



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική εργασία

*ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ*

TABU search algorithm for Vehicle Routing Problems



Παπαδομαρκάκης Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης

Χανιά 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Ευχαριστίες</u>	3
<u>Περίληψη</u>	5
<u>Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγικά</u>	6
<u>1.1 Εισαγωγή</u>	6
<u>1.2 Εφοδιαστική Αλυσίδα(Supply Chain)</u>	7
<u>1.3 Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας/Logistics</u>	7
<u>1.4 Στόχοι της Εφοδιαστικής Αλυσίδας</u>	9
<u>Κεφάλαιο 2^ο : Μεταφορές και Διανομή</u>	11
<u>2.1 Μεταφορές και Διανομή (εισαγωγικά)</u>	12
<u>2.2 Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP)</u>	15
<u>2.3 Κατηγορίες Προβλημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων</u>	18
<u>Κεφάλαιο 3^ο : Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων</u>	22
<u>3.1 Επίλυση προβλημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων</u>	22
<u>3.2.1 Ευρετικοί Αλγόριθμοι</u>	22
<u>3.2.2 Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα</u>	23
<u>3.2.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης exchange/relocate</u>	25
<u>3.2.3.1 Αλγόριθμος Relocate</u>	25
<u>3.2.3.2 Αλγόριθμος Exchange</u>	26
<u>3.3.2 Αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search</u>	28
<u>3.3.3 Εντατικοποίηση – Διαφοροποίηση</u>	30
<u>Κεφάλαιο 4^ο : Μοντελοποίηση προβλημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων</u>	32
<u>4.1 Περιγραφή, μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων</u>	32
<u>4.2 Πλησιέστερος Γείτονας</u>	36
<u>4.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης Exchange/Relocate</u>	37
<u>4.4 Αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search</u>	39
<u>4.5 Στρατηγικές Εντατικοποίησης – Διαφοροποίησης</u>	42

<u>Κεφάλαιο 5^ο : Αποτελέσματα – Συμπεράσματα και σχολιασμοί.....</u>	<u>47</u>
<u>5.1 Αποτελέσματα προγράμματος TABU SEARCH/VRP.....</u>	<u>47</u>
<u>5.2 Συμπεράσματα και σχολιασμοί.....</u>	<u>61</u>

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τώρα που φτάσαμε στο τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα τον καθηγητή μου κύριο Ιωάννη Μαρινάκη που μου εμπιστεύτηκε την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τόσο η διεκπεραίωσή αυτής όσο και οι γνώσεις που απορρόφησα από τα μαθήματά του, μου έχουν δώσει μία κατεύθυνση για τα επόμενα βήματα .

Επιπλέον θα ήθελα να χαιρετήσω όλα τα άτομα που γνώρισα μέσω των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης μου, τα οποία αποτέλεσαν και αποτελούν κομμάτι της ζωής μου.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω και να αφιερώσω την παρούσα διπλωματική εργασία στην μητέρα μου Δήμητρα και στον πατέρα μου Πέτρο που με στηρίζουν, με ανέχονται και έχουν κάνει τόσες θυσίες για την μόρφωσή μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο τομέας της Εφοδιαστικής Αλυσίδας τις τελευταίες δεκαετίες έχει γνωρίσει ραγδαία εξέλιξη. Τόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας όσο και η παγκοσμιοποίηση έχουν φέρει τις αγορές πολύ κοντά. Για να καταφέρει να διατηρηθεί μία εταιρεία σε ανταγωνιστικό περιβάλλον, να αυξήσει τα κέρδη της και να θεωρείται βιώσιμη είναι αναγκαίο να έχει ένα οργανωμένο σύνολο δραστηριοτήτων εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι μεταφορές και η διανομή τόσο προϊόντων προς διάθεση όσο και πληροφοριών έχουν σημαντικό συντελεστή για την σωστή ανάπτυξη μίας εταιρείας ή οργανισμού. Μεγάλη δραστηριότητα πλέον παρατηρείται και στην διαχείριση στόλων. Τα μέσα μεταφοράς αποτελούν ένα μεγάλο κεφάλαιο για τον κόσμο των μεταφορών και διανομών καθώς αποτελούν μεγάλο μέρος των εξόδων των εταιρειών και συνεπώς η διαχείρισή τους πρέπει συνεχώς να βελτιστοποιείται. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχολούμαστε με προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (VRP- vehicle routing problems) περιορισμένης χωρητικότητας και περιορισμένου χρόνου παραμονής στην διαδρομή του οχήματος. Δεδομένου ενός συνόλου πελατών – κόμβων που ο καθ' ένας έχει την δική του ζήτηση και όντας γεωγραφικά διάσπαρτοι προσπαθούμε μέσω αλγοριθμικών διαδικασιών να προσεγγίσουμε την βέλτιστη σειρά εξυπηρέτησής τους. Κάθε όχημα μπορεί να επισκεφτεί μονάχα μία φορά τον κάθε πελάτη και τα μήκη που διανύουν τα οχήματα σε κάθε φάση της εξυπηρέτησης αποτελούν το κόστος της συνολικής διαδικασίας. Οι αλγόριθμοι και οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται είναι τόσο ευρετικοί όσο και μεθευρετικοί αλγόριθμοι. Αρχικά μέσω του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα (NN – nearest neighbour) χτίζεται μία αρχική εφικτή λύση. Στην συνέχεια, μέσω των τοπικών αναζητήσεων των *relocate* και *exchange* γίνεται μία αρχική προσπάθεια να βελτιωθεί η αρχική λύση. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της περιορισμένης αναζήτησης *Tabu Search* σε συνδυασμό με τις στρατηγικές της εντατικοποίησης (*intensification*) και της διαφοροποίησης (*diversification*) δίνουμε στην λύση μας την τελική της μορφή προσπαθώντας να ξεφύγουμε από τοπικά ελάχιστα στα οποία έχει παγιδευτεί ο αλγόριθμός μας. Ο κώδικας έχει συνταχτεί στο προγραμματιστικό περιβάλλον της *Matlab*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° : Εισαγωγικά

1.1 Εισαγωγή

21^{ος} αιώνας! Οι πληροφορίες και τα δεδομένα πιο πολλά από ποτέ! Οι πελάτες καθώς και η ζήτηση αυξάνονται, ο χρόνος δεν περισεύει σε κανέναν! Η ταυτόχρονη επίδραση της πληροφοριακής τεχνολογίας και των παγκόσμιων οικονομικών ροών σε συνδυασμό με την απελευθέρωση της αγοράς, τις ιδιωτικοποιήσεις, την παγκόσμια οικονομική αγορά και την μείωση των φραγμών στο εμπόριο έχουν οδηγήσει σήμερα τις εταιρείες να προμηθεύονται, να παράγουν, να διανέμουν και να πωλούν τα προϊόντα τους σε παγκόσμια βάση. Επιπλέον η παγκοσμιοποίηση έχει θέσει και αυτή τους όρους της. Ειδικότερα στον χώρο της βιομηχανίας καταναλωτικών αγαθών οι πολιτικές παραγωγής και διανομής που εφαρμόζονται δεν είναι πλέον αποδοτικές, ο αριθμός των προσφερόμενων προϊόντων έχει αυξηθεί την στιγμή που ο κύκλος ζωής τους συνεχώς μειώνεται ενώ οι πελάτες προσδοκούν στιγμιαία εξυπηρέτηση ή ακριβώς ορισμένο χρόνο εξυπηρέτησής τους. Εύκολα λοιπόν γίνεται κατανοητό πως εταιρείες και οργανισμοί που δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις παραπάνω δυσκολίες – προκλήσεις σίγουρα θα συναντήσουν δυσκολίες ανάπτυξης και βιωσιμότητας μέσα στην σύγχρονη οικονομία.

1.2 Εφοδιαστική Αλυσίδα (Supply Chain)

Σε αυτό το σημείο εισάγεται ο ορισμός της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain). Σύμφωνα με τον Gattorna (1997) εφοδιαστική αλυσίδα είναι η διαδικασία της στρατηγικής διαχείρισης της απόκτησης, μεταφοράς και αποθήκευσης υλικών, εξαρτημάτων και τελικών προϊόντων καθώς και της σχετικής ροής πληροφοριών μέσα σε ένα οργανισμό και στα κανάλια προώθησης στην αγορά ώστε να εκτελεστούν οι παραγγελίες με το δυνατόν λιγότερο κόστος.

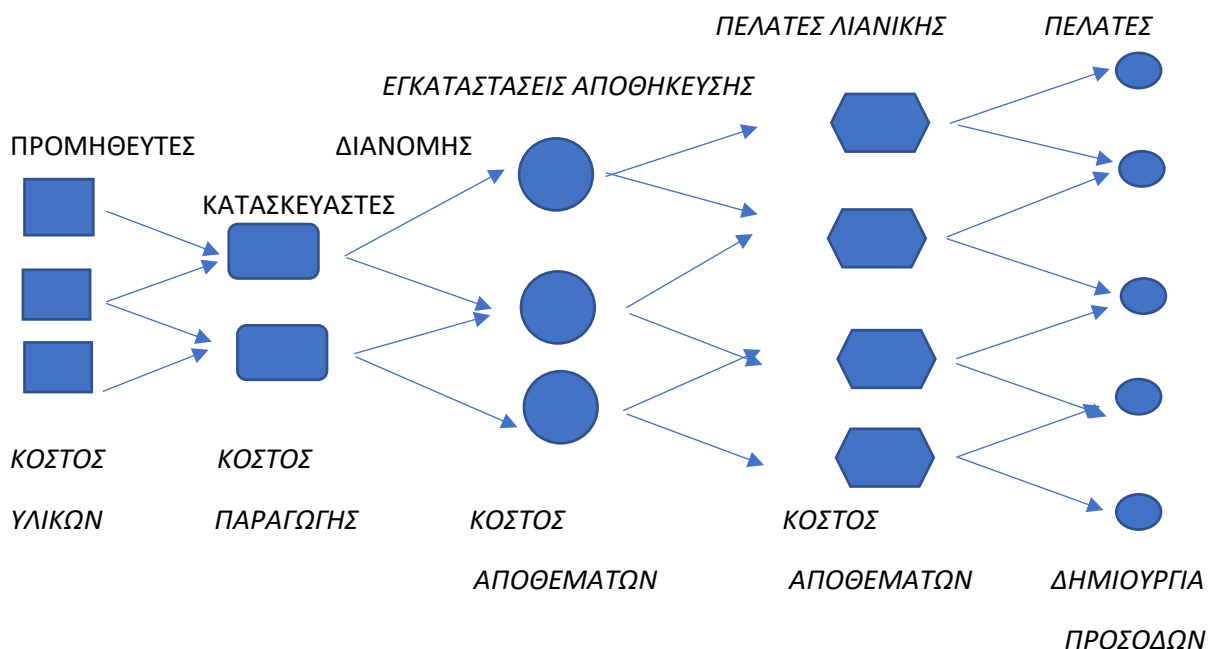
Ένας άλλος παραπλήσιος ορισμός σύμφωνα με το Council of Supply Management Professionals (2008) είναι πως η Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας αναφέρεται στον σχεδιασμό και στη διαχείριση όλων των ενεργειών – δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις διαδικασίες προμήθειας, την παραγωγή – μεταποίηση και όλες τις δραστηριότητες των logistics. Επιπλέον συμπεριλαμβάνει το συντονισμό και την συνεργασία με όλους τους εταίρους του καναλιού εφοδιασμού που μπορεί να είναι μεσάζοντες, προμηθευτές εταιρείες παροχής υπηρεσιών και πελάτες.

Συνειδητοποιούμε λοιπόν ότι η Εφοδιαστική Αλυσίδα εκτός από όλα τα παραπάνω αποτελεί πολύ βασικό όπλο στρατηγικής και κατέχει μεγάλη βαρύτητα στον σχεδιασμό του μάνατζμεντ κάθε επιχείρησης καθώς ασχολείται ουσιαστικά με τον σχεδιασμό και την υλοποίηση αποφάσεων και την στρατηγική ενός οργανισμού, λαμβάνοντας υπόψη μοντέλα και τεχνικές λήψης αποφάσεων, τη σύγχρονη

τεχνολογία της πληροφορικής των τηλεπικοινωνιών και το επιχειρησιακό περιβάλλον.

1.3 Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας/Logistics

Μία εφοδιαστική αλυσίδα (supply chain) ή ένα δίκτυο εφοδιαστικής (logistics network) συντίθεται από όλα τα στάδια που εμπλέκονται άμεσα ή έμμεσα στην ικανοποίηση του πελάτη. Κάποια από αυτά τα μέρη όπως μπορούμε να δούμε παρακάτω στο σχήμα είναι οι κατασκευαστές, οι προμηθευτές, οι χώροι αποθήκευσης και τα κέντρα διανομών, μεταφορείς και πελάτες.



Σχήμα 1°.Απεικόνιση σταδίων Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Επίσης, από το σχήμα βλέπουμε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα λαμβάνει υπόψιν της όλα τα έξοδα που δημιουργούνται σε κάθε στάδιο της καθώς και τα δημιουργούμενα έσοδα. Αυτά τα κριτήρια είναι πολύ σημαντικά για την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας και είναι κατά κύριο λόγο τα εξής:

-ολικό κόστος

-ολικό κέρδος

-ο χρονικός κύκλος

Όπως προδίδουν και οι όροι, το ολικό κόστος αποτελεί το πόσο κόστισε η όλη διαδικασία και η ελαχιστοποίηση αυτού είναι το πρώτο ζητούμενο κατά την σχεδίαση της διαδικασίας. Το ολικό κέρδος αναφέρεται στο ολικό κέρδος που πρέπει να διανεμηθεί κατά μήκος της αλυσίδας και ο χρονικός κύκλος είναι ο συνολικός χρόνος για να ολοκληρωθεί η διαδικασία από το στάδιο των πρώτων υλών έως την παράδοση του έτοιμου προϊόντος στον πελάτη.

Προφανώς και ένα τόσο περίπλοκο σύστημα σχεδίασης Εφοδιαστικής Αλυσίδας απαιτεί την λήψη αποφάσεων που αφορούν την ροή των υλικών, των πληροφοριών και τον κεφαλαίων που εμπλέκονται στην διαδικασία. Οι αποφάσεις της κάθε Εφοδιαστικής Αλυσίδας μπορεί να έχουν σχέση με:

- Εξυπηρέτηση πελατών
- Ανταλλακτικά και υπηρεσίες μετά την πώληση
- Συσκευασία
- Δημοσιεύσεις
- Τροφοδοσία
- Διαχείριση υλικού
- Διαχείριση αποθηκών και κέντρων διανομών
- Διαχείριση επιστεφθέντων προϊόντων
- Αντίστροφη Εφοδιαστική
- Πρόβλεψη ζήτησης
- Χωροθέτηση εγκαταστάσεων
- Διαχείριση αποθεμάτων
- Μεταφορές και διανομές
- Επικοινωνία και τεχνολογίες επικοινωνίας
- Εκπαίδευση προσωπικού
- Επεξεργασία παραγγελιών και τεχνολογία πληροφορικής
- Εφοδιαστική τρίτου
- Συγκέντρωση και κεντροποίηση

-Παγκοσμιοποιημένη εφοδιαστική

Η παρούσα εργασία έγκειται πιο κοντά στην κατηγορία των μεταφορών, διανομών και αποθεμάτων. Οι μεταφορές και τα αποθέματα είναι πρωταρχικές δραστηριότητες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας και συνήθως απορροφούν το μεγαλύτερο κόστος στην επιχείρηση. Η δραστηριότητα των μεταφορών και διανομών αφορά τον τρόπο και τα μέσα που θα επιλεγούν για την μεταβίβαση του αποθέματος μέσω φυσικών καναλιών στους προγραμματισμένους σταθμούς διανομής ή διάθεσης. Επομένως πρέπει να επιλεγεί ο τύπος του μέσου, ο αριθμός των μέσων και να γίνει ο καθορισμός των διαδρομών, των δρομολογήσεων και των μεταφορών. Τα έξοδα των μεταφορών αποτελούν συνήθως το μεγαλύτερο κομμάτι εξόδων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Για αυτό το λόγο οι εταιρείες συνήθως δεν είναι σε θέση να ελέγχουν μόνες τους όλο το κανάλι ροών προϊόντων από τις πηγές των πρώτων υλών μέχρι και τα σημεία της κατανάλωσης. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα μίας εταιρείας περιορίζεται στην διαχείριση των άμεσων καναλιών εφοδιασμού και διανομής.

1.4 Στόχοι της Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Η Εφοδιαστική Αλυσίδα (Logistics) επιδιώκει πάντα να πετυχαίνει τους επιχειρησιακούς της στόχους με το μικρότερο δυνατό αποτέλεσμα. Ή όπως διατύπωσε ο Gattorna (1997) επιδιώκει να βρίσκεται το σωστό προϊόν, στη σωστή ποσότητα και ποιότητα, στον σωστό τόπο, στον σωστό χρόνο με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Επομένως οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες επιτυχίας του σχεδιασμού της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι:

-η ικανοποίηση των πελατών

-η μείωση του κόστους

Εκτός της ικανοποίησης των πελατών και της προσέγγισης του βέλτιστου κόστους της διαδικασίας, η Εφοδιαστική Αλυσίδα έχει επιπλέον επιμέρους στόχους οι οποίοι είναι:

-Υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης με συνεχή χρήση των υπαρχόντων αποθεμάτων. Η σωστή διαχείριση των αποθεμάτων παίζει σπουδαίο ρόλο στον σχεδιασμό της Εφοδιαστικής Αλυσίδας κάθε επιχείρησης καθώς συνδέεται άμεσα με την κάλυψη της ζήτησης που συνεπάγεται την ικανοποίηση του πελάτη. Αποθέματα μπορεί να δημιουργηθούν καθ' όλο τον χρονικό κύκλο της αλυσίδας καθώς αυτά μπορεί να προκύψουν είτε ως πρώτες ύλες στα εργοστάσια κατά την παραγωγή είτε και στα καταστήματα ή στους χώρους αποθήκευσης ως απόθεμα τελικών προϊόντων.

Τα αποθέματα διαδραματίζουν έναν περίεργο ρόλο στην όλη διαδικασία. Υψηλό απόθεμα συνεπάγεται υψηλό κόστος, και χαμηλό απόθεμα συνήθως οδηγεί σε ελλείψεις. Σκοπός της Εφοδιαστικής Αλυσίδας αποτελεί η ισορροπία της διατήρησης των αποθεμάτων, της ανατροφοδότησης και της επίβλεψης του ρυθμού παραγωγής μέσω τεχνικών πρόβλεψης ώστε το σύστημα να λειτουργεί ομαλά.

-Σωστές προβλέψεις, μείωση της αβεβαιότητας. Η εφοδιαστική Αλυσίδα είναι δυναμική και εμπλέκει την ροή προϊόντων, κεφαλαίων και πληροφοριών μεταξύ διαφόρων σταδίων. Κάθε στάδιό της αλληλοεπιδρά με κάποια από τα υπόλοιπα και ταυτόχρονα εκτελεί τις δικές του διαδικασίες. Επίσης η ζήτηση, που προκύπτει από το τελευταίο στάδιο (πελάτες) είναι δυναμική. Επομένως τίθεται μεγάλο βάρος στην σωστή και ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης. Δεδομένου του υπάρχοντος αποθέματος και της ζήτησης που αυτή τη στιγμή είναι άγνωστη υπάρχει ανάγκη σωστής πρόβλεψης της μελλοντικής ζήτησης για συγκεκριμένο μελλοντικό χρονικό διάστημα ώστε να γίνει η παραγγελία και να υπάρξει διάθεση του προϊόντος στην αγορά αλλά ταυτόχρονα και κάποιου αποθέματος. Είναι λοιπόν ευκόλως εννοούμενο πως όσο πιο μικρή απόκλιση έχει η πρόβλεψη από την πραγματική ζήτηση τόσο πιο ποιοτική εξυπηρέτηση των πελατών θα υπάρξει.

-Έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών. Η προσπάθεια έχει να κάνει με την διασφάλιση της ποιότητας του προϊόντος καθ' όλο τον κύκλο της αλυσίδας από την παραγωγή του μέχρι και την εναπόθεσή του στις αγορές. Ο σχεδιασμός της αλυσίδας πρέπει να έχει συνέπεια ως προς τον χρόνο και την ακρίβεια όσον αφορά ποσότητες, μέσα και τόπους παράδοσης και ταυτόχρονα να επιζητάει την ελαχιστοποίηση των λαθών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° : Μεταφορές και Διανομή

2.1 Μεταφορές και Διανομή εισαγωγικά

Όπως προαναφέρθηκε ο τομέας των μεταφορών και διανομών αποτελεί τεράστιο κεφάλαιο για την Εφοδιαστική Αλυσίδα καθώς και για τις επιχειρήσεις αφού συνεπάγεται με τεράστια κόστη για την εταιρεία. Η αποτελεσματική μεταφορά προϊόντων καθορίζεται από την διαδικασία των υπηρεσιών μεταφοράς και διανομής. Ένα καλά σχεδιασμένο δίκτυο μεταφορών παρέχει αποτελεσματικότητα, μειώνει τα κόστη της επιχείρησης και προωθεί την ποιότητα της υπηρεσίας-προϊόντος. Η πρόοδος και η εξέλιξη σε τεχνικές και διαχείριση βελτιώνει τον όγκο μεταφοράς, την ταχύτητα παράδοσης, την αποτελεσματικότερη χρήση εγκαταστάσεων και οδηγεί εν τέλη στο ζητούμενο που είναι ακριβής και ποιοτική εξυπηρέτηση του πελάτη.

Οι μεταφορές χωρίζονται σε δύο μέρη:

- σε εσωτερικές που περιλαμβάνουν μεταφορά πρώτων υλών από τις πηγές προς τα εργοστάσια, αλλά και ολοκληρωμένων προϊόντων ανάμεσα σε εργοστάσια της επιχείρησης, ακόμα και μεταξύ σταθμών διάθεσης ή αποθήκευσης.
- σε εξωτερικές που περιλαμβάνουν την τελική μεταφορά των προϊόντων από τις αποθήκες στους πελάτες .

Είτε αφορά εσωτερικές ή εξωτερικές μεταφορές ο κάθε χρήστης των μεταφορικών μέσων πλέον έχει περιθώρια επιλογής και ανάλυσης. Οι πέντε επιλογές μεταφορών είναι :

-Οδικώς : οι οδικές μεταφορές χαρακτηρίζονται από ευελιξία, ακρίβεια και απλότητα αφού δεν εμπεριέχουν κάποια μορφή μετατροπής και παρέχουν την δυνατότητα εύκολης αλλαγής δρομολόγιων και κατευθύνσεων.

-Σιδηροδρομικώς : οι σιδηροδρομικές μεταφορές δίνουν την δυνατότητα μετακίνησης μεγάλων ποσοτήτων, σε οποιαδήποτε μορφή για μεγάλες αποστάσεις. Αυτός είναι και ο λόγος άλλωστε που χρειάζονται κατάλληλη συντήρηση και εγκαταστάσεις.

-Αεροπορικώς : οι αεροπορικές μεταφορές αφορούν επί το πλείστον το επιβατικό κοινό καθώς ενδείκνυνται για μεταφορά υλικών με μικρή διάρκεια ζωής ή πολύ ακριβών περιεχομένων.

-Θαλάσσιες μεταφορές : οι μεταφορές θαλάσσης μέσω φορτηγών πλοίων ή δεξαμενόπλοιων επιτρέπουν την μετακίνηση οποιασδήποτε μορφής υλικού σε

τεράστιες ποσότητες με χαμηλό κόστος λόγω χρονικού διαστήματος που απαιτείται συνήθως.

-Αγωγοί μεταφορών : οι μεταφορές μέσω αγωγών αφορούν την μεταφορά υγρών ή φορτίων αερίου γεγονός που καθιστά αναγκαία την ύπαρξη εγκαταστάσεων και υποδομών για την διανομή του φορτίου

Καθ' ένας από τους πέντε τρόπους μεταφοράς έχει τα δικά του αρνητικά και θετικά χαρακτηριστικά με βάση τα οποία αξιολογείται. Η διαδικασία επιλογής του σωστού μέσου κρίνεται μεγάλης σημασίας για κάθε είδους επιχείρηση ή οργανισμού που περιλαμβάνει τομέα μεταφορών καθώς απαιτείται ο κατάλληλος σχεδιασμός και συντήρηση του μεταφορικού πλάνου που συνήθως συνεπάγεται με μεγάλο κόστος.

Εκτός από την επιλογή του μέσου μεταφοράς, η διαχείριση μεταφορών καλείται να λαμβάνει αποφάσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται ανάλογα με το αντικείμενο που αφορούν. Έτσι προκύπτουν οι εξής κατηγορίες αποφάσεων:

-Φυσικές αποφάσεις: αφορούν τους πόρους τους οποίους διαχειρίζεται είτε η πλευρά του μεταφορέα είτε της εταιρείας για την διαδικασία (π.χ. οχήματα, ρυμουλκά)

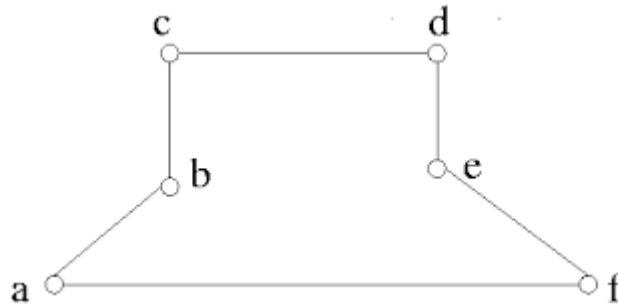
-Οικονομικές αποφάσεις: έχει να κάνει με την τιμολόγηση συμβολαίων κατά την αξιολόγηση κάποιας υπηρεσίας μεταφοράς ή με την σταθερή τιμολόγηση σταθερών παραγόντων που εμπλέκονται σε αυτή.

-Πληροφοριακές αποφάσεις : αυτή η κατηγορία αποφάσεων περιέχει πληροφορίες όπως η ζήτηση των πελατών, η διαθεσιμότητα των υπαρχόντων πόρων που αποτελούν βασικές μεταβλητές των προβλημάτων διανομής και μεταφοράς.

Οι μεταφορές-διανομές με λίγα λόγια αφορούν την εξυπηρέτηση του πελάτη, σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, από ένα συγκεκριμένο σύνολο στόλου που έχουν σαν αφετηρία τους ένα ή περισσότερα σημεία εκκίνησης (αποθήκες). Τέτοιου είδους προβλήματα μπορούν να εμφανιστούν τόσο σε απλές μορφές όσο και σε πολύ πιο σύνθετες, αναλόγως πάντα τους περιορισμούς του οποίους έχουμε. Η ανάλυσή τους πλέον δεν μας τρομάζει καθώς ο τομέας των logistics έχει γνωρίσει πολύ σημαντική εξέλιξη, ειδικότερα τον τελευταίο αιώνα, και υπάρχουν πλέον πολλά μοντέλα βελτιστοποίησης βασισμένα σε μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας καθώς και σε μαθηματικά μοντέλα για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων.

Ένα απλό παράδειγμα για προβλήματα καθορισμού διαδρομών είναι αυτό του πλανόδιου πωλητή (travelling salesman problem TSP). Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή αφορά την εύρεση της συντομότερης διαδρομής για ένα όχημα με αφετηρία ένα συγκεκριμένο σημείο και επιστροφή σε αυτό το σημείο αφού επισκεφτεί πρώτα μία φορά τον κάθε πελάτη - κόμβο. Η εικόνα που έχουμε για το συγκεκριμένο

πρόβλημα είναι η παρακάτω όπου υπάρχει ένας κύκλος που διέρχεται από όλους τους κόμβους που αντιστοιχούν στους πελάτες και την αποθήκη του συστήματος.



Σχήμα 2° : απεικόνιση διαδρομής πλανόδιου πωλητή.

Η μαθηματική απεικόνιση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{Min} \quad \sum_{n=1}^n (\sum_{n=1}^n (c_{ij} * x_{ij})) \quad 1.1$$

$$\text{Υπό} \quad \sum_{j=1}^n (x_{ij}) = 2, i = 1, \dots, n \quad 1.2$$

$$\sum_{i \in C} (\sum_{j \in C} (x_{ij})) \geq 1, \forall C \subset \{1, \dots, n\}, C \neq \emptyset \quad 1.3$$

$$\sum_{j=1}^n (x_{ij}) = 1, i = 1, \dots, n \quad 1.4$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{ij}) = 2, j = 1, \dots, n \quad 1.5$$

C_{ij} είναι η απόσταση του κόμβου i από τον κόμβο j . Η απόσταση μεταξύ κόμβων πολλές φορές εμπεριέχει την έννοια του χρόνου και μαζί συνεπάγονται το κόστος της συγκεκριμένης κίνησης.

x_{ij} αποτελεί δυαδική μεταβλητή που παίρνει την τιμή 1 εάν το όχημα κάνει χρήση της συγκεκριμένης διαδρομής αλλιώς παίρνει την τιμή 0.

Ο περιορισμός 1.2 εξασφαλίζει ότι κάθε κόμβος-πελάτης στην τελική λύση θα έχει μία είσοδο και μία έξοδο ώστε να εξυπηρετηθεί από το όχημα το οποίο μετά θα πρέπει να αναχωρήσει.

Ο περιορισμός 1.3 αποτρέπει την δημιουργία υποκύκλων , δηλαδή διαδρομών που δεν εμπεριέχουν όλους τους πελάτες-κόμβους του προβλήματος.

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (TSP) αποτελεί μία πολύ απλουστευμένη μορφή προβλήματος καθορισμού διαδρομών. Υπάρχουν πολλές επεκτάσεις του προβλήματος οι οποίες διαφοροποιούνται μεταξύ τους βάσει των διαφορετικών περιορισμών της εκάστοτε περίπτωσης. Οι κύριοι περιορισμοί αυτών των επεκτάσεων είναι ο χρονικός παράγοντας που αφορά τις διάρκειες ή τις διαθεσιμότητες ορισμένων ενεργειών και τα ζητήματα αποθεμάτων ή χωρητικότητας από οποιαδήποτε μεριά του μεταφορικού δικτύου.

2.2 Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP)

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων αποτελεί ουσιαστικά πρόβλημα καθορισμού διαδρομών και αφορά την εξυπηρέτηση πελατών ή πελάτη, σε μία δεδομένη χρονική περίοδο, από συγκεκριμένο αριθμό οχημάτων.

Τέτοια προβλήματα (VRP) αποτελούν προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης αθέτου προγραμματισμού που απαντάνε στο ερώτημα : “Ποιο είναι το βέλτιστο σετ διαδρομών για έναν στόλο οχημάτων για να εξυπηρετήσουν ένα σύνολο πελατών”. Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων αποτελεί μία γενίκευση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή και πρωτοεμφανίστηκε το 1959 από τους George Dantzig και John Ramser οι οποίοι εισήγαγαν μία αλγοριθμική προσέγγιση γραμμένη σε χαρτί και με πράξεις στο χέρι του προβλήματος για διανομές – μεταφορές καυσίμων με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους την οποία και προσέγγισαν επιτυχώς. Συνήθως το πρόβλημα αυτό απεικονίζεται ως μία αποθήκη στο κέντρο του χώρου δράσης, με τους πελάτες να βρίσκονται γύρω από αυτήν περιμένοντας να εξυπηρετηθούν.

Η ορθή επίλυση ενός προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων αποσκοπεί στον προσδιορισμό ενός συνόλου διαδρομών, από συγκεκριμένο αριθμό οχημάτων, με συγκεκριμένες χωρητικότητες, τα οποία ξεκινάνε από μία ή περισσότερες αφετηρίες με το ελάχιστο δυνατό κόστος με σκοπό να εξυπηρετήσουν ένα εξ αρχής ορισμένο σύνολο πελατών – κόμβων οι οποίοι βρίσκονται διασκορπισμένοι προς όλες τις κατευθύνσεις σε σχέση με την αφετηρία. Συνεπώς, ο ειδικός πρέπει να λάβει υπόψη του σημαντικές πληροφορίες που σχετίζονται με τις δραστηριότητες της διανομής όπως :

- το μέγεθος του στόλου των οχημάτων που χρησιμοποιείται από την εταιρεία
- ο αριθμός των οδών

-ο αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιούνται καθημερινά και ο μέσος αριθμός στάσεων ανά διαδρομή

-οι διαδρομές εντός και εκτός πόλεως

-το κόστος των πληρωμάτων

-το συνολικό ετήσιο κόστος των δραστηριοτήτων διανομής

-ο συνδυασμός δρομολογίων με άλλες δραστηριότητες

-η τρέχουσα υπολογιστική ισχύς της εταιρείας για τη δυνατότητα υποστήριξης του δικτύου διανομής

-οι μελλοντικές απαιτήσεις και προβλέψεις στον τομέα ενδεχόμενων βλαβών

Βάση αυτών των στοιχείων ο ειδικός μπορεί να έχει μια πρώτη εικόνα των οικονομικών στοιχείων που χρειάζεται ώστε να γνωρίζει μέχρι πόσο μπορεί να υποστηριχθεί το σύστημα διανομής της εταιρείας. Πέραν αυτών των χαρακτηριστικών, ο ειδικός πρέπει να έχει επιπλέον πληροφορίες που χαρακτηρίζουν τόσο τους πελάτες όσο και τα οχήματα που διαθέτει ο στόλος της εταιρείας.

Σημαντικά χαρακτηριστικά πελατών:

-ακριβής προσδιορισμός της γεωγραφικής τοποθεσίας του πελάτη πάνω στο γράφημα διανομής (road graph)

-το είδος και η ποσότητα του προϊόντος (demand) που πρέπει να παραδοθεί ή να παραληφθεί από τον πελάτη

-το χρονικό διάστημα (time window) κατά το οποίο ο πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί

-ο χρόνος που απαιτείται για την παράδοση ή την συλλογή του εμπορεύματος (unloading or loading times)

-χαρακτηριστικά περιοχής πελατών σε περίπτωση που απαιτείται ειδικού τύπου όχημα για να είναι εφικτή η πρόσβαση (π.χ υπάρχει περίπτωση κάποιος πελάτης να βρίσκεται σε περιοχή που δύσκολα κάποιο μεγάλο όχημα θα μπορούσε να κάνει ελιγμούς, ή σε περιοχή με υπερβολική κίνηση την ώρα εξυπηρέτησης του πελάτη)

Σημαντικά χαρακτηριστικά οχημάτων:

-από ποια αποθήκη προέρχονται και αν υπάρχει η δυνατότητα να επιστρέψουν σε αυτή, σε άλλη ή σε καμία από τις δύο

-η χωρητικότητα του οχήματος εκφρασμένη σε κατάλληλες μονάδες

- το σύνολο των δρόμων στους οποίους μπορεί το κάθε όχημα να έχει πρόσβαση
- η ύπαρξη ή μη μηχανημάτων φόρτωσης εκφόρτωσης
- το κόστος χρήσης του κάθε οχήματος (καύσιμα)
- αν τα οχήματα διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με την χωρητικότητα και το είδος των αγαθών τα οποία πρόκειται να μεταφέρει το καθ' ένα

Σημαντικό ρόλο επίσης διαδραματίζουν και οι οδηγοί των οχημάτων για τους οποίους ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- οχτώ ώρες ύπνου την ημέρα υποχρεωτικά
- το πολύ δέκα ώρες την ημέρα συνεχόμενης οδήγησης
- το πολύ έξι μέρες οδήγησης εβδομαδιαίως
- το πολύ δεκαπέντε ώρες οδήγησης καθημερινώς
- τήρηση των κανόνων ασφαλείας όπως αυτοί έχουν διαμορφωθεί από τα ανάλογα σωματεία και συνδικάτα

Κανονισμοί υπάρχουν και όσον αφορά τις διαδρομές ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό ποιοτικά επίπεδο εξυπηρέτησης. Ενδεικτικά:

- σε κάθε διαδρομή οχήματος, η χωρητικότητα του σε προϊόντα δεν μπορεί να ξεπερνάει την χωρητικότητα του ίδιου
- πελάτες μπορεί να είναι διαθέσιμοι προς εξυπηρέτηση σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα του διαστήματος εξυπηρέτησης
- οι οδηγοί έχουν και αυτοί συγκεκριμένο ωράριο εργασίας που περιορίζει το χρονικό διάστημα της εξυπηρέτησης των πελατών
- υπάρχουν πελάτες που επιθυμούν μόνο παραλαβή προϊόντων, άλλοι επιθυμούν μόνο παράδοση και υπάρχουν και άλλοι που επιθυμούν και τα δύο γεγονός που επηρεάζει έντονα την χωρητικότητα των οχημάτων καθώς και την προτεραιότητα των διαδρομών

Αφού λοιπόν ο ειδικός λάβει υπόψιν του τους παραπάνω περιορισμούς για κάθε έναν από τους παραπάνω τομείς, μπορεί πλέον να επιλύσει το πρόβλημα καθορισμού των διαδρομών έχοντας τους εξής στόχους:

- ελαχιστοποίηση των ποινών που αφορούν την μερική ικανοποίηση ορισμένων πελατών

-ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς των προϊόντων το οποίο είναι άμεση συνάρτηση της συνολικής απόστασης που θα καλύψουν τα οχήματα, τον αριθμό των οχημάτων – οδηγών και των διαφόρων πάγιων εξόδων

-ελαχιστοποίηση των οχημάτων και των οδηγών που απαιτούνται για την διαδικασία της εξυπηρέτησης του δικτύου

-ισορροπία μεταξύ των διαδρομών και των απαιτούμενων ωρών που απαιτούνται για να εκτελεστούν αυτές

2.3 Κατηγορίες Προβλημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με τους περιορισμούς που εμπεριέχει η κάθε κατηγορία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο βασικές κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων.

- Το περιορισμένης χωρητικότητας πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Capacitated Vehicle Routing Problem)

Το συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελεί μία προέκταση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση η εξυπηρέτηση του συνόλου των πελατών δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από μόνο ένα όχημα και αυτό συμβαίνει διότι το όχημά μας έχει περιορισμένη χωρητικότητα που δεν φτάνει για να καλύψει την συνολική ζήτηση των πελατών, γεγονός που το αναγκάζει να επιστρέψει στην αποθήκη, να φορτώσει επιπλέον φορές και να ξαναφύγει να εξυπηρετήσει το σύνολο των πελατών. Το ζητούμενο λοιπόν σε αυτή την περίπτωση είναι η δημιουργία βέλτιστων υποδιαδρομών, που θα ελαχιστοποιούν το κόστος και οι οποίες θα έχουν αρχή και τέλος το ίδιο σημείο (αποθήκη). Στο τέλος θα πρέπει το όχημά μας να έχει περάσει από κάθε έναν πελάτη και να έχει επιστρέψει στην αφετηρία του.



Σχήμα 3^ο : απεικόνιση προβλήματος περιορισμένης χωρητικότητας

- Δρομολόγηση οχημάτων για την εξυπηρέτηση πελατών μέσα σε δεδομένα χρονικά περιθώρια (Vehicle Routing Problem with Time Windows)

Σε αυτή την περίπτωση όπως προδίδει και ο τίτλος της κατηγορίας οι πελάτες έχουν καθορισμένα χρονικά περιθώρια κατά τα οποία είναι διαθέσιμοι προς εξυπηρέτηση. Ισχύει ότι περιεγράφηκε προηγουμένως για το πρόβλημα περιορισμένης χωρητικότητας με μόνη διαφορά ότι ο κάθε πελάτης έχει έναν χρόνο εξυπηρέτησης και μπορεί να δεχτεί το όχημα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ειδάλλως δεν θα είναι διαθέσιμος και δεν θα εξυπηρετηθεί. Πάλι ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους εξυπηρέτησης λαμβανομένων επίσης υπόψιν των ποινών που μπορεί να ενεργοποιούνται σε περίπτωση που δεν προλάβει κάποιος πελάτης να εξυπηρετηθεί.

- Ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών (Multidepot Vehicle Routing)

Η κατηγορία με τις πολλαπλές αποθήκες μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να θεωρήσουμε την περίπτωση που η κάθε αποθήκη έχει τα δικά της οχήματα, τους δικούς της οδηγούς και τους δικούς της πελάτες και συνεπώς το πρόβλημα να λυθεί ως ένας αριθμός προβλημάτων απλών προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων.

Ο δεύτερος τρόπος είναι να θεωρήσουμε ότι το κάθε όχημα ξεκινάει από μια αποθήκη και μπορεί να τερματίσει σε όποια αποθήκη θέλει αλλά και να επισκεφτεί όποια αποθήκη θέλει κατά την διάρκεια της διαδρομής του προκειμένου να ανεφοδιαστεί. Σε αυτή τη περίπτωση συνηθίζεται το πρόβλημα να αναλύεται σε δύο φάσεις. Αρχικά γίνεται η ανάθεση πελατών στις αποθήκες και στην δεύτερη να δημιουργούνται τα δρομολόγια για κάθε αποθήκη και για κάθε όχημα.

- Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της διαδρομής (Vehicle Routing Problem with backhauls and line-hauls customers)

Η συγκεκριμένη κατηγορία διαφοροποιείται από τις άλλες στο σύνολο των πελατών της. Εδώ υπάρχουν δύο σύνολα πελατών. Στο πρώτο (linehauls customers) οι πελάτες απαιτούν την διανομή κάποιας ποσότητας προϊόντων ενώ στο δεύτερο (backhauls costumers) οι πελάτες επιθυμούν να περισυλλεχθεί από αυτούς μία ποσότητα προϊόντος. Βασικός περιορισμός στο συγκεκριμένο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων είναι ότι σε περίπτωση που μια διαδρομή εξυπηρετεί και τα δύο είδη πελατών οι πελάτες της πρώτης κατηγορίας (linehauls) είναι αυτοί που θα πρέπει να εξυπηρετηθούν πρώτοι και στην συνέχεια οι υπόλοιποι. Επίσης απαγορεύεται να υπάρξει διαδρομή που να επισκέπτεται πελάτες μόνο της δεύτερης κατηγορίας (backhauls costumers). Κατά τ' άλλα ισχύουν τα ίδια που ισχύουν για τα απλά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (ελαχιστοποίηση κόστους ,περιορισμοί στην χωρητικότητα κλπ).

- Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά την διάρκεια της διαδρομής (Vehicle Routing Problem with pick-up and delivery)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση προβλήματος οι πελάτες είναι πιο απαιτητικοί. Η διαφορά τους από προηγούμενες κατηγορίες είναι ότι τώρα οι πελάτες δεν θέλουν απλά να τους παραδοθεί μία ποσότητα προϊόντων αλλά επιθυμούν να περισυλλεχθεί από το όχημα μία άλλη ποσότητα για να την ξεφορτωθούν. Συνεπώς οι πελάτες δεν χαρακτηρίζονται μόνο από την ζήτηση τους d_i αλλά και από μία άλλη ποσότητα p_i που αντιπροσωπεύει την ποσότητα που θα πρέπει να φορτώσει στο φορτίο του το όχημα κατά την ολοκλήρωση της εξυπηρέτησης του κάθε πελάτη. Πολλές φορές οι δύο αυτές ποσότητες συμπεκνώνονται σε μία άλλη $q_i = z_i - p_i$ ώστε να γνωρίζει ο υπεύθυνος εάν το όχημα θα αποχωρήσει από τον πελάτη i με περισσότερο ή λιγότερο φορτίο από το οποίο ήρθε σε αυτόν. Βασικός περιορισμός σε αυτή την κατηγορία προβλημάτων είναι ότι η διανομή πάντα πρέπει να προηγείται την παραλαβής προϊόντων.

- Στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (stochastic or probabilistic Vehicle Routing Problem)

Σε αυτή την κατηγορία δεδομένα όπως το σύνολο των πελατών, η ζήτησή τους και οι χρόνοι των διαδρομών μεταξύ κόμβων μοντελοποιούνται ως στοχαστικές μεταβλητές με γνωστές κατανομές πιθανοτήτων και η αντικειμενική συνάρτηση είναι το αναμενόμενο κόστος. Εδώ το όχημα ξεκινάει με πλήρες φορτίο, επισκέπτεται τους πελάτες, και κατά την στιγμή που το όχημα φτάνει στον κάθε πελάτη τότε μαθαίνει και την ζήτησή του. Πάντα υπάρχει ένα αρχικό πλάνο σειράς εξυπηρέτησης των πελατών αλλά αυτό διαφοροποιείται από την στιγμή που το όχημα δεν έχει επαρκές

φορτίο να καλύψει την ζήτηση του επόμενου πελάτη και αναγκάζεται να επιστρέψει στην αποθήκη ώστε να γεμίσει και πάλι το φορτίο του.

- Προγραμματισμός οχημάτων (Vehicle Scheduling Problem)

Η διαφορά των προβλημάτων προγραμματισμού οχημάτων από τα απλά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων είναι ότι σε αυτή την περίπτωση δίνεται περισσότερη προσοχή, και υπάρχει μεγαλύτερη αυστηρότητα ως προς τα χρονικά και χωρικά χαρακτηριστικά του προβλήματος. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από τρεις σημαντικούς περιορισμούς οι οποίοι είναι :

- Υπαρξη πολλών αποθηκών για την στέγαση των οχημάτων
- Περιορισμός μήκους χρόνου που ένα όχημα εξυπηρετεί πριν επιστρέψει στην αποθήκη για ανεφοδιασμό
- Περιορισμός ότι συγκεκριμένες ενέργειες μπορούν να πραγματοποιηθούν από συγκεκριμένα και όχι από όλα τα οχήματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Προβλήματα Δρομολόγησης οχημάτων

3.1 Επίλυση Προβλημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων

Η επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων αποτελεί πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Η εύρεση λύσης σε τέτοιου είδους προβλήματα γίνεται συνεχώς πιο δύσκολη με την αύξηση των δεδομένων του προβλήματος και η εύρεση της τέλειας λύσης καθίσταται πρακτικά αδύνατη. Για την εύρεση λύσεων σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές από τις οποίες προκύπτουν σχεδόν βέλτιστες λύσεις αλλά ικανοποιητικές. Συνεπώς αρκούμαστε στην δημιουργία ικανοποιητικών προσεγγίσεων της ιδεατής τέλειας λύσης και στην συνεχή βελτιστοποίηση αυτής μέσω διαφόρων αλγορίθμων.

Τέτοιες μεθοδολογίες αποτελούν οι απλοί ευρετικοί αλγόριθμοι καθώς και οι μεθευρετικοί. Οι λύσεις που προκύπτουν από τέτοιου είδους διαδικασίες δεν γίνονται πάντα αποδεκτές. Για να είναι μία λύση ικανοποιητική πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια που αφορούν την ποιότητα της λύσης. Τέτοια κριτήρια αποτελούν η απόκλιση της λύσης από την βέλτιστη, η ευκολία απόκτησης κάποιας νέας λύσης από την ήδη υπάρχουσα και κατά πόσο η λύση που προέκυψε ικανοποιεί τη ροή της μεθοδολογίας του κάθε αλγόριθμου.

3.2.1 Ευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι κατηγορίες ευρετικών αλγορίθμων είναι οι εξής:

- Αλγόριθμοι απληστίας (greedy algorithms). Οι αλγόριθμοι απληστίας προσπαθούν να δημιουργήσουν μία αρχική εφικτή λύση. Αποτελούν μυωπικούς αλγορίθμους καθώς 'βλέπουν' μόνο μπροστά και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα για να δώσουν αποτελέσματα.
- Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι (approximation algorithms). Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να δημιουργήσουν λύση χρησιμοποιώντας παραπάνω πληροφορία.
- Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης (local search algorithms). Η συγκεκριμένη κατηγορία αλγορίθμων όπως προδίδει και το όνομά της χρησιμοποιεί μία ήδη υπάρχουσα αρχική λύση και στη συνέχεια εφαρμόζοντας μία τοπική αναζήτηση στη γειτονία της λύσης αναζητάει καλύτερο αποτέλεσμα. Βασική διαφορά της συγκεκριμένης κατηγορίας από τις προηγούμενες δύο είναι ότι οι δυο πρώτες

χρησιμοποιούνται για την εύρεση αρχικής λύσης ενώ η τελευταία χρησιμοποιεί μία ήδη υπάρχουσα λύση ως εκκίνηση της διαδικασίας.

Κεντρικό χαρακτηριστικό αυτών των αλγορίθμων είναι η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών του προβλήματος όσον αφορά τα κριτήρια, τους περιορισμούς και την σειρά με την οποία επιλέγονται κάθε φορά οι λύσεις. Πολύ μεγάλη σημασία επίσης έχει και η ποιότητα των λύσεων που προκύπτουν. Μία λύση ευρετικού αλγορίθμου για να είναι ποιοτική και αποδεκτή πρέπει όχι μόνο να είναι ικανοποιητικό το αποτέλεσμα ως προς το βέλτιστο, αλλά να επιτρέπει και την εύκολη απόκτηση νέας καλύτερης λύσης.

3.2.2 Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbour algorithm)

Πολλές φορές και ανάλογα με την πολυπλοκότητα του προβλήματος, υπάρχει ανάγκη εύρεσης μίας αρχικής λύσης. Αυτή μπορεί είτε να είναι ικανοποιητική για τα δεδομένα του εκάστοτε προβλήματος ή να χρησιμοποιείται σαν αφετηρία για την βελτιστοποίηση της λύσης που ακολουθεί.

Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα αποτελεί έναν ευρετικό αλγόριθμο αρχικής λύσης και αποτελεί μία προέκταση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή που περιγράφηκε νωρίτερα. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή : το όχημά μου ξεκινάει από ένα συγκεκριμένο σημείο (αποθήκη) έχοντας ως δεδομένο τον γεωγραφικό προσδιορισμό των πελατών του, επισκέπτεται τον κοντινότερό του πελάτη, αφού τον εξυπηρετήσει τον διαγράφει από την λίστα και συνεχίζει την ίδια διαδικασία μέχρι να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες.

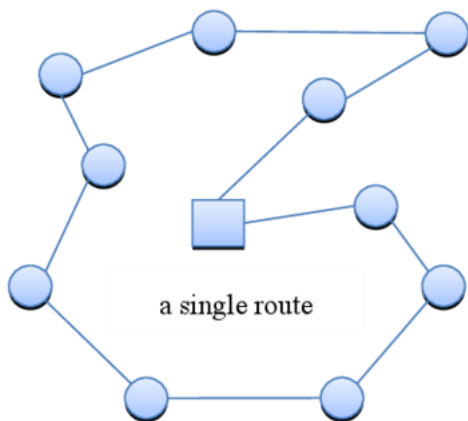
-ΒΗΜΑ 1^ο : εκκίνηση από την αφετηρία του συστήματος

-ΒΗΜΑ 2^ο : βρίσκουμε τον πλησιέστερο κόμβο – πελάτη και τον προσθέτουμε στο μονοπάτι

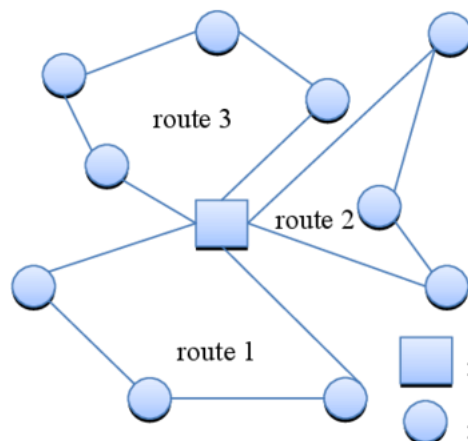
-ΒΗΜΑ 3^ο : επανάληψη του δεύτερου βήματος μέχρι στο μονοπάτι να έχουν καταγραφεί όλοι οι πελάτες – κόμβοι του συστήματος

Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα που περιεγράφηκε αποτελεί την πιο απλή μορφή του. Υπάρχουν ωστόσο και άλλοι αλγόριθμοι πλησιέστερου γείτονα οι οποίοι εμπεριέχουν περισσότερους περιορισμούς.

Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ένα γράφημα του αποτελέσματος του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα, χωρίς περιορισμούς, που περιεγράφηκε προηγουμένως.



Εικόνα 3.1



Εικόνα 3.2

Μία άλλη εκδοχή του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα είναι αυτή που τα αποτελέσματά της απεικονίζονται στην εικόνα 3.2

Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή το πρόβλημα μου πλέον έχει περιορισμό τόσο στην χωρητικότητα του εμπορεύματος που μπορεί να έχει το όχημά όσο και στο χρονικό διάστημα που το όχημα μπορεί να παραμείνει στην διαδρομή. Συνεπώς αυτοί οι δύο παράγοντες αναγκάζουν το όχημα να επιστρέψει στην αφετηρία από όπου ξεκίνησε είτε για να γεμίσει ξανά το φορτίο του είτε για ανεφοδιασμό καυσίμων για παράδειγμα. Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα σε αυτή την περίπτωση διαμορφώνεται ως εξής:

-βήμα 1^ο : αναζήτηση του πλησιέστερου πελάτη

-βήμα 2^ο : έλεγχος περιορισμών χωρητικότητας και χρονικού διαστήματος (στο χρονικό διάστημα περιλαμβάνεται ο χρόνος κατά τον οποίο το όχημα θα φτάσει στον πελάτη, θα τον εξυπηρετήσει και στη συνέχεια συμπεριλαμβάνεται και ο χρόνος που κάνει το όχημα να επιστρέψει από τον πελάτη στην αποθήκη)

-βήμα 3^ο : αν οι περιορισμοί ικανοποιούνται ο πελάτης προστίθεται στην λίστα αλλιώς το όχημα επιστρέφει στην αποθήκη και ξεκινάει καινούργια διαδρομή.

Βλέπουμε λοιπόν στην εικόνα 3.2 ότι έχουν δημιουργηθεί τρεις διαδρομές καθώς τρεις φορές το όχημα χρειάστηκε να επιστρέψει στην αποθήκη αφού δεν μπορούσε να εξυπηρετήσει τους εναπομείναντες πελάτες.

Γενικά, όπως προαναφέρθηκε το πρόβλημα του πλησιέστερου γείτονα μπορεί να λάβει διάφορες διαστάσεις ανάλογα τους περιορισμούς που υπάρχουν στο κάθε πρόβλημα. Στο προηγούμενο παράδειγμα το όχημα τη στιγμή που αδυνατούσε να εξυπηρετήσει τον επόμενο πλησιέστερο πελάτη γυρνούσε στην αποθήκη. Σε άλλα προβλήματα πλησιέστερου γείτονα εάν ο επόμενος κοντινότερος πελάτης δεν ικανοποιούσε τους περιορισμούς το όχημα θα μπορούσε να αναζητήσει τον επόμενο κοντινότερο πελάτη προκειμένου να τον εξυπηρετήσει μέχρι να εξαντλούσε την λίστα

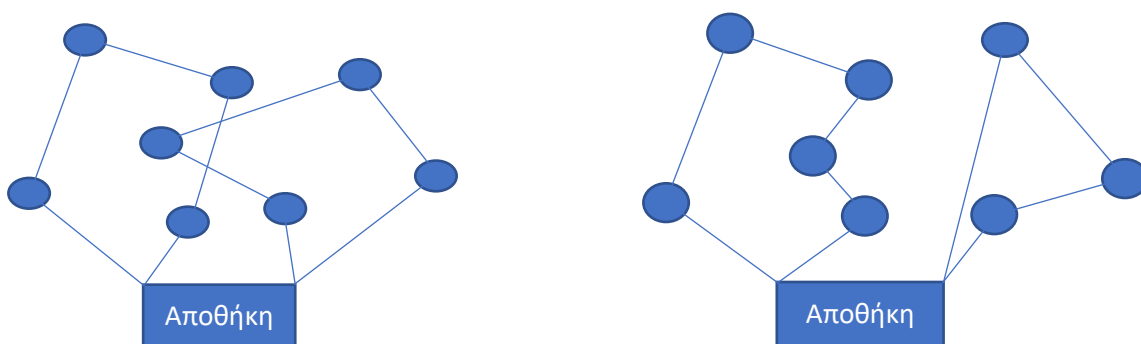
των πελατών και να επέστρεφε στην αποθήκη. Σε ένα άλλο υποθετικό παράδειγμα παρόμοιου προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων με την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα το όχημα σε περίπτωση που ο επόμενος πελάτης παραβίαζε τον περιορισμό της χωρητικότητας αλλά όχι αυτόν του χρονικού διαστήματος παραμονής εντός της διαδρομής, θα μπορούσε να επιστρέψει στην αποθήκη, να φορτώσει την επιθυμητή ποσότητα που επιθυμεί ο πελάτης, να τον εξυπηρετήσει και να συνεχίσει έως ότου παραβιαστεί και ο περιορισμός του χρονικού διαστήματος παραμονής διαδρομής.

3.2.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης Relocate/Exchange

Αναφέρθηκε προηγουμένως πως οι ευρετικοί αλγόριθμοι διακρίνονται βάση του εάν δημιουργούν αρχική λύση ή εάν χρησιμοποιούν μία είδη υπάρχουσα λύση στην οποία εφαρμόζουν τοπική αναζήτηση. Οι αλγόριθμοι που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία της τοπικής αναζήτησης χωρίζονται με την σειρά τους σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν αυτοί που προσπαθούν να βελτιώσουν την δρομολόγηση σε μία διαδρομή και στην δεύτερη αυτοί που προσπαθούν να βελτιώσουν την ανάθεση πελατών μεταξύ δύο διαδρομών. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι αλγόριθμοι *relocate* και *exchange*.

3.2.3.1 Αλγόριθμος Relocate

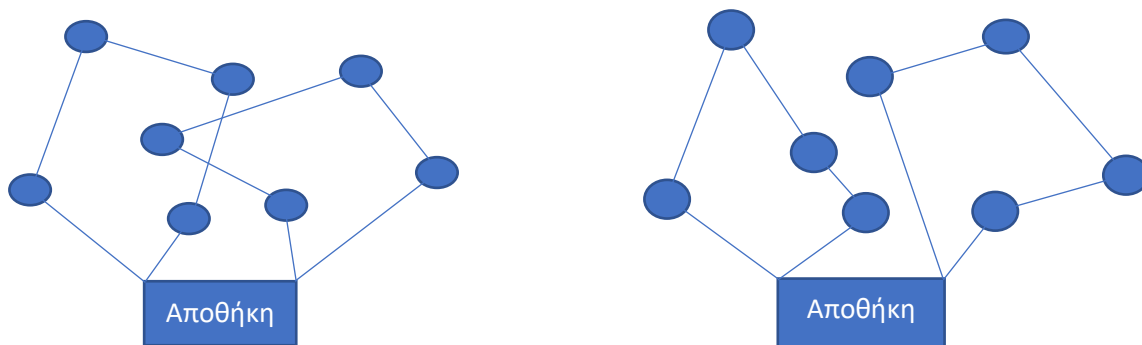
Η μέθοδος Relocate πρακτικά διαγράφει ένα κόμβο από μία διαδρομή, δηλαδή έναν πελάτη, από το σύνολο στο οποίο έχει αρχικά υπολογιστεί η εξυπηρέτησή του και τον επανατοποθετεί σε ένα άλλο σύνολο, σε μία άλλη διαδρομή. Η διαδικασία αυτή λέγεται *relocate 1-0* καθώς διαγράφει και επανατοποθετεί μόνο έναν πελάτη. Αντίστοιχα θα μπορούσε να διαγράψει και να επανατοποθετήσει δύο πελάτες. Στην περίπτωση αυτή θα προέκυπτε αλγόριθμος *relocate 2-0*. Η απεικόνιση ενός παραδείγματος *relocate 1-0* ακολουθεί στην εικόνα 4.



Σχήμα 5: relocate 1-0

3.2.3.2 Αλγόριθμος exchange

Ο αλγόριθμος exchange διαγράφει και επανατοποθετεί πελάτες – κόμβους όπως ο relocate αλλά ανταλλάσσει πελάτες μεταξύ δύο διαδρομών με στόχο την επίτευξη μικρότερου κόστους. Όπως ο relocate εμφανίζεται σε μορφές 1-0, 2-0 κοκ αντίστοιχα και ο exchange εμφανίζεται σε μορφές 1-1, 2-2 κοκ ανταλλάζοντας κάθε φορά έναν, δύο κοκ πελάτες.



Σχήμα 6 : απεικόνιση παραδείγματος exchange 1-1

3.3.1 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι (Metaheuristics)

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μεθόδους επίλυσης προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης οι οποίοι συνδυάζουν διαδικασίες τοπικής αναζήτησης και υψηλότερου επιπέδου στρατηγικές έτσι ώστε να δημιουργούν μεθοδολογίες ικανές να ξεφεύγουν από τοπικά ελάχιστα ή μέγιστα προβλημάτων. Ένα χαρακτηριστικό που χαρακτηρίζει τους μεθευρετικούς αλγόριθμους είναι ο αριθμός των λύσεων που χρησιμοποιούν ως αφετηρία. Κάποιοι μεθευρετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν μία αρχική λύση στην γειτονία της οποίας επικεντρώνουν τις αναζητήσεις τους προκειμένου να βελτιώσουν το αποτέλεσμα, ενώ κάποιοι άλλοι χρησιμοποιούν ένα μεγαλύτερο πεδίο λύσεων και κάνουν την αναζήτησή τους σε μεγαλύτερο ή και σε ολόκληρο τον χώρο λύσεων. Το πλεονέκτημα των αλγορίθμων που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία είναι ότι έχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες εκμετάλλευσης ή εντατικοποίησης (exploitation-intensification) της περιοχής γύρω από την λύση ενώ αυτοί της δεύτερης κατηγορίας έχουν μεγάλες δυνατότητες διάχυσης ή εξερεύνησης σε όλο το πεδίο των λύσεων (exploration – diversification).

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι βρίσκουν ευρεία χρήση σε προβλήματα που εγκλωβίζονται σε τοπικά μέγιστα ή ελάχιστα. Επιχειρούν αναζητήσεις σε εγκλωβισμένες περιοχές και πολλές φορές σε περιοχές που οι τιμές που δίνουν χειροτερεύουν το τελικό αποτέλεσμα. Η διερεύνηση αυτή λαμβάνει χώρα ώστε να εξεταστούν επιλογές που εγκλωβίστηκαν από την διαδικασία δημιουργίας αρχικής εφικτής λύσης. Πολλές φορές, ευρετικές μεθοδολογίες αποτελούν μέρος ή

υπορουτίνα των μεθευρετικών τεχνικών οι οποίοι φαίνεται να δίνουν σημαντικά πιο βελτιωμένα και ποιοτικά αποτελέσματα από τους πρώτους.

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι που εστιάζουν στην αναζήτηση γύρω από κάποιο τοπικό ελάχιστο ή μέγιστο αναλόγως την μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με τον τρόπο που χρησιμοποιούν για να αποφύγουν τα τοπικά μέγιστα και ελάχιστα που έχουν προκύψει :

-Επαναληπτικές διαδικασίες που αρχίζουν από διαφορετικές αρχικές λύσεις.

Χαρακτηριστικοί αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας είναι η διαδικασία της Άπληστης Τυχαιοποιημένης Προσαρμοστικής Αναζήτησης (GRASP – Greedy Randomized Adaptive Search), οι αλγόριθμοι Πολυεναρκτήριας Τοπικής Αναζήτησης (Multistart Local Search) και οι αλγόριθμοι Επαναληπτικής Τοπικής Αναζήτησης (Iterated Local Search).

-Αλγόριθμοι που δέχονται γειτονικές κινήσεις που δεν βελτιώνουν την υπάρχουσα λύση

Σε αυτήν την κατηγορία αλγορίθμων κάνουμε την εξής παραδοχή : αποδεχόμαστε κάποιες κινήσεις που μπορεί και να χειροτερεύουν την λύση μας με την ελπίδα αυτές να μας οδηγήσουν σε κάποιο νέο καλύτερο αποτέλεσμα στην συνέχεια της διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο ξεφεύγουμε από ένα τοπικό ελάχιστο χειροτερεύοντας την τιμή της αντικειμενικής μας συνάρτησης ώστε να μπορέσουμε να βρούμε στις επόμενες επαναλήψεις κάποιο νέο ελάχιστο που θα βελτιώνει την τιμή της αντικειμενικής μας συνάρτησης. Οι πιο γνωστοί αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search και ο αλγόριθμος προσομοιωμένης ανόπτησης (simulated annealing).

-Αλγόριθμοι που αλλάζουν την γειτονία αναζήτησης.

Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας όταν κολλήσουν σε κάποιο τοπικό ακρότατο αλλάζουν τον αλγόριθμο που χρησιμοποιούν και αναζητούν πλέον λύσεις σε διαφορετικές γειτονίες του χώρου λύσης. Οι πιο δημοφιλείς αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος Μεταβλητής Γειτονίας Αναζήτησης (Variable Neighbourhood Search - VNS) και ο αλγόριθμος Επέκτασης της Γειτονίας Αναζήτησης (Expanding Neighbourhood Search -ENS).

-Αλγόριθμοι που τροποποιούν την αντικειμενική συνάρτηση, τους περιορισμούς ή άλλα δεδομένα του προβλήματος.

Ο πιο γνωστός αλγόριθμος της κατηγορίας αυτής είναι ο αλγόριθμος Καθοδηγούμενης Τοπικής Αναζήτησης (Guided Local Search - GLS).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο αλγόριθμος που κατά κύριο λόγο μας απασχολεί είναι ο αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης Tabu Search ο οποίος και περιγράφεται πιο λεπτομερώς στο επόμενο υποκεφάλαιο.

3.3.2 Αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης Tabu Search (TS)

Ο αλγόριθμος Tabu Search παρουσιάστηκε πρώτη φορά από τον Glover και αποτελεί τον πιο γνωστό μεθευρετικό αλγόριθμο καθώς έχει αποδεδειγμένα επιτυχή εφαρμογή στην επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Ο Tabu Search έχει γνωρίσει σημαντική επιτυχία και στην αντιμετώπιση προβλημάτων της μορφής του πλανόδιου πωλητή.

Ο TS χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης για να αποκτήσει από μία ήδη υπάρχουσα λύση μία καλύτερη. Προκειμένου να ξεφεύγει από τα τοπικά ελάχιστα που θα δημιουργούνται κατά την διάρκεια των επαναλήψεων η διαδικασία της περιορισμένης αναζήτησης αξιοποιεί κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της. Η βασική διαφορά του TS από άλλους μεθευρετικούς αλγόριθμους είναι ότι για να αντιμετωπίσει τα τοπικά ελάχιστα χρησιμοποιεί μία στρατηγική για την επιλογή της επόμενης λύσεις που σε άλλες αλγοριθμικές διαδικασίες επιλέγεται τυχαία. Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιεί την μνήμη αντί για πιθανότητα. Ο TS με την χρήση της Tabu List καταφέρνει και θυμάται ποιες λύσεις έχουν οδηγήσει σε καλύτερο ή χειρότερο αποτέλεσμα και με αυτόν τον τρόπο εξαλείφει επαναλαμβανόμενες κινήσεις (cycling) γύρω από μία ομάδα λύσεων για ένα συγκεκριμένο διάστημα.

Πιο συγκεκριμένα, δεδομένης μίας αρχικής εφικτής λύσης από η κινήσεις μεταξύ των κόμβων του προβλήματος, ο Tabu Search καταγράφει στην λίστα (Tabu List) ποιες k κινήσεις που έλαβαν χώρα και αν αυτές βελτίωσαν ή όχι την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Ο αριθμός των καταγραφών δεν είναι κάποιος στάνταρ αριθμός αλλά η εκτίμησή του μπορεί να διαφοροποιείται από πρόβλημα σε πρόβλημα. Το σύνολο των k κινήσεων της λίστας αποτελεί την λίστα περιορισμένης αναζήτησης που χρησιμοποιεί την μνήμη μικρής περιόδου (short term memory) ώστε να επιτρέπει στον αλγόριθμο να θυμάται και εν συνεχεία να απορρίπτει τις κινήσεις που συνέβησαν. Έτσι απαλείφεται ο κίνδυνος εμφάνισης ίδιων λύσεων (cycling) που δεν βελτιώνουν παρά μόνο καθυστερούν την διαδικασία εύρεσης καλύτερης λύσης. Παρ' όλ' αυτά, πολλές φορές συμβαίνει μία κίνηση που είναι καταγεγραμμένη στη λίστα περιορισμού μετά από κάποιες επαναλήψεις να οδηγεί σε καλύτερη συνάρτηση κόστους. Σε αυτήν την περίπτωση ο tabu search πρέπει και κάνει αποδεκτή την κίνηση. Η αγνόηση αυτή των περιορισμών ονομάζεται κριτήριο απενεργοποίησης των περιορισμών (aspiration criterio). Μέχρι στιγμής τα χαρακτηριστικά της περιορισμένης αναζήτησης που έχουν αναφερθεί είναι η μνήμη μικρής περιόδου, οι περιορισμοί που επιβάλλει ο Tabu Search και το κριτήριο φιλοδοξίας. Το τελευταίο χαρακτηριστικό του TS είναι το κριτήριο διάχυσης που

επιτρέπει την επιβολή ιδιοτήτων λύσεων που ιστορικά ευρέθησαν ικανοποιητικές ώστε να ευνοηθεί η διάχυση της αναζήτησης σε νέες περιοχές εφικτών λύσεων. Παρακάτω ακολουθεί η διατύπωση του αλγόριθμου της περιορισμένης αναζήτησης σε ψευδογλώσσα.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ

Αρχικοποίηση

Κατασκευή μιας αρχικής λύσης S_0

Υπολογισμός της συνάρτησης κόστους της αρχικής λύσης

$S_0 = S^*$ Αρχικοποίηση της βέλτιστης λύσης

$f(S_0) = f(S^*)$

Επανάλαβε μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού

Υπολογισμός γειτονικής λύσης S'

Αν $f(S') < f(S^*)$ **τότε**

$S^* = S'$

$f^* = f(S')$

Τέλος αν

Κατέγραψε την τελευταία κίνηση στην λίστα περιορισμού και ταυτόχρονα αν η λίστα είναι πλήρης διέγραψε το τελευταίο στοιχείο και προσέθεσε το τρέχον

Τέλος Επανάληψης (ικανοποίηση κριτηρίου τερματισμού)

Επέστρεψε την βέλτιστη λύση

Ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης δεν συγκλείνει με φυσιολογικό τρόπο γι' αυτό πρέπει να καθορίζονται εξ' αρχής κριτήρια τερματισμού της επαναληπτικής διαδικασίας.

3.4 Διαφοροποίηση – Εντατικοποίηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι εμπεριέχουν συνδυασμούς ευρετικών αλγορίθμων και επιπλέον στρατηγικών ανωτέρου επιπέδου για την αντιμετώπιση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Δύο τέτοιες στρατηγικές είναι η διαδικασία της εντατικοποίησης (intensification) και αυτή της διαφοροποίησης (diversification) οι οποίες αποτελούν κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η εντατικοποίηση είναι μία διαδικασία μνήμης μεσαίας περιόδου και αυτό γιατί και εδώ κινήσεις που συμπεριλαμβάνονται σε εφικτές και ικανοποιητικές λύσεις αποθηκεύονται ώστε ο αλγόριθμος να τις θυμάται. Η μεθοδολογία της εντατικοποίησης βασίζεται στην λογική ότι όταν μία κίνηση ή ένα σύνολο κινήσεων εμφανίζονται συνέχεια ή πολύ συχνά ως μέρος της βέλτιστης λύσης τότε αυτές οι κινήσεις θα πρέπει να εδραιωθούν στον τελικό σχηματισμό της τελικής λύσης. Ουσιαστικά η διαδικασία της εντατικοποίησης ψάχνει την βέλτιστη λύση στο πιο υποσχόμενο σημείο στην γειτονιά του οποίου επικεντρώνει και τις αναζητήσεις της.

Δεδομένου ενός συνόλου κινήσεων που αποτελούν μια καλή και εφικτή λύση και ενός ευρετικού αλγόριθμου τοπικής αναζήτησης που επιδιώκει την βελτιστοποίηση της λύσης δίνοντας σε κάθε επανάληψη διαφορετική λύση, η μεθοδολογία της εντατικοποίησης μετράει πόσες φορές στις υποψήφιες λύσεις εμφανίστηκε η κάθε διαδρομή. Αφού ένας αριθμός επαναλήψεων της διαδικασίας ολοκληρωθεί η διαδικασία της εντατικοποίησης θα προσπαθήσει να χτίσει μία βέλτιστη λύση γύρω από τις διαδρομές με τις περισσότερες καταχωρήσεις, δηλαδή γύρω από τις πιο δημοφιλείς διαδρομές. Αφού οι δημοφιλείς διαδρομές εκχωρηθούν στην διαμόρφωση της πιθανής βέλτιστης λύσης, το επόμενο βήμα είναι να αναζητηθούν στην γειτονία αυτών οι επόμενες -όχι και τόσο δημοφιλείς- κινήσεις που θα ολοκληρώσουν το σύνολο της λύσης.

Χρησιμοποιώντας αλγορίθμους τοπικής αναζήτησης για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης βρισκόμαστε αντιμέτωποι με την φύση των αλγορίθμων αυτών που τα οδηγεί στην παγίδευση τοπικών ελαχίστων και μεγίστων. Οι αλγόριθμοι αυτοί όπως προδίδει και το όνομά τους αναζητούν λύσεις σε υποσχόμενες περιοχές λύσεων, σε αυτές δηλαδή που σε κάποιο σημείο της αναζήτησης φάνηκαν εφικτές και βέλτιστες. Το μειονέκτημα που προκύπτει σε αυτές τις διαδικασίες είναι ότι δημιουργούνται κάποιες περιοχές έντονης δραστηριότητας κινήσεων και κάποιες άλλες που παραμένουν τελείως ανεξερεύνητες. Η διαδικασία της εντατικοποίησης που παρουσιάστηκε προηγουμένως αξιοποιεί τις έντονες σε δραστηριότητα περιοχές κινήσεων ώστε να εξάγει αποτέλεσμα. Εκτός από την διαδικασία της εντατικοποίησης υπάρχει και αυτή της διαφοροποίησης που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Η στρατηγική της διαφοροποίησης ή διάχυσης (diversification) σε αντίθεση με αυτή της εντατικοποίησης επικεντρώνει την αναζήτησή της στις περιοχές που παραμένουν ανεξερεύνητες. Χρησιμοποιώντας μία μνήμη συνήθως μακράς διάρκειας (long term memory), καταγράφει τα στίγματα όλων των κινήσεων που συνέβαλλαν στην διαμόρφωση εφικτών και ικανοποιητικών λύσεων. Συνεπώς μετά από έναν προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων δοκιμάζει να χτίσει ένα σύνολο από κινήσεις οι οποίες δεν είχαν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής σε σχηματισμούς

ικανοποιητικών λύσεων. Η μεθοδολογία αυτή ευνοεί την διάχυση του πεδίου αναζήτησης λύσεων και βοηθάει στο να ξεφεύγει ο αλγόριθμος από τοπικά ελάχιστα.

Παρακάτω ακολουθεί η διατύπωση του αλγόριθμου της περιορισμένης αναζήτησης σε συνδυασμό με τις στρατηγικές της εντατικοποίησης και της διαφοροποίησης σε ψευδογλώσσα.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

Αρχικοποίηση

Κατασκευή μιας αρχικής λύσης S_0

Υπολογισμός της συνάρτησης κόστους της αρχικής λύσης

$S_0 = S^*$ Αρχικοποίηση της βέλτιστης λύσης

$f(S_0) = f(S^*)$

Επανάλαβε μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού

Υπολογισμός γειτονικής λύσης S'

Αν $f(S') < f(S^*)$ **τότε**

$S^* = S'$

$f^* = f(S')$

Τέλος αν

Κατέγραψε την τελευταία κίνηση στην λίστα περιορισμού και ταυτόχρονα αν η λίστα είναι πλήρης διέγραψε το τελευταίο στοιχείο και προσέθεσε το τρέχον

Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες **τότε**

Κάλεσε διαδικασία εντατικοποίησης

Αν $f(\text{Sintensification}) < f(S^*)$ **τότε**

$S^* = \text{Sintensification}$

$f^* = f(\text{Sintensification})$

Τέλος αν

Τέλος αν

Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες **τότε**

Κάλεσε διαδικασία διαφοροποίησης

Αν $f(S_{\text{diversification}}) < f(S^*)$ τότε

$S^* = S_{\text{diversification}}$

$f^* = f(S_{\text{diversification}})$

Τέλος αν

Τέλος αν

Τέλος Επανάληψης (ικανοποίηση κριτηρίου τερματισμού)

Επέστρεψε την βέλτιστη λύση

Συγκεντρωτικά θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε ότι με τις προσθήκες της διαφοροποίησης και της εντατικοποίησης η όλη διαδικασία παίρνει την μορφή ενός καθοδηγούμενου αλγορίθμου (guiding technique) τοπικής αναζήτησης βασισμένο αλγόριθμο σε προσαρμοστική μνήμη. Τέτοιοι συνδυασμοί τεχνικών και αλγορίθμων καθιστούν ένα πρόγραμμα ικανό να παράξει βέλτιστες λύσεις.

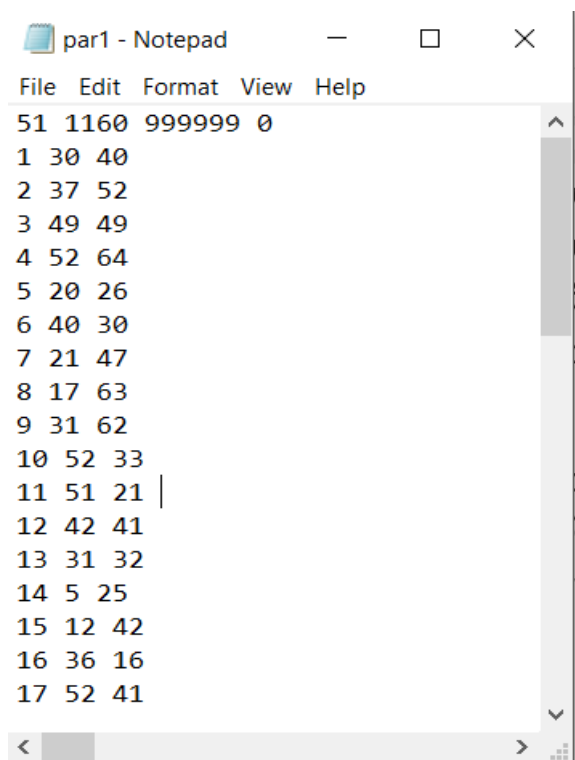
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : Μοντελοποίηση Προβλημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων

4.1 Περιγραφή, μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η παρούσα διπλωματική αφορά την βελτιστοποίηση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων (VRP). Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία αναλυτική σταδιακή περιγραφή του κώδικα που συνοδεύει την διπλωματική για να έχει ο αναγνώστης την δυνατότητα να κατανοήσει πλήρως την διαδικασία βελτιστοποίησης του προβλήματος.

Η διαδικασία βελτιστοποίησης σε αυτόν τον αλγόριθμο περιλαμβάνει πέντε στάδια. Αρχικά μέσω του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα δημιουργείται μία αρχική λύση. Σε δεύτερη φάση χρησιμοποιείται η διαδικασία της τοπικής αναζήτησης relocate 1-0 προκειμένου να βρεθεί κάποια καλύτερης λύση της αρχικής. Η τρίτη και τελευταία φάση του αλγορίθμου περιλαμβάνει μέσα σε μία επαναληπτική διαδικασία την τοπική αναζήτηση exchange 1-1, τον αλγόριθμο περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search και τις στρατηγικές της εντατικοποίησης (intensification) και διαφοροποίησης (diversification).

Πριν την περιγραφή όμως του κώδικα, καλό θα ήταν να γίνει μία πληροφόρηση όσον αφορά τα δεδομένα του προβλήματος και τους περιορισμούς. Ενδεικτικά απεικονίζεται στην συνέχεια ένα από τα δώδεκα σετ δεδομένων στα οποία πάνω έχουμε πειραματιστεί ώστε να βρούμε βέλτιστες λύσεις.



```
par1 - Notepad
File Edit Format View Help
51 1160 999999 0
1 30 40
2 37 52
3 49 49
4 52 64
5 20 26
6 40 30
7 21 47
8 17 63
9 31 62
10 52 33
11 51 21
12 42 41
13 31 32
14 5 25
15 12 42
16 36 16
17 52 41
```

Εικόνα 1^η



Εικόνα 2^η

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το κάθε σετ δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο πελατών με τις συντεταγμένες του, την ζήτηση του κάθε πελάτη και τον αριθμό των πελατών στο σύστημα. Στην εικόνα 4.1 ο πρώτος αριθμός είναι ο αριθμός 51 που συμβολίζει το πλήθος των κόμβων του προβλήματος. Στο σύνολο των κόμβων εμπεριέχεται και ο κόμβος αποθήκη που θεωρείται ότι βρίσκεται στις συντεταγμένες του σημείου 1. Επιπλέον στο τέλος του σημειωματάριου βρίσκεται η ζήτηση του κάθε πελάτη και παρατηρούμε πως ο κόμβος – πελάτης νούμερο 1 έχει μηδενική ζήτηση καθώς αποτελεί την αποθήκη του συστήματος. Συνεπώς δημιουργούνται οι παρακάτω συμβολισμοί:

- N : ο αριθμός των πελατών
- $d[N]$: ο πίνακας με την ζήτηση του κάθε πελάτη-κόμβου
- $C[N,N]$: ο πίνακας με τις αποστάσεις μεταξύ όλων των κόμβων

Ο πίνακας C περιλαμβάνει τις αποστάσεις μεταξύ όλων των κόμβων του προβλήματος. Θεωρούμε ότι οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων αποτελούν τους συντομότερους δρόμους μεταξύ αυτών και είναι ευθειακές αποστάσεις. Ο πίνακας C είναι συμμετρικός που σημαίνει ότι η απόσταση από τον πελάτη k στον πελάτη n είναι ίδια με αυτή του n από τον k . Επίσης απ' τη στιγμή που ο πίνακας είναι συμμετρικός η κύρια διαγώνιός του είναι μηδενική αφού η απόσταση κάθε σημείου από τον εαυτό του είναι μηδέν.

Εκτός από τα δεδομένα που προκύπτουν απ' το σετ πελατών υπάρχουν και κάποια επιπλέον τα οποία αποτελούν πρόσθετα δεδομένα.

- $Q(160)$: χωρητικότητα οχήματος
- $T_{max}(200)$: ο μέγιστος χρόνος παραμονής του κάθε οχήματος στη διαδρομή

Η χωρητικότητα του οχήματος αφορά την μέγιστη ποσότητα της ζήτησης των πελατών που μπορεί ικανοποιήσει ένα όχημα και η οποία δεν μπορεί να ξεπεράσει τις 160 μονάδες. Το T_{max} αποτελεί το μέγιστο χρονικό διάστημα που κάθε όχημα μπορεί να παραμείνει στην διαδρομή.

Γνωρίζοντας πλέον τα δεδομένα του προβλήματος μπορούμε να συνεχίσουμε στην διατύπωση των περιορισμών οι οποίοι είναι :

- $x_r \leq T_{\max}$: η μεταβλητή x_r είναι ένας μετρητής που αθροίζει τις συνολικές αποστάσεις του οχήματος από τη στιγμή που θα ξεκινήσει από την αποθήκη μέχρι να επιστρέψει σε αυτή έχοντας εξυπηρετήσει ένα σύνολο πελατών. Στο x_r περιλαμβάνεται κάθε φορά και ο χρόνος επιστροφής από τον υποψήφιο προς εξυπηρέτηση πελάτη προς την αποθήκη. Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχουν πολλές διαφορετικές κατηγορίες δρομολόγησης οχημάτων. Η συγκεκριμένη κατηγορία VRP απαιτεί την επιστροφή του οχήματος στην αποθήκη και γι' αυτό χρησιμοποιείται αυτός ο περιορισμός.
- $q \leq Q_{\max}$: η μεταβλητή q αποτελεί και αυτή έναν μετρητή, ο οποίος αθροίζει τις ζητήσεις των πελατών που πρόκειται να εξυπηρετηθούν και ουσιαστικά την ενεργοποιούμε για να μην μπορεί να υπερβούν οι ζητήσεις προς εξυπηρέτηση την συνολική χωρητικότητα του οχήματός μας.
- Κάθε πελάτης πρέπει να εξυπηρετείται από ένα όχημα μία φορά
- Το όχημα αφού εξυπηρετήσει το σύνολο που του έχει ανατεθεί πρέπει να επιστρέψει στην αποθήκη απ' όπου και ξεκίνησε.

4.2 Πλησιέστερος Γείτονας (Nearest Neighbour)

Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα είναι ο πρώτος που συναντάμε στον κώδικα καθώς είναι αυτός που κατασκευάζει την αρχική λύση. Η διαδικασία της κατασκευής της αρχικής λύσης παρουσιάζεται σε ψευδογλώσσα παρακάτω:

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΣ ΓΕΙΤΟΝΑΣ

ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ δεδομένων

ΕΠΑΝΕΛΑΒΕ

Βρες τον κοντινότερο πελάτη

ΑΝ αυτός ικανοποιεί τις συνθήκες **Τότε**

Καταχώρησε την κίνηση και ενημέρωσε τους μετρητές

Αλλιώς

Επέστρεψε στην αποθήκη

Αρχικοποίησε τους μετρητές για καινούργια διαδρομή

Τέλος αν

Μέχρι να εξυπηρετηθούν N-1 κόμβοι

Τέλος προγράμματος

Ο NN (nearest neighbour) ξεκινάει από την θέση position που έχει εκχωρημένες τις συντεταγμένες της αποθήκης του συστήματος και αναζητάει πάντα τον πιο κοντινό πελάτη που ικανοποιεί τους περιορισμούς του προβλήματος. Η αναζήτηση αυτή γίνεται στον πίνακα $C(N,N)$. Η στήλη στην οποία εντοπίζεται η μικρότερη απόσταση αντιστοιχεί στον αριθμό του επόμενου πελάτη και εκχωρείται στην μεταβλητή client. Στη συνέχεια αν ο πελάτης client ικανοποιεί τους περιορισμούς εκχωρείται στο μονοπάτι αλλιώς το όχημα είναι υποχρεωμένο να επιστρέψει στην αποθήκη. Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν οι μεταβλητές xr (η απόσταση που έχει διανύσει αυτή τη στιγμή το όχημα), $xroi$ (η απόσταση που έχει διανύσει το όχημα αυτή τη στιγμή συμπεριλαμβανομένου της επιστροφής στην αποθήκη από τον τελευταίο πελάτη) και Q (η ποσότητα ζήτησης που έχει αυτή τη στιγμή το όχημά μας) οι οποίες είτε αθροίζουν τα χαρακτηριστικά του κάθε πελάτη όσο αυτοί προστίθενται στο μονοπάτι είτε μηδενίζονται σε περίπτωση επιστροφής στην αποθήκη ώστε να υπολογιστεί η επόμενη διαδρομή. Σε περίπτωση που το όχημα έχει επιστρέψει στην αποθήκη και ξεκινάει για νέα διαδρομή η μεταβλητή count αυξάνει αριθμό ώστε να γνωρίζουμε πόσες συνολικά διαδρομές θα χρειαστούν.

Κατά την διάρκεια του αλγόριθμου του πλησιέστερου γείτονα δημιουργούνται στο πρόγραμμα δύο πίνακες, οι $Xdiadromes(N,N)$ και $X(N,N)$, οι οποίοι έχουν βασικό ρόλο στην έκβαση του προγράμματος. Στους πίνακες αυτούς διαμορφώνεται η τελική αρχική λύση του πλησιέστερου γείτονα. Στον πίνακα $X(N,N)$ κάθε φορά που ο πιο κοντινός πελάτης ικανοποιεί τους περιορισμούς εκχωρείται μία μονάδα στο σημείο (position,client) που υποδηλώνει την κίνηση που έλαβε χώρα. Επίσης, σε περίπτωση που το όχημα επιστρέφει στην αποθήκη η μονάδα εκχωρείται στο σημείο (position,1). Οι δύο πίνακες αυτοί είναι παράλληλοι, καθώς δημιουργούνται αρχικά ως μηδενικοί πίνακες και στον έναν εκχωρούνται μονάδες όπως περιγράφηκε ενώ στον άλλον στα ίδια σημεία αντί για μονάδες εκχωρείται η τιμή της μεταβλητής count που υποδηλώνει ταυτόχρονα σε ποια διαδρομή βρέθηκε ο κάθε πελάτης.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν ο μετρητής sum ισούται με τον αριθμό $N-1$ καθώς αυτός είναι ο αριθμός πελατών του κάθε σετ. Συνεπώς σε κάθε επανάληψη ελέγχουμε πόσες μονάδες υπάρχουν στον πίνακα $X(N,N)$ χωρίς να μετράμε τις μονάδες της πρώτης στήλης καθώς αυτές αντιστοιχούν στις επιστροφές των διαδρομών χωρίς να εξυπηρετείται κάποιος πελάτης. Κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας τα δεδομένα που προκύπτουν είναι οι πίνακες X και $Xdiadromes$ όπως περιγράφηκαν, οι πίνακες Qoi και $Xroi$ στους οποίους είναι καταχωρημένες οι ποσότητες ζήτησης και μήκους διαδρομής αντίστοιχα για κάθε διαφορετική διαδρομή του οχήματος και η μεταβλητή cost στην οποία αποθηκεύεται το αρχικό βέλτιστο κόστος και υπολογίζεται βάση πολλαπλασιασμού την πινάκων C και X .

4.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης Relocate-Exchange

Έχοντας ως δεδομένα τους πίνακες $X, Xdiadromes$ που περιγράφηκαν προηγουμένως και το αρχικό κόστος του προβλήματος επόμενο βήμα είναι η χρήση της τοπικής αναζήτησης Relocate 1-0 (βλέπε κεφάλαιο 3.2.3.1). Η διαδικασία του Relocate 1-0 επιλέγει έναν τυχαίο πελάτη από μία τυχαία διαδρομή, τον διαγράφει από το μονοπάτι και τον προσθέτει, εάν η κίνηση γίνει δεκτή απ' τους περιορισμούς σε ένα άλλο μονοπάτι.

Για να πραγματοποιηθεί αυτή η κίνηση εισάγονται στο πρόγραμμά μας οι μεταβλητές $a, aroig, aerom, b, broig, berom$. Η μεταβλητή a επιλέγεται τυχαία από το σύνολο των πελατών $[2, N]$ και επιλέγει τον πελάτη που θα επιχειρήσει να αλλάξει διαδρομή και να μπει μπροστά από τον πελάτη b που και αυτός προκύπτει από το ίδιο σύνολο. Οι πελάτες $aroig, aerom, broig$, και $berom$ είναι οι πελάτες που βρίσκονται πριν και μετά από τους πελάτες a και b αντίστοιχα και η εύρεσή τους είναι απαραίτητη προκειμένου να γίνουν οι αναγκαίες αλλαγές στους πίνακες $X2$ και $X2diadromes$. Οι πίνακες $X2$ και $X2diadromes$ είναι πίνακες ίδιοι με τους X και $Xdiadromes$. Στους X και $Xdiadromes$ πλέον αποθηκεύουμε την λύση που θα είναι βέλτιστη και ταυτόχρονα θα ικανοποιεί τους περιορισμούς ενώ οι πίνακες $X2$ και $X2diadromes$ χρησιμεύουν για τον έλεγχο μίας κίνησης του Relocate 1-0. Αφού υπολογιστούν οι τιμές των a, b γίνεται διαγραφή των τόξων $(aroig, a), (a, aerom), (b, berom)$ και η δημιουργία των τόξων $(aroig, aerom), (b, a)$ και $(a, berom)$. Η διαγραφή και η αντικατάσταση αυτή δεν γίνεται μόνο στον πίνακα $X2$ αλλά και στον $X2diadromes$ ενώ αν η λύση που προκύπτει είναι καλύτερη της αρχικής ή της ήδη υπάρχουσας τότε η αντικατάσταση αυτή λαμβάνει χώρα και στους πίνακες X και $Xdiadromes$ ώστε να αποθηκεύεται πάντα η καλύτερη λύση.

Ένα ερώτημα που προκύπτει στους αλγόριθμους τοπικής αναζήτησης είναι η διάρκειά τους, δηλαδή το πόσες επαναλήψεις θα πρέπει να κάνουνε ώστε να υπάρχουν σοβαρές πιθανότητες βελτίωσης του αποτελέσματος. Στο πρόγραμμα αυτό ο αλγόριθμος Relocate 1-0 έχει περιορισμό να επαναλαμβάνεται έως ότου βρει δεκαπέντε φορές καλύτερο αποτέλεσμα (μεταβλητή `bttrcstfnd`). Ο αριθμός αυτός ορίζεται βάση των χαρακτηριστικών του κάθε προβλήματος και στο συγκεκριμένο πρόγραμμα επειδή τα σετ έχουν κάποιες φορές σημαντική απόκλιση μεταξύ των αριθμών των πελατών του κάθε σετ, η μεταβλητή αυτή έχει την τιμή δεκαπέντε καθώς σε κάποια σετ με πολλούς πελάτες μετά από κάποιο αριθμό επαναλήψεων παρατηρείται ότι δεν επιστρέφονται αποτελέσματα καθώς το πρόγραμμα παγιδεύεται σε κάποιο τοπικό ελάχιστο.

Ακολουθεί μία διατύπωση του αλγόριθμου Relocate 1-0 σε μορφή ψευδογλώσσας.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ Relocate 1-0

Αρχικοποίηση δεδομένων

Αλγόριθμος ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΣ ΓΕΙΤΟΝΑΣ

Επανάλαβε

Επέλεξε πρώτο πελάτη για Relocate 1-0

Επέλεξε δεύτερο πελάτη για Relocate 1-0

Διαμόρφωσε τους πίνακες διαδρομών με τα νέα τόξα

Αν η λύση που προέκυψε καλύπτει τους περιορισμούς των διαδρομών **τότε**

Αν η λύση είναι καλύτερη της τρέχουσας **τότε**

Αποθήκευσε την νέα βέλτιστη λύση

Αλλιώς

Αρχικοποίηση μετρητών

Τέλος αν

Αλλιώς

Αρχικοποίηση μετρητών

Τέλος αν

Μέχρι να συμπληρωθεί ο επιθυμητός αριθμός λύσεων

Τέλος προγράμματος

Αφού συμπληρωθεί ο επιθυμητός αριθμός των επαναλήψεων και βρεθούν περισσότερο ικανοποιητικές λύσεις, ακολουθεί η διαδικασία της τοπικής αναζήτησης exchange 1-1. Ο exchange 1-1 όπως έχει ήδη αναφερθεί (βλέπε κεφάλαιο 3.2.3.2) ανταλλάζει πελάτες μεταξύ διαφορετικών διαδρομών. Πιο συγκεκριμένα, αντί να επιλέξει έναν και να τον φέρει μπροστά απ' τον επόμενο επιλεγθέντα, επιλέγει δύο πελάτες – κόμβους και τους ανταλλάζει επιδιώκοντας να βελτιώσει το τελικό αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση του exchange 1-1, δημιουργούνται οι μεταβλητές w και l που έχουν τον ίδιο ρόλο με τις a και b του Relocate 1-0. Η διαφορά του exchange 1-1 είναι ότι διαγράφει τα τόξα $(l,proig,l)$, $(l,lerom)$, $(w,proig)$, $(w,erom)$ και δημιουργεί τα $(w,proig,l)$, $(l,w,erom)$, $(l,proig,w)$, $(w,lerom)$ ενώ κατά τ' άλλα οι δύο αλγόριθμοι είναι ίδιοι.

Αυτό που διαφοροποιεί τους δύο αλγορίθμους τοπικής αναζήτησης είναι ο βρόγχος στον οποίο δραστηριοποιούνται. Ενώ όπως προαναφέρθηκε ο relocate 1-0 επαναλαμβάνεται για έναν συγκεκριμένο αριθμό εύρεσης βέλτιστων λύσεων για τον exchange 1-1 δεν συμβαίνει το ίδιο. Ο exchange 1-1 συμπεριλαμβάνεται στην διαδικασία της περιορισμένης αναζήτησης tabu search και γι' αυτό η επανάληψη του εξαρτάται από διαφορετικές παραμέτρους.

4.4 Αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search

Ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search (βλέπε κεφάλαιο 3.3.2) χρησιμοποιεί έναν ευρετικό αλγόριθμο για την παραγωγή λύσεων και εν συνεχεία 'καθοδηγεί' την αναζήτηση χρησιμοποιώντας την Tabu List. Στην περίπτωση μας μέρος της περιορισμένης αναζήτησης αποτελεί ο exchange 1-1 ο οποίος δεδομένου μίας αρχικής λύσης που έχει προκύψει από τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα και τον relocate 1-0 εφαρμόζει τοπικές αναζητήσεις επιδιώκοντας την βελτίωση του αποτελέσματος.

Παρακάτω ακολουθεί η επεξήγηση ορισμένων μεταβλητών που εισάγονται στο πρόβλημα προκειμένου να είναι πιο εύκολη η κατανόησή του :

-tabunar1 : μεταβλητή – διακόπτης που παίρνει τιμές : 0 ή 1 αν το αποτέλεσμα του exchange 1-1 είναι χειρότερο ή καλύτερο αντίστοιχα της μέχρι τώρα βέλτιστης λύσης.

-tabunar2 : μεταβλητή – διακόπτης που παίρνει τιμές 0 ή 1 αν η κίνηση που έλαβε χώρα στον exchange 1-1 δεν υπάρχει ή υπάρχει αντίστοιχα στην tabu list.

-tabunar3 : μεταβλητή – διακόπτης που παίρνει τις τιμές 0 ή 1 αναλόγως εάν η κίνηση που συνέβη είναι καλύτερη ή όχι της μέχρι τώρα βέλτιστης προσθέτοντας σε αυτή το δέκα τοις εκατό της. Σε αυτό τη σημείο πρέπει να αναφερθούμε στο εύρος των λύσεων που γίνονται δεκτές και στην διάχυση της αναζήτησης σε γειτονίες ανεξερεύνητες. Επιτρέποντας στο πρόβλημα να κάνει δεκτές λύσεις σχετικά καλές παρ' όλο που δεν είναι βέλτιστες ενισχύουμε την διάχυση της αναζήτησης σε όλο τον χώρο λύσεων. Πιο συγκεκριμένα έχοντας βάλει ένα όριο ανοχής στην καλύτερη λύση δεχόμαστε χειρότερες λύσεις με την ελπίδα αυτές να οδηγήσουν σε κάποιο καλύτερο αποτέλεσμα υπερπηδώντας κάποιο τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο. Στο συγκεκριμένο σημείο του προγράμματος δεν εξετάζονται αυτές οι λύσεις αλλά αποθηκεύονται ώστε να ενισχυθεί η διαδικασία της διαφοροποίησης που ακολουθεί.

-tabunar4rptpos : μεταβλητή – μετρητής στον οποίον αθροίζονται όλες οι επαναλήψεις που δώσανε όχι βέλτιστη αναγκαστικά αλλά εφικτή λύση. Ο συγκεκριμένος μετρητής συμμετέχει στον έλεγχο τερματισμού της περιορισμένης αναζήτησης καθώς και του προγράμματος. Μόλις φτάσει έναν προκαθορισμένο

αριθμό εφικτών λύσεων η διαδικασία ολοκληρώνεται και επιστρέφεται η τελική βέλτιστη λύση.

-Tabu List, Listsize : Η διαδικασία της περιορισμένης αναζήτησης όπως έχει περιγραφτεί (βλέπε κεφάλαιο 3.3.2), χρησιμοποιεί μία μνήμη μικρής διάρκειας προκειμένου να θυμάται τις τελευταίες κινήσεις που γίνανε από την τοπική αναζήτηση. Οι κινήσεις αυτές καταγράφονται στην TABUList και απαγορεύεται να επαναληφθούν (εκτός από προϋποθέσεις) για κάποιο συγκεκριμένο και προκαθορισμένο αριθμό κινήσεων. Ο αριθμός αυτός είναι το μέγεθος της λίστας και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε προβλήματος. Στα προβλήματα που απασχολούν την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ο αριθμός αυτός είναι δέκα. Η TABUList καταγράφει ένα σύνολο των δέκα τελευταίων κινήσεων βάζοντας στην πρώτη θέση της λίστας την πιο πρόσφατη κίνηση και ταυτόχρονα αφαιρώντας από την δέκατη θέση την δέκατη πιο πρόσφατη.

Η περιορισμένη αναζήτηση αποκτά μία λύση από τον αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης exchange 1-1. Στη συνέχεια ελέγχεται εάν αυτή η κίνηση που απόδωσε την συγκεκριμένη λύση υπάρχει ή όχι στην λίστα. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει, η κίνηση αποθηκεύεται στην λίστα όπου και παραμένει για τις επόμενες δέκα επαναλήψεις. Σε περίπτωση που υπάρχει η κίνηση στην λίστα ελέγχεται απλά εάν η λύση είναι καλύτερη της υπάρχουσας και σε περίπτωση που είναι, η λύση αποθηκεύεται όπως αποθηκεύεται εκ νέου και η κίνηση στην λίστα. Γενικά , η TABUList αποθηκεύει όλες τις κινήσεις που συνέβαλαν σε εφικτή λύση χωρίς να ελέγχει εάν οι λύσεις αυτές κρίθηκαν βέλτιστες ή όχι. Το χαρακτηριστικό αυτό ενισχύει τις διαδικασίες της εντατικοποίησης και της διαφοροποίησης που θα ακολουθήσουν, προσφέροντας τους περισσότερες επιλογές κινήσεων. Ουσιαστικά ο αλγόριθμος της περιορισμένης αναζήτησης λειτουργεί ως φίλτρο, ώστε να περιορίσει και ταυτόχρονα να κατευθύνει τις επιλογές της τοπικής αναζήτησης.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ

Αρχικοποίηση δεδομένων

Αλγόριθμος ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΣ ΓΕΙΤΟΝΑΣ

Αλγόριθμος ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ relocate 1-0

Επανάλαβε

Αλγόριθμος ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ exchange 1-1

Αν η κίνηση δεν βρίσκεται στην TABUList τότε

Αν η λίστα έχει χώρο τότε

Ενημέρωση μετρητές - μεταβλητές

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Αλλιώς

Διέγραψε την τελευταία κίνηση

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Τέλος αν

Αλλιώς

Αν η κίνηση είναι καλύτερη της υπάρχουσας **τότε**

Αν η λίστα έχει χώρο **τότε**

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Αλλιώς

Διέγραψε την τελευταία κίνηση

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Τέλος αν

Αλλιώς

Ενημέρωση μεταβλητών – μετρητών

Τέλος αν

Τέλος αν

Αν το κόστος της λύσης είναι μικρότερο του κόστους ανοχής **τότε**

Ενημέρωσε μεταβλητές - μετρητές

Τέλος αν

Μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού

Τέλος προγράμματος

4.5 Στρατηγικές Εντατικοποίησης – Διαφοροποίησης

Οι στρατηγικές της εντατικοποίησης (intensification) και της διαφοροποίησης (diversification) όπως περιεγράφηκαν (βλέπε κεφάλαιο 3.4) εμπεριέχονται και αυτές μέσα στον βρόγχο της περιορισμένης αναζήτησης συνεπώς τερματίζονται και ταυτόχρονα. Παρακάτω παρουσιάζονται μεταβλητές, πίνακες καθώς και σχόλια τα οποία χρησιμοποιούνται στον κώδικα προκειμένου να γίνει πιο εύκολα κατανοητός.

-tabunar4rptpos : Η tabunar4rptpos όπως περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο αποτελεί τον μετρητή των εφικτών συνόλων λύσεων που παρήχθησαν απ' την διαδικασία της περιορισμένης αναζήτησης, καθώς και το κριτήριο τερματισμού την επαναληπτικής διαδικασίας που περιέχει τον αλγόριθμο της τοπικής αναζήτησης exchange 1-1, τον αλγόριθμο της περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search και τις διαδικασίες της εντατικοποίησης και διαφοροποίησης. Παρ' όλ' αυτά οι στρατηγικές αυτές δεν είναι στην φύση τους να λαμβάνουν χώρα κάθε φορά που προκύπτει μία νέα εφικτή λύση. Είναι πιο ορθό να μπαίνουν σε εφαρμογή αφού έχει προκύψει ένας ικανοποιητικός αριθμός εφικτών λύσεων. Στον κώδικά μας η μεταβλητή tabunar4rptpos μόλις φτάσει τις τιμές: 200,400,600,800,1000 και 1200 επιτρέπει την διαδικασία της διαφοροποίησης ενώ όταν φτάσει τις τιμές : 150,300, 450, 600, 750, 1000 επιτρέπει την διαδικασία της εντατικοποίησης.

-Πίνακες Xdiag(N,N) : Ως γνωστόν οι στρατηγικές της διαφοροποίησης και της εντατικοποίησης χρησιμοποιούν ένα σύνολο εφικτών λύσεων. Κάθε φορά που προκύπτει μία εφικτή λύση αυτή για κάποιο διάστημα υπάρχει στους πίνακες X2. Ο πίνακας Xdiag αποτελεί ουσιαστικά μετρητή των πινάκων X2 καθώς κάθε φορά που προκύπτει μία εφικτή λύση προσθέτει μία μονάδα στα τόξα που έχουν δημιουργηθεί σε αυτή μεταξύ των πελατών. Επιπλέον γνωρίζουμε ότι οι πίνακες X, X2 και X3 είναι συμμετρικοί συνεπώς μπορούμε να κάνουμε πιο απλή τη ζωή μας δημιουργώντας έναν άνω τριγωνικό πίνακα που θα αθροίζει τα συμμετρικά σημεία. Αυτός είναι ο πίνακας Xdiag . Άρα εάν η διαδρομή από την αποθήκη στον πελάτη k έχει υπάρξει m φορές μέσα σε εκατό εφικτές λύσεις και η διαδρομή από τον πελάτη στην αποθήκη έχει προκύψει μία μόλις φορά στην πίνακα Xdiag(1,k) θα υπάρχει η τιμή m+1.

-Xentatic(N,N), Xentaticdiadromes(N,N) : στους πίνακες αυτούς χτίζονται οι διαδρομές που προκύπτουν κάθε φορά από την διαδικασία της εντατικοποίησης. Ο πρώτος εκχωρεί στα τόξα μονάδες προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του κόστους και ο δεύτερος εκχωρεί τον αριθμό της κάθε διαδρομής προκειμένου να γνωρίζουμε ποιος πελάτης εξυπηρετήθηκε σε κάθε διαδρομή.

- entatic(N,N) : στον συγκεκριμένο πίνακα εκχωρείται ο Xdiag κάθε φορά που εκκινεί η διαδικασία της εντατικοποίησης καθώς υπόκειται σε μετατροπές οι οποίες δεν θέλω να επηρεάσουν τον Xdiag ο οποίος πρέπει να χρησιμοποιείται κάθε φορά αμετάβλητος.

- grammi : ο πελάτης – κόμβος στον οποίο βρισκόμαστε αυτή τη στιγμή.

- maxclient : ο δημοφιλέστερος πελάτης από το σημείο που βρισκόμαστε.
- maxroutes : ο αριθμός των τόξων του υπό εξέταση πελάτη – κόμβου.
- diafor(N,N) : αντίστοιχος πίνακας του entatic στην διαδικασία της διαφοροποίησης.
- Xdiafor(N,N), Xdiafordiadromes(N,N) : αντίστοιχοι πίνακες των Xentatic , Xentaticdiadromes στην διαδικασία της διαφοροποίησης.
- seira : αντίστοιχη μεταβλητή της grammi στην διαδικασία της διαφοροποίησης που δείχνει τον πελάτη – κόμβο στον οποίο βρισκόμαστε αυτή τη στιγμή.
- minclient : αντίστοιχη μεταβλητή του maxclient στην διαδικασία της διαφοροποίησης που δείχνει τον λιγότερο δημοφιλή πελάτη από το σημείο που βρισκόμαστε.
- minroutes : αντίστοιχη μεταβλητή της maxroutes που υποδηλώνει τον αριθμό των επισκέψεων στον υπό εξέταση λιγότερο δημοφιλή πελάτη.

Μόλις ο αριθμός των εφικτών λύσεων ισούται με τους επιτρεπόμενους ξεκινάει η διαδικασία της εντατικοποίησης. Ο μέχρι τώρα αθροιστικός μου πίνακας Xdiag εκχωρείται στον entatic στον οποίο λαμβάνει χώρα όλη η αναζήτηση της διαδικασίας. Ο αλγόριθμος ξεκινώντας από την αποθήκη (grammi =1) αναζητάει στην πρώτη γραμμή του πίνακα τον μεγαλύτερο αριθμό επισκέψεων του οποίου η στήλη φανερώνει τον δημοφιλέστερο πελάτη(maxclient). Αυτή η κίνηση εφ' όσον πληροί τους περιορισμούς χωρητικότητας και παραμονής στην διαδρομή αποθηκεύεται στον πίνακα Xentatic και στον Xentaticdiadromes ταυτόχρονα. Εν συνεχεία ο maxclient γίνεται πελάτης grammi και αναζητείται στην γραμμή grammi και στην στήλη grammi ο επόμενος δημοφιλέστερος maxclient. Πρέπει κάθε φορά που εξυπηρετείτε και ένας maxclient οι τιμές που έχει στην στήλη του και στην γραμμή του να μηδενίζονται ώστε να μην επιχειρηθεί ξανά η εξυπηρέτησή του από άλλον πελάτη grammi που βρίσκει αυτόν ως maxclient. Μόλις εξυπηρετηθεί το σύνολο των N πελατών η διαδικασία της εντατικοποίησης ολοκληρώνεται και συγκρίνεται το αποτέλεσμα που βρέθηκε με το τρέχον βέλτιστο και αν αυτό είναι καλύτερο τότε εκχωρείται ως νέα βέλτιστη λύση.

Αντίστοιχα λειτουργεί και η διαδικασία της διαφοροποίησης με την μόνη διαφορά ότι η αναζήτηση από τον πελάτη-κόμβο seira (που στην αρχή είναι η αποθήκη του συστήματος) γίνεται αναζητώντας τον λιγότερο δημοφιλή πελάτη – κόμβο, δηλαδή αυτόν με τον μικρότερο αριθμό επισκέψεων.

Ακολουθεί η περιγραφή του προγράμματος σε ψευδογλώσσα :

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ VRP-TABU SEARCH

Αρχικοποίηση δεδομένων – μετρητών

Αλγόριθμος ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΣ ΓΕΙΤΟΝΑΣ

Αλγόριθμος ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ relocate 1-0

Επανέλαβε

Αλγόριθμος ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ exchange 1-1

Αν η κίνηση δεν βρίσκεται στην TABUList τότε

Αν η λίστα έχει χώρο **τότε**

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Αλλιώς

Διέγραψε την τελευταία κίνηση

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Τέλος αν

Αλλιώς

Αν η κίνηση είναι καλύτερη της υπάρχουσας **τότε**

Αν η λίστα έχει χώρο **τότε**

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Αλλιώς

Διέγραψε την τελευταία κίνηση

Αποθήκευσε την κίνηση στην λίστα

Ενημέρωσε μετρητές - μεταβλητές

Τέλος αν

Αλλιώς

Ενημέρωση μεταβλητών – μετρητών

Τέλος αν

Τέλος αν

Αν το κόστος της λύσης είναι μικρότερο του κόστους ανοχής **τότε**

Ενημέρωσε μεταβλητές - μετρητές

Τέλος αν

Αν ισχύει το κριτήριο ελέγχου για την εντατικοποίηση **τότε**

Ενημέρωσε μεταβλητές – μετρητές

Επανάλαβε

Αναζήτησε τον δημοφιλέστερο πελάτη

Αν ο maxclient πληροί τους περιορισμούς **τότε**

Αποθήκευσε την κίνηση

Εκχώρησε ως πελάτη grammi τον maxclient

Αλλιώς

Επέστρεψε στην αποθήκη για να ξεκινήσει επόμενη διαδρομή

Ενημέρωση μεταβλητών – μετρητών

Τέλος αν

Μέχρι να συμπληρωθεί το σύνολο των κόμβων

Τέλος αν

Αν ισχύει το κριτήριο ελέγχου για την διαφοροποίηση **τότε**

Ενημέρωσε μεταβλητές – μετρητές

Επανάλαβε

Αναζήτησε τον λιγότερο δημοφιλή πελάτη

Αν ο minclient πληροί τους περιορισμούς **τότε**

Αποθήκευσε την κίνηση

Εκχώρησε ως πελάτη seira τον minclient

Αλλιώς

Επέστρεψε την αποθήκη για να ξεκινήσει επόμενη διαδρομή

Ενημέρωση μεταβλητών – μετρητών

Τέλος αν

Μέχρι να συμπληρωθεί το σύνολο των κόμβων

Τέλος αν

Τέλος αν

Μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού

Τέλος προγράμματος VRP-TABU SEARCH

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Αποτελέσματα ,Συμπεράσματα και σχολιασμοί

5.1 Αποτελέσματα Προγράμματος VRP-TABU SEARCH

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στα σετ δεδομένων μετά από την εκτέλεση των αλγοριθμικών διαδικασιών. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν μεγάλη σημασία καθώς θα κρίνουν την αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου κώδικα.

Οι αριθμοί που παρουσιάζονται στην συνέχεια είναι ενδεικτικοί και όχι απαραίτητα οι βέλτιστοι, καθώς ο αλγόριθμος βελτιώνει συνεχώς το αποτέλεσμα και σε κάθε εκτέλεσή του προκύπτει και κάποιο νέο.

1^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 51

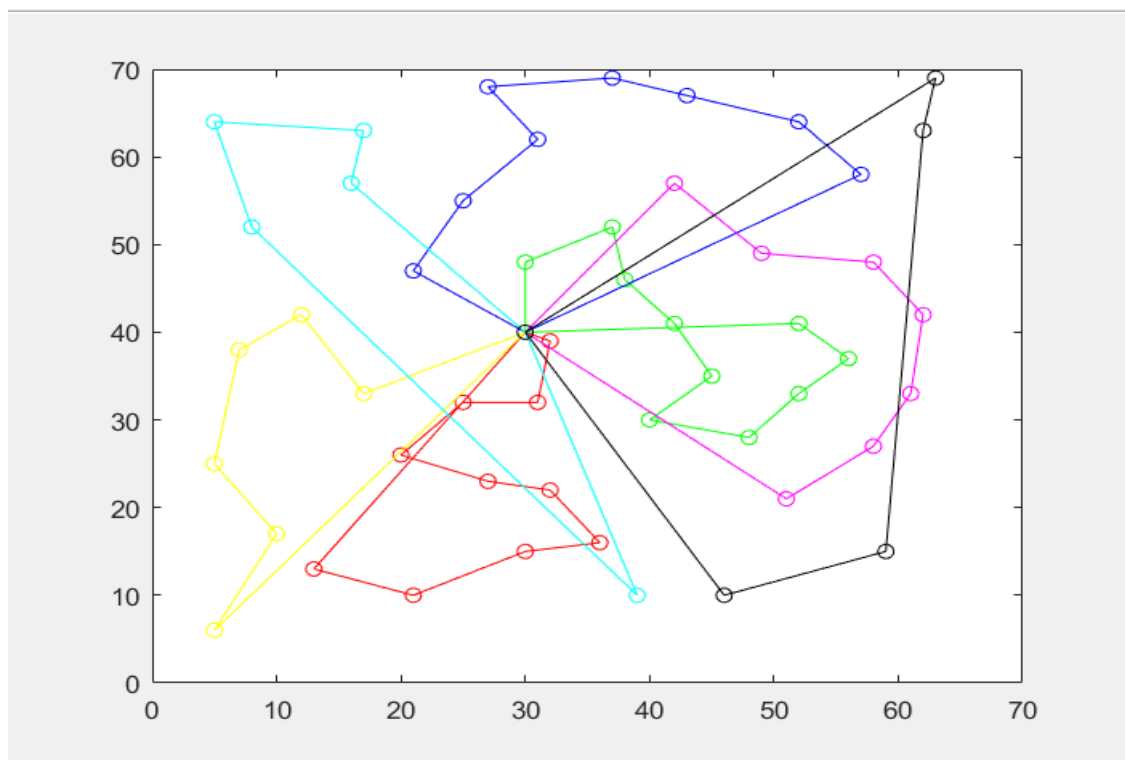
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 784,5020 μονάδες

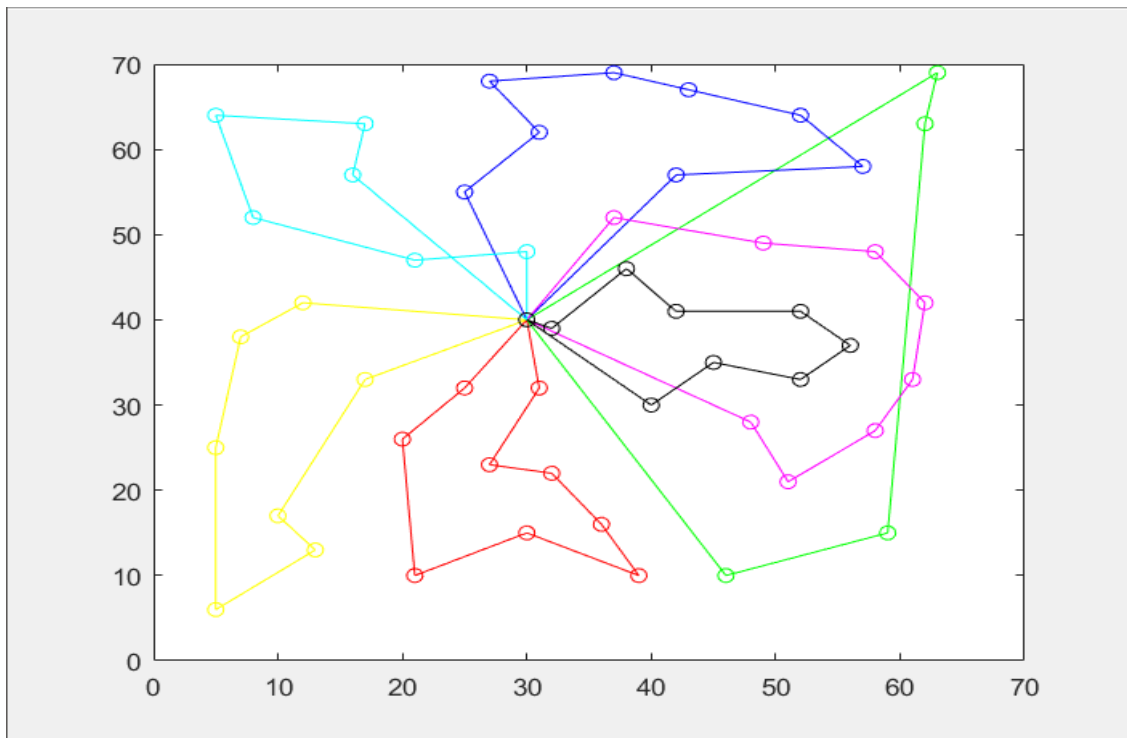
Βελτιωμένο κόστος : 691.0407 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 1

Παρουσίαση τελικού γράφου:



Εικόνα αποτελεσμάτων 2

Τελικό κόστος: 691.0407

Αριθμός διαδρομών: 7

1^η διαδρομή πελατών : 13-18-38-16-46-45-43-5-48

2^η διαδρομή πελατών : 37-36-40-34

3^η διαδρομή πελατών : 49-9-27-32-29-4-21-23

4^η διαδρομή πελατών: 15-26-14-41-20-42-19

5^η διαδρομή πελατών: 50-11-31-35-22-30-3-2

6^η διαδρομή πελατών: 24-8-44-25-7-28

7^η διαδρομή πελατών: 47-33-12-17-51-10-39-6

2^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 76

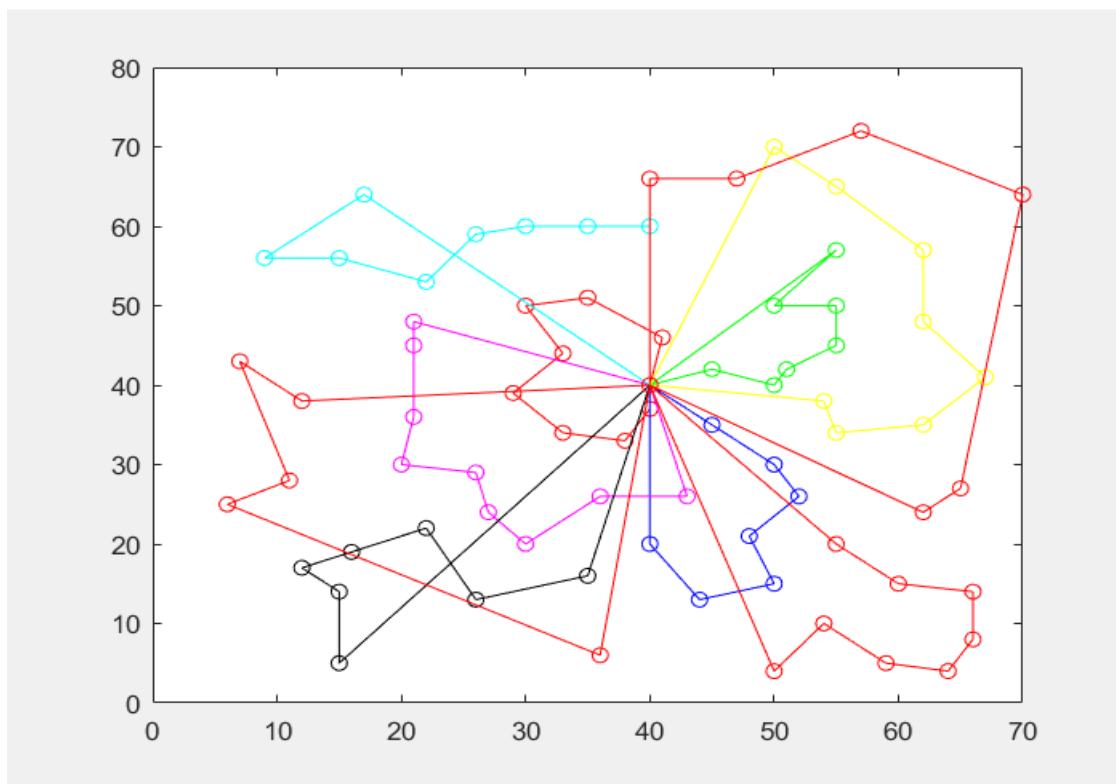
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 1033.3 μονάδες

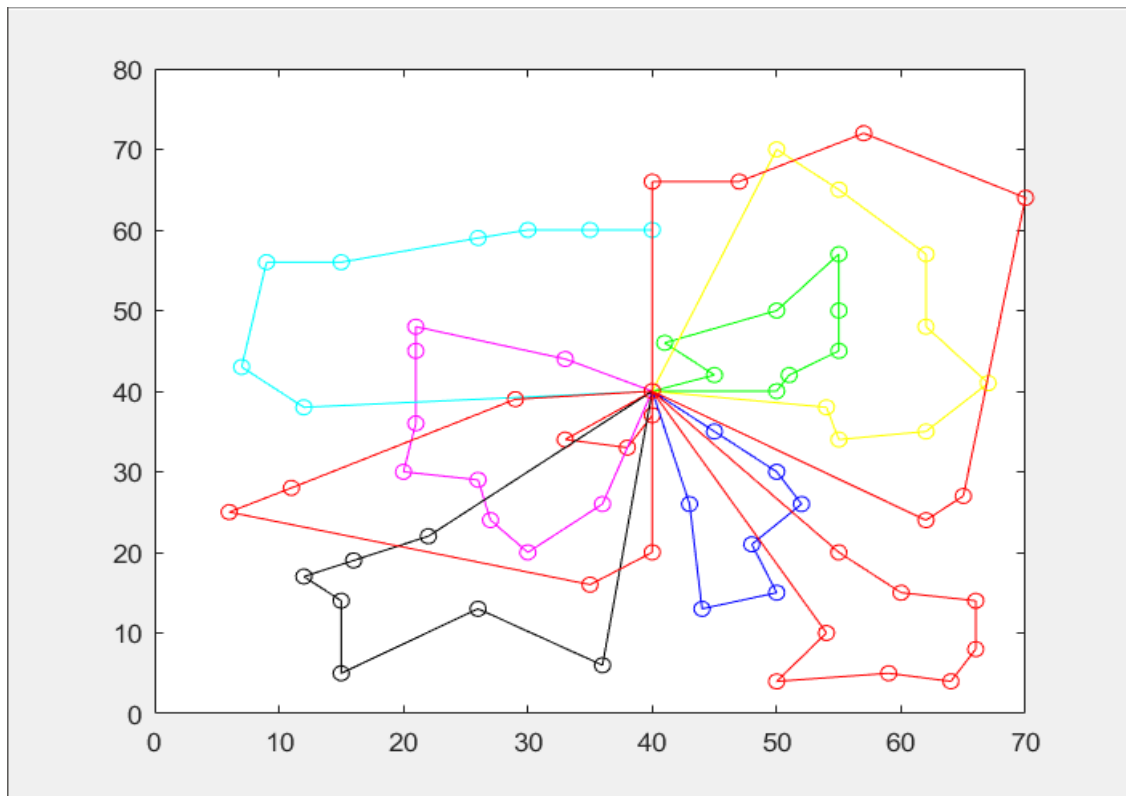
Βελτιωμένο κόστος : 963.8693 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 3

Παρουσίαση τελικού γράφου:



Εικόνα αποτελεσμάτων 4

Τελικό κόστος: 963.8693

Αριθμός διαδρομών: 11

1^η διαδρομή πελατών : 11-39-67-60-58-16

2^η διαδρομή πελατών : 29-23-65-43-42-44-2-69

3^η διαδρομή πελατών : 6-38-21-71-61-72-70-37

4^η διαδρομή πελατών : 32-56-26-41

5^η διαδρομή πελατών: 45-4-17-64-34-74-63-3-31

6^η διαδρομή πελατών: 59-73-40-10-51-19-33-13

7^η διαδρομή πελατών:5-46-30-49-48-22-62-75

8^η διαδρομή πελατών:66-12-15-20-55-14-28-53

9^η διαδρομή πελατών: 50-25-57-24-7

10^η διαδρομή πελατών:68-35-47-9-36-54-8-27

11^η διαδρομή πελατών:18-52-76

3^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 101

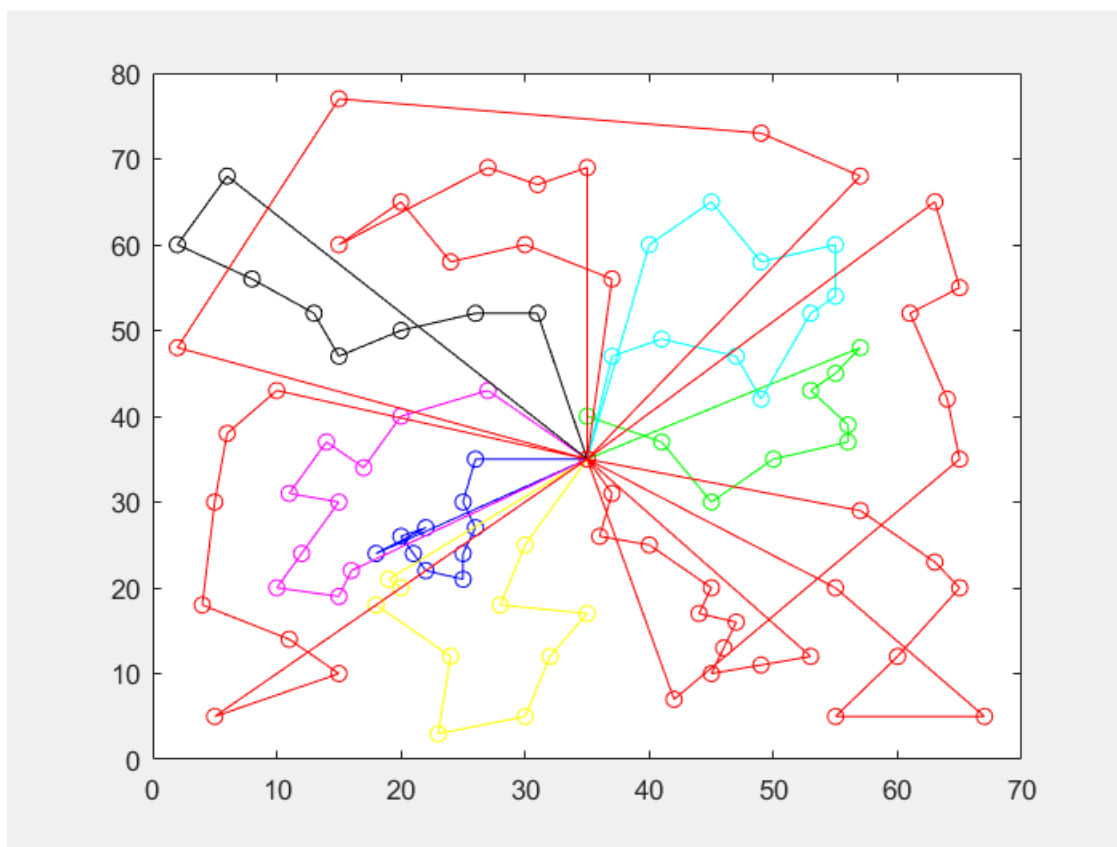
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 1302.2 μονάδες

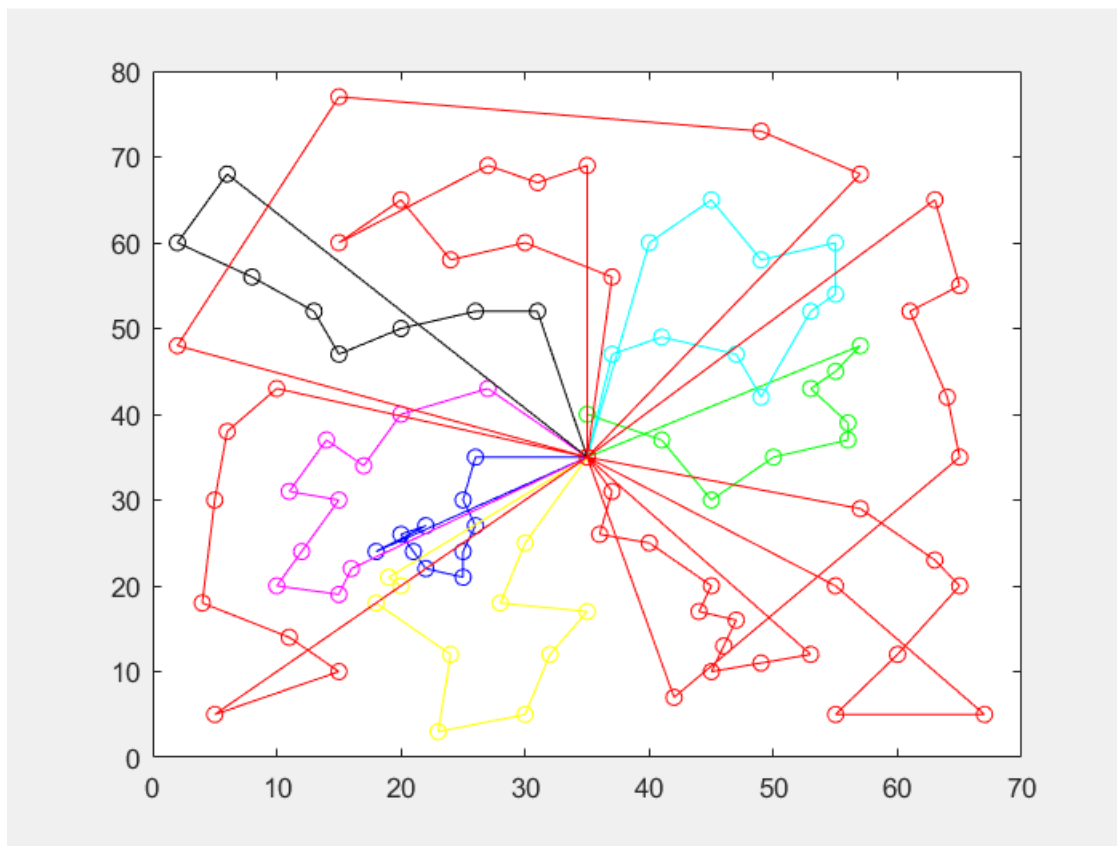
Βελτιωμένο κόστος : 1162.3 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 5

Παρουσίαση τελικού γράφου:



Εικόνα αποτελεσμάτων 6

Τελικό κόστος:1.162,3

Αριθμός διαδρομών :13

1^η διαδρομή πελατών:54-59-74-75-23-42-76-57-73-22-41

2^η διαδρομή πελατών:29-27-13-81-69-4-78-77

3^η διαδρομή πελατών:90-7-95-96-98-93-60-94-100-97

4^η διαδρομή πελατών:14-88-3-58-16-44-43-101-38-99

5^η διαδρομή πελατών:53-19-61-84-85-6-62-17-92-86

6^η διαδρομή πελατών:28-51-80-34-82-10-52-2

7^η διαδρομή πελατών:32-89-8-83-49-48-37-47

8^η διαδρομή πελατών:70-11-63-20-12-64-91-71

9^η διαδρομή πελατών:55-56-26-68-24-40-5

10^η διαδρομή πελατών:9-46-18-87-39-45-15

11^η διαδρομή πελατών:25-30-35-79-

12^η διαδρομή πελατών:50-65-33-31

13^η διαδρομή πελατών:36-72-66-67-21

4^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 101

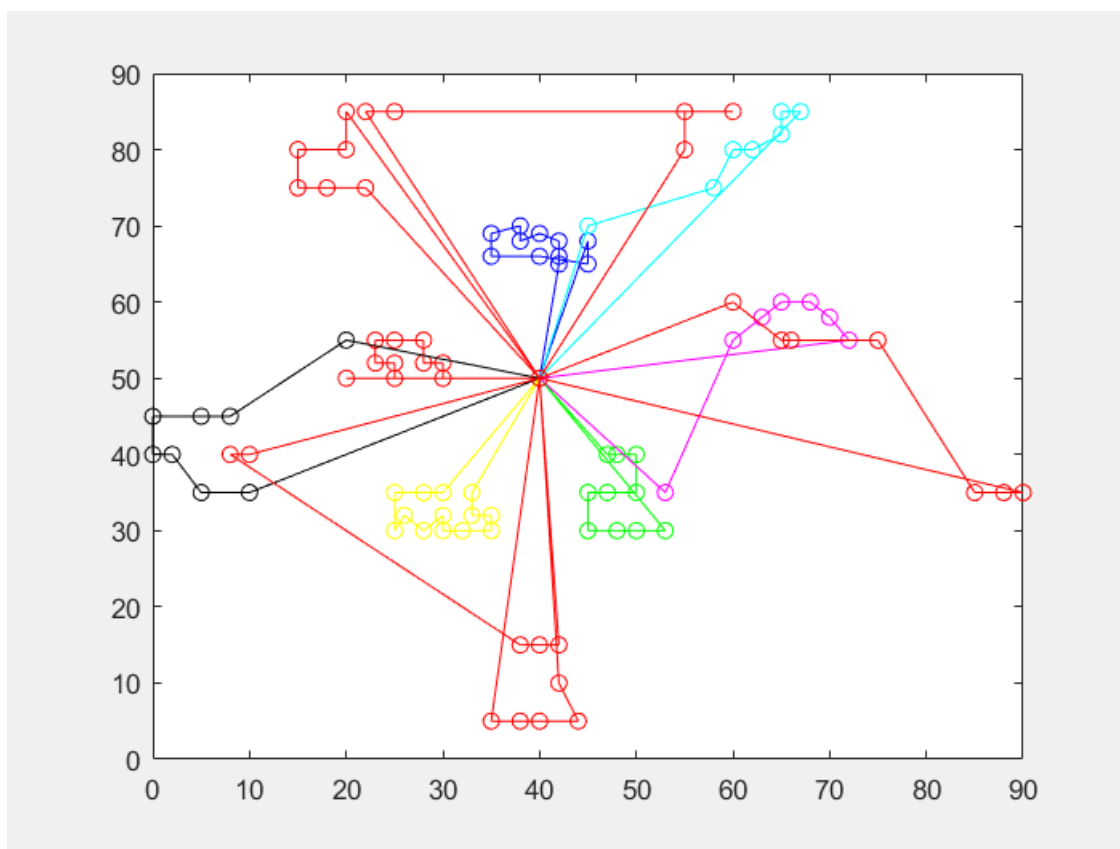
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 1199.5 μονάδες

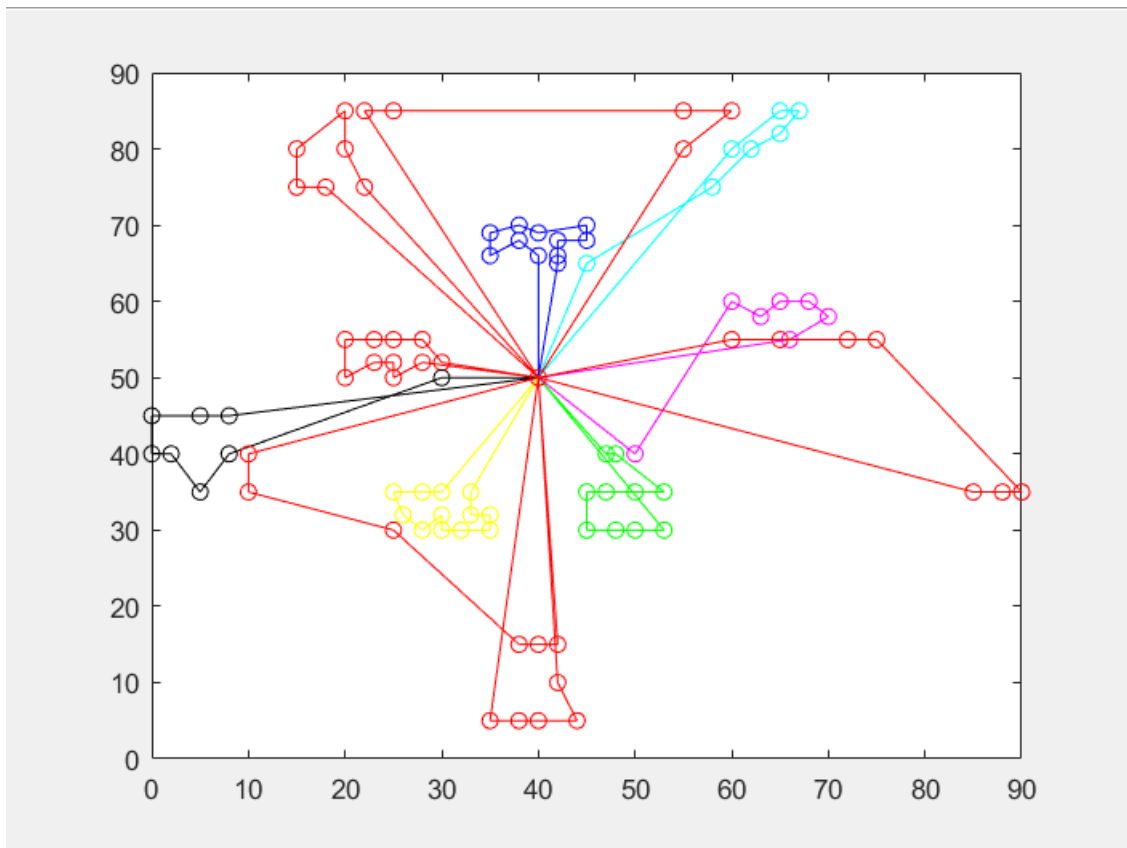
Βελτιωμένο κόστος : 1175.5 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 7

Παρουσίαση τελικού γράφου:



Εικόνα αποτελεσμάτων 8

Τελικό κόστος 1175.5

Αριθμός διαδρομών 13

1^η διαδρομή πελατών :22-24-27-29-31-30-28-26-25-23

2^η διαδρομή πελατών :68-66-75-63-67-70-69-65-62-73

3^η διαδρομή πελατών :6-4-5-2-3-7-10-12-11-9-8

4^η διαδρομή πελατών :44-43-42-41-45-46-47-49-51-53-50-48

5^η διαδρομή πελατών :64-92-90-89-86-85-87

6^η διαδρομή πελατών :76-99-96-95-93-94-97

7^η διαδρομή πελατών :35-37-40-39-38-36-34-21

8^η διαδρομή πελατών :91-88-84-83-77-79-82

9^η διαδρομή πελατών :18-19-20-17-16-14

10 διαδρομή πελατών :33-32-52-60-58-56

11^η διαδρομή πελατών :100-98-101-13-15

12^η διαδρομή πελατών :55-54-57-59-61

13^η διαδρομή πελατών :80-78-74-72-71-81

5^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 200

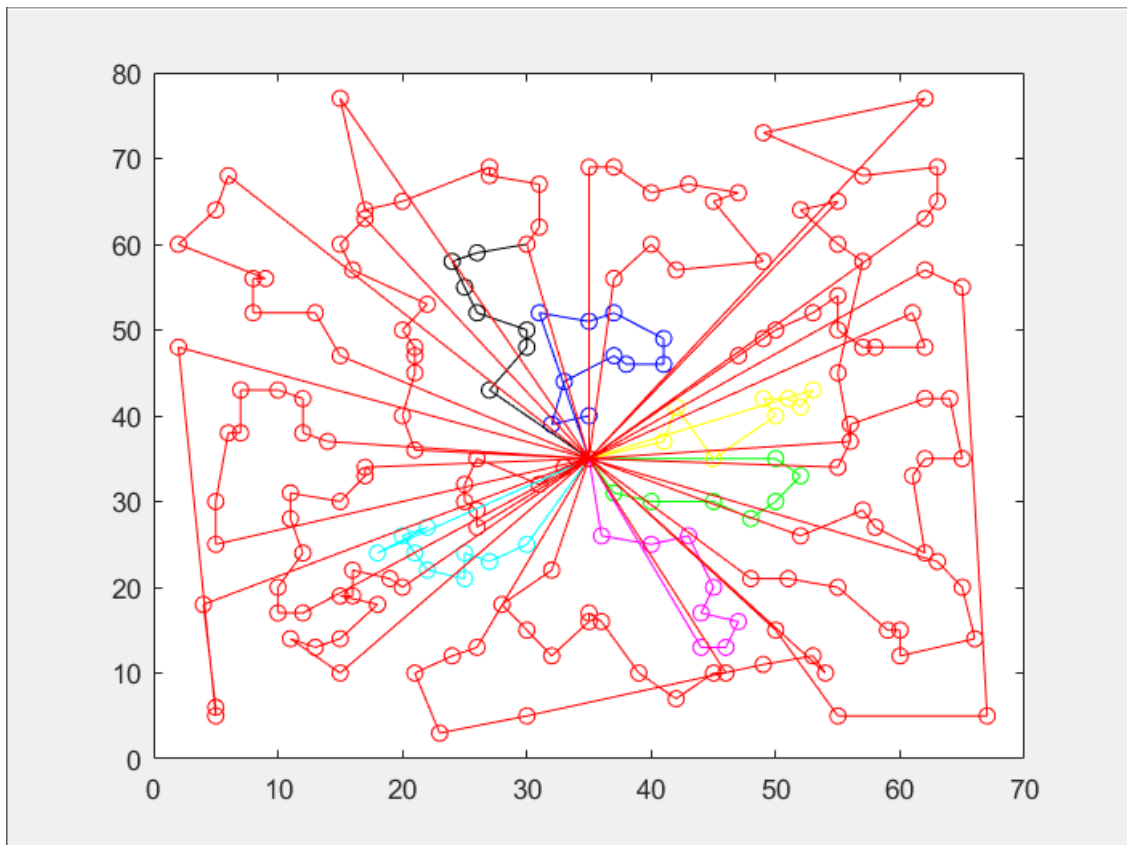
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 1955,5 μονάδες

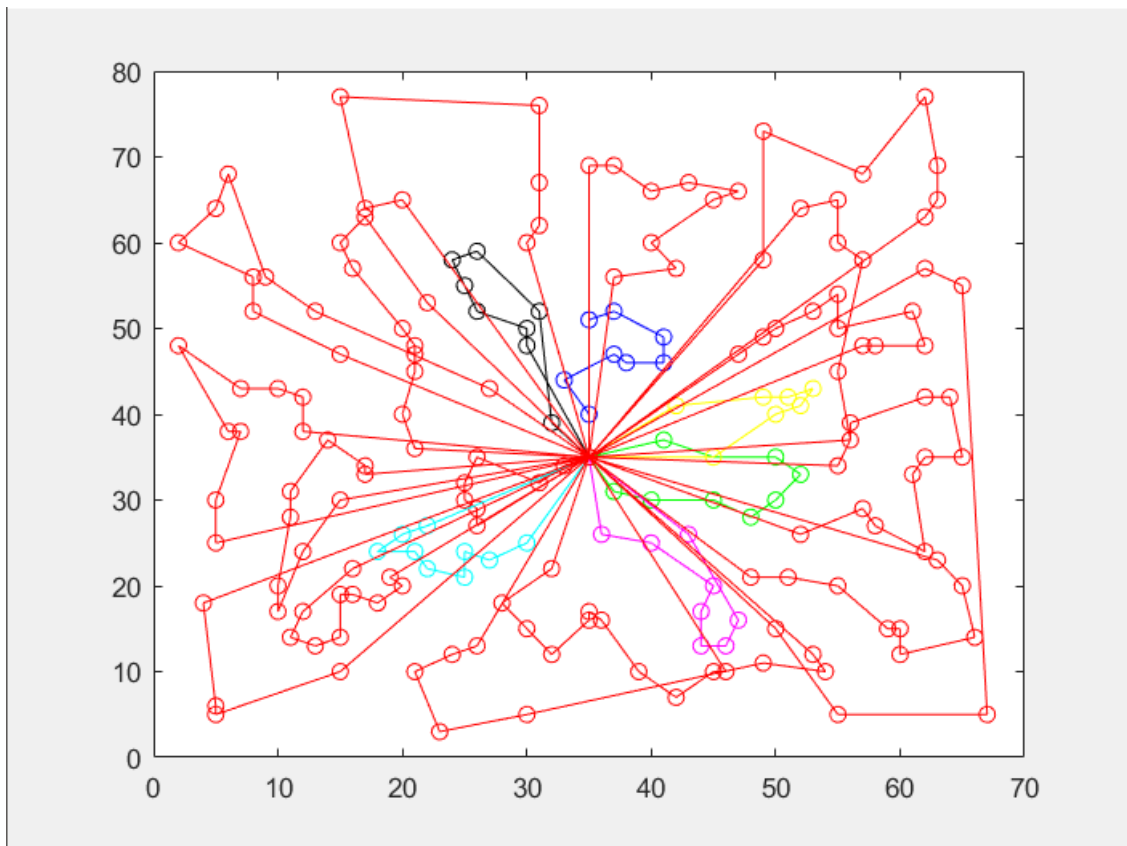
Βελτιωμένο κόστος : 1855,6 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 9

Παρουσίαση τελικού γράφου:



Εικόνα αποτελεσμάτων 10

Τελικό κόστος 1.855,6

Αριθμός διαδρομών:24

1^η διαδρομή πελατών:157-113-90-148-7-184-95

2^η διαδρομή πελατών:54-106-27-150-196-110-13-29

3^η διαδρομή πελατών:70-133-177-2-102-163-168-28

4^η διαδρομή πελατών:155-139-185-117-78-197-77-112

5^η διαδρομή πελατών:153-59-41-22-74-172-75-73-181

6^η διαδρομή πελατών:14-118-96-98-93-152-60-94-105-100-97

7^η διαδρομή πελατών:147-53-89-149-63-160-11-191-128

8^η διαδρομή πελατών:138-88-145-58-179-3-116-146-42-23-134

9^η διαδρομή πελατών:167-19-154-107-195-124-20-108-183

10^η διαδρομή πελατών:51-103-158-34-82-186-80-130-79-170

11^η διαδρομή πελατών:61-119-6-85-174-62-17-142-192-92

12^η διαδρομή πελατών:199-111-5-156-140-188-40-171-26-56

13^η διαδρομή πελατών:180-55-131-166-135-164-25-30-122-69-81

14^η διαδρομή πελατών:178-151-4-159-121-10-104-52

15^η διαδρομή πελατών:71-123-31-21-189-67-129-161-32

16^η διαδρομή πελατών:84-200-115-9-175-47-46-126-18

17^η διαδρομή πελατών:38-99-86-194-101-193-15-120-45

18^η διαδρομή πελατών:83-49-125-169-48-37-144-50-8

19^η διαδρομή πελατών:173-43-143-44-16-76-187-57

20^η διαδρομή πελατών:198-24-68-35-165

21^η διαδρομή πελατών:190-109-91-127-64-65-176-12

22^η διαδρομή πελατών:114-87-141-39

23^η διαδρομή πελατών:136-36-137-66-72-162

24^η διαδρομή πελατών:132-33-182

6^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 151

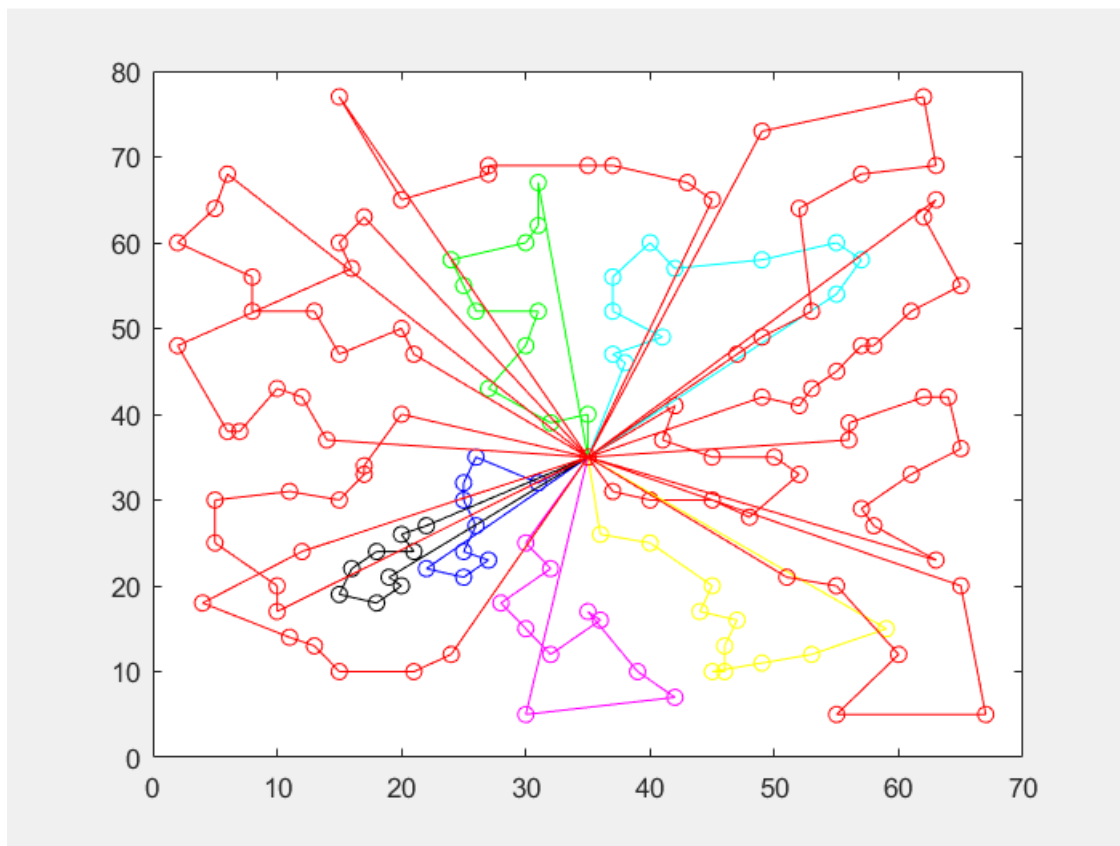
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 1469,2 μονάδες

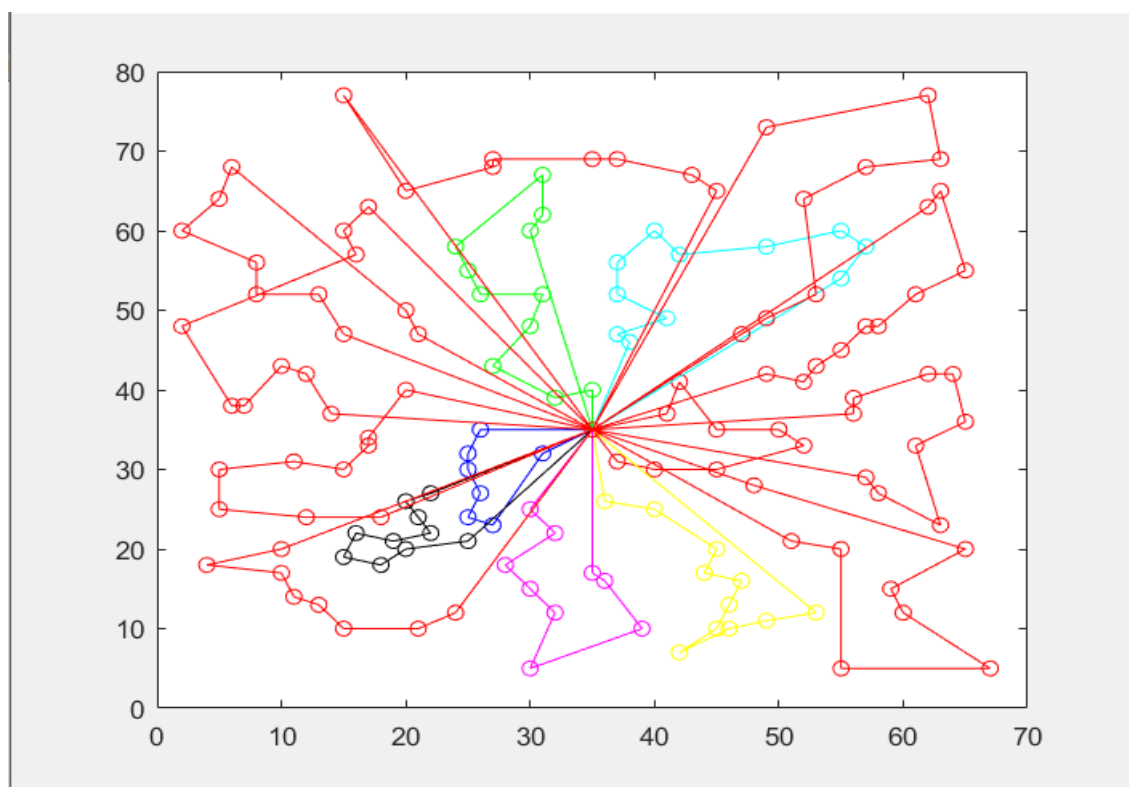
Βελτιωμένο κόστος : 1425,6 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 11

Παρουσίαση τελικού γράφου:



Εικόνα αποτελεσμάτων 12

Τελικό κόστος 1425,6

Αριθμός διαδρομών: 17

1^η διαδρομή πελατών:54-106-27-110-13-139-112-29

2^η διαδρομή πελατών:28-147-53-128-32-89-149-63-91-109-11

3^η διαδρομή πελατών:90-148-7-95-96-118-113

4^η διαδρομή πελατών:59-41-22-74-73-75-23-42-134-76-57

5^η διαδρομή πελατών:14-138-88-145-58-16-146-116-3

6^η διαδρομή πελατών:133-70-2-102-71-31-123-52-10-121-82

7^η διαδρομή πελατών:97-100-105-60-93-99-86-92-101-38-98

8^η διαδρομή πελατών:77-117-78-4-80-130-79-35-36-136

9^η διαδρομή πελατών:19-61-119-6-85-18-114-62-94

10^η διαδρομή πελατών:51-103-34-104-72-137-66-67

11^η διαδρομή πελατών:83-49-125-48-37-144-50-8-107

12^η διαδρομή πελατών:81-151-69-122-30-25-135-56-131-55

13^η διαδρομή πελατών:84-115-9-126-46-47-124-20-108

14^η διαδρομή πελατών:111-5-24-68-40-140-26-150

15^η διαδρομή πελατών:43-143-15-120-45-142-87-17

16^η διαδρομή πελατών:21-129-132-33-64-127-12-65

17^η διαδρομή πελατών:44-39-141

6^ο Σετ δεδομένων:

Αριθμός κόμβων : 121

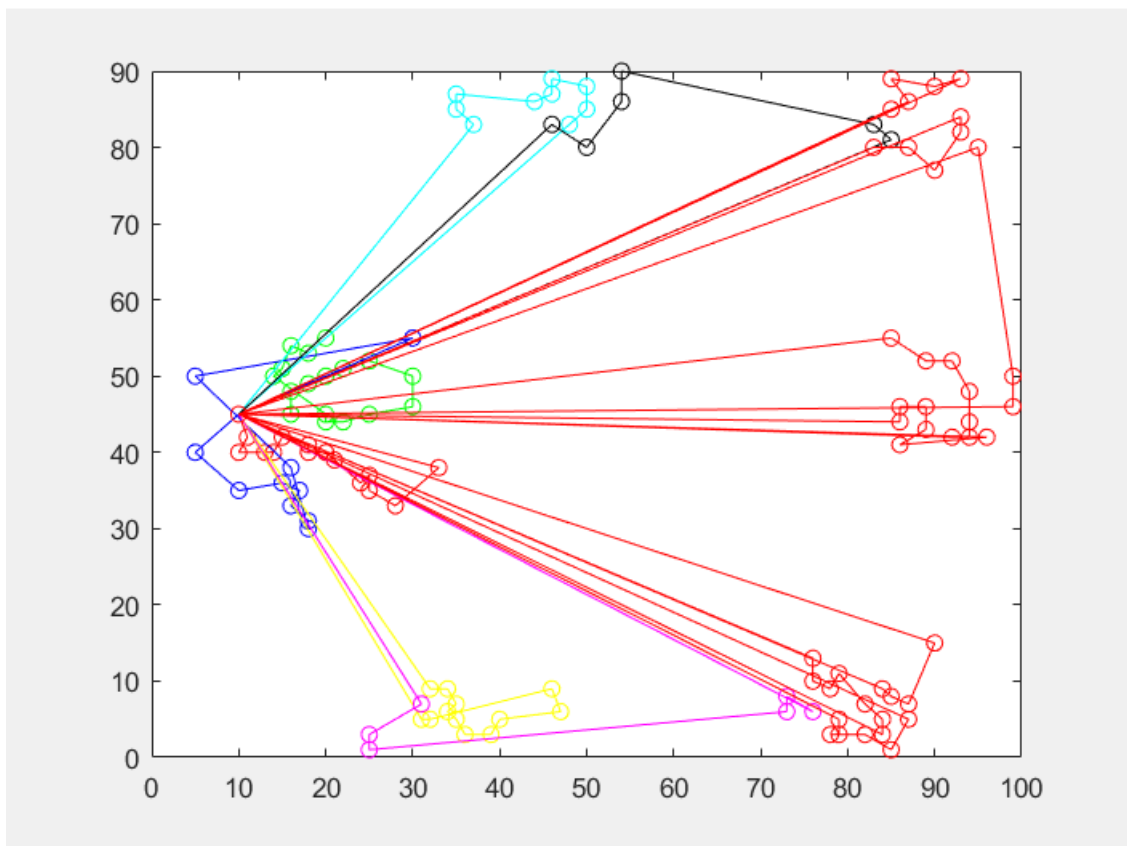
Μέγιστη χωρητικότητα οχήματος : 160 τεμάχια

Μέγιστος χρόνος παραμονής στην διαδρομή : 200 μονάδες

Κόστος αρχικής λύσης (λύσης N.N) : 2551,2 μονάδες

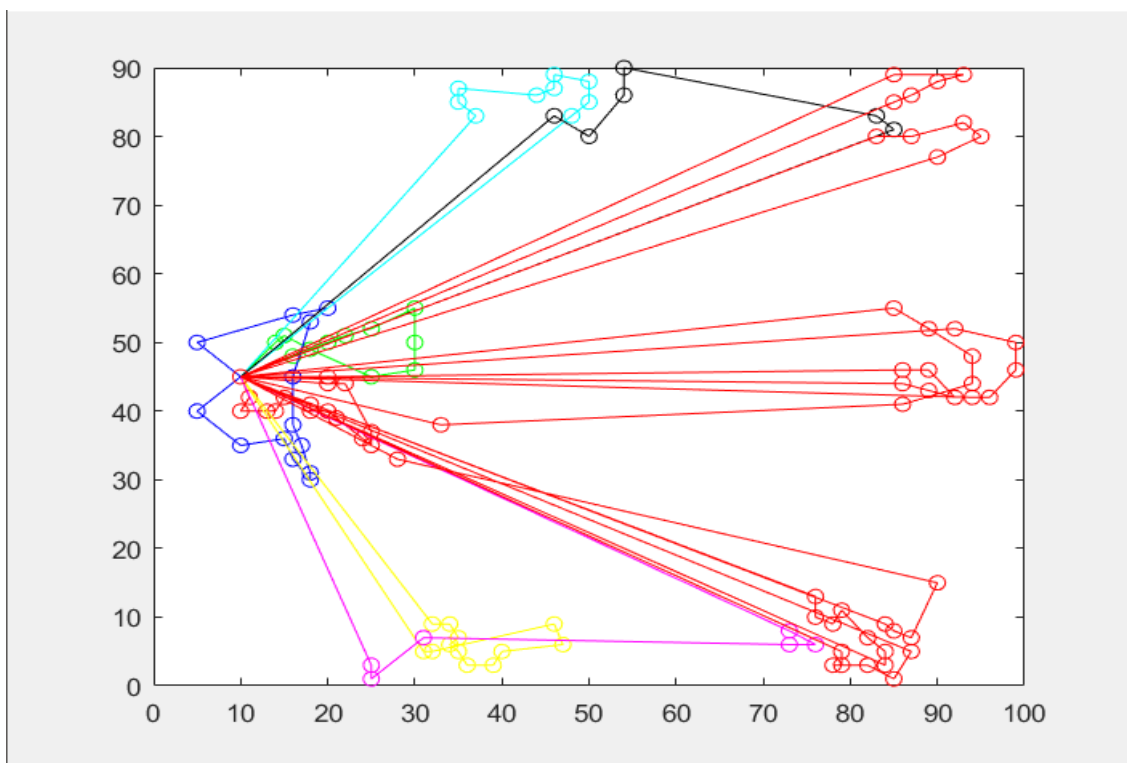
Βελτιωμένο κόστος : 2.434,6 μονάδες

Παρουσίαση γράφου αποτελέσματος πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 11

Παρουσίαση γράφου πλησιέστερου γείτονα:



Εικόνα αποτελεσμάτων 12

Τελικό κόστος: 2.434,6

Αριθμός διαδρομών 16

1^η διαδρομή πελατών:89-83-112-87-88-93-90-92-91-19-119-115-95-94

2^η διαδρομή πελατών:103-100-101-117-99-111-116-98-102-107-106

3^η διαδρομή πελατών:120-82-113-118-84-114-85-86-96-105-104-108-121

4^η διαδρομή πελατών:7-8-10-11-12-16-15-14-13-9-5-4

5^η διαδρομή πελατών:3-2-6-17-20-18

6^η διαδρομή πελατών:68-70-71-72-75-73-76-79-78-77

7^η διαδρομή πελατών:74-69-80-81-54-55

8^η διαδρομή πελατών:22-21-24-27-29-32-31

9^η διαδρομή πελατών:41-44-49-48-38-110

10^η διαδρομή πελατών:97-40-43-45-42-39

11^η διαδρομή πελατών:26-25-23-28-34-35

12^η διαδρομή πελατών:53-58-62-66-60

13^η διαδρομή πελατών:33-36-37-30-109

14^η διαδρομή πελατών:56-59-61-64-57

15^η διαδρομή πελατών:46-52-51-50-47

16^η διαδρομή πελατών:63-67-65

5.2 Συμπεράσματα και σχολιασμοί

Παρατηρώντας τους γράφους που προκύπτουν από την διαδικασία του πλησιέστερου γείτονα και στη συνέχεια συγκρίνοντάς τους με τους επόμενους που εξάγονται ως τελική λύση του προβλήματος παρατηρούμε και δια γυμνού οφθαλμού ότι υπάρχει ένα 'ξεσκαρτάρισμα' διαδρομών που εμπλέκονται μεταξύ τους. Αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι ο αλγόριθμος αρχικά είναι σωστά δομημένος και δεν έχει ελλείψεις. Εν συνεχεία μπορούμε να σχολιάσουμε τα εξής:

-Στα σετ δεδομένων που ο αριθμός των πελατών είναι έως 76 μονάδες ο αλγόριθμος εξάγει καλά αποτελέσματα αφού βελτιώνει το αρχικό κόστος έως και 25%

την στιγμή που όταν αντιμετωπίζει ογκοδέστερα προβλήματα της τάξης των 200 πελατών η βελτίωση του αρχικού αποτελέσματος φτάνει έως 10% με 12%.

-Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι παρ' όλο που ο αριθμός των κόμβων από πρόβλημα σε πρόβλημα διαφέρει αρκετά, κάποιες τιμές που καθορίζουν την διάρκεια του κώδικα, τον αριθμό επαναλήψεων και σίγουρα το τελικό αποτέλεσμα παραμένουν σταθερές ενώ αν άλλαζαν αναλόγως τον όγκο των δεδομένων πιθανόν να προκύπταν καλύτερα αποτελέσματα. Τέτοιες τιμές είναι το μέγεθος της Tabu List, ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγόριθμου της περιορισμένης αναζήτησης καθώς και το κόστος ανοχής που έχουμε ορίσει προκειμένου να δέχεται λύσεις η διαδικασία της εντατικοποίησης και της διαφοροποίησης.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι η παρούσα διπλωματική εργασία ξεκίνησε καλώντας αρχικά μόνο την τοπική αναζήτηση exchange 2-2 και στην συνέχεια τον αλγόριθμο περιορισμένης αναζήτησης Tabu Search. Η χρήση του exchange 2-2 δεν κρίθηκε αποτελεσματική και γι' αυτό στη συνέχεια προτιμήθηκε ο συνδυασμός των relocate 1-0 και exchange 1-1.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ι.Μαρινάκης, Α.Μυγδαλάς, Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Εκδόσεις 'ΣΟΦΙΑ' , Θεσσαλονίκη 2008.

[2] <https://www.mathworks.com>

[3] Ευρετικοί και Μεθευρετικοί αλγόριθμοι , Ι.Μαρινάκης.