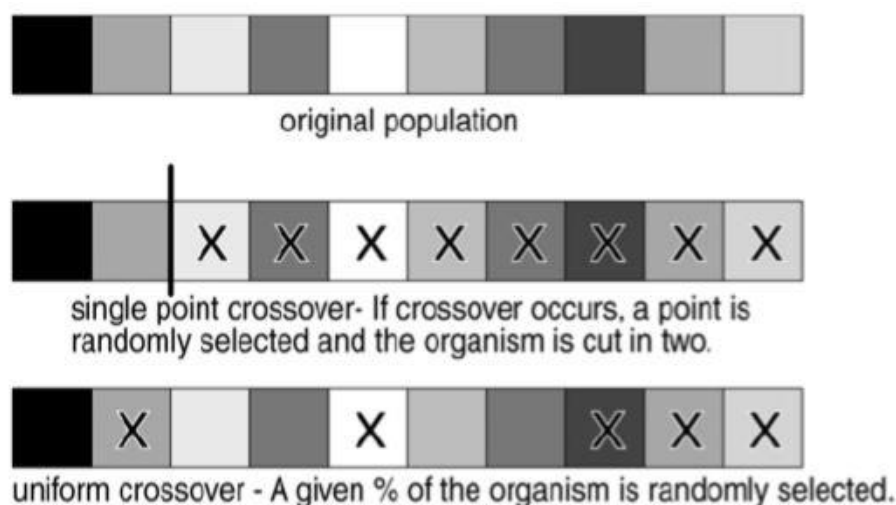
(β) Αξιολόγηση κάθε λύσης: πραγματοποιείται με υπολογισμό της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε μία εξ αυτών. Αν πρόκειται για πρόβλημα ελαχιστοποίησης, οι λύσεις που αποδίδουν τη χαμηλότερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση θεωρούνται καλύτερες. Το αντίθετο ισχύει σε περίπτωση προβλήματος μεγιστοποίησης.

(γ) Επιλογή νέου πληθυσμού: Η πιο συνηθισμένη μέθοδος επιλογής των ατόμων που θα επιβιώσουν μέχρι την επόμενη γενιά είναι η χρήση «ρουλέτας με σχισμές» (slotted roulette wheel). Στη συγκεκριμένη μέθοδο, κάθε άτομο τοποθετείται στη ρουλέτα καταλαμβάνοντας χώρο ανάλογο με την απόδοσή του. Κατά συνέπεια, η πιθανότητα επιλογής ενός ατόμου για την επόμενη γενιά είναι επίσης ανάλογη με την απόδοσή του. Επιπλέον, συνήθως εφαρμόζεται και η μέθοδος του ελιτισμού (elitism), σύμφωνα με την οποία η απόλυτα καλύτερη λύση κάθε γενιάς μεταφέρεται αυτούσια στην επόμενη.

(δ) Εφαρμογή γενετικών τελεστών διασταύρωσης και μετάλλαξης: Σε κάθε επανάληψη, εφαρμόζεται πρώτα ο τελεστής της διασταύρωσης. Κάθε άτομο έχει δεδομένη πιθανότητα pc να επιλεγεί για διασταύρωση. Σε καθένα αντιστοιχίζεται ένας τυχαίος πραγματικός αριθμός r τέτοιος ώστε να έχει τιμή μικρότερη του μηδενός. Αν σε κάποιο άτομο ισχύει r του πλήθους των διασταυρούμενων μελών δίνεται από τη σχέση $pc \cdot N$, όπου N το μέγεθος του πληθυσμού.

Τα μέλη που πρόκειται να διασταυρωθούν τοποθετούνται σε ζεύγη και σε κάθε ζεύγος αντιστοιχίζεται ένας ομοιόμορφα επιλεγμένος τυχαίος ακέραιος αριθμός από το διάστημα $[1, m-1]$, όπου m το μήκος του χρωμοσώματος (μήκος χρωμοσώματος = πλήθος γονιδίων χρωμοσώματος). Ο αριθμός αυτός αποδίδει το λεγόμενο «σημείο διασταύρωσης» (crossover point), δηλαδή το σημείο όπου το αρχικό χρωμόσωμα διασπάται σε δύο επιμέρους τμήματα. Έτσι, προκύπτουν δύο νέα άτομα (χρωμοσώματα).

Πολλοί γενετικοί αλγόριθμοι της σύγχρονης εποχής, όπως εκείνος στον οποίο βασίστηκε η επίλυση του παρόντος προβλήματος, διεξάγουν ομοιόμορφη διασταύρωση (uniform crossover) μεταξύ των ατόμων. Αντί, δηλαδή, κάθε γονέας να διακρίνεται σε δύο διακριτά μέρη, κληροδοτεί σε κάθε απόγονο ένα ορισμένο ποσοστό των γονιδίων του, τα οποία βρίσκονται σε διάφορες θέσεις στο χρωμόσωμα – και όχι απαραίτητα διαδοχικές. Το Σχήμα 5.3 εξηγεί πώς πραγματοποιείται η ομοιόμορφη διασταύρωση:



Εικόνα 28: Ομοιόμορφη διασταύρωση (Πηγή: Guide to using Evolver, Version 5.7, Palisade Corporation, September 2010)

Στα άτομα που προκύπτουν από τη διασταύρωση χρησιμοποιείται ο τελεστής της μετάλλαξης. Κατά τη διαδικασία της μετάλλαξης, ο γενετικός αλγόριθμος επιλέγει και μεταβάλλει με τυχαίο τρόπο ορισμένα γονίδια των ατόμων του πληθυσμού.

(ε) Επιστροφή στο βήμα β (Αξιολόγηση κάθε λύσης): Τα άτομα που αποτελούν τη νέα γενιά αξιολογούνται ως προς την καταλληλότητά τους με υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης.

(στ) Τερματισμός γενετικού αλγορίθμου: Η εκτέλεση του γενετικού αλγορίθμου σταματά όταν καταστεί αληθής η συνθήκη τερματισμού του. Τέτοιες συνθήκες τερματισμού είναι οι ακόλουθες (Sivanandam and Deepa, 2008):

- i. Το πλήθος των επαναλήψεων: Ο αλγόριθμος τερματίζεται με την πραγματοποίηση δεδομένου αριθμού επαναλήψεων και επομένως και με την πάροδο αντίστοιχου αριθμού γενεών.
- ii. Η συμπλήρωση δεδομένου χρονικού διαστήματος εκτέλεσης του αλγορίθμου.
- iii. Η απουσία περαιτέρω βελτίωσης των παραγόμενων λύσεων για δεδομένο αριθμό γενεών (stall generations) ή με την πάροδο καθορισμένου χρόνου (stall time limit).

Οι Sivanandam and Deepa (2008) αναφέρουν, επίσης, τις ακόλουθες τεχνικές τερματισμού:

- i. Τεχνική του «καλύτερου ατόμου» (Best Individual), σύμφωνα με την οποία η αναζήτηση τερματίζεται όταν η ελάχιστη τιμή καταλληλότητας στον πληθυσμό γίνει μικρότερη (καλύτερη) της τιμής σύγκλισης (convergence value).
- ii. Τεχνική του «χειρότερου ατόμου» (Worst Individual), σύμφωνα με την οποία η αναζήτηση σταματά όταν η τιμή του λιγότερο κατάλληλου ατόμου του πληθυσμού παρουσιάζεται βελτιωμένη σε σχέση με την τιμή σύγκλισης.
- iii. Τεχνική του «αθροίσματος καταλληλότητας» (Sum of Fitness), σύμφωνα με την οποία η αναζήτηση τερματίζεται όταν το άθροισμα των τιμών των συναρτήσεων καταλληλότητας ολόκληρου του πληθυσμού είναι μικρότερο από την τιμή σύγκλισης.
- iv. Τεχνική της «διαμέσου καταλληλότητας» (Median Fitness), σύμφωνα με την οποία η αναζήτηση σταματά όταν τουλάχιστον τα μισά άτομα του πληθυσμού αποκτήσουν τιμή καταλληλότητας χαμηλότερη από την τιμή σύγκλισης.

4.1.1 Πλεονεκτήματα των Γενετικών Αλγορίθμων

Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται στη χρήση Γ.Α. για την επίλυση προβλημάτων είναι τα ακόλουθα (Γεωργόπουλο & Λυκοθανάση, 1999):

1) Μπορούν να επιλύουν δύσκολα προβλήματα ταχύτητα και με αξιόπιστα αποτελέσματα. Ένας από τους σημαντικούς λόγους χρήσης των Γ.Α. είναι η μεγάλη τους αποδοτικότητα. Τόσο με τα θεωρητικά, όσο και με τα πρακτικά αποτελέσματα έχει αποδειχθεί ότι προβλήματα που έχουν πολλές και δύσκολα προσδιορισμένες λύσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα από Γ.Α. Επίσης, είναι αξιοσημείωτο να σημειωθεί ότι συναρτήσεις που παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και καθιστούν ανεπαρκείς άλλες μεθόδους στην εύρεση των ακρότατών τους, για τους Γ.Α. δεν αποτελούν σημεία δυσχέρειας.

2) Μπορούν εύκολα να αποκτήσουν σχέσεις συνεργασίας με τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα. Οι Γ.Α. προσφέρουν το σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους με προσθετικό τρόπο στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα, μη έχοντας ως κύρια απαίτηση την επανασχεδιάσή τους. Ακόμα, έχουν τη δυνατότητα να συνεργαστούν εύκολα με τον υπάρχοντα κώδικα, χωρίς μεγάλο κόπο. Αυτό συμβαίνει, διότι χρησιμοποιούν μόνο πληροφορίες της διαδικασίας ή συνάρτησης που πρόκειται να βελτιστοποιήσουν, δίχως να ενδιαφέρει άμεσα ο ρόλος της μέσα στο σύστημα ή στην όλη δομή του συστήματος.

3) Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι. Όπως θα γίνει σαφές στα επόμενα κεφάλαια, οι Γ.Α. δεν αντιστέκονται σε μεταβολές, επεκτάσεις και μετεξελίξεις, ανάλογα με την κρίση του σχεδιαστή. Σε πολλές εφαρμογές, έχουν αναφερθεί λειτουργίες των Γ.Α. που δεν είναι δανεισμένες από τη φύση ή που έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, πάντα προς όφελος της απόδοσης. Παραλλαγές στο βασικό σχήμα δεν είναι απλά απαραίτητες, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις επιβάλλονται.

4) Έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους. Αν και η ισχύς των Γ.Α. είναι μεγάλη, σε μερικές ειδικές περιπτώσεις προβλημάτων, όπου άλλες μέθοδοι τυχαίνει να έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα, εξαιτίας της εξειδίκευσης, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός υβριδικού σχήματος Γ.Α. με άλλη μέθοδο. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ευελιξίας των Γ.Α.

5) Έχει εφαρμογή σε πολύ περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο. Το χαρακτηριστικό που τους διασφαλίζει αυτό το πλεονέκτημα είναι η ελευθερία στην επιλογή των κριτηρίων που καθορίζουν την επιλογή μέσα στο τεχνικό περιβάλλον. Έτσι, οι Γ.Α. έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στην οικονομία, στο σχεδιασμό μηχανών, στην επίλυση μαθηματικών εξισώσεων, στην εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων και σε πολλούς άλλους τομείς.

6) Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Ο κύριος λόγος που καθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους δύσκαμπτες και ακατάλληλες για πολλά προβλήματα είναι η απαίτησή τους για ύπαρξη περιορισμών, όπως ύπαρξη παραγώγων, συνέχεια, όχι "θορυβώδεις" συναρτήσεις κ.τ.λ. Τέτοιου είδους ιδιότητες είναι αδιάφορες για τους Γ.Α. κάτι το οποίο τους καθιστά κατάλληλους για μεγάλο φάσμα προβλημάτων.

7) Δεν κατέχει σημαντικό ρόλο η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας. Η μόνη "επικοινωνία" του Γ.Α. με το περιβάλλον του είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εγγυάται την επιτυχία του ανεξάρτητα από την σημασία του προβλήματος. Βέβαια, δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν άλυστα προβλήματα για τους Γ.Α. Στις περιπτώσεις, όμως, που δεν τα καταφέρνουν, η αιτία είναι η φύση του χώρου που ερευνούν και όχι το πληροφοριακό περιεχόμενο του προβλήματος.

8) Το στοιχείο του παραλληλισμού υπάρχει στη φύση τους. Οι Γ.Α. σε κάθε τους βήμα επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας, αφού κάθε άτομο θεωρείται αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Έχει υπολογιστεί ότι η αναλογία αυτή είναι της τάξεως $O(n^3)$, δηλαδή 10 άτομα αντιπροσωπεύουν περίπου 1000. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι μπορούν να καλύψουν με αποδοτικό ψάξιμο μεγάλους χώρους σε μικρούς χρόνους.

9) Είναι μία μέθοδος που έχει τη δυνατότητα να εξερευνάει το χώρο αναζήτησης και να εκμεταλλευτεί την ήδη επεξεργασμένη πληροφορία. Ο συνδυασμός αυτός σπάνια συναντάται σε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Με το

τυχαίο ψάξιμο γίνεται καλή εξερεύνηση του χώρου, αλλά δεν γίνεται εκμετάλλευση της πληροφορίας. Αντίθετα, με το hill-climbing γίνεται καλή εκμετάλλευση της πληροφορίας, αλλά όχι καλή εξερεύνηση. Συνήθως τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά και το επιθυμητό είναι να συνυπάρχουν και τα δύο προς όφελος της όλης διαδικασίας. Οι Γ.Α. επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης, πράγμα που τους κάνει ιδιαίτερα αποδοτικούς και ελκυστικούς.

10) Δέχονται παράλληλη υλοποίηση. Οι Γ.Α. μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα των παράλληλων μηχανών, αφού λόγω της φύσης τους, εύκολα μπορούν να δεχτούν παράλληλη υλοποίηση. Το χαρακτηριστικό αυτό αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοσή τους, ενώ σπάνια συναντάται σε ανταγωνιστικές μεθόδους.

4.2 Περιβάλλον προγράμματος

4.2.1 Περιγραφή γενετικού αλγορίθμου

Το πρόβλημα μας είναι αρκετά πολύπλοκο και γι'αυτό τον λόγο καλούμαστε να βρούμε μια λύση κατασκευάζοντας έναν αλγόριθμο ο οποίος θα διαχωρίζει και θα βρίσκει τις εφικτές διαδρομές που θα κάνει το Drone έτσι ώστε να έχουμε το ελάχιστο κόστος. Οι περιορισμοί είναι:

- η διάρκεια πτήσης του Drone(περιορισμός «καυσίμου»)
- κάθε Drone μπορεί να περάσει από κόμβο στον οποίο δεν έχει περάσει άλλο Drone
- Κάθε drone θα πρέπει να μένει σε κάθε κόμβο περίπου 5 λεπτά για καλύτερη καταγραφή αυτού. (service time)

Οι συγκεκριμένοι περιορισμοί έχουν ενσωματωθεί στον αλγόριθμο και σε συνδυασμό με την ποινή που επιβάλλεται σε κάποιο Drone αν παρεκκλίνει από την ώρα λειτουργίας του παράγεται το τελικό κόστος της διαδρομής.

4.2.2 Διαδικασία επίλυσης αλγορίθμου

Αρχικά ο αλγόριθμος αντλεί τα δεδομένα και τα εκχωρεί στον κατάλληλο πίνακα. Τα δεδομένα στην συγκεκριμένη διπλωματική είναι τα εξής:

- Το πλήθος των Drone που θα χρησιμοποιηθούν στην τυχαία αυτή σειρά των κόμβων
- Η διαδρομή που θα ακολουθήσει κάθε Drone
- Η διάρκεια καταγραφής κάθε Drone από την ώρα έναρξης μέχρι και τον τελευταίο κόμβο
- Η διάρκεια λειτουργίας του Drone από την ώρα έναρξης μέχρι και την επιστροφή του στην αποθήκη

- Τέλος το τελικό συνολικό κόστος της όλης διαδικασίας όπου περιλαμβάνει τα εξής:
- Την διάρκεια διαδρομής για κάθε Drone
- Penalty: η ποινή την οποία ορίζει ο χρήστης και προστίθεται στο κόστος αν κάποιο από τα Drone δεν τηρήσει κάποιους από τους περιορισμούς.

4.2.2.1 Αναπαράσταση λύσης

Το πρόβλημα μας έχει ως λύσεις που αναπαρίστανται ως χρωμοσώματα και μας δείχνουν μια ακολουθία από κόμβους η οποία ουσιαστικά αποτελεί την σειρά με την οποία κάθε drone θα περνάει πάνω από κάθε κόμβο, θεωρώντας πως τα drones πρέπει να πραγματοποιήσουν διαδοχικά όλες τις διαδρομές. Για παράδειγμα στην συγκεκριμένη διπλωματική έχουμε 25 κόμβους οι οποίοι θα εξυπηρετηθούν από τα drone. Έτσι τα drone θα ξεκινήσουν από την βάση ή το κέντρο ελέγχου και θα διασχίσουν όλους τους κόμβους και θα καταλήξουν πάλι στο κέντρο ελέγχου.

4.2.2.2 Αρχικοποίηση πληθυσμού (τυχαίες τιμές)

Η αρχική λύση του προβλήματος παράγεται τυχαία από τον αρχικό πληθυσμό. Στην συγκεκριμένη διπλωματική το μέγεθος τους πληθυσμού έχει τις τιμές 25, 50 και 75. Η μέθοδος της βαθμονόμησης που επιλέγεται ιεραρχεί τα μέλη του πληθυσμού κάθε φορά σε σχέση με το αποτέλεσμα της συνάρτησης ικανότητας. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει και σε λιγότερα ικανά μέλη του πληθυσμού να μπορούν να συμμετέχουν στην επόμενη γενιά και αυτό έχει σαν συνέπεια να μην κυριαρχούν μόνο τα πιο ικανά μέλη από τα αρχικά στάδια της διαδικασίας (Blicke and Thiele, 1996).

4.2.2.3. Γενικοί τελεστές

Διασταύρωση

Στο συγκεκριμένο κομμάτι της διασταύρωσης του γενετικού αλγορίθμου επιλέγονται τυχαία δυο σημεία του χρωμοσώματος του γονέα και τα γονίδια που περιέχονται στο τμήμα που ορίζουν αντιγράφονται στον πρώτο απόγονο (Toth and Vigo, 2002). Τα υπόλοιπα γονίδια που δεν περιέχονται στο τμήμα αποθηκεύονται προσωρινά με τη σειρά που εμφανίζονται στο δεύτερο γονέα. Στην συνέχεια ακολουθεί η ίδια διαδικασία και για το δεύτερο απόγονο κατά την οποία αντιστρέφονται οι ρόλοι των γονέων.

Μετάλλαξη

Η λειτουργία της μετάλλαξης πραγματοποιείται για να διατηρήσει τις τιμές των γονιδίων, ανταλλάσσοντας τις θέσεις κάποιων τιμών στον οργανισμό. Ο

αριθμός των ανταλλαγών αυτών αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την αύξηση ή μείωση της παραμέτρου μετάλλαξης.

Για τον προσδιορισμό των διαδρομών, χρησιμοποιείται μια εξωτερική διαδικασία (υπό-ρουτίνα). Συγκεκριμένα ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1^ο : Εκκίνηση

Ο αλγόριθμος αρχίζει με το πρώτο γονίδιο του χρωμοσώματος, που αντιπροσωπεύει την πρώτη καταγραφή κόμβου της διαδρομής

Βήμα 2^ο : Κατασκευή βασικών διαδρομών

Ο επόμενος κατά σειρά κόμβος στο χρωμόσωμα εξετάζεται για να ενταχθεί στη διαδρομή. Ο αλγόριθμος στο συγκεκριμένο βήμα υπολογίζει για κάθε επόμενο κόμβο την ακολουθία του χρωμοσώματος και τη συνολική διάρκεια διαδρομής.

Βήμα 3^ο : Ολοκλήρωση βασικών διαδρομών

Στο συγκεκριμένο βήμα έχουμε 2 περιπτώσεις:

Περίπτωση 1: Αν ο περιορισμός της διάρκειας μπαταρίας του drone παραβιαστεί αν ενταχθεί ο κόμβος που έχει επιλεγεί στην υπάρχουσα διαδρομή, τότε ο αλγόριθμος επιστρέφει στο βήμα 2 και ορίζει τον κόμβο που παραβιάστηκε ο περιορισμός ως τον πρώτο στην επόμενη διαδρομή

Περίπτωση 2: Αν ο περιορισμός της διάρκειας μπαταρίας του drone δεν παραβιαστεί τότε προστίθεται ο επόμενος κατά σειρά κόμβος της διαδρομής. Ακόμη, αφαιρείται από την μέγιστη διάρκεια λειτουργίας του drone και ο χρόνος που θα πρέπει κάθε drone να παραμείνει πάνω από κάθε κόμβο.

Βήμα 4^ο : Τερματισμός διαδικασίας

Η διαδικασία σταματάει όταν όλοι οι κόμβοι ενταχθούν σε κάποια διαδρομή.

4.2.2.4. Αξιολόγηση Λύσεων

Η αξιολόγηση κάθε λύσης παράγει τα εξής:

- Το πλήθος των Drone που θα χρησιμοποιηθούν στην τυχαία αυτή σειρά των κόμβων
- Τη διαδρομή που θα ακολουθήσει κάθε Drone
- Τη διάρκεια καταγραφής κάθε Drone από την ώρα έναρξης μέχρι και τον τελευταίο κόμβο
- Τη διάρκεια λειτουργίας του Drone από την ώρα έναρξης μέχρι και την επιστροφή του στην αποθήκη
- Έτσι το τελικό συνολικό κόστος της όλης διαδικασίας περιλαμβάνει τα εξής:

- Την διάρκεια διαδρομής για κάθε Drone
- Το Penalty κάθε διαδρομής όταν αυτή έχει ξεπεράσει την μέγιστη διάρκεια

4.2.3 Τερματισμός γενετικού αλγορίθμου

Παρατηρήθηκε ότι μετά από πολλές δοκιμές τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου σταθεροποιούνται και δεν παρουσιάζουν κάποιες αλλαγές μετά το πέρας των 15 λεπτών. Έτσι ο αλγόριθμος επιλέχθηκε να τερματίζει μετά από 20 λεπτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο γενετικός αλγόριθμος καθώς και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτού. Παρουσιάζεται αναλυτικά η βέλτιστη διαδρομή που προέκυψε καθώς και ο ελάχιστος αριθμός drone που θα χρησιμοποιηθούν.

5.2 Δεδομένα για την εξεταζόμενη περιοχή

Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε στην πόλη της Αλεξανδρούπολης για την δημιουργία των ελάχιστων διαδρομών που θα διανύσουν τα drone ξεκινώντας από μια βάση που βρίσκεται κεντρικά της Αλεξανδρούπολης. Θεωρείται πως τα Drone ξεκινούν από το κέντρο ελέγχου πραγματοποιούν τις διαδρομές που έχουν προκύψει από τον αλγόριθμο και επιστρέφουν πίσω στην βάση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος. Αυτά είναι:

- οι αποστάσεις των κόμβων(αξονοδιασταυρωσεις οικοδομικών τετραγώνων Αλεξανδρούπολης) είτε μετρούμενες σε Km είτε χρόνο
- οι αποστάσεις κάθε κόμβου από την κεντρική αποθήκη ή κέντρο ελέγχου
- η ταχύτητα πτήσης drone
- η μέγιστη διάρκεια που μπορούν να είναι σε λειτουργία τα Drone μέχρι και την καταγραφή του τελευταίου κόμβου
- η ποινή για την εκτός από τα προβλεπόμενα όρια διάρκεια που έχουμε θέσει ως προς την λειτουργία των Drone

5.3 Ανάλυση δεδομένων

Ο πίνακας 1 μας παρουσιάζει τα δεδομένα που βάλαμε στο πρόγραμμα καθώς και τα αποτελέσματα αυτού.

Η αποθήκη ή κέντρο ελέγχου των Drone (Κόμβος 127) επιλέχθηκε επειδή είναι σε κεντρικό σημείο από τους επιλεγμένους κόμβους της περιοχής μελέτης.

Η ταχύτητα πτήσης των drone επιλέχθηκε κατόπιν έρευνας από τις αντιπροσωπεΐες που πουλούν drone και θεωρήθηκε ότι θα είναι στο $\frac{1}{4}$ από την μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να έχουν. Αυτό είναι μια αυθαίρετη τιμή και θεωρήθηκε ότι είναι κατάλληλη για την σωστή καταγραφή των δρόμων μέσω της φωτογραφικής μηχανής που θα κουβαλούν τα Drones.

Η συνολική διάρκεια της όλης επιθεώρησης θεωρήθηκε αυθαίρετα και ελήφθη υπ'όψιν η μέγιστη διάρκεια που μπορούν να πετάξουν τα drones. Έτσι εξασφαλίζεται ότι κάθε Drone θα επιστρέψει πίσω στην αποθήκη ή κέντρο ελέγχου χωρίς όμως να τελειώσει η διάρκεια ζωής του. Η συνολική διάρκεια της όλης επιθεώρησης θεωρήθηκε 1,2 ώρες δηλαδή 1 ώρα και 12 λεπτά

Η μέγιστη διάρκεια που μπορούν να λειτουργήσουν τα Drones επιλέχθηκε βάση τεχνικών χαρακτηριστικών drone από εταιρείες που κατασκευάζουν τέτοιου είδους μηχανήματα. Στη συγκεκριμένη διπλωματική θεωρήθηκε ότι η μέγιστη διάρκεια που μπορεί ένα drone να λειτουργήσει είναι ίση με 1,2 ώρες δηλαδή 1 ώρα και 12 λεπτά. Στο συγκεκριμένο κομμάτι επιλέχθηκε ότι ένα drone θα μπορεί να πετάξει και να καταγράψει μέχρι και τον τελευταίο Κόμβο σε χρόνο 0,8 της ώρας δηλαδή περίπου 48 λεπτά της ώρας και αυτό επιλέχθηκε έτσι ώστε το κάθε drone να έχει όλο τον χρόνο που χρειάζεται να επιστρέψει από το πιο απομακρυσμένο κόμβο.

Η ποινή ορίστηκε μετά από πολλά διαφορετικά πειράματα έτσι ώστε να μην είναι υπερβολικά αυστηρή αλλά ούτε και πολύ ελαστική. Έτσι επιλέχθηκε συντελεστής ποινής με τιμή 1,2.

Τέλος ο Πίνακας 2 Πίνακας 3 και Πίνακας 4 μας παρουσιάζουν τα δεδομένα που εισήχθησαν για την επίλυση του προβλήματος.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα επίλυσης

ID	Συνολική Διάρκεια Διαδικασίας(1 ώρα και 12 λεπτά)	Service Tim(ποση ώρα θα μενει σε κάθε κομβο για καλυτερη καταγραφη) (περίπου 5 λεπτα)	Time from beginning(Η ώρα που κανει για να ξεκινήσει από την αποθηκη	KOMBOI
1	1.2	0.09	0.37	7
2	1.2	0.09	0.40	8
3	1.2	0.09	0.04	9
4	1.2	0.09	0.15	10
5	1.2	0.09	0.09	14
6	1.2	0.09	0.41	21
7	1.2	0.09	0.06	24
8	1.2	0.09	0.13	25
9	1.2	0.09	0.30	26
10	1.2	0.09	0.23	27
11	1.2	0.09	0.03	28
12	1.2	0.09	0.31	30
13	1.2	0.09	0.32	31
14	1.2	0.09	0.13	33
15	1.2	0.09	0.06	34
16	1.2	0.09	0.06	35
17	1.2	0.09	0.20	45
18	1.2	0.09	0.10	63
19	1.2	0.09	0.05	66
20	1.2	0.09	0.08	67
21	1.2	0.09	0.03	72
22	1.2	0.09	0.03	76
23	1.2	0.09	0.04	90
24	1.2	0.09	0.18	96
25	1.2	0.09	0.00	127

Διάρκεια διαδρομής(περίπου

48 λεπτά

0.8 ώρες

Πίνακας 2: Αποστάσεις κόμβων σε ώρες

Travel Times(σε ώρες)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0.00	0.03	0.34	0.22	0.45	0.72	0.42	0.49	0.67	0.59	0.35	0.68	0.69	0.47	0.39	0.39	0.42	0.46	0.35	0.31	0.40	0.34	0.40	0.54	0.38
2	0.03	0.00	0.36	0.25	0.48	0.75	0.45	0.52	0.70	0.62	0.37	0.71	0.72	0.49	0.42	0.42	0.45	0.49	0.38	0.34	0.43	0.37	0.42	0.57	0.40
3	0.34	0.36	0.00	0.11	0.11	0.42	0.08	0.16	0.34	0.27	0.01	0.34	0.35	0.15	0.08	0.07	0.21	0.13	0.03	0.06	0.07	0.01	0.06	0.21	0.04
4	0.22	0.25	0.11	0.00	0.23	0.50	0.20	0.27	0.45	0.37	0.12	0.46	0.47	0.24	0.17	0.17	0.20	0.24	0.13	0.09	0.18	0.12	0.17	0.32	0.15
5	0.45	0.48	0.11	0.23	0.00	0.40	0.03	0.13	0.23	0.21	0.11	0.23	0.24	0.06	0.09	0.09	0.29	0.16	0.13	0.17	0.08	0.11	0.07	0.17	0.09
6	0.72	0.75	0.42	0.50	0.40	0.00	0.40	0.29	0.44	0.22	0.41	0.44	0.43	0.45	0.46	0.46	0.31	0.31	0.43	0.41	0.39	0.41	0.44	0.25	0.41
7	0.42	0.45	0.08	0.20	0.03	0.40	0.00	0.11	0.26	0.21	0.08	0.26	0.27	0.07	0.06	0.06	0.26	0.14	0.10	0.14	0.05	0.07	0.04	0.15	0.06
8	0.49	0.52	0.16	0.27	0.13	0.29	0.11	0.00	0.28	0.10	0.15	0.28	0.29	0.17	0.16	0.16	0.16	0.04	0.18	0.19	0.10	0.16	0.15	0.05	0.13
9	0.67	0.70	0.34	0.45	0.23	0.44	0.26	0.28	0.00	0.22	0.33	0.00	0.01	0.26	0.32	0.31	0.44	0.32	0.35	0.39	0.27	0.33	0.30	0.28	0.30
10	0.59	0.62	0.27	0.37	0.21	0.22	0.21	0.10	0.22	0.00	0.26	0.22	0.21	0.26	0.27	0.27	0.24	0.14	0.28	0.29	0.20	0.26	0.25	0.06	0.24
11	0.35	0.37	0.01	0.12	0.11	0.41	0.08	0.15	0.33	0.26	0.00	0.33	0.34	0.15	0.07	0.07	0.20	0.12	0.02	0.06	0.06	0.00	0.06	0.20	0.03
12	0.68	0.71	0.34	0.46	0.23	0.44	0.26	0.28	0.00	0.22	0.33	0.00	0.01	0.26	0.32	0.32	0.45	0.32	0.35	0.39	0.28	0.34	0.30	0.28	0.30
13	0.69	0.72	0.35	0.47	0.24	0.43	0.27	0.29	0.01	0.21	0.34	0.01	0.00	0.27	0.33	0.33	0.45	0.33	0.36	0.40	0.29	0.35	0.31	0.27	0.31
14	0.47	0.49	0.15	0.24	0.06	0.45	0.07	0.17	0.26	0.26	0.15	0.26	0.27	0.00	0.07	0.08	0.33	0.21	0.17	0.20	0.12	0.14	0.09	0.22	0.13
15	0.39	0.42	0.08	0.17	0.09	0.46	0.06	0.16	0.32	0.27	0.07	0.32	0.33	0.07	0.00	0.00	0.26	0.16	0.09	0.13	0.07	0.07	0.02	0.21	0.05
16	0.39	0.42	0.07	0.17	0.09	0.46	0.06	0.16	0.31	0.27	0.07	0.32	0.33	0.08	0.00	0.00	0.25	0.15	0.09	0.13	0.07	0.07	0.01	0.21	0.05
17	0.42	0.45	0.21	0.20	0.29	0.31	0.26	0.16	0.44	0.24	0.20	0.45	0.45	0.33	0.26	0.25	0.00	0.13	0.19	0.16	0.22	0.20	0.24	0.19	0.20
18	0.46	0.49	0.13	0.24	0.16	0.31	0.14	0.04	0.32	0.14	0.12	0.32	0.33	0.21	0.16	0.15	0.13	0.00	0.15	0.15	0.10	0.13	0.14	0.08	0.10
19	0.35	0.38	0.03	0.13	0.13	0.43	0.10	0.18	0.35	0.28	0.02	0.35	0.36	0.17	0.09	0.09	0.19	0.15	0.00	0.04	0.08	0.03	0.08	0.22	0.05
20	0.31	0.34	0.06	0.09	0.17	0.41	0.14	0.19	0.39	0.29	0.06	0.39	0.40	0.20	0.13	0.13	0.16	0.15	0.04	0.00	0.11	0.06	0.11	0.23	0.09
21	0.40	0.43	0.07	0.18	0.08	0.39	0.05	0.10	0.27	0.20	0.06	0.28	0.29	0.12	0.07	0.07	0.22	0.10	0.08	0.11	0.00	0.06	0.05	0.15	0.03
22	0.34	0.37	0.01	0.12	0.11	0.41	0.07	0.16	0.33	0.26	0.00	0.34	0.35	0.14	0.07	0.07	0.20	0.13	0.03	0.06	0.06	0.00	0.05	0.21	0.03
23	0.40	0.42	0.06	0.17	0.07	0.44	0.04	0.15	0.30	0.25	0.06	0.30	0.31	0.09	0.02	0.01	0.24	0.14	0.08	0.11	0.05	0.05	0.00	0.20	0.04
24	0.54	0.57	0.21	0.32	0.17	0.25	0.15	0.05	0.28	0.06	0.20	0.28	0.27	0.22	0.21	0.21	0.19	0.08	0.22	0.23	0.15	0.21	0.20	0.00	0.18
25	0.38	0.40	0.04	0.15	0.09	0.41	0.06	0.13	0.30	0.24	0.03	0.30	0.31	0.13	0.05	0.05	0.20	0.10	0.05	0.09	0.03	0.03	0.04	0.18	0.00

Πίνακας 3: Αποστάσεις κόμβων από βάση σε km

	7	8	9	10	14	21	24	25	26	27	28	30	31	33	34	35	45	63	68	67	72	76	90	96	127	
1.86	7	0.00	0.14	1.68	1.11	2.25	3.61	2.09	2.47	3.37	2.97	1.73	3.39	3.44	2.33	1.96	1.95	2.11	2.29	1.74	1.56	2.01	1.72	1.98	2.71	1.88
2.00	8	0.14	0.00	1.82	1.25	2.39	3.75	2.23	2.61	3.51	3.11	1.87	3.53	3.58	2.47	2.10	2.09	2.25	2.43	1.88	1.70	2.15	1.86	2.12	2.85	2.02
0.18	9	1.68	1.82	0.00	0.57	2.09	0.41	0.82	1.69	1.34	0.05	1.71	1.76	0.75	0.38	0.37	1.05	0.67	0.16	0.29	0.33	0.04	0.30	1.06	0.20	
0.75	10	1.11	1.25	0.57	0.00	1.14	2.50	0.98	1.36	2.26	1.86	0.62	2.28	2.33	1.22	0.85	0.84	1.00	1.18	0.63	0.45	0.90	0.61	0.87	1.60	0.77
0.47	14	2.25	2.39	0.57	1.14	0.00	2.00	0.16	0.63	1.13	1.05	0.55	1.15	1.20	0.28	0.45	0.44	1.45	0.81	0.66	0.84	0.40	0.53	0.37	0.86	0.45
2.03	21	3.61	3.75	2.09	2.50	2.00	0.00	2.00	1.47	2.21	1.09	2.04	2.21	2.16	2.24	2.29	2.28	1.54	1.55	2.15	2.07	1.96	2.06	2.21	1.23	2.05
0.31	24	2.09	2.23	0.41	0.98	0.16	2.00	0.00	0.53	1.29	1.05	0.39	1.31	1.36	0.34	0.29	0.28	1.30	0.71	0.50	0.68	0.24	0.37	0.21	0.77	0.29
0.64	25	2.47	2.61	0.82	1.36	0.63	1.47	0.53	0.00	1.40	0.52	0.77	1.42	1.47	0.85	0.82	0.81	0.82	0.18	0.88	0.93	0.49	0.79	0.74	0.24	0.66
1.51	26	3.37	3.51	1.69	2.26	1.13	2.21	1.29	1.40	0.00	1.12	1.64	0.02	0.07	1.29	1.58	1.57	2.22	1.58	1.75	1.93	1.36	1.66	1.50	1.40	1.50
1.16	27	2.97	3.11	1.34	1.86	1.05	1.09	1.05	0.52	1.12	0.00	1.29	1.12	1.07	1.29	1.34	1.33	1.19	0.68	1.40	1.43	1.01	1.31	1.26	0.28	1.18
0.13	28	1.73	1.87	0.05	0.62	0.55	2.04	0.39	0.77	1.64	1.29	0.00	1.66	1.71	0.73	0.36	0.35	1.00	0.62	0.11	0.29	0.28	0.02	0.28	1.01	0.15
1.53	30	3.39	3.53	1.71	2.28	1.15	2.21	1.31	1.42	0.02	1.12	1.66	0.00	0.05	1.31	1.60	1.59	2.24	1.60	1.77	1.95	1.38	1.68	1.52	1.40	1.52
1.58	31	3.44	3.58	1.76	2.33	1.20	2.16	1.36	1.47	0.07	1.07	1.71	0.05	0.00	1.36	1.65	1.64	2.26	1.65	1.82	2.00	1.43	1.73	1.57	1.35	1.57
0.65	33	2.33	2.47	0.75	1.22	0.28	2.24	0.34	0.85	1.29	1.29	0.73	1.31	1.36	0.00	0.37	0.38	1.64	1.03	0.84	1.02	0.58	0.71	0.45	1.08	0.63
0.29	34	1.96	2.10	0.38	0.85	0.45	2.29	0.29	0.82	1.58	1.34	0.36	1.60	1.65	0.37	0.00	0.01	1.28	0.78	0.47	0.65	0.34	0.34	0.08	1.06	0.27
0.28	35	1.95	2.09	0.37	0.84	0.44	2.28	0.28	0.81	1.57	1.33	0.35	1.59	1.64	0.38	0.01	0.00	1.27	0.77	0.46	0.64	0.33	0.33	0.07	1.05	0.26
0.99	45	2.11	2.25	1.05	1.00	1.45	1.54	1.30	0.82	2.22	1.19	1.00	2.24	2.26	1.64	1.28	1.27	0.00	0.64	0.96	0.78	1.08	1.02	1.20	0.94	1.01
0.49	63	2.29	2.43	0.67	1.18	0.81	1.55	0.71	0.18	1.58	0.68	0.62	1.60	1.65	1.03	0.78	0.77	0.64	0.00	0.73	0.75	0.48	0.64	0.70	0.42	0.51
0.24	66	1.74	1.88	0.16	0.63	0.66	2.15	0.50	0.88	1.75	1.40	0.11	1.77	1.82	0.84	0.47	0.46	0.96	0.73	0.00	0.18	0.39	0.13	0.39	1.12	0.26
0.42	67	1.56	1.70	0.29	0.45	0.84	2.07	0.68	0.93	1.93	1.43	0.29	1.95	2.00	1.02	0.65	0.64	0.78	0.75	0.18	0.00	0.57	0.31	0.57	1.17	0.44
0.15	72	2.01	2.15	0.33	0.90	0.40	1.96	0.24	0.49	1.36	1.01	0.28	1.38	1.43	0.58	0.34	0.33	1.08	0.48	0.39	0.57	0.00	0.30	0.26	0.73	0.17
0.15	76	1.72	1.86	0.04	0.61	0.53	2.06	0.37	0.79	1.66	1.31	0.02	1.68	1.73	0.71	0.34	0.33	1.02	0.64	0.13	0.31	0.30	0.00	0.26	1.03	0.17
0.21	90	1.98	2.12	0.30	0.87	0.37	2.21	0.21	0.74	1.50	1.26	0.28	1.52	1.57	0.45	0.08	0.07	1.20	0.70	0.39	0.57	0.26	0.26	0.00	0.98	0.19
0.88	96	2.71	2.85	1.06	1.60	0.86	1.23	0.77	0.24	1.40	0.28	1.01	1.40													

Πίνακας 4: Αποστάσεις κόμβων από βάση σε m

128		7	8	9	10	14	21	24	25	26	27	28	30	31	33	34	35	45	63	66	67	72	76	90	96	127
0.37	7	0	0.03	0.34	0.22	0.45	0.72	0.42	0.49	0.67	0.59	0.35	0.68	0.69	0.47	0.39	0.39	0.42	0.46	0.35	0.31	0.40	0.34	0.40	0.54	0.38
0.40	8	0.03	0	0.36	0.25	0.48	0.75	0.45	0.52	0.70	0.62	0.37	0.71	0.72	0.49	0.42	0.42	0.45	0.49	0.38	0.34	0.43	0.37	0.42	0.57	0.40
0.04	9	0.34	0.36	0	0.11	0.11	0.42	0.08	0.16	0.34	0.27	0.01	0.34	0.35	0.15	0.08	0.07	0.21	0.13	0.03	0.06	0.07	0.01	0.06	0.21	0.04
0.15	10	0.22	0.25	0.11	0	0.23	0.50	0.20	0.27	0.45	0.37	0.12	0.46	0.47	0.24	0.17	0.20	0.24	0.13	0.09	0.18	0.12	0.17	0.32	0.15	
0.09	14	0.45	0.48	0.11	0.23	0	0.40	0.03	0.13	0.23	0.21	0.11	0.23	0.24	0.06	0.09	0.09	0.29	0.16	0.13	0.17	0.08	0.11	0.07	0.17	0.09
0.41	21	0.72	0.75	0.42	0.50	0.40	0	0.40	0.29	0.44	0.22	0.41	0.44	0.43	0.45	0.46	0.46	0.31	0.31	0.43	0.41	0.39	0.41	0.44	0.25	0.41
0.06	24	0.42	0.45	0.08	0.20	0.03	0.40	0	0.11	0.26	0.21	0.08	0.26	0.27	0.07	0.06	0.06	0.26	0.14	0.10	0.14	0.05	0.07	0.04	0.15	0.06
0.13	25	0.49	0.52	0.16	0.27	0.13	0.29	0.11	0	0.28	0.10	0.15	0.28	0.29	0.17	0.16	0.16	0.16	0.04	0.18	0.19	0.10	0.16	0.15	0.05	0.13
0.30	26	0.67	0.70	0.34	0.45	0.23	0.44	0.26	0.28	0	0.22	0.33	0.00	0.01	0.26	0.32	0.31	0.44	0.32	0.35	0.39	0.27	0.33	0.30	0.28	0.30
0.23	27	0.59	0.62	0.27	0.37	0.21	0.22	0.21	0.10	0.22	0	0.26	0.22	0.21	0.26	0.27	0.27	0.24	0.14	0.28	0.29	0.20	0.26	0.25	0.06	0.24
0.03	28	0.35	0.37	0.01	0.12	0.11	0.41	0.08	0.15	0.33	0.26	0	0.33	0.34	0.15	0.07	0.07	0.20	0.12	0.02	0.06	0.06	0.00	0.06	0.20	0.03
0.31	30	0.68	0.71	0.34	0.46	0.23	0.44	0.26	0.28	0.00	0.22	0.33	0	0.01	0.26	0.32	0.32	0.45	0.32	0.35	0.39	0.28	0.34	0.30	0.28	0.30
0.32	31	0.69	0.72	0.35	0.47	0.24	0.43	0.27	0.29	0.01	0.21	0.34	0.01	0	0.27	0.33	0.33	0.45	0.33	0.36	0.40	0.29	0.35	0.31	0.27	0.31
0.13	33	0.47	0.49	0.15	0.24	0.06	0.45	0.07	0.17	0.26	0.26	0.15	0.26	0.27	0	0.07	0.08	0.33	0.21	0.17	0.20	0.12	0.14	0.09	0.22	0.13
0.06	34	0.39	0.42	0.08	0.17	0.09	0.46	0.06	0.16	0.32	0.27	0.07	0.32	0.33	0.07	0	0.00	0.26	0.16	0.09	0.13	0.07	0.07	0.02	0.21	0.05
0.06	35	0.39	0.42	0.07	0.17	0.09	0.46	0.06	0.16	0.31	0.27	0.07	0.32	0.33	0.08	0.00	0	0.25	0.15	0.09	0.13	0.07	0.07	0.01	0.21	0.05
0.20	45	0.42	0.45	0.21	0.20	0.29	0.31	0.26	0.16	0.44	0.24	0.20	0.45	0.45	0.33	0.26	0.25	0	0.13	0.19	0.16	0.22	0.20	0.24	0.19	0.20
0.10	63	0.46	0.49	0.13	0.24	0.16	0.31	0.14	0.04	0.32	0.14	0.12	0.32	0.33	0.21	0.16	0.15	0.13	0	0.15	0.15	0.10	0.13	0.14	0.08	0.10
0.05	66	0.35	0.38	0.03	0.13	0.13	0.43	0.10	0.18	0.35	0.28	0.02	0.35	0.36	0.17	0.09	0.09	0.19	0.15	0	0.04	0.08	0.03	0.08	0.22	0.05
0.08	67	0.31	0.34	0.06	0.09	0.17	0.41	0.14	0.19	0.39	0.29	0.06	0.39	0.40	0.20	0.13	0.13	0.16	0.15	0.04	0	0.11	0.06	0.11	0.23	0.09
0.03	72	0.40	0.43	0.07	0.18	0.08	0.39	0.05	0.10	0.27	0.20	0.06	0.28	0.29	0.12	0.07	0.07	0.22	0.10	0.08	0.11	0	0.06	0.05	0.15	0.03
0.03	76	0.34	0.37	0.01	0.12	0.11	0.41	0.07	0.16	0.33	0.26	0.00	0.34	0.35	0.14	0.07	0.07	0.20	0.13	0.03	0.06	0.06	0	0.05	0.21	0.03
0.04	90	0.40	0.42	0.06	0.17	0.07	0.44	0.04	0.15	0.30	0.25	0.06	0.30	0.31	0.09	0.02	0.01	0.24	0.14	0.08	0.11	0.05	0.05	0	0.20	0.04
0.18	96	0.54	0.57	0.21	0.32	0.17	0.25	0.15	0.05	0.28	0.06	0.20	0.28	0.27	0.22	0.21	0.21	0.19	0.08	0.22	0.23	0.15	0.21	0.20	0	0.18
0.00	127	0.38	0.40	0.04	0.15	0.09	0.41	0.06	0.13	0.30	0.24	0.03	0.30	0.31	0.13	0.05	0.05	0.20	0.10	0.05	0.09	0.03	0.03	0.04	0.18	0

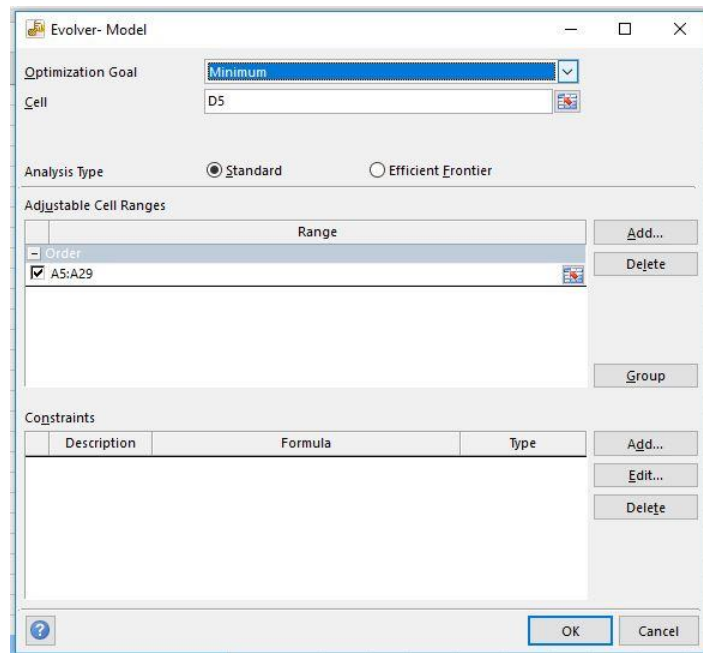
5.4 Σύστημα Βελτιστοποίησης

Για να βρούμε την βέλτιστη λύση του συγκεκριμένου μοντέλου επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί το λογισμικό Evolver της Palisade. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα επιλύει προβλήματα βελτιστοποίησης με την βοήθεια του γενετικού αλγορίθμου και λειτουργεί σαν επέκταση στο Excel της Microsoft. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει τέτοιες δυνατότητες που μπορεί να επιλύσει προβλήματα που έχουν μοντελοποιηθεί σε Excel ,είτε αυτά είναι πολύπλοκα είτε αυτό είναι κάτι πολύ απλά.

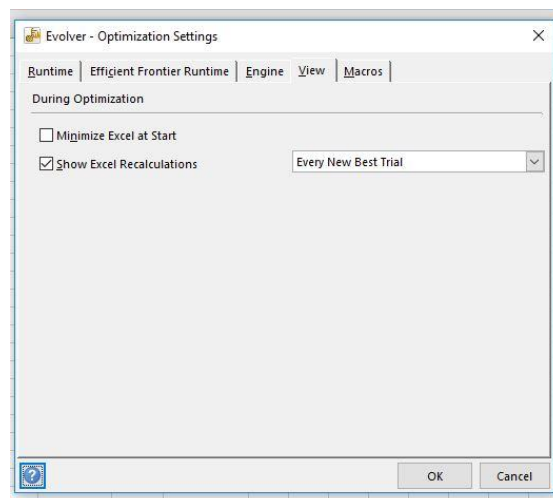
Οι περιορισμοί του προβλήματος έχουν εισαχθεί στο μοντέλο βελτιστοποίησης χωρίς να χρειάζεται να γίνει κάποια εισαγωγή στο Evolver.

Τελειώνοντας, το κριτήριο τερματισμού της διαδικασία υστέρα από αρκετές προσπάθειες και δοκιμές, τόσο ως προς το χρόνο όσο και ως προς το αν δεν παρατηρήσει κάποια βελτίωση της λύσης ορίστηκε να είναι 20 λεπτά της ώρας. Από τα παρακάτω αποτελέσματα παρατηρήσαμε ότι μετά το 15 λεπτό δεν υπάρχει κάποια αλλαγή στην λύση και για αυτό τον λόγο επιλέχθηκαν τα 20 λεπτά.

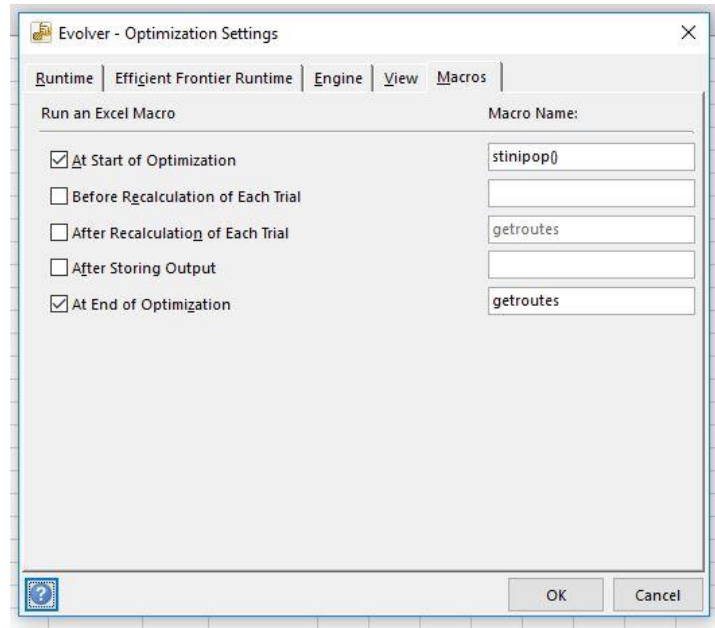
Εικόνες από το evolver



Εικόνα 29: Εισαγωγή δεδομένων στο evolver



Εικόνα 30: Εισαγωγή παραμέτρων στο evolver



Εικόνα 31: Εισαγωγή δεδομένων στο evolver

5.5 Αποτελέσματα γενετικού αλγορίθμου

Στην συγκεκριμένη διπλωματική πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές με μέγεθος πληθυσμού (Population) 25,50,75 συντελεστή διασταύρωσης (Crossover) 0.2,0.4,0.6 και συντελεστή μετάλλαξης 0.05,0.1 και 0.15.

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου που έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, περιχέει τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών του αλγορίθμου μέχρι να φτάσει στη βέλτιστη λύση, το πλήθος των drone που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και τις τελικές διαδρομές που θα πρέπει να κάνει κάθε Drone για να επέλθει το ελάχιστο αυτό αποτέλεσμα.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα

Population	Crossover	Mutation	Total Cost	No Drone	Running Time
25	0,2	0,05	5,33	8	0:20:00
25	0,2	0,1	5,29	7	0:20:00
25	0,2	0,15	5,4634	8	0:20:00
25	0,4	0,05	5,3975	8	0:20:00
25	0,4	0,1	5,3552	8	0:20:00
25	0,4	0,15	5,5796	7	0:20:00
25	0,6	0,05	5,3973	8	0:20:00
25	0,6	0,1	5,3573	7	0:20:00
25	0,6	0,15	5,4396	8	0:20:00
25	0,2	0,05	5,3296	8	0:20:00
25	0,2	0,1	5,2496	8	0:20:00
25	0,2	0,15	5,5028	7	0:20:00
25	0,4	0,05	5,3596	8	0:20:00
25	0,4	0,1	5,3706	9	0:20:00
25	0,4	0,15	5,6281	8	0:20:00
25	0,6	0,05	5,4313	8	0:20:00
25	0,6	0,1	5,3854	8	0:20:00
25	0,6	0,15	5,4696	9	0:20:00
25	0,2	0,05	5,3872	8	0:20:00
25	0,2	0,1	5,4909	7	0:20:00
25	0,2	0,15	5,6415	9	0:20:00
25	0,4	0,05	5,4616	8	0:20:00
25	0,4	0,1	5,331	7	0:20:00
25	0,4	0,15	5,6094	8	0:20:00
25	0,6	0,05	5,3411	8	0:20:00
25	0,6	0,1	5,3216	8	0:20:00
25	0,6	0,15	5,6096	8	0:20:00

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ο συνδυασμός που δίνει τα καλύτερα αποτέλεσμα είναι αυτός με πληθυσμό 50, συντελεστή διασταύρωσης 0.2 και συντελεστή μετάλλαξης 0.1. Επίσης η βέλτιστη λύση είναι 5.2496 ώρες με 8 Drone. Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα οι διαφορετικοί συνδυασμοί παραμέτρων δίνουν και διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά το total cost και σε κάποιες περιπτώσεις και διαφορετικό αριθμό Drone.

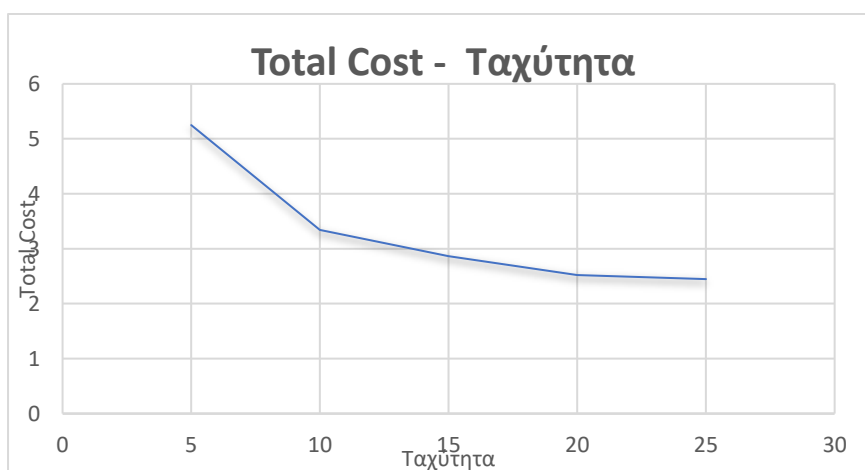
Για την εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε υπολογιστής με επεξεργαστή Intel Core i-7 στα 3,7 GHz και μνήμη ram 8 Gb.

5.6 Ανάλυση ευαισθησίας

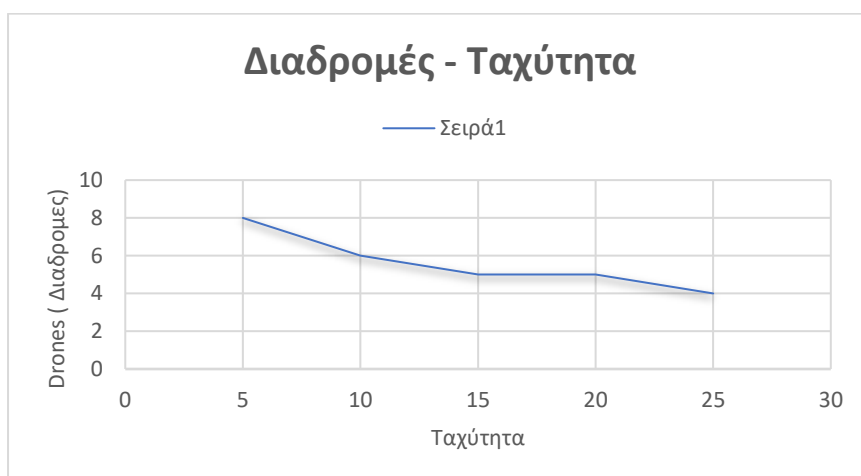
Με βάση τις τιμές για το μέγεθος του πληθυσμού, του συντελεστή διασταύρωσης και του συντελεστή μετάλλαξης, που παράγουν τη βέλτιστη λύση, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας. Οι παράμετροι που θα εξεταστούν είναι η διάρκεια της μπαταρίας των Drone και η ταχύτητα πτήσης.

5.6.1 Ταχύτητα κίνησης Drone

Η ταχύτητα κίνησης των drones επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την λύση μας, αφού μεταβάλλεται η διάρκεια πτήσης των drones



Διάγραμμα 1: Total Cost – Ταχύτητα



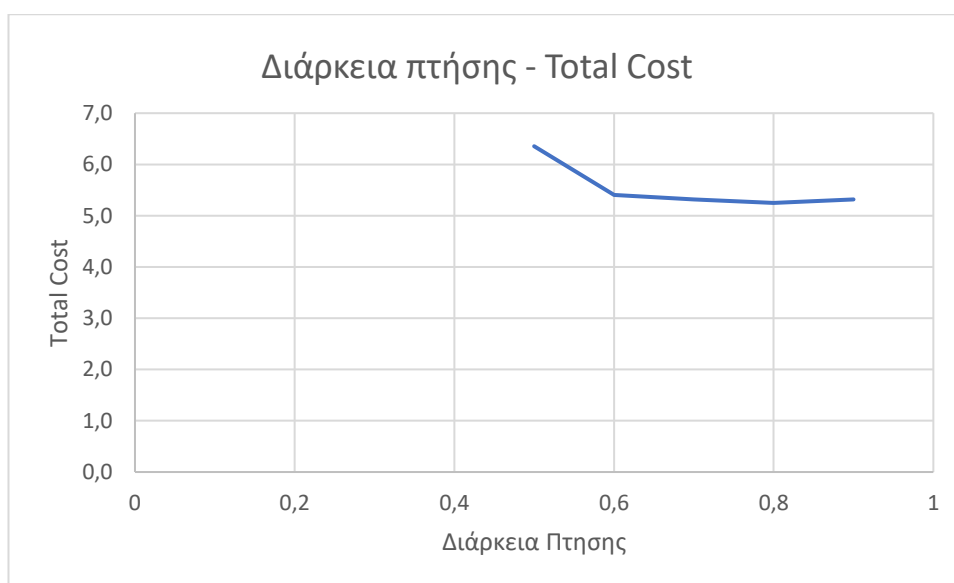
Διάγραμμα 2: Διαδρομές - Ταχύτητα

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η ταχύτητα των drone επηρεάζει τη συνάρτηση ικανότητας δηλαδή το Total Cost, καθώς όσο αυξάνεται η ταχύτητα μειώνεται η συνάρτηση ικανότητας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θεωρούνται λογικά, γιατί υπάρχει ο περιορισμός της διάρκειας των διαδρομών που εξαρτάται από τη διάρκεια μπαταρίας ενός Drone.

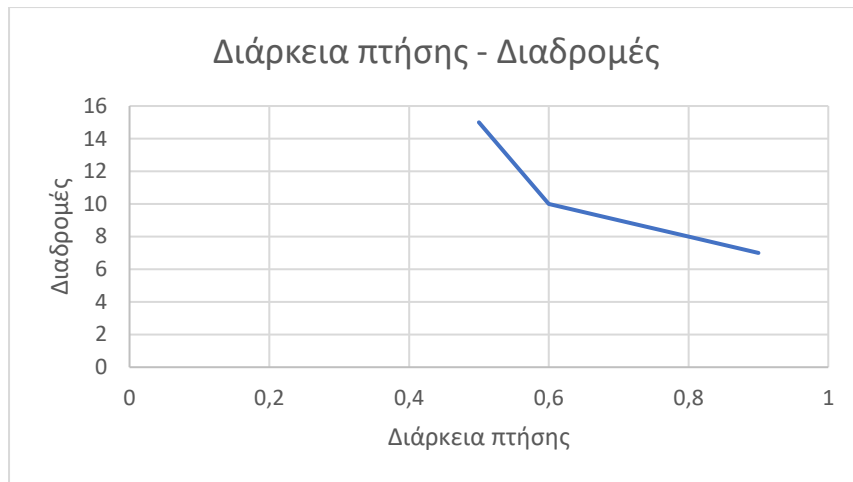
Όπως φαίνεται και από το δεύτερο διάγραμμα η αύξηση της ταχύτητας επηρεάζει και τον αριθμό των Drone που θα χρησιμοποιηθούν, δηλαδή τον αριθμό των διαδρομών που θα γίνουν. Τα αποτελέσματα αυτά θεωρούνται φυσιολογικά γιατί όπως προαναφέραμε υπάρχει ο περιορισμός διάρκειας χρήσης του Drone. Έτσι με την αύξηση της ταχύτητας καλύπτεται μεγαλύτερη απόσταση σε μικρότερο χρόνο και επομένως απαιτούνται λιγότερες διαδρομές.

5.6.2 Διάρκεια κίνησης Drone

Η διάρκεια μπαταρίας των drone επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την λύση μας, αφού μεταβάλλεται ο επιτρεπόμενος χρόνος στον οποίο μπορούν να ολοκληρώσουν τις διαδρομές τα drone.



Διάγραμμα 3: Διάρκεια πτήσης – Total Cost



Διάγραμμα 4: Διάρκεια πτήσης - Διαδρομές

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια μεγάλη διαφορά αν αυξήσουμε την διάρκεια πτήσης πάνω από 0,6 ώρες, όσον αφορά την αντικειμενική συνάρτηση. Όμως από το δεύτερο διάγραμμα παρατηρούμε ότι μειώνονται ραγδαία τα διαθέσιμα Drone ή αλλιώς οι διαφορετικές διαδρομές που θα γίνουν.

Αυτό το φαινόμενο είναι λογικό μιας και με την αύξηση της διάρκειας πτήσης, το κάθε drone μπορεί να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις και άρα να περάσει από περισσότερους κόμβους. Αυτό έχει σαν συνέπεια να μειώνεται ο αριθμός τους αλλά η αντικειμενική συνάρτηση να μην επηρεάζεται στον ίδιο βαθμό καθώς οι διαδρομές είναι μεγαλύτερες.

5.7 Συμπεράσματα

5.7.1 Παράμετροι του γενετικού αλγόριθμου

Από την εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου για την επίλυση του προβλήματος προέκυψαν, στα οποία παρατηρήθηκε ότι η επιλογή των παραμέτρων πληθυσμού, διασταύρωσης και μετάλλαξης επηρεάζει τα αποτελέσματα μας σε κάποιο βαθμό. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα ο αποδοτικότερος συνδυασμός παραμέτρων είναι οι συντελεστές 50 για τον πληθυσμό, 0,2 για τον συντελεστή διασταύρωσης και 0,10 για τον συντελεστή μετάλλαξης.

5.7.2 Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση της ευαισθησίας οι τιμές που επιλέχθηκαν ως βάση ήταν εκείνες που οδήγησαν στο καλύτερο αποτέλεσμα του αλγόριθμου. Όπως δείχνουν τα διαγράμματα της ανάλυσης ευαισθησίας η συνάρτηση ικανότητας είναι ευαίσθητη στις αυξομειώσεις της ταχύτητας κίνησης των Drone και στις αυξομειώσεις της διάρκειας πτήσης των Drone.

Η μεταβολή της ταχύτητας πτήσης των drone έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της συνάρτησης ικανότητας. Αυτή η μεταβολή όπως είναι προφανές οφείλεται στο ότι με την αύξηση της ταχύτητας πραγματοποιείται πιο σύντομα η καταγραφή των δρόμων πράγμα που σημαίνει ότι θα επιστρέφει γρηγορότερα πίσω στην αποθήκη. Έτσι, τα απαιτούμενα Drone πλέον μειώνονται. Επίσης η ποινή που χρησιμοποιείται για την υπέρβαση της διάρκειας δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση αυτή και η αντικειμενική συνάρτηση μειώνεται περαιτέρω.

Στην δεύτερη περίπτωση, που εξετάστηκε η επίπτωση διάρκειας πτήσης παρατηρήθηκε πως η συνάρτηση ικανότητας δεν επηρεάζεται τόσο πολύ για τιμές άνω των 36 λεπτών (0.6 ώρας). Αυτό όμως που επηρεάζεται είναι τα απαιτούμενα drones, τα οποία μειώνονται όσο αυξάνεται η επιτρεπόμενη διάρκεια των διαδρομών.

5.7.3 Χρησιμότητα αλγορίθμου

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αφορά την επιθεώρηση μέσω drone έργων υποδομής, η οποία δεν έχει μελετηθεί υπό αυτό το πρίσμα. Η διπλωματική αυτή μπορεί να αποτελέσει βάση για μελλοντική ερευνά.

Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε ρεαλιστικές συνθήκες δηλαδή σε ένα υπάρχον οδικό δίκτυο της Αλεξανδρούπολης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν λογικά και συνεπή σε μικρό υπολογιστικό χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας φάνηκε ότι δεν υπάρχει μοναδική λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα ή κάποια πρότυπη λύση που πρέπει να ακολουθείται για την επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων. Έτσι σε αυτό το πρόβλημα που αναλύθηκε παραπάνω μπορούν να εφαρμοστούν πολλές μετατροπές και να τεθούν διαφορετικοί περιορισμοί. Η διπλωματική αυτή μπορεί να χρησιμεύσει στην επιθεώρηση οδικών τμημάτων με την χρήση drone μιας και όπως είδαμε είναι αρκετά συμφέρουσα και όχι τόσο χρονοβόρα.

Αν και στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε μόνο ο συνολικός χρόνος διαδρομής, οι παραλλαγές που μπορεί να έχει η αντικειμενική συνάρτηση είναι πάρα πολλές. Αρχικά μπορούν να μπουν περισσότερες μεταβλητές στην αντικειμενική συνάρτηση όπως για παράδειγμα ο αριθμός των διαδρομών, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα απαιτούμενα drone . Οι ποινές παίζουν καθοριστικό ρολό στην επίλυση τέτοιων προβλημάτων γιατί μπορεί όταν είναι αυστηρές να υπάρχει μη συμφέρουσα λύση ενώ όταν είναι χαλαρές να μην επιλύεται το πρόβλημα. Γι'αυτό τον λόγο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια ακόμα μεταβλητή που στην αντικειμενική συνάρτηση, η ελάχιστη ποιινή θα έδινε την βέλτιστη λύση.

Οι περιορισμοί επίσης παίζουν ένα σημαντικό ρολό ως προς την επίλυση του προβλήματος μας μιας και αυτοί είναι που καθορίζουν την πολυπλοκότητα του. Θα μπορούσε εκτός από τον περιορισμό της μέγιστης διάρκειας πτήσης να υπήρχε και ένας περιορισμός ως προς την διαθεσιμότητα στόλου Drone.

Το πρόβλημα όπως αναφέραμε μπορεί να επεκταθεί σε μεγαλύτερο εύρος. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος διαθέτει μεγάλη ευελιξία και μπορεί ευκολά να επιλύσει προβλήματα λίγων κόμβων με μεγάλη ταχύτητα. Με μικρές μετατροπές θα μπορεί να προσαρμοστεί για να αντιμετωπίσει διαφορετικές συνθήκες ή μεγαλύτερο εύρος κόμβων.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική επιλύθηκε το πρόβλημα για 25 κόμβους χωρίς περιορισμό για τον αριθμό των Drone. Τα δεδομένα μπορούν ευκολά να μεταβληθούν στο περιβάλλον εργασίας και να λυθεί το πρόβλημα για διαφορετικά δίκτυα

Τέλος ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η περίπτωση του προβλήματος με περιορισμένο αριθμό drone και την ανάγκη για απόδοση προτεραιότητας στα διαφορετικά οδικά τμήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alotaibi, K. A. (2014). *Unmanned aerial vehicle routing in the presence of threats*. The University of Texas at Arlington.

Angelelli E. & Speranza M.G., "The Periodic Vehicle Routing Problem with Intermediate Facilities", *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, pp. 233 – 247, Elsevier, 2002

Antoniades, K., Ishizaka, A., & Ries, J. An autonomous time dependent swarm routing system for UAV real time investigation.

A Subramanian , L.M.A Drummond, C. Bentes, L.s. Ochi , R. Farias (2009), A parallel heuristic for thVehicle Routing Problem with Simyltaneous Pickup and Delivey,2009

B. Lamont, J. N. Slear, and K. Melendez, "UAV swarm mission planning and routing using multi-objective evolutionary algorithms," *IEEE Symp. Comput. Intell. Multicriteria Decis. Mak.*, no. Mcdm, pp. 10–20, Apr. 2007.

Daganzo G. & Hall R., "A routing problem with pickups and deliveries: No capacity restrictions on the secondary items", *Transportation Science*, Vol. 27, pp. 315 – 329, 1993

Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. (1992). A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Operations research*, 40(2), 342-354.

Edison, E., & Shima, T. (2011). Integrated task assignment and path optimization for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms. *Computers & Operations Research*, 38(1), 340-356.

Enright, J. J., Savla, K., Frazzoli, E., & Bullo, F. (2009). Stochastic and dynamic routing problems for multiple uninhabited aerial vehicles. *Journal of guidance, control, and dynamics*, 32(4), 1152-1166.

Frangopol, D. M., & Liu, M. (2007). Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost*. *Structure and infrastructure engineering*, 3(1), 29-41.

Gaudioso, M., & Paletta, G. (1992). A heuristic for the periodic vehicle routing problem. *Transportation Science*, 26(2), 86-92.

Goetschalckx M. & Jacobs-Blecha C., "The Vehicle Routing Problem with Backhauls: An Optimization Based Approach", *Proceedings of the 2nd Industrial Engineering Research Conference*, May 26-27, Los Angeles, California, pp. 504 – 509, 1993.

G. W. Kinney, R. R. Hill, and J. T. Moore, "Devising a quick-running heuristic for an unmanned aerial vehicle (UAV) routing system," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 56, no. 7, pp. 776– 786, Jul. 2005

H. bin Duan et al., "Max-min adaptive ant colony optimization approach to multi-UAVs coordinated trajectory replanning in dynamic and uncertain environments," *J. Bionic Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 161–173, 2009.

Jacques Renaudl, Gilbert Laporte and Fayez F. Boctor(1994). A TABU SEARCH HEURISTIC FOR THE MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEM,1995

J. Berger, A. Boukhtouta, A. Benmoussa, and O. Kettani, "A new mixed-integer linear programming model for rescue path planning in uncertain adversarial environment," *Comput. Oper. Res.*, vol. 39, no. 12, pp. 3420–3430, 2012

J. J. Ruz, O. Arévalo, G. Pajares, and J. M. De La Cruz, "Decision making among alternative routes for UAVs in dynamic environments," in *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2007*, pp. 997–1004

J. Le Ny, M. Dahleh, and E. Feron, "Multi-UAV dynamic routing with partial observations using restless bandit allocation indices," in *Proceedings of the American Control Conference, 2008*, pp. 4220–4225

Kallehauge, B., Larsen, J., Madsen, O. B., & Solomon, M. M. (2005). Vehicle routing problem with time windows. In *Column generation* (pp. 67-98). Springer, Boston, MA.

Kallioras, N. A., Kepaptsoglou, K., & Lagaros, N. D. (2015). Transit stop inspection and maintenance scheduling: A GPU accelerated metaheuristics approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55, 246-260.

Kamil A. Alotaibi, Jay M. Rosenberger, Stephen P. Mattingly, Raghavendra K. Punugu, Siritwat Visoldilokpun (2017). Unmanned Aerial Vehicle Routing in the Presence of Threats,2017

Karlaftis, M. G., Kepaptsoglou, K., & Sambracos, E. (2009). Containership routing with time deadlines and simultaneous deliveries and pick-ups. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 210-221.

Kinney, G. W., Hill, R. R., & Moore, J. T. (2005). Devising a quick-running heuristic for an unmanned aerial vehicle (UAV) routing system. *Journal of the Operational Research Society*, 56(7), 776-786.

Laporte, G. (2007). What you should know about the vehicle routing problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 54(8), 811-819.

Liu, W., Zheng, Z., & Cai, K. Y. (2013). Bi-level programming based real-time path planning for unmanned aerial vehicles. *Knowledge-Based Systems*, 44, 34-47.

Mufalli, F., Batta, R., & Nagi, R. (2012). Simultaneous sensor selection and routing of unmanned aerial vehicles for complex mission plans. *Computers & Operations Research*, 39(11), 2787-2799.

Ombuki - Berman B. & Hanshar F., "Using Genetic Algorithms for Multi-depot Vehicle Routing", *Bio-inspired Algorithms for the Vehicle Routing Problem Studies in Computational Intelligence*, Vol. 161, pp. 77 – 99, 2009

Renaud, J., Laporte, G., & Boctor, F. F. (1996). A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 23(3), 229-235.

Russell, M. A., & Lamont, G. B. (2005, June). A genetic algorithm for unmanned aerial vehicle routing. In *Proceedings of the 7th annual conference on Genetic and evolutionary computation* (pp. 1523-1530). ACM.

Peng, F., Ouyang, Y., & Somani, K. (2013). Optimal routing and scheduling of periodic inspections in large-scale railroad networks. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 3(4), 163-171.

P. P. Y. Wu, D. Campbell, and T. Merz, "On-board multi-objective mission planning for unmanned aerial vehicles," in *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2009, pp. 1–10

Puri, A. (2005). A survey of unmanned aerial vehicles (UAV) for traffic surveillance. *Department of computer science and engineering, University of South Florida*, 1-29.

Ries, J., & Ishizaka, A. (2012, December). A multi-criteria support system for dynamic aerial vehicle routing problems. In *Communications, Computing and Control Applications (CCCA), 2012 2nd International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.

R. W. Harder, R. R. Hill, and J. T. Moore, "A Java Universal Vehicle Router for Routing Unmanned Aerial Vehicles," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 259–275, May 2004.

Shetty, V. K., Sudit, M., & Nagi, R. (2008). Priority-based assignment and routing of a fleet of unmanned combat aerial vehicles. *Computers & Operations Research*, 35(6), 1813-1828.

S. H. Jacobson, L. A. McLay, S. N. Hall, D. Henderson, and D. E. Vaughan, "Optimal search strategies using simultaneous generalized hill climbing algorithms," *Math. Comput. Model.*, vol. 43, no. 9, pp. 1061–1073, 2006

S. Jaishankar and R. N. Pralhad, "3D off-line path planning for aerial vehicle using distance transform technique," in *Procedia Computer Science*, 2011, vol. 4, pp. 1306–1315

Toth, P., & Vigo, D. (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1-3), 487-512.

V. K. Shetty, M. Sudit, and R. Nagi, "Priority-based assignment and routing of a fleet of unmanned combat aerial vehicles," *Comput. {&} Oper. Res.*, vol. 35, no. 6, pp. 1813–1828, Jun. 2008

W. Liu, Z. Zheng, and K. Y. Cai, "Bi-level programming based real-time path planning for unmanned aerial vehicles," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 44, pp. 34–47, 2013

Yilmaz Z and Aplak H.S., "Vehicle routing by revaluing the alternative routes by using AHPTOPSIS Combination," *X. International Logistics {&} Supply Chain Congress 2012 Proceedings, Istanbul, Turkey.* pp. 304–310, 2016

Y. Kuroki, G. S. Young, and S. E. Haupt, "UAV navigation by an expert system for contaminant mapping with a genetic algorithm," *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 6, pp. 4687– 4697, 2010

Yoshiki Yumbe, Takashi Hasegawa, and Naohiro Furukawa (2013) . *Optimization Method for Inspection Scheduling of Power Distribution Facilities, 2013*

Bαϊνδεργής A.K. και Π. Τσιώτσος (2014), "Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων και η εφαρμογή τους στην Ελλάδα", Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Γεωργόπουλος Ε. και Λυκοθανάσης Σ., "Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγορίθμους", Σημειώσεις μαθήματος, Εργαστήριο Αναγνώρισης Προτύπων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχ. Η/Υ και Πληροφορικής, Πάτρα, 1999,

Ευαγγελίδης Δ. (2004), "Οδηγίες Συντήρησης Αυτοκινητοδρόμων – Κύρια Συντήρηση Οδοστρωμάτων, Μέρος 1: Χαρακτηριστικά της Λειτουργικής και Δομικής Κατάστασης των Οδοστρωμάτων", Εγνατία Οδός Α.Ε.

Θεοδωρακόπουλος Δ., Μπούσιας Ε., Γιαννόπουλος Π. (2003), "Τεχνική της κατασκευής – Τόμος Α: Ανάλυση και σχεδιασμός κατασκευών", 1η έκδοση, Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα

Κετσάτη Κωνσταντίνα (2017)," Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων – Διαχείριση Διανομών σε Ελληνική Εταιρία " Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα οικονομικών επιστημών, Αριστοτέλειο Πναπαιστημιο Θεσσαλονικης, Θεσσαλονικη

Κόλλαρς Α.Γ., Δ.Α. Αθανασοπούλου και Ε.Σ. Παπακωνσταντίνου (2006), "Φθορές και συντήρηση οδοστρωμάτων", 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη.

Λουκέρη Ε.Δ. (2002), "Φθορές οδοστρωμάτων και τεχνικές συντήρησης", Διαχείριση Υποδομής Συγκοινωνιακών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Μακρίδου Π. και Γ. Πανιώρας (2009), "Σύγχρονα υλικά στην κατασκευή και συντήρηση των έργων οδοποιίας", Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Παπαγιαννης Κ.(2017) «Βελτιστοποίηση κατανομής πόρων συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων με χρήση γενετικού αλγορίθμου», Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πατρα

Πτερνέα Μ. (2013), «Βέλτιστος σχεδιασμός δικτύου αστικών συγκοινωνιών ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση ευελιχτής μαθηματικής προσεγγίσης», Διπλωματική εργασία, Σχολή πολιτικών μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Στεργιάδης Χ. (2005), "Σχεδιασμός νέων μοντέλων οδοστρωσίας υπό το πρίσμα των φθορών και των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών", Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Τσίκας Π., «Μέθοδος Βελτιστοποίησης Γενετικών Αλγορίθμων (Genetic Algorithms - GA)», σημειώσεις παρουσίασης μαθήματος "Εξελικτικοί Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης", Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - ΠΜΣ, 2015

Χαρίσης Α. (2016) « Βέλτιστος σχεδιασμός δικτύου τροφοδοτικών λεωφορείων σε σύστημα μετρο», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Public tmfd1

Sub GetDelays()

m = Sheet6.Cells(30, 1).Value 'delays

a = Sheet6.Cells(2, 1).Value 'delays

For j = 34 To 58 c = Sheet1.Cells(j, 1).Value 'data

If a = c Then Sheet6.Cells(2, 5).Value = Sheet1.Cells(j, 7).Value

Next j

For i = 3 To 26

a = Sheet6.Cells(i, 1).Value

b = Sheet6.Cells(i - 1, 1).Value

For j = 34 To 58

c = Sheet1.Cells(j, 1).Value


```

If a = c Then Sheet6.Cells(i, 5).Value = Sheet1.Cells(j, 7).
Next j
For j = 66 To 90
d = Sheet1.Cells(j, 1).
If b = d Then y = j
Next j
For j = 1 To 40
e = Sheet1.Cells(65, j).Value
If a = e Then x = j
Next j
Sheet6.Cells(i, 6).Value = Sheet1.Cells(y, x)
Next i
m = 1
Sheet6.Cells(2, 6).Value = Sheet6.Cells(2, 5).Value
Sheet6.Cells(2, 4).Value = 1
For i = 3 To 26
f = Sheet6.Cells(i, 2).Value
g = Sheet6.Cells(i - 1, 2).Value
If f <> g Then
    Sheet6.Cells(i, 4).Value = 1
    Sheet6.Cells(i, 6).Value = Sheet6.Cells(i, 5).Value
End If
Next i
ss = 0
For i = 2 To 26
h = Sheet6.Cells(i, 4).Value
If h = 1 Then ss = Sheet6.Cells(i, 6).Value
If h = 0 Then ss = ss + Sheet6.Cells(i, 6).Value

```

```

Sheet6.Cells(i, 7).Value = ss
Next i
End Sub
Sub renumb()
For i = 1 To 25
    Worksheets("data").Cells(i + 4, 1).Value = i
    Worksheets("data").Cells(i + 4, 2).Value = ""
    Worksheets("data").Cells(i + 4, 3).Value = ""
Next i
End Sub
Sub stinipop()
Dim a(25), b(25), c(25) As Integer
For i = 1 To 25
    a(i) = i
    b(i) = 0
Next i
k = 1
While k <= 25
    d = Int(25 * Rnd() + 1)
    For i = 1 To 25
        If (a(i) = d And b(i) = 0) Then
            c(k) = a(i)
            b(i) = 1
            k = k + 1
        End If
    Next i
Wend
For i = 5 To 29

```

```

Worksheets("data").Cells(i, 1).Value = c(i - 4)

Next i

End Sub

Sub getroutes()

Dim tt(25, 25) As Single, wt(25) As Single, et(25) As Single, ext(25) As Single, st(25)
As Single, lt(25), dd(25) As Single

Dim an(25), ind(25) As Integer, tb(25) As Single, ss(25) As Single, srpos()

For i = 5 To 29

getnew = Worksheets("data").Cells(i, 1).Value

For j = 34 To 58

check = Worksheets("data").Cells(j, 1).Value

If check = getnew Then

an(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 1).Value
dd(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 2).Value
et(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 3).Value
ext(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 4).Value
lt(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 5).Value
st(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 6).Value
tb(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 7).Value
ss(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 8).Value

End If

Next j

Next i

tot0 = 0

tot26 = 0

tot02 = 0

Total = 0

rtnum = 1

stopit = 0

```

```

i = 1
maxdur = Worksheets("data").Cells(62, 1).Value ' 24 hours for speed 20
dur = 0
While Not stopit = 1
If i = 1 Then dis = tb(i)
  If i > 1 Then
    If rtnum = ind(i - 1) Then
      dis = Worksheets("data").Cells(65 + an(i - 1), 1 + an(i)).Value + st(i)
    Else
      dis = tb(i) + st(i)
    End If
  End If
End If
dur = dur + dis
If dur <= maxdur Then
  ind(i) = rtnum
  Worksheets("data").Cells(i + 4, 6).Value = dis
  i = i + 1
End If
If dur > maxdur Then
  rtnum = rtnum + 1
  ind(i) = rtnum
  dur = 0
End If
If i > 25 Then stopit = 1
Wend
Worksheets("data").Cells(5, 7).Value = rtnum
For i = 1 To 25
  Worksheets("data").Cells(i + 4, 2).Value = ind(i)

```

```

Next i
For i = 1 To 25
a = Worksheets("data").Cells(i + 4, 1).Value
    For j = 34 To 58
        If a = Worksheets("data").Cells(j, 1).Value Then Worksheets("data").Cells(i + 4,
        .Value = Worksheets("data").Cells(j, 9).Value
    Next j
Next i
ReDim srpos(rtnum + 1)
counter = 0
ind(0) = 0
For i = 1 To 25
    If ind(i - 1) < ind(i) Then
        counter = counter + 1
        srpos(counter) = i
        rtnum = counter
    End If
Next i
srpos(rtnum + 1) = 26
tot = 0
ReDim tot99(rtnum + 1)
starttime = 0 ' if we want we can set a time
For i = 1 To rtnum
a = srpos(i)
b = srpos(i + 1) - 1
    dist = 0
    dist0a = tb(a)
    distb0 = tb(b)
    ext(a) = starttime + dist0a + st(a) ' time at a

```

```

For j = a + 1 To b
    For k = 1 To 25
        If an(j - 1) = Worksheets("data").Cells(65 + k, 1).Value Then y1 = 65 + k
        If an(j) = Worksheets("data").Cells(65, k + 1).Value Then x2 = k + 1
    Next k
    dist = dist + Worksheets("data").Cells(y1, x2).Value + st(j)
    ext(j) = dist + ext(a) ' plus the time to finish from a
Next j
Next i
For i = 1 To 25
Worksheets("data").Cells(i + 4, 10).Value = ext(i)
Next i
End Sub
Function TotalCost(value1) As Single
Dim tt(25, 25) As Single, wt(25) As Single, et(25) As Single, ext(25) As Single, st(25)
As Single, lt(25), dd(25) As Single
Dim an(25), ind(25) As Integer, tb(25) As Single, ss(25) As Single, srpos()
For i = 5 To 29
getnew = Worksheets("data").Cells(i, 1).Value
    For j = 34 To 58
        check = Worksheets("data").Cells(j, 1).Value
        If check = getnew Then
            an(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 1).Value
            dd(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 2).Value
            et(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 3).Value
            ext(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 4).Value
            lt(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 5).Value
            st(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 6).Value
            tb(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 7).Value

```

```

        ss(i - 4) = Worksheets("data").Cells(j, 8).Value
    End If

    Next j

Next i
tot0 = 0
tot26 = 0
tot02 = 0
Total = 0
rtnum = 1
stopit = 0
i = 1
maxdur = Worksheets("data").Cells(62, 1).Value
dur = 0
While Not stopit = 1
If i = 1 Then dis = tb(i)
    If i > 1 Then
        If rtnum = ind(i - 1) Then
            dis = Worksheets("data").Cells(65 + an(i - 1), 1 + an(i)).Value + st(i)
        Else
            dis = tb(i) + st(i)
        End If
    End If
End If
dur = dur + dis
If dur <= maxdur Then
    ind(i) = rtnum
    i = i + 1
End If
If dur > maxdur Then

```

```

    rtnum = rtnum + 1
    ind(i) = rtnum
    dur = 0
End If
If i > 25 Then stopit = 1
Wend
3.Value = Worksheets("data").Cells(j, 9).Value
For i = 1 To 25
Next i
ReDim srpos(rtnum + 1)
counter = 0
ind(0) = 0
For i = 1 To 25
    If ind(i - 1) < ind(i) Then
        counter = counter + 1
        srpos(counter) = i
        rtnum = counter
    End If
Next i
srpos(rtnum + 1) = 26
tot = 0
ReDim tot99(rtnum + 1)
starttime = 0
For i = 1 To rtnum
    a = srpos(i)
    b = srpos(i + 1) - 1
    dist = 0
    dist0a = tb(a)

```



```

distb0 = tb(b)
ext(a) = starttime + dist0a + st(a) ' time at a
For j = a + 1 To b
    For k = 1 To 25
        If an(j - 1) = Worksheets("data").Cells(65 + k, 1).Value Then y1 = 65 + k
        If an(j) = Worksheets("data").Cells(65, k + 1).Value Then x2 = k + 1
    Next k
    dist = dist + Worksheets("data").Cells(y1, x2).Value + st(j)
    ext(j) = dist + ext(a) ' plus the time to finish from a
Next j
tot99(i) = dist + dist0a + distb0
Next i
a = Sheet1.Cells(5, 5).Value
For k = 1 To rtnum
    If tot99(k) > 0.8 Then
        tot99(k) = tot99(k) + (tot99(k) - 0.8) ^ a
    End If
    tot = tot + tot99(k)
Next k
a = Sheet1.Cells(5, 5).Value
For i = 1 To 25
    tmdf = ext(i) - lt(i)
    If tmdf <= 0 Then tmdf = 0
    tot = tot + a * tmdf
Next i
TotalCost = tot
End Function

```