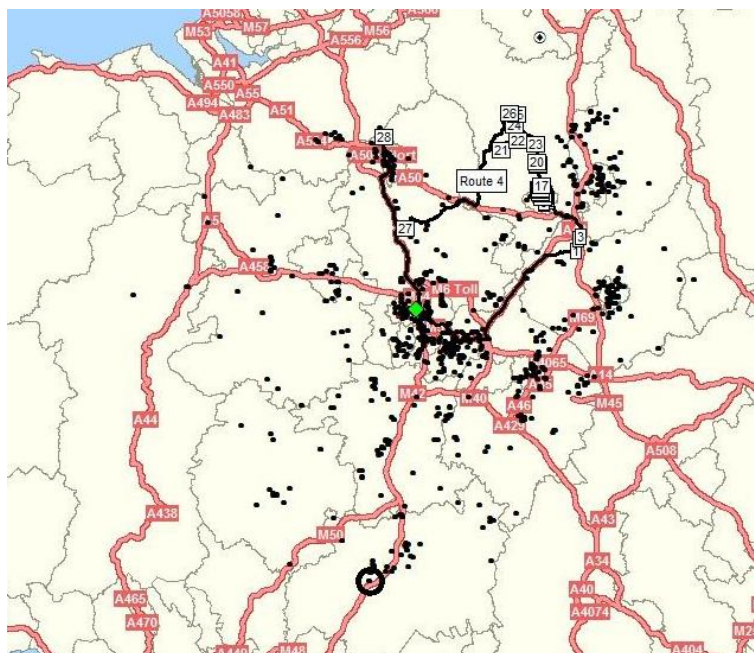




ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

Χρονοδρομολόγηση μεταφορών με εξελικτικούς αλγορίθμους



Φοιτητές:

Βολιώτης Χρήστος Α.Μ.:02/2039
Πλιάτσικα Ευαγγελία Α.Μ.:02/2022

Επιβλέπων καθηγητής
Αδαμίδης Παναγιώτης

Θεσσαλονίκη 2009

Περίληψη	5
Abstract	6
Κατάλογος σχημάτων και πινάκων	7
1. Εισαγωγή	9
2. Περιγραφή προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών	11
2.1 Χαρακτηριστικά	13
2.1.1 Χαρακτηριστικά σχετικά με τις παραγγελίες	13
2.1.2 Χαρακτηριστικά σχετικά με τα οχήματα	15
2.1.3 Γενικά χαρακτηριστικά	16
2.2 Περιορισμοί	16
3. Μέθοδοι και τεχνικές αντιμετώπισης προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών χωρίς τη χρήση γενετικών αλγορίθμων	18
3.1 Ευφυείς Πράκτορες (Intelligent Agents) και VRP	18
3.2 Επίλυση με χρήση αλγορίθμου αναζήτησης σε γράφο και πράκτορες	20
3.3 Large Neighborhood Search	22
3.4 Tabu ευρυστική αναζήτηση	23
3.5 Ο Clarke & Wright αλγόριθμος	24
3.6 Σειριακή μέθοδος δρομολόγησης	25

4. Λύση προβλημάτων χρονοδρομολόγηση μεταφορών με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων	27
4.1 Επίλυση του προβλήματος χρονοδρομολόγησης μεταφορών (Vehicle Routing Problem with Time Windows- VRPTW) με χρήση εξελικτικού αλγορίθμου	28
4.2 Δρομολόγηση με χρήση γενετικού αλγόριθμου βασισμένου στην ηλικία του ατόμου (Age-based genetic algorithm).	30
4.3 Coevolutionary αλγόριθμοι.	32
4.4 Ένας family competition γενετικός αλγόριθμος για προβλήματα παραλαβής και παράδοσης.	33
4.5 Κυψελώδεις (Cellular) γενετικός αλγόριθμος	35
5. Περιγραφή Προβλήματος	38
5.1 Στόχοι εταιρίας	39
5.2 Παράδειγμα	40
5.3 Συντελεστής δρομολόγησης	41
5.3.1 Βάρος Φορτίου	42
5.3.2 Δύσκολες Διαδρομές	42
5.3.3 Διανομές	43
5.3.4 Δρομολόγια σε νησιά	43
5.3.5 Χιλιομετρικός συντελεστής δρομολόγησης	43

6. Περιγραφή λύσης του προβλήματος χρονοδρομολόγησης μεταφορών με χρήση εξελικτικού αλγορίθμου.	45
6.1 Αναπαράσταση	46
6.2 Αρχικοποίηση πληθυσμού	49
6.3 Τελεστές	50
6.4 Συνάρτηση ποιότητας	52
6.5 Τύποι ελιτισμού	53
7. Ανάλυση αποτελεσμάτων	54
7.1 Πειραματικές εφαρμογές αλγορίθμου	54
7.2 Πρώτη και δεύτερη ομάδα πειραμάτων	55
7.2.1 Κενά χιλιόμετρα	58
7.2.2 Αρχικοποίηση	60
7.2.3 Ελιτισμός	62
7.2.4 Μετάλλαξη	63
7.3 Τρίτη ομάδα πειραμάτων	63
7.4 Τελικό πείραμα	66
8. Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφία	70
Παράρτημα	73

Περίληψη

Το πρόβλημα της δρομολόγησης μεταφορών (Vehicle Routing Problem) έγκειται στην εύρεση του ιδανικού προγράμματος δρομολόγησης των οχημάτων με το μικρότερο δυνατό κόστος. Ιδανικό θεωρείται το πρόγραμμα εκείνο το οποίο εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά τους πόρους της εταιρίας και υπακούει στους εκάστοτε περιορισμούς. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες επίλυσης του προβλήματος με συμβατικούς τρόπους οι οποίες όμως εφαρμόστηκαν σε μικρότερης κλίμακας απλοποιημένα προβλήματα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πολυπλοκότητας του προβλήματος και του μεγάλου όγκου δεδομένων που πρέπει να επεξεργαστούν.

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τέτοιου είδους προβλήματα και να προσεγγίσουν μια βέλτιστη λύση σε εύλογο χρονικό διάστημα. Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται ένας εξελικτικός αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος χρονοδρομολόγησης οχημάτων που αφορά μια εταιρία μεταφορών. Ο αλγόριθμος αυτός δοκιμάστηκε σε μια σειρά πειραμάτων υπό διαφορετικές συνθήκες και περιορισμούς και αποδείχθηκε ότι είναι ικανός να εντοπίσει μια ικανοποιητική λύση για τις ανάγκες της εταιρίας.

Abstract

The Vehicle Routing Problem tries to find the ideal program for vehicle routing with the smallest possible cost. The ideal program is the program that takes advantage of the company's resources and into consideration the daily restrictions. There were many attempts to solve this problem with conventional methods which were applied to smaller and simplified problems. That is because of the complexity of the problem and the big amount of data that has to be taken into consideration.

Evolutionary Algorithms are capable of confronting that kind of problems and find a very good solution in a reasonable period of time. In this thesis an Evolutionary Algorithm is developed in order to solve the Vehicle Routing Problem of a transportation company. The algorithm has been tested under different conditions and restrictions and proved that is capable of reaching a very satisfying solution for the company's needs.

Κατάλογος σχημάτων και πινάκων

Σχήμα	Περιγραφή	Σελίδα
3.1	Οργάνωση πρακτόρων με βάση τις περιοχές των παραγγελιών	21
3.2	(α) Αρχική σχεδίαση (β) Οι κόμβοι i και j έχουν συνδεθεί μεταξύ τους	25
4.1	A: άτομο του υποπληθυσμού A B: άτομο του υποπληθυσμού B	32
4.2	Ένας family competition γενετικός αλγόριθμος	34
5.1	Σημεία παραγγελιών και τοποθεσία διαθέσιμων οχημάτων	40
6.1	Παράδειγμα ατόμου εξελικτικού αλγόριθμου	48
7.1	Κενά χιλιόμετρα με χρήση μεθόδου αρχικοποίησης 1	58
7.2	Κενά χιλιόμετρα με χρήση μεθόδου αρχικοποίησης 2	59
7.3	Ποιότητα πειραμάτων Π1 και Π2	61
7.4	Ποιότητα πειραμάτων με και χωρίς ελιτισμό πληθυσμού	62
7.5	Ποιότητα πειραμάτων με μετάλλαξη ενός σημείου και μετάλλαξη ολίσθησης	63
7.6	Ποιότητας πειραμάτων ομάδας "Π3"	65
7.7	Μ.Ο. διαφοράς χιλιομετρικού συντελεστή οχημάτων	67
Πίνακας	Περιγραφή	Σελίδα
4.1	Παράδειγμα χαρακτηριστικών ατόμων ενός Age-based γενετικού αλγόριθμου	31
5.1	Παράδειγμα δύσκολων διαδρομών	42
7.1	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.1"	55
7.2	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.2"	56
7.3	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.3"	56
7.4	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.4"	56
7.5	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.1"	57
7.6	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.2"	57

7.7	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.3"	57
7.8	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.4"	57
7.9	Μέσος όρος κενών χιλιομέτρων πειραμάτων	59
7.10	Μέσος όρος ποιότητας πειραμάτων	60
7.11	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.1"	64
7.12	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.2"	64
7.13	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.3"	65
7.14	Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.4"	65

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Το πρόβλημα της δρομολόγησης μεταφορών (Vehicle Routing Problem) σχετίζεται με την αποτελεσματική χρήση των πόρων μιας επιχείρησης και για το λόγο αυτό αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα μείωσης του κόστους. Το ζητούμενο σε τέτοιου είδους προβλήματα είναι η εύρεση του ιδανικού προγράμματος δρομολόγησης ώστε να ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί με το μικρότερο δυνατό κόστος. Όλα αυτά τα προβλήματα έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά αλλά πολλές διαφορές μεταξύ τους. Σε όλα τα προβλήματα δρομολόγησης υπάρχει ένα πλήθος οχημάτων και ένα πλήθος πελατών οι οποίοι πρέπει να εξυπηρετηθούν από τα οχήματα. Έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμα συστήματα διαχείρισης μεταφορών με σκοπό τον αποτελεσματικό σχεδιασμό των δρομολογίων για την εξυπηρέτηση των πελατών. Το πρόβλημα δρομολόγησης αποτελεί ένα πολύπλοκο συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης μη γραμμικό με πολλούς περιορισμούς και για το λόγο αυτό πολλές από τις λύσεις που έχουν δοθεί δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν στην πραγματικότητα. Οι λύσεις αυτές μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά μόνο σε απλοποιημένα μικρής κλίμακας προβλήματα και όχι σε πραγματικά προβλήματα.

Το πρόβλημα που επιλύθηκε αφορά μια εταιρία μεταφορών και έχει κοινά χαρακτηριστικά με τα κλασικά προβλήματα δρομολόγησης που έχουν μελετηθεί, αλλά έχει και αρκετές διαφοροποιήσεις. Στο πρόβλημα που επιλύθηκε τα σημεία εκκίνησης και τερματισμού των δρομολογίων είναι διασκορπισμένα. Κατά τη δρομολόγηση τα οχήματα αντιμετωπίζονται διαφορετικά και όχι με τον ίδιο τρόπο, όπως στα υπόλοιπα προβλήματα χρονοδρομολόγησης. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε όχημα έχει διαφορετικούς περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Στόχος της εταιρίας είναι αφενός η μείωση

του κόστους των δρομολογίων και αφετέρου δίκαιη διανομή των δρομολογίων στα οχήματα.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί υπάρχει μια εκτενής περιγραφή των προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών, των κυριότερων χαρακτηριστικών και περιορισμών τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται αντιπροσωπευτικές μέθοδοι και τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων δρομολόγησης. Η μέθοδος αναζήτησης σε γράφο, η ανάθεση της αναζήτησης σε ευφυείς πράκτορες και η χρήση ευρυστικών αλγορίθμων αναζήτησης είναι κάποιες από τις μεθόδους εύρεσης της βέλτιστης λύσης. Εξαιτίας της φύσης και της πολυπλοκότητας του προβλήματος η εύρεση της βέλτιστης λύσης με τη χρήση συμβατικών μεθόδων δεν είναι δυνατή μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων όπου το ζητούμενο είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης η οποία δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων και δεν είναι εύκολο να βρεθεί με συμβατικές μεθόδους, όπως και το πρόβλημα δρομολόγησης μεταφορών. Έχει αποδειχθεί ότι οι εξελικτικοί αλγόριθμοι έχουν τη δυνατότητα να βρουν βέλτιστες λύσεις σε εύλογο χρονικό διάστημα όταν οι συμβατικές μέθοδοι αποτυγχάνουν. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τρόποι επίλυσης των προβλημάτων δρομολόγησης με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το πρόβλημα δρομολόγησης μεταφορών που επιλύθηκε για μια εταιρία μεταφορών, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και περιορισμοί και ο σκοπός της εφαρμογής που αναπτύχθηκε.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζετε ο εξελικτικός αλγόριθμος που αναπτύχθηκε. Περιγράφεται η μορφή του ατόμου που επιλέχθηκε, κωδικοποίηση της λύσης. Περιγράφονται επίσης και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εξέλιξη του πληθυσμού καθώς και για την αξιολόγηση των λύσεων.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφονται τα πειράματα που εκτελέστηκαν για να δοκιμαστεί ο εξελικτικός αλγόριθμος που αναπτύχθηκε και τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών. Στη συνέχεια ακολουθεί μια ανασκόπηση της εργασίας με τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Κεφάλαιο 2

Περιγραφή προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από έννοιες όπως παγκοσμιοποίηση και υπερκατανάλωση. Σε μια τέτοια εποχή υπάρχει μεγάλη ζήτηση για μεταφορά αγαθών άμεσα σε πολλά διαφορετικά σημεία. Η βιομηχανία και το εμπόριο είναι δυο τομείς που επηρεάζονται από αυτή την κατάσταση. Τα χρονικά περιθώρια μειώνονται, το κόστος αυξάνεται και οι επιχειρήσεις αναθεωρούν τον τρόπο λειτουργίας τους ή ακόμα και το είδος των υπηρεσιών ή των προϊόντων που παρέχουν. Αναζητούν τρόπους να αντεπεξέλθουν στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις και αν είναι δυνατό να τις εκμεταλλευτούν προς όφελός τους. Η αναζήτηση αυτή περιλαμβάνει, εκτός των άλλων, τρόπους για συνεχή και όσο το δυνατό μεγαλύτερη μείωση του κόστους λειτουργίας τους.

Η αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των πόρων κάθε επιχείρησης είναι ένας σημαντικός παράγοντας αύξησης του κέρδους. Το πρόβλημα δρομολόγησης των μεταφορών, γνωστό και ως Vehicle Routing Problem (VRP), αφορά την αποτελεσματική χρήση των πόρων μιας επιχείρησης, και ως εκ τούτου αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα μείωσης του κόστους. Ο προγραμματισμός των μεταφορών και η αποτελεσματική δρομολόγηση των οχημάτων μπορούν να αποφέρουν μεγάλα κέρδη στις επιχειρήσεις, αυξάνοντας την παραγωγικότητα τους και βοηθώντας το μακροπρόθεσμο προγραμματισμό τους. Το πρόβλημα δρομολόγησης μεταφορών (VRP) έχει σχέση με την αποτελεσματική δρομολόγηση οχημάτων με σκοπό την εξυπηρέτηση πελατών. Υπάρχει ένας αριθμός πελατών οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι σε διάφορα γεωγραφικά σημεία, και δημιουργούν παραγγελίες για μεταφορά εμπορευμάτων. Υπάρχει επίσης ένας αριθμός οχημάτων τα οποία έχουν περιορισμένη χωρητικότητα. Τα οχήματα ξεκινούν από ένα κεντρικό σημείο, εκτελούν δρομολόγια προς τους πελάτες και επιστρέφουν στην αφετηρία τους. Το πρόβλημα εστιάζεται στην εύρεση του βέλτιστου δρομολογίου για κάθε όχημα ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος. Στόχος είναι η εξυπηρέτηση όλων των πελατών

με το μικρότερο δυνατό κόστος. Η ελαχιστοποίηση του κόστους μπορεί να εκφραστεί διαφορετικά για κάθε εταιρία.

Παραδείγματα VRP αναφέρονται παρακάτω.

- Δρομολόγηση απορριμματοφόρων
- Δρομολόγηση χρηματαποστολών
- Διανομή εφημερίδων σε κεντρικά σημεία πώλησης ή στους ίδιους τους πελάτες-αναγνώστες
- Διανομή καυσίμων
- Μεταφορά μαθητών από και προς το σχολείο
- Μεταφορά εμπορευμάτων από εργοστάσια σε πελάτες
- Διανομή εμπορευμάτων από κεντρικές αποθήκες σε καταστήματα προς πώληση

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί ποικίλες προσπάθειες αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού με διαφορετικούς τρόπους επίλυσης. Εταιρίες αναπτύσσουν και χρησιμοποιούν συστήματα διαχείρισης μεταφορών με σκοπό το βέλτιστο σχεδιασμό των δρομολογίων που πρόκειται να εκτελεστούν. Παρ' ότι έχουν δοθεί πολλές διαφορετικές λύσεις, οι περισσότερες από αυτές δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν στην πραγματικότητα. Το VRP αποτελεί ένα πολύπλοκο συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Εξαιτίας της πολυπλοκότητάς του είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν προσεγγίσεις αποτελεσματικές για το μέγεθος των δεδομένων ενός πραγματικού προβλήματος. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο δεν μπορούν να εφαρμοστούν στην πραγματικότητα αρκετές από τις λύσεις που έχουν δοθεί είναι η φύση του προβλήματος.

Το VRP είναι μη γραμμικό πρόβλημα και έχει πολλούς περιορισμούς οι οποίοι δεν πρέπει να παραβιαστούν έτσι ώστε να είναι εφαρμόσιμη η λύση. Έτσι η προσπάθεια επίλυσής του με κλασικούς- γραμμικούς τρόπους είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Αυτό οδήγησε στην λύση ενός απλοποιημένου-αφηρημένου προβλήματος, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη σημαντικοί περιορισμοί και βασικά χαρακτηριστικά του. Στην πραγματικότητα οι

περισσότερες από τις λύσεις που έχουν δοθεί έχουν εφαρμοστεί μόνο σε μικρής κλίμακας προβλήματα και δεν είναι αποτελεσματικές για μεγαλύτερα πραγματικά προβλήματα.

2.1 Χαρακτηριστικά

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα βασικά κοινά χαρακτηριστικά των προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών. Τα προβλήματα αυτά, παρόλο που δεν είναι πανομοιότυπα, μπορούν να αντιμετωπιστούν με παρόμοιο τρόπο εξαιτίας των κοινών χαρακτηριστικών τους που αφορούν τη δρομολόγηση.

2.1.1 Χαρακτηριστικά σχετικά με τις παραγγελίες

Παρακάτω θα αναλυθούν κάποια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη δρομολόγηση και τα συναντάμε στα περισσότερα VRP.

1. Δρομολόγιο (Route)

Αποτελεί τη βασικότερη έννοια ενός προβλήματος δρομολόγησης μεταφορών. Δρομολόγιο είναι μια ακολουθία από σημεία παραλαβής/παράδοσης τα οποία ένα όχημα πρέπει να διασχίσει με προκαθορισμένη σειρά, ξεκινώντας και καταλήγοντας σε ένα σημείο.

2. Χρόνος εξυπηρέτησης

Το αμέσως επόμενο βασικό χαρακτηριστικό είναι ο χρόνος εξυπηρέτησης κάθε πελάτη. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις όσον αφορά την ώρα εξυπηρέτησης των πελατών:

- a. συγκεκριμένη και προκαθορισμένη ώρα εξυπηρέτησης για κάθε πελάτη.
- b. συγκεκριμένο και προκαθορισμένο χρονικό περιθώριο εξυπηρέτησης κάθε πελάτη.
- c. ώρα εξυπηρέτησης μη προσδιορισμένη

Στη γενικευμένη μορφή του VRP που περιγράψαμε παραπάνω θεωρούμε ότι κάθε πελάτης θα εξυπηρετηθεί σε μια χρονική στιγμή. Αυτό στην πραγματικότητα δεν είναι εφικτό, αντίθετα υπάρχει ένα χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο πρέπει να εξυπηρετηθεί κάθε πελάτης. Έτσι καταλήγουμε στα προβλήματα χρονοδρομολόγησης μεταφορών (VRP with time-window- VRPTW). Το VRPTW είναι μια εκδοχή του VRP με έναν επιπλέον χρονικό περιορισμό. Το χρονικό περιθώριο μπορεί να είναι αυστηρά καθορισμένο ή ελαστικό. Όταν είναι αυστηρά καθορισμένο δε μπορεί να γίνει παραλαβή ή παράδοση στον πελάτη πριν ή μετά το διάστημα αυτό. Όταν είναι ελαστικό η παράδοση μπορεί να γίνει και μετά το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν μια παράδοση γίνει μετά το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα δημιουργείται ένα επιπλέον κόστος. Αν το κόστος αυτό είναι μικρότερο από το κόστος που θα προέκυπτε σε περίπτωση που η παράδοση πραγματοποιούνταν μέσα στο χρονικό περιθώριο, τότε είναι αποδεκτό και είναι ένα σημείο που απαιτεί βελτίωση.

3. Πλήθος σημείων παράδοσης/παραλαβής

Το πλήθος των σημείων παραλαβής και παράδοσης ενός δρομολογίου μπορούν να είναι ένα ή περισσότερα.

4. Μέγεθος παραγγελίας

Το μέγεθος κάθε παραγγελίας προσδιορίζεται από το βάρος και τον όγκο του φορτίου που θα παραλάβει το όχημα. Κάθε όχημα μπορεί να παραλάβει συγκεκριμένο μέγεθος φορτίου ανάλογα με το είδος του φορτίου και τον τύπο του οχήματος.

5. Τοποθεσία παραγγελιών

Τα σημεία παραλαβής και παράδοσης των παραγγελιών μπορούν να είναι κομβικά (διασκορπισμένα) ή σε τοξοειδή πορεία (γύρω από ένα κεντρικό σημείο).

6. Απαιτούμενη χωρητικότητα οχημάτων

Η απαιτούμενη χωρητικότητα των οχημάτων μπορεί να είναι συγκεκριμένη και ίδια για όλες τις παραγγελίες ή συγκεκριμένη και διαφορετική για κάθε παραγγελία. Σε ορισμένες περιπτώσεις η απαιτούμενη χωρητικότητα μπορεί να είναι απροσδιόριστη.

7. Μέγιστος χρόνος δρομολογίου οχήματος

Ο μέγιστος χρόνος ενός δρομολογίου κάθε οχήματος μπορεί να είναι συγκεκριμένος και ίδιος για όλα τα οχήματα ή συγκεκριμένος και διαφορετικός για κάθε όχημα. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο μέγιστος χρόνος δρομολογίου μπορεί να είναι απροσδιόριστος.

8. Είδος παραγγελιών

Οι παραγγελίες μπορεί να περιλαμβάνουν μόνο παραλαβές, μόνο παραδόσεις ή παραλαβές και παραδόσεις.

2.1.2 Χαρακτηριστικά σχετικά με τα οχήματα

1. Πλήθος των οχημάτων

Το πλήθος των διαθέσιμων οχημάτων είναι σταθερό. Τα οχήματα που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι ένα ή περισσότερα ανάλογα με το είδος και τις ανάγκες των πελατών.

2. Τύπος των οχημάτων

Τα οχήματα που χρησιμοποιούνται μπορεί είναι όλα του ίδιου τύπου ή καθένα διαφορετικού τύπου.

3. Χωρητικότητα οχημάτων

Η χωρητικότητα των οχημάτων προσδιορίζεται από το βάρος και τον όγκο του φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν. Η χωρητικότητα των οχημάτων θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη της απαιτούμενης χωρητικότητας της παραγγελίας.

4. η συνολική απόσταση που θα διανύσει ένα όχημα

5. ο συνολικός χρόνος εργασίας ενός οχήματος

2.1.3 Γενικά χαρακτηριστικά

1. Κόστος

Το κόστος μιας επιχείρησης είναι συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων. Κάποιες ενδεικτικές παράμετροι από τις οποίες προκύπτει το κόστος είναι:

- το πλήθος των οχημάτων που χρησιμοποιούνται
- τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύουν τα φορτηγά
- η ταχύτητα παράδοσης
- ο χρόνος αναμονής σε κάθε πελάτη

Γενικά το κόστος μιας επιχείρησης χωρίζεται σε δυο κατηγορίες:

- a. Μεταβλητό κόστος: το κόστος αυτό είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί στα περισσότερα VRP (π.χ. κόστος κάθε δρομολογίου).
- b. Λειτουργικό κόστος : το κόστος αυτό συμπεριλαμβάνει τα πάγια έξοδα της επιχείρησης (π.χ. κόστος συντήρησης οχημάτων).

2. Στόχος

Ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Το κόστος αποτελεί συνάρτηση του κόστους δρομολογίου, του αθροίσματος σταθερού και μεταβλητού κόστους λειτουργίας και του πλήθους των απαιτούμενων οχημάτων.

2.2 Περιορισμοί

Το VRP, όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη παράγραφο, είναι ένα πολύπλοκο, συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ένας από τους παράγοντες της πολυπλοκότητάς του είναι οι περιορισμοί του, στους οποίους θα πρέπει να υπακούει η λύση κάθε προβλήματος δρομολόγησης. Οι περιορισμοί αυτοί κατηγοριοποιούνται σε αυστηρούς και ελαστικούς περιορισμούς και σε στατικούς και δυναμικούς περιορισμούς.

Οι αυστηροί περιορισμοί (*hard constraints*) εκφράζουν συνθήκες οι οποίες απαγορεύεται να παραβιαστούν. Παραδείγματα αυστηρών περιορισμών αναφέρονται παρακάτω.

- Κάθε πελάτης να εξυπηρετείται μια φορά από μόνο ένα όχημα (εκτός και αν ορίζεται διαφορετικά στην παραγγελία).
- Η παραλαβή θα πρέπει να εκτελείται πριν την παράδοση.
- Η χωρητικότητα του οχήματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με τις απαιτήσεις των παραγγελιών.
- Το βάρος φορτωμένου οχήματος θα πρέπει να είναι σύμφωνο με την αντίστοιχη νομοθεσία.
- Θα πρέπει να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ τύπου παραγγελίας και τύπου οχήματος.
- Το όχημα θα πρέπει να διαθέτει τον εξοπλισμό που απαιτείται για την αντίστοιχη παραγγελία.

Οι *ελαστικοί περιορισμοί (soft constraints)* εκφράζουν συνθήκες που μπορούν να παραβιαστούν μέχρι κάποιο βαθμό. Οι παραβιάσεις αυτές επιβαρύνουν το δρομολόγιο με ποινές, δηλαδή επιπλέον κόστος για την επιχείρηση. Κατά το σχεδιασμό της λύσης αυτό είναι ένα σημείο που απαιτεί βελτίωση. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος, που είναι συνήθως το ζητούμενο, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν, εκτός των άλλων, και οι παραβιάσεις των περιορισμών.

Οι *στατικοί περιορισμοί* εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος και όχι από τον τρόπο επίλυσης που εφαρμόζεται. Για παράδειγμα, χρονικοί περιορισμοί είναι πιθανό να μην επιτρέπουν την εξυπηρέτηση ενός πελάτη μετά από έναν άλλο. Για παράδειγμα, αν ο πελάτης Β δεν είναι δυνατό να εξυπηρετηθεί μετά τον πελάτη Α μέσα στο προκαθορισμένο χρονικό περιθώριο που ορίζεται από την παραγγελία του Β.

Οι *δυναμικοί περιορισμοί* επιβάλλονται από την σύνθεση της λύσης που εφαρμόζεται και συνήθως προκύπτουν κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των δρομολογίων. Για παράδειγμα, αν ένας πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί μετά από ένα άλλο εξαρτάται και από τις συνολικές απαιτήσεις σε χωρητικότητα.

Κεφάλαιο 3

Μέθοδοι και τεχνικές αντιμετώπισης προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών χωρίς τη χρήση γενετικών αλγορίθμων

Η εύρεση της βέλτιστης λύσης αποτελεί στόχο των προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών. Με τον όρο βέλτιστη λύση εννοείται το σύνολο των δρομολογίων τα οποία θα εκτελεστούν με το μικρότερο κόστος για την εταιρία και θα εξυπηρετούν το σύνολο των πελατών ικανοποιώντας τους περιορισμούς που θέτουν οι πελάτες. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρονται συμβατικές μέθοδοι αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών. Κάποιες από αυτές τις μεθόδους εύρεσης της βέλτιστης λύσης είναι η μέθοδος αναζήτησης σε γράφο, η ανάθεση της αναζήτησης σε ευφυείς πράκτορες και η χρήση ευρυστικών αλγορίθμων αναζήτησης. Η δρομολόγηση μεταφορών αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα με μεγάλο όγκο δεδομένων και για το λόγο αυτό σε πολλές περιπτώσεις η εύρεση της βέλτιστης λύσης με τη χρήση συμβατικών μεθόδων δεν είναι δυνατή μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα. Ένας άλλος τρόπος χειρισμού των προβλημάτων αυτών αποτελεί η χρήση των εξελικτικών αλγορίθμων. Εκτενής ανάλυση των τρόπων επίλυσης με τη χρήση εξελικτικών αλγορίθμων ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

3.1 Ευφυείς Πράκτορες (Intelligent Agents) και VRP

Ένας πράκτορας (agent) είναι ένα τμήμα προγράμματος που είναι εγκατεστημένο σε ένα περιβάλλον και πραγματοποιεί συγκεκριμένες λειτουργίες [2]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ιδιαίτερα στοιχεία από τα οποία ένα πρόγραμμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως πράκτορας.

- οι πράκτορες είναι κατανεμημένοι και αυτόνομοι
- δεν υπάρχει καμία κεντρική εξουσία που να κυβερνά έναν πράκτορα
- έχουν τον πλήρη έλεγχο των πράξεών τους
- είναι ικανοί να λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς εξωτερική παρέμβαση
- είναι καθοδηγούμενοι μόνο από στόχους και με βάση αυτούς τους στόχους προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους
- η συμπεριφορά τους μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τις αλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον, έχουν την ικανότητα να προβλέπουν τις αλλαγές και να λειτουργούν αντίστοιχα
- μαθαίνουν και προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους σύμφωνα με προηγούμενη εμπειρία
- μπορούν να επικοινωνούν με άλλους πράκτορες σε ένα κλειστό σύστημα, να συνεργάζονται με ανθρώπους ή πράκτορες ή ακόμα να ταξιδεύουν από έναν host σε έναν άλλο
- μπορούν να λειτουργούν για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς παρακολούθηση παραμένοντας πιστοί στους στόχους τους.

Ένας τρόπος χρήσης των πρακτόρων για τη λύση προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών είναι για την υλοποίηση μιας διαδικασίας δημοπράτησης από τους πράκτορες. Αρμοδιότητες των πρακτόρων είναι να ανακοινώνουν τη διαθεσιμότητα των πελατών στα δρομολόγια, να δέχονται προσφορές από τα οχήματα για τις παραγγελίες και να αναθέτουν τους πελάτες στο όχημα με την καλύτερη προσφορά, δηλαδή με το μικρότερο κόστος. Κάθε πράκτορας είναι υπεύθυνος για μια από τις παραπάνω αρμοδιότητες, έτσι έχουμε ομάδες πρακτόρων που είναι υπεύθυνοι για κάποια λειτουργία. Η διαδικασία δημοπράτησης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

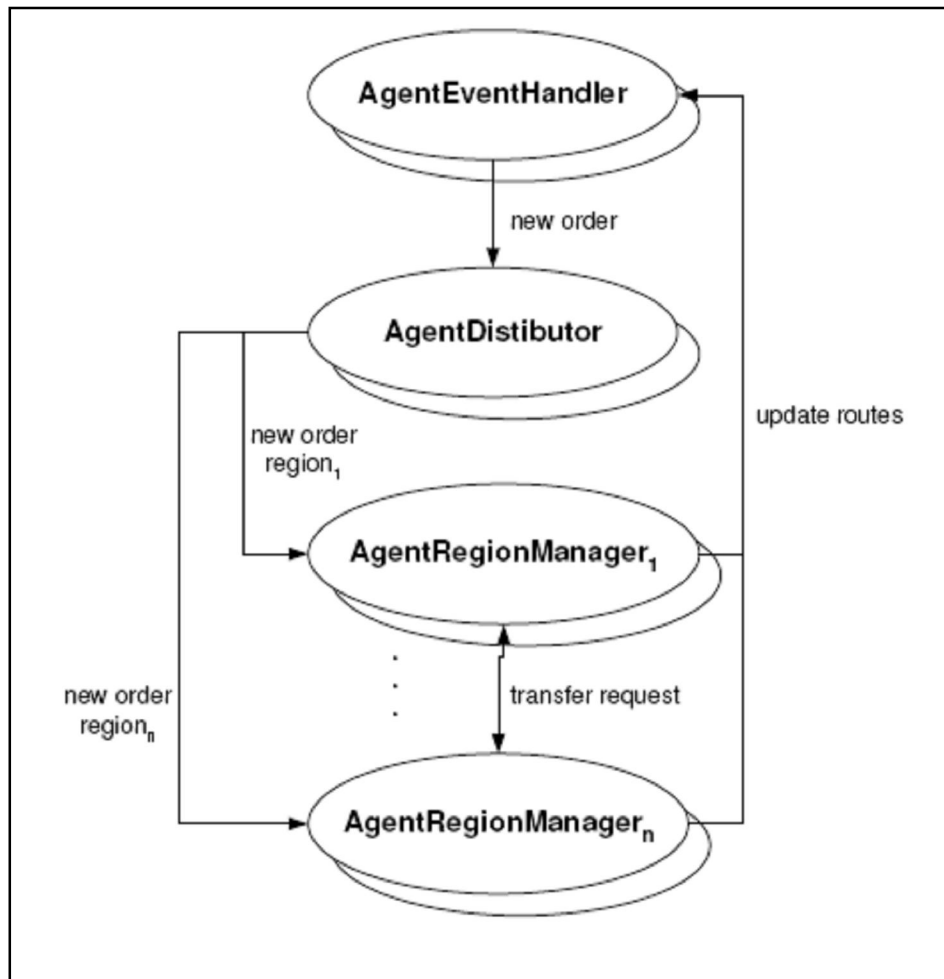
- Ένας πράκτορας δημοπρασίας ανακοινώνει στους πράκτορες των οχημάτων ότι υπάρχουν διαθέσιμες παραγγελίες.
- Στη συνέχεια ο πράκτορας κάθε οχήματος συγκεντρώνει τις παραγγελίες και υπολογίζει το κόστος προσθήκης κάθε παραγγελίας στο τρέχον δρομολόγιο.

- Μετά την αποτίμηση των προσφορών, ο πράκτορας κάθε οχήματος ανακοινώνει στον πράκτορα δημοπρασίας το κόστος από την προσθήκη κάθε πελάτη στο τρέχον δρομολόγιο του.
- Ο πράκτορας δημοπρασίας συλλέγει όλες τις προσφορές που έλαβε από τα οχήματα και αναθέτει κάθε παραγγελία στο όχημα με το χαμηλότερο κόστος.
- Στη συνέχεια κάθε παραγγελία εισάγεται στο αντίστοιχο δρομολόγιο.

3.2 Επίλυση με χρήση αλγορίθμου αναζήτησης σε γράφο και πράκτορες

Οι Klaus Dorer και Monique Calisti προτείνουν μια βασισμένη σε πράκτορες λύση για το VRPTW [1]. Η λύση πραγματοποιείται σε δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο δημιουργούνται τα δρομολόγια. Η αναπαράσταση των δρομολογίων γίνεται σε έναν γράφο. Για κάθε νέα παραγγελία ελέγχεται αν υπάρχει διαθέσιμο όχημα που να μπορεί να την αναλάβει. Με την εισαγωγή κάθε παραγγελίας εισάγονται στο γράφο 0,1 ή 2 κόμβοι ανάλογα με τα σημεία παραλαβής και παράδοσής της. Κάθε παραγγελία τοποθετείται στο δρομολόγιο ενός οχήματος. Πραγματοποιείται, δηλαδή, μια ακολουθιακή εισαγωγή παραγγελιών σε δρομολόγια έτσι ώστε το σύνολο των δρομολογίων να αποτελεί μια έγκυρη λύση. Στην περίπτωση που κανένα όχημα δεν μπορεί να αναλάβει την παραγγελία χωρίς να παραβιάζει αυστηρούς περιορισμούς, τότε τροποποιείται η δρομολόγηση έτσι ώστε να εξυπηρετηθεί ο πελάτης παραβιάζοντας μόνο ελαστικούς περιορισμούς, οπότε και επιτρέπεται η καθυστέρηση της παραλαβής ή και της παράδοσης της παραγγελίας. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αναπαράστασης της λύσης με πράκτορες. Ο πιο ακραίος και αναλυτικός τρόπος είναι να αναθέσουμε σε κάθε όχημα έναν πράκτορα. Στη συγκεκριμένη λύση τα σημεία παραλαβής-παράδοσης των παραγγελιών χωρίζονται σε γεωγραφικές περιοχές. Κάθε παραγγελία τοποθετείται σε μια περιοχή. Η διαχείριση των δρομολογίων κάθε περιοχής ανατίθεται σε έναν πράκτορα (*AgentRegionManager*). Αν οι περιοχές παραλαβής και παράδοσης είναι διαφορετικές, τότε ενημερώνονται οι πράκτορες και των

δύο περιοχών και συνεργάζονται για την ανάθεση της παραγγελίας σε ένα δρομολόγιο. Υπάρχει επίσης ένας πράκτορας-διανομέας (*AgentDistributor*) καθήκον του οποίου είναι η τοποθέτηση κάθε παραγγελίας στην αντίστοιχη περιοχή και ένας πράκτορας (*AgentEventHandler*) που διεκπεραιώνει κάθε νέα παραγγελία. Στο σχήμα 3.1 βλέπουμε την οργάνωση των πρακτόρων και τον τρόπο που συνεργάζονται.



Σχ.3.1 Οργάνωση πρακτόρων με βάση τις περιοχές των παραγγελιών

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη διαδικασία της βελτιστοποίησης των δρομολογίων. Η διαδικασία βελτιστοποίησης των δρομολογίων γίνεται με κυκλικές αλλαγές των παραγγελιών μεταξύ των δρομολογίων των οχημάτων. Χρησιμοποιείται μια προσέγγιση τύπου "hill-climbing" που επιλέγει τα δρομολόγια με το μικρότερο κόστος. Η διαδικασία

βελτιστοποίησης τερματίζεται όταν δεν μπορεί να βρεθεί δρομολόγιο με μικρότερο κόστος.

3.3 Large Neighborhood Search

Η μέθοδος Large Neighborhood Search (LNS) λειτουργεί επαναληπτικά [11]. Αρχικά δημιουργείται μια τυχαία λύση S η οποία αποτελείται από ένα σύνολο δρομολογίων. Σε κάθε επανάληψη αφαιρούμε J παραγγελίες από τα δρομολόγια της παρούσας λύσης S . Στη συνέχεια δημιουργείται μια νέα λύση S' και σε αυτή εισάγουμε τις παραγγελίες που δεν συμπεριλαμβάνονται στην προηγούμενη λύση. Η νέα λύση S' ελέγχεται και μόνο αν διαπιστωθεί ότι είναι καλύτερη από την προηγούμενη γίνεται αποδεκτή. Σε κάθε λύση αποδίδεται μια αντικειμενική αξία (objective value) και μόνο αν η αντικειμενική αξία της νέας λύσης είναι καλύτερη από της τρέχουσας λύσης, τότε αντικαθιστούμε την τρέχουσα λύση με τη νέα. Το πλήθος των παραγγελιών που θα αφαιρεθούν σε κάθε επανάληψη μπορεί να προσαρμοστεί πριν την κάθε επανάληψη. Αν κανένα κριτήριο τερματισμού δεν εκπληρώνεται, τότε ο αλγόριθμος συνεχίζει στην επόμενη επανάληψη.

Ένα κριτήριο αφαίρεσης παραγγελιών από δρομολόγια είναι η τοποθεσία των παραγγελιών. Η αφαίρεση μπορεί να γίνει με βάση τη γεωγραφική εγγύτητα και να αφαιρεθούν γειτονικές παραγγελίες. Όταν η γεωγραφική εγγύτητα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί τότε η επιλογή μπορεί να γίνει με βάση κάποιο άλλο κριτήριο ή οι παραγγελίες να αφαιρεθούν από τα δρομολόγια τυχαία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούνται στον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε.

Βήματα LNS αλγορίθμου

- Βήμα 0: $s = \text{αρχική_λύση}()$
- Βήμα 1: $s' = \text{αφαίρεση_παραγγελιών}(s, k)$
- Βήμα 2: $s^* = \text{εισαγωγή_παραγγελιών}(sO)$
- Βήμα 3: *αν s^* καλύτερη από s τότε $s = s^*$*
- Βήμα 4: $\text{προσαρμογή_παραμέτρων}()$
- Βήμα 5: *αν τερματισμός() τότε σταμάτα*

αλλιώς πήγαινε στο βήμα 1

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο απλές μέθοδοι για την εισαγωγή παραγγελιών στα δρομολόγια.

Η πρώτη μέθοδος είναι μια σειριακή μέθοδος εισαγωγής. Σε αυτή επιλέγονται τυχαία οι παραγγελίες που δεν έχουν δρομολογηθεί και εισάγονται σε δρομολόγια. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αποδόσεις (κόστος) από όλες τις πιθανές εφικτές λύσεις που μπορούν να δημιουργηθούν και επιλέγεται αυτή με την καλύτερη απόδοση, δηλαδή με το μικρότερο κόστος.

Η δεύτερη μέθοδος είναι μια μέθοδος εισαγωγής με διαδικασία πλειστηριασμού. Αρχικά, όλες οι παραγγελίες που δεν έχουν συμπεριληφθεί στην παρούσα λύση ζητούν από κάθε όχημα την πιθανότητα εισαγωγής τους στο αντίστοιχο δρομολόγιο καθώς και την απόδοση της πιθανής εισαγωγής. Όταν μια παραγγελία λάβει ικανοποιητική απόδοση εισαγωγής, επιλέγει το αντίστοιχο όχημα με χαμηλό κόστος και στέλνει πρόταση εισαγωγής της στο δρομολόγιο του οχήματος. Τέλος όλα τα οχήματα επιλέγουν από μια παραγγελία και την εισάγουν στο δρομολόγιο τους. Αν καμία παραγγελία δεν μπορεί να εισαχθεί σε κάποιο δρομολόγιο με ικανοποιητική απόδοση η μέθοδος σταματά.

3.4 Tabu ευρυστική αναζήτηση

Η αναζήτηση Tabu (Tabu search) είναι μια διαδικασία βελτιστοποίησης και έχει εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε προβλήματα δρομολόγησης μεταφορών. Πρόκειται για επαναληπτική μέθοδο η οποία μετακινείται στην καλύτερη γειτονική λύση μέχρι να ικανοποιηθούν οι συνθήκες τερματισμού. Το σημαντικότερο στοιχείο κατά το σχεδιασμό μιας Tabu ευρυστικής αναζήτησης είναι ο όσο το δυνατό πιο σαφής προσδιορισμός της γειτονιάς μιας λύσης. Με τον όρο γειτονιά εννοούμε όλες τις πιθανές λύσεις στις οποίες μπορεί να μετακινηθεί η αναζήτηση από την παρούσα λύση.

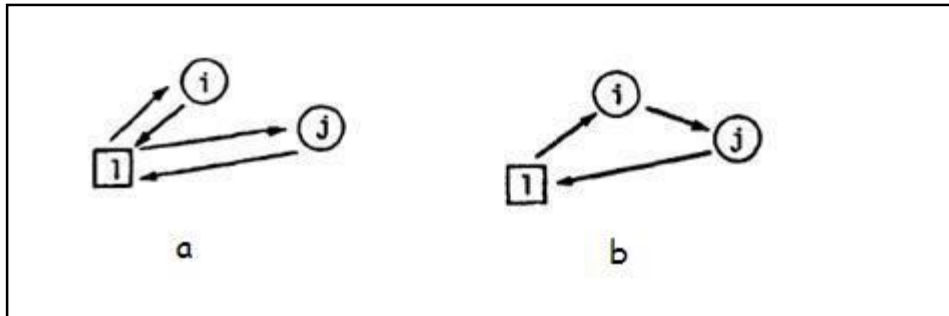
Η μέθοδος αυτή αρχικά προτάθηκε από τους Glover και Laguna το 1997 [6], και σκοπός της είναι να συνεχίσει η αναζήτηση πέρα από την εύρεση ενός τοπικού βέλτιστου. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού κατά την αναζήτηση υπάρχει μια tabu λίστα η οποία

περιέχει όλους τους κόμβους που έχουν ήδη ερευνηθεί και απαγορεύει την επίσκεψη του ίδιου κόμβου για δεύτερη φορά. Έτσι ο αλγόριθμος αναγκάζεται να ερευνήσει άλλες λύσεις. Η απαγόρευση αυτή μπορεί να αρθεί μόνο όταν η μέθοδος θέλει να ξεφύγει από ένα τοπικό βέλτιστο. Στην περίπτωση αυτή επιτρέπεται στην αναζήτηση να μετακινηθεί προσωρινά προς μια χειρότερη γειτονική λύση την οποία ίσως να έχει επισκεφθεί ξανά στο παρελθόν, με σκοπό να ξεφύγει από τοπικά βέλτιστα. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε επίσης μια λίστα η οποία περιέχει όλα τα ημιτελή αλλά εφικτά δρομολόγια. Με τον όρο εφικτά εννοούμε τα δρομολόγια που τηρούν όλους τους περιορισμούς χρόνου και χωρητικότητας [4], [5], [6], [7], [8].

3.5 Ο αλγόριθμος των Clarke & Wright

Οι Clarke και Wright έχουν αναπτύξει ένα ευρυστικό αλγόριθμο που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη λύση προβλημάτων χρονοδρομολόγησης μεταφορών. Πρόκειται για έναν ευρυστικό αλγόριθμο ακολουθιακής δημιουργίας δρομολογίων που απαιτεί μόνο την απόσταση μεταξύ των πελατών για να λειτουργήσει. Η μέθοδος ξεκινάει υποθέτοντας ότι κάθε πελάτης θα εξυπηρετηθεί από διαφορετικό όχημα, δηλαδή ο αριθμός των οχημάτων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με τον αριθμό των πελατών (Σχ.3.2 α). Στη συνέχεια υποθέτουμε ότι για κάθε ζεύγος πελατών χρησιμοποιούμε ένα όχημα αντί για δύο (Σχ.3.2 β) και υπολογίζουμε το αντίστοιχο κέρδος (S_{ij}) σε απόσταση (μείωση του κόστους) από την κάθε πιθανή συγχώνευση, όπου $S_{ij} = a_{oi} + a_{oi} - a_{ij}$ (a_{ij} = απόσταση από τον πελάτη i στον j). Έτσι μειώνουμε τον αριθμό των οχημάτων που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση των πελατών και αυξάνουμε την απόσταση που θα διανύσει κάθε όχημα. Ταξινομούμε όλα τα κέρδη που υπολογίσαμε σε φθίνουσα σειρά και συγχωνεύουμε τους πελάτες που αποφέρουν το μεγαλύτερο κέρδος, με την προϋπόθεση ότι δεν καταπατούνται οι περιορισμοί χρόνου και χωρητικότητας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η συγχώνευση όσον το δυνατόν περισσότερων πελατών στα δρομολόγια κάθε

οχήματος και η μέθοδος σταματά όταν καμία περαιτέρω συγχώνευση δεν μπορεί να γίνει [2], [3], [5].



Σχ.3.2 (α) Αρχική σχεδίαση (β) Οι κόμβοι i και j έχουν συνδεθεί μεταξύ τους

3.6 Σειριακή μέθοδος δρομολόγησης

Πρόκειται για μια απλή ευρυστική διαδικασία η οποία εισάγει παραγγελίες σε δρομολόγηση σειριακά βασιζόμενη σε κανόνες προτεραιότητας [10]. Η διαδικασία αυτή χωρίζεται σε στάδια και σε κάθε στάδιο μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικοί κανόνες προτεραιότητας. Κάποιοι πιθανοί κανόνες προτεραιότητας αναφέρονται παρακάτω. Σε οποιαδήποτε στάδιο της διαδικασίας διατηρούνται και ενημερώνονται τα παρακάτω σύνολα.

- Σύνολο S : περιλαμβάνει τις δρομολογημένες παραγγελίες
- Σύνολο D : περιλαμβάνει τις παραγγελίες που δεν έχουν δρομολογηθεί.

Βασικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για τη δρομολόγηση είναι η αφετηρία, ο προορισμός, η ώρα παραλαβής- παράδοσης των εργασιών και η θέση των οχημάτων. Σε κάθε στάδιο θα πρέπει να ελέγχονται οι περιορισμοί χρόνου και χωρητικότητας.

Υπάρχουν διάφοροι κανόνες προτεραιότητας ανάλογα με τα ζητούμενα του αντίστοιχου προβλήματος δρομολόγησης. Σύμφωνα με τους κανόνες αυτούς επιλέγονται δραστηριότητες από το D για να συμπεριληφθούν στη δρομολόγηση. Στη συνέχεια

ενημερώνονται τα σύνολα S και D . Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι όλες οι εργασίες να δρομολογηθούν.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ή περισσότερα περάσματα. Στην πρώτη περίπτωση όλες οι δραστηριότητες δρομολογούνται σε ένα πέραςμα χρησιμοποιώντας έναν κανόνα προτεραιότητας. Στη δεύτερη περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί κανόνες προτεραιότητας σε κάθε πέραςμα, από όλα τα περάσματα επιλέγεται το καλύτερο χρονοδιάγραμμα, σύμφωνα με την αντίστοιχη συνάρτηση ποιότητας [10].

Κεφάλαιο 4

Λύση προβλημάτων χρονοδρομολόγησης μεταφορών με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε πολύπλοκα προβλήματα με μεγάλο όγκο δεδομένων, όπου το ζητούμενο είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης, η οποία δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων και δεν είναι εύκολο να βρεθεί με συμβατικές μεθόδους. Έχουν εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία σε προβλήματα δρομολόγησης και έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να βρουν σχεδόν βέλτιστες ή τουλάχιστον εφικτές λύσεις όταν συμβατικές μέθοδοι αποτυγχάνουν να βρουν οποιαδήποτε λύση σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι εμπνευσμένοι από τη θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου. Για τη λύση ενός προβλήματος με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων απαιτείται η κωδικοποίηση των λύσεων, δηλαδή η δημιουργία ατόμων τα οποία αναπαριστούν πιθανές λύσεις του. Η κωδικοποίηση των πιθανών λύσεων (άτομα) έχει σαν αποτέλεσμα τα λεγόμενα χρωμοσώματα ή άτομα, καθένα από τα οποία αποτελείται από γονίδια. Τα γονίδια και κατ' επέκταση τα χρωμοσώματα λειτουργούν όπως και τα βιολογικά στο DNA. Ένας πληθυσμός δημιουργείται από ένα σύνολο ατόμων και κάθε άτομο δημιουργείται από ένα σύνολο γονιδίων. Ο πληθυσμός έχει τη δυνατότητα να εξελίσσεται σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Κάθε άτομο αξιολογείται σύμφωνα με μια συνάρτηση ποιότητας και ανάλογα με την αξιολόγηση αυτή προκύπτουν και οι πιθανότητες επιβίωσης και αναπαραγωγής του ατόμου. Τα άτομα που επιλέγονται, ανάλογα με την ποιότητά τους, για τη δημιουργία της επόμενης γενιάς, αναπαράγονται μέσω διαδικασιών μετάλλαξης και ανασυνδυασμού και έτσι προκύπτουν απόγονοι και δημιουργείται η νέα γενιά. Σε κάθε νέα γενιά είναι πιθανό να επιβιώσει και ένα ή περισσότερα άτομα με την καλύτερη ποιότητα της προηγούμενης γενιάς. Η εξέλιξη του πληθυσμού συνεχίζεται για ένα συγκεκριμένο αριθμό γενεών ή σταματά όταν δεν μπορεί να βρεθεί άτομο με καλύτερη ποιότητα.

4.1. Επίλυση του προβλήματος χρονοδρομολόγησης μεταφορών (Vehicle Routing Problem with Time Windows- VRPTW) με χρήση εξελικτικού αλγορίθμου

Οι H. Timucin Ozdemir και Chilukuri K. Mohan [9] δημιούργησαν μια εφαρμογή με το όνομα GrEVeRT για την επίλυση VRPTW. Στην εφαρμογή αυτή το χρονικό περιθώριο παραλαβής/παράδοσης θεωρείται αυστηρά καθορισμένο και δεν μπορεί να παραβιαστεί. Για την επίλυση χρησιμοποιείται ένας εξελικτικός αλγόριθμος βασισμένος σε γράφο. Στο γράφο απεικονίζονται όλοι οι περιορισμοί των διαδρομών.

Αναπαράσταση

Κάθε άτομο αποτελεί το σύνολο των δρομολογίων όλων των οχημάτων και απεικονίζεται σε ένα γράφο. Ένα μονοπάτι του γράφου αποτελεί τη διαδρομή που θα ακολουθήσει ένα όχημα, και όλα τα μονοπάτια του γράφου αποτελούν μια ολοκληρωμένη λύση.

Αρχικοποίηση πληθυσμού

Κατά τη δημιουργία του πληθυσμού είναι πιθανό να δημιουργηθούν άτομα τα οποία απεικονίζουν αδύνατες λύσεις, δηλαδή λύσεις στις οποίες είτε παραβιάζονται τα χρονικά περιθώρια παραλαβής/παράδοσης ή κάποιοι πελάτες εξυπηρετούνται περισσότερες από μια φορές. Υπάρχουν τρεις τρόποι χειρισμού των ατόμων αυτών:

1. Αποκλείουμε τη δημιουργία των ατόμων αυτών.
2. Επιτρέπουμε την ύπαρξή τους μέσα στον πληθυσμό, αλλά τα επιβαρύνουμε με ποινές.
3. Κατά την αποκωδικοποίηση των λύσεων διορθώνουμε τις αδύνατες λύσεις.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή τα άτομα που δημιουργούνται υπακούν σε όλους τους περιορισμούς του προβλήματος και όλοι οι πελάτες εξυπηρετούνται μια μόνο φορά από ένα όχημα, δηλαδή δεν υπάρχουν αδύνατες λύσεις. Στη φάση της αρχικοποίησης του πληθυσμού γίνεται τυχαία εισαγωγή πελατών σε δρομολόγια. Αν ένας πελάτης δε μπορεί να προστεθεί σε κάποιο δρομολόγιο τότε δημιουργείται ένα νέο. Μια άλλη έκδοση της

αρχικοποίησης αυτής δεν εισάγει πελάτες τυχαία, αλλά χρησιμοποιεί μια ευριστική συνάρτηση για την επιλογή των πελατών βασισμένη στην απόσταση, το χρόνο εξυπηρέτησης του πελάτη, το χρόνο αναμονής και το μέγεθος της παραγγελίας.

Εξέλιξη πληθυσμού

Στην εφαρμογή που μελετάμε χρησιμοποιείται ανασυνδυασμός ενός και δύο σημείων. Κατά τη φάση του ανασυνδυασμού γίνεται έλεγχος όλων των περιορισμών για τα νέα άτομα. Στη συνέχεια και εφόσον οι νέες λύσεις υπακούν στους περιορισμούς δημιουργούνται τα άτομα της νέας γενιάς. Τέλος, γίνεται χρονική μετατόπιση των δρομολογίων προς τα αριστερά όπου αυτό είναι δυνατό. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχουν χρονικά κενά μεταξύ των δρομολογίων. Ο ανασυνδυασμός μπορεί να γίνει με βάση το χρόνο εξυπηρέτησης ή με βάση την χωρητικότητα των οχημάτων και των παραγγελιών. Μετά τη δημιουργία της νέας γενιάς γίνεται έλεγχος και διόρθωση των περιπτώσεων πολλαπλής επίσκεψης του ίδιου πελάτη.

Συνάρτηση ποιότητας

Κάθε άτομο αξιολογείται με βάση τα συνολικά χιλιόμετρα που θα πραγματοποιήσουν όλα τα φορτηγά.

Τύποι ελιτισμού

1. Το καλύτερο άτομο του πληθυσμού περνάει στην επόμενη γενιά.
2. Ο δεύτερος τύπος ελιτισμού εφαρμόζεται κατά τη φάση του ανασυνδυασμού. Μετά την επιλογή των γονέων και τη δημιουργία δύο απογόνων, επιλέγεται μεταξύ των γονέων και των δύο απογόνων να περάσει στην επόμενη γενιά το άτομο με την καλύτερη ποιότητα.

4.2. Δρομολόγηση με χρήση γενετικού αλγόριθμου βασισμένου στην ηλικία του ατόμου (Age-based genetic algorithm)

Οι K.L. Mak and Z.G. Guo [16] έλυσαν το VRPTW με ένα καινοτόμο γενετικό αλγόριθμο που καλείται Age-based GA. Στην εφαρμογή αυτή το χρονικό περιθώριο παραλαβής/παράδοσης θεωρείται ελαστικό. Επιτρέπεται η άφιξη πριν και μετά το δεδομένο χρονικό περιθώριο, αλλά με αύξηση κόστους της λύσης. Για την αναπαράσταση των λύσεων χρησιμοποιείται ένας γράφος και σαν κόστος υπολογίζεται η συνολική απόσταση που θα διανύσουν τα οχήματα.

Η επίλυση χωρίζεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο της λύσης γίνεται ο σχεδιασμός των δρομολογίων, έτσι ώστε να ισχύουν δυο περιορισμοί. Αρχικά κάθε δρομολόγιο θα πρέπει να ξεκινάει και να καταλήγει στην κεντρική αποθήκη. Δεύτερον, κάθε πελάτης θα πρέπει να εξυπηρετείται ακριβώς μια φορά από ένα μόνο όχημα. Στην πρώτη φάση δεν ελέγχεται κανένας άλλος περιορισμός. Στο δεύτερο στάδιο υπολογίζεται το κόστος των διαδρομών και γίνεται μια προσπάθεια για τη μείωση του.

Σε έναν συνηθισμένο γενετικό αλγόριθμο σε κάθε επανάληψη ολόκληρος ο πληθυσμός αντικαθίσταται από τον πληθυσμό της νέας γενιάς. Έτσι, ένα άτομο έχει μικρή διάρκεια ζωής, μόλις μια γενιά. Κάθε άτομο περιλαμβάνει επίσης ένα μεγάλο όγκο πληροφοριών, αλλά εξαιτίας της μικρής διάρκειας ζωής του δεν προλαβαίνει να μεταβιβάσει όλες αυτές τις χρήσιμες πληροφορίες σε επόμενες γενιές. Ο γενετικός αλγόριθμος που προτείνουν οι Mak and Guo χρησιμοποιεί ένα επιπλέον χαρακτηριστικό για κάθε άτομο που είναι η ηλικία. Τα άτομα του πληθυσμού ανήκουν σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Κάθε άτομο έχει την πιθανότητα να ζήσει περισσότερες από μια γενιές, να μεγαλώσει και να δημιουργήσει νέα άτομα μέχρι να πεθάνει. Καθώς ένα άτομο μεγαλώνει έχει μικρότερες πιθανότητες να επιβιώσει στην επόμενη γενιά και να δημιουργήσει νέα άτομα. Τα επιπλέον χαρακτηριστικά κάθε ατόμου είναι τα εξής:

1. Ηλικία (Age)
2. Συντελεστής αναπαραγωγής (Birth Rate)

3. Συντελεστής επιβίωσης (Survival Rate)

Στον παρακάτω πίνακα (4.1) υπάρχει ένα παράδειγμα αυτών των χαρακτηριστικών σε συνάρτηση με την ηλικία.

Age	Birth Rate	Survival Rate
0	0.00	0.80
1	0.20	0.90
2	0.60	0.90
3	0.50	0.65
4	0.20	0.00

Πίνακας 4.1 Παράδειγμα χαρακτηριστικών ατόμων ενός Age-based γενετικού αλγόριθμου

Αναπαράσταση

Το άτομο του πληθυσμού κωδικοποιείται σαν μια ακολουθία χαρακτήρων. Η ακολουθία αυτή απεικονίζει τους πελάτες που θα επισκεφτεί κατά σειρά κάθε όχημα. Το δρομολόγιο κάθε οχήματος χωρίζεται με διαχωριστικά.

Εξέλιξη πληθυσμού

Στη φάση της επιλογής των γονέων κάθε άτομο επιλέγεται ανάλογα με την ηλικία του. Τα άτομα από κάθε ηλικιακή ομάδα έχουν συγκεκριμένη πιθανότητα να επιλεγούν για γονείς.

Χρησιμοποιείται ανασυνδυασμός ενός και δύο σημείων με διόρθωση. Δηλαδή μετά τον ανασυνδυασμό ελέγχεται αν κάποιος πελάτης εξυπηρετείται δύο φορές και αν συμβαίνει αυτό γίνεται διόρθωση.

Η μετάλλαξη που χρησιμοποιείται ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία. Αρχικά βρίσκουμε ένα τυχαίο σημείο και αλλάζουμε τα γονίδια του ατόμου από το σημείο αυτό και μετά. Με τον τρόπο αυτό τουλάχιστον ένα γονίδιο του ατόμου θα αλλάξει, αλλά μπορεί να προκύψει και ένα εντελώς νέο άτομο.

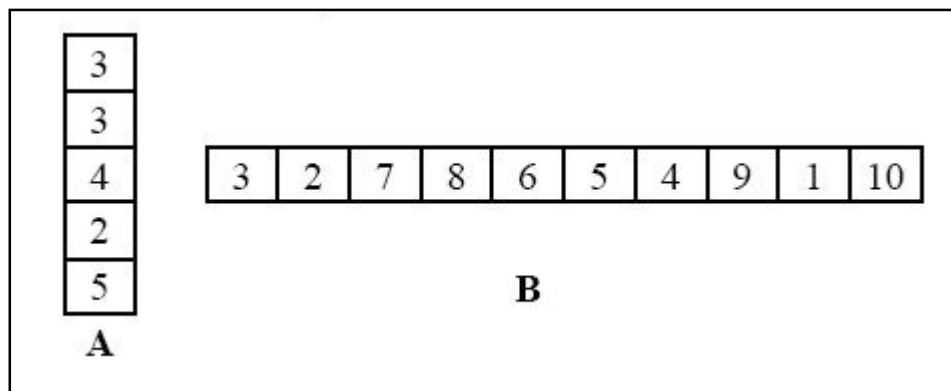
4.3. Coevolutionary αλγόριθμοι για την επίλυση VRPTW

Μια άλλη παραλλαγή εξελικτικού αλγορίθμου είναι οι Coevolutionary αλγόριθμοι (CA) [15], που χωρίζονται σε δυο υποκατηγορίες:

1. Οι ανταγωνιστικοί (competitive) αλγόριθμοι
2. Οι αλγόριθμοι συνεργασίας (Cooperative)

Ένας Cooperative CA έχει χρησιμοποιηθεί για τη λύση προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορών. Η διαφοροποίηση αυτού του αλγορίθμου βρίσκεται στην αξιολόγηση των ατόμων. Τα άτομα αξιολογούνται σε συνάρτηση με τα άλλα άτομα του πληθυσμού. Οι υποψήφιες λύσεις με τη μικρότερη τιμή της συνάρτησης ποιότητας έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να επιλεγούν.

Μια άλλη σημαντική διαφορά είναι ο διαχωρισμός του προβλήματος σε υποπροβλήματα. Κάθε υποπρόβλημα αντιμετωπίζεται ξεχωριστά. Δημιουργείται ένας πληθυσμός για κάθε υποπρόβλημα, ο οποίος εξελίσσεται ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους, οι υποπληθυσμοί συνεργάζονται μόνο για την αξιολόγηση της τελικής λύσης.



Σχ.4.1 A:άτομο του υποπληθυσμού A B:άτομο του υποπληθυσμού B

Στο σχήμα 3.3 βλέπουμε δύο άτομα από δύο υποπληθυσμούς που δημιουργήθηκαν για την επίλυση ενός VRPTW. Το άτομο A περιγράφει πόσους πελάτες θα επισκεφτεί κάθε όχημα. Το άτομο B περιγράφει ποιους πελάτες θα επισκεφτεί κάθε όχημα και με ποια σειρά. Όλα τα άτομα του υποπληθυσμού B έχουν σταθερό μήκος, όσο και οι πελάτες που πρέπει να εξυπηρετηθούν.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το άτομο A δείχνει ότι το πρώτο όχημα θα επισκεφτεί 3 πελάτες, το δεύτερο 3, το τρίτο 4, το τέταρτο 2 και το πέμπτο 5. Από το άτομο B σε συνδυασμό με το A συμπεραίνουμε ότι το πρώτο όχημα θα ακολουθήσει το δρομολόγιο 3->2->7, το δεύτερο 8->6->5, το τρίτο 4->9->1->10. Παρατηρούμε ότι τα γονίδια του ατόμου A περιέχουν επιπλέον πληροφορία που δεν είναι απαραίτητη. Αυτό συμβαίνει επειδή τα άτομα του πληθυσμού B έχουν σταθερό μήκος και δεν μπορεί να είναι γνωστός από πριν ο αριθμός των οχημάτων που θα χρειαστούν στη δρομολόγηση.

Ο ανασυνδυασμός και η μετάλλαξη των ατόμων των υποπληθυσμών γίνεται για κάθε υποπληθυσμό ξεχωριστά και χρησιμοποιούνται τελεστές ανασυνδυασμού δύο σημείων και uniform mutation.

4.4. Ένας family competition γενετικός αλγόριθμος για προβλήματα παραλαβής και παράδοσης

Ο αλγόριθμος που περιγράφεται παρακάτω έχει αναπτυχθεί από τους Wan-Rang Jin και Jane Yung-Jen Hsu [13] για τη λύση προβλημάτων παραλαβής- παράδοσης με ένα όχημα και χρονικούς περιθώρια (Pickup Delivery Problem with time windows- PDPTW).

Έστω $N=\{1, \dots, n\}$ ένα σύνολο από n παραγγελίες μεταφοράς και για κάθε παραγγελία $i \in N$ ένα τα χρονικά περιθώρια $[a_{i+}, \beta_{i+}]$ και $[a_{i-}, \beta_{i-}]$, όπου με i^+ συμβολίζεται το σημείο παραλαβής και με i^- το σημείο παράδοσης και θετικός αριθμός q_i δηλώνει το φορτίο της εργασίας i . Ο στόχος του αλγόριθμου είναι η εύρεση ενός δρομολογίου με την μικρότερη δυνατή διάρκεια και με τον μικρότερο δυνατό συνολικό χρόνο αναμονής. Το δρομολόγιο θα πρέπει να είναι εφικτό, να εξυπηρετεί όλους τους πελάτες και να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς.

Ο Family competition γενετικός αλγόριθμος (FCGA)

Σε παραδοσιακούς γενετικούς αλγόριθμους ένα άτομο παράγει ένα ή το πολύ δυο απογόνους. Σε έναν FCGA όταν ένα άτομο επιλεγεί για αναπαραγωγή δημιουργεί μια οικογένεια απογόνων που αποτελείται από περισσότερους του ενός απογόνους. Από κάθε

οικογένεια που παράγεται επιβιώνει μόνο το καλύτερο άτομο με βάση τη συνάρτηση ποιότητας, όπως χαρακτηριστικά αποκαλείται ο πρωταθλητής της οικογένειας.

Algorithm 1 The procedures of FCGA
1: $t = 0$;
2: Initial population: $P^t \leftarrow \{I_1^t, I_2^t, \dots, I_m^t\}$;
3: Evaluation : $\Phi(I_1^t), \Phi(I_2^t), \dots, \Phi(I_m^t)$
4: Repeat
5: $T \leftarrow \emptyset$;
6: for $i = 1$ to m do
7: Family father : $F_i^t \leftarrow I_i^t$;
8: Family: $C_i^t \leftarrow \emptyset$;
9: for $j = 1$ to u do
10: Selection : alternative parent $A_j^t \in P^t$;
11: Recombination : $c_j \leftarrow O_m(O_c(F_i^t, A_j^t))$;
12: Evaluation : $\Phi(c_j)$;
13: $C_i^t \leftarrow C_i^t \cup \{c_j\}$;
14: end for
15: $T \leftarrow T \cup \text{best}(C_i^t)$;
16: end for
17: $P^{t+1} \subset \{P^t \cup T\}$;
18: $t = t + 1$;
19: until reach the termination condition
20: Output the solutions;

Σχ.4.2 Ένας family competition γενετικός αλγόριθμος

Αναπαράσταση

Η μορφή που χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση της λύσης είναι μια διατεταγμένη λίστα με τις τοποθεσίες παραλαβής και παράδοσης. Για παράδειγμα $(0 \ 3^+ \ 1^+ \ 1^- \ 2^+ \ 2^- \ 3^-)$ είναι το χρωμόσωμα που αναπαριστά το δρομολόγιο $0 \rightarrow 3^+ \rightarrow 1^+ \rightarrow 1^- \rightarrow 2^+ \rightarrow 2^- \rightarrow 3^-$, όπου 0 είναι το αρχικό σημείο όπου βρίσκεται το όχημα και όχι κάποιος πελάτης και $2n+1$ το μήκος κάθε χρωμοσώματος.

Συνάρτηση ποιότητας

Έστω ένα χρωμόσωμα και S το δρομολόγιο που αναπαριστά. Τότε η αντίστοιχη συνάρτηση ποιότητας ορίζεται από τη σχέση

$$\Phi(S) = f_{\text{travelcost}}(S) + f_{\text{penalty}}(S)$$

Στόχος είναι η εύρεση ενός εφικτού δρομολογίου S με την ελάχιστη τιμή $\Phi(S)$. Ο συνολικός χρόνος, $f_{\text{travelcost}}(S)$, που απαιτείται για το δρομολόγιο S , συμπεριλαμβανομένου πιθανού χρόνου αναμονής. Η συνάρτηση ποινών του δρομολογίου S , $f_{\text{penalty}}(S)$, υπολογίζει τις ποινές από πιθανές παραβιάσεις των περιορισμών. Παραδείγματα παραβιάσεων περιορισμών είναι όταν ένα όχημα είναι υπέρβαρο ή καθυστερημένο σε οποιοδήποτε σημείο.

Όταν ένα δρομολόγιο δεν είναι εφικτό γίνεται μια προσπάθεια διόρθωσής του, αν αυτό είναι δυνατό. Για παράδειγμα, αν το σημείο παράδοσης i^- βρίσκεται πριν το σημείο παραλαβής i^+ , γίνεται αντιμετάθεση των σημείων αυτών ώστε το δρομολόγιο να είναι εφικτό. Σύμφωνα με τον ορισμό της συνάρτησης ποιότητας η τιμή $\Phi(S_{\text{feasible}})$ ενός εφικτού δρομολογίου είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη $\Phi(S_{\text{infeasible}})$ ενός μη εφικτού δρομολογίου.

Εξέλιξη πληθυσμού

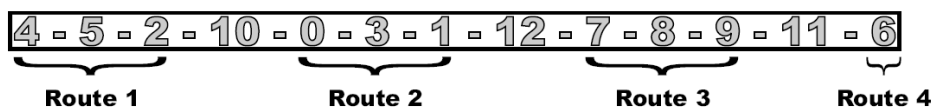
Οι τελεστές ανασυνδυασμού που χρησιμοποιούνται είναι ενός και δύο σημείων. Οι τελεστές μετάλλαξης που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο. Ο ένας εφαρμόζει μετάλλαξη δύο σημείων, δηλαδή επιλέγει τυχαία δυο γονίδια και ανταλλάσσει τις θέσεις τους μέσα στο άτομο. Ο δεύτερος τελεστής διαιρεί ένα άτομο σε ένα σημείο και αντιστρέφει τις υποδιαδρομές. Οι τελεστές αυτοί επιλέγουν ένα μόνο άτομο, εφαρμόζουν μετάλλαξη και έχουν σαν αποτέλεσμα μόνο έναν απόγονο, ο οποίος αντικαθιστά το γονιό του. Η μετάλλαξη δεν εφαρμόζεται με σταθερό ρυθμό σε κάθε γενιά, αλλά χρησιμοποιείται μόνο όταν οι απόγονοι είναι όμοιοι με τους γονείς τους.

4.5. Κυψελώδεις (Cellular) γενετικός αλγόριθμος

Ο κυψελώδης (cellular) γενετικός αλγόριθμος, που αναπτύχθηκε από του Enrique Alba και Bernabe Dorronsoro [14], χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη τοπολογία γειτονιάς έτσι ώστε τα άτομα να μπορούν να αλληλεπιδρούν μόνο με τους γείτονές τους. Η έννοια της γειτονιάς βοηθά στην αποτελεσματικότερη εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης.

Αναπαράσταση

Τα άτομα αποτελούνται από ένα συνδυασμό ακεραίων αριθμών. Κάποιοι από τους αριθμούς κάθε ατόμου αναπαριστούν πελάτες και άλλοι χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των πελατών σε δρομολόγια. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχουν N πελάτες προς εξυπηρέτηση, τότε οι αριθμοί $0-N$ αναπαριστούν πελάτες και οι αριθμοί που είναι μεγαλύτεροι του N αποτελούν διαχωριστές δρομολογίων. Ένα παράδειγμα ατόμου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Οι αριθμοί μεταξύ δυο διαχωριστών συνθέτουν ένα δρομολόγιο. Μια κενή διαδρομή αναπαριστάται με δυο συνεχόμενους διαχωριστές. Στο παραπάνω σχήμα οι αριθμοί $0-9$ αποτελούν πελάτες και οι αριθμοί $10-12$ αποτελούν διαχωριστές. Η λύση αυτή αναπαριστά τα εξής δρομολόγια:

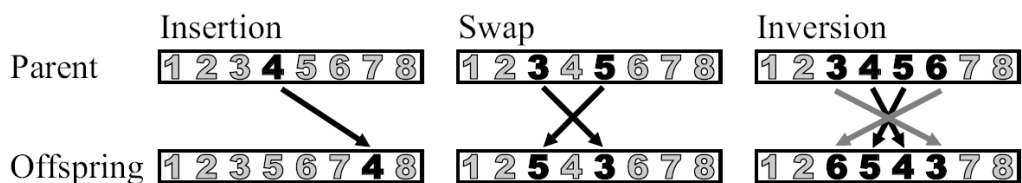
$(4 \rightarrow 5 \rightarrow 2)$, $(0 \rightarrow 3 \rightarrow 1)$, $(7 \rightarrow 8 \rightarrow 9)$, (6) .

Εξέλιξη πληθυσμού

Ο τελεστής ανασυνδυασμού που χρησιμοποιείται είναι ανασυνδυασμός ενός σημείου.

Οι τελεστές μετάλλαξης που χρησιμοποιούνται είναι *insertion*, *swap*, *inversion*.

- *Insertion*: επιλέγει ένα πελάτη και αλλάζει τη θέση εξυπηρέτησης του μέσα στο άτομο.
- *Swap*: επιλέγει στην τύχη δυο πελάτες, από το ίδιο ή από διαφορετικά δρομολόγια και τους αντιμεταθέτει.
- *Inversion*: επιλέγει μια υποδιαδρομή και αντιστρέφει τη σειρά εξυπηρέτησης των πελατών που ανήκουν σε αυτή.



Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι αποτελούν έναν ιδιαίτερα αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων χρονοδρομολόγησης. Τα προβλήματα που έχουν επιλυθεί με τη χρήση εξελικτικών αλγορίθμων αποτελούν συνήθως γενικευμένες μορφές χρονοδρομολόγησης. Στην πραγματικότητα τα προβλήματα αυτά έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά αλλά έχουν και πολλά διαφορές. Σαν αποτέλεσμα ορισμένα προβλήματα είναι εξειδικευμένα και έτσι δεν είναι δυνατή η αντιμετώπισή τους με τους ήδη υπάρχοντες τρόπους επίλυσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα τέτοιο εξειδικευμένο πρόβλημα καθώς και η επίλυσή του.

Κεφάλαιο 5

Περιγραφή Προβλήματος

Η εφαρμογή προορίζεται για μια εταιρία μεταφορών (Ε.Π.Ε.), η οποία διαθέτει οχήματα και έχει έδρα το Βόλο. Κάθε μέτοχος της εταιρίας μπορεί να έχει στην κατοχή του ένα ή περισσότερα οχήματα για τα οποία είναι υπεύθυνος. Σε κάθε μέτοχο αντιστοιχεί ποσοστό από τα κέρδη ανάλογο με την εργασία που έχει εκτελέσει το όχημα του, καθώς και είναι υπεύθυνος για τις φθορές που θα προκύψουν στο όχημα. Για παράδειγμα, ένας μέτοχος μπορεί να δουλεύει ο ίδιος το όχημα του ή μπορεί να προσλάβει έναν υπάλληλο. Στην δεύτερη περίπτωση η μίσθωση του υπαλλήλου επιβαρύνει τον μέτοχο-ιδιοκτήτη.

Σκοπός της εφαρμογής είναι η αποτελεσματική χρονοδρομολόγηση των οχημάτων. Μπορούμε να περιγράψουμε την εφαρμογή σαν ένα σύστημα με εισόδους, επεξεργασία και έξοδο. Οι εισόδοι του συστήματος είναι τα δρομολόγια που πρόκειται να εκτελεστούν. Κατά την επεξεργασία λαμβάνονται υπόψη όλα τα δεδομένα και παράγεται ένα πλάνο δρομολόγησης το οποίο είναι και η έξοδος του συστήματος.

Κάποιες παραγγελίες που αναλαμβάνει η εταιρία περιλαμβάνουν δρομολόγια τα οποία ξεκινούν από το λιμάνι του Βόλου και συνήθως καταλήγουν σε κοντινές αποστάσεις. Τα δρομολόγια αυτά είναι προγραμματισμένα αρκετό καιρό πριν. Αφορούν τη μεταφορά μεγάλου όγκου εμπορευμάτων από φορτηγά πλοία. Κατά συνέπεια τα δρομολόγια για ένα πλοίο είναι πολλά κατά τη διάρκεια της ημέρας, με τον ίδιο προορισμό και για πολλές μέρες.

Κάποιες άλλες παραγγελίες έχουν δρομολόγια που ξεκινούν από τη βιομηχανική περιοχή του Βόλου. Τα δρομολόγια αυτά μπορεί να καταλήξουν οπουδήποτε στην Ελλάδα. Απασχολούν την εταιρία για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αλλά τα καθημερινά για κάθε εργοστάσιο είναι λίγα και με διαφορετικό προορισμό.

Μια άλλη κατηγορία από παραγγελίες είναι από πελάτες για τη μεταφορά μικρού όγκου εμπορευμάτων και απασχολούν την εταιρία για λίγες ημέρες με λίγα δρομολόγια για κάθε

πελάτη. Αυτά μπορεί να είναι προγραμματισμένα ή έκτακτα και συνήθως ξεκινούν από διάφορες πόλεις με προορισμό το Βόλο. Αυτές είναι οι κύριες κατηγορίες δρομολογίων, χωρίς αυτές να είναι δεσμευτικές.

5.1. Στόχοι εταιρίας

Η έδρα της εταιρίας είναι ο Βόλος και στόχος είναι να επιστρέφουν τα οχήματα εκεί, επειδή ο κύριος όγκος των δρομολογίων έχουν αφετηρία το Βόλο. Τα δρομολόγια που αναλαμβάνουν τα οχήματα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την αφετηρία και τον προορισμό τους:

- Βόλος \rightarrow πόλη A
- Πόλη A \rightarrow πόλη B
- Πόλη A \rightarrow Βόλο

Μία από τις μεγαλύτερες ζημίες της εταιρίας είναι όταν τα οχήματα διανύουν αποστάσεις χωρίς φορτίο. Αυτό συμβαίνει είτε κατά την επιστροφή στην έδρα, είτε πηγαίνοντας σε άλλη πόλη για την παραλαβή νέου δρομολογίου. Επομένως, τα δρομολόγια θα πρέπει να συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε όσο το δυνατό λιγότερα οχήματα να διανύουν αποστάσεις χωρίς φορτίο. Στην περίπτωση όμως που ένα όχημα βρίσκεται σε μια απόσταση 100χλμ. από την έδρα, (η απόσταση αυτή θεωρείται σχετικά μικρή) η επιστροφή στην έδρα χωρίς φορτίο δεν θεωρείται ζημιογόνα. Οπότε στην περίπτωση αυτή επιστρέφει στην έδρα αν δεν υπάρχει προγραμματισμένο δρομολόγιο επιστροφής μέχρι την επόμενη μέρα.

Τα δρομολόγια που αναλαμβάνει η εταιρία είναι διασκορπισμένα σε όλη την Ελλάδα. Έτσι και τα οχήματα κινούνται σε όλη την Ελλάδα. Ένας άλλος στόχος είναι να υπάρχουν σε κάθε αφετηρία δρομολογίων τόσα οχήματα όσα και τα δρομολόγια. Δηλαδή, για κάθε πόλη θα πρέπει να ελέγχουμε πόσα οχήματα βρίσκονται εκεί, πόσο είναι προγραμματισμένα να φτάσουν σε αυτή και πόσα προγραμματισμένα δρομολόγια υπάρχουν από εκεί. Επομένως,

Θα πρέπει να κατευθύνονται περισσότερα οχήματα προς τα εκεί που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση δρομολογίων λαμβάνοντας πάντα υπόψη τα κενά χιλιόμετρα.

Συνοψίζοντας θα αναφέρουμε τα κριτήρια επιλογής οχήματος για την εκτέλεση δρομολογίου:

1. το όχημα που θα εκτελέσει τα λιγότερα κενά χιλιόμετρα έχει περισσότερες πιθανότητες επιλογής
2. επιλογή ανάλογα με την ύπαρξη παραγγελιών σε συνάρτηση με την ύπαρξη οχημάτων σε ένα συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης δρομολογίων
3. επιλογή οχήματος βασισμένη σε μια συνάρτηση επιλογής η οποία αναφέρεται παρακάτω.

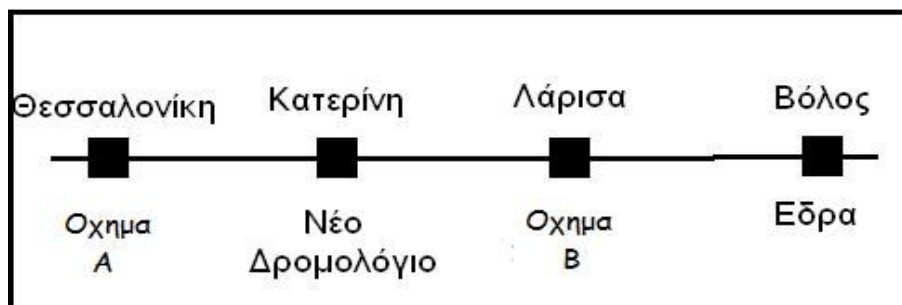
5.2. Παράδειγμα

1. Βόλος \rightarrow πόλη A.

Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται ένα από τα οχήματα που βρίσκονται στην έδρα. Η επιλογή γίνεται βάσει ενός συντελεστή επιλογής που προκύπτει από τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει κάθε όχημα και θα αναλυθεί περισσότερο παρακάτω.

2. Πόλη A \rightarrow πόλη B (Πόλη A \rightarrow Βόλο).

Αν υπάρχουν οχήματα στη πόλη A, τότε για την εκτέλεση του δρομολογίου επιλέγεται ένα από αυτά βάσει το συντελεστή επιλογής. Αν δεν υπάρχουν οχήματα, τότε επιλέγεται το όχημα που είναι πιο κοντά στην πόλη A.



Σχ.5.1 Σημεία παραγγελιών και τοποθεσία διαθέσιμων οχημάτων

Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα νέο δρομολόγιο από Κατερίνη για Βόλο, ένα όχημα στη Θεσσαλονίκη (Σχ.5.1 Όχημα Α) και ένα στη Λάρισα (Σχ.5.1 Όχημα Β), όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.

1. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει άλλο δρομολόγιο ούτε από Θεσσαλονίκη, ούτε από Λάρισα, αλλά υπάρχουν από Βόλο, οπότε θα πρέπει και τα δύο να επιστρέψουν στο Βόλο. Αν το Α αναλάβει το δρομολόγιο, τα κενά χιλιόμετρα του Α θα είναι μέχρι την Κατερίνη και του Β μέχρι Βόλο. Αν, όμως το Β αναλάβει το δρομολόγιο τα κενά του Α θα είναι από Θεσσαλονίκη για Βόλο και του Β από Λάρισα για Κατερίνη. Συγκρίνουμε τα κενά χιλιόμετρα των δύο περιπτώσεων και επιλέγουμε την περίπτωση με τα λιγότερα κενά. Επομένως εδώ το όχημα Α θα αναλάβει το δρομολόγιο.
2. Έστω ότι υπάρχει ένα ακόμα προγραμματισμένο δρομολόγιο από Θεσσαλονίκη για Βόλο. Τότε το όχημα Α θα αναλάβει το δρομολόγιο της Θεσσαλονίκης. Το όχημα Β θα αναλάβει το δρομολόγιο της Κατερίνης. Στην περίπτωση αυτή τα κενά χιλιόμετρα είναι Λάρισα→ Κατερίνη, που είναι και τα λιγότερα κενά.

5.3. Συντελεστής δρομολόγησης

Όπως είπαμε παραπάνω πρόκειται για Ε.Π.Ε. και το κέρδος του καθένα είναι ανάλογο με τη δουλειά που κάνει το όχημα του. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι τα οχήματα θα πρέπει να δουλεύουν αναλογικά το ίδιο σε βάθος χρόνου για να υπάρχει δικαιοσύνη μεταξύ των μετόχων. Δηλαδή, θα πρέπει να διανύουν περίπου τα ίδια χιλιόμετρα και να πραγματοποιούν δρομολόγια ίδιας δυσκολίας. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα συντελεστή βασισμένο στα συνολικά πραγματικά χιλιόμετρα που έχει διανύσει κάθε όχημα. Κάθε φορά που ένα όχημα εκτελεί ένα δρομολόγιο, τα αντίστοιχα χιλιόμετρα προστίθενται στο συντελεστή.

Τα πραγματικά χιλιόμετρα, όμως, δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας για την επίτευξη του στόχου που αναφέραμε. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε παράγοντες σχετικούς με

επιπλέον κόστος που προκύπτουν σε συγκεκριμένα δρομολόγια και πώς αυτά επηρεάζουν το χιλιομετρικό συντελεστή δρομολόγησης.

5.3.1 Βάρος Φορτίου

Όσο πιο βαρύ είναι ένα φορτίο τόσο περισσότερες φθορές προκαλούνται στο όχημα, για το λόγο αυτό προστίθενται επιπλέον χιλιόμετρα στον χιλιομετρικό συντελεστή για ένα βαρύ φορτίο. Όταν ένα όχημα αναγκάζεται να κάνει κενά χιλιόμετρα προκειμένου να παραλάβει από άλλη πόλη μια παραγγελία θα πρέπει και αυτά να περιλαμβάνονται στο χιλιομετρικό συντελεστή γιατί παρόλο που είναι κενό έχει έξοδα για τη μετακίνησή του. Έτσι προκύπτουν 3 κατηγορίες για το βάρος. Στο συντελεστή:

1. καταχωρούνται τα πραγματικά χιλιόμετρα για φορτία μέχρι 15 τόνους (ελαφρύ).
2. γίνεται αύξηση 7% των πραγματικών χιλιομέτρων για φορτία πάνω από 15 τόνους (βαρύ).
3. γίνεται μείωση 40% των πραγματικών χιλιομέτρων στα κενά χιλιόμετρα για αποστάσεις μεγαλύτερες των 40 χιλιομέτρων (κενό).

5.3.2 Δύσκολες Διαδρομές

Υπάρχουν διαδρομές οι οποίες είναι ιδιαίτερα δύσκολες για τον οδηγό και στις οποίες προκαλούνται φθορές στο όχημα. Για τις διαδρομές αυτές γίνεται προσαύξηση χιλιομέτρων στο συντελεστή ανάλογα με το βάρος του φορτίου. Παράδειγμα τέτοιας διαδρομής είναι το παρακάτω.

	Κενό	Ελαφρύ	Βαρύ
Μπράλλος	15	30	45
Δομοκός	5	10	15

Πίνακας 5.1 Παράδειγμα δύσκολων διαδρομών

5.3.3 Διανομές

Σε ορισμένες παραγγελίες τα σημεία παράδοσης μπορούν να είναι περισσότερα του ενός. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται προσαύξηση χιλιομέτρων στο συντελεστή. Υπάρχουν 2 διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα με την τοποθεσία των σημείων παράδοσης:

1. προσαύξηση 15 χλμ ανά σημείο, εκτός των νομών Αττικής και Θεσσαλονίκης.
2. εντός των νομών Αττικής και Θεσσαλονίκης προσαύξηση 40 χλμ ανά σημείο.

5.3.4 Δρομολόγια σε νησιά

Στα δρομολόγια από και προς νησιά γίνεται προσαύξηση χιλιομέτρων στο συντελεστή. Αυτό συμβαίνει γιατί συνήθως διαρκούν πολλές ημέρες και αυτό συνεπάγεται λιγότερα κέρδη για το όχημα, καθώς τις ημέρες αυτές δεν μπορεί να αναλάβει άλλα δρομολόγια. Η προσαύξηση του συντελεστή είναι 200 χιλιόμετρα/ημέρα.

5.3.5 Χιλιομετρικός συντελεστής δρομολόγησης

Ο χιλιομετρικός συντελεστής χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση των οχημάτων. Στόχος είναι όλα τα οχήματα να έχουν ίδιο περίπου συντελεστή στο τέλος ενός έτους. Έτσι όταν 2 ή περισσότερα οχήματα διεκδικούν ένα δρομολόγιο επιλέγεται αυτό με το μικρότερο συντελεστή. Όταν τα δρομολόγια και τα οχήματα είναι πολλά τότε το όχημα με το μικρότερο συντελεστή αναλαμβάνει ένα δρομολόγιο με μεγάλο συντελεστή. Αντίστοιχα ένα όχημα με μεγάλο συντελεστή αναλαμβάνει ένα δρομολόγιο με μικρό συντελεστή.

Ανακεφαλαιώνοντας, ο χιλιομετρικός συντελεστής (ΧΛΜ) ενός δρομολογίου προκύπτει από:

- τα πραγματικά χλμ δρομολογίου (ΠΧΛΜ),

Χρονοδρομολόγηση μεταφορών με εξελικτικούς αλγορίθμους

- το ποσοστό προσαύξησης λόγω βάρους (B%),
- τις δύσκολες διαδρομές (ΔΔ),
- τις διανομές (ΔΝΜ),
- τις ημέρες σε νησιά (ΗΝ).

$$\chi\lambda\mu = \pi\chi\lambda\mu + B\% + \Delta\Delta + \Delta\text{ΝΜ} + \text{ΗΝ}$$

Ο συντελεστής αυτός εκτός από τη δρομολόγηση χρησιμοποιείται και για την κατανομή των κερδών και αποτελεί το συντελεστή πληρωμής χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα χιλιόμετρα των ποινών.

Συντελεστής πληρωμής = συντελεστής δρομολόγησης - χλμ ποινών

Κεφάλαιο 6

Περιγραφή λύσης του προβλήματος χρονοδρομολόγησης μεταφορών με χρήση εξελικτικού αλγορίθμου

Οι βασικές οντότητες που χρησιμοποιούνται σε προβλήματα χρονοδρομολόγησης μεταφορών είναι τα οχήματα και τα δρομολόγια που αυτά θα εκτελέσουν. Σε παρόμοια προβλήματα που έχουν μελετηθεί όλα τα φορτηγά έχουν ένα κοινό σημείο φόρτωσης και εκκίνησης των δρομολογίων τους. Επίσης τα φορτηγά είναι πανομοιότυπα και αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο, τα χαρακτηριστικά τους είναι συνήθως ίδια και έτσι τα φορτηγά δεν διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Στο πρόβλημα που επιλύθηκε κάθε φορτηγό είναι μοναδικό και διαφέρει από τα υπόλοιπα λόγω του χιλιομετρικού συντελεστή που χρησιμοποιείται σαν επιπλέον χαρακτηριστικό στη δρομολόγησή τους. Ο χιλιομετρικός συντελεστής απεικονίζει τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει κάθε φορτηγό επαυξημένα ανάλογα με τη δυσκολία κάθε δρομολογίου. Στόχος μας είναι ο συντελεστής αυτός να είναι περίπου ίδιος για όλα τα φορτηγά έτσι ώστε να υπάρχει δικαιοσύνη στη διανομή των δρομολογίων σε αυτά. Επίσης, σε αντίθεση με άλλα προβλήματα χρονοδρομολόγησης μεταφορών, στο συγκεκριμένο πρόβλημα τα σημεία παραλαβής και παράδοσης των δρομολογίων είναι διασκορπισμένα, δεν υπάρχει συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης ή τερματισμού των δρομολογίων.

Ένας άλλος παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της λύσης είναι το χρονικό περιθώριο παραλαβής/παράδοσης κάθε παραγγελίας. Το χρονικό περιθώριο παραλαβής/παράδοσης μπορεί να είναι αυστηρά καθορισμένο ή ελαστικό. Στην πρώτη περίπτωση το χρονικό περιθώριο αυτό δεν μπορεί να παραβιαστεί, δηλαδή η παραλαβή και η παράδοση της παραγγελίας πρέπει να πραγματοποιηθούν μέσα στο περιθώριο αυτό. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να γίνει παραλαβή και παράδοση πριν ή μετά το περιθώριο αυτό αλλά αυτή προστίθεται επιπλέον κόστος στο δρομολόγιο. Στη λύση του

προβλήματος που ακολουθεί το χρονικό περιθώριο παραλαβής μιας παραγγελίας θεωρείται αυστηρά καθορισμένο.

6.1. Αναπαράσταση λύσης

Σε προβλήματα χρονοδρομολόγησης μεταφορών που έχουν επιλυθεί χρησιμοποιήθηκαν μορφές ατόμων τα οποία απεικονίζουν τις διαδρομές που θα ακολουθήσουν τα οχήματα. Οι H. Timucin Ozdemir και Chilukuri K. Mohan [9] χρησιμοποίησαν ένα γράφο στον οποίο αναπαριστώνται όλα τα δρομολόγια όλων των οχημάτων. Οι K.L. Mak and Z.G. Guo [16] χρησιμοποίησαν μια ακολουθία χαρακτήρων για την απεικόνιση των λύσεων. Οι Wan-Rang Jin και Jane Yung-Jen Hsu [13] αναπαριστούν τη λύση ως μια διατεταγμένη λίστα που περιλαμβάνει όλα τα σημεία παραλαβής και παράδοσης. Στον Cellular γενετικό αλγόριθμο που αναπτύχθηκε από τους Enrique Alba και Bernabe Dorronsoro [14] το άτομο αποτελείται από έναν πίνακα ακεραίων οι οποίοι αναπαριστούν τους πελάτες και τη σειρά κατά την οποία θα εξυπηρετηθούν. Σε όλα τα παραπάνω προβλήματα ο πληθυσμός αποτελείται από άτομα τα οποία αναπαριστούν τα δρομολόγια που θα εκτελέσουν τα οχήματα. Η εύρεση των δρομολογίων των οχημάτων είναι το ζητούμενο σε όλα τα προβλήματα δρομολόγησης. Στα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω τα οχήματα θεωρούνται όμοια και δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ τους. Σαν αποτέλεσμα το μοναδικό ζητούμενο είναι η εύρεση της βέλτιστης σειράς με την οποία θα εξυπηρετηθούν οι πελάτες χωρίς να έχει σημασία ποιο όχημα θα αναλάβει κάθε δρομολόγιο. Μια άλλη προσέγγιση εύρεσης του συνόλου των δρομολογίων με το μικρότερο κόστος είναι οι Coevolutionary αλγόριθμοι [15] σύμφωνα με τους οποίους το πρόβλημα χωρίζεται σε υποπροβλήματα και δημιουργείται ένας πληθυσμός για τη λύση κάθε υποπροβλήματος. Οι υποπληθυσμοί εξελίσσονται ανεξάρτητα αλλά συνεργάζονται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Βασισμένη σε αυτή την ιδέα είναι η λύση που προτείνετε παρακάτω. Στο πρόβλημα που επιλύθηκε τα οχήματα θεωρούνται διαφορετικά μεταξύ τους, επιπλέον τα οχήματα δεν έχουν ένα συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης ή τερματισμού των δρομολογίων τους και έτσι μπορούν να βρίσκονται σε οποιοδήποτε σημείο. Για τους λόγους αυτούς ο σχεδιασμός

των δρομολογίων δεν αρκεί για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Θα πρέπει να βρεθούν τα κατάλληλα δρομολόγια σε συνάρτηση με τα οχήματα που θα τα αναλάβουν και όχι ανεξάρτητα από τα οχήματα. Συμπερασματικά οι πληροφορίες που πρέπει να υπάρχουν σε κάθε άτομο περιλαμβάνουν τα δρομολόγια εξυπηρέτησης των πελατών καθώς και τα οχήματα που θα αναλάβουν τα δρομολόγια αυτά. Έτσι το πρόβλημα χωρίζεται σε δύο υποπροβλήματα. Ένα υποπρόβλημα αφορά το σχεδιασμό των δρομολογίων για την εξυπηρέτηση των πελατών και το δεύτερο υποπρόβλημα αφορά την εύρεση των κατάλληλων οχημάτων τα οποία θα αναλάβουν τα δρομολόγια. Για την επίλυση των δύο υποπροβλημάτων δημιουργούνται δύο υποπληθυσμοί, ο ένας υποπληθυσμός αφορά τα δρομολόγια και ο δεύτερος τα οχήματα που θα αναλάβουν τα δρομολόγια αυτά. Τα άτομα και των δύο πληθυσμών αποτελούνται από μονοδιάστατους πίνακες ακεραίων και περιγράφονται παρακάτω. Εκτός από τους δύο πίνακες που αναφέρθηκαν χρησιμοποιείται και ένας τρίτος πίνακας ο οποίος είναι βοηθητικός και συνδέει τα άτομα των δύο υποπληθυσμών μεταξύ τους.

Ο πρώτος είναι ο *πίνακας των δρομολογίων*. Πρόκειται για ένα μονοδιάστατο πίνακα με μήκος όσο το πλήθος των δρομολογίων που περιλαμβάνονται σε μια δρομολόγηση. Κάθε θέση του πίνακα περιέχει έναν κωδικό αριθμό ο οποίος είναι μοναδικός και αντιστοιχεί σε ένα δρομολόγιο.

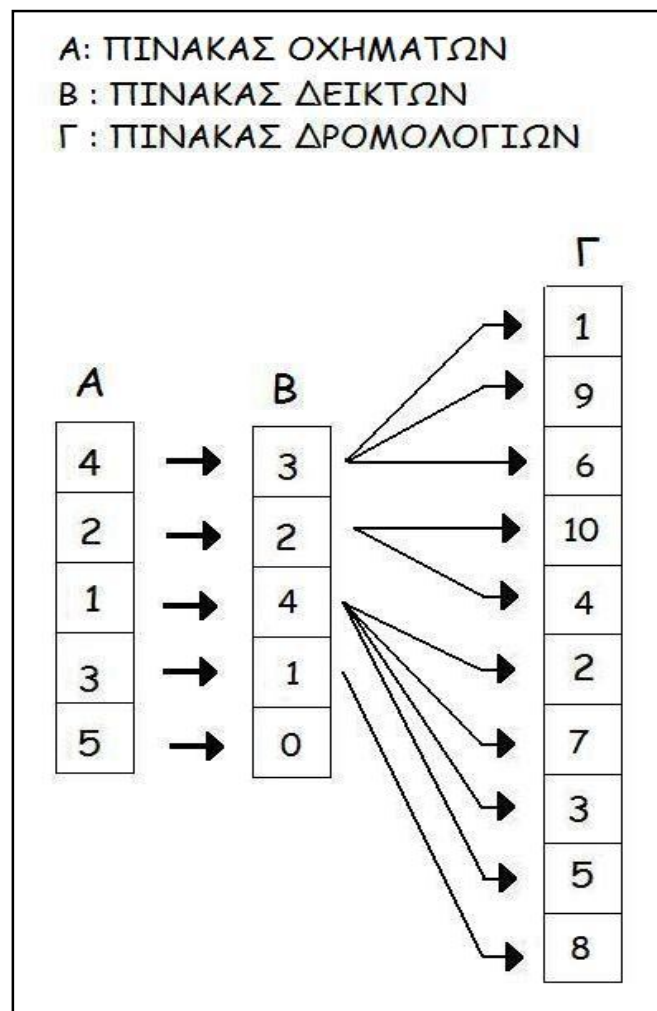
Ο δεύτερος είναι ο *πίνακας των οχημάτων*. Πρόκειται για ένα μονοδιάστατο πίνακα με μήκος όσο το πλήθος των οχημάτων που χρησιμοποιούνται στη δρομολόγηση. Κάθε θέση του πίνακα περιέχει έναν κωδικό αριθμό ο οποίος είναι μοναδικός και αντιστοιχεί σε ένα όχημα.

Ο τρίτος είναι ο *πίνακας των δεικτών*. Πρόκειται για έναν μονοδιάστατο πίνακα με μήκος ίσο με το μήκος του πίνακα των οχημάτων. Αποτελεί έναν βοηθητικό πίνακα ο οποίος περιέχει το πλήθος των δρομολογίων που θα αναλάβει κάθε όχημα. Σκοπός του είναι η αντιστοίχιση των δρομολογίων με τα οχήματα, χωρίς τον πίνακα αυτό υπάρχουν ανεξάρτητα οχήματα και δρομολόγια χωρίς αυτά να σχετίζονται με κάποιο τρόπο. Κάθε θέση του πίνακα περιέχει έναν αριθμό ο οποίος δηλώνει το πλήθος των δρομολογίων που θα αναλάβει το όχημα που βρίσκεται στην αντίστοιχη θέση του πίνακα των οχημάτων. Για

παράδειγμα η πρώτη θέση του πίνακα των δεικτών αντιστοιχεί στο όχημα που βρίσκεται στην πρώτη θέση του πίνακα των οχημάτων, η δεύτερη θέση του πίνακα των δεικτών αντιστοιχεί στο όχημα που βρίσκεται στη δεύτερη θέση του πίνακα των οχημάτων. Υπάρχει επίσης αντιστοιχία μεταξύ του πίνακα των δεικτών και του πίνακα των δρομολογίων. Η σειρά των δρομολογίων στο δεύτερο πίνακα είναι και η σειρά με την οποία τα οχήματα θα εκτελέσουν τα δρομολόγια, δηλαδή το όχημα που βρίσκεται στην πρώτη θέση του πίνακα οχημάτων θα αναλάβει τόσα δρομολόγια -από τον πίνακα των δρομολογίων- όσα δηλώνει το περιεχόμενο της πρώτης θέσης του πίνακα δεικτών και με τη σειρά που αυτά εμφανίζονται στον πίνακα των δρομολογίων.

Παράδειγμα

Στο σχήμα 6.1 απεικονίζεται μια λύση του προβλήματος με τρεις πίνακες. Ο πίνακας Α είναι ο πίνακας των οχημάτων, ο Β των δεικτών και ο Γ των δρομολογίων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το όχημα 4 έχει αναλάβει 3 δρομολόγια: 1→9→6, το όχημα 2 έχει αναλάβει 2 δρομολόγια: 10→4, το όχημα 1 έχει αναλάβει 4 δρομολόγια: 2→7→3→5, το όχημα 3 έχει αναλάβει 1 δρομολόγιο: 8 και το όχημα 5 δεν έχει αναλάβει κανένα δρομολόγιο. Τα δρομολόγια εκτελούνται με τη σειρά που παρουσιάζονται στον πίνακα Γ.



Σχ.6.1 Παράδειγμα ατόμου εξελικτικού αλγορίθμου

6.2. Αρχικοποίηση πληθυσμού

Οι μέθοδοι αρχικοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο: η τυχαία εφικτή και η προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση.

- *Τυχαία Εφικτή Αρχικοποίηση.* Ο αρχικός πληθυσμός δημιουργείται αναθέτοντας τυχαία παραγγελίες στα οχήματα, δημιουργώντας δρομολόγια τα οποία είναι εφικτά. Η ανάθεση των παραγγελιών στα οχήματα δεν είναι εντελώς τυχαία, ελέγχουμε αν ένα όχημα μπορεί να παραλάβει μια παραγγελία χωρίς να παραβιάζει το χρονικό περιθώριο παραλαβής/παράδοσής της, δηλαδή αν μπορεί να εκτελέσει την παραγγελία στα χρονικά περιθώρια που έχει θέσει ο πελάτης χωρίς να υπάρχουν καθυστερήσεις. Αρχικά επιλέγουμε τυχαία ένα όχημα και μια παραγγελία, ελέγχουμε αν το όχημα μπορεί να παραλάβει την παραγγελία και αν μπορεί τότε η παραγγελία προστίθεται στο δρομολόγιο του. Επίσης ενημερώνεται η θέση στην οποία θα βρίσκεται το όχημα μετά την εκτέλεση της παραγγελίας καθώς και η ώρα κατά την οποία θα είναι ελεύθερο να παραλάβει την επόμενη παραγγελία. Στη συνέχεια και για το ίδιο όχημα επιλέγουμε τυχαία μια δεύτερη παραγγελία και ελέγχουμε αν αυτή μπορεί να προστεθεί στο δρομολόγιο του οχήματος, αν δηλαδή μπορεί να την εκτελέσει χωρίς χρονική καθυστέρηση. Αν το όχημα μπορεί να παραλάβει την παραγγελία τότε αυτή προστίθεται στο δρομολόγιο του μετά την πρώτη. Αν το όχημα δεν μπορεί να εκτελέσει το δρομολόγιο χωρίς να παραβιάζει τους χρονικούς περιορισμούς παραλαβής/παράδοσης τότε επιλέγουμε μια άλλη παραγγελία και συνεχίζουμε την ίδια διαδικασία μέχρι να ελέγξουμε όλες τις παραγγελίες. Έπειτα επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τα υπόλοιπα οχήματα. Η δημιουργία ενός ατόμου τερματίζεται όταν όλες οι παραγγελίες δρομολογηθούν. Είναι πιθανό να μην δρομολογηθούν όλες οι παραγγελίες. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που μια παραγγελία δεν είναι δυνατό να εκτελεστεί από κανένα όχημα, άρα δεν είναι δυνατό να προστεθεί σε κανένα δρομολόγιο και παραμένει εκτός της δρομολόγησης. Τα άτομα αυτά θα αποτελέσουν πιθανές λύσεις του αρχικού πληθυσμού αλλά με μηδαμινές πιθανότητες επιβίωσης, το κόστος της λύσης θα είναι υψηλό και η ποιότητα του ατόμου θα επιβαρύνεται με

ποινές οπότε θα είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Επίσης υπάρχει πιθανότητα κάποια οχήματα να μην αναλάβουν καμία παραγγελία, δηλαδή να μην δημιουργηθεί δρομολόγιο για τα οχήματα αυτά. Αυτό μπορεί να συμβεί αν τα υπόλοιπα οχήματα αναλάβουν όλες τις παραγγελίες ή αν ένα όχημα δεν μπορεί να αναλάβει καμία παραγγελία, αν και η τελευταία περίπτωση είναι σπάνια. Τα άτομα αυτά αποτελούν λύσεις του προβλήματος χωρίς να υπάρχει επιβάρυνση στην ποιότητά τους.

- *Προσανατολισμένη Εφικτή Αρχικοποίηση.* Η μέθοδος αυτή είναι βελτιωμένη σε σχέση με την τυχαία εφικτή με σκοπό τη δημιουργία των ατόμων του αρχικού πληθυσμού με καλύτερη ποιότητα. Για τη δημιουργία του πληθυσμού ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την προηγούμενη μέθοδο με έναν επιπλέον περιορισμό. Ελέγχονται τα σημεία εκκίνησης του δρομολογίου και του οχήματος, αν αυτά είναι ίδια τότε η παραγγελία προστίθεται στο δρομολόγιο του οχήματος. Στη συνέχεια αν το όχημα δεν είναι δυνατό να αναλάβει καμία παραγγελία από το σημείο στο οποίο βρίσκεται τότε η ανάθεση παραγγελίας στο όχημα ακολουθεί την ίδια διαδικασία όπως και στην τυχαία εφικτή αρχικοποίηση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε προσθήκη παραγγελίας στο δρομολόγιο ενός οχήματος μέχρι αυτό να ολοκληρωθεί. Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η δημιουργία τυχαίων εφικτών δρομολογίων με λιγότερα κενά χιλιόμετρα.

6.3. Τελεστές

Οι τελεστές που χρησιμοποιούνται στους εξελικτικούς αλγορίθμους αποτελούνται από τους τελεστές επιλογής και τους τελεστές αναπαραγωγής. Οι τελεστές επιλογής σχετίζονται με τις μεθόδους που ακολουθούνται προκειμένου να επιλεγούν τα άτομα του πληθυσμού από τα οποία θα δημιουργηθούν τα άτομα της επόμενης γενιάς. Οι τελεστές αναπαραγωγής σχετίζονται με τις διαδικασίες που ακολουθούνται για τη δημιουργία των απογόνων και σε αυτούς περιλαμβάνονται οι τελεστές μετάλλαξης και ανασυνδυασμού. Οι

τελεστές αναπαραγωγής εφαρμόζονται στα άτομα που έχουν επιλεγεί για αναπαραγωγή και προκύπτουν τα νέα άτομα.

6.3.1. Τελεστές επιλογής γονέων

Σε κάθε γένια ένα μέρος των ατόμων του πληθυσμού επιλέγεται προκειμένου να δημιουργηθεί ένας νέος πληθυσμός

Τα άτομα επιλέγονται με διάφορες μεθόδους ανάλογα με την ποιότητά τους θα πρέπει να επιλεγούν άτομα, από τον ήδη υπάρχοντα πληθυσμό, από τα οποία θα προκύψουν τα άτομα του νέου πληθυσμού.

- *Roulette wheel selection*. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια ρουλέτα. Στα άτομα του πληθυσμού αναλογεί ένα κομμάτι της ρουλέτας ανάλογα με την τιμή της συνάρτησης ποιότητά τους. Στη συνέχεια η ρουλέτα περιστρέφεται και επιλέγεται το άτομο στο κομμάτι του οποίου η ρουλέτα σταματάει. Με τη μέθοδο αυτή άτομα τα οποία έχουν χαμηλή τιμή στη συνάρτηση ποιότητας έχουν πιθανότητες να επιλεγούν ως γονείς. Αυτό είναι απαραίτητο για την εξερεύνηση διαφορετικών περιοχών του χώρου αναζήτησης και για τη διατήρηση της ανομοιογένειας των λύσεων. Τα άτομα με καλύτερη ποιότητα έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες επιλογής καθώς το αντίστοιχο κομμάτι τους στη ρουλέτα είναι μεγαλύτερο.
- Η *tournament selection*. Η μέθοδος αυτή συγκεντρώνει τυχαία μια ομάδα λύσεων από τον πληθυσμό, διοργανώνει ένα τουρνουά μεταξύ των μελών την ομάδα και ο νικητής, δηλαδή το άτομο με την καλύτερη ποιότητα, επιλέγεται ως γονέας. Το πλήθος των ατόμων που αποτελούν μια ομάδα είναι μια σημαντική παράμετρος καθώς σε ομάδες με μεγάλο πλήθος τα άτομα με χαμηλή τιμή στη συνάρτηση ποιότητας δεν έχουν πολλές πιθανότητες να επιλεγούν. Μια δεύτερη παράμετρος είναι η πιθανότητα που έχει να επιλεγεί ανάλογα με την ποιότητά του.
 - ♦ Τυχαία επιλογή N ατόμων του πληθυσμού
 - ♦ Επιλογή του ατόμου με την καλύτερη ποιότητα με πιθανότητα p

- ♦ Επιλογή του ατόμου με τη δεύτερη καλύτερη ποιότητα με πιθανότητα $p^*(1-p)$
- ♦ Επιλογή του ατόμου με την τρίτη καλύτερη ποιότητα με πιθανότητα $p^*(1-p)^2$

Το άτομο που τελικά θα επιλεγεί μπορεί να αφαιρεθεί από τον πληθυσμό ή να παραμείνει σε αυτόν έτσι ώστε να μπορεί να επιλεγεί ξανά.

6.3.2. Τελεστές ανασυνδυασμού

Χρησιμοποιείται ανασυνδυασμός ενός σημείου με διόρθωση από τον οποίο προκύπτει ένα νέο άτομο. Ο ανασυνδυασμός εφαρμόζεται στον πίνακα των οχημάτων και στον πίνακα των δρομολογίων. Μετά τον ανασυνδυασμό υπάρχει η πιθανότητα κάποιος πελάτης να μην εξυπηρετείτε ή να εξυπηρετείτε περισσότερες από μια φορές. Για το λόγο αυτό ελέγχεται αν υπάρχουν στο άτομο όλοι οι πελάτες και όλα τα οχήματα καθώς και αν όλοι οι πελάτες εξυπηρετούνται ακριβώς μία φορά. Σε αντίθετη περίπτωση ακολουθεί διόρθωση του ατόμου.

6.3.3. Τελεστές μετάλλαξης

Χρησιμοποιείται μετάλλαξη ενός και δύο σημείων από την οποία προκύπτει ένα νέο άτομο. Η μετάλλαξη εφαρμόζεται στον πίνακα των οχημάτων και στον πίνακα των δρομολογίων. Εφαρμόζεται επίσης ένας άλλος τρόπος μετάλλαξης κατά την οποία επιλέγεται μια ακολουθία στοιχείων του πίνακα και αυτά μετατίθενται δεξιά στον πίνακα.

6.4. Συνάρτηση ποιότητας

Η συνάρτηση ποιότητας είναι μία συνάρτηση η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των λύσεων, δηλαδή των ατόμων κάθε πληθυσμού. Τα άτομα, σύμφωνα με την ποιότητα, έχουν ανάλογες πιθανότητες να επιλεγούν για αναπαραγωγή και να αναμείξουν το

γενετικό τους υλικό με αυτό άλλων ατόμων του πληθυσμού πιστεύοντας ότι έτσι θα δημιουργηθεί μια καλύτερη γενιά στην οποία ίσως περιλαμβάνεται η βέλτιστη λύση.

Η συνάρτηση ποιότητας που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των λύσεων του προβλήματός μας αποτελείται από δυο αντικειμενικούς στόχους. Ο πρώτος είναι τα κενά χιλιόμετρα όλων των οχημάτων. Τα κενά χιλιόμετρα εκτελούνται από τα οχήματα κατά τη μετάβασή τους στο σημείο παραλαβής των παραγγελιών ή κατά την επιστροφή των οχημάτων στην έδρα τους. Η επιστροφή στην έδρα με κενό φορτίο πραγματοποιείται μόνο όταν τα οχήματα βρίσκονται σε μικρή απόσταση από την έδρα και δεν υπάρχει προγραμματισμένο δρομολόγιο επιστροφής. Η μείωση των κενών χιλιομέτρων αφορά όλη την εταιρία και μειώνει το κόστος των δρομολογίων.

Ο δεύτερος στόχος αφορά το χιλιομετρικό συντελεστή κάθε οχήματος. Ο χιλιομετρικός συντελεστής είναι ένας δείκτης ο οποίος περιλαμβάνει τα πραγματικά χιλιόμετρα που έχει διανύσει κάθε όχημα επαυξημένα ανάλογα με τη δυσκολία της κάθε διαδρομής και το φορτίο κάθε παραγγελίας (βαρύ, ελαφρύ, κενό). Ο συντελεστής αυτός χρησιμοποιείται για τη δίκαιη διανομή των δρομολογίων στα οχήματα, όπως έχει αναφερθεί και στο πέμπτο κεφάλαιο, καθώς και για τη δίκαιη διανομή των κερδών στους μετόχους. Ο πρώτος στόχος είναι αυτός με τη μεγαλύτερη βαρύτητα καθώς η μείωση του κόστους είναι το σημαντικότερο ζητούμενο που αφορά την εταιρία.

6.5. Τύποι ελιτισμού

Χρησιμοποιούνται δύο τύποι ελιτισμού. Σύμφωνα με τον πρώτο τύπο ελιτισμού το καλύτερο άτομο του πληθυσμού περνάει στην επόμενη γενιά. Ο δεύτερος τύπος ελιτισμού χρησιμοποιείται μετά τη δημιουργία ενός νέου ατόμου για να επιλεγεί ποιο άτομο θα περάσει στην επόμενη γενιά μεταξύ των γονέων του παιδιού. Αν ένας από τους γονείς έχει καλύτερη ποιότητα από το παιδί τότε αυτός θα περάσει στην επόμενη γενιά. Ο δεύτερος τύπος ελιτισμού χρησιμοποιείται μόνο για ένα ποσοστό των παιδιών που δημιουργούνται και όχι για ολόκληρο το νέο πληθυσμό.

Κεφάλαιο 7

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρονται μερικές δοκιμαστικές εκτελέσεις του αλγορίθμου επίλυσης του προβλήματος χρονοδρομολόγησης, η λύση του οποίου παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι δοκιμαστικές εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα και έχουν σαν σκοπό να αποδειχθεί ότι ο αλγόριθμος είναι ικανός να δημιουργήσει ένα αποτελεσματικό χρονοδιάγραμμα δρομολογίων το οποίο ικανοποιεί τις ανάγκες των πελατών με το μικρότερο δυνατό κόστος. Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαφορετικά πειράματα που εκτελέστηκαν καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτά.

7.1. Πειραματικές εφαρμογές αλγορίθμου

Όλες οι δοκιμαστικές εκτελέσεις εφαρμόστηκαν χρησιμοποιώντας τα δεδομένα μιας ημέρας έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Τα δεδομένα αυτά αφορούν το πλήθος και το είδος των δρομολογίων που πρόκειται να εκτελεστούν καθώς και τα οχήματα που πρόκειται να τα εκτελέσουν. Για τις εκτελέσεις χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια ενενήντα τρία (93) δρομολόγια τα οποία αποτελούν αντιπροσωπευτικά δρομολόγια μιας ημέρας. Επίσης τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των δρομολογίων είναι πενήντα (50), είναι τα ίδια για όλα τα πειράματα και έχουν συγκεκριμένα σημεία εκκίνησης. Τα πειράματα που εκτελέστηκαν έχουν σαν αποτέλεσμα την εύρεση του χρονοδιαγράμματος των δρομολογίων που θα εκτελεστούν μια συγκεκριμένη ημέρα. Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή Intel Core2Duo 2,5Ghz, 3GB R.A.M..

7.2. Πρώτη και δεύτερη ομάδα πειραμάτων

Πραγματοποιήθηκαν τρεις βασικές ομάδες πειραμάτων. Οι δύο πρώτες ομάδες παραμετροποιήθηκαν με βάση τις μεθόδους αρχικοποίησης του πληθυσμού, κάθε ομάδα αποτελείται από τέσσερα πειράματα με διαφορετική παραμετροποίηση το καθένα. Στην πρώτη ομάδα πειραμάτων (Π1) χρησιμοποιείται η τυχαία εφικτή αρχικοποίηση. Όλα τα πειράματα αυτής της ομάδας χρησιμοποιούν πληθυσμό διακοσίων (200) ατόμων, ο πληθυσμός εξελίσσεται για δύο χιλιάδες (2000) γενιές και κάθε πείραμα επαναλαμβάνεται πενήντα (50) φορές. Στη συνέχεια αναφέρεται η παραμετροποίηση των δύο πρώτων ομάδων πειραμάτων (Π1, Π2) καθώς και κάποια ενδεικτικά αποτελέσματα. Στα αποτελέσματα περιλαμβάνεται ο μέσος όρος της καλύτερης ποιότητας, της χειρότερης ποιότητας, της τυπικής απόκλισης της ποιότητας, των κενών χιλιομέτρων και του χρόνου εκτέλεσης. Ο χρόνος εκτέλεσης μετρήθηκε και αναφέρετε σε millisecond.

1. Στο πρώτο (Π1.1) από τα τέσσερα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ο τελεστής μετάλλαξης ενός σημείου για τον πίνακα των οχημάτων και των δρομολογίων και ελιτισμός ενός ατόμου, όπου το καλύτερο άτομο από κάθε γενιά επιβιώνει και στην επόμενη.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
183,184	1061,5444	128,09665	8195,22	63477,06

Πίνακας 7.1 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.1"

2. Το δεύτερο πείραμα (Π1.2) είναι όμοιο με το πρώτο με τη διαφορά ότι έχει χρησιμοποιηθεί και ο ποσοστιαίος ελιτισμός, όπου μετά τη εφαρμογή του τελεστή μετάλλαξης και τη δημιουργία ενός νέου ατόμου επιλέγεται για την επόμενη γενιά το άτομο με την καλύτερη ποιότητα μεταξύ των γονέων και του παιδιού. Ο τελεστής αυτό εφαρμόζεται στο ογδόντα τοις εκατό (80%) του πληθυσμού.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
125,891	748,6898	118,82909	5327,32	64476,36

Πίνακας 7.2 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.2"

3. Στο τρίτο πείραμα (Π1.3) για τη μετάλλαξη των ατόμων εφαρμόστηκε ο τελεστής ολίσθησης για τον πίνακα των οχημάτων και για τον πίνακα των δρομολογίων και ελιτισμός ενός ατόμου.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
177,511	973,8488	135,16068	7887,4	64606,16

Πίνακας 7.3 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.3"

4. Το τέταρτο πείραμα (Π1.4) είναι όμοιο με το τρίτο με τη διαφορά ότι έχει χρησιμοποιηθεί και ο ποσοστιαίος ελιτισμός ο οποίος εφαρμόζεται στο ογδόντα τοις εκατό (80%) του πληθυσμού.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
165,544	700,6642	103,38119	7291,48	64815,8

Πίνακας 7.4 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π1.4"

Η δεύτερη ομάδα πειραμάτων (Π2) αποτελείται από τέσσερα πειράματα. Η παραμετροποίηση που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα αυτά είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στα προηγούμενα τέσσερα πειράματα με τη διαφορά ότι σε αυτή την ομάδα ο πληθυσμός αρχικοποιήθηκε σύμφωνα με την προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση.

1. Στο πρώτο πείραμα (Π2.1) της δεύτερης ομάδας χρησιμοποιήθηκε ο τελεστής μετάλλαξης ενός σημείου για τον πίνακα των οχημάτων και των δρομολογίων και ελιτισμός ενός ατόμου, όπου το καλύτερο άτομο από κάθε γενιά επιβιώνει και στην επόμενη.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
109,665	1053,0452	132,49981	4233,88	63570,24

Πίνακας 7.5 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.1"

2. Το δεύτερο πείραμα (Π2.2) είναι όμοιο με το πρώτο με τη διαφορά ότι έχει χρησιμοποιηθεί και ο ποσοστιαίος ελιτισμός, όπου μετά τη εφαρμογή του τελεστή μετάλλαξης και τη δημιουργία ενός νέου ατόμου επιλέγεται για την επόμενη γενιά το άτομο με την καλύτερη ποιότητα μεταξύ των γονέων και του παιδιού. Ο τελεστής αυτό εφαρμόζεται στο ογδόντα τοις εκατό (80%) του πληθυσμού.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
108,894	725,3794	123,90715	4281,1	66553,1

Πίνακας 7.6 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.2"

3. Στο τρίτο πείραμα (Π2.3) για τη μετάλλαξη των ατόμων εφαρμόστηκε ο τελεστής ολίσθησης για τον πίνακα των οχημάτων και για τον πίνακα των δρομολογίων και ελιτισμός ενός ατόμου.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
108,283	954,3442	135,02279	4195,24	63701,36

Πίνακας 7.7 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.3"

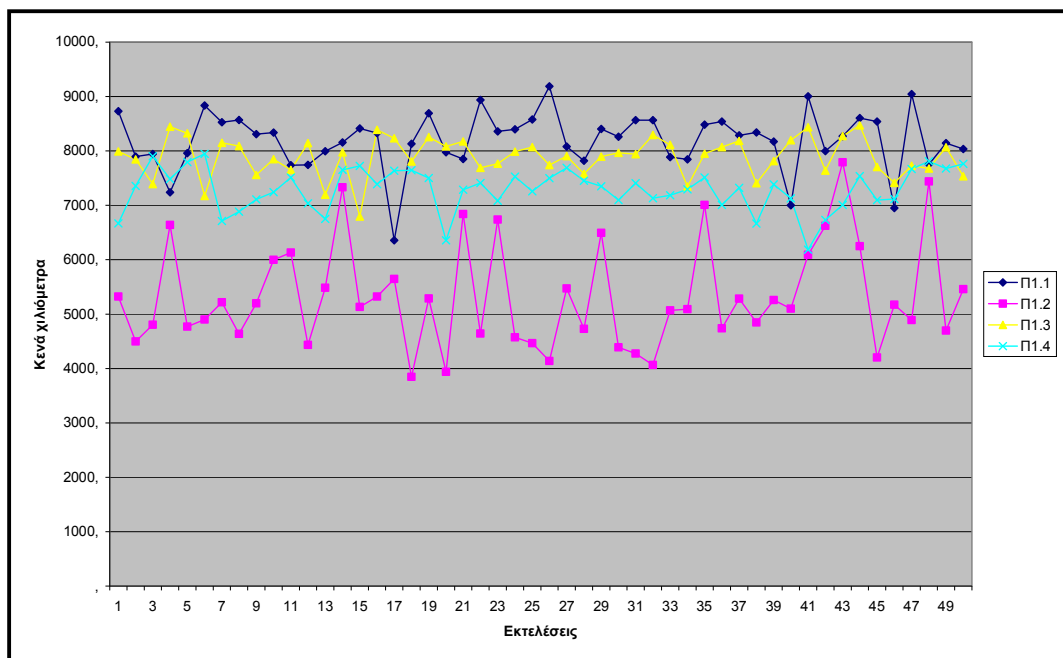
4. Το τέταρτο πείραμα (Π2.4) είναι όμοιο με το τρίτο με τη διαφορά ότι έχει χρησιμοποιηθεί και ο ποσοστιαίος ελιτισμός ο οποίος εφαρμόζεται στο ογδόντα τοις εκατό (80%) του πληθυσμού.

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
108,719	661,4052	109,37117	4311,46	65248,54

Πίνακας 7.8 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π2.4"

7.2.1. Κενά χιλιόμετρα

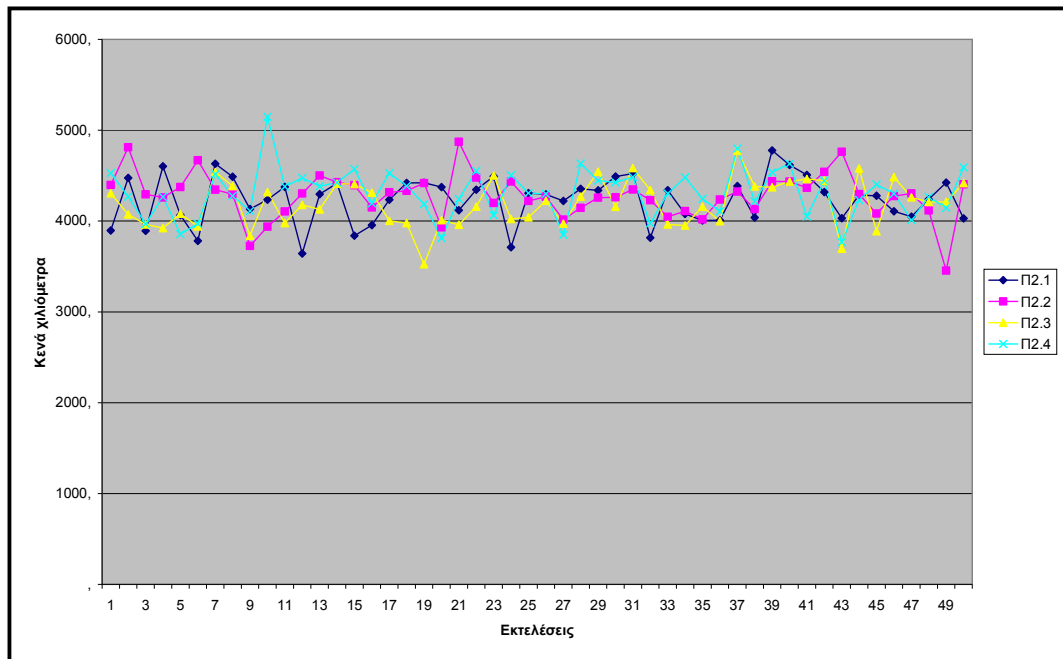
Στα διαγράμματα που ακολουθεί αναλύεται η ποιότητα κάθε εκτέλεσης με βάση τα συνολικά κενά χιλιόμετρα που διανύονται (για μια ημέρα). Τα κενά χιλιόμετρα αποτελούν ένα μέρος της συνάρτησης ποιότητας και μαζί με το χιλιομετρικό συντελεστή αποδίδουν την ποιότητα της κάθε λύσης. Ο χιλιομετρικός συντελεστής είναι το χαρακτηριστικό που ελέγχουμε σε βάθος χρόνου και όχι ημερησίως. Σε αντίθεση με το χιλιομετρικό συντελεστή τα κενά χιλιόμετρα είναι το χαρακτηριστικό το οποίο μπορεί να αποδώσει την ποιότητα της λύσης για μια ημέρα.



Σχ.7.1 Κενά χιλιόμετρα με χρήση μεθόδου αρχικοποίησης 1

Στο σχήμα 7.1 απεικονίζονται τα κενά χιλιόμετρα για κάθε ένα από τα πειράματα της πρώτης ομάδας (Π1). Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι στο Π1.1, στο οποίο χρησιμοποιήθηκε μετάλλαξη ενός σημείου και ελιτισμός ενός ατόμου, διανύονται τα περισσότερα κενά χιλιόμετρα. Στο Π1.2, στο οποίο χρησιμοποιήθηκε μετάλλαξη ενός σημείου, ελιτισμός ενός ατόμου καθώς και ποσοστιαίος ελιτισμός, τα κενά χιλιόμετρα

είναι εμφανώς χαμηλότερα. Στα πειράματα Π1.3 και Π1.4 τα κενά χιλιόμετρα κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα τείνοντας προς τις τιμές του πειράματος Π1.1.



Σχ.7.2 Κενά χιλιόμετρα με χρήση μεθόδου αρχικοποίησης 2

Στο Σχ. 7.2 απεικονίζονται τα κενά χιλιόμετρα για κάθε ένα από τα πειράματα της δεύτερης ομάδας (Π2). Από το διάγραμμα προκύπτει ότι τα κενά χιλιόμετρα κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα μεταξύ τους και συνολικά σε χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με αυτά της πρώτης ομάδας.

	1	2	3	4
Π1	8195,22	5327,32	7887,4	7291,48
Π2	4233,88	4281,1	4195,24	4311,46

Πίνακας. 7.9 Μέσος όρος κενών χιλιομέτρων πειραμάτων

Στον πίνακα 7.9 παρουσιάζεται ο μέσος όρος των κενών χιλιομέτρων όλων των πειραμάτων. Οι τιμές της πρώτης γραμμής αφορούν την τυχαία εφικτή αρχικοποίηση, ενώ της δεύτερης γραμμής την προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση. Είναι εμφανές ότι τα κενά χιλιόμετρα των πειραμάτων της πρώτης ομάδας (Π1) είναι σαφώς υποδεέστερα.

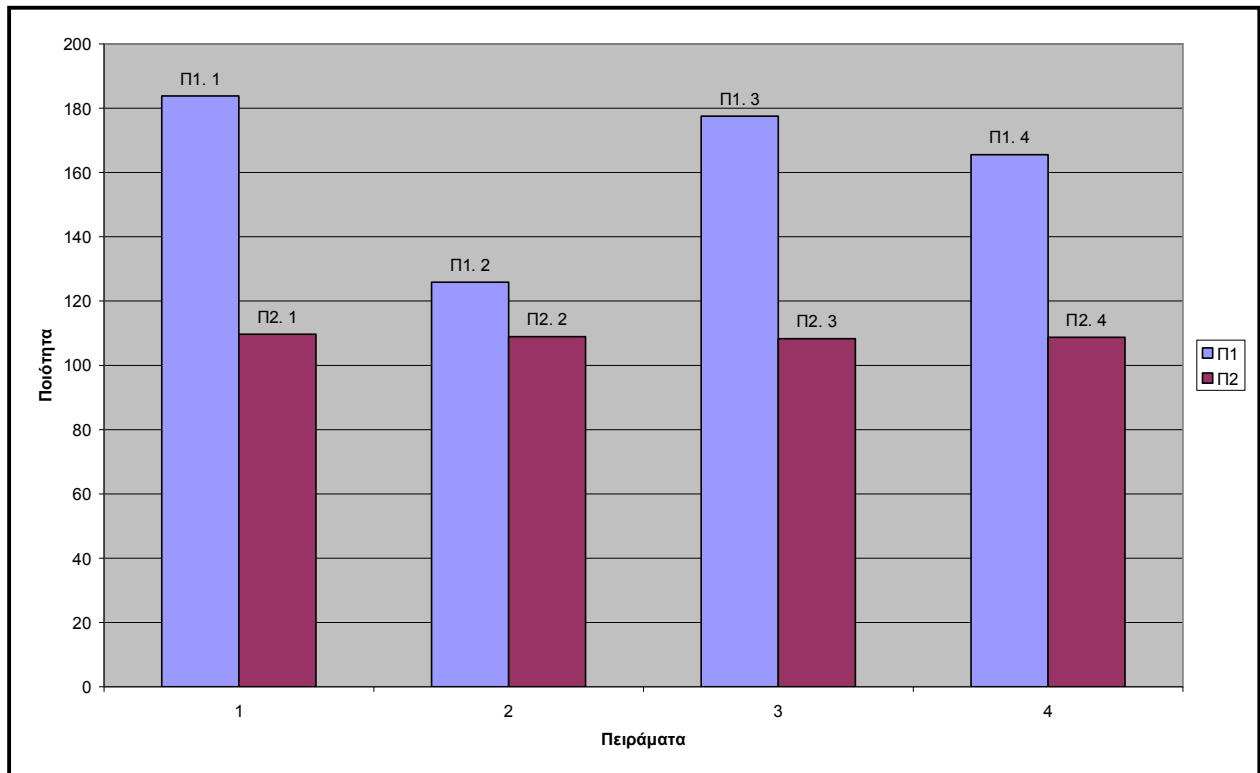
	1	2	3	4
Π1	183,184	125,891	177,511	165,544
Π2	109,665	108,894	108,283	108,719

Πίνακας 7.10 Μέσος όρος ποιότητας πειραμάτων

Στον πίνακα 7.10 παρουσιάζεται ο μέσος όρος της ποιότητας όλων των πειραμάτων. Στην πρώτη γραμμή αναφέρονται οι τιμές της ποιότητας της πρώτης ομάδας πειραμάτων (Π1) στα οποία χρησιμοποιήθηκε η τυχαία εφικτή αρχικοποίηση και αντίστοιχα στη δεύτερη γραμμή αναφέρονται οι τιμές της ποιότητας της δεύτερης ομάδας πειραμάτων (Π2) στα οποία χρησιμοποιήθηκε η προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση. Από τους πίνακες 7.11 και 7.12 μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η ποιότητα είναι στενά συνδεδεμένη με τα κενά χιλιόμετρα. Αυτό συμβαίνει επειδή η τιμή της ποιότητας είναι το μέτρο σύγκρισης της αποτελεσματικότητας της κάθε λύσης και η αποτελεσματικότητα κάθε λύσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα κενά χιλιόμετρα.

7.2.2 Αρχικοποίηση

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα η μέθοδος αρχικοποίησης συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην εύρεση βέλτιστης λύσης σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Η ομάδα πειραμάτων Π1 χρησιμοποιεί την τυχαία εφικτή αρχικοποίηση και η ομάδα Π2 την προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση. Κάθε πείραμα της πρώτης ομάδας εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας την ίδια παραμετροποίηση με το αντίστοιχο πείραμα της δεύτερης ομάδας με μοναδική διαφορά τη μέθοδο αρχικοποίησης. Στη συνέχεια ακολουθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων με όμοια παραμετροποίηση κάθε ομάδας (π.χ. Π1.1-Π2.1, Π1.2-Π2.2).

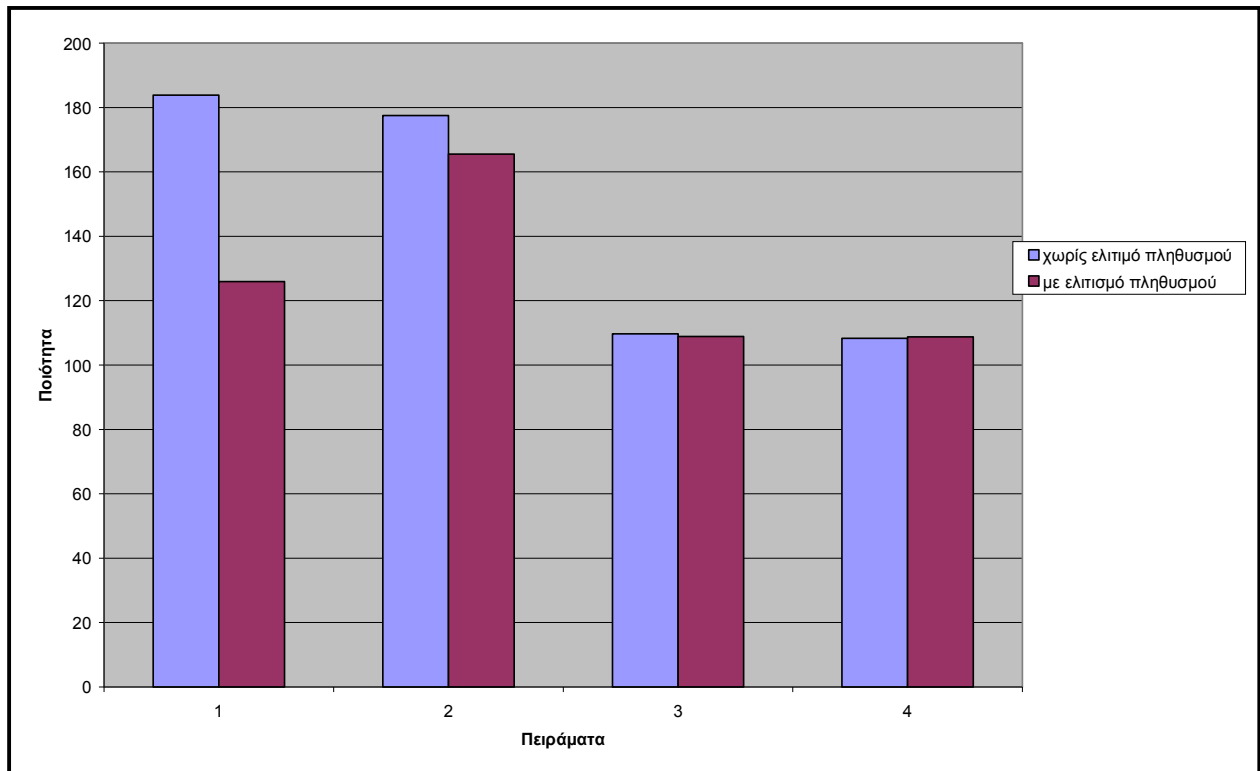


Σχ.7.3 Ποιότητα πειραμάτων Π1 και Π2

Από το Σχ.7.3 γίνεται φανερό ότι κάθε ένα από τα πειράματα της ομάδας Π2 έχει καλύτερα αποτελέσματα από το αντίστοιχο της ομάδας Π1. Αυτό συμβαίνει επειδή κατά την αρχικοποίηση 2 τα οχήματα αναλαμβάνουν τέτοια δρομολόγια ώστε να εκτελούνται όσο το δυνατό λιγότερα κενά χιλιόμετρα, ενώ κατά την τυχαία εφικτή αρχικοποίηση τα οχήματα αναλαμβάνουν τυχαία δρομολόγια. Ο εξελικτικός αλγόριθμος προορίζεται για ένα πολύπλοκο πρόβλημα χρονοδρομολόγησης με πολλές παραμέτρους και περιορισμούς που πρέπει να ικανοποιούνται. Όταν η αρχικοποίηση είναι τυχαία χρειάζονται περισσότερες γενιές ώστε να επιτευχθεί μια ικανοποιητική λύση. Αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις ίσως να μην είναι εφικτό γιατί ο αλγόριθμος δεν είναι δυνατό να προσανατολιστεί προς μια ικανοποιητική λύση εξαιτίας του μεγάλου εύρους λύσεων.

Αντίθετα, όταν ο πληθυσμός δημιουργείται με την προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση τα άτομα έχουν από την αρχή καλύτερη ποιότητα και ο αλγόριθμος καταλήγει πιο γρήγορα σε μια ικανοποιητική λύση.

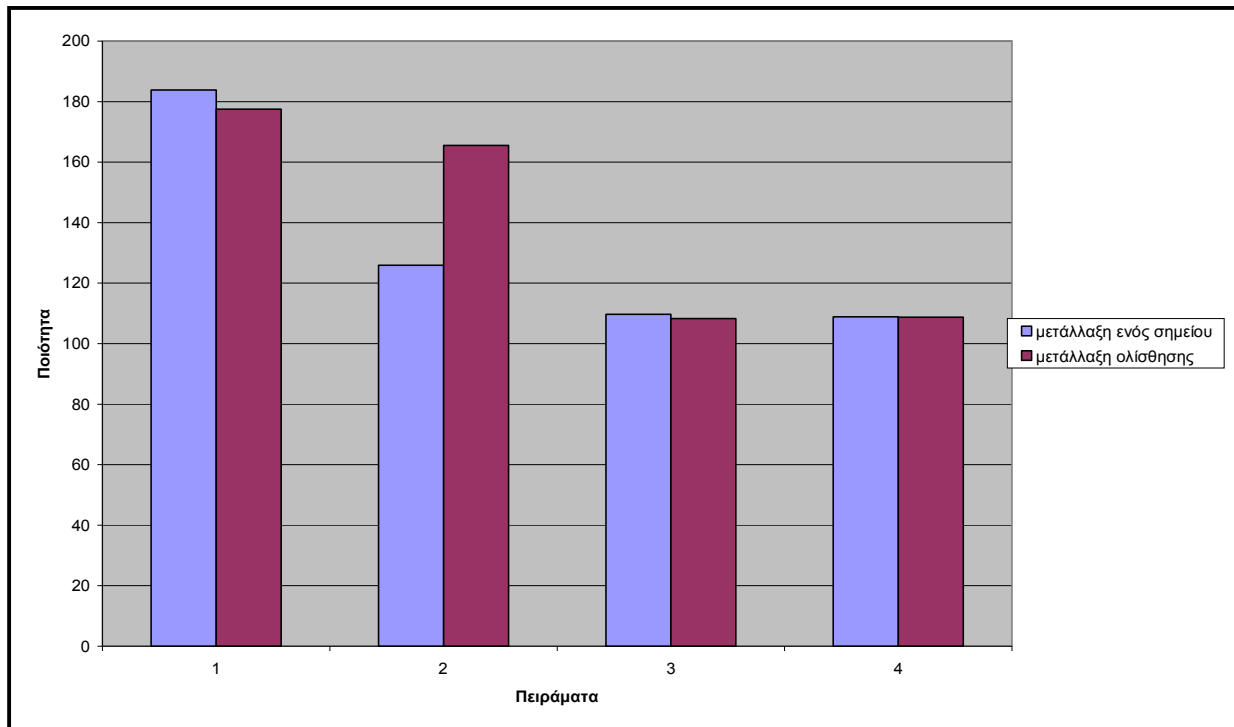
7.2.3 Ελιτισμός



Σχ.7.4 Ποιότητα πειραμάτων με και χωρίς ελιτισμό πληθυσμού

Στο Σχ.7.4 παρουσιάζονται όλα τα πειράματα και των δύο ομάδων ανά ζεύγη ως προς το ελιτισμό πληθυσμού. Οι δύο πρώτες στήλες αντιπροσωπεύουν τα πειράματα *Π1.1* - *Π1.2*, οι δύο δεύτερες στήλες αντιπροσωπεύουν τα πειράματα *Π1.3* - *Π1.4* και τα δύο επόμενα ζεύγη στηλών αντιπροσωπεύουν τα πειράματα *Π2.1* - *Π2.2* και *Π2.3* - *Π2.4*. Ο ελιτισμός πληθυσμού σε όσα πειράματα χρησιμοποιήθηκε εφαρμόστηκε στο ογδόντα τοις εκατό (80%) του πληθυσμού. Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι ο ελιτισμός πληθυσμού βοηθάει στην επίτευξη μιας καλύτερης λύσης όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος τυχαία εφικτή αρχικοποίηση (*Π1*), ενώ στην ομάδα *Π2* οι λύσεις είναι εξίσου ικανοποιητικές με ή χωρίς τη χρήση ποσοστιαίου ελιτισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί η τυχαία εφικτή αρχικοποίηση, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, δεν συγκλίνει γρήγορα σε ικανοποιητική λύση και ο ποσοστιαίος ελιτισμός βοηθά ώστε να προσανατολιστεί προς την καλύτερη λύση.

7.2.4 Μετάλλαξη



Σχ.7.5 Ποιότητα πειραμάτων με μετάλλαξη ενός σημείου και μετάλλαξη ολίσθησης

Στο Σχ.7.5 παρουσιάζονται όλα τα πειράματα και των δύο ομάδων ανά ζεύγη ως προς το μετάλλαξη που χρησιμοποιήθηκε. Οι δύο πρώτες στήλες αντιπροσωπεύουν τα πειράματα Π1.1 - Π1.3, οι δύο δεύτερες στήλες αντιπροσωπεύουν τα πειράματα Π1.2 - Π1.4 και τα δύο επόμενα ζεύγη στηλών αντιπροσωπεύουν τα πειράματα Π2.1 - Π2.3 και Π2.2 - Π2.4. Από το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι διαφορετικές μέθοδοι μετάλλαξης δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των λύσεων με μόνη εξαίρεση τα πειράματα Π1.2 - Π1.4.

7.3 Τρίτη ομάδα πειραμάτων

Από τα προηγούμενα πειράματα συμπεραίνουμε ότι η προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση έχει καλύτερα αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση, ο ελιτισμός πληθυσμού βοηθά στην επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος σε ορισμένες περιπτώσεις ενώ οι

διαφορετικές μέθοδοι μετάλλαξης που χρησιμοποιήθηκαν δεν επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στην ποιότητα των λύσεων. Στη συνέχεια ακολουθεί μια τρίτη ομάδα πειραμάτων (Π3). Στην ομάδα αυτή όλα τα πειράματα χρησιμοποιούν την προσανατολισμένη εφικτή αρχικοποίηση, πληθυσμό διακοσίων (200) ατόμων, ο πληθυσμός εξελίσσεται για δύο χιλιάδες (2000) γενιές και κάθε πείραμα επαναλαμβάνεται πενήντα (50) φορές. Στα προηγούμενα πειράματα εφαρμόστηκε ίδια μέθοδος μετάλλαξης για τον πίνακα των οχημάτων και των δρομολογίων του ίδιου πειράματος, στα πειράματα που ακολουθούν θα δοκιμαστεί διαφορετική μέθοδος μετάλλαξης για τον πίνακα των οχημάτων και των δρομολογίων σε κάθε πείραμα.

1. Στο πρώτο (Π3.1) από τα τέσσερα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ο τελεστής μετάλλαξης ενός σημείου για τον πίνακα των οχημάτων και η μετάλλαξη ολίσθησης για τον πίνακα των δρομολογίων, ελιτισμός ενός ατόμου, όπου το καλύτερο άτομο από κάθε γενιά επιβιώνει και στην επόμενη και ποσοστιαίος ελιτισμός σε ποσοστό πενήντα τοις εκατό (50%).

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
107,84	779,0794	117,87813	4235,24	64530,88

Πίνακας 7.11 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.1"

2. Το δεύτερο πείραμα (Π3.2) είναι όμοιο με το πρώτο με διαφορά στο ποσοστό στο οποίο εφαρμόστηκε ποσοστιαίος ελιτισμός, το ποσοστό αυτό είναι ογδόντα τοις εκατό (80%).

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
109,409	660,0802	110,312	4307,12	66743,84

Πίνακας 7.12 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.2"

3. Το τρίτο πείραμα (Π3.3) είναι όμοιο με το πρώτο με διαφορά στο ποσοστό στο οποίο εφαρμόστηκε ποσοστιαίος ελιτισμός, το ποσοστό αυτό είναι τριάντα τοις εκατό (30%).

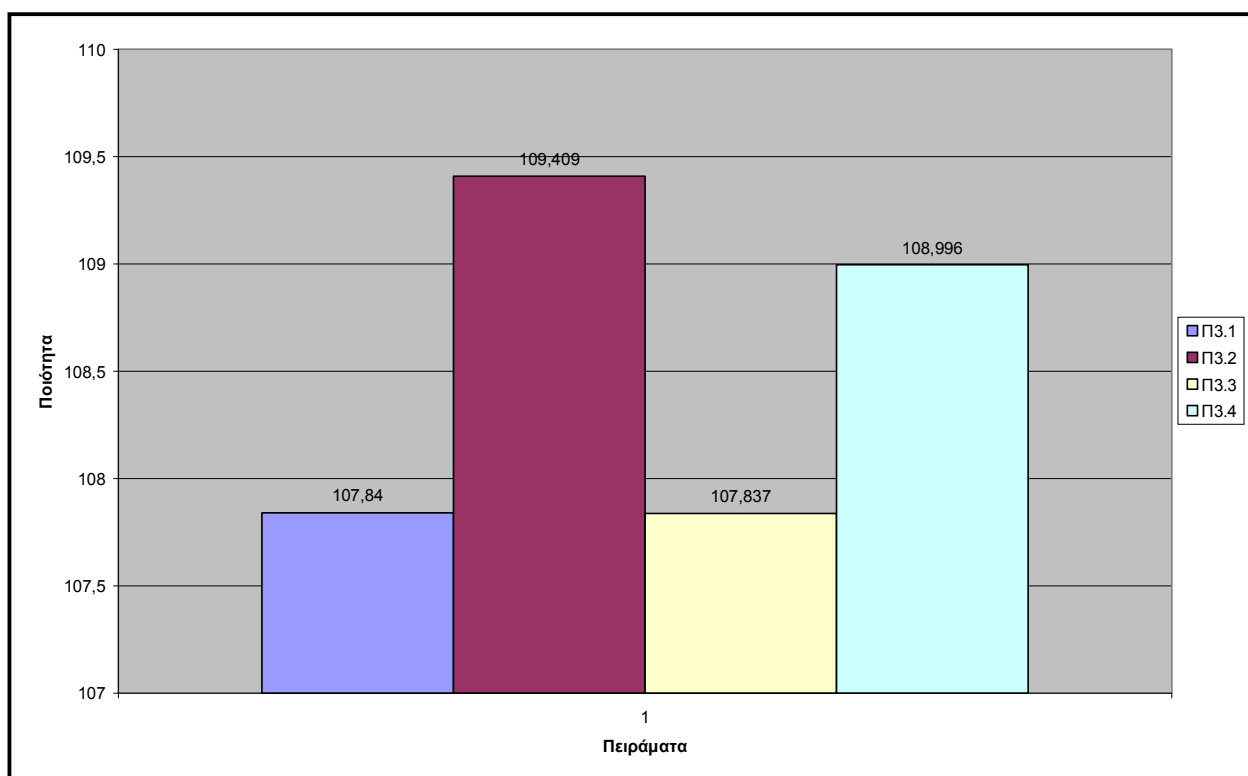
Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
107,837	868,7106	126,22056	4238,38	64522,3

Πίνακας 7.13 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.3"

4. Στο τέταρτο πείραμα (Π3.4) χρησιμοποιήθηκε μετάλλαξη ολίσθησης για τον πίνακα των οχημάτων και για τον πίνακα των δρομολογίων, ελιτισμός ενός ατόμου, όπου το καλύτερο άτομο από κάθε γενιά επιβιώνει και στην επόμενη και ποσοστιαίος ελιτισμός σε ποσοστό πενήντα τοις εκατό (50%).

Καλύτερη ποιότητα	Χειρότερη ποιότητα	Τυπική απόκλιση ποιότητας	Κενά χιλιόμετρα	Χρόνος εκτέλεσης
108,996	776,0252	118,67774	4272,72	67455,68

Πίνακας 7.14 Συνοπτικά αποτελέσματα πειράματος "Π3.4"



Σχ.7.6 Ποιότητας πειραμάτων ομάδας "Π3"

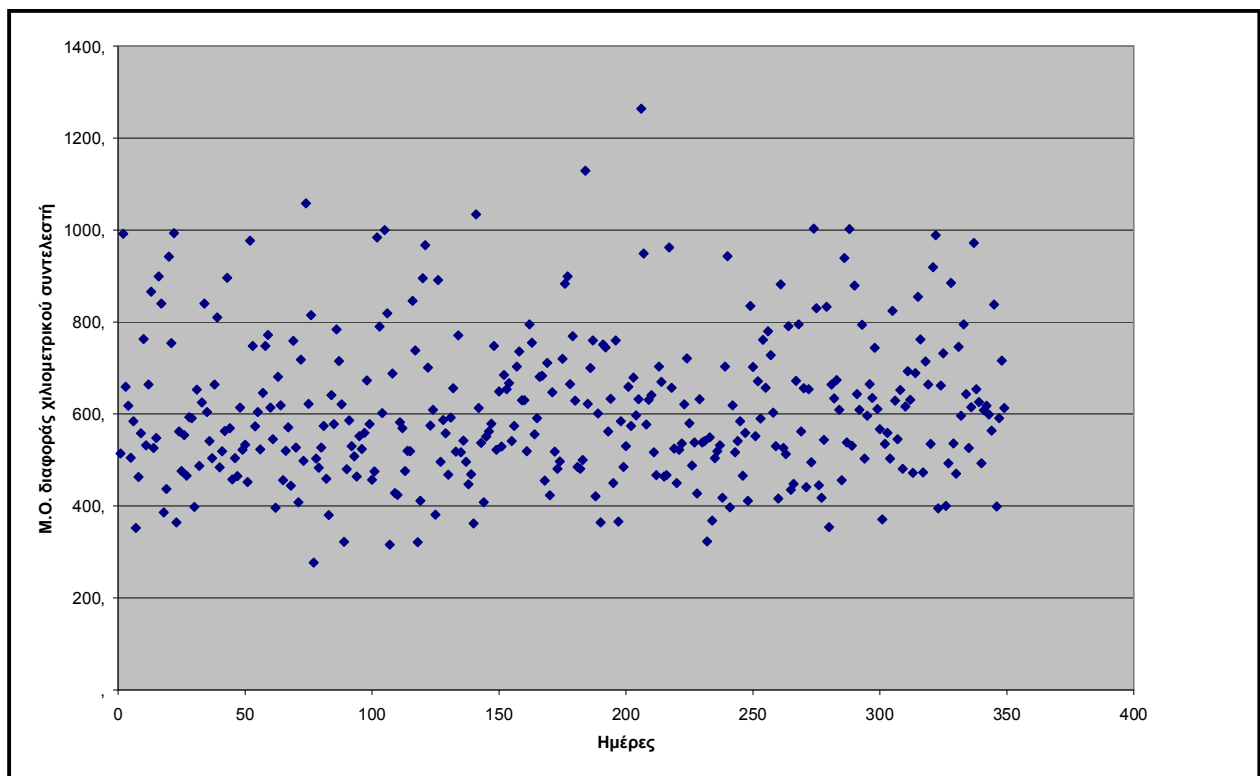
Στο Σχ.7.6 απεικονίζεται η ποιότητα όλων των πειραμάτων της ομάδας *Π3*. Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η χρήση διαφορετικής μεθόδου μετάλλαξης στους πίνακες των οχημάτων και των δρομολογίων σε συνδυασμό με εφαρμογή του ποσοστιαίου ελιτισμού σε μικρότερο ποσοστό (30%-50% του πληθυσμού) έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα λύσεων (*Π3.1*, *Π3.3*). Συγκεκριμένα η μέθοδος μετάλλαξης που χρησιμοποιήθηκε για τα οχήματα είναι μετάλλαξη ενός σημείου και για τα δρομολόγια είναι μετάλλαξη ολίσθησης. Η μετάλλαξη ολίσθησης είναι πιο αποτελεσματική για τον πίνακα των δρομολογίων καθώς επιλέγει ένα σύνολο δρομολογίων και τα μεταθέτει. Αυτό είναι πιο κοντά στη φύση του προβλήματος καθώς τα δρομολόγια μετατίθενται ομαδοποιημένα και όχι ανεξάρτητα μεταξύ τους και έτσι είναι πιο πιθανό να επιτευχθεί καλύτερη δρομολόγηση. Σε αντίθεση με τα δρομολόγια, τα οχήματα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και για το λόγο αυτό η μετάλλαξη ενός σημείου είναι πιο αποδοτική για τον πίνακα των οχημάτων.

Εκτός από τα πειράματα που αναφέρθηκαν έχουν εκτελεστεί παρόμοια πειράματα με μεγαλύτερο και μικρότερο πληθυσμό, ο οποίος εξελίχθηκε για περισσότερες ή λιγότερες γενιές. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών δεν ήταν αρκετά ικανοποιητικά και δεν θεωρήθηκε απαραίτητο να αναφερθούν.

7.4 Τελικό πείραμα

Τέλος εκτελέστηκε ένα πείραμα για τριακόσιες ημέρες έτσι ώστε να ελεγχθούν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε βάθος χρόνου. Τα προηγούμενα πειράματα είχαν σκοπό την εύρεση της κατάλληλης παραμετροποίησης η οποία οδηγεί στα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στο τελευταίο πείραμα χρησιμοποιήθηκε η παραμετροποίηση του πειράματος *Π3.1*. Για κάθε μια από τις τριακόσιες ημέρες χρησιμοποιήθηκε πληθυσμός διακοσίων (200) ατόμων, ο οποίος εξελίχθηκε για 2000 γενιές. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται για κάθε ημέρα ο μέσος όρος της διαφοράς του χιλιομετρικού συντελεστή κάθε οχήματος από το μέγιστο χιλιομετρικό

συντελεστή. Ο χιλιομετρικός συντελεστής αποτελεί ένα μέρος της συνάρτησης ποιότητας και είναι το χαρακτηριστικό της ποιότητας το οποίο έχει ιδιαίτερη σημασία σε βάθος χρόνου. Ζητούμενο είναι ο χιλιομετρικός συντελεστής όλων των οχημάτων να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα, καθώς αυτός αποτελεί μέτρο σύγκρισης της εργασίας που έχει εκτελέσει κάθε όχημα.



Σχ.7.7 Μ.Ο. διαφοράς χιλιομετρικού συντελεστή οχημάτων

Όπως γίνεται φανερό από το Σχ.7.7 οι διαφορές του χιλιομετρικού συντελεστή κυμαίνονται μεταξύ τριακοσίων (300) και χιλίων (1000) χιλιομέτρων. Οι διαφορές αυτές είναι αποδεκτές καθώς στο τέλος ενός έτους τα οχήματα έχουν εκτελέσει ένα μεγάλο αριθμό χιλιομέτρων και οι διαφορές αυτές στο συντελεστή είναι μηδαμινές.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

Ο εξελικτικός αλγόριθμος που δημιουργήθηκε επιλύει το πρόβλημα χρονοδρομολόγησης των οχημάτων μιας εταιρίας μεταφορών. Το πρόβλημα αυτό είναι όμοιο με τα κλασικά προβλήματα χρονοδρομολόγησης με κάποιες διαφοροποιήσεις. Στα περισσότερα προβλήματα χρονοδρομολόγησης τα οχήματα έχουν ένα συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης και ένα ή περισσότερα σημεία τερματισμού. Στο πρόβλημα που επιλύθηκε τα σημεία εκκίνησης και τερματισμού των δρομολογίων είναι διασκορπισμένα. Κατά τη δρομολόγηση τα οχήματα αντιμετωπίζονται διαφορετικά και όχι με τον ίδιο τρόπο, όπως στα υπόλοιπα προβλήματα χρονοδρομολόγησης. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε όχημα έχει διαφορετικούς περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Στόχος της εταιρίας είναι αφενός η μείωση του κόστους των δρομολογίων και αφετέρου δίκαιη διανομή των δρομολογίων στα οχήματα. Το κόστος των δρομολογίων μειώνεται όσο μειώνονται και τα κενά χιλιόμετρα, δηλαδή τα χιλιόμετρα που διανύουν τα οχήματα χωρίς φορτίο. Η δίκαιη διανομή των δρομολογίων εκφράζεται μέσω του χιλιομετρικού συντελεστή ο οποίος εκφράζει τον αριθμό των χιλιομέτρων που έχουν διανύσει τα οχήματα σε συνδυασμό με τη δυσκολία των δρομολογίων που έχουν εκτελέσει.

Ο εξελικτικός αλγόριθμος που αναπτύχθηκε αποδείχθηκε ότι είναι ικανός να δημιουργήσει μια ικανοποιητική δρομολόγηση των οχημάτων, με την οποία ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί και εξυπηρετούνται όλοι οι πελάτες. Αναπτύχθηκαν διαφορετικές μέθοδοι αρχικοποίησης του πληθυσμού, διαφορετικοί τελεστές μετάλλαξης και τύποι ελιτισμού. Στη συνέχεια αναλύεται ο καταλληλότερος συνδυασμός αυτών των μεθόδων και τελεστών για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Η μέθοδος αρχικοποίησης που χρησιμοποιήθηκε δημιουργεί λύσεις οι οποίες είναι εφικτές έχοντας λάβει υπόψη τα σημεία εκκίνησης των δρομολογίων και των οχημάτων

έτσι ώστε να μειωθούν τα κενά χιλιόμετρα. Με τον τρόπο αυτό ο αρχικός πληθυσμός αποτελείται από ποιοτικότερες λύσεις και έτσι ο αλγόριθμος είναι ικανός να βρει μια καλή λύση συντομότερα. Με τη μέθοδο αυτή η τυπική απόκλιση της ποιότητας των λύσεων είναι μικρότερη και από αυτό συμπεραίνουμε ότι όλα τα άτομα του πληθυσμού κινούνται ποιοτικότερες λύσης και η εύρεση της καλύτερης λύσης δεν είναι τυχαία.

Οι τύποι ελιτισμού που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο. Ο πρώτος τύπος ελιτισμού είναι ο απλός ελιτισμός όπου το καλύτερο άτομο κάθε γενιάς περνάει στην επόμενη, ώστε να μην χάνεται η καλύτερη λύση. Ο δεύτερος τύπος ελιτισμού εφαρμόζεται μετά τη μετάλλαξη και τη δημιουργία ενός νέου ατόμου και στην επόμενη γενιά περνάει το άτομο με την καλύτερη ποιότητα μεταξύ γονέων και παιδιού. Ο ελιτισμός αυτό εφαρμόζεται σε ένα ποσοστό του πληθυσμού, για αυτό και ονομάζεται ποσοστιαίος ελιτισμός και το καταλληλότερο ποσοστό αποδείχθηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ του τριάντα με πενήντα τοις εκατό (30%-50%). Αυτό βοηθάει τις λύσεις με καλύτερη ποιότητα να επιβιώσουν για περισσότερες από μια γενιές ώστε να εμπλουτίζεται το γενετικό υλικό του πληθυσμού.

Ο τελεστής ανασυνδυασμού που χρησιμοποιήθηκε είναι ενός σημείου και μετά τον ανασυνδυασμό γίνεται διόρθωση του ατόμου ώστε να είναι εξυπηρετούνται όλοι οι πελάτες ακριβώς μια φορά από ένα όχημα. Ο τελεστής μετάλλαξης που χρησιμοποιήθηκε για τον πίνακα των οχημάτων αλλάζει τη θέση δύο τυχαίων γονιδίων, ενώ για τα δρομολόγια χρησιμοποιήθηκε μετάλλαξη ολίσθησης. Η μετάλλαξη αυτή είναι καταλληλότερη για τον πίνακα των δρομολογίων καθώς μεταθέτει ένα σύνολο δρομολογίων και αυτό είναι πιο κοντά στη φύση του προβλήματος επειδή τα δρομολόγια είναι ομαδοποιημένα και όχι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Δύο παράμετροι βελτίωσης του εξελικτικού αλγόριθμου είναι εύρεση διαφορετικού τελεστή ανασυνδυασμού και μεθόδου αρχικοποίησης.

Βιβλιογραφία

- [1] Klaus Dorer, Monique Calisti (2005): "An Adaptive solution to dynamic transport optimization". *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, ACM New York. pp. 45 - 51
- [2] Sam R. Thangiah, Olena Shmygelska, William Mennell (2001): "An agent architecture for vehicle routing problems" *Proceedings of the 2001 ACM symposium on Applied computing* ACM New York, NY. pp. 517-521
- [3] B. L. Golden, T. L. Magnanti, H. Q. Nguyen (1977): "Implementing vehicle routing algorithms". *Networks* Vol. 7, pp. 113-148
- [4] Claudia Archetti, Martin W. P. Savelsbergh, M. Grazia Speranza (2008): "An optimization-Based heuristic for the Split Delivery vehicle routing problem". *TRANSPORTATION SCIENCE* Vol. 42, No. 1 pp. 22-31.
- [5] Gilbert Laporte (1992): "The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms". *European Journal of Operational Research*. Vol. 59 Issue 3, pp.345-358
- [6] Sin C. Ho, Dag Haugland (2004): "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split

- deliveries". *Computers & Operations Research*, Volume 31, pp.1947-1964.
- [7] Leonora Bianchi, Mauro Birattari, Marco Chiarandini, Max Manfrin, Modaldo Mastrolilli, Luis Paquete, Olivia Rossi-Doria, Tommazo Schiavinotto (2004): "Metaheuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands". *PPSN 2004: Birmingham*, pp.450-460
- [8] F. Alonso, M. J. Alvarez, J. E. Beasley (2008): "A tabu search algorithm for the periodic vehicle routing problem with multiple vehicle trips and accessibility restrictions". *Journal of the Operational Research Society* vol.59, pp.963-976
- [9] H. Timucin Ozdemir, Chilukuri K. Mohaan (2000): "Evolving schedule graphs for the vehicle routing problem with time windows" , Vol. 2, pp. 888-895
- [10] M. J. R. Ebben, M. C. van der Heijden, A. van Harten. "Dynamic resource-constrained vehicle scheduling". *European Journal of Operational Research*, Volume 167, Issue 2, ELSEVIER pp. 320-335
- [11] Asvin Goel, Volker Gruhn. "Large neighborhood search for the rich VRP with multiple pickup and delivery locations". *Proceedings of the 18th Mini Euro Conference on Variable Neighborhood Search (MECVNS 2005)*, Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain

- [12] Asvin Goel, Volker Gruhn (2005): "Solving a dynamic real-life vehicle routing problem". *Operations Research Proceedings 2005*, Springer Berlin Heidelberg pp. 367-372
- [13] Wan-Rong Jin, Jane Yung-Jen Hsu (2004): "A family competition genetic algorithm for the pickup and delivery problems with time window". *Bulletin of the College of Engineering, N. T.U.*, No.90, pp.88-98
- [14] Enrique Alba, Bernarde Dorronsoro (2004): "Solving the vehicle routing problem by using Cellular genetic algorithms". *Lecture Notes in Comput. Sci.*, vol. 3004, Springer-Verlag, Berlin pp. 11-20.
- [15] Penousal Machado, Jorge Tavares, Fransisco B. Pereira, Ernesto Costa (2002): "Vehicle routing problem: Doing it the evolutionary way". Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA.
- [16] K. L. Mak, Z. G. Guo (2004): "A genetic algorithm for vehicle routing problem with stochastic demand and soft time windows". *Systems and Information Engineering Design Symposium Volume , Issue , 16-16 April 2004 Charlottesville, VA*, pp.183 - 190

Παράρτημα

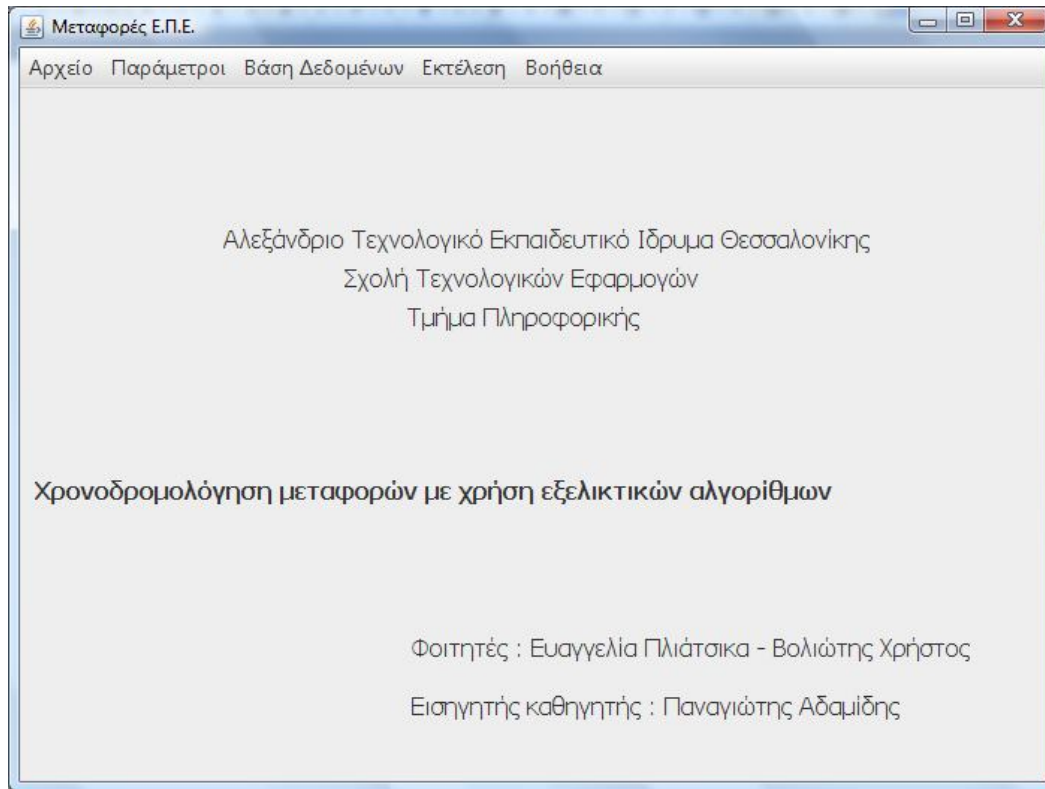
Εγχειρίδιο χρήσης

Παρακάτω παρουσιάζεται το εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής. Η εφαρμογή κάνει χρήση βάσης δεδομένων, για τη σύνδεση της εφαρμογής με τη βάση θα πρέπει να είναι εγκατεστημένη μια βάση δεδομένων. Η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιεί *PostgreSQL*. Για να εκτελεστεί η εφαρμογή απαιτεί την ύπαρξη *Java(TM) Platform, Standard Edition Runtime Environment (JRE)*. Επίσης, η εφαρμογή δημιουργεί αρχεία τύπου *Excel (*.xls)* και έχει τη δυνατότητα να διαβάζει δεδομένα από αρχεία τύπου *Excel*.

Για τη σύνδεση με τη βάση δεδομένων από τον Πίνακα Ελέγχου→Εργαλεία Διαχείρισης → Αρχεία Προέλευσης Δεδομένων (ODBC). Στο μενού που εμφανίζεται προσθέστε ένα Πρόγραμμα Οδήγησης για την *PostgreSQL* με το όνομα που επιθυμείτε να χρησιμοποιήσετε.

Αρχικό μενού

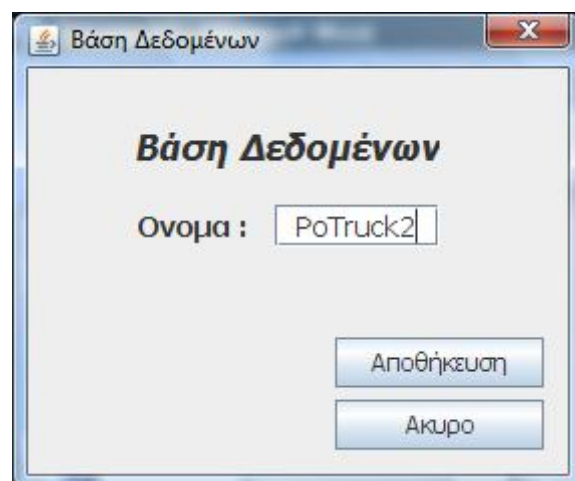
Στην *Εικόνα 1* παρουσιάζεται το αρχικό μενού της εφαρμογής. Στη γραμμή μενού εμφανίζονται όλες οι δυνατές επιλογές, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 1 Αρχικό μενού

Επιλογή βάσης δεδομένων

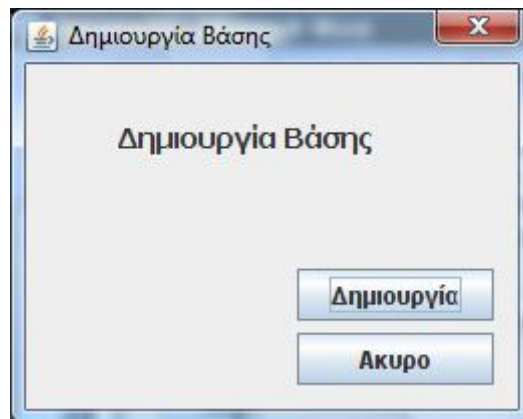
Αρχικά θα επιλέξουμε το πρόγραμμα οδήγησης της βάσης δεδομένων. Για την επιλογή το προγράμματος οδήγησης από το αρχικό μενού επιλέξτε *Παράμετροι* → *Βάση Δεδομένων*. Στο πεδίο "Όνομα" εισάγετε το όνομα του προγράμματος οδήγησης που έχετε δημιουργήσει και πατήστε "Αποθήκευση".



Εικόνα 2 Επιλογή βάσης δεδομένων

Δημιουργία βάσης δεδομένων

Όταν η βάση δεδομένων είναι κενή θα πρέπει να αρχικοποιηθεί. Από το αρχικό μενού επιλέξτε *Βάση Δεδομένων* → *Δημιουργία Βάσης*.

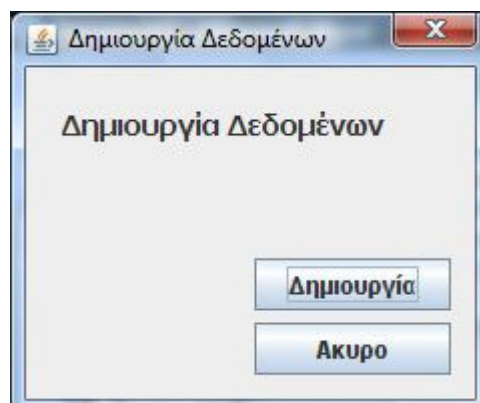


Εικόνα 3 Δημιουργία νέας βάσης δεδομένων

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 3) επιλέξτε δημιουργία για να δημιουργηθεί μια νέα βάση.

Δημιουργία δεδομένων

Όταν η βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί δεν περιέχει δεδομένα αυτά μπορούν να δημιουργηθούν από το μενού *Βάση Δεδομένων* → *Δημιουργία Δεδομένων*.



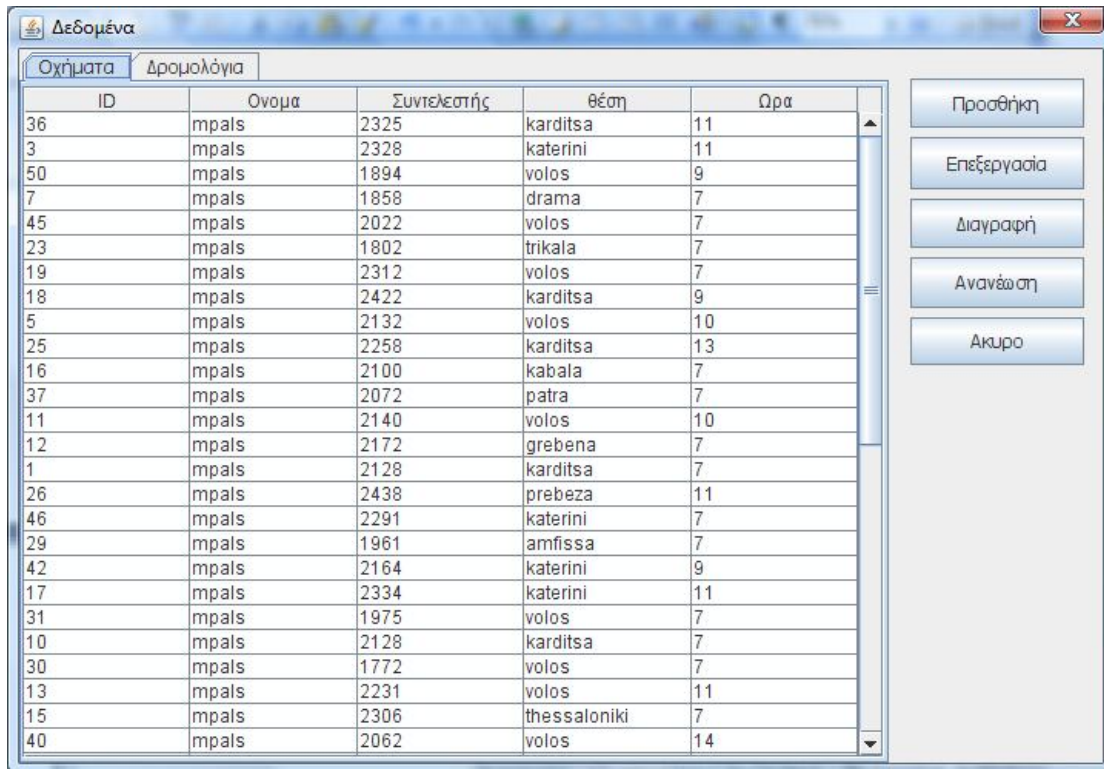
Εικόνα 4 Δημιουργία δεδομένων

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 4) επιλέξτε δημιουργία για να δημιουργηθούν τα νέα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά δημιουργούνται αυτόματα από έναν αλγόριθμο, κάθε

Χρονοδρομολόγηση μεταφορών με εξελικτικούς αλγορίθμους

φορά είναι διαφορετικά και βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων χειροκίνητα, η επιλογή αυτή παρουσιάζεται παρακάτω.

Διαχείριση δεδομένων



ID	Όνομα	Συντελεστής	Θέση	Ώρα
36	mpals	2325	karditsa	11
3	mpals	2328	katerini	11
50	mpals	1894	volos	9
7	mpals	1858	drama	7
45	mpals	2022	volos	7
23	mpals	1802	trikala	7
19	mpals	2312	volos	7
18	mpals	2422	karditsa	9
5	mpals	2132	volos	10
25	mpals	2258	karditsa	13
16	mpals	2100	kabala	7
37	mpals	2072	patra	7
11	mpals	2140	volos	10
12	mpals	2172	grebena	7
1	mpals	2128	karditsa	7
26	mpals	2438	prebeza	11
46	mpals	2291	katerini	7
29	mpals	1961	amfissa	7
42	mpals	2164	katerini	9
17	mpals	2334	katerini	11
31	mpals	1975	volos	7
10	mpals	2128	karditsa	7
30	mpals	1772	volos	7
13	mpals	2231	volos	11
15	mpals	2306	thessaloniki	7
40	mpals	2062	volos	14

Εικόνα 5 Διαχείριση δεδομένων

Για τη διαχείριση των δεδομένων της βάσης επιλέξτε από το αρχικό μενού *Βάση Δεδομένων* → *Δεδομένα*. Στην Εικόνα 5 εμφανίζεται το μενού διαχείρισης δεδομένων. Στην καρτέλα "Οχήματα" εμφανίζονται όλα τα τρέχοντα δεδομένα σχετικά με τα οχήματα. Επίσης υπάρχουν κουμπιά επιλογών. Επιλέγοντας "Προσθήκη" εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα εισαγωγής (Εικόνα 6).

ονομα	xlm	thesi	ora

Πόλεις

Εισαγωγή

Ακυρο

Εικόνα 6 Εισαγωγή νέου οχήματος

Συμπληρώστε τα πεδία με τα αντίστοιχα στοιχεία. Στο πεδίο "thesi" εισάγετε τον κωδικό της πόλης στην οποία βρίσκεται το όχημα. Η αντιστοίχιση των πόλεων με τους κωδικούς εμφανίζεται πατώντας το κουμπί "Πόλεις". Για να καταχωρηθεί η εισαγωγή πατήστε "Εισαγωγή". Επιλέγοντας "Επεξεργασία", αφού επιλέξετε στη γραμμή που επιθυμείτε να επεξεργαστείτε, εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα εισαγωγής (Εικόνα 7).

ID	ονομα	xlm	thesi	ora
23	mpals	1802	trikala	7

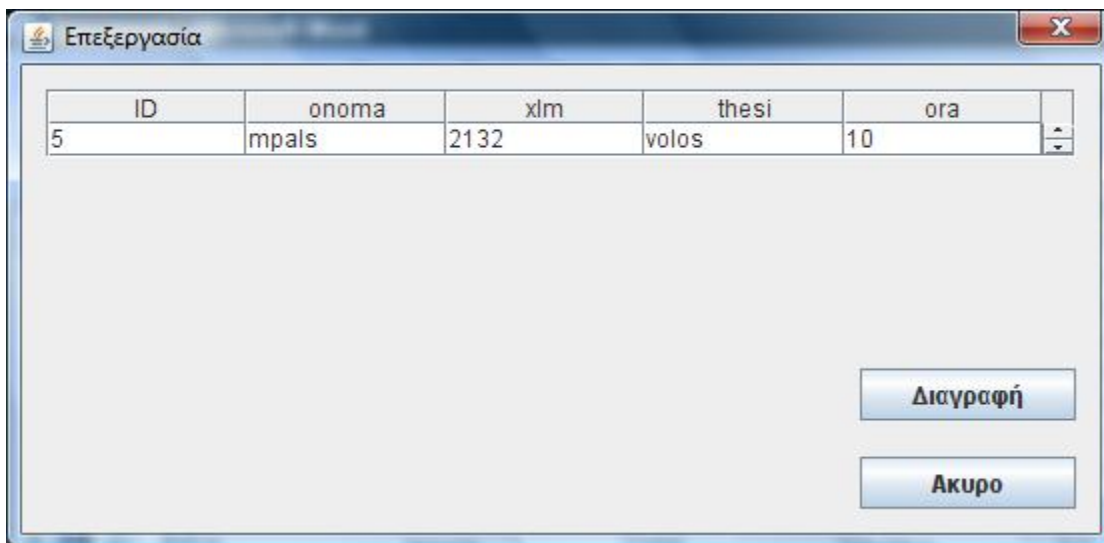
Πόλεις

Αποθήκευση

Ακυρο

Εικόνα 7 Επεξεργασία δεδομένων

Επεξεργαστείτε τα πεδία που επιθυμείτε. Πατώντας το κουμπί "Πόλεις" εμφανίζεται η αντιστοίχιση των πόλεων με τους κωδικούς τους. Για να καταχωρηθεί η εισαγωγή πατήστε "Αποθήκευση". Επιλέγοντας "Διαγραφή", αφού επιλέξετε στη γραμμή που επιθυμείτε να διαγράψετε, εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα διαγραφής (Εικόνα 8). Για να διαγραφεί η αντίστοιχη εγγραφή πατήστε "Διαγραφή".



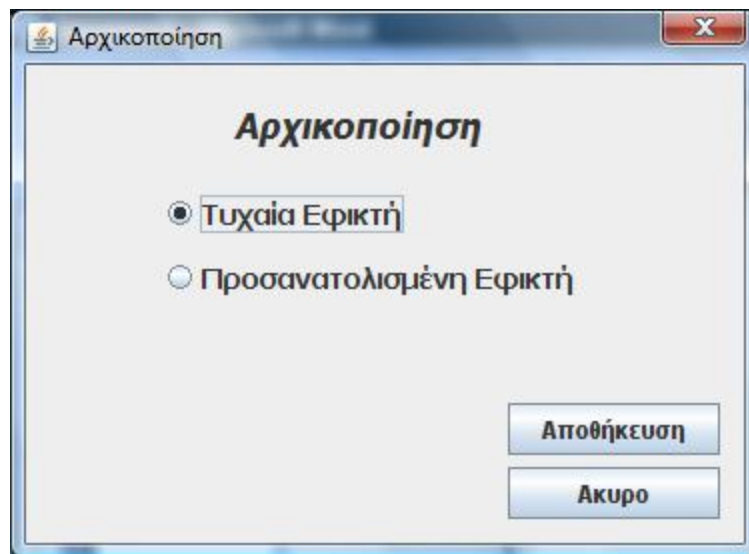
Εικόνα 8 Διαγραφή δεδομένων

Εάν έχουν γίνει αλλαγές στα δεδομένα, επιλέξτε "Ανανέωση" για εμφάνιση των στοιχείων στην καρτέλα.

Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και η επεξεργασία των στοιχείων των δρομολογίων από την αντίστοιχη καρτέλα "Δρομολόγια".

Αρχικοποίηση

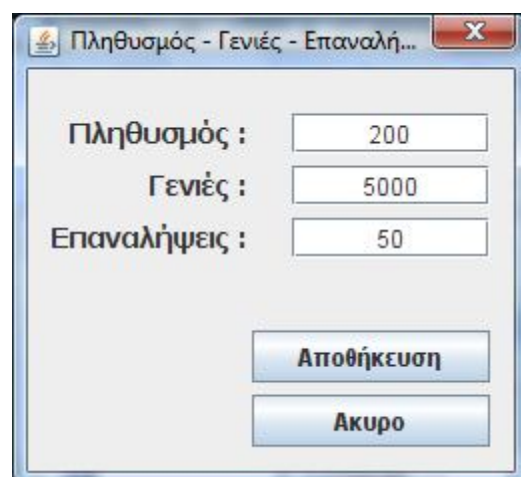
Για να επιλέξετε τη μέθοδο αρχικοποίησης που επιθυμείτε από το αρχικό μενού επιλέξτε *Παράμετροι* → *Αρχικοποίηση*. Στη φόρμα που εμφανίζεται (Εικόνα 9) επιλέξτε μια από τις δύο μεθόδους και πατήστε "Αποθήκευση" για να καταχωρηθεί η επιλογή.



Εικόνα 9 Επιλογή μεθόδου αρχικοποίησης

Παράμετροι πληθυσμού

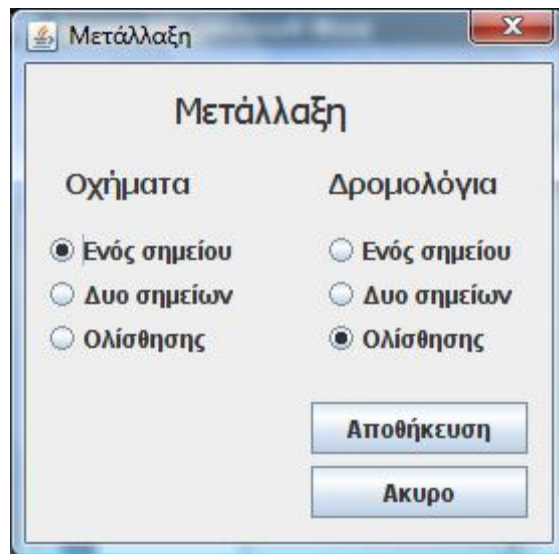
Για να διαμορφώσετε τις παραμέτρους του πληθυσμού από το αρχικό μενού επιλέξτε *Παράμετροι* → *Πληθυσμός*. Στη φόρμα που εμφανίζεται (Εικόνα 10) εισάγετε το πλήθος των ατόμων του πληθυσμού στο πεδίο "Πληθυσμός", τον αριθμό των γενιών στο πεδίο "Γενιές" και το πλήθος των επαναλήψεων που θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος στο πεδίο "Επαναλήψεις". Για να καταχωρηθεί η επιλογή πατήστε "Αποθήκευση".



Εικόνα 10 Παράμετροι πληθυσμού

Μετάλλαξη

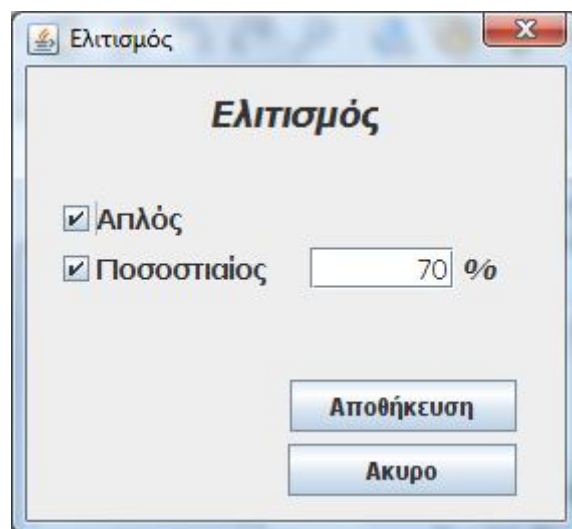
Για να επιλέξετε τη μέθοδο μετάλλαξης που επιθυμείτε από το αρχικό μενού επιλέξτε *Παράμετροι* → *Μετάλλαξη*. Στη φόρμα που εμφανίζεται επιλέξτε μέθοδο μετάλλαξης για τα οχήματα και τα δρομολόγια. Για να καταχωρηθεί η επιλογή πατήστε "Αποθήκευση".



Εικόνα 11 Μέθοδοι μετάλλαξης

Ελιτισμός

Για να επιλέξετε τύπο ελιτισμού από το αρχικό μενού επιλέξτε *Παράμετροι* → *Ελιτισμός*. Στη φόρμα που εμφανίζεται (Εικόνα 12) επιλέξτε τον τύπο ελιτισμού που επιθυμείτε. Αν επιλέξετε Ποσοστιαίο Ελιτισμό είναι δυνατό να επιλέξετε και το ποσοστό του πληθυσμού στο οποίο εφαρμόζετε. Για να καταχωρηθεί η επιλογή πατήστε "Αποθήκευση".



Εικόνα 12 Τύποι ελιτισμού

Προεπισκόπηση παραμέτρων

Για να ελέγξετε τις παραμέτρους που έχετε επιλέξει από το αρχικό μενού επιλέξτε Παράμετροι → Προεπισκόπηση. Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 13) μπορείτε να δείτε συγκεντρωτικά τις παραμέτρους που έχετε επιλέξει.

Πληθυσμός		Αρχικοποίηση	
Πληθυσμός :	200	Τυχαία εφικτή :	Ναι
Γενιές :	5000	Προσανατολισμένη εφικτή :	Όχι
Επαναλήψεις :	50		

Μετάλλαξη		Βάση Δεδομένων	
Οχήματα :	Ενός σημείου	Όνομα :	PoTruck2
Δρομολόγια :	Μεταφοράς		

Ελιπισμός	
Απλός :	Ναι
Ποσοστιαίος :	Ναι --> 70%

Εκτέλεση
Κλείσιμο

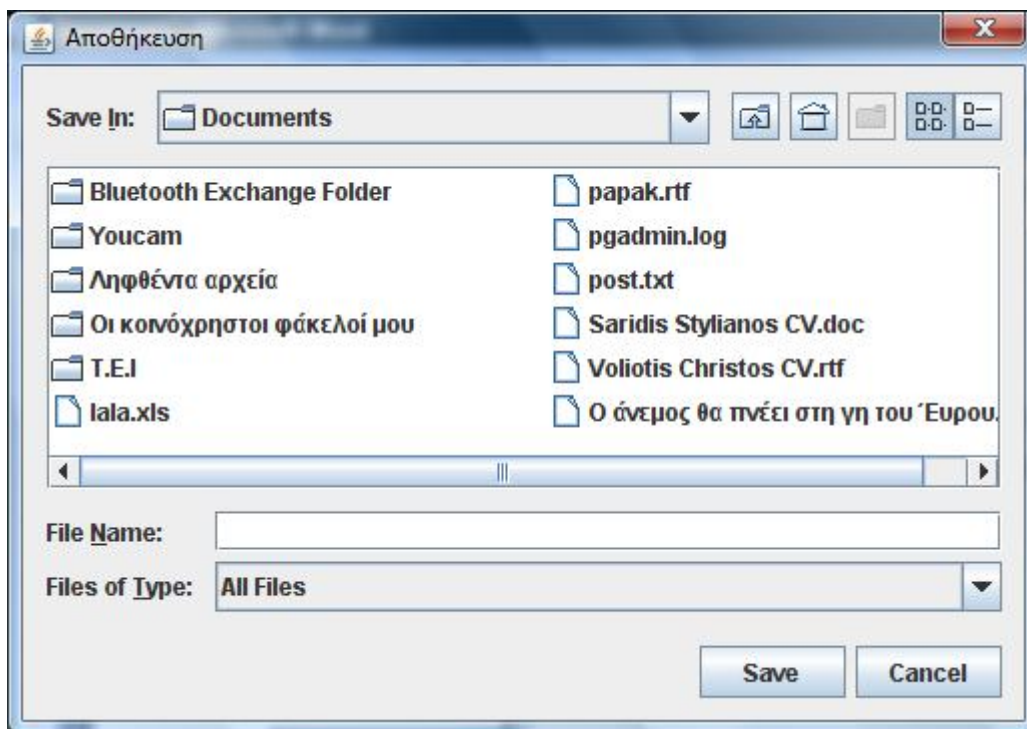
Εικόνα 13 Προεπισκόπηση

Αποθήκευση παραμέτρων σε αρχείο

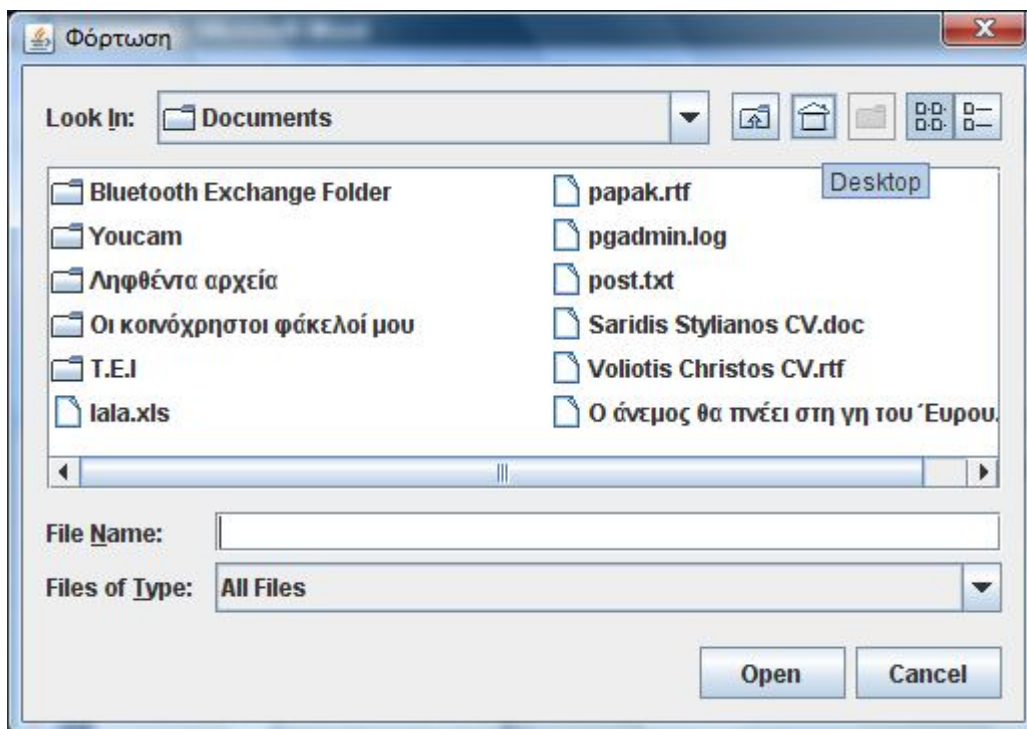
Για να αποθηκεύσετε τις παραμέτρους που έχετε επιλέξει σε αρχείο από το αρχικό μενού επιλέξτε *Αρχείο* → *Αποθήκευση παραμέτρων* (Εικόνα 14). Στο φάκελο που θα επιλέξετε θα αποθηκευθούν και τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Οι παράμετροι αποθηκεύονται σε αρχείο Excel, στο όνομα του αρχείου δε χρειάζεται να συμπληρώσετε την κατάληξη (.xls).

Φόρτωση παραμέτρων από αρχείο

Για να φορτώσετε τις παραμέτρους που επιθυμείτε από το αρχικό μενού επιλέξτε *Αρχείο* → *Φόρτωση παραμέτρων* (Εικόνα 15).



Εικόνα 14 Αποθήκευση παραμέτρων



Εικόνα 15 Φόρτωση παραμέτρων

Εκτέλεση αλγορίθμου

Για να εκτελέσετε τον αλγόριθμο από το αρχικό μενού επιλέξτε *Εκτέλεση* → *Εκτέλεση*. Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 16) μπορείτε να δείτε όλες τις παραμέτρους που έχετε επιλέξει. Για εκτέλεση πατήστε το κουμπί "Εκτέλεση".

The screenshot shows a dialog box titled "Προεπισκόπηση" (Preview) with a close button in the top right corner. The dialog is divided into several sections for parameter configuration:

- Πληθυσμός** (Population):
 - Πληθυσμός : 200
 - Γενιές : 5000
 - Επαναλήψεις : 50
- Αρχικοποίηση** (Initialization):
 - Τυχαία εφικτή : Ναι
 - Προσανατολισμένη εφικτή : Όχι
- Μετάλλαξη** (Mutation):
 - Οχήματα : Ενός σημείου
 - Δρομολόγια : Μεταφοράς
- Βάση Δεδομένων** (Database):
 - Όνομα : PoTruck2
- Ελιπισμός** (Elitism):
 - Απλός : Ναι
 - Ποσοστιαίος : Ναι --> 70%

At the bottom right of the dialog, there are two buttons: "Εκτέλεση" (Execute) and "Κλείσιμο" (Close).

Εικόνα 16 Εκτέλεση