Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής Και Συστημάτων Πληροφορικής

Μεθοδολογίες Ανάπτυξης Πληροφοριακών Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων για την Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων και την Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίου στον Τομέα των Logistics

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ν. ΜΟΥΡΚΟΥΣΗΣ
Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής

Αθήνα, Νοέμβριος 2008

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής Και Συστημάτων Πληροφορικής

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μεθοδολογίες Ανάπτυξης Πληροφοριακών Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων για την Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων και την Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίου στον Τομέα των Logistics

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ν. ΜΟΥΡΚΟΥΣΗ
Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής

Συμβουλευτική Επιτροπή: Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Νικόλαος Μήτρου
Νεκτάριος Κοζύρης

Θ. Βαρβαρίγου Καθηγήτρια ΕΜΠ	Νικ. Μήτρου Καθηγητής ΕΜΠ	Νεκ. Κοζύρης Αν. Καθηγητής

Β. Λούμος Καθηγητής Ε.Μ.Π	Ι. Ψαρράς Καθηγητής Ε.Μ.Π	Δ. Ασκούνης Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Α. Δουλάμης Επ. Καθηγητής Πολυτεχνείο Κρήτης

Αθήνα, Νοέμβριος 2008

Πρόλογος

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου κα Θεοδώρα Βαρβαρίγου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με εξαιρετικά ενδιαφέροντα ερευνητικά θέματα, για τις εμπειρίες που απέκτησα κατά τη διεξαγωγή της έρευνας μου, για τις πολύτιμες συμβουλές της, για τον τρόπο που μου έμαθε να σκέφτομαι και να ενεργώ στην ανάλυση και επίλυση προβλημάτων, για την καθοδήγηση της σε όλο το φάσμα της συνεργασίας μας. Ομοίως, θα ήθελα να ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν τους καθηγητές μου κ.κ. Νικόλαο Μήτρου και Νεκτάριο Κοζύρη, μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου.

Ευχαριστώ επίσης, από καρδίας, τους συναδέλφους μου Ματθαίο Πρωτονοτάριο, Κωστή Χριστογιάννη, Γιάννη Σταυρούλα, Κατερίνα Τσιάρα, Άγγελο Γιαννόπουλο και Δημήτρη Χάλκο για την συνεργασία μας μα πάνω από όλα για την φιλία μας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους δικούς μου ανθρώπους και στην οικογένεια μου για την στήριξη και την συμπαράσταση τους σε ότι έχω καταφέρει μέχρι σήμερα. Ιδιαίτερα στην μητέρα μου, στην οποία και αφιερώνεται η παρούσα εργασία.

Γεώργιος Ν. Μουρκούσης

Νοέμβριος 2008

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής άπτεται της ανάπτυξης μεθοδολογιών για την υλοποίηση Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (ΣΥΛΑ) σε περιβάλλοντα αβεβαιότητας (δεν είναι γνωστές και ντετερμινιστικές όλες οι παράμετροι του προβλήματος) στον τομέα των μεταφορών και είναι δυϊκό. Από την μία, έχει γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση ανάπτυξης ενός γενετικού αλγορίθμου για την δρομολόγηση στόλου οχημάτων σε πολύπλοκα (πολλοί περιορισμοί/ παράμετροι) και μεγάλης κλίμακας επίγεια δίκτυα διανομής σε στρατηγικό επίπεδο. Από την άλλη, έχει πραγματοποιηθεί έρευνα πάνω στην χρήση στατιστικών μοντέλων στα πλαίσια ενός ευρετικού αλγορίθμου για την αξιολόγηση εντολών μεταφοράς φορτίου εκ μέρους ιδιοκτητών στόλων πλοίων στην εμπορική ναυτιλία.

Στα δίκτυα διανομής η ερεύνα στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε πάνω σε ένα πραγματικό σύνθετο πρόβλημα δρομολόγησης στόλου οχημάτων για την διανομή προϊόντων σε πελάτες. Ένας μη ομογενής στόλος οχημάτων με πεπερασμένη χωρητικότητα και διαθέσιμο χρόνο είναι διαθέσιμος σε μία ή περισσότερες αποθήκες για την ικανοποίηση της στοχαστικής ζήτησης ενός πολυπληθούς συνόλου πελατών με παράθυρα χρόνου για την εξυπηρέτησή τους. Αναπτύχθηκε μεθοδολογία που προτείνει λύσεις με μειωμένο κόστος διανομής οι οποίες ικανοποιούν ταυτόχρονα και

πρόσθετα κριτήρια όπως η ζήτηση των πελατών, η χωρητικότητα των οχημάτων, οι ώρες εργασίας των οδηγών και οι ασυμβατότητες μεταξύ πελατών και οχημάτων ή οδηγών. Δίνεται έμφαση στην στρατηγική δρομολόγηση, δηλαδή την δρομολόγηση όπου οι διαδρομές είναι έγκυρες και ισχύουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα μιας και στην πραγματικότητα η χρήση σταθερών δρομολογίων που μπορούν να είναι επιχειρησιακά για ευρεία διαστήματα έχει μεγάλη προτεραιότητα για τις εταιρίες διανομής. Υιοθετήθηκε η προσέγγιση του προβλήματος με την χρήση γενετικού αλγορίθμου, της ενσωμάτωσης μιας νέας κωδικοποίησης λύσεων και της δημιουργίας των ανάλογων τελεστών μετάλλαξης και διασταύρωσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αλγόριθμος παρουσιάζει απόδοση κοντά στο βέλτιστο για θεωρητικά προβλήματα της βιβλιογραφίας και η γενική μεθοδολογία παράγει ποιοτικά δρομολόγια σε στρατηγικό επίπεδο όταν πραγματικά προβλήματα μεγάλου όγκου ληφθούν υπόψη.

Στην ναυτιλιακή αγορά, η παρούσα διατριβή προτείνει ένα νέο αλγόριθμο για την αξιολόγηση, εκ μέρους των διαχειριστών πλοίων, εντολών μεταφοράς φορτίου στην ελεύθερη ναυτιλιακή αγορά. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στην αποδοτική βελτίωση του «υπολογισμού ταξιδίου» με διαδικασίες που είναι γνωστό από την εμπειρία των ειδικών ότι είναι ιδιαίτερα επιτυχημένες στην συγκεκριμένη βιομηχανία και επέκταση τους με ένα εύρωστο σύστημα

προβλέψεων παραμέτρων βασισμένο σε στατιστικές μεθόδους. Η φύση της ελεύθερης ναυτιλιακής αγοράς κάνει το πρόβλημα να έγκειται στην διαδικασία λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα με συνέπεια το σύστημα να μην μπορεί να εγγυηθεί βέλτιστες λύσεις. Ο στόχος της προτεινόμενη μέθοδος είναι να παρέχει ένα ιεραρχικό σύστημα διαδικασιών φιλτραρίσματος και αξιολόγησης στην σχετική επιχειρησιακή ροή πληροφοριών που κατακλύζει τις ναυτιλιακές εταιρίες και τους διαχειριστές ναυλώσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο χρήστη ανάλογα με την αριθμητική τους αξιολόγησης αλλά και το πόσο είναι συμβατά με την εταιρική πολιτική. Επισημαίνεται ότι δεν υπάρχει γνωστός αλγόριθμος για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνου ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί με επιτυχία να βοηθήσει τον ειδικό κατά την διάρκεια πραγματικών διαδικασιών αξιολόγησης πιθανών ναυλώσεων αφού του επιτρέπει να λάβει υπόψη του ένα ευρύτερο σύνολο επιχειρηματικών επιλογών απόρροια της βελτιωμένης διαδικασίας οργάνωσης των πληροφοριών και αξιολόγησης τους από το σύστημα.

Abstract

This thesis pursues a detailed modeling and a robust decision-making support approach to real life problems in the domain of transportation logistics. The objective is to provide a deeper understanding of real life transportation problems with various characteristics and to investigate and invent new and effective algorithms that produce near-optimal solutions.

In the area of urban distribution networks a strategy that uses genetic algorithms is presented, which proves to be efficient in routing problems. A new chromosome representation suitable for routing and scheduling problems is introduced. The proposed algorithm is supported by domain specific, intelligent genetic operators which boost the genetic search towards near optimal solutions. In order to deal with premature convergence and degeneration of population, a dynamic population sizing technique is proposed that provides a desired level of genetic diversity throughout the evolution. The proposed approach produces competitive results, comparing to best published results reported thus far by other researchers on classical vehicle routing benchmarks problems. Extensive tests with real operational data sets have also been performed, leading to high-quality results.

In the area of the maritime spot market, this thesis introduces a novel concept referred as the maritime voyage order assessment problem and tackles the challenge of providing practically, industrially, significantly useful decision support to chartering managers in shipping companies or other vessel operators when facing the specific problem. Its main inspiration is in avoiding to tackle aspects of the problem that cannot be solved. Chartering decisions are decisions made under considerable uncertainty therefore it is futile to attempt error-less optimisation. Furthermore, the quality of chartering decisions largely depends on intuitive choices made by the human expert, including strategic considerations concerning the desired long-term utilisation of a vessel or fleet; therefore, it would be inappropriate to present machine-automated decisions as "suggestions". The proposed solution, developing decision support mechanisms at a detailed conceptual, algorithmic and mathematical level, uses statistical techniques to predict the quality of a suggested vessel charter, as well as a "categorical" system that allows binary classification of options according to desirability-related criteria. As a result, the user has complete access to all business opportunities, but can quickly consider the most high-paying safe options, as well as the most-high paying risky options, the latter being very likely to be the most high-paying overall, but requiring separate consideration due

to their risk-related low desirability. The potential impact of the proposed approach is considered to be particularly high, because the described system allows chartering managers to navigate larger quantities of information, efficiently locating business opportunities worth considering. Thus, it is still the human expert who chooses the offer that is truly worth accepting; the computer system's role is to guide the expert to assess the promising offers as soon as possible, while not being bogged down in the overload of undesirable ones.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1ο Εισαγωγή 27

1.1 Αντικείμενο της διατριβής 31

1.1.1 Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής 31

1.1.2 Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίου 35

1.2 Οργάνωση της διατριβής 37

Κεφάλαιο 2ο Βασικές Έννοιες 40

2.1 Logistics 40

2.2 Συστήματα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων 44

2.3 Συνδυαστική Βελτιστοποίηση 46

2.4 Γενετικοί Αλγόριθμοι 47

2.4.1 Λειτουργία των Γενετικών Αλγορίθμων 49

2.4.2 Φυσικές Διαδικασίες 52

Κεφάλαιο 3ο Τα Δίκτυα Διανομής και Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων 63

3.1 Δίκτυα Διανομής 63

3.2 Το Κλασσικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων 66

3.2.1 Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή 66

3.2.2 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων 68

3.3 Παραλλαγές του Προβλήματος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων 69

3.3.1 Σημεία παραγωγής 70
3.3.2 Στόλος οχημάτων 70
3.3.3 Χρόνος Επίσκεψης 71
3.3.4 Χρόνος Εξυπηρέτησης 73
3.3.5 Παραλαβή προϊόντων 73
3.3.6 Εξάρτηση σημείων διάθεσης και παραγωγής με τα οχήματα 74
3.3.7 Εξάρτηση πελατών – οχημάτων 75
3.3.8 Ασυμβατότητες μεταξύ πελατών 75
3.3.9 Σημαντικότητα πελατών 75
3.3.10 Χαρακτηριστικά Δικτύου 76

3.4 Περίοδος Δρομολόγησης 76

3.5 Συνάρτηση βελτιστοποίησης του προβλήματος 79

3.6 Σχετική Έρευνα 80

Κεφάλαιο 4ο Η Ναυτιλιακή Αγορά και το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων 85

4.1 Εισαγωγή 85

*4.2 Κατηγοριοποίηση Ναυτιλιακής Α*γοράς 86

4.2.1 Διάκριση Ναυτιλιακής Αγοράς Ανάλογα το Είδους Παρεχόμενης Υπηρεσίας 86
4.2.2 Διάκριση Ναυτιλιακής Αγοράς Ανάλογα το Μέγεθος του Πλοίου και το Είδος του Φορτίου 89
Διάκριση Ναυτιλιακής Αγοράς Ανάλογα με τον Τύπο Ναύλωσης 97

4.3 Οντότητες της Ναυτιλιακής Αγοράς 103

4.3.1 Κύριος πλοίου –πλοιοκτήτης -εφοπλιστής 104
4.3.2 Ναυλωτής 105
4.3.3 Διαχειριστής Ναυλώσεων 106
4.3.4 Μεσίτης 106

4.4 Το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολής Μεταφοράς Φορτίου 107

4.5 Σχετική Έρευνα 110

Κεφάλαιο 5ο Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων σε Επίγεια Δίκτυα Διανομής 115

5.1 Εισαγωγή 115

5.2 Δυναμική Φύση του Προβλήματος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής 116

5.3 Το Μοντέλο Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής..... 118

5.4 Μαθηματικό Μοντέλο 120

5.4.1 Μεταβλητές Απόφασης 122
5.4.2 Αντικειμενική Συνάρτηση 123
5.4.3 Περιορισμοί 123

5.5 Ο Γενετικός Αλγόριθμος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής 124

5.5.1 Κωδικοποίηση 124
5.5.2 Υπολογισμός Ομοιότητας Λύσεων 127
5.5.3 Αρχικοποίηση Πληθυσμού 128
5.5.4 Έλεγχος Περιορισμών 130
5.5.5 Αντικειμενική Συνάρτηση 131
5.5.6 Επιλογή 133
5.5.7 Διασταύρωση 134
5.5.8 Μετάλλαξη 136
5.5.9 Αντικατάσταση 139

5.5.10 Έλεγχος Ποικιλίας Πληθυσμού 143

5.6 Επιχειρησιακή Δρομολόγηση 144

5.7 Πειραματικά Αποτελέσματα 146

5.7.1 Πειράματα σύγκρισης Τελεστών Διασταύρωσης 146
5.7.2 Πειράματα Σύγκρισης Μεθόδων Επιλογής-Αντικατάστασης Λύσεων ... 150
5.7.3 Πειράματα στα Προβλήματα Solomon 154
5.7.4 Πειράματα σε Πραγματικά Δεδομένα 161

5.8 Παράλληλη Επίλυση 164

5.9 Το ΣΥΛΑ για Δίκτυα Διανομής που Υλοποιήθηκε 167

5.9.1 Επιλογή Πελατών και Οχημάτων 167
5.9.2 Επιλογή παραμέτρων δρομολόγησης 168
5.9.3 Διαχείριση των βασικών δρομολογίων 170

Κεφάλαιο 6ο Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων για Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίων στην Εμπορική Ναυτιλία 173

6.1 Εισαγωγή 173

6.2 Το Μοντέλο Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίων στην Εμπορική Ναυτιλία 175

6.2.1 Περιγραφή της Διαδικασίας Ναύλωσης στην Ναυτιλία 176
6.2.2 Ανάλυση Ναυτιλιακών Πληροφοριακών Συστημάτων 183

6.3 Υπολογισμός Ταξιδιού 187

6.4 Δεσπόζουσες Επιχειρηματικές Πρακτικές 188

6.5 Ο Αλγόριθμος Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων 191

6.5.1 Φάση Φιλτραρίσματος 196
6.5.2 Φίλτρο Απόλυτων Κριτηρίων Επιλογής..... 197
6.5.3 Φίλτρο Δυαδικών Κριτηρίων Επιλογής 199
6.5.4 Φάση Αξιολόγησης..... 201

6.6 Πειραματικά Αποτελέσματα 213

6.6.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων 214

Κεφάλαιο 7ο Σύνοψη.....223

7.1 Γενική σύνοψη 223

7.2 Καινοτομία Διατριβής 226

Αναφορές 229

Δημοσιεύσεις 241

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Οδηγός Σχεδιασμού Ενδοδικτυακής Επιχειρησιακής Υποδομής για Ναυτιλιακές ΕταιρίεςΣφάλμα! Δεν έχει ορι

Εισαγωγή .....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Ορισμοί.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Ενδοδίκτυο (Intranet).....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Extranet .....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Διαδικτυακός Εξυπηρετητής (Web Server)**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Πελάτης (Client) .....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Λογισμικό συλλογικής χρήσης (Groupware)**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Ιστοσελίδες.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Σελίδες περιεχομένου .....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σελίδες μεσίτες (broker pages)..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Προοπτική Ενδοδικτύου..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Δυνητικά οφέλη..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Κοινά προβλήματα των υπαρχόντων ενδοδικτύων**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Ζυγίζοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός ενδοδικτύου στη ναυτιλία..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Αρχιτεκτονική..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Προτεινόμενη διαδικασία σχεδίασης ενδοδικτύου**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Προσδιορισμός των στόχων του ενδοδικτύου**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Αναγνώριση των χρηστών κλειδιά ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Απαιτήσεις χρήστη ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Κριτήρια χρησιμότητας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Προσδιορισμός πόρων περιεχομένου και στρατηγικής διαχείρισης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδ**

Ορισμός στρατηγικής ενσωμάτωσης και σχεδίου**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Ανάγκες αρχιτεκτονικής πληροφοριών διευθύνσεων**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Αναθεώρηση και επανεγγραφή βασικού περιεχομένου**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Καθορίστε τη στρατηγική διασποράς και εκπαίδευσης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Μελλοντικές εξελίξεις..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Νέες διαδικτυακές υπηρεσίες για τη ναυτιλία**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Δίκτυα ομότιμων κόμβων (peer to peer) για διαδικτυακές υπηρεσίες στη ναυτιλία..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Οδηγός Σχεδιασμού Πιλοτικών Διαδικτυακών Υπηρεσιών Ναύλωσης (Chartering Networking Service) ..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Αναμενόμενα οφέλη από τις Διαδικτυακές Υπηρεσίες Ναύλωσης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδ**

Πιθανό πεδίο των Διαδικτυακών Υπηρεσιών Ναυλώσεων**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Εισαγωγή ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Ροές Εργασιών Βασισμένες στο Διαδίκτυο**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Διαδικτυακή πύλη ναύλωσης.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Διαδικτυακές Υπηρεσίες Ναυλώσεων...**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Συμπεράσματα και εστίαση ανάπτυξης.**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Διαδικτυακές Υπηρεσίες Ναύλωσης.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Διαδικτυακές Υπηρεσίες: Ορισμοί.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Διαδικτυακές Υπηρεσίες – Βασικές αρχές αρχιτεκτονικής**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδε**
Διαδικτυακές Υπηρεσίες -- Τεχνολογίες υποστήριξης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτη**
Σημασία των διαδικτυακών υπηρεσιών.**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Γιατί οι διαδικτυακές υπηρεσίες είναι μια κατάλληλη εφαρμογή για ναυλώσεις**Σφάλμα! Δεν έ**
Διαδικτυακές Υπηρεσίες Ναυλώσεων...**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Εννοιολογικό μοντέλο/πρότυπο Διαδικτυακών Υπηρεσιών Ναύλωσης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστε**

Υπηρεσία Αξιολόγησης Επιλογής Ναύλωσης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Γενική περιγραφή.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Ανάπτυξη των τμημάτων λογισμικού υποστήριξης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Διασυνδέτες αναζήτησης.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Διασυνδέτες αναζήτησης για την υπηρεσία αξιολόγησης επιλογής ναύλωσης**Σφάλμα! Δεν έχε**
Αρχικός σχεδιασμός του Διασυνδέτη Αναζήτησης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Τμήματα υποδομής συμπεριλαμβανόμενης της ασφάλειας**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεί**

Κρυπτογράφηση.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Συμμετρική Κρυπτογράφηση.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Ασύμμετρη Κρυπτογράφηση .....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Ασφάλεια επιπέδου μεταφοράς (TLS)...**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
Κρυπτογράφηση στο ΔΥΝ.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Μελλοντικές Εργασίες.....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήματα

Σχήμα 1. Διεθνές θαλάσσιο εμπόριο 1970-2006 σε εκατομμύρια τόνους (επιλεγμένα έτη) 92

Σχήμα 2. Δομή Χρωματοσώματος ΑΔΣΟΔΔ 126

Σχήμα 3. Αλγόριθμος υπολογισμός ομοιότητας λύσεων 128

Σχήμα 4. Διασταύρωση 1 σημείου 134

Σχήμα 5. Διασταύρωση 2 σημείων 135

Σχήμα 6. Διασταύρωση "καλύτερου γονιδίου" 136

Σχήμα 7. Τελεστής Μετάλλαξης Αλλαγής Σειράς Κόμβου 137

Σχήμα 8. Τελεστής Μετάλλαξης Ανταλλαγής Κόμβων 138

Σχήμα 9. Τελεστής Μετάλλαξης Ανταλλαγής Οχημάτων ή Οδηγών .. 139

Σχήμα 10. Τεχνική ελέγχου ποικιλίας πληθυσμού 144

Σχήμα 11. Καλύτερες τιμές ευρωστίας πληθυσμού για τους 3 τελεστές διασταύρωσης 147

Σχήμα 12. Βαθμός ποικιλομορφίας πληθυσμού για τους 3 τελεστές διασταύρωσης 148

Σχήμα 13. Καλύτερες τιμές ευρωστίας πληθυσμού για τις διάφορες μεθόδους επιλογής και αντικατάστασης λύσεων. 151

Σχήμα 14. Βαθμός ποικιλομορφίας πληθυσμού για τις διάφορες μεθόδους επιλογής και αντικατάστασης λύσεων 152

Σχήμα 15. Οθόνη επιλογής πελατών, οχημάτων 168

Σχήμα 16. Οθόνη επιλογής παραμέτρων δρομολόγησης 169

Σχήμα 17. Οθόνη διαχείρισης δρομολογίων 171

Σχήμα 18. Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου αξιολόγησης εντολών μεταφοράς φορτίων..... 194

Σχήμα 19. Φίλτρο Απόλυτων Κριτηρίων Επιλογής..... 197

Σχήμα 20. Φίλτρο Δυαδικών Κριτηρίων Επιλογής 199

Σχήμα 21. Φάση Αξιολόγησης ΑΑΕΜΦ 211

Σχήμα 22. Διάγραμμα ροής δεδομένων για τη φάση αξιολόγησης. .. 212

Σχήμα 23. Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 1 215

Σχήμα 24 Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 2 217

Σχήμα 25. Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 3 218

Σχήμα 26. Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 4 221

Σχήμα 27. Μετρικές Λάθους του ΑΑΕΜΦ για τις διάφορες τιμές του k 222

Σχήμα 28. Προτεινόμενη αρχιτεκτονική ενδοδικτύου (intranet) ναυτιλιακών εταιριών **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 29. Διαχείριση Περιεχομένου**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 30. Αρχιτεκτονική δικτύου ομότιμων κόμβων**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 31. Αρχιτεκτονική ομότιμων πελατών (Peer to Peer).... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 32. Ροη Εργασιών βασισμένη στο διαδίκτυο**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 33. Εννοιολογικό μοντέλο Διαδικτυακών υπηρεσιών Ναύλωσης .....**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 34. Εννοιολογικό πρότυπο υπηρεσιών**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 35. Επισκόπηση της λύσης κρυπτογράφησης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 36. Επισκόπηση της λύσης αποκρυπτογράφησης**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Κεφάλαιο 1ο

Εισαγωγή

Ο τομέας των logistics, δηλαδή της διαχείρισης της λήψης, αποθήκευσης, μετακίνησης και διανομής υλικού γενικά (ο όρος αναλύεται εκτενέστερα στην παράγραφο 2.1), και ειδικότερα ο τομέας των μεταφορών, κυριαρχείται σήμερα από τεχνολογίες που υποστηρίζουν λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση σύγχρονων υπολογιστικών εργαλείων επιτρέπει την ταχεία λήψη αποφάσεων που αφορούν ζητήματα εύρεσης εφαρμόσιμων δρομολογίων, βέλτιστων επιλογών, αξιόπιστης και ταχείας αξιολόγησης εναλλακτικών επιλογών καθώς και το γενικότερο σχεδιασμό υπηρεσιών σε επιχειρησιακά περιβάλλοντα που τα δεδομένα αλλάζουν διαρκώς. Οι τεχνολογίες διαχείρισης πληροφοριών έχουν αναπτυχθεί με πολύ γρήγορους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα να

προσφέρονται σήμερα δυνατότητες που ποτέ άλλοτε δεν ήταν διαθέσιμες. Στην σημερινή εποχή είναι επιτακτική η ανάγκη εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων της σύγχρονης τεχνολογίας όχι μόνο για καλύτερη ποιοτικά και ποσοτικά πληροφόρηση αλλά και για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων που χαρακτηρίζουν τις λειτουργίες συγκεκριμένων διαδικασιών.

Νέα εξελιγμένα πρότυπα βελτιστοποίησης με χρήση δυναμικών και στοχαστικών μοντέλων, χρησιμοποιούνται για τον a priori σχεδιασμό δικτύων και εντολών μεταφοράς οχημάτων και φορτίων σε συνθήκες αβεβαιότητας, όπου δεν είναι διαθέσιμες όλες οι πληροφορίες. Οι συνηθέστερες μορφές αβεβαιότητας απαντώνται στην ζήτηση, αλλά και στο χρόνο μετάβασης μεταξύ δύο σημείων δρομολόγησης (σημείο έναρξης, σημείο παράδοσης, σημείο ανεφοδιασμού κτλ).

Νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν τον ακριβή εντοπισμό της θέσης ενός οχήματος (Geographic Positioning Systems – GPS), πληροφοριακά συστήματα που επιτρέπουν τον υπολογισμό του φόρτου του δικτύου σε διάφορες χρονικές στιγμές (Geographical Information Systems - GIS) δημιουργούν νέα δεδομένα και δίνουν εφαλτήριο για έρευνα σε επιχειρησιακό σχεδιασμό διαφόρων προβλημάτων που άπτονται της δρομολόγησης οχημάτων για μεταφορά μεμονωμένων φορτίων είτε της ικανοποίηση συγκεκριμένων δικτύων πελατών. Η

αύξηση της διαθέσιμης υπολογιστικής ισχύος κάνει εφικτή την εφαρμογή και την εξάπλωση συστημάτων που θα υλοποιούν αυτά τα μοντέλα και θα προσφέρουν υποστήριξη λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον για την βελτιστοποίηση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων σε επιχειρησιακό επίπεδο σε τόσο σε βραχυχρόνια όσο και μακροχρόνια βάση (στρατηγικός σχεδιασμός), δημιουργείται ανάγκη για ανάπτυξη στοχαστικών μοντέλων που μπορούν να αναπαριστούν την αβεβαιότητα και τα δυναμικά μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις μεταφορές, και να εκμεταλλεύονται έτσι τις προβλέψεις αυτών των χαρακτηριστικών από σύγχρονα εργαλεία πρόβλεψης.

Η σπουδαιότητα επίλυσης τέτοιων προβλημάτων είναι μεγάλη αφού η δημιουργία συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε δυναμικά περιβάλλοντα οδηγεί στη σημαντική μείωση του μεταφορικού κόστους από τις ιδιοκτήτριες εταιρείες ενός στόλου οχημάτων καθώς και στην παροχή καλύτερων υπηρεσιών στους πελάτες τους. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα μεταφορικά κόστη σε ετήσια βάση για τις εταιρίες διανομής των ΗΠΑ εκτιμώνται σε 100 δις δολάρια. Ειδικά ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών παρουσίασε αξιοσημείωτη εξέλιξη αύξηση τις τελευταίες τρείς δεκαετίες λόγω της εκρηκτικής ανάπτυξης της τεχνολογίας, την γιγάντωση των επιχειρησιακών οντοτήτων που δραστηριοποιούνται σε αυτή και την συνεχώς αυξανόμενη παγκόσμια

ζήτηση για καύσιμα και τρόφιμα. Σύμφωνα με την UNCTAD καθ' όλη την διάρκεια του έτους 2005, η αξία των παγκόσμιων εξαγωγών άγγιξε τα 10,1 τρισεκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α. ενώ εκτιμάται ότι το έτος 2006 τα αγαθά που φορτώθηκαν σε πλοία στα λιμάνια σε όλη την υφήλιο έφθασαν σε βάρος τους 7,4 δισεκατομμύρια τόνους [94].

Ωστόσο, πέρα από την καθαρά πρακτική σημασία υπάρχει και μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον καθώς τα προβλήματα βελτιστοποίησης σε δίκτυα δρομολόγησης έχουν αποδειχθεί NP-πλήρη[83] και η αντιμετώπισή τους γίνεται συνηθέστερα με ευρετικούς αλγορίθμους (heuristic algorithms / heuristics) ή μέτα-ευρετικές τεχνικές (meta-heuristics) [61], [27]. Στις μέτα-ευρετικές τεχνικές συμπεριλαμβάνονται οι:

- Μέθοδοι τοπικής βελτιστοποίησης, (perturbations)
- Γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms)
- Κοινωνία μυρμηγκιών (Ants colonies)
- Μέθοδοι Απαγορευμένης αναζήτησης (tabu search)
- Προσομοιωμένη ανόπτυση (simulated annealing)
- Υβρίδια των πιο πάνω.

1.1 Αντικείμενο της διατριβής

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής άπτεται της ανάπτυξης μεθοδολογιών για την υλοποίηση Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (ΣΥΛΑ) σε περιβάλλοντα αβεβαιότητας (δεν είναι γνωστές και ντετερμινιστικές όλες οι παράμετροι του προβλήματος) στον τομέα των μεταφορών και είναι δυϊκό. Από την μία, έχει γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση ανάπτυξης ενός γενετικού αλγορίθμου για την δρομολόγηση στόλου οχημάτων σε πολύπλοκα (πολλοί περιορισμοί/ παράμετροι) και μεγάλης κλίμακας επίγεια δίκτυα διανομής σε στρατηγικό επίπεδο. Από την άλλη, έχει πραγματοποιηθεί έρευνα πάνω στην χρήση στατιστικών μοντέλων στα πλαίσια ενός ευρετικού αλγορίθμου για την αξιολόγηση εντολών μεταφοράς φορτίου εκ μέρους ιδιοκτητών στόλων πλοίων στην εμπορική ναυτιλία.

1.1.1 Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής

Η έρευνα πάνω στην δρομολόγηση στόλου οχημάτων πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος DYNALOG [34] για την διευθέτηση ενός σύνθετου Προβλήματος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων (ΠΔΣΟ) με Παράθυρα

Χρόνου (ΠΔΣΟΠΧ) και στοχαστική ζήτηση σε δίκτυα διανομής. Το συγκεκριμένο πρόβλημα που μελετήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, θα αναφέρεται ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής (ΠΔΣΟΔΔ). Το ΠΔΣΟΔΔ συνεπάγεται την δρομολόγηση ενός στόλου οχημάτων, πεπερασμένης χωρητικότητας και χρόνου κίνησης, από μια (ή περισσότερες) αποθήκες-αφετηρίες σε ένα σύνολο διασκορπισμένων πελατών με στοχαστική ζήτηση μέσα σε προκαθορισμένα παράθυρα χρόνου. Η ζήτηση κάθε πελάτη είναι στοχαστική. Ο στόχος είναι η δημιουργία ενός αριθμού βασικών διαδρομών για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο που προσδιορίζεται από το χρήστη έτσι ώστε να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και κάποια συγκεκριμένα πρόσθετα κριτήρια όπως οι ώρες εργασίας των οδηγών, το ελάχιστό κέρδος για κάθε διαδρομή, η προκαθορισμένη (α)συμβατότητα μεταξύ οδηγών και πελατών.

Η έρευνα πάνω στο θέμα είναι εκτεταμένη, ωστόσο λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος υπάρχει χώρος για επιπρόσθετη έρευνα για την εύρεση καλύτερων και υπολογιστικά γρηγορότερων προσεγγίσεων της βέλτιστης λύσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι ακόμα και η εύρεση μιας δυνατής και όχι βέλτιστης λύσης για το πρόβλημα είναι αδύνατη σε πολυωνυμικό χρόνο, το πρόβλημα είναι NP δύσκολο(Savelsberg [83]).

Γενικά η χρήση γενετικών αλγορίθμων (ΓΑ) για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι πολύ ελπιδοφόρα. Σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους αναζήτησης, οι ΓΑ δεν εξερευνούν το χώρο λύσεων διαδοχικά με εξαντλητικό τρόπο, αλλά ένα σύνολο από τρέχουσες λύσεις βελτιώνεται μέσω της στοχαστικής επιλογής μίας ή περισσοτέρων λύσεων και τον συνδυασμό τους για την παραγωγή μίας η περισσοτέρων νέων λύσεων με την εφαρμογή γενετικών τελεστών. Κάθε λύση κωδικοποιείται σε μια δομή δεδομένων που στα πλαίσια ενός ΓΑ ονομάζεται χρωματόσωμα.. Βασικά, ένας ΓΑ είναι μια μαθηματική τεχνική αναζήτησης που βασίζεται στις αρχές της φυσικής επιλογής και γενετικής αναπαραγωγής[47]. Ειδικότερα, ένας ΓΑ αρχικά κατασκευάζει ένα σύνολο λύσεων (πληθυσμός του γενετικού αλγόριθμου) και σε κάθε βήμα (γενιά) εφαρμόζει πάνω στις τρέχουσες λύσεις (χρωματοσώματα) γενετικές πράξεις (μετάλλαξη, διασταύρωση) με σκοπό την εύρεση σχεδόν βέλτιστων λύσεων για το πρόβλημα. Στην αρχή κάθε βήματος επιλέγονται οι λύσεις προς εξέλιξη, πραγματοποιείται η αναπαραγωγή (διασταύρωση και μετάλλαξη) και στο τέλος πραγματοποιείται η αντικατάσταση των παλιών λύσεων με τις νέες και αξιολογείται η ποιότητα των λύσεων στο πληθυσμό (υπολογισμός αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε λύση).

Στη σειριακή εκδοχή του αλγορίθμου η αξιολόγηση των λύσεων στο τέλος κάθε γενιάς πραγματοποιείται σειριακά. Στην παράλληλη

εκδοχή μπορούμε να μοιράσουμε στις διαθέσιμες διεργασίες(που εκτελούνται παράλληλα) είτε την αξιολόγηση ολόκληρων λύσεων του πληθυσμού είτε την αξιολόγηση, ανά όχημα, κάθε λύσεως του πληθυσμό. Η εφαρμογή της παραλληλοποίησης κατά την διάρκεια αξιολόγησης του συνολικού πληθυσμού (μοίρασμα ολόκληρων λύσεων στις διαθέσιμες διεργασίες) έδωσε σημαντικά χαμηλότερους χρόνους εκτέλεσης σε σύγκριση με την σειριακή εκδοχή και οι διεργασίες έδειξαν σχεδόν το ίδιο ποσοστό χρησιμοποίησης και σχεδόν τον ίδιο χρόνο εκτέλεσης.

Το σύστημα που περιλαμβάνει τον ΓΑ υποστηρίζει όλη την απαραίτητη λειτουργικότητα για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικά με τον στρατηγικό σχεδιασμό των δρομολογίων. Επιτρέπει στον χρήστη να επιλέγει τους πελάτες και τα φορτηγά που θα λάβουν μέρος στην διαδικασία δρομολόγησης, να καθορίζει τις παραμέτρους αναζήτησης και να διαχειρίζεται τα δρομολόγια που έχουν υπολογιστεί.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το ΠΔΣΟΔΔ , εκτός από την διανομή προϊόντων όπως στην περίπτωση μας, μπορεί να εφαρμοστεί στην διανομή ταχυδρομείου ή καυσίμων, παραλαβή, μεταφορά και παράδοση αγαθών και την συλλογή απορριμμάτων.

1.1.2 Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίου

Η έρευνα πάνω στην αξιολόγηση εντολών μεταφοράς φορτίων πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος MARIDES [71] για την διευθέτηση του Προβλήματος Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων (ΠΑΕΜΦ) στην εμπορική ναυτιλία.

Ενώ η έρευνα στο πεδίο των μεταφορών στην ναυτιλιακή αγορά εστιάζει στην βιομηχανικό τομέα και κυρίως στην δρομολόγηση και χρονοπρογραμματισμό πλοίων όπως τονίζεται στις επισκοπήσεις (surveys) [80], [81] και [24]. Στην παρούσα διατριβή μελετάμε την υποστήριξη διαχειριστών ναυλώσεων κατά διαδικασία λήψεως αποφάσεων στην αξιολόγηση καταλληλότητας και κερδοφορίας προσφορών μεταφοράς φορτίου από πλοία. Σε αυτό το πλαίσιο ορίζουμε το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων που έγκειται στην κατηγοριοποίηση και αξιολόγηση ανάλογα με το αναμενόμενο κέρδος και την μελλοντική επιχειρησιακή ικανότητα όλων των γνωστών προσφορών για την φόρτωση, μεταφορά και εκφόρτωση φορτίων συγκεκριμένου όγκου και βάρους το καθένα από ένα σημείο σε ένα άλλο εντός συγκεκριμένων χρονικών ορίων από τα διαθέσιμα πλοία που ικανοποιούν τους περιορισμούς του προβλήματος.

Όρισμός 1. *Εντολή Μεταφοράς Φορτίου ορίζουμε κάθε εντολή / παραγγελία προς έναν ή περισσότερους ιδιοκτήτες οχημάτων που υποδηλώνει την επιθυμία μεταφοράς φορτίου εκ μέρους του ιδιοκτήτη του φορτίου και περιέχει πληροφορίες τουλάχιστον για τον τύπο και την ποσότητα του φορτίου, το χρονικό διάστημα διάθεσης του φορτίου καθώς επίσης και τον τόπο αλλά και του τόπο προορισμού του φορτίου.*

Το ΠΑΕΜΦ συνεπάγεται την αξιολόγηση και ταξινόμηση εκ μέρους του ιδιοκτήτη ενός στόλου οχημάτων των πιθανών ναυλώσεων που μπορούν να προκύψουν από την συμφωνία πραγματοποίησης μίας ή περισσοτέρων από τις διαθέσιμες εντολές μεταφοράς φορτίων από μέρους του στόλου. Ο στόχος είναι η ανάπτυξη ενός ΣΥΛΑ για την βελτίωση του τρόπου με τον οποίο παίρνουν τις αποφάσεις τα τμήματα ναύλωσης των ναυτιλιακών εταιρειών. Πέρα από τις απαραίτητες βοηθητικές λειτουργίες, όπως η υπηρεσία ανταλλαγής πληροφοριών ανάμεσα στους μετέχοντες στη διαδικασία ναύλωσης, ο πυρήνας του ΣΥΛΑ ενσωματώνει ευρετικό αλγόριθμο για την επίλυση του που παρουσιάζεται. Δεδομένης μιας εντολής ναύλωσης (εντολή μεταφοράς φορτίου με πλοίο), ο αλγόριθμος υπολογίζει όλες τις δυνατότητες (αντιστοιχίσεις πλοίων με εντολές για πλοία που μπορούν να πραγματοποιήσουν την εντολή) λαμβάνοντας υπόψη τους διαθέσιμους περιορισμούς και τις παρουσιάζει στον χρήστη σε αύξουσα ή φθίνουσα

κατάταξη, βάση του υπολογιζόμενου κέρδους ή/και βάση άλλων παραγόντων όπως η μελλοντική κατάσταση της αγοράς. Η κατάταξη βασίζεται τόσο σε ντετερμινιστικά όσο και σε στοχαστικά δεδομένα, στα οποία πραγματοποιείται στατιστική επεξεργασία. Η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται μέσω ενός ομογενούς περιβάλλοντος και ο κάθε χρήστης ανάλογα με την εξουσιοδότησή του έχει πρόσβαση σε συγκεκριμένα δεδομένα που αφορούν τη ναύλωση.

1.2 Οργάνωση της διατριβής

Η διάρθρωση του περιεχομένου αυτής της διατριβής έχει ως εξής:

Το Κεφάλαιο 1 περιέχει την εισαγωγή της διατριβής. Δίνονται κάποιες γενικές κατευθύνσεις για το αντικείμενό της και παρουσιάζονται τα προβλήματα που μελετήθηκαν.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται βασικές έννοιες που σχετίζονται τα δύο προβλήματα που αναλύονται στη διατριβή.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα δίκτυα διανομής και το γενικό πρόβλημα δρομολόγησης στόλου οχημάτων. Αναφέρονται οι καταβολές του προβλήματος και οι παραλλαγές του που μπορεί να συναντηθούν

σε επιχειρησιακά περιβάλλοντα. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στις εργασίες άλλων ερευνητών πάνω στο πρόβλημα.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια εισαγωγή στα χαρακτηριστικά της ναυτιλιακής αγοράς. Παρουσιάζονται οι κατηγοριοποιήσεις της αγοράς και καταγράφονται οι κύριες οντότητες που πρωταγωνιστούν σε αυτή. βασικότεροι Παρουσιάζεται το πρόβλημα αξιολόγησης μεταφοράς φορτίου και γίνεται αναφορά σε σχετικές ερευνητικές εργασίες.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων για επίγεια δίκτυα διανομής σε στρατηγικό επίπεδο με την χρήση γενετικού αλγορίθμου. Παρουσιάζεται το επιχειρησιακό μοντέλο, η κωδικοποίηση και ο τρόπος λειτουργίας του γενετικού αλγορίθμου και παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από εκτέλεση του σε προβλήματα της θεωρίας αλλά και σε πραγματικά πολύπλοκα προβλήματα. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μια συζήτηση πάνω στην παραλληλοποίηση του αλγορίθμου και παρουσιάζεται το σύστημα υποστήριξης λήψεων αποφάσεων στα δίκτυα διανομής.

Στο κεφάλαιο 6 αναλύεται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός ευρετικού αλγορίθμου για το πρόβλημα που εισάγεται στην παρούσα διατριβή, το πρόβλημα αξιολόγησης εντολών μεταφοράς φορτίου στην ναυτιλιακή αγορά. Δίνεται μια περιγραφή του επιχειρησιακού

μοντέλου και οι βασικές διαδικασίες που εκτελούνται κατά την επίλυση του προβλήματος. Στην συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος αξιολόγησης εντολών μεταφοράς φορτίου και δίνονται κάποια πειραματικά αποτελέσματα.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται η σύνοψη της διατριβής και αναφέρονται τα συμπεράσματα της ερευνητικής εργασίας που πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της.

Η διατριβή ολοκληρώνεται με την παράθεση της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε για την εκπόνηση της διατριβής και δύο παραρτημάτων σχετικά με τις διαδικασίες σχεδιασμού κ μέρους των ναυτιλιακών αγορών ενδοδικτυακής υποδομής και διαδικτυακών υπηρεσιών στα πλαίσια εκσυγχρονισμού του τρέχοντος σχετικά συμβατικού και αναχρονιστικού επιχειρησιακού μοντέλου κατά την ναύλωση πλοίων και τον έλεγχο της κατάστασης της ναυτιλιακής αγοράς.

Κεφάλαιο 2ο

Βασικές Έννοιες

2.1 Logistics

Είναι γεγονός ότι η χρησιμοποίηση του όρου logistics και παρεμφερών όρων (logistics management κτλ) τόσο στον τίτλο όσο και στο κείμενο της παρούσας διατριβής δύναται να προκαλεί εντύπωση γιατί είναι αγγλικός και μάλιστα γράφεται με την ξενική του μορφή. Άρα το πρώτο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι το γιατί χρησιμοποιήθηκε αυτός ο όρος και όχι κάποιος άλλος όρος στην ελληνική. Έχει προταθεί στο παρελθόν η χρησιμοποίηση του όρου

Εφοδιαστική αντί του όρου Logistics.[1] Ο όρος logistics, που χρησιμοποιείται παγκοσμίως, είναι μία ελληνική λέξη και προέρχεται από τον όρο "λογιστική" που χρησιμοποιήθηκε μάλιστα για πρώτη φορά κατά τους Βυζαντινούς χρόνους με την έννοια της μέριμνας για εξασφάλιση του στρατού με τρόφιμα, ρουχισμό, πολεμοφόδια κ.τ.λ. Στην Ελλάδα όμως ο όρος λογιστική έχει πλέον εξελιχθεί και σήμερα αναφέρεται στην επιστήμη διαχείρισης οικονομικών στοιχείων, σε μια επιστήμη που δεν έχει άμεση σχέση με το αντικείμενο των logistics. Όντας η λογιστική μία επιστήμη τελείως ξεχωριστή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά ο ίδιος όρος στην ελληνική ως μετάφραση του αγγλικού όρου logistics. Επομένως υπάρχει η ανάγκη χρήσης μίας άλλης λέξης για την αποφυγή παρεξηγήσεων και για την ύπαρξη σημασιολογικής και νοηματικής συνέπειας.

Ο όρος "Εφοδιαστική" έχει αρκετά πλεονεκτήματα:

- Κατάληξη σε –ικη που τον κατατάσσει στην κατηγορία της ενασχόλησης ή της επιστήμης, όπως η μηχανική, η φυσική, η θερμοδυναμική, η οικονομική κ.τ.λ.

[1] Άρθρο Logistics = Εφοδιαστική, από το περιοδικό Plant, τεύχος Οκτώβριος-Νοέμβριος 1993, σελ. 32-33

- Περιλαμβάνει και υποδηλώνει κατανοητά την έννοια τόσο του εφοδιάζω όσο και του εφοδιάζομαι, επομένως, και όλων όσων απαιτούνται σχετικά, άρα και του παράγω.
- Είναι ετυμολογικά πολύ όμοιο με την αρχική στρατιωτική του έννοια και της έννοιας που εξακολουθεί να έχει ο όρος logistics ακόμη και σήμερα στις άλλες ευρωπαϊκές γλώσσες.

Ωστόσο η διαδικασία υιοθέτησης του όρου πρέπει να λάβει υπόψη της και ορισμένα άλλα θέματα που θα συμβάλλουν στην πραγματική υιοθέτηση του όρου. Ο όρος logistics δε χρησιμοποιείται πάντα με μια μορφή, υπάρχουν και τα παράγωγα του όρου logistics, π.χ. ο όρος logistician αναφέρεται στον επιστήμονα, στον επαγγελματία που ασχολείται με τα logistics. Ο όρος "logistical", χρησιμοποιείται ως επίθετο π.χ. αναφέρονται τα logistical costs, logistical support, logistical policy, logistical structure, κ.ο.κ. Διαλέγοντας έναν όρο, ο επιστήμονας πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί και τα παράγωγα του όρου και ταυτόχρονα τα παράγωγα να μην αναφέρονται σε άλλες έννοιες. Παράγωγο του όρου "Εφοδιαστική", που να φανερώνει την επιστημονική ή επαγγελματική ιδιότητα του ατόμου που ασχολείται με το αντικείμενο αυτό δεν υπάρχει. Δηλαδή ο όρος logistician που είναι παράγωγο του logistics δε μεταφέρεται στην Ελληνική. Βέβαια η σωστή μεταφορά γίνεται με τη λέξη "λογιστής" η οποία όμως είναι συνδεδεμένη με κάποιο διαφορετικό επάγγελμα και με κάποιον άλλον

επιστήμονα. Δημιουργεί δηλαδή ο όρος εφοδιαστική ορισμένα προβλήματα, κυρίως όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν παράγωγα αυτής της λέξης. Το εφοδιάζω και το εφοδιάζομαι είναι ο πιο δόκιμος όρος της ελληνικής γλώσσας και είναι ένας όρος ο οποίος περικλείει μερικά από τα κύρια αντικείμενα των logistics, αλλά δεν μπορεί να περιλάβει όλες του τις έννοιες του. Μερικές από αυτές είναι:

"Logistics is the management of the supply chain" - Institute of Logistics της Μεγάλης Βρετανίας.

"Logistics is the process of planning, implementing, and controlling, the efficient, cost effective flow and storage of raw materials, in process inventory, finished goods, and related information from point of origin to point of consumption for the purpose of conforming to customer requirements" - Council of Logistics Management (USA).

"The branch of the art of war relating to the movement and supply of armies is called logistics" - C.B. Baker (1905).

Είναι ξεκάθαρο ότι το αντικείμενο των logistics είναι ευρύτατο. Ένας ενδεικτικός ορισμός θα μπορούσε να είναι: "logistics είναι η επιστήμη ή το σύνολο των λειτουργιών / διαδικασιών που άπτονται με το σχεδιασμό, τον έλεγχο, την εκτέλεση και την διαχείριση της ροής των προϊόντων που ξεκινά από τους προμηθευτές, περνά από την

παραγωγή και την επιχείρηση και καταλήγει στους τελικούς καταναλωτές / πελάτες".

Γενικά υπάρχει η πεποίθηση στην επιστημονική κοινότητα ότι ο όρος logistics θα πρέπει να παραμείνει ως έχει, στην αγγλική, όπως τελικά επεκράτησε και ο όρος marketing και marketing manager, ή διευθυντής marketing στην ελληνική γλώσσα.

2.2 Συστήματα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων

Τόσο παλαιότερα όσο και σήμερα που οι ιδιωτικές επιχειρήσεις και οι δημόσιοι οργανισμοί δραστηριοποιούνται στα πλαίσια πολύπλοκων οργανωτικών σχημάτων και ισχυρών ανταγωνιστικών πιέσεων, ένας μεγάλος αριθμός προβλημάτων, χαρακτηρίζεται από πολλαπλούς στόχους. Οι στόχοι αυτοί, σε πολλές περιπτώσεις, είναι αντικρουόμενοι. Ιδιαίτερα έντονο είναι το πρόβλημα αυτό σε επιχειρηματικές αποφάσεις που παίρνονται σε περιβάλλοντα αβεβαιότητας με πολλές άγνωστες παραμέτρους. Ως ένα βαθμό, το πρόβλημα ύπαρξης πολλών κριτηρίων, τα οποία δρουν ανταγωνιστικά το ένα ως προς το άλλο και συχνά αλληλοεξουδετερώνονται

(προκαλώντας σύγχυση, αναποτελεσματικότητα ή και λανθασμένες αποφάσεις), οφείλεται στην πολυπλοκότητα στην δομή και την λειτουργία κάποιου επιχειρηματικού μοντέλου.

Η λύση σε τέτοιου είδους πολύπλοκα επιχειρησιακά προβλήματα είναι η υλοποίηση του κατάλληλου ΣΥΛΑ. Ως ΣΥΛΑ ορίζεται το πληροφορικό σύστημα που υποστηρίζει την λύση διαχειριστικών προβλημάτων – προβλημάτων δηλαδή που συναντούν τα άτομα ή οι οντότητες που διευθύνουν και διαχειρίζονται μια ή περισσότερες διαδικασίες ή/και λειτουργίες. Η υλοποίηση ενός ΣΥΛΑ συχνά επιφέρει αλλαγές στην οργανωτική δομή μιας επιχείρησης, ενεργοποιεί νέες επιχειρηματικές διαδικασίες και τροποποιεί τις μεθόδους διαχείρισης της. Ένα αποδοτικό ΣΥΛΑ ενσωματώνει πλήρως την λογική ενός επιχειρηματικού περιβάλλοντος, υποστηρίζει πολλαπλά κριτήρια και θέτει διάθεση του λήπτη αποφάσεων τα αποτελέσματα του για την πραγματοποίηση σταθμίσεων και προσωπικών επιλογών. Η κύρια αξία των τεχνικών λήψης πολυκριτηριακών αποφάσεων μέσω ΣΥΛΑ είναι ότι υποβοηθούν τον λήπτη αποφάσεων να διερευνά αποτελεσματικά (γρήγορα και με ακρίβεια) τον χώρο όλων των «αποτελεσματικών» λύσεων του προβλήματος.

2.3 Συνδυαστική Βελτιστοποίηση

Τα προβλήματα που εξετάζονται στην παρούσα διατριβή ανήκουν σε μια ευρύτερη οικογένεια προβλημάτων της επιχειρησιακής έρευνας που ονομάζονται *προβλήματα βελτιστοποίησης*. Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, διατυπώνεται συνήθως ως η μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση της τιμής μιας συνάρτησης f που καλούμε αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος.

Οι μεταβλητές x_i (για i=1,2, ... x_k) καλούνται μεταβλητές απόφασης, και συμβολίζονται και $x = (x_1, x_2, \ldots x_n)$. Ένας αριθμός περιορισμών καθορίζει το σύνολο των νόμιμων λύσεων S. Το S καλείται *χώρος λύσεων*. Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ορίζεται ως εξής :

$$\min f(x)$$

όταν $x \in S$

Το σύνολο λύσεων S καθορίζεται τυπικά από ένα σύνολο ισοτήτων και ανισοτήτων που θα πρέπει να ικανοποιούνται από κάθε νόμιμη λύση. Είναι σημαντικό να διευκρινισθεί ότι ένα δεδομένο πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι δυνατόν να εκφρασθεί με διαφορετικούς τρόπους τόσο ως προς την αντικειμενική συνάρτηση όσο και ως προς τους περιορισμούς. Εν τούτοις, διαφορετική έκφραση του ιδίου

προβλήματος, είναι πιθανό να οδηγήσει σε διαφορετικούς αλγόριθμους επίλυσής του, και πιθανώς με διαφορετικά αποτελέσματα.

Προβλήματα *συνδυαστικής βελτιστοποίησης (combinatorial optimization)* είναι προβλήματα βελτιστοποίησης για τα οποία το σύνολο λύσεων είναι πεπερασμένο. Αντίθετα, σαν συνάρτηση των μεταβλητών απόφασης το σύνολο των λύσεων είναι εκθετικά μεγάλο, πρακτικά μη μετρίσιμο. Για ορισμένα από αυτά υπάρχουν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι επίλυσης, για άλλα υπάρχουν αλγόριθμοι που απαιτούν εκθετικό χρόνο. Η τελευταία κατηγορία προβλημάτων είναι τα γνωστά *NP-πλήρη προβλήματα (NP-hard).*

2.4 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Η εξέλιξη στη φύση στηρίζεται στην φυσική επιλογή όπως ισχυρίσθηκε ο Δαρβίνος, πολύ πριν την ανακάλυψη των γενετικών μηχανισμών ακόμη και από την βιολογία. Ο Δαρβίνος ισχυρίστηκε ότι τα χαρακτηριστικά των γονέων αναμιγνύονται όπως τα υγρά για τη δημιουργία των απογόνων τους. Αργότερα το 1865 ο Mendel ανακάλυψε τις βασικές αρχές μεταφοράς των κληρονομικών χαρακτηριστικών και ισχυρίστηκε τη διακριτή φύση αυτών των

χαρακτηριστικών, ενώ το 1920 αποδείχτηκε και πειραματικά ότι οι μεταφορείς της γενετικής πληροφορίας είναι τα χρωμοσώματα.

Σε αντιστοιχία με την εξέλιξη στη φύση παρουσιάσθηκαν το 1975 από τον Holland [47] οι γενετικοί αλγόριθμοι, και έκτοτε αποτελούν εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων αναζήτησης, και βελτιστοποίησης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι στηρίζονται στην προσομοίωση της εξέλιξης στη φύση, δανειζόμενοι μάλιστα και την ορολογία τους από τη σύγχρονη γενετική. Ανήκουν δε, σε μία ευρύτερη κατηγορία αλγορίθμων, τους εξελικτικούς αλγόριθμους (evolutionary algorithms).

Η διαδικασία βασίζεται στην δημιουργία ενός τεχνητού κόσμου (πληθυσμού) από χρωμοσώματα (πιθανές λύσεις ενός προβλήματος), ο οποίος εξελίσσεται εφαρμόζοντας κανόνες αναπαραγωγής, ανταλλαγής και μετάλλαξης χρωμοσωμάτων, σε αντιστοιχία με τη φύση. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από γονίδια που ελέγχουν την παρουσία ή και το μέγεθος κάποιου χαρακτηριστικού. Η εξέλιξη του αλγορίθμου συνίσταται στην δημιουργία χρωμοσωμάτων συνδυάζοντας κάποια από τα μέλη του πληθυσμού. Για τη δημιουργία ενός νέου πληθυσμού, επιλέγονται χρωμοσώματα με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Μάλιστα στους γενετικούς αλγόριθμους αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι η επιβίωση ενός χαρακτηριστικού και όχι κάποιου συγκεκριμένου ατόμου. Ως εκ τούτου, εύρωστοι και υγιείς γονείς

μπορεί να χαθούν, αλλά εάν έχουν περάσει τα "ευεργετικά" χαρακτηριστικά τους στους απογόνους τους, υπάρχει ένας βιώσιμος πληθυσμός με γονίδια τα οποία με τη σειρά τους θα συνεχίσουν να επαυξάνουν την μέση βιωσιμότητα του πληθυσμού.

2.4.1 Λειτουργία των Γενετικών Αλγορίθμων

Οι γενετικοί αλγόριθμοι συνδυάζουν στοιχεία τυχαίας και κατευθυνόμενης αναζήτησης. Για το λόγο αυτό είναι αποτελεσματικότεροι σε ένα εύρος προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης από τις άλλες μεθόδους αναζήτησης (π.χ. αναρρίχησης λόφου, simulated annealing). Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η χρησιμοποίηση και εκμετάλλευση ενός συνόλου λύσεων σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους αναζήτησης.

Για την επίλυση ενός προβλήματος με χρήση γενετικών αλγορίθμων, ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα :

- Κωδικοποίηση της λύσης
- Καταρτισμός αρχικού πληθυσμού
- Αποτίμηση πληθυσμού μέσω αντικειμενικής συνάρτησης
- Επιλογή
- Διασταύρωση και

- Μετάλλαξη

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι διαδικασίες αυτές.

2.4.1.1 Κωδικοποίηση των Λύσεων

Στον πραγματικό κόσμο τα χαρακτηριστικά ενός οργανισμού βρίσκονται κωδικοποιημένα μέσα στο DNA του. Οι γενετικοί αλγόριθμοι φυλάσσουν τα χαρακτηριστικά των ψευδο-οργανισμών σε ένα "ηλεκτρονικό" γονότυπο (χρωμόσωμα), που μιμείται το DNA της φυσικής ζωής. Το χρωμόσωμα είναι συνήθως μια ακολουθία δυαδικών αριθμών που ονομάζονται γονίδια. Κάθε χρωμόσωμα αποτελεί μια πιθανή λύση στο πρόβλημα που κωδικοποιεί. Η ύπαρξη ή όχι ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού σε κάποιο χρωμόσωμα, μπορεί να φανεί από την τιμή του αντίστοιχου γονιδίου. Επειδή κάποια χαρακτηριστικά ή κάποιοι τύποι προβλημάτων μπορεί να είναι πολύ περίπλοκοι για να περιγραφούν με ένα γονίδιο που μπορεί να λάβει μόνο δύο τιμές μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές γονίδια με μεγαλύτερο πεδίο τιμών.

Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή ενός γενετικού αλγορίθμου είναι η κωδικοποίηση της λύσης σαν χρωμόσωμα. Συνηθέστερες μορφές αναπαράστασης είναι χρήση δυαδικών συμβολοσειρών. Για την αναπαράσταση όμως περισσότερο σύνθετων προβλημάτων, είναι δυνατό

να χρησιμοποιηθεί περισσότερο σύνθετο αλφάβητο, που δεν περιέχει μόνο δυαδικούς αριθμούς.

2.4.1.2 Αρχικός Πληθυσμός Λύσεων.

Μετά την επιλογή της κατάλληλης κωδικοποίησης λύσεων θα πρέπει να δημιουργηθεί ο αρχικός πληθυσμός τους. Εδώ θα πρέπει να καθοριστεί και το μέγεθος του αρχικού πληθυσμού - ο αριθμός λύσεων - που κατασκευάζεται είτε με τυχαίο τρόπο είτε με τρόπο που παρέχει λύσεις με προκαθορισμένα χαρακτηριστικά και δίνουν μια αρχική κατεύθυνση στην εξελικτική διαδικασία.

Προφανώς όσο πιο μεγάλος είναι ο αρχικός αριθμός λύσεων αυξάνονται και οι πιθανότητες για να προκύψουν καλύτερες λύσεις.

2.4.1.3 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση (Objective Function) είναι η συνάρτηση που δέχεται σαν είσοδο ένα χρωμόσωμα, και παρέχει σαν έξοδο μία αριθμητική τιμή - την τιμή ευρωστίας (fitness value) - που "αποδίδει" αριθμητικά την ποιότητα της λύσης. Προφανώς όσο πιο καλή είναι η τιμή ευρωστίας μιας λύσης, τόσες περισσότερες πιθανότητες έχει να επιζήσει η συγκεκριμένη λύση και να δώσει με τη

σειρά της καλύτερους απογόνους. Η αντικειμενική συνάρτηση για ένα χρωμόσωμα i συμβολίζεται με f_i.

2.4.2 Φυσικές Διαδικασίες

Αφού κατασκευαστεί ο αρχικός πληθυσμός και η αντικειμενική συνάρτηση ακολουθεί η διαδικασία εφαρμογής του γενετικού αλγόριθμου στον πληθυσμό. Για ένα απλό γενετικό αλγόριθμο η διαδικασία εφαρμογής του διακρίνεται σε 4 κυρίως στάδια, που περιγράφονται στη συνέχεια:

2.4.2.1 Επιλογή (Selection)

Σε αναλογία με τον πραγματικό κόσμο και σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, οι πιο εύρωστοι οργανισμοί τείνουν να αναπαράγονται με αυξημένη πιθανότητα. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι επιλέγουν από το σύνολο του πληθυσμού τα πιο γενετικά ανεπτυγμένα άτομα - με βάση την αντικειμενική συνάρτηση - τα οποία θα διασταυρωθούν στα επόμενα στάδια της εξέλιξης.

Στην συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά τα βασικότερα και πιο αποτελεσματικά σχήματα επιλογής υποψηφίων προς αναπαραγωγή από τον πληθυσμό:

2.4.2.1.1 Αιτιοκρατική δειγματοληψία

Στην αιτιοκρατική δειγματοληψία (Deterministic sampling) η πιθανότητα να επιλεγεί ένα άτομο είναι: $pselect_i = f_i/\Sigma f_i$. Τότε τα αναμενόμενα επιλεγόμενα αντίγραφα από κάθε άτομο είναι $e_i = pselect_i * n$. Από την σειρά των e_i επιλέγονται από κάθε άτομο $[e_i]$ (ακέραιο μέρος) αντίγραφα και τα δεκαδικά μέρη $\delta_i = e_i - [e_i]$ ταξινομούνται με φθίνουσα σειρά και αν ο πληθυσμός δεν έχει γεμίσει γεμίζεται επιλέγοντας από την κορυφή της ταξινομημένης σειράς.

2.4.2.1.2 Στοχαστική Δειγματοληψία με Επανατοποθέτηση

Η Στοχαστική δειγματοληψία με επανατοποθέτηση (Stochastic sampling with replacement) είναι μια άλλη ονομασία για τον ευρύτατα χρησιμοποιούμενο για τον «κανόνα της ρουλέτας» [8]. Ο τρόπος επιλογής με βάση τον "κανόνα της ρουλέτας" ο οποίος μιμείται τους φυσικούς νόμους και εξηγείται παρακάτω:

Για έναν αρχικό πληθυσμό *n* ατόμων, με αντίστοιχες τιμές ευρωστίας f_i με $i = 1..n$, και για ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης (και ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή ευρωστίας τόσο καλύτερη είναι η λύση), θα πρέπει να επιλεχθούν k άτομα ($k \leq n$) από τα n. Η πιθανότητα να επιλεγεί κάποιο άτομο είναι $P(i) = f_i/\Sigma f_i$ δηλαδή όσο μεγαλύτερη τιμή ευρωστίας έχει τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχει να επιλεγεί. Έτσι πλέον με μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών μπορούν να επιλεγούν τα k

άτομα. Ας σημειωθεί ότι με την ίδια πιθανότητα μπορεί να επιλεγεί ένα χρωμόσωμα περισσότερες από μία φορές.

2.4.2.1.3 Στοχαστική δειγματοληψία χωρίς επανατοποθέτηση

Εδώ υπολογίζονται τα αναμενόμενα επιλεγόμενα αντίγραφα από κάθε άτομο που είναι f_i/f_{avg}. Τότε για κάθε άτομο που επιλέγεται από τον πληθυσμό για διασταύρωση μειώνεται η f_i/f_{avg} κατά 0.5 ενώ για κάθε άτομο που επιλέγεται για απλή αναπαραγωγή μειώνεται η f_i/f_{avg} κατά 1. Αν τώρα σε κάποιο άτομο το f_i/f_{avg} γίνει μικρότερο του 0 δεν μπορούν να επιλεγούν άλλα αντίγραφα από αυτό.

Ο De Jong [33] που πρότεινε το παραπάνω μοντέλο εξέτασε την διασταύρωση όπου 2 άτομα διασταυρώνονται και δίνουν 1 καινούργιο γι αυτό και στην διασταύρωση γίνεται μείωση κατά 0.5 ενώ στην αναπαραγωγή κατά 1.

2.4.2.1.4 Στοχαστική δειγματοληψία υπολοίπου με επανατοποθέτηση

Εδώ υπολογίζονται τα αναμενόμενα αντίγραφα κάθε ατόμου που είναι κατά τα γνωστά f_i/f_{avg}. Επιλέγονται από κάθε άτομο f_i/f_{avg} όσα δηλαδή το ακέραιο μέρος ενώ τα δεκαδικά μέρη (f_i/f_{avg})-[f_i/f_{avg}] χρησιμοποιούνται σαν βάρη για επιλογή των υπόλοιπων ατόμων με βάση τον κανόνα της ρουλέτας.

2.4.2.1.5 Στοχαστική δειγματοληψία υπολοίπου χωρίς επανατοποθέτηση

Η διαδικασία είναι όμοια με την Στοχαστική δειγματοληψία υπολοίπου με επανατοποθέτηση, μόνο που τα δεκαδικά μέρη χρησιμοποιούνται σαν πιθανότητες για την επιλογή ενός ατόμου με την ρίψη κέρματος για κάθε άτομο ξεχωριστά.

2.4.2.1.6 Στοχαστική αντιπαράθεση (Stochastic tournament)

Οι πιθανότητες επιλογής υπολογίζονται κανονικά και αφού επιλεγούν με βάση αυτές 2 άτομα από τον πληθυσμό τελικά από αυτά τα 2 άτομα επιλέγεται εκείνο με την μεγαλύτερη τιμή ευρωστίας.

2.4.2.2 Διασταύρωση

Η Διασταύρωση (Crossover) αποτελεί τη βασικότερη διαδικασία εξέλιξης άρα και των γενετικών αλγορίθμων. Σ' αυτήν δύο άτομα (individuals) διασταυρώνονται και δίνουν απογόνους. Ανάλογα με το πόσο ανθεκτικοί και ισχυροί είναι οι γονείς προκύπτουν αντίστοιχα και υγιείς ή όχι απόγονοι. Στους γενετικούς αλγόριθμους δύο γονότυποι διασταυρώνονται με βάση κάποιον τελεστή διασταύρωσης (crossover operator) και δίνουν ένα ή δύο απογόνους. Το είδος του τελεστή - δηλαδή η διαδικασία διασταύρωσης - εξαρτάται από την φύση του προβλήματος. Ας σημειωθεί ότι μπορεί σε ένα πρόβλημα ένας τελεστής

να δίνει πολύ καλά αποτελέσματα ενώ σε ένα άλλο να μην δίνει καλές λύσεις.

2.4.2.3 Μετάλλαξη

Η μετάλλαξη (Mutation) είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την εξέλιξη στον πραγματικό κόσμο. Όταν τα πλάσματα αναπαράγονται δεν υπάρχει καμία βεβαιότητα ότι ο γονότυπος που θα προκύψει θα αναπαραχθεί τέλεια. Συχνά κατά την αναπαραγωγή παρουσιάζονται απρόβλεπτες αλλαγές στους γονότυπους, δημιουργώντας νέα χαρακτηριστικά άλλοτε καλά και άλλοτε όχι. Τα πλάσματα που προκύπτουν έτσι άλλοτε τείνουν είτε να ζουν και να αναπαράγονται περισσότερο μετά από μια θετική μετάλλαξη είτε να πεθαίνουν μετά από μία αρνητική μετάλλαξη.

Στους γενετικούς αλγόριθμους η μετάλλαξη εισάγεται με μια τυχαία αλλαγή σε κάποιο γονίδιο ενός γονότυπου. Η μετάλλαξη πραγματοποιείται με μία προκαθορισμένη πιθανότητα p_m (συνήθως $p_m<<1$). Για παράδειγμα μια μετάλλαξη να συμβαίνει κάθε 50 ζευγαρώματα που σημαίνει ότι 1 στους 50 απογόνους θα περιέχει ένα μεταλλαγμένο γονίδιο.

Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους βελτιστοποίησης, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι:

- Εργάζονται με μια κωδικοποίηση του συνόλου των παραμέτρων του προβλήματος και όχι με τις παραμέτρους αυτές καθ' αυτές.
- Αναζητούν ένα σύνολο λύσεων και όχι μία λύση.
- Χρησιμοποιούν σαν πληροφορία μόνο την άμεση πληροφορία (αντικειμενική συνάρτηση) και όχι βοηθητικές πληροφορίες (παραγώγους).
- Χρησιμοποιούν στοχαστικούς κανόνες και όχι αιτιοκρατικούς.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι Γενετικοί Αλγόριθμοι δεν είναι ένα αυστηρά καθορισμένο σύνολο αλγορίθμων αλλά αποτελούν γενικούς κανόνες που προσαρμόζονται κάθε φορά στο εκάστοτε πρόβλημα.

2.4.2.4 Αντικατάσταση

Ένας συνήθης τρόπος διάκρισης των ΓΑ είναι σύμφωνα με το ποσοστό του πληθυσμού που αντικαθίσταται σε κάθε γενιά. Αναφέρονται δύο επιλογές ουσιαστικά αντίθετες :

Αντικατάσταση Γενιάς (Generation Replacement), όπου ολόκληρος ο πληθυσμός, πλην φυσικά του καλύτερου μέλους, αντικαθιστάται σε κάθε γενιά και είναι ο κλασσικός γενετικός αλγόριθμος, όπως ορίσθηκε από τον Holland [47], και

- Επιλεκτικής Αντικατάστασης (ΓΑ Σταθερής Κατάστασης - (Steady State), όπου διατηρείται πάντα σταθερός πληθυσμός και αντικαθίστανται 1-2 χρωμοσώματα σε κάθε γενιά [97] ανάλογα με κάποια ειδική πολιτική.

2.4.2.4.1 Αντικατάσταση Γενιάς

Η προσέγγιση αυτή προβλέπει την αποτίμηση συνήθως ολόκληρου του πληθυσμού και κατόπιν την επιλογή με κάποιο κριτήριο ορισμένων χρωμοσωμάτων για την εφαρμογή των τελεστών σε αυτά προκειμένου να σχηματισθεί ο νέος πληθυσμός. Υπάρχουν εδώ διαφορετικές δυνατότητες, τόσο στην επιλογή των χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή, όσο και στον τρόπο σχηματισμού του νέου πληθυσμού από γονείς και απογόνους.

Η διαδικασία αντικατάστασης οδηγεί την αναζήτηση προς καλύτερες λύσεις, αλλά αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί σε βάρος της γενετικής ποικιλίας. Ένας ισχυρός μηχανισμός αναζήτησης (που επιλέγει τα καλύτερα χρωμοσώματα) ξεχωρίζει εύκολα τις καλύτερες υποψήφιες λύσεις, παρουσιάζει σημαντική αύξηση στην απόδοση και γρήγορα αποτελέσματα. Είναι όμως πιθανό να επέλθει πρόωρη σύγκλιση. Αντίθετα, ένας χαλαρότερος μηχανισμός επιλογής διατηρεί την ετερογένεια του πληθυσμού, επιτρέποντας την αναζήτηση σε μεγαλύτερο εύρος. Η σύγκλιση όμως σε σχεδόν-βέλτιστες λύσεις είναι λιγότερο εγγυημένη.

Μετά την πραγματοποίηση της αναπαραγωγής, οι απόγονοι μπορεί να εισαχθούν ή όχι στον πληθυσμό. Υπάρχουν οι ακόλουθες επιλογές :

- Αυτόματη, όπου η εισαγωγή πραγματοποιείται αντικαθιστώντας έναν από τους γονείς και
- Υπό όρους, όπου η εισαγωγή του απογόνου γίνεται μόνο αν ικανοποιείται κάποιο κριτήριο ως προς την τιμή ευρωστίας, ή την διαφορετικότητα. Μπορεί ακόμη να αντικαταστήσει έναν γονέα ή κάποιο τυχαία επιλεγμένο μέλος του πληθυσμού.

2.4.2.4.2 Επιλεκτική Αντικατάσταση

Ένας ΓΑ σταθερής κατάστασης (steady state), διατηρεί πάντοτε σταθερό πληθυσμό. Η επιλογή των δύο μελών στα οποία θα επιδράσουν οι γενετικοί τελεστές ώστε να δημιουργήσουν ένα νέο μέλος του πληθυσμού, είναι δυνατόν να γίνει τυχαία αλλά και μέσω αντιπαράθεσης (tournament selection]. Μάλιστα οι Goldberg και Deb [36) απέδειξαν ότι η επιλογή με αγώνα είναι ισοδύναμη με ένα σχήμα επιλογής όπου τα μέλη με υψηλότερη θέση συνεισφέρουν 2 μέλη στον πληθυσμό, τα μεσαίας τάξης ένα μέλος και τα χαμηλότερα καμία.

Η διαδικασία του ΓΑ στάσιμης κατάστασης, συνίσταται στη δημιουργία ενός απογόνου από δύο γονείς που έχουν επιλεχθεί μέσω αγώνων. Ο απόγονος αυτός εισάγεται σαν αντικαταστάτης ενός μέλους

του πληθυσμού. Υπάρχουν διαφορετικές επιλογές για την επιλογή του μέλους που θα θυσιαστεί για το νέο μέλος.

- Ο χαμένος της αντιπαράθεσης,
- Ένα τυχαίο μέλος που έλαβε μέρος στην αντιπαράθεση,
- Το περισσότερο όμοιο χρωμόσωμα με το νεοδημιουργηθέν (crowding).
- Ένα τυχαίο μέλος του πληθυσμού.

2.4.2.4.3 Διατήρηση Καλύτερου Χρωματοσώματος

Ανάλογα με το σχήμα αντικατάστασης που ακολουθείται, υπάρχει πιθανότητα το καλύτερο χρωμόσωμα του πληθυσμού να επιλεγεί προς αναπαραγωγή, και να αντικατασταθεί από απογόνους του. Η φιλοσοφία βέβαια των ΓΑ, υποστηρίζει ότι οι καλύτερες γονιδιακές συναθροίσεις του συγκεκριμένου χρωμοσώματος, θα εξακολουθήσουν να υφίστανται και στην επόμενη γενιά. Ακόμη, υπάρχει το ενδεχόμενο το καλύτερο γονίδιο να μην επιλεγεί καθόλου για εξέλιξη στην επόμενη γενιά ή ακόμη και να μεταλλαχθεί και οι πολύτιμες γονιδιακές συναθροίσεις να χαθούν.

Για την αντιμετώπιση της παραπάνω περιγραφείσας «ατυχούς» απώλειας του καλύτερου γονιδίου, εφαρμόζεται διατήρηση καλύτερου χρωμοσώματος (elitism), όπου το καλύτερο χρωμόσωμα αντιγράφεται στην επόμενη γενιά του πληθυσμού σε κάθε περίπτωση. Ο κίνδυνος

που εμπεριέχει η χρήση αυτής της τεχνικής, είναι προφανώς η δημιουργία πολλών αντιγράφων ενός προσωρινά καλού χρωμοσώματος με αποτέλεσμα την πρόωρη σύγκλιση σε όχι βέλτιστες λύσεις.

Το σχήμα επιλεκτικής αντικατάστασης με αντικατάσταση χαμένου από αντιπαράθεση χρησιμοποιεί εγγενώς την διατήρηση καλύτερου γονιδίου, αφού σε περίπτωση που το καλύτερο γονίδιο συμμετάσχει στους αγώνες, δεν θα είναι ο χαμένος.

Κεφάλαιο 3ο

Τα Δίκτυα Διανομής και Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων

3.1 Δίκτυα Διανομής

Ένα μεγάλο τμήμα της επιστήμης της Επιχειρησιακής Έρευνας ασχολείται με προβλήματα δικτύων διανομής. Τα τελευταία χρόνια αναγνωρίζεται η μεγάλη σημασία βέλτιστου σχεδιασμού δικτύων διανομής στοχεύοντας στη μείωση του κόστους αλλά και την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών. Συνηθέστερα προβλήματα που σχετίζονται με τα δίκτυα διανομής, είναι η διανομή προϊόντων από τα σημεία παραγωγής ή αποθήκευσής τους στα σημεία κατανάλωσής τους, η μεταφορά προσωπικού από και προς το χώρο εργασίας του, η συλλογή

σκουπιδιών, η μεταφορά αλληλογραφίας, η δρομολόγηση πλοίων και αεροπλάνων.

Η γενικότερη και απλούστερη μορφή τέτοιων προβλημάτων αναφέρεται στη σχεδίαση ενός δικτύου διαδρομών μεταξύ κάποιων δεδομένων κόμβων-πελατών που βρίσκονται σε γνωστές γεωγραφικά διεσπαρμένες τοποθεσίες και ενός κόμβου-αποθήκης σε γνωστή θέση, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργηθούν κάποια δρομολόγια οχημάτων. Τα δρομολόγια αυτά θα πρέπει να ικανοποιούν την ζήτηση του κάθε κόμβου. Υπάρχουν όμως και επιπλέον περιορισμοί, που αναφέρονται στις χωρητικότητες, τον αριθμό των οχημάτων, στη χρονική διάρκεια, το μήκος των διαδρομών, τις ώρες εργασίας, τα περιθώρια εξυπηρέτησης αλλά και άλλες ειδικότερες προϋποθέσεις που τίθενται από το εκάστοτε επιχειρησιακό μοντέλο. Σε κάθε πρόβλημα αντιστοιχεί κάποια αντικειμενική συνάρτηση που θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί. Το συνηθέστερο κριτήριο βελτιστοποίησης σχετίζεται με το συνολικό χιλιομετρικό μήκος που διανύουν τα οχήματα στο δίκτυο.

Τα προβλήματα αυτά, διατηρούν αμείωτο το ερευνητικό ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων. Τεράστια πρόοδος έχει γίνει σε αυτόν τον τομέα, τόσο από θεωρητικής, όσο και εφαρμοσμένης πλευράς. Καινούργιες μεθοδολογίες, καθώς και αποτελεσματικές τεχνικές επίλυσης έχουν κατά καιρούς προταθεί, ενώ

ταυτόχρονα έχει καταγραφεί μια πολύ μεγάλη λίστα από πρακτικές εφαρμογές. Επιπλέον παρουσιάζεται μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον, αφού οι επιχειρήσεις προκειμένου να επιβιώσουν στη ραγδαία εξελισσόμενη αγορά, τροποποιούν τις εσωτερικές διαδικασίες παραγωγής, εφοδιασμού, αποθήκευσης και διανομής των προσφερομένων αγαθών ή υπηρεσιών τους, δημιουργώντας την ανάγκη για συστήματα που θα υποστηρίξουν αυτές τις νέες λειτουργίες. Η σύγχρονη τάση της αγοράς που επιβάλει συγχωνεύσεις και εξαγορές συγκεντρώνει τα προβλήματα διανομής σε λιγότερους αλλά και μεγαλύτερους φορείς, αυξάνοντας εκθετικά την πολυπλοκότητα του προβλήματος, και δημιουργώντας νέες προκλήσεις για την επιστημονική κοινότητα.

Η ύπαρξη σύγχρονων πληροφοριακών συστημάτων δίνει την δυνατότητα στις εταιρείες που τα χρησιμοποιούν να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή τις πληροφορίες που επιθυμούν για τους πελάτες και τις ιδιαιτερότητες στην εξυπηρέτησή τους, τις παραγγελίες, τα διακινούμενα προϊόντα, τα οχήματα διανομής. Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα με την υποβοήθηση κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών να εντοπίζεται η ακριβής θέση κάθε οχήματος, των συνθηκών μεταφοράς, καθώς επίσης και δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με τα οχήματά σε περιπτώσεις ανάκλησης μίας παραγγελίας που ακυρώθηκε, προσθήκης έκτακτης παραγγελίας, αναπροσαρμογής του

δρομολογίου για διαφόρους λόγους. Η αξιοποίηση όλων αυτών των πληροφοριών με στόχο την βελτιστοποίηση του δικτύου, θα έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών, μεγαλύτερη ευελιξία και σημαντικές μειώσεις στο κόστος διανομής.

3.2 Το Κλασσικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων

3.2.1 Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή

Το γνωστότερο και πιο απλό πρόβλημα της επιχειρησιακής έρευνας στα δίκτυα διανομής είναι αυτό του πλανόδιου πωλητή (ΠΠΠ) - Traveling Salesman Problem (TSP). Το πρόβλημα αυτό συνίσταται στην εύρεση μίας μόνο διαδρομής που να συνδέει k πόλεις (κόμβους) με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολική διανυθείσα απόσταση. Κάθε σημείο πρέπει να δέχεται επίσκεψη μόνο μία φορά.

Αν θεωρήσουμε:

- Πόλεις : $1,2,\ldots,k$ (συμβολίζονται με i, j)
- d_{ij} την απόσταση από την πόλη στην i πόλη j
- Μεταβλητή απόφασης x_{ij} όπου

- x_{ij} =1 αν ο πωλητής πηγαίνει από την πόλη i στην πόλη j και
- x_{ij} =0 αλλιώς.

Η αντικειμενική συνάρτηση, εκφράζει τη συνολική απόσταση που διανύει ο πωλητής και είναι:

$$\sum_{i,j} x_{ij} d_{ij}$$

Η ελάχιστη τιμή της παραπάνω ποσότητας, αποτελεί την βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Σημειώνουμε εδώ, ότι παρά την ιδιαίτερα απλή διατύπωσή του, το πρόβλημα είναι NP-hard, με αποτέλεσμα να είναι πρακτικά αδύνατη η αναλυτική επίλυση ακόμα και σε περιπτώσεις μικρών προβλημάτων. Αν αντιστοιχιστεί ένα μονοπάτι για κάθε ζευγάρι σημείων, ο συνολικός αριθμός δυνατών λύσεων για k σημεία είναι k!/2. Έτσι, για k=10 ο συνολικός αριθμός διαδρομών είναι 1.814.400, ενώ για k=15 οι διαφορετικές διαδρομές φτάνουν τις 653.837.184.000. Αποτέλεσμα είναι να μην μπορεί να ευρεθεί η βέλτιστη λύση για το πρόβλημα ακόμα και για μικρές σχετικά τιμές του k και ως εκ τούτου έχουν προταθεί διάφοροι ευρετικοί αλγόριθμοι που σε σχετικά μικρό υπολογιστικό χρόνο παρέχουν αρκετά καλές λύσεις.

3.2.2 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων

Το σημαντικότερο πρόβλημα δρομολόγησης που αναφέρεται στην επιχειρησιακή έρευνα είναι η δρομολόγηση στόλου οχημάτων (vehicle routing problem). Διατυπώθηκε αρχικά από τους Clarke και Wright [25] το 1964 ως εξής:

Έστω *n* οχήματα διαθέσιμα, χωρητικότητας V και έστω d_i(i=*1..m*) φορτία που απαιτείται να διανεμηθούν σε m κόμβους-πελάτες P_j(*j=1..m*) από ένα αρχικό κόμβο-αποθήκη P_0. Δεδομένων των αποστάσεων (ή κόστους) c_{yz} μεταξύ όλων αυτών των κόμβων, ζητείται να υπολογιστούν *k* κυκλικές διαδρομές (όπου προφανώς k≤m) που ξεκινούν και καταλήγουν στο P_0 και εξυπηρετούν και τους *m* κόμβους, ελαχιστοποιώντας τη συνολική απόσταση που θα διανυθεί από τα οχήματα.

Έτσι ορίζοντας

$x_{ij}^{k} = 1$, αν το όχημα k πηγαίνει από τον κόμβο i στον j t, 0 αλλιώς και

d_i τη ζήτηση στον κόμβο i

το ΠΔΣΟ ορίζεται :

$$\min_{x,y} F(x,y) = \sum_{i,j} x_{ij}^k c_{ij}$$

υποκείμενο στους περιορισμούς :

$$\sum_j x_{ij}^k - \sum_i x_{ji}^k = 0, \forall i$$

$$\sum k \sum_i x_{ij}^k = 1, \forall i$$

$$\sum_i x_{ij}^k - y_i^k = 0, \forall i, k$$

$$\sum_i y_i^k d_i \leq V$$

3.3 Παραλλαγές του Προβλήματος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων

Με βάση περισσότερο πραγματικά επιχειρησιακά προβλήματα δικτύων δρομολόγησης, τα μοντέλα που τα περιγράφουν εμφανίζουν παραλλαγές και διαφοροποιήσεις ως προς τις διαφορετικές παραμέτρους που υπεισέρχονται σε αυτά. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι διαφοροποιήσεις αυτές.

3.3.1 Σημεία παραγωγής

Στην απλούστερη περίπτωση, υπάρχει ένα σημείο διάθεσης που εξυπηρετεί κάποιο συγκεκριμένο αριθμό πελατών κάνοντας χρήση συγκεκριμένου αριθμού οχημάτων που ξεκινάνε και καταλήγουν σ' αυτό. Ακόμη είναι δυνατό:

- να υπάρχουν περισσότερα αρχικά σημεία παραγωγής από τα οποία πρέπει να εξυπηρετηθούν οι πελάτες,
- σε κάθε χρονική στιγμή να μην είναι διαθέσιμα όλα τα σημεία παραγωγής,
- να υπάρχει διαφοροποίηση ως προς τα προϊόντα, τα οποία να είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά σημεία παραγωγής.

3.3.2 Στόλος οχημάτων

Είναι δυνατόν να εμφανιστούν οι ακόλουθοι περιοριστικοί παράγοντες :

- να υπάρχουν οχήματα με διαφορετική χωρητικότητα, ή εξοπλισμό (πχ ψυγείο). Κάθε όχημα (ή κάποια οχήματα) έχει τη δυνατότητα μεταφοράς περισσοτέρων ειδών προϊόντων που μπορούν να τοποθετηθούν μαζί,

- μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί της μορφής "όλα τα οχήματα ή κάποιο ελάχιστο ποσοστό από αυτά πρέπει να χρησιμοποιηθούν",
- να υπάρχουν οχήματα με διαφορετικό τρόπο κοστολόγησης πχ ιδιόκτητα με μόνιμους οδηγούς ή ενοικιασμένα με έκτακτους οδηγούς
- να υπάρχει περιορισμός στο χρόνο διαδρομής, και στις διανυόμενες αποστάσεις των οχημάτων.

3.3.3 Χρόνος Επίσκεψης

Περιορισμοί που σχετίζονται με τον χρόνο επίσκεψης περιλαμβάνονται στα περισσότερα επιχειρησιακά προβλήματα. Σε αυτή την περίπτωση τα οχήματα θα πρέπει να εξυπηρετήσουν κάποια σημεία ή όλα τα σημεία του δικτύου μεταξύ κάποιων χρονικών ορίων που αποτελούν το χρονικό παράθυρο (time window).

Για παράδειγμα ένα κατάστημα λιανικής πώλησης θα πρέπει να προμηθευτεί τα εμπορεύματα νωρίς το πρωί, πριν αρχίσουν να του ζητούν οι πελάτες, ενώ κάποιο πολυκατάστημα είναι επιθυμεί την παράδοση των εμπορευμάτων μετά το τέλος της λειτουργίας του.

Στα προβλήματα της βιβλιογραφίας, η νωρίτερη (earlier) χρονική στιγμή επίσκεψης θεωρείται soft (μαλακός) περιορισμός, και θεωρείται ότι το όχημα περιμένει για την εξυπηρέτηση μέχρι την έναρξη του χρονικού παραθύρου. Αντίθετα η αργότερη (latest) χρονική στιγμή επίσκεψης, είναι πάντοτε σκληρός περιορισμός, και δεν θα πρέπει να παραβιάζεται ποτέ. Αντίθετα, στα πραγματικά επιχειρησιακά προβλήματα, η περίπτωση των σκληρών παραθύρων είναι η πιο συνηθισμένη, όπου οι πελάτες καθορίζουν τα χρονικά περιθώρια μέσα στο οποία πρέπει να τους γίνει η παράδοση και η παραλαβή των προϊόντων.

Πιο συγκεκριμένα, όταν υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με τον χρόνο επίσκεψης των κόμβων το πρόβλημα ονομάζεται Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων με Παράθυρα Χρόνου (ΠΔΣΟΠΧ). Το αποτελεί ΠΔΣΟΠΧ επέκταση του ΠΔΣΟ και ορίζει επιπρόσθετα συγκεκριμένα παράθυρα χρόνου για κάθε πελάτη, μέσα στα οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η διανομή των αγαθών. Για κάθε πελάτη i, $(i=1,...,n)$ δίνεται η ζήτηση q_i, ένας χρόνος εξυπηρέτησης s_i και ένα παράθυρο χρόνου $z_i=[e_i, f_i]$ μέσα στο οποίο πρέπει να εξυπηρετηθεί. Ορίζεται ως e_0 η νωρίτερη στιγμή αναχώρησης από την αποθήκη ($i=0$) και f_0 η αργότερη χρονική στιγμή επιστροφής σε αυτή. Ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους δρομολόγησης των οχημάτων όταν ο

χρόνος των διαδρομών είναι το άθροισμα του χρόνου ταξιδιού, αδρανών χρονικών διαστημάτων και χρόνου εξυπηρέτησης κάθε πελάτη.

3.3.4 Χρόνος Εξυπηρέτησης

Ο χρόνος εξυπηρέτησης, παραμονής δηλαδή του οχήματος σε κάθε πελάτη συνήθως είναι σταθερός. Στην πράξη όμως εξαρτάται από τον πελάτη, αλλά και από την ποσότητα η οποία παραδίδεται σε κάθε κόμβο.

3.3.5 Παραλαβή προϊόντων

Στην προκειμένη περίπτωση το αρχικό πρόβλημα τροποποιείται στο ότι ορισμένοι πελάτες μπορεί να απαιτούν την επιστροφή κάποιων προϊόντων, ή τη συσκευασία αυτών.

Σε μερικές περιπτώσεις ικανοποιούνται πρώτα από κάθε όχημα οι διανομές που του αντιστοιχούν και στη συνέχεια, αφού το όχημα έχει ήδη αδειάσει, αναλαμβάνει κάποιες παραλαβές και μεταφέρει κάποια προϊόντα από κάποιους κόμβους-πελάτες στην κεντρική αποθήκη.

Στις απλές περιπτώσεις υπάρχει μόνο μια επιστροφή σε κάθε διαδρομή, ενώ στις πιο πολύπλοκες υπάρχουν περισσότερες από μία

επιστροφές στο κάθε δρομολόγιο. Ακόμα, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου κάποιο συγκεκριμένο όχημα να πρέπει να παραλάβει κάποια προϊόντα από κάποιο σημείο και να τα παραδώσει σε κάποιο άλλο, διαφορετικό από την κύρια αποθήκη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα επιστροφής προϊόντων είναι τα μαγαζιά που πουλούν περιοδικά και εφημερίδες και απαιτούν την επιστροφή των παλαιών εφημερίδων και των τευχών των περιοδικών. Ένα πρόβλημα που ανακύπτει συχνά κατά τις περιπτώσεις των επιστροφών είναι ότι τα περισσότερα οχήματα φορτώνουν και εκφορτώνουν από το ίδιο σημείο (συνήθως το πίσω μέρος) οπότε μπορεί να προκύψει πρόβλημα που να οδηγήσει στην τοποθέτηση των παραλαβών μετά τις παραδόσεις.

3.3.6 Εξάρτηση σημείων διάθεσης και παραγωγής με τα οχήματα

Είναι δυνατό να υπάρχουν περισσότερα είδη οχημάτων και να υπάρχει περιορισμός στο ποιος πελάτης θα εξυπηρετηθεί και από ποιο όχημα και στο από ποια αποθήκη είναι εφικτό να ξεκινήσουν και /ή να επιστρέψουν τα διάφορα οχήματα.

3.3.7 Εξάρτηση πελατών – οχημάτων

Σε πραγματικά προβλήματα καθημερινής δρομολόγησης υπάρχουν λόγοι που επιβάλουν την προτίμηση κάποιων πελατών σε κάποια συγκεκριμένα οχήματα (οδηγούς) λόγω της σχέσης που έχουν αναπτύξει αλλά και λόγω των ιδιαιτεροτήτων των πελατών που γνωρίζει ο οδηγός.

3.3.8 Ασυμβατότητες μεταξύ πελατών

Λόγω ανταγωνισμού μεταξύ γειτονικών πελατών, πολλές φορές η επιχείρηση προσπαθεί να τους εξυπηρετεί από διαφορετικά δρομολόγια.

3.3.9 Σημαντικότητα πελατών

Για την κατάστρωση πραγματικών επιχειρησιακών δικτύων δεν λαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο υπόψη ο εκάστοτε πελάτης. Αντίθετα είναι δυνατό να δοθεί προτεραιότητα στην εξυπηρέτηση πελατών που δημιουργούν μεγαλύτερο τζίρο έναντι των μικρότερων.

3.3.10 Χαρακτηριστικά Δικτύου

Ένα πραγματικό δίκτυο δρομολόγησης, δεν έχει σε κάθε χρονική στιγμή την ίδια συμπεριφορά. Για την μοντελοποίηση της πραγματικότητας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η στοχαστικότητα των χρόνων μεταφοράς που εξαρτάται από εξωγενείς παράγοντες. Έτσι είναι δυνατόν κατά τις μεσημεριανές ώρες, ο απαιτούμενος χρόνος για την κάλυψη μίας απόστασης να είναι πολύ μεγαλύτερος από χρόνο που απαιτείται για την κάλυψη της ίδιας απόστασης σε βραδινές ώρες.

Σε πραγματικά προβλήματα δρομολόγησης, οι αποστάσεις μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου εξάγονται από ειδικά πληροφοριακά συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και δεν αναφέρονται στον Ευκλείδειο χώρο. Έτσι δεν ισχύει πάντοτε η τριγωνική ανισότητα ενώ συχνά συμβαίνει η απόσταση ενός σημείου Α από ένα άλλο σημείο Β του δικτύου να είναι και κατευθυνόμενη, δηλαδή : ΑΒ <> ΒΑ

3.4 Περίοδος Δρομολόγησης

Σύμφωνα και με όσα αναφέρθηκαν σχετικά με το ΠΔΣΟΔΔ η βελτιστοποίηση και κατ' επέκταση η ανάγκη δρομολόγησης είναι

δυνατόν να πραγματοποιείται για διαφορετικά χρονικά διαστήματα και διακρίνεται σε στρατηγική, περιοδική, επιχειρησιακή και πραγματικού χρόνου(ή δυναμική):

Η στρατηγική δρομολόγηση είναι η δυσκολότερη περίπτωση αφού καταστρώνονται δρομολόγια για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις της ζήτησης και όλων των στοχαστικών παραμέτρων και μη που υπεισέρχονται στο μοντέλο. Το ζητούμενο είναι να βρεθεί εκείνο το δρομολόγιο που θα είναι βέλτιστο όχι για μία ημέρα, αλλά που θα ανταποκρίνεται καλύτερα για μεγάλα χρονικά διαστήματα (2-12 μήνες). Η στρατηγική δρομολόγηση σε δίκτυα διανομής είναι αναγκαία διότι τα δρομολόγια δεν μπορεί να έχουν μεγάλη διαφοροποίηση από ημέρα σε ημέρα.

Δεν είναι δυνατόν κάποιος οδηγός να αλλάζει καθημερινά το δρομολόγιο του και τις συνήθειες του ακόμα και εάν κάποιος υπολογιστικός δρομολογητής αναφέρει ότι κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο για την εξοικονόμηση εξόδων δρομολόγησης. Στην πράξη η εξοικονόμηση αυτή εξαφανίζεται από τις καθυστερήσεις που υπεισέρχονται από την οδήγηση σε διαφορετικούς δρόμους και την αλληλεπίδραση με διαφορετικούς πελάτες κάθε ξεχωριστή ημέρα.

Η περιοδική δρομολόγηση είναι υποπερίπτωση της στρατηγικής και έγκειται στην εύρεση ξεχωριστών δρομολογίων για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά διαφορετικά ανάλογα την ημέρα, π.χ. ξεχωριστά δρομολόγια για κάθε διαφορετική ημέρα της εβδομάδας. Σε αυτή την περίπτωση αλλάζει καθημερινά το δρομολόγια, εφόσον δεν θα εξυπηρετούνται κάθε μέρα οι ίδιοι πελάτες αλλά το δρομολόγιο για μια συγκεκριμένη ημέρα θα παραμένει το ίδιο για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η επιχειρησιακή δρομολόγηση λαμβάνει χώρα κάθε ημέρα. Λαμβάνει υπόψη τα στρατηγικά δρομολόγια για την συγκεκριμένη ημέρα μαζί με τον ακριβή αριθμό, την ταυτότητα και τη ζήτηση των πελατών που πρέπει να εξυπηρετηθούν και κάνοντας καμία ή μικρές τροποποιήσεις στα στρατηγικά δρομολόγια εξάγει τα δρομολόγια που πρέπει να ακολουθηθούν για μια συγκεκριμένη (την επόμενη) ημέρα.

Η δυναμική δρομολόγηση (ή πραγματικού χρόνου) συνεπάγεται την αντίδραση του δικτύου σε περίπτωση προβλήματος μετά την έναρξη της δρομολόγησης. Η αποτελεσματικότητα της στηρίζεται στην άρτια γνώση της κατάστασης του δικτύου, τις θέσεις των οχημάτων αλλά και τις τρέχουσες ζητήσεις των πελατών.

Η δυναμική δρομολόγηση πραγματοποιείται με την επαναδρομολόγηση οχημάτων σε περίπτωση προβλήματος με

στόχο την αποφυγή μη αναγκαίες αλλαγές στις τρέχουσες διαδρομές. Τα συνηθέστερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η δυναμική δρομολόγηση είναι η μεγάλη καθυστέρηση εξυπηρέτησης πελάτη ή ομάδας πελατών, η ακινητοποίηση οχήματος και η εξυπηρέτηση νέας παραγγελίας.

3.5 Συνάρτηση βελτιστοποίησης του προβλήματος

Στα προβλήματα δρομολόγησης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία η συνάρτηση βελτιστοποίησης είναι η συνολική διανυόμενη απόσταση από τα οχήματα, που προφανώς πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Λαμβάνοντας υπόψη και τους δυνατούς περιορισμούς που είναι δυνατόν να προκύψουν, υπάρχουν οι ακόλουθες δυνατές επιλογές :

- να πρέπει να προστεθεί στη συνάρτηση βελτιστοποίησης τμήμα που να αφορά στην ποσότητα του προϊόντος που διατίθεται ή και το κόστος των προϊόντων που επιστρέφονται αδιάθετα,

- το κόστος της διαδρομής να μην είναι ευθέως ανάλογο με τη διανυόμενη απόσταση από τα οχήματα, αλλά να εξαρτάται και από το χρόνο που απασχολούνται τα οχήματα, το χρόνο εργασίας των εργαζομένων ,
- να εξαρτάται από τον αριθμό των οχημάτων που χρησιμοποιούνται,
- να προστίθενται όροι που μοντελοποιούν εμπορικούς στόχους όπως η ικανοποίηση των πελατών,
- να λαμβάνονται και άλλοι παράγοντες που να μην έχουν σχέση με οικονομικό κόστος, όπως η ασφάλεια των μεταφερομένων, ή ο κίνδυνος προκλήσεως ατυχήματος κτλ.

3.6 Σχετική Έρευνα

Η αντιμετώπιση του ΠΔΣΟ με γενετικούς αλγορίθμους εφαρμόστηκε αρχικά από τους Blanton και Wainright[15] και Thangiah[92]. Οι Blanton και Wainright πρότειναν μια υβριδική μέθοδο που συνδυάζει ένα ΓΑ με ένα άπληστο (greedy) κατασκευαστικό ευρετικό αλγόριθμο. Ο ΓΑ χρησιμοποιείται στην κατασκευή καλών δρομολόγιων και ο άπληστος αλγόριθμος για την ικανοποίηση των διάφορων κριτηρίων της αναζήτησης. Παρόμοια, ο Thangiah

παρουσίασε ένα σύστημα δύο φάσεων (ομαδοποίησης – δρομολόγησης) βασισμένο σε ένα ΓΑ και μια διαδικασία τοπικής βελτιστοποίησης των λύσεων Η πρώτη φάση χρησιμοποιεί τον ΓΑ για την ομαδοποίηση των πελατών σε δρομολόγια οχημάτων. Στην δεύτερη φάση οι καλύτερες λύσεις που παράγονται από τον ΓΑ βελτιώνονται με την διαδικασία τοπικής βελτιστοποίησης που μετακινεί πελάτες των οποίων η θέση τους σε κάποιο δρομολόγιο παραβιάζει κάποια κριτήρια. σε κάποιο άλλο δρομολόγιο. Η προτεινόμενη μέθοδος αναζήτησης, αποδέχεται και τις μη νόμιμες λύσεις.

Οι Potvin και Bengio[78] προτείνουν έναν γενετικό αλγόριθμο όπου εφαρμόζονται απευθείας γενετικοί τελεστές στις λύσεις, αποφεύγοντας θέματα κωδικοποίησης. Ο αρχικός πληθυσμός δημιουργείται σύμφωνα με τη μέθοδο φθηνότερης εισαγωγής (Solomon[87]). Η διαδικασία επιλογής είναι τυχαία, ενώ η αναπαραγωγή συνίσταται στη συνένωση δύο γονέων προς ένα νόμιμο απόγονο. Η μετάλλαξη χρησιμοποιείται για τη μείωση των χρησιμοποιούμενων διαδρομών.

Οι Berger et al.[12] παρουσίασαν επίσης μια μέθοδο βασισμένη στον υβριδισμό ενός ΓΑ με γνωστούς κατασκευαστικούς ευρετικούς αλγορίθμους. Οι κατασκευαστικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της αρχικοποίησης και αναπαραγωγής των λύσεων. Στην αναπαραγωγή οι ευρετικοί αυτοί αλγόριθμοι προσπαθούν να

ταιριάξουν χαρακτηριστικά των γονέων για την δημιουργία νόμιμων λύσεων. Η προτεινόμενη μέθοδος μετάλλαξης επιδιώκει την αποφυγή μικρών δρομολογίων και την τοπική εναλλαγή της σειράς κάποιων πελατών. Σε μια πιο πρόσφατη προσέγγιση (Luis et. al.[69]) παρουσιάζεται ένας ΓΑ βασισμένος σε μια νέα ιδέα κωδικοποίησης των λύσεων όπου οι πρώτοι m πελάτες ενός χρωματοσώματος τοποθετούνται στα m διαθέσιμα οχήματα. Η συγκεκριμένη δομή επιτρέπει την αποδοτική εφαρμογή του συγχωνευτικού τελεστή αναπαραγωγής των Blanton και Wainright[15]. Οι πιο σύγχρονες και αποδοτικές προσεγγίσεις παρουσιάστηκαν από τους Wee Kit et al. ([96]), Berger et al. ([13]) και Οι Tan et al. ([91]).

Οι Garcia et al. ([39]) ήταν οι πρώτοι που εφάρμοσαν την τεχνική απαγορευμένης αναζήτησης για να αναζητήσουν λύσεις στο ΠΔΣΟ. Ο αλγόριθμος που πρότειναν είναι σχετικά απλός και συνίσταται στην εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου εισαγωγής του Solomon για την δημιουργία των αρχικών λύσεων και υλοποίηση ανταλλαγών 2-opt και Or-opt για τοπική βελτίωση.

Γενικά στην βιβλιογραφία των αλγορίθμων απαγορευμένης αναζήτησης για το ΠΔΣΟ οι αρχικές λύσεις δημιουργούνται με κάποιο αλγόριθμο φθηνότερης εισαγωγής κόμβων και στην συνέχεια πιο σύνθετες τεχνικές χρησιμοποιούνται για να κάνουν την τοπική αναζήτηση. Παραδείγματα υπάρχουν από τους Chiang και Russell

[23], Russell [82], De Backer και Furnon [32], Schulze και Fahle [85], Tan et al. [90], Cordeau et al. [26] και τέλος Lau et al. [63].

Σημαντικά αποτελέσματα στο ΠΔΣΟ έχουν επιτευχθεί με την χρήση εξελικτικών αλγορίθμων. Οι Berger et al. [12] αρχικά πραγματοποιούν μια διαδικασία αφαίρεσης από τις αρχικές λύσεις κόμβων «κλειδιά» (παρόμοια με την διαδικασία του Shaw [84]) και την επαναεισαγωγή τους με μια διαδικασία τοπικής αναζήτησης εμπνευσμένη από τους Liu και Shen [67]. Οι Homberger και Gehring ([41], [42], [45], [46]) ακολουθούν στρατηγικές εξέλιξης που οδηγούν την αναζήτηση κυρίως μέσω της μετάλλαξης των λύσεων με χρήση παραδοσιακών τελεστών (2-opt∗, Or-opt, and λ-ανταλλαγές).

Οι Bent και Van Hentenryck [11] παρουσίασαν μια υβριδική εξελικτική διαδικασία δύο φάσεων. Η πρώτη φάση είναι μια βασική διαδικασία προσομοιωμένης ανόπτισης κατά την οποία ελαχιστοποιείται ο αριθμός των δρομολογίων. Στην δεύτερη φάση πραγματοποιείται η ελαχιστοποίηση της διαδρομής με την χρήση αναζήτησης «μεγάλης γειτονίας» [84].

Οι Le Bouthillier και Crainic [65] πρότειναν μια παράλληλη μεθοδολογία συνεργασίας μεταξύ διαφόρων «πρακτόρων» επικοινωνούν διαμέσου ενός συνόλου εφικτών λύσεων. Οι «πράκτορες» υλοποιούν απλούς αλγορίθμους κατασκευής διαδρομών και τοπικής αναζήτησης.

Οι Ibaraki et al. [49] εισάγουν στον αλγόριθμό τους την έννοια της γειτονίας κυκλικής ανταλλαγής (cyclic-exchange neighbourhood). Μετά την τοποθέτηση των κόμβων στην επιθυμητή σειρά επίσκεψης αναζητείται με τη χρήση δυναμικού προγραμματισμού η βέλτιστη έναρξη διαδικασιών στους κόμβους ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίσκεψη κόμβων εντός των παραθύρων χρόνου. Τέλος οι Mester et Al. [73] παρουσιάζουν αλγόριθμο βασισμένο σε μια νέα πολύ-παραμετρική διαδικασία μετάλλαξης που ενσωματώνεται σε μια εξελικτική 1+1 στρατηγική τεχνική.

Κεφάλαιο 4ο

Η Ναυτιλιακή Αγορά και το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων

4.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μια λεπτομερής ανάλυση της ναυτιλιακής αγοράς και δίνεται το επιχειρησιακό πλαίσιο μέσα στο οποίο εμφανίζεται το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων (ΠΑΕΜΦ). Παρουσιάζονται τα τμήματα στα οποία διακρίνεται η συνολική ναυτιλιακή αγορά και οι ρόλοι που πρωταγωνιστούν σε καθένα από αυτά. Αναλύεται το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων και γίνεται αναφορά στην σχετική με το πρόβλημα έρευνα που έχει διαξευχθεί.

4.2 Κατηγοριοποίηση Ναυτιλιακής Αγοράς

Η ναυτιλιακή αγορά είναι μια τεράστια αγορά που αποτελείται από πολλούς, τις περισσότερες φορές ανεξάρτητους, τομείς για καθένα από τους οποίους υπάρχουν ξεχωριστοί κανόνες λειτουργίας και χαρακτηριστικά. Αυτό σημαίνει ότι οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των διαφόρων ναυτιλιακών εταιριών είναι διαφορετικές ανάλογα με τον τομέα ή τους τομείς της ναυτιλίας στους οποίους δραστηριοποιούνται. Η διάκριση των επιμέρους αγορών μπορεί να γίνει ανάλογα μια ποικίλα κριτηρίων, τα βασικότερα των οποίων περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

4.2.1 Διάκριση Ναυτιλιακής Αγοράς Ανάλογα το Είδους Παρεχόμενης Υπηρεσίας

Τα παρεχόμενα είδη μεταφορικής υπηρεσίας είναι τρία και διαχωρίζουν την ναυτιλιακή αγορά σε τρεις βασικές κατηγορίες, την αγορά πλοίων γραμμών (liner services), την ελεύθερη αγορά πλοίων (tramp shipping) και την βιομηχανική αγορά (industrial services), όπως αναλύεται στο [64]. Τα όρια μεταξύ των δύο τελευταίων αγορών δεν είναι τόσο ευδιάκριτα καθώς πλοία της ελεύθερης αγοράς

χρησιμοποιούνται πολύ συχνά και στην βιομηχανική αγορά και το αντίστροφο.

Στην πρώτη κατηγορία απασχολούνται πλοία που εκτελούν τακτικά δρομολόγια μεταξύ προκαθορισμένων λιμανιών με προκαθορισμένες ώρες άφιξης, αναχώρησης και προκαθορισμένες τιμές ναύλων. Η συνηθέστερη χρήση αυτών των δρομολογίων είναι η μεταφορά επιβατών και οχημάτων. Ωστόσο υπάρχουν τέτοιου είδους αγορές που αναπτύσσονται μεταξύ λιμανιών με συνεχή ανταλλαγή τυποποιημένων εμπορευμάτων τα οποία διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για την διαχείριση των εμπορευματοκιβωτίων (containers) και των αντίστοιχων πλοίων (containerships). Αν και το ποσοστό της ποσότητας των προϊόντων που μεταφέρονται μέσω της αγοράς γραμμών αποτελεί μόνο το 25%-30% της συνολικής ποσότητας μεταφερόμενων φορτίων μέσω θαλάσσης, η αξία των προϊόντων αυτών φτάνει το 85% της συνολικής αξίας των μεταφερόμενων προϊόντων μέσω θαλάσσης.

Στην ελεύθερη αγορά των πλοίων “tramp” (ελληνιστί: αλήτης) απασχολούνται πλοία τα οποία δεν έχουν τακτικά δρομολόγια και η απασχόληση τους εξαρτάται από την ζήτηση της αγοράς. Η μεταφορά φορτίων στην αγορά αυτή γίνεται κατόπιν υπογραφής συμβολαίου στο οποίο καθορίζονται όλες οι λεπτομέρειες χρήσης του πλοίου και μεταφοράς. Ένα συμβόλαιο μπορεί να αφορά την εκτέλεση ενός μόνο ταξιδιού, περισσότερων του ενός ταξιδιών ή μια χρονική περίοδο. Τα

πλοία που δραστηριοποιούνται στην αγορά αυτή μετακινούνται στα λιμάνια ανάλογα με τα συμβόλαια που πρέπει να εκτελέσουν και τα φορτία που μεταφέρουν καλύπτουν τουλάχιστον την χωρητικότητα ενός εκ των διαμερισμάτων (αμπαριών) του πλοίου ενός τις περισσότερες φορές καλύπτουν ολόκληρη την χωρητικότητα του πλοίου. Οι εταιρείες που επιλέγουν να διαχειρίζονται ολόκληρο ή μέρος του στόλου τους στην ελεύθερη αγορά (tramp shipping) επιδιώκουν, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, να καρπώνονται αυξημένα κέρδη σε σχέση με το εάν είχαν δεσμεύσει τα πλοία τους σε άλλο τομέα της αγοράς. Είναι, ωστόσο λογικό, ότι η επιδίωξη αυτή εμπεριέχει μεγαλύτερο ρίσκο γιατί δεν είναι πάντα βέβαιο ότι ένα πλοίο στην ελεύθερη αγορά είναι ναυλωμένο διαρκώς ή ότι το κέρδος κάθε ταξιδιού του είναι αρκετά μεγάλο.

Στην βιομηχανική αγορά (industrial services) δραστηριοποιούνται μεγάλες βιομηχανίες οι οποίες εισάγουν ή εξάγουν μεγάλες ποσότητες υλικών ή προϊόντων σε τακτά χρονικά διαστήματα και ο οποίες διαθέτουν τον δικό τους ιδιόκτητο στόλο πλοίων προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους για μεταφορά φορτίων. Οι βιομηχανίες αυτές μπορούν να διαθέσουν τον στόλο τους στην ελεύθερη αγορά όταν η ανάγκη για μεταφορά ιδιόκτητων φορτίων έχει καλυφθεί ή αντίθετα να ναυλώσουν πλοία από την ελεύθερη αγορά όταν ο ιδιόκτητος στόλος δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της

εταιρείας για μεταφορά φορτίων. Στόχος των βιομηχανιών που διαχειρίζονται ιδιόκτητο στόλο είναι να μεταφέρουν τα φορτία τους με όσο το δυνατών χαμηλότερο κόστος.

4.2.2 Διάκριση Ναυτιλιακής Αγοράς Ανάλογα το Μέγεθος του Πλοίου και το Είδος του Φορτίου

Η διάκριση της ναυτιλιακής αγοράς ανάλογα με το μέγεθος του πλοίο και το είδος του φορτίου αποτελεί για τις ναυτιλιακές εταιρίες που δραστηριοποιούνται σε κάποιο συγκεκριμένο τομέα τον βασικό διαχωρισμό της. Οι βασικές κατηγορίες και υποκατηγορίες που προκύπτουν από αυτή την διάκριση παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Μια πολύ σημαντική κατηγοριοποίηση της ναυτιλιακής αγοράς, η οποία είναι καθιερωμένη στην διεθνή ναυτιλιακή πρακτική, είναι αυτή που προκύπτει με βάση το είδος και τα χαρακτηριστικά μεταφοράς του μεταφερόμενου φορτίου. Σύμφωνα με αυτό το διαχωρισμό η ναυτιλιακή αγορά μπορεί να διακριθεί στης εξής κατηγορίες:

- Αγορά χύδην ξηρών φορτίων
- Αγορές χύδην υγρών φορτίων
- Αγορά μεικτών (ξηρών και υγρών) φορτίων
- Αγορές ειδικών φορτίων

- Αγορές γενικών φορτίων

Να σημειωθεί ότι τα όρια των κατηγοριών αυτών , και ιδίως αυτών που διαχωρίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά μεταφοράς δεν είναι αυστηρά καθώς ένα εμπόρευμα είναι δυνατών να μεταφερθεί με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα ένα φορτίο μπορεί να εμφανιστεί είτε στην αγορά χύδην ξηρών φορτίων είτε στην αγορά γενικών φορτίων ανάλογα με την ποσότητα του φορτίου, την επιθυμία του ιδιοκτήτη του φορτίου ή της επικρατούσες οικονομικές συνθήκες στην αγορά.

4.2.2.1 Ναυτιλιακή Αγορά Χύδην Ξηρών Φορτίων και Πλοίων Διπλού Καταστρώματος

Στην ναυτιλιακή αγορά χύδην ξηρών φορτίων (bulk shipping) και πλοίων διπλού καταστρώματος (Tweendecker shipping) απασχολούνται τα πλοία που μεταφέρουν φορτία σε στερεά μορφή. Τα πλοία της κατηγορίας αυτής μπορεί να διαθέτουν σταθερής χωρητικότητας διαμερίσματα φόρτωσης φορτίων (αμπάρια) όποτε ονομάζονται Bulk Carriers (μεταφορείς χύδην φορτίου) ή διαμερίσματα μεταβλητής χωρητικότητας οπότε ονομάζονται Tweendecker (διπλού καταστρώματος). Στην δεύτερη περίπτωση ο χώρος φόρτωσης των πλοίων είναι ενιαίος και το πλοίο διαθέτει ειδικά χωρίσματα τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου αυτού έτσι ώστε να διαχωρίσουν τα φορτία. Η συγκεκριμένη κατηγορία της

ναυτιλιακής αγοράς παρουσιάζει την μεγαλύτερη ποικιλομορφία σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγόριες και τα χαρακτηριστικά της μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της συνολικής ναυτιλιακής αγοράς.

Ανάλογα το μέγεθος του πλοίου έχουμε περαιτέρω υπο-κατηγοριοποίηση της συγκεκριμένης αγοράς. Τα πλοία μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες [93]:

- Handysize bulkers: Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα από 20.000 έως 35.000 τόνων ξηρού φορτίου.
- Handymax bulkers: Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα από 35.000 έως 50.000 τόνων ξηρού φορτίου.
- Panamax bulkers: Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα από 50.000 έως 80.000 τόνων ξηρού φορτίου. Το όνομα τους προέρχεται από την διώρυγα του Παναμά την οποία και μπορούν (έστω και οριακά) να διασχίσουν.
- Capesize bulkers: Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα μεγαλύτερη των 80.000 τόνων ξηρού φορτίου. Τα συγκεκριμένα πλοία, λόγω μεγέθους, δεν μπορούν διέλθουν από το κανάλι του Παναμά και αναγκάζονται να πλεύσουν γύρω από το Ακρωτήρι της Καλής Ελπίδας (Cape Of Good Hope), από το όνομα του οποίου έχουν πάρει το όνομα τους, όταν θέλουν να περάσουν από τον Ατλαντικό στον Ειρηνικό Ωκεανό.

Σχήμα 1. Διεθνές θαλάσσιο εμπόριο 1970-2006 σε εκατομμύρια τόνους (επιλεγμένα έτη)

Τα πέντε βασικά φορτία της ναυτιλιακής αγοράς χύδην ξηρών φορτίων είναι τα εξής:

- Ο άνθρακας (coal)
- Το σιδηρομετάλλευμα (iron ore) που μαζί με τον άνθρακα είναι οι πρώτες ύλες της βιομηχανίας χάλυβα που αποτελεί το κύριο υλικό των περισσότερων βιομηχανικών προϊόντων.
- Τα δημητριακά τα οποία αποτελούν την πρώτη ύλη τόσο για την διατροφή του ανθρώπου όσο και την εκτροφή ζώων
- Ο βωξίτης και η αλουμίνα, τα οποία είναι οι πρώτες ύλες για την βιομηχανία του αλουμινίου, το δεύτερο πιο σημαντικό μέταλλο στη σύγχρονη κοινωνία.
- Τα φωσφάτα, τα οποία είναι το κύριο χύδην λίπασμα που χρησιμοποιείται στην αγροτική παραγωγή.

[redacted]

Πίνακας 1. Ανάπτυξη διεθνούς θαλάσσιου εμπορίου σε εκατομμύρια τόνους (επιλεγμένα έτη)

Στο Σχήμα 1 και στον Πίνακας 1 φαίνεται η αλματώδης ανάπτυξη του διακινούμενου όγκου αγαθών στην ναυτιλιακή αγορά από το 1970 έως σήμερα[94].

4.2.2.2 Ναυτιλιακή Αγορά Χύδην Υγρών Φορτίων

Στην αγορά αυτή απασχολούνται τα πλοία τα οποία είναι κατασκευασμένα για την μεταφορά χύδην υγρών φορτίων. Τα πλοία του συγκεκριμένου τομέα της αγοράς διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθος τους στις εξής υποκατηγορίες [93]:

- Aframax: Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα 50.000 - 100.000 τόνων υγρού φορτίου.
- Suezmax: Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα 100.000 - 150.000 τόνων υγρού φορτίου.
- Very Large Crude Carriers (VLCC): Είναι τα πλοία με μεταφορική ικανότητα 150.000 - 300.000 τόνων υγρού φορτίου.

- Ultra Large Crude Carriers(ULCC): Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα μεγαλύτερη των 300.000 τόνων υγρού φορτίου.

Τα χύδην υγρά φορτία που μεταφέρονται δια θαλάσσης διαιρούνται στις εξής ομάδες:

- το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα πετρελαίου
- τα υγροποιημένα αέρια σε φυσική μορφή (LNG) και σε επεξεργασμένη μορφή (LPG)
- τα υγρά χημικά, όπως αμμωνία, το φωσφορικό οξύ κ.α.

Τα παραπάνω φορτία αντιστοιχούν περίπου στο μισό του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου, με το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα πετρελαίου να καταλαμβάνουν τους μεγαλύτερους όγκους μεταφοράς και την πιο σημαντική θέση της αγοράς.

4.2.2.3 Ναυτιλιακή Αγορά Μεικτών Φορτίων

Στην αγορά αυτή απασχολούνται τα πλοία τα οποία είναι κατάλληλα κατασκευασμένα για να μεταφέρουν ξηρά ή υγρά φορτία ανάλογα με τις επιλογές των πλοιοκτητών τους. Τέτοιου είδους πλοία είναι τα O/O (Ore/Oil) που μπορούν να μεταφέρουν σιδηρομετάλλευμα (Ore) ή\και πετρέλαιο (Oil), τα OBO (Ore/Bulk/Oil) που μπορούν να μεταφέρουν σιδηρομετάλλευμα,

χύδην ξηρό φορτίο (Bulk) και πετρέλαιο και τα PROBO (Products/ Ore/ Bulk/Oil) που μπορούν να μεταφέρουν προϊόντα (Products), σιδηρομετάλλευμα, χύδην ξηρό φορτίο και πετρέλαιο. Τα πλοία αυτά είτε διαθέτουν αμπάρια τα οποία μπορούν να μεταφέρουν χύδην ξηρό φορτίο αλλά και πετρέλαιο καθώς είναι εξοπλισμένα με αντλίες, είτε διαθέτουν ξεχωριστά αμπάρια για την ταυτόχρονη μεταφορά πετρελαίου και ξηρού φορτίου. Η χωρητικότητα των πλοίων μεικτών φορτίων ξεπερνά συνήθως τους 70.000 τόνους.

4.2.2.4 Αγορές ειδικών φορτίων

Η αγορά αυτή περιλαμβάνει τα φορτία των οποίων η μεταφορά τους απαιτεί ιδιαίτερους χειρισμούς ή συνθήκες. Τα κυριότερα φορτία αυτής της αγοράς είναι τα κατεψυγμένα φορτία και τα οχήματα.

Στην περίπτωση των κατεψυγμένων φορτίων μεταφέρονται ευπαθή προϊόντα, των οποίων η μεταφορά απαιτεί συνθήκες προσεκτικά ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας. Ο μεγαλύτερος όγκος τω κατεψυγμένων φορτίων γίνεται από εξειδικευμένα πλοία ψυγεία που διαθέτουν μονωμένα αμπάρια, αλλά με την πάροδο των χρόνων ολοένα και μεγαλύτερος όγκος φορτίων μεταφέρεται από πλοία εμπορευματοκιβωτίων που εκτελούν τακτικές γραμμές μέσα σε ειδικά εμπορευματοκιβώτια που με ειδικό εξοπλισμό εξασφαλίζουν συνθήκες

διατήρησης της ψύξης. Τα βασικότερα κατεψυγμένα προϊόντα είναι τα λαχανικά, το κρέας και τα ψάρια.

Στην περίπτωση των οχημάτων το φορτίο είναι μεγάλο σε όγκο, έχει χαμηλή πυκνότητα και έχει μεγάλη αξία. Αυτό έχει σαν συνέπεια την χρήση εξειδικευμένων πλοίων για την μεταφορά τους, των οποίων ο στόλος δεν ξεπερνά τα 500-600 πλοία παγκοσμίως. Κύρια σημεία παραγωγής των οχημάτων είναι η Δ. Ευρώπη και η Ιαπωνία με αποτέλεσμα λόγω μεγάλου όγκου του φορτίου και της έλλειψης του απαραίτητου αποθηκευτικού χώρου να απαιτείται μεγάλη ακρίβεια των δρομολογίων των πλοίων και εναρμονισμό της λειτουργίας των πλοίων με την βιομηχανία παραγωγής των οχημάτων.

4.2.2.5 Αγορές γενικών φορτίων

Η αγορά γενικών φορτίων είναι από τις μεγαλύτερες ναυτιλιακές αγορές και απασχολεί μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου στόλου και αυτό γιατί το εύρος των φορτίων που μπορούν να χαρακτηριστούν ως γενικό φορτίο είναι σχεδόν απεριόριστο, αφού μπορεί να ποικίλλει από μερικές κούτες ως ένα πλοίο το οποίο μεταφέρεται επί του καταστρώματος ως εμπόρευμα. Η φύση του φορτίου που μεταφέρεται δεν έχει κάποιο ιδιαίτερο ρόλο στην συγκεκριμένη αγορά, όπου βασικότερος παράγοντας είναι η ποσότητα και η συσκευασία του φορτίου. Τα περισσότερα φορτία είναι υψηλής αξίας αφού αποτελούν

καταναλωτικά αγαθά, μηχανολογικό εξοπλισμό και γενικότερα κατεργασμένα εμπορεύματα και μεταφέρονται σχεδόν αποκλειστικά από πλοία γραμμών. Τα πρακτικά προβλήματα του χειρισμού και της στοιβασίας των διαφορετικών γενικών φορτίων στο ίδιο πλοίο, αντιμετωπίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις με την χρήση εμπορευματοκιβωτίων. Στις περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων τα φορτία μπορούν να μεταφερθούν ως χύδην ξηρά φορτία είτε από εξειδικευμένα πλοία είτε από πλοία μεταφοράς χύδην φορτίων. Η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων από το 1966 αποστέλλεσαι την αφορμή για τον διαχωρισμό της αγοράς γενικών φορτίων από τις υπόλοιπες αγορές και την μεγάλη ανάπτυξη της συγκεκριμένης αγοράς.

4.2.3 Διάκριση Ναυτιλιακής Αγοράς Ανάλογα με τον Τύπο Ναύλωσης

Ο τύπος ναύλωσης αφορά τον τρόπο που η ναυτιλιακή εταιρεία εκμεταλλεύεται τα πλοία που βρίσκονται στην κατοχή της. Ανάλογα με τον τρόπο εκμετάλλευσης του πλοίου η εταιρεία έχει διαφορετικού είδους υποχρεώσεις τόσο όσον αφορά τη λειτουργία του ίδιου του πλοίου (έξοδα, παρακολούθηση – διαχείριση) όσο και απέναντι στο συμβαλλόμενο με την ναυτιλιακή εταιρεία μέρος για την ναύλωση

(καταληκτικές ημερομηνίες, ευθύνη φορτίων κατά την μεταφορά κ.α.). Ο τρόπος με τον οποίο θα ναυλώσει μια εταιρεία τα πλοία της εξαρτάται από την κατάσταση της αγοράς και τις τρέχουσες προβλέψεις για την πορεία της αλλά και από τις γνώσεις και την ειδίκευση της εταιρείας πάνω σε θέματα κάποιας συγκεκριμένης ναυτιλιακής αγοράς.

Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των πλοίων γραμμών οι ναυτιλιακές εταιρείες δεν ναυλώνουν τα πλοία τους σε τρίτους αλλά τα διαχειρίζονται πλήρως οι ίδιες καθορίζοντας από μόνες τους τα στοιχεία (λιμάνια και ώρες άφιξης) του ταξιδιού που εκτελείται σε μια γραμμή. Αντίθετα η έννοια της ναύλωσης αποκτά νόημα στην ελεύθερη αγορά όπου οι ναυτιλιακές εταιρείες ναυλώνουν τα πλοία τους σε τρίτους για να μπορέσουν αυτοί να μεταφέρουν τα φορτία που επιθυμούν.

Τα είδη ναύλωσης που παρατηρούνται στην αγορά είναι τα εξής:

- Ναύλωση Ταξιδιού (Ν/Τ)
- Ναύλωση Χρόνου ή Χρονοναύλωση (Ν/Χ)
- Ναύλωση Γυμνού πλοίου
- Ναύλωση Εργολαβικών Μεταφορών

Τα δύο πρώτα είδη ναύλωσης είναι αυτά που συναντώνται πιο συχνά στην πράξη ενώ τα δύο τελευταία αποτελούν πιο ειδικές περιπτώσεις. Κάθε τμήμα της ναυτιλιακής αγοράς που αντιστοιχεί σε

κάθε είδος ναύλωσης έχει τους δικούς του κανόνες και τις δικές του ιδιαιτερότητες οι οποίες αναλύονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

4.2.3.1 Αγορά ναυλώσεων ταξιδιού

Η αγορά ναυλώσεων ταξιδιού (N/T) είναι μια από τις δυο μεγαλύτερες ναυλαγορές που προκύπτουν από τον διαχωρισμό με βάση τον τύπο ναύλωσης. Στη ναύλωση αυτή, ο πλοιοκτήτης υποχρεούται έναντι του ναυλωτή να μεταφέρει σε ένα ταξίδι ορισμένη ποσότητα φορτίου από ένα ή περισσότερα συμφωνημένα λιμάνια φόρτωσης σε ένα ή περισσότερα λιμάνια εκφόρτωσης, με καθορισμένο ποσό ναύλου, το ύψος του οποίου διαμορφώνεται ανάλογα με τις συνθήκες της ναυτιλιακής αγοράς και κατόπιν διαπραγματεύσεων των εμπλεκόμενων μερών.

Ο ναύλος που εισπράττει η ναυτιλιακή εταιρεία καθορίζεται σε δολάρια ανά μεταφερόμενο τόνο. Η συνολική αμοιβή που προκύπτει από την τιμή του ναύλου και την συνολική ποσότητα του μεταφερόμενου φορτίου καλύπτει τόσο τα έξοδα τις εταιρείας για την εκτέλεση της μεταφοράς όσο και το επιθυμητό κέρδος.

Η εκτέλεση μιας ναύλωσης ταξιδιού ξεκινάει από την στιγμή που το πλοίο που έχει συμφωνηθεί ότι θα την εκτελέσει βρίσκεται ελεύθερο

– χωρίς φορτίο - σε κάποιο λιμάνι και το επόμενο φορτίο που πρόκειται να μεταφέρει είναι αυτό που αφορά την συγκεκριμένη ναύλωση. Από το λιμάνι αυτό το πλοίο ξεκινάει το ταξίδι, υπό έρμα (Ballast), για να βρεθεί στο πρώτο λιμάνι φόρτωσης πριν επέλθει η ημερομηνία έναρξης φόρτωσης που έχει συμφωνηθεί στην συγκεκριμένη ναύλωση. Το πλοίο φορτώνει το φορτίο που έχει συμφωνηθεί και αν υπάρχει και δεύτερο λιμάνι φόρτωσης ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τους ίδιους περιορισμούς. Μετά την ολοκλήρωση της φόρτωσης το πλοίο αναχωρεί φορτωμένο (loaded) για το πρώτο λιμάνι εκφόρτωσης στο οποίο ενδεχομένως να πρέπει να έχει καταπλεύσει πριν επέλθει μια πιθανή ημερομηνία έναρξης εκφόρτωσης που θα έχει προσυμφωνηθεί. Στο λιμάνι εκφόρτωσης το πλοίο εκφορτώνει το φορτίο που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο λιμάνι και συνεχίζει το ταξίδι για το επόμενο λιμάνι εκφόρτωσης, αν υπάρχει τέτοιο, όπου ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Μετά την εκφόρτωση και τις τελευταίας ποσότητας φορτίου από το πλοίο θεωρείται ότι η ναύλωση έχει ολοκληρωθεί.

Κατά την εκτέλεση μιας ναύλωσης ταξιδιού, η πλοιοκτήτρια εταιρεία είναι αυτή που λειτουργεί το πλοίο και έχει την ευθύνη εκτέλεσης της μεταφοράς. Τα έξοδα που προκύπτουν από την εκτέλεση του ταξιδιού βαραίνουν εξολοκλήρου την πλοιοκτήτρια εταιρεία. Τα μόνα έξοδα που αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης ως προς το

ποιο από τα δύο συμβαλλόμενα μέρη της ναύλωσης είναι υπεύθυνο να καλύψει, είναι αυτά των εξόδων φόρτωσης του φορτίου και εκφόρτωσης του φορτίου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στο συνολικό ναύλο που λαμβάνει η πλοιοκτήτρια εταιρεία συμπεριλαμβάνεται η κάλυψη όλων των εξόδων που πληρώνει η εταιρεία κατά την εκτέλεση του ταξιδιού.

4.2.3.2 Αγορά ναυλώσεων χρόνου (χρονοναυλώσεων)

Στην αγορά των ναυλώσεων χρόνου (Ν/Χ), η οποία είναι εξίσου μεγάλη με την αγορά ναυλώσεων ταξιδιού, ο πλοιοκτήτης εκμισθώνει το πλοίο του στο ναυλωτή για ένα συμφωνημένο χρονικό διάστημα έναντι χρηματικής αμοιβής, γνωστής ως μίσθωμα, το οποίο συνήθως καθορίζεται σε δολάρια ανά ημέρα.

Στη ναύλωση χρόνου, ο ναυλωτής αναλαμβάνει την εμπορική απασχόληση του πλοίου και επομένως επιβαρύνεται με το μεταβλητό κόστος του πλοίου που περιλαμβάνει έξοδα καυσίμων, λιμενικών τελών, φορτοεκφόρτωσης και άλλα, καθώς βέβαια και με το μίσθωμα του πλοίου. Ωστόσο, η διαχείριση του πλοίου και επομένως η πληρωμή του σταθερού κόστους που περιλαμβάνει την μισθοδοσία, τροφοδοσία και συντήρηση του πλοίου παραμένουν στην ευθύνη του πλοιοκτήτη.

Στο μίσθωμα που λαμβάνει η πλοιοκτήτρια εταιρεία ανά ημέρα, συμπεριλαμβάνεται τόσο το ημερήσιο κόστος λειτουργίας του πλοίου όσο και το επιθυμητό κέρδος ανά ημέρα.

4.2.3.3 Αγορά Μισθώσεων Γυμνού Πλοίου

Στην συγκεκριμένη αγορά ο πλοιοκτήτης παραχωρεί το πλοίο του γυμνό (χωρίς πλήρωμα, τρόφιμα, εφόδια και υλικά) στο ναυλωτή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε αντάλλαγμα για την εκχώρηση αυτή, ο πλοιοκτήτης εισπράττει από το ναυλωτή το συμφωνημένο μίσθωμα. Ο ναυλωτής έχει το ρόλο του ιδιοκτήτη του πλοίου κατά το διάστημα της ναύλωσης.

Η ναύλωση γυμνού πλοίου δεν είναι τεχνικά μία ναύλωση μεταφοράς φορτίου από το πλοίο, αλλά μία σύμβαση εκμίσθωσης του πλοίου καθώς περνά στα χέρια του ναυλωτή τόσο η κατοχή, όχι όμως η ιδιοκτησία του πλοίου, όσο επίσης η διαχείριση, η λειτουργία, ο έλεγχος, η απασχόληση, η ασφάλιση, η επάνδρωση και η ναυσιπλοΐα του. Ενώ στη συνήθη χρονοναύλωση ο πλοιοκτήτης διατηρεί τον έλεγχο της λειτουργίας του πλοίου του, στη ναύλωση γυμνού πλοίου ο ναυλωτής αντικαθιστά τον πλοιοκτήτη και για το διάστημα της μίσθωσης αναλαμβάνει αυτός τον πλήρη έλεγχο του πλοίου.

4.2.3.4 Αγορά Εργολαβικών Μεταφορών

Στην συγκεκριμένη αγορά ο πλοιοκτήτης υπόσχεται να ικανοποιήσει τις ανάγκες του ναυλωτή σε όγκο μεταφερομένων αγαθών μέσα σε μια χρονική περίοδο (συνήθως ένα ή περισσότερα χρόνια). Μέσα σε αυτό το διάστημα συμφωνείται συνήθως ένας αριθμός δύο ή περισσοτέρων φορτώσεων και ταξιδιών, χωρίς όμως να προσδιορίζεται συγκεκριμένο πλοίο που θα εκτελέσει τη ναύλωση. Ο ναύλος υπολογίζεται συνήθως με βάση τη μεταφερόμενη ποσότητα φορτίου και μπορεί να καταβάλλεται προκαταβολικά ή εκ των υστέρων, ανάλογα με τη συμφωνία.

4.3 Οντότητες της Ναυτιλιακής Αγοράς

Η λειτουργία της ναυτιλιακής αγοράς πέρα από την απαραίτητη ύπαρξη του πλοιοκτήτη και του ναυλωτή προϋποθέτει την ύπαρξη και άλλων επαγγελματιών που αναλαμβάνουν μέρος των δραστηριοτήτων και των αντίστοιχων ευθυνών για την ολοκλήρωση τόσο της διαδικασίας εύρεσης φορτίων όσο και για την εκτέλεση των διαδικασιών. Οι σημαντικότερες κατηγορίες επαγγελματιών που εμπλέκονται στην διαδικασία ναυλώσεων είναι οι εξής:

- Οι πλοιοκτήτες, εφοπλιστές, οι κύριοι των πλοίων (Vessel Owners)
- Οι ναυλωτές (Charterers)
- Οι διαχειριστές ναυλώσεων (Chartering Managers)
- Οι μεσίτες (Brokers)
- Οι πράκτορες (Agents)

Πέρα από τα παραπάνω πρόσωπα η ναυτιλιακή αγορά περιλαμβάνει και πολλά άλλα είδη επαγγελματιών που υποστηρίζουν την εύρυθμη λειτουργία της, ωστόσο οι παραπάνω επαγγελματίες είναι τα βασικά πρόσωπα στην διαδικασία ναύλωσης. Τα πρόσωπα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες ενότητες.

4.3.1 Κύριος πλοίου –πλοιοκτήτης -εφοπλιστής

Κύριος του πλοίου είναι αυτός που έχει την κυριότητα του πλοίου αλλά δεν το εκμεταλλεύεται ο ίδιος. Ο πλοιοκτήτης είναι ιδιοκτήτης του πλοίου το οποίο εκμεταλλεύεται με σκοπό το κέρδος. Εφοπλιστής είναι αυτός που εκμεταλλεύεται για λογαριασμό του ένα πλοίο το οποίο όμως ανήκει σε άλλο πρόσωπο.

Η διαχείριση του πλοίου μπορεί να γίνει από τον ίδιο τον πλοιοκτήτη ή τον εφοπλιστή και περιλαμβάνει πλήθος αρμοδιοτήτων.

Ο εξοπλισμός, ο ανεφοδιασμός, η επάνδρωση, η ασφάλιση του πλοίου, η επιλογή ναύλωσης και η μέριμνα για την ασφαλή εκτέλεση των ταξιδιών είναι μερικές από τις βασικότερες δραστηριότητες του προσώπου που εκμεταλλεύεται το πλοίο. Μερικοί πλοιοκτήτες ή εφοπλιστές διαχειρίζονται ένα πλοίο, ενώ άλλοι διαχειρίζονται πολλά πλοία (στόλο). Ορισμένοι εξειδικεύονται στην διαχείριση συγκεκριμένου τύπου και μεγέθους πλοίων, ενώ άλλοι διαχειρίζονται πλοία διαφορετικού τύπου η μεγέθους.

4.3.2 Ναυλωτής

Ο ναυλωτής είναι ο συμβαλλόμενος σε μια σύμβαση ναύλωσης, στον οποίο διατίθεται το πλοίο προς απασχόληση. Σε ορισμένες περιπτώσεις ναύλωσης, ο ναυλωτής είναι δυνατόν να ταυτίζεται με τον ιδιοκτήτη του φορτίου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι δυο διαφορετικά φυσικά πρόσωπα, όταν ο ιδιοκτήτης του φορτίου αναθέτει σε τρίτο πρόσωπο, το οποίο στην συνέχεια θα έχει τον ρόλο του ναυλωτή, την εκπροσώπηση των συμφερόντων του.

4.3.3 Διαχειριστής Ναυλώσεων

Διαχειριστές ναυλώσεων, καλούνται τα πρόσωπα της ναυτιλιακής αγοράς τα οποία δραστηριοποιούνται σε αυτήν διαχειριζόμενα το στόλο και ναυλώνοντας πλοία της ναυτιλιακή εταιρία για την οποία εργάζονται. Είναι προφανές ότι οι διαχειριστές ναυλώσεων έχουν συνήθως άριστη γνώση των συνθηκών της ναυτιλιακής αγοράς και τεράστια εμπειρία.

4.3.4 Μεσίτης

Ο μεσίτης μεσολαβεί μεταξύ ενός πλοιοκτήτη που διαθέτει το πλοίο για εκναύλωση και ενός ναυλωτή που επιθυμεί να ναυλώσει το πλοίο για πραγματοποίηση μεταφοράς φορτίου, ρυθμίζοντας τις σχετικές λεπτομέρειες της σύναψης συμβάσεων, έναντι ενός χρηματικού ποσού που καλείται προμήθεια. Ειδικότερα ο μεσίτης ανάλογα με τα συμφέροντα που εκπροσωπεί, αναζητεί το κατάλληλο φορτίο που θα μεταφέρει το πλοίο του πελάτη του, στην περίπτωση που πρόκειται για μεσίτη πλοιοκτήτη, ενώ αντίθετα όταν πρόκειται για ναυλομεσίτη αναζητεί το κατάλληλο πλοίο που θα μεταφέρει το φορτίο του πελάτη του.

4.4 Το Πρόβλημα Αξιολόγησης Εντολής Μεταφοράς Φορτίου

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται μια γενική διατύπωση του προβλήματος που ερευνάται στην ελεύθερη ναυτιλιακή αγορά. Γενικά, οι ναυτιλιακές εταιρίες διαθέτουν διαχειριστές ναυλώσεων για την διαχείριση του στόλου τους. Η επιτυχία στην ελεύθερη ναυτιλιακή αγορά βασίζεται στο ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο είναι πλοίο είναι υπό συμβόλαιο (πραγματοποιώντας μεταφορά φορτίου) για λογαριασμό ενός ναυλωτή. Προσφορές για μεταφορά φορτίου κοινοποιούνται διαμέσου μεσιτών με την μορφή εντολών μεταφοράς φορτίου.

Ορίζουμε $C = \{1, 2, \dots n_C\}$ το σύνολο των διαθέσιμων εντολών μεταφοράς φορτίων, $H = \{1, 2, \dots n_H\}$ το σύνολο των ναυλωτών, $R = \{1, 2, \dots n_R\}$ το σύνολο των μεσιτών, $V = \{1, 2, \dots n_V\}$ το σύνολο των πλοίων του στόλου της εταιρίας και $P = \{1, 2, \dots n_P\}$ το σύνολο των λιμανιών ανά τον κόσμο.

Κάθε εντολή μεταφοράς φορτίου $c \in C$ χαρακτηρίζεται από τον τύπο του φορτίου ct_c, την ποσότητα του φορτίου cq_c, την περιοχή-λιμάνι φόρτωσης pl_c και εκφόρτωσης pd (pl_c, $pd_c \in P$), τις ημερομηνίες έναρξης διαθεσιμότητας tws_c και λήξης διαθεσιμότητας twe_c του

φορτίου και την αμοιβή μεταφοράς i_c. Η εντολή μεταφοράς φορτίου εκδίδεται από κάποιο ναυλωτή $h_c\,(h_c \in H)$ και γνωστοποιείται στους πλοιοκτήτες και τους διαχειριστές πλοίων διαμέσου ενός μεσίτη $r_c\,(r_c \in R)$ Και ο οποίος απαιτεί μια προμήθεια bc_c ως αμοιβή (ποσοστό επί του συνόλου της αμοιβής για την πραγματοποίηση της εντολής μεταφοράς του φορτίου). Οι αμοιβές στην ναυτιλιακή αγορά ναυλώσεων ονομάζονται ναύλα (freight rates). Τα ναύλα είτε ορίζονται ως κόστος ανά μονάδα φορτίου (τόνος, κυβικό μέτρο, βαρέλι κλπ.) είτε ως ολόκληρο ποσό που ο ναυλωτής πρέπει να πληρώσει στον διαχειριστή του πλοίου βάση του ταξιδιού που πρέπει να γίνει για την μεταφορά.

Οι εντολές μεταφοράς φορτίου για μεμονωμένα ταξίδια πραγματοποιούνται από πλοία. Για την αξιολόγηση μιας εντολής για κάποιο συγκεκριμένο πλοίο $v\,(v \in V)$, συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του πλοίου και των λιμανιών από τα οποία θα περάσει απαιτούνται για να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Τα απαραίτητα δεδομένα του πλοίου περιλαμβάνουν τη χωρητικότητα του πλοίου s_v , τα καθημερινά έξοδα rc_v, τις ταχύτητες ταξιδιού με φορτίο sl_v και με έρμα sb_v, και τις καταναλώσεις καυσίμων fv_v, dv_v, dp_v (κατανάλωση αργού πετρελαίου κατά την διάρκεια ταξιδιού, κατανάλωση πετρελαίου κατά την διάρκεια ταξιδιού και κατανάλωση πετρελαίου κατά την παραμονή σε λιμάνι). Επιπρόσθετα η γνώση της θέσης του πλοίου, του

ταξιδιού που αυτό εκτελεί και πληροφορίες σχετικά με τους ελέγχους που πρέπει να περάσει χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση την διαθεσιμότητα ενός πλοίου να εκτελέσει μια εντολή μεταφοράς φορτίου. Η κάθε αυτού αξιολόγηση μιας εντολής για ένα καθορισμένο πλοίο ονομάζεται Υπολογισμός Ταξιδίου (ΥΤ) – Voyage Estimation (VE). Ο ΥΤ είναι ένας απλός υπολογισμός που αναλύεται στην παράγραφο 6.3. Μια εντολή μεταφοράς φορτίου συμφωνείται (fixed) και επομένων ένα ταξίδι θα πραγματοποιηθεί όταν ο διαχειριστής ή ιδιοκτήτης του πλοίου υπογράψει με τον ναυλωτή το σχετικό συμβόλαιο (charter party) Ν/Τ ή Ν/Χ. Το συγκεκριμένο επιχειρησιακό μοντέλο μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω ώστε να ταιριάζει το πραγματικό πρόβλημα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή ναυλώσεων μπορούμε να ορίσουμε μέτρα για την ποσοτικοποίηση της αξιοπιστίας του ναυλωτή cc_c ή του μεσίτη cb_c που ανακλά την γνώμη που έχει ο διαχειριστής ναυλώσεων για αυτούς. Η συγκεκριμένη πληροφορία μπορεί πολύ εύκολα να ενημερώνεται από τους ίδιους τους διαχειριστές ναυλώσεων και να εξάγεται από την αξιοπιστία με την οποία οι διαχειριστές ναυλώσεων βαθμολογούν τον ναυλωτή και τον μεσίτη μετά από κάθε πραγματοποίηση μιας εντολής μεταφοράς φορτίου. Επιπρόσθετα η διατύπωση του προβλήματος ολοκληρώνεται με την εφαρμογή εταιρικής πολιτικής σχετικά με φορτία και περιοχές ανά την υφήλιο

που θα πρέπει να αποφεύγονται ή δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Για όλες τις διαθέσιμες εντολές C και τον στόλο των διαθέσιμων πλοίων V, ο στόχος είναι η επιλογή των εφικτών και επιθυμητών ταξιδιών από το σύνολο $F, F = f(v, c) : v \in V, c \in C$ όλων των πιθανών μελλοντικών ταξιδιών και η αξιολόγηση τους ανάλογα με το εκτιμώμενο κέρδος λαμβάνοντας έως κάποιο σημείο υπόψη το οικονομικό ρίσκο για την πραγματοποίηση τους.

4.5 Σχετική Έρευνα

Η παγκόσμια αγορά ναυλώσεων προσφέρει ένα πολυπληθές σύνολο από εργαλεία και συστήματα, εταιρικά ή βασισμένα στο διαδίκτυο για την εκτέλεση διαδικασιών σχετικές με τις ναυλώσεις όπως η απόκτηση δεικτών της αγοράς, διαχείριση πληροφοριών σχετικά με μεταφορές φορτίων, απόκτηση πληροφοριών ναύλωσης και ούτω καθ' εξής. Δύο από τα πιο δημοφιλή συστήματα προσφέρονται από το BalticExchange.com [9] και την AXS Marine [6]. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν σε ιδιοκτήτες, ναυλωτές και μεσίτες να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις και να συνεργάζονται πιο αποδοτικά μεταξύ τους. Ο οργανισμός The Baltic Exchange παρέχει διαδικτυακή on-line

πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε πληροφορίες για ναυλώσεις και λιμάνια. Επιπλέον, υπάρχει πρόσβαση σε μια ευρεία γκάμα δεικτών της ναυτιλιακής αγοράς και λεπτομερείς πληροφορίες για συγκεκριμένες διαδρομές (δείκτες ξηρών φορτίων και εκτιμήσεις 25 ξεχωριστών διαδρομών, εκτιμήσεις διαδρομών υγρών φορτίων, λίστες πραγματοποιημένων ταξιδιών, τιμές καυσίμων και εβδομαδιαίες αναφορές) που συνθέτουν μια πλήρη εικόνα για το κόστος και την τάση ων μεταφορών ξηρών και υγρών φορτίων στο κόσμο. Ο οργανισμός AXS Marine προσφέρει στην γκάμα των προϊόντων του διαχείριση πληροφοριών της αγοράς, νέα, δείκτες αγοράς ανάλογα το είδος του φορτίου, πίνακες αποστάσεων, μετατροπείς και υπολογιστές, on-line διαπραγματεύσεις, σύνταξη εγγράφων, διαχείριση μηνυμάτων, δημιουργία αναφορών, στατιστικά εργαλεία, ανάλυση τάσεων εργαλεία διαχείρισης ρίσκου και συστήματα οριοθέτησης πλοίων. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι τα on-line συστήματα ναυλώσεων δεν είναι πάντα καλοδεχούμενα στην ναυτιλιακή αγορά από τους μεσίτες μιας και η ύπαρξή τέτοιων συστημάτων θέτουν σε κίνδυνο την μελλοντική τους θέση στην αγορά. Οι μεσίτες αρκετές φορές αρνούνται να έχουν οποιαδήποτε σχέση με διαδικασίες ναύλωσης στο διαδίκτυο διότι πιστεύουν ότι κάτι τέτοιο μπορεί να επιτρέψει στους πελάτες τους να αρχίσουν να διαπραγματεύονται κατ' ευθεία μεταξύ τους και να τους καταστήσουν άχρηστους και άνευ ρόλου.

Πέρα από τα εμπορικά συστήματα που σκοπεύουν στην αποδοτική διαχείριση των σχετικών με τις ναυλώσεις πληροφορίες και διαδικασίες, έχουν προταθεί μια πληθώρα συστημάτων και αλγορίθμων που διευθετούν σχετικά προβλήματα διαχείριση και χρονοπρογραμματισμού. Τα πιο σχετικά προβλήματα με τις ναυλώσεις είναι: (a) δρομολόγηση και χρονοπρογραμματισμός μεταφοράς φορτίων από πλοία, (b) ανάλυση ρίσκου και εκτίμηση ναυτιλιακών μεταφορών, (c) προβλήματα λήψεων αποφάσεων ελλιμενισμού πλοίων (vessel berth planning and scheduling and stowage and transport planning of cargo), (d) αξιολόγηση εντολών μεταφοράς φορτίων – το ΠΑΕΜΦ που εισάγεται στην παρούσα διατριβή ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Η αφετηρία, ο προορισμός και η ποσότητα του φορτίου είναι μεγέθη ντετερμινιστικά και γνωστά εκ των προτέρων στον λήπτη των αποφάσεων (βλέπε διαχειριστή ναυλώσεων). Η πλειάδα των δημοσιεύσεων πάνω στην δρομολόγηση στόλου πλοίων έχει εστιαστεί σε θεωρητικό και πειραματικό επίπεδο και βασίζεται στην χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων προτείνονται από τους Kim and Lee [59], Fagerholt [36], Azaron and Kianfar [7] and Brønmo et al. [19]. Οι Darby-Dowman et al. [31], Kim and Lee [59] , Bausch et al. [10] and Fagerholt [37] έχουν παρουσιάσει σχετικές λύσεις ενσωματωμένες σε συστήματα λογισμικού.

Η παγκόσμια αύξηση των θαλάσσιων μεταφορών και η λογική αύξηση των θαλάσσιων ατυχημάτων τράβηξαν την προσοχή της κοινής γνώμης και διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί για την υποστήριξη αποφάσεων πάνω στην πολιτική δρομολόγησης πλοίων η οποία θα λαμβάνει υπόψη το πιθανό κέρδος αλλά και το πιθανό ρίσκο που αυτό συνεπάγεται. Για παράδειγμα ο Iakovou [48] πρότεινε ένα δια-δραστικό μοντέλο δρομολόγησης πλοίων που ενσωματώνει διαδικασίες ανάλυσης ρίσκου για την στρατηγική θαλάσσια μεταφορά προϊόντων πετρελαίου. Ενώ οι Merrick and Van Dorp [72] πρότειναν ένα συνδυασμό μεθοδολογιών βασισμένες σε συστήματα Bayes για την αξιολόγηση του λειτουργικού ρίσκου και την επίδραση διόγκωσης των υπηρεσιών θαλάσσιων γραμμών (ferry services). Μια επισκόπηση προτεινόμενων προσεγγίσεων για την ποσοτικοποίηση του ρίσκου στην ναυτιλιακή αγορά παρουσιάζεται από τους Soares and Teixeira [86].

Το πρόβλημα σχεδιασμού ελλιμενισμού πλοίων έγκειται στην τοποθέτηση ενός πλοίου σε μια θέση ενός λιμανιού ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Τα διάφορα πλοία το καθένα με διαφορετικό μήκος εισέρχονται στα λιμάνια σε τυχαίες χρονικές στιγμές και απαιτείται για κάθε ένα από αυτά συγκεκριμένος χρόνος για την ολοκλήρωση των εργασιών τους. Ενδεικτικές προσεγγίσεις σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να βρεθούν από τους Lim [66], Imai et al. [54] και Kim and Moon

[57]. Επιπλέον, παραδείγματα οργάνωσης του φορτίου κατά την φόρτωση παρουσιάζονται από τους Kozan and Preston [60], Avriel et al. [4], Bish et al. [14], Bortfeldt and Gehring [17] and Kim et al. [56]. Οι Vis and De Koster [95] μάλιστα παρουσιάζουν μια επισκόπηση προβλημάτων λήψης αποφάσεων που εγείρονται σε λιμάνια-σταθμούς για container.

Παρόλη την ύπαρξη πληθώρας σχετικών αλγορίθμων και συστημάτων, τόσο εταιρικά όσο και βασισμένα στο διαδίκτυο, δεν υπάρχει γνωστός αλγόριθμός για το ΠΑΕΜΦ. Όλοι οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται στις πιο πάνω εργασίες έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό – βασίζονται στο ότι συμβόλαια για την μεταφορά φορτίου ή φορτίων μεταξύ λιμανιών έχουν υπογραφεί και υπάρχει η δέσμευση από τα συμβαλλόμενα μέρη για την τήρηση της συμφωνίας τους. Το ΠΑΕΜΦ εστιάζει στην επικύρωση πιθανών ταξιδιών για ένα στόλο των πλοίων που διαχειριζόμαστε. Το ένα ταξίδι θα συμφωνηθεί να πραγματοποιηθεί εξαρτάται από την ικανότητα και την εμπειρία του διαχειριστή ναυλώσεων καθώς επίσης και τον ανταγωνισμό άλλων στόλων. Ο προτεινόμενος αλγόριθμός πραγματοποιεί μια αξιολόγηση της ποιότητας της κάθε εντολής μεταφοράς φορτίου αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι θα υπάρξει συμφωνία μεταξύ του διαχωριστή ναυλώσεων και του ναυλωτή για την εκτέλεση της.

Κεφάλαιο 5ο

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων σε Επίγεια Δίκτυα Διανομής

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής (ΠΔΣΟΔΔ) που μελετήθηκε, περιγράφεται ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής (ΑΔΣΟΔΔ) που υλοποιήθηκε και παρουσιάζεται το Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων που αναπτύχθηκε. Το σύστημα που αναπτύχθηκε είναι ένα δυναμικό, ολοκληρωμένο σύστημα για τη λύση του Προβλήματος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων με Παράθυρα Χρόνου και στοχαστική ζήτηση. Ο στόχος είναι η δημιουργία και διαχείριση ενός αριθμού βασικών διαδρομών σε

εβδομαδιαία βάση για τα διαθέσιμα φορτηγά έτσι ώστε να ικανοποιείται η αναμενόμενη ζήτηση και να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και κάποια συγκεκριμένα πρόσθετα κριτήρια όπως το ελάχιστό κέρδος για κάποιες διαδρομές και η προκαθορισμένη (α)συμβατότητα μεταξύ οδηγών και πελατών. Η μέθοδος αντιμετώπισης του προβλήματος βασίστηκε στην χρήση ενός ειδικά σχεδιασμένου γενετικού αλγορίθμου που επιδεικνύει αποδοτική συμπεριφορά σε μεγάλου μεγέθους στιγμιότυπα του προβλήματος. Η χρήση τεχνικών Υπολογιστικών συστημάτων Υψηλών Επιδόσεων επέτρεψε την εκπλήρωση δύσκολων υπολογιστικά απαιτήσεων μέσα σε λογικά χρονικά περιθώρια. Το σύστημα ενσωματώνει επίσης λειτουργικότητα που οδηγεί την εκτέλεση του αλγορίθμου και διαχειρίζεται τα αποτελέσματα του.

5.2 Δυναμική Φύση του Προβλήματος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής

Σε στατικά μοντέλα, η ελαχιστοποίηση του κόστους υποκείμενη σε κάποιους περιορισμούς είναι το τυπικό κριτήριο για αποτίμηση μίας λύσης. Επιλύοντας όμως προβλήματα υπό αβεβαιότητα, η

αντικειμενική συνάρτηση δεν είναι πάντα προφανής. Στα δυναμικά μοντέλα η επιλογή είναι δυνατόν να περιλαμβάνει :

- Κόστος δρομολόγησης, που περιλαμβάνει κόστος φορτηγών, προσωπικού
- Κέρδος. Σε αντίθεση με στατικά μοντέλα όπου όλη η ζήτηση εξυπηρετείται, είναι πιθανό σε δυναμικά μοντέλα να λαμβάνεται η πιθανότητα μη εξυπηρέτησης όλων των πελατών, αφενός διότι αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, αφετέρου διότι είναι δυνατόν να εμφανίσει μία βέλτιστη λύση με αυτή την ιδιότητα (πχ ένας απομακρυσμένος πελάτης). Η μη εξυπηρέτηση έχει αποτέλεσμα την μείωση του κέρδους και εκφράζεται συνήθως στην αντικειμενική συνάρτηση με μορφή προστίμου.
- Λειτουργικό κόστος
- Ελάχιστη κάλυψη, όπου συνιστά την ελαχιστοποίηση των πόρων που χρησιμοποιούνται για τη λύση (πχ οχήματα σε μία δρομολόγηση).
- Μέγιστη ροή, που στοχεύει στο σχεδιασμό λύσης που θα μεγιστοποιεί τη διακίνηση αγαθών στο δίκτυο.
- Χρόνος παραμονής στο δίκτυο, που αφορά περισσότερο προβλήματα ανάθεσης κίνησης, ώστε να προωθείται γρήγορα η κίνηση σε αυτό.

5.3 Το Μοντέλο Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής

Η έρευνα σχετικά με την δρομολόγηση οχημάτων που διεξήχθη στα πλαίσια αυτής της διατριβής πραγματοποιήθηκε για την διευθέτηση του ΠΔΣΟΔΔ. Πιο αναλυτικά, το ΠΔΣΟΔΔ συνεπάγεται την δρομολόγηση ενός στόλου οχημάτων, πεπερασμένης χωρητικότητας και χρόνου κίνησης, από μια (ή περισσότερες) αποθήκες-αφετηρίες σε ένα σύνολο διασκορπισμένων πελατών με στοχαστική ζήτηση μέσα σε προκαθορισμένα παράθυρα χρόνου. Ειδικότερα, στην περίπτωση μας, μια εταιρία διαθέτει ένα μη-ομογενή στόλο φορτηγών για την διανομή προϊόντων σε ένα μεγάλο πλήθος πελατών που βρίσκονται σε μια πυκνοκατοικημένη γεωγραφική περιοχή. Τα φορτηγά, που αρχικά βρίσκονται σε μια ή περισσότερες αποθήκες, πρέπει να εξυπηρετήσουν τους πελάτες μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά περιθώρια. Η ζήτηση κάθε πελάτη είναι στοχαστική. Η τιμή της υπολογίζεται από ένα εξωτερικό σύστημα πρόβλεψης της ζήτησης λαμβάνοντας υπ' οψιν ιστορικά δεδομένα και τις τρέχουσες τάσεις που επικρατούν στην αγορά. Ο στόχος είναι η δημιουργία ενός αριθμού στρατηγικών δρομολογίων για τα διαθέσιμα οχήματα για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (2-6 μήνες) που προσδιορίζεται από το χρήστη έτσι ώστε να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και κάποια συγκεκριμένα πρόσθετα

κριτήρια όπως οι ώρες εργασίας των οδηγών, το ελάχιστό κέρδος για κάθε διαδρομή, η προκαθορισμένη (α)συμβατότητα μεταξύ οδηγών και πελατών.

Το πρόβλημα στην περίπτωση που εξετάζουμε είναι πιο περίπλοκο αφενός λόγω της στοχαστικής φύσης της ζήτησης που για τον πελάτη i την ημέρα d δίνεται με μια κανονική (Γκαουσιανή) κατανομή με μέση τιμή μ_{id} και απόκλιση σ_{id} και αφετέρου λόγω της ύπαρξης επιπρόσθετων περιορισμών:

Ο διαθέσιμος στόλος οχημάτων είναι ανομοιογενής, έτσι ώστε κάθε φορτηγό j έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα Q_j και τρέχοντα έξοδα RC_j , $(j=1,...,m)$ ανά χλμ.

Υπάρχουν δύο ειδών οδηγοί: εταιρικοί και συμβεβλημένοι (franchised). Οι εταιρικοί οδηγοί έχουν συγκεκριμένο ωράριο εργασίας και πληρωμή υπεροριών. Οι συμβεβλημένοι οδηγοί δουλεύουν με ποσοστά από τα κέρδη διαδρομών και κατ' επέκταση οι διαδρομές αυτών των οδηγών πρέπει να αποδίδουν κάποιο ελάχιστο κέρδος για αυτούς.

Καθορίζονται σχέσης συμβατότητας μεταξύ οδηγών και πελατών αλλά και πελατών μεταξύ τους:

Ζευγάρια οδηγών-πελατών που θα πρέπει να είναι πάντα μαζί, προτιμότερα μαζί, προτιμότερα όχι μαζί και όχι μαζί.

Ζευγάρια πελατών που ομοίως θα πρέπει να είναι πάντα μαζί, προτιμότερα μαζί, προτιμότερα όχι μαζί και όχι μαζί.

Δίνεται επίσης και το αντίστοιχο αναμενόμενο κέρδος από κάθε πελάτη ώστε να υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού του ελάχιστου κέρδους διαδρομών που αναθέτονται σε συμβεβλημένους οδηγούς.

Ο στόχος είναι η δημιουργία ενός αριθμού βασικών διαδρομών σε εβδομαδιαία βάση για τα διαθέσιμα φορτηγά για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο που προσδιορίζεται από το χρήστη έτσι ώστε να ικανοποιείται η αναμενόμενη ζήτηση την αντίστοιχη χρονική περίοδο καθώς και πρόσθετα κριτήρια όπως οι ώρες εργασίας των οδηγών, το ελάχιστό κέρδος για κάποιες διαδρομές και η προκαθορισμένη (α)συμβατότητα μεταξύ οδηγών και πελατών.

5.4 Μαθηματικό Μοντέλο

Στα επόμενα θα παρουσιασθεί η μαθηματική έκφραση του στρατηγικού προβλήματος δρομολόγησης, θεωρώντας την περίπτωση στοχαστικής ζήτησης, και τους συνηθέστερους πραγματικούς

επιχειρησιακούς περιορισμούς (χρονικά παράθυρα, δυναμικά μεταβαλλόμενος χρόνος ταξιδιού, οχήματα με διαφορετικές χωρητικότητες, μεταβλητός χρόνο εξυπηρέτησης).

Χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους συμβολισμούς:

Πελάτες : $1,2,\ldots,n$ (δηλώνονται με i,j)

Οχήματα : $h_1,h_2,\ldots,h_m$

Ημέρες δρομολόγησης χρησιμοποιώντας το δείκτη l.

Χρόνος: t , θεωρώντας ότι ο χρόνος παίρνει διακριτές τιμές

Χωρητικότητα οχήματος h_k : V_k

Αναμενόμενη ζήτηση προϊόντος από τον πελάτη j την ημέρα l (στοχαστικά): $\tilde{v}_{jl}$

και σχετιζόμενο κόστος ανά μονάδα όγκου προϊόντος: c_{jl}

Θα είναι $v_{jl} = \begin{cases} v_{jl1} & \mu\varepsilon & p_{jl1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{jlN} & \mu\varepsilon & p_{jlN} \end{cases}$

Και $p_{jlr} \equiv P(v_{jl} = v_{jlr})$

Χρονικό παράθυρο εξυπηρέτησης πελάτη j : $W_j = [e_j, l_j]$ όπου e ορίζουμε τη νωρίτερη αποδεκτή άφιξη στον πελάτη (earlier) και l ορίζουμε την αργότερη (latest) αποδεκτή άφιξη στον πελάτη.

Πρόστιμο όταν ο πελάτης j με χρονικό παράθυρο $W_j = [e_j, l_j]$ εξυπηρετείται τη χρονική στιγμή

$$t: \; p(t, W_j) = \begin{cases} 0, & t \in W_j \\ \lambda_j \left| t - \dfrac{e_j + l_j}{2} \right| & t \notin W_j \end{cases},$$

όπου λ_j το βάρος που ορίζεται κατά περίπτωση και εξαρτάται από τον πελάτη j, (αν για παράδειγμα δεν πρέπει ποτέ να παραβιάζεται το χρονικό παράθυρο, τότε είναι $\lambda_j = \infty$).

Μέγιστος χρόνος παραμονής οχημάτων στο δίκτυο για το όχημα h_k: K_k (αν είναι ίδιο για όλα τα οχήματα θα ήταν $K_k = K$, $\forall k$)

Απόσταση (χρονική) μεταξύ πελάτη i και j όταν η αναχώρηση συμβαίνει τη χρονική στιγμή t : d_{ijt}

Χρόνος εξυπηρέτησης του πελάτη j την ημέρα l: T_{jl}

5.4.1 Μεταβλητές Απόφασης

Ορίζουμε:

$x_{ijk}^t = 1$, αν το όχημα k πηγαίνει από τον πελάτη i στον πελάτη j και αναχωρεί τη χρονική στιγμή t, $x_{ijk}^t = 0$ αλλιώς και

y_{jlk} = ο όγκος προϊόντων που φορτώνεται στο όχημα h_k για τον πελάτη j την ημέρα l.

5.4.2 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση που θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί περιέχει τους ακόλουθους όρους καθώς και συντελεστές βάρους που δείχνουν την σημαντικότητα του κάθε παράγοντα στο συνολικό κόστος.

Συνολικός χρόνος στο δίκτυο: $\sum_{i,j,k,t} x_{ijk}^{t} d_{ijt}$

Κόστος επιστρεφομένων προϊόντων για το όχημα h_k: $\sum_{j} [y_{jlk} - \tilde{v}_{jl}]^{+} c_{jl}$

Κόστος για μη εκπληρούμενη ζήτηση για το όχημα h_k: $\sum_{j} [\tilde{v}_{jl} - y_{jlk}]^{+} c_{jl}$

5.4.3 Περιορισμοί

Για την μαθηματική ορθότητα του μοντέλου, είναι απαραίτητο να συμπληρωθούν και ορισμένοι περιορισμοί που εκφράζουν προφανή κατά τα άλλα

Κάθε πελάτης εξυπηρετείται από ένα και μόνο όχημα μία και μόνο φορά, δηλαδή, από κάθε πελάτη i αναχωρεί ένα και μόνο όχημα, το πολύ μία φορά:

$$\sum_{t}\sum_{k}\sum_{j} x_{ijk}^{t} \leq 1 \quad , \forall i$$

Αν υπάρχει ένα όχημα που πηγαίνει στον πελάτη j τη χρονική στιγμή t αν και μόνο αν υπάρχει ένα όχημα που αναχωρεί από τον πελάτη j τη χρονική στιγμή $t+T_j$ δηλαδή :

$$\sum_i x_{ijk}^t = \sum_l x_{jlk}^{t+T_j} \quad , \ \forall j,k,t$$

5.5 Ο Γενετικός Αλγόριθμος Δρομολόγησης Στόλου Οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής

Ο ΑΔΣΟΔΔ στηρίζεται σε μια νέα δομή χρωματοσώματος και στην εφαρμογή υβριδικών γενετικών τελεστών για την εκμετάλλευση του επιπρόσθετου γενετικού υλικού που κρατείται σε κάθε χρωματόσωμα. Επιπλέον, ο ΓΑ χρησιμοποιεί μια τεχνική "διαίρεσης – συγχώνευσης" του πληθυσμού ώστε να εξασφαλίζεται μια υψηλή ποικιλία γενετικού υλικού στον πληθυσμό κατά την διάρκεια εξέλιξης της αναζήτησης.

5.5.1 Κωδικοποίηση

Κάθε λύση κωδικοποιείται με ένα πίνακα ακεραίων διάστασης $3\times n$, όπου n είναι το πλήθος των πελατών προς δρομολόγηση. Το

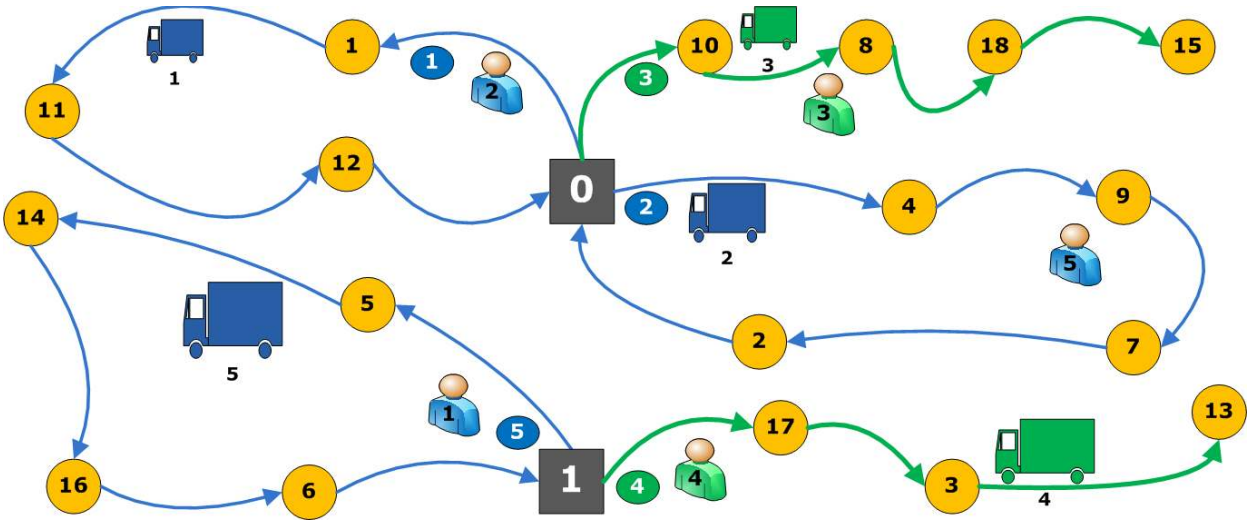
γονίδιο i με $(i=1,...,n)$ περιέχει πληροφορίες για τον i-στό πελάτη και αντιστοιχεί σε μία στήλη του πίνακα. Αποτελείται από έξι ακεραίους:

- Το στοιχείο της 1ης γραμμής, δηλ. $(1,i)$, $i=1,...,n$ δηλώνει τον αριθμό του δρομολογίου που θα εξυπηρετήσει τον πελάτη. Λαμβάνει τιμές από 1 έως m, όπου m ο αριθμός οχημάτων.
- Το στοιχείο της 2ης γραμμής, $(2,i)$, $i=1,...,n$ ορίζει τη σχετική σειρά επίσκεψης στο δρομολόγιο. Αν δύο πελάτες i, j ανήκουν στο ίδιο δρομολόγιο δηλαδή $(1,i)=(1,j)$ τότε θα εξυπηρετηθεί πρώτος εκείνος με τη μικρότερη τιμή σχετικής σειράς.
- Το στοιχείο της 3ης γραμμής, συγκρατεί πληροφορίες για την ποιότητα του γονιδίου. Η τιμή ενημερώνεται κατά την αποτίμηση του χρωμοσώματος και είναι ίση με το άθροισμα της απόστασης από τον προηγούμενο και επόμενο πελάτη της διαδρομής στην οποία ανήκει ο πελάτης i μείον την απόσταση μεταξύ των συγκεκριμένων προηγούμενου και επόμενου πελάτη.
- Το στοιχείο της 4ης γραμμής, δηλώνει την αφετηρία από την οποία ξεκινά το δρομολόγιο στο οποίο βρίσκεται ο συγκεκριμένος πελάτης-κόμβος. Λαμβάνει τιμές από 1 έως m, όπου m ο αριθμός οχημάτων.
- Το στοιχείο της 5ης γραμμής, δηλώνει ότι όχημα το οποίο εξυπηρετεί τον πελάτη και εκτελεί το δρομολόγιο που ορίζεται στην πρώτη γραμμή του χρωματοσώματος.

- Το στοιχείο της 6ης γραμμής, δηλώνει τον οδηγό που οδηγεί το όχημα το οποίο ορίζεται στην πέμπτη γραμμή και εξυπηρετεί τον πελάτη και εκτελεί το δρομολόγιο που ορίζεται στην πρώτη γραμμή του χρωματοσώματος.

Η πληροφορία για τον πελάτη ισούται με τον δείκτη του γονιδίου, και δεν αποθηκεύεται στο χρωμόσωμα. Για παράδειγμα το χρωμόσωμα που παρουσιάζεται στο

Σχήμα 2 αναπαριστά τη λύση που παρουσιάζεται στο ίδιο σχήμα.



ΠΕΛΑΤΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ	1	2	4	2	5	5	2	3	2	3	1	1	4	5	3	5	4	3
ΣΕΙΡΑ	11	22	19	1	13	55	20	31	11	5	23	41	25	18	50	42	8	32
ΠΟΙΟΤΗΤΑ	33	14	20	18	22	23	28	6	12	8	12	8	17	25	33	3	11	30
ΑΦΕΤΗΡΙΑ	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
ΟΧΗΜΑ	1	2	4	2	5	5	2	3	2	3	1	1	4	5	3	5	4	3
ΟΔΗΓΟΣ	2	5	4	5	1	1	5	3	5	3	2	2	4	1	3	1	4	3

Σχήμα 2. Δομή Χρωματοσώματος ΑΔΣΟΔΔ

5.5.2 Υπολογισμός Ομοιότητας Λύσεων

Για την εύρυθμη λειτουργία του ΑΔΣΟΔΔ είναι απαραίτητη η ύπαρξη μηχανισμού υπολογισμού της ομοιότητας μεταξύ δύο λύσεων. Ο υπολογισμός της ομοιότητας μεταξύ δύο λύσεων βοηθά στην εκτίμηση του βαθμού ποικιλομορφίας στον συνολικό πληθυσμό και υποστηρίζει σύνθετες πολιτικές επιλογής και αντικατάστασης λύσεων για την διατήρηση της ποικιλίας στον πληθυσμό λύσεων κατά την διάρκεια εξέλιξης του αλγορίθμου.

Ο DeJong για χρωματοσώματα που κωδικοποιούν λύσεις με δυαδικά στοιχεία προτείνει για τη μέτρηση της ομοιότητας τους την απόσταση Hamming μεταξύ των αναπαραστάσεων των λύσεων. Στην κωδικοποίηση χρωμοσώματος του ΑΔΣΟΔΔ, όπου χρησιμοποιείται περισσότερο σύνθετο αλφάβητο (όχι μόνο 0 και 1) δεν είναι δυνατή η μέτρηση με απόσταση κατά Hamming. Η ομοιότητα των λύσεων ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων του μήκους των κοινών τμημάτων δρομολόγιων που ξεκινούν από κάθε κόμβο του προβλήματος. Κοινά τμήματα δρομολογίων μεταξύ δύο λύσεων λογίζονται τα τμήματα δρομολογίων που περιέχουν ακριβώς τον ίδιο αριθμό πελατών στην ίδια ακριβώς σειρά.

Για δύο λύσεις (χρωμοσώματα) a, b με n κόμβους, όπου a_i, b_i είναι οι κόμβοι των λύσεων a, b αντίστοιχα με i=1,2,..n και $next(x)$

δίνουν τον επόμενο κόμβο του κόμβου x τότε η ομοιότητα $sim(a,b)$ μεταξύ των λύσεων a,b δίνεται από τον αλγόριθμο στο Σχήμα 3.

Algorithm Similarity Calculation

Require: Solutions a, b

Set $sim(a,b) = 0$
for $i = 1$ to n **do**
  Set $x = a_i$, $y = b_i$, $tmp = 0$
  while $next(x) = next(y)$ **do**
    Set $tmp = tmp + 1$
    Set $x = next(x)$, $y = next(y)$
  end while
  Set $sim(a,b) = sim(a,b) + tmp^2$
end for
return $sim(a,b)$

Σχήμα 3. Αλγόριθμος υπολογισμός ομοιότητας λύσεων

5.5.3 Αρχικοποίηση Πληθυσμού

Ο αρχικός πληθυσμός θα πρέπει να έχει χαρακτηριστικά που κατευθύνουν την εξελικτική διαδικασία προς διάφορες λύσεις.

Επιπλέον θα πρέπει να υπάρχει και ποικιλία γενετικού υλικού, ώστε να είναι πιθανό να ευρεθεί μια οποιαδήποτε λύση.

Για τον σκοπό αυτό, ο αρχικός πληθυσμός δημιουργείται από ανάμιξη εντελώς τυχαίων χρωμοσωμάτων αλλά και δημιουργημένων με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου.

Η ευρετική μέθοδος διαχωρίζει τους πελάτες με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες. Κάθε πελάτης ανατίθεται σε ένα δρομολόγιο σύμφωνα με τις πολικές συντεταγμένες του σε σχέση με το κέντρο διανομής. Ο χώρος διαχωρίζεται σε τόξα ίσα με το μέγιστο αριθμό φορτηγών που διατίθενται για τη δρομολόγηση.

Με την προτεινόμενη αρχικοποίηση προκύπτουν λύσεις που δρομολογούν γειτονικούς πελάτες σε κοινά δρομολόγια. Επίσης γειτονικά δρομολόγια κωδικοποιούνται με συνεχόμενους αριθμούς δρομολογίων, έτσι ώστε, σε περίπτωση που ένα δρομολόγιο υπερβαίνει τον επιθυμητό χρόνο δρομολόγησης, κάποιος πελάτης μπορεί να μετακινηθεί σε γειτονικό δρομολόγιο το οποίο προσδιορίζεται χωρίς πρόσβαση εκ νέου σε γεωγραφικές συντεταγμένες.

Η σειρά επίσκεψής καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα χρονικά παράθυρα εξυπηρέτησης κάθε πελάτη. Αυτό γίνεται επιλέγοντας έναν τυχαίο αριθμό μέσα στο εύρος του χρονικού παραθύρου εξυπηρέτησης του πελάτη. Σε περίπτωση μη επικαλυπτόμενων χρονικών παραθύρων

αυτή η μέθοδος εξάγει τη βέλτιστη δρομολόγηση για κάθε δρομολόγιο. Αντίθετα, σε επικαλυπτόμενα χρονικά παράθυρα, η δρομολόγηση είναι λογική και βελτιώνεται κατά την διαδικασία εξέλιξης των λύσεων.

5.5.4 Έλεγχος Περιορισμών

Οι περιορισμοί αντιμετωπίζονται σαν χαλαροί (soft constrains), δηλαδή όταν ένας περιορισμός δεν ικανοποιείται, προστίθεται πρόστιμο στην αντικειμενική συνάρτηση.

Με αυτή την προσέγγιση, λύσεις που απορρίπτονται από τους περιορισμούς εμφανίζονται σαν νόμιμες. Οι λύσεις αυτές όμως, είναι πιθανό να παρουσιάζουν καλά χαρακτηριστικά, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά την εξέλιξη για την παραγωγή της καλύτερης λύσης. Η προσέγγιση με αυτό τον τρόπο δίνει τη δυνατότητα της προσαρμογής των περιορισμών ώστε να αντικατοπτρίζουν τις παραλλαγές του προβλήματος αλλά και τις διαφορετικές πολιτικές μιας εταιρίας για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης του στόλου της. Τα πρόστιμα προστίθενται στην αντικειμενική συνάρτηση με αναλογικό τρόπο μεταφέροντας και ποσοτική πληροφορία για το πόσο ένας περιορισμός δεν ικανοποιείται. Διαφορετική προσέγγιση που θα επεξεργάζονταν μόνο λύσεις που πληρούν όλους τους περιορισμούς

απαιτεί τη δημιουργία ειδικών διορθωτικών τελεστών και περιορίζει την ευελιξία της εξελικτικής διαδικασίας.

5.5.5 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η αποτίμηση της ποιότητας των λύσεων, πραγματοποιείται με τη χρήση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους του προβλήματος, και αποφαίνεται για την ποιότητα κάθε χρωμοσώματος. Η αντικειμενική συνάρτηση περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη δρομολόγηση. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι :

$$\begin{aligned} f = {} & W_1 \cdot KοστοςΑπόστασης + W_2 \cdot ΚαθυστερήσειςΠελατών + \\ & W_3 \cdot ΥπέρβασηΧρόνουΔρομολογίου + W_4 \cdot ΥπέρβασηΧωρητικότητας + \\ & W_5 \cdot ΑνικανοποιητηΖήτηση + W_6 \cdot ΔιαφοράΤζίρου + W_7 \cdot Ασυμβατότητες \end{aligned}$$

όπου

$KόστοςΑπόστασης = \sum_{j=1}^{m} D_j \cdot RC_j$, όπου D_j η συνολική απόσταση που διανύεται από το όχημα *j* και RC_j το κόστος ανά μονάδα απόστασης για το όχημα *j*. Αν όλα τα οχήματα έχουν κοινό κόστος λειτουργίας ανά απόσταση, τότε $RC_j = 1$ για όλα τα *j*.

$ΚαθυστερήσειςΠελατών = \sum_{i=1}^{n} p_i$, όπου p_i είναι το πρόστιμο για τη καθυστέρηση εξυπηρέτησης του πελάτη *i* (έξω από τα χρονικά παράθυρα).

ΥπέρβασηΧρόνουΔρομολογίου είναι το πρόστιμο για το σύνολο του χρόνου που τα δρομολόγια ξεπερνούν τον προβλεπόμενο χρόνο.

ΥπέρβασηΧωρητικότητας είναι το πρόστιμο για την υπέρβαση της χωρητικότητας σε ένα όχημα.

ΑνικανοποίητηΖήτηση είναι η προβλεπόμενη μη ικανοποιούμενη ζήτηση.

ΔιαφοράΤζίρου, το άθροισμα του υπολειπόμενου τζίρου των εξωτερικών δρομολογίων.

Ασυμβατότητες, το πρόστιμο για πλήθος των ζευγών πελάτης-πελάτης ή πελάτης-οδηγός που αντιτίθεται στους περιορισμούς και

$W_1.....W_7$ τα βάρη που αντικατοπτρίζουν τη σχετική σημαντικότητα κάθε όρου.

Μεγάλες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης αντιπροσωπεύουν κακές λύσεις δηλαδή μεγάλη απόσταση ή και παραβιασμένους περιορισμούς. Καλύτερες λύσεις αναπαρίστανται με μικρότερες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης. Η εξελικτική διαδικασία αναλαμβάνει την εύρεση των τιμών που ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση και άρα των καλύτερων λύσεων. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι ευέλικτη και προσαρμόζεται εύκολα στα διάφορα επιχειρησιακά

μοντέλα και προβλήματα, προσθέτοντας ή αφαιρώντας τους αντίστοιχους όρους.

5.5.6 Επιλογή

Η επιλογή υποψηφίων λύσεων προς αναπαραγωγή γίνεται είτε τυχαία ανάλογα με το γενικό σχήμα επιλογής –αντικατάστασης λύσεων από αυτά που περιγράφονται στην συνέχεια είτε χρησιμοποιείται ο «κανόνας της ρουλέτας» (Επιλογή Κανόνα Ρουλέτας - ΕΚΡ) που είναι απλός στην υλοποίηση, επιλέγει του υποψηφίους ανάλογα με την ποιότητας τους χωρίς όμως να ασκεί μεγάλη πίεση επιλογής των καλύτερων χρωμοσωμάτων στον πληθυσμό γεγονός που θα είχε ως συνέπεια τον γρήγορο εκφυλισμό του γενετικού υλικού και τον εγκλωβισμό σε ακρότατο του χώρου λύσεων.

Ο στοχαστικός αλγόριθμος που υλοποιεί την συγκεκριμένη τεχνική επιλογής υποψηφίων αντιστοιχεί κάθε χρωμόσωμα σε συνεχή τμήματα μιας γραμμής έτσι ώστε κάθε τέτοιο τμήμα να έχει μήκος ανάλογο της αντικειμενικής συνάρτησης του χρωμοσώματος. Στην συνέχεια παράγεται ένας τυχαίος αριθμός και το τμήμα που περιέχει τον τυχαίο αριθμό επιλέγεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να εξαχθεί ο αναγκαίος αριθμός υποψηφίων για αναπαραγωγή λύσεων.

5.5.7 Διασταύρωση

Η διασταύρωση βασίζεται σε τρείς τελεστές. Ο πρώτος τελεστής είναι ένας κλασικός τελεστής διασταύρωσης ΓΑ και συνίσταται στην τυχαία επιλογή ενός σημείου σε κάθε χρωμόσωμα, που το διαχωρίζουν σε δύο τμήματα. Κατόπιν παράγονται δύο απόγονοι, δανειζόμενοι τμήματα από κάθε γονέα αντίστοιχα (Σχήμα 4).

Σχήμα 4. Διασταύρωση 1 σημείου

Ο δεύτερος τελεστής είναι επίσης κλασικός τελεστής διασταύρωσης ΓΑ και συνίσταται στην τυχαία επιλογή δύο σημείων σε κάθε χρωμόσωμα, που το διαχωρίζουν σε τρία τμήματα. Κατόπιν παράγονται δύο απόγονοι, δανειζόμενοι τμήματα από κάθε γονέα αντίστοιχα (Σχήμα 5).

Σχήμα 5. Διασταύρωση 2 σημείων

Ο τρίτος τελεστής είναι σχεδιασμένος ειδικά για την προτεινόμενη κωδικοποίηση χρωμοσώματος. Για την παραγωγή ενός απογόνου χρησιμοποιεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κάθε γονιδίου όπως είναι αποθηκευμένα στην 3η γραμμή του χρωμοσώματος. Τα γονίδια διατρέχονται σειριακά και το i-στο γονίδιο του απογόνου ισούται με το i-στο γονίδιο του πατέρα μόνο αν έχει μικρότερη τιμή για $(3,i)$ βλ. Σχήμα 6.

Σχήμα 6. Διασταύρωση "καλύτερου γονιδίου"

5.5.8 Μετάλλαξη

Στα πλαίσια εφαρμογής του προτεινόμενου ΓΑ αναπτύχθηκαν τρείς βασικές μέθοδοι μετάλλαξης λύσεων στον πληθυσμό σε κάθε γενιά:

- Αλλαγή σειράς κόμβου,
- Ανταλλαγή κόμβων,
- Ανταλλαγή Οχήματος ή Οδηγού.

Η μετάλλαξη κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου συνίσταται στη τυχαία εφαρμογή ενός από τους τρείς τελεστές που περιγράφονται πιο

αναλυτικά στη συνέχεια με πιθανότητα 5% επί των επιλεγμένων λύσεων προς αναπαραγωγή.

5.5.8.1 Τελεστής Αλλαγής Σειράς Κόμβου

Ο τελεστής αλλαγής σειράς κόμβου παραλλάσσει τη σειρά ενός τυχαία επιλεγμένου πελάτη *i*. Αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας ή μειώνοντας την τιμή *(3,i)*, με τέτοιο τρόπο ώστε η νέα τιμή να είναι μέσα στο εύρος του χρονικού παραθύρου του πελάτη (Σχήμα 7).

Σχήμα 7. Τελεστής Μετάλλαξης Αλλαγής Σειράς Κόμβου

5.5.8.2 Τελεστής Ανταλλαγής Κόμβων

Ο "έξυπνος" τελεστής ανταλλαγής κόμβων ανταλλάσσει κόμβους (πελάτες) ανάμεσα σε δύο δρομολόγια. Για δύο τυχαία επιλεγμένους

πελάτες i, j ανταλλάσσονται τα στοιχεία $(1,i)$ με $(1,j)$, $(4,i)$ με $(4,j)$ και $(5,i)$ με $(5,j)$ στο χρωμόσωμα (Σχήμα 8).

Σχήμα 8. Τελεστής Μετάλλαξης Ανταλλαγής Κόμβων

Ανταλλάσσοντας επίσης τα στοιχεία $(2,i)$, $(2,j)$ επιτυγχάνεται ανταλλαγή της σειράς εξυπηρέτησης των πελατών, δηλαδή ένας πελάτης στο νέο δρομολόγιο θα εξυπηρετείται την ίδια χρονική στιγμή που εξυπηρετείτο στο δρομολόγιο από το οποίο προέρχεται. Σε αντίθετη περίπτωση, θα εξυπηρετηθεί τη χρονική στιγμή που εξυπηρετείτο ο πελάτης με τον οποίο ανταλλάσσει θέση.

5.5.8.3 Τελεστής Ανταλλαγής Οχήματος ή Οδηγού

Ο τελεστής ανταλλαγής οχήματος ή κόμβου τους οδηγους ή τα οχήματα μεταξύ 2 διαφορετικών τυχαία επιλεγμένων δρομολογίων (Σχήμα 8).

Σχήμα 9. Τελεστής Μετάλλαξης Ανταλλαγής Οχημάτων ή Οδηγών

5.5.9 Αντικατάσταση

Η αναζήτηση λύσεων σε προβλήματα βελτιστοποίησης με περιορισμούς παρουσιάζει πολλαπλά τοπικά ακρότατα. Προκειμένου η αναζήτηση να ξεπεράσει αυτά τα τοπικά ακρότατα χρησιμοποιείται συχνά η τεχνική *"crowding"*. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, για κάθε νέο δημιουργημένο χρωμόσωμα (από αναπαραγωγή), επιλέγεται τυχαία μία μικρή ομάδα χρωμοσωμάτων (3-5) και συγκρίνεται με αυτόν. Το χρωμόσωμα από την ομάδα που μοιάζει περισσότερο με το νέο, αντικαθίσταται από αυτό. Η μέθοδος αυτή παρουσιάστηκε από τον DeJong [33] ώστε να εμποδίζεται μια συγκεκριμένη δομή γενετικού υλικού να κυριαρχεί στον πληθυσμό. Γενικά χρησιμοποιείται για να διατηρείται ένας εξισορροπημένος πληθυσμός.

Στα πλαίσια εφαρμογής του προτεινόμενου ΓΑ αναπτύχθηκαν τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι αντικατάστασης λύσεων στον πληθυσμό σε κάθε γενιά:

- Αντικατάσταση Χειρότερων Λύσεων (Worst-Fitness Replacement)
- Επιλεκτική Αντικατάσταση (Crowding)
- Ντετερμινιστική Επιλεκτική Αντικατάσταση (Deterministic Crowding)
- Επιλεκτική Αντικατάσταση Πολλαπλών Ομάδων (Multi-Niche Crowding)

5.5.9.1 Αντικατάσταση Χειρότερων Λύσεων

Στην Αντικατάσταση Χειρότερων Λύσεων (ΑΧΛ) η επιλογή χρωμοσωμάτων για αναπαραγωγή πραγματοποιείται σύμφωνα με την ΕΚΡ και σε κάθε γενιά δημιουργούνται 95% του πληθυσμού νέες λύσεις που αντικαθιστούν το 95% του πληθυσμού με τις χειρότερες τιμές ευρωστίας – ένας σταθερός αριθμός λύσεων (5% του πληθυσμού) που παρουσιάζει τις καλύτερες τιμές ευρωστίας στον πληθυσμό διατηρούνται για επιλογή στην επόμενη γενιά.

5.5.9.2 Επιλεκτική Αντικατάσταση (Crowding)

Όπως προαναφέρθηκε, στην Επιλεκτική Αντικατάσταση (ΕΑ) η αντικατάσταση των χρωμοσωμάτων «γονέων» με τους απογόνους πραγματοποιείται κάθε φορά που οι απόγονοι δημιουργούνται. Όταν ένας η περισσότεροι απόγονοι δημιουργούνται μια ομάδα τριών χρωμοσωμάτων επιλέγονται τυχαία από το πληθυσμό και συγκρίνονται με τον απόγονο που μόλις δημιουργήθηκε. Το ποιο όμοιο με τον απόγονο, μέλος της ομάδας αντικαθίσταται από τον απόγονο.

Αυτή η μεθοδολογία εξασφαλίζει πληθυσμό με διαφορετικά χαρακτηριστικά, αλλά είναι δυνατόν να εγκλωβίζεται σε τοπικά ακρότατα εξαιτίας ανεπαρκούς εξερεύνησης του γενετικού υλικού. Για το λόγο αυτό, με χαμηλή πιθανότητα (20%), αντικαθίσταται το περισσότερο όμοιο χρωμόσωμα, ακόμα και αν έχει χαμηλότερη τιμή ευρωστίας.

5.5.9.3 Ντετερμινιστική Επιλεκτική Αντικατάσταση (Deterministic Crowding)

Κατά την Ντετερμινιστική Επιλεκτική Αντικατάσταση (ΝΕΑ) ο πληθυσμός μοιράζεται σε ζεύγη χρωμοσωμάτων. Κάθε ζεύγος δημιουργεί έναν απόγονο ο οποίος αντικαθιστά τον πιο όμοιο γονέα

ένα ο γονέας έχει χειρότερη τιμή ευρωστίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος περιγράφεται με λεπτομέρεια από τον Mahfound [70].

5.5.9.4 Επιλεκτική Αντικατάσταση Πολλαπλών Ομάδων (Multi-Niche Crowding)

Η Επιλεκτική Αντικατάσταση Πολλαπλών Ομάδων (ΕΑΠΟ) είναι ο πιο σύνθετος μηχανισμός επιλογής-αντικατάστασης λύσεων στον πληθυσμό ενός ΓΑ.

Κατά την επιλογή ένα χρωμόσωμα Α επιλέγεται τυχαία από τον πληθυσμό για αναπαραγωγή. Στην συνέχεια μια ομάδα τριών άλλων λύσεων επιλέγεται, επίσης τυχαία, από τον πληθυσμό. Το χρωμόσωμα της ομάδας με την μεγαλύτερη ομοιότητα με το Α επιλέγεται για αναπαραγωγή με το Α.

Κατά την φάση της αντικατάστασης εφαρμόζεται μια μέθοδος αντικατάστασης του χειρότερου μεταξύ ομοίων: Η μέθοδος δημιουργεί πέντε ομάδες πέντε χρωμοσωμάτων τυχαία επιλεγμένων από τον πληθυσμό. Το πιο όμοιο, σε σύγκριση με τον απόγονο, χρωμόσωμα κάθε ομάδας αναγνωρίζεται και αυτό με την χειρότερη τιμή ευρωστία αντικαθίσταται από τον απόγονο (βλέπε [21], [22]).

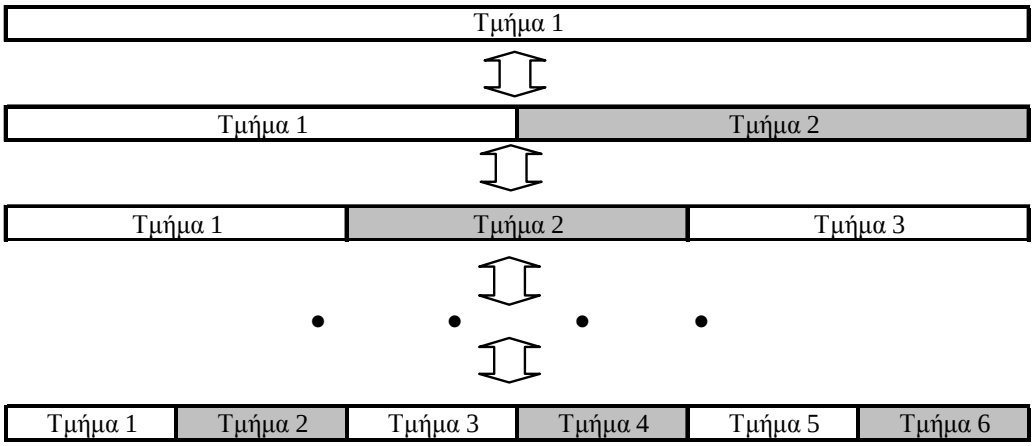
5.5.10 Έλεγχος Ποικιλίας Πληθυσμού

Το σημαντικότερο πρόβλημα με τους γενετικούς αλγορίθμους είναι αυτό της πρόωρης σύγκλισης, δηλαδή της επικράτησης στον πληθυσμό μιας τοπικά βέλτιστης αλλά όχι ολικά βέλτιστης γενετικής πληροφορίας που έχει ως αποτέλεσμα, κάθε λύση να είναι είτε ίδια είτε σχεδόν ίδια με τις υπόλοιπες με συνέπεια να μην υπάρχει η απαραίτητη γενετική διαφοροποίηση για να πραγματοποιηθεί περαιτέρω εξέλιξη.

Ο στόχος της προτεινόμενης τεχνικής "διαίρεσης- συγχώνευσης" είναι η επιτάχυνση της σύγκλισή προς καλές λύσεις ενώ ταυτόχρονα διατηρείται ένα ικανοποιητικό επίπεδο διαφορετικότητας ανάμεσα στις λύσεις του πληθυσμού.

Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, ο πληθυσμός διαχωρίζεται σε τμήματα δυναμικού μεγέθους. Κατά την εξέλιξη, η επιλογή και η αναπαραγωγή των χρωμοσωμάτων γίνεται ξεχωριστά σε κάθε υποπληθυσμό. Μετά από έναν αριθμό εξελίξεων, το πλήθος των υποπληθυσμών μειώνεται. Η μείωση αυτή ισοδυναμεί με ανάμιξη γειτονικών υποπληθυσμών που μέχρι εκείνη τη στιγμή εξελίσσονταν ξεχωριστά, δίνοντας την ευκαιρία σε διαφορετικά γενετικά χαρακτηριστικά να συνδυαστούν και να δημιουργήσουν νέες πιθανές λύσεις (βλ. Σχήμα 10). Όταν ο πληθυσμός φτάσει να αποτελείται από

έναν μόνο υποπληθυσμό, μετά το πέρας συγκεκριμένου αριθμού γενεών, ο πληθυσμός αρχίζει να διαιρείται και πάλι σε υποπληθυσμούς έως ότου επέλθει στην αρχική κατάσταση. Αυτή η διαδικασία εκτελείται αναδρομικά μέχρι τον τερματισμό της εκτέλεσης του αλγορίθμου.



Σχήμα 10. Τεχνική ελέγχου ποικιλίας πληθυσμού

5.6 Επιχειρησιακή Δρομολόγηση

Ο ΑΔΣΟΔΔ που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιεί την στρατηγική δρομολόγηση (βλέπε παράγραφο 3.4). Για την καθημερινή δρομολόγηση στα πλαίσια ανάπτυξης και εφαρμογής στην πράξη ενός ΣΥΛΑ για δρομολόγηση

οχημάτων σε δίκτυα διανομής είναι απαραίτητη η υλοποίηση ενός επιχειρησιακού δρομολογητή.

Ο επιχειρησιακός δρομολογητής που βελτιστοποιεί τα δρομολόγια που έχουν σχεδιαστεί με τον προτεινόμενο στρατηγικό ΑΔΣΟΔΔ στα πλαίσια του ΣΥΛΑ που περιγράφεται στην παράγραφο 5.9 βασίζεται στην μεθοδολογία απαγορευμένης αναζήτησης (tabu search).

Η βασική ιδέα της απαγορευμένης αναζήτησης (ΑΑ) ([44], [40]) είναι η επιβολή πάνω σε ένα ευρετικό αλγόριθμο μιας μετα-ευρετικής τεχνικής. Η ΑΑ εξερευνά σε κάθε βήμα το χώρο λύσεων με την διαφοροποίηση από την καλύτερη λύση που έχει βρεθεί εως τώρα σε ένα υποσύνολο λύσεων στην «γειτονιά» της καλύτερης. Αντίθετα από τις κλασικές μεθόδους που κάνουν μόνο καλύτερες κινήσεις, η τρέχουσα (καλύτερη) λύση μπορεί να είναι χειρότερη μετά την εκτέλεση κάποιου βήματος από την προηγούμενη λύση. Επομένως για αποφυγή κυκλικών κινήσεων οι λύσεις που εμπεριέχουν κοινά χαρακτηριστικά με πρόσφατα εξερευνημένες λύσεις θεωρούνται προσωρινά ως απαγορευμένες. Οι νέες εφικτές λύσεις γίνονται δεκτές με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται διαδρομές αναζήτησης που έχουν εξερευνηθεί. Κάτι τέτοιο εγγυάται ότι συνεχώς θα εξερευνώνται νέες περιοχές του χώρου λύσεων του προβλήματος και θα αποφεύγονται τοπικά ακρότατα. Η διάρκεια βημάτων κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου για την οποία αυτά τα χαρακτηριστικά είναι απαγορευμένα

είναι μεταβαλλόμενη. Η απαγορευμένη κατάσταση λύσεων μπορεί να αγνοείται ένα ικανοποιούνται κάποιες συνθήκες, π.χ. η απαγορευμένη λύση είναι καλύτερη από οποιαδήποτε έχει βρεθεί έως τώρα. Επιπρόσθετα, διάφορες έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για την διαφοροποίηση (diversification) και την αύξηση της έντασης (intensification) της διαδικασίας αναζήτησης.

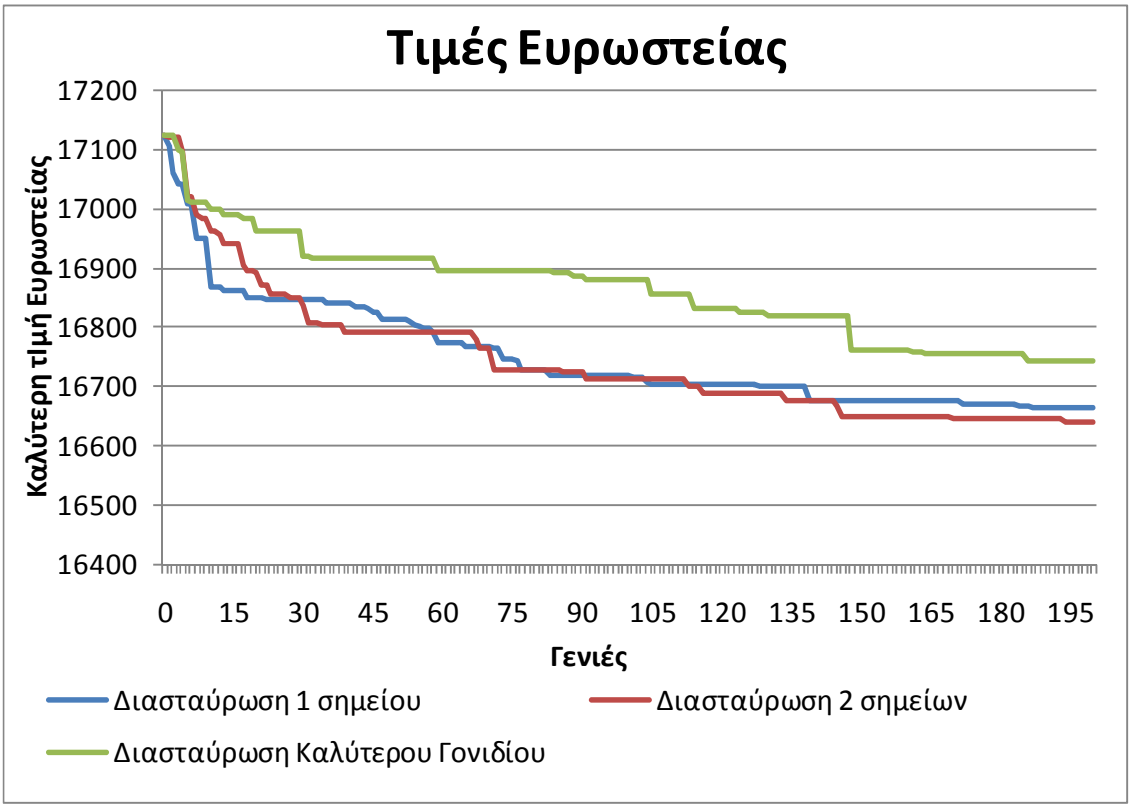
Ο επιχειρησιακός αλγόριθμος βελτιστοποίησης των στρατηγικών δρομολογίων του ΑΔΣΟΔΔ εφαρμόζει τις αρχές της απαγορευμένης αναζήτησης με την χρήση των ευρετικών αλγορίθμων ανταλλαγής ακμών (edge exchange) [58], 2-opt και 3-opt [43]. Αποτελέσματα του επιχειρησιακού δρομολογητή και της επιχειρησιακής βελτιστοποίησης που επιτυγχάνει επί των στρατηγικών δρομολογίων του ΑΔΣΟΔΔ παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.7.4.

5.7 Πειραματικά Αποτελέσματα

5.7.1 Πειράματα σύγκρισης Τελεστών Διασταύρωσης

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα πάνω σε πραγματικά προβλήματα για να διαπιστωθεί η επίδραση των τριών τελεστών διασταύρωσης στις

τιμές ευρωστίας των καλύτερων λύσεων του πληθυσμού και της πίεσης που ασκούν στην διατήρηση ποικιλομορφίας στον πληθυσμό.

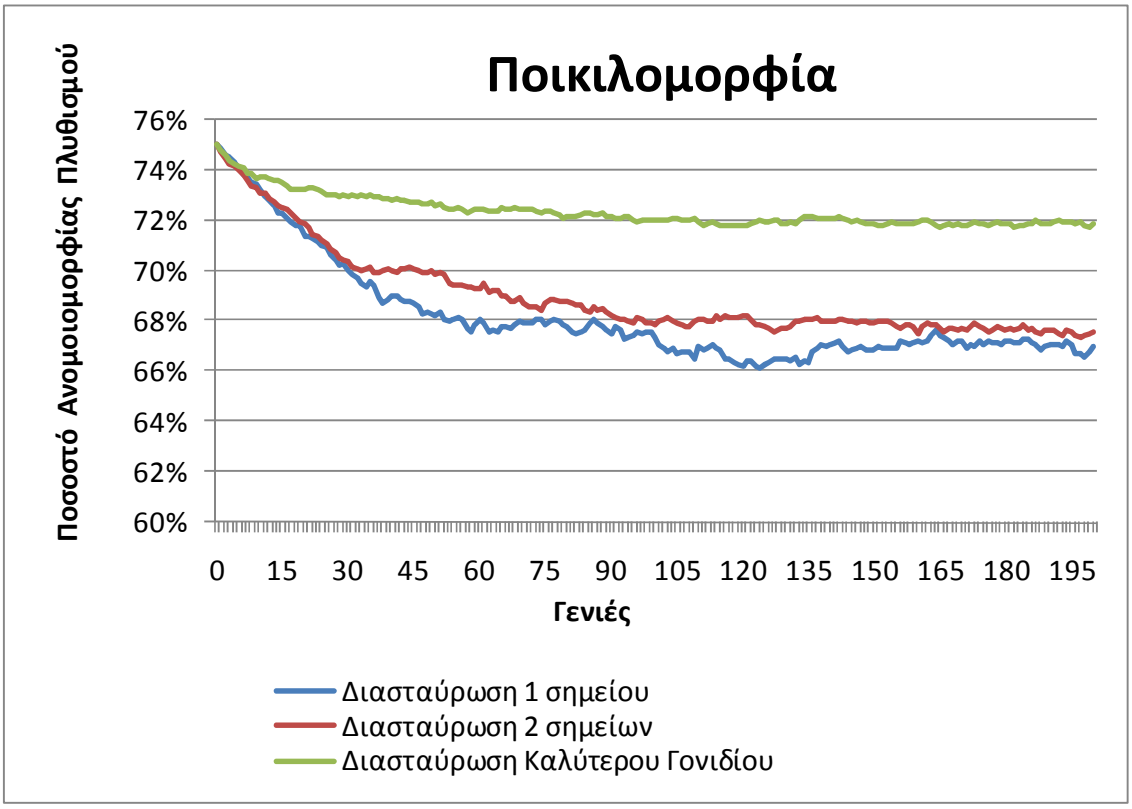


Σχήμα 11. Καλύτερες τιμές ευρωστίας πληθυσμού για τους 3 τελεστές διασταύρωσης

Οι τιμές ευρωστίας της καλύτερης λύσης σε κάθε γενιά για καθένα από τους διαφορετικούς τελεστές διασταύρωσης (διασταύρωση 1 σημείου, διασταύρωση 2 σημείων, διασταύρωση καλύτερου γονιδίου) παρουσιάζονται στο Σχήμα 11.

Παρατηρούμε ότι οι τελεστές διασταύρωσης 1 και 2 σημείων έχουν παρόμοια απόδοση και συναγωνίζονται ο ένας τον άλλο με τον τελεστή

διασταύρωσης 2 σημείων να παρουσιάζει τελικά καλύτερη απόδοση έστω και οριακή όσο η εξέλιξη του πληθυσμού εντείνεται.



Σχήμα 12. Βαθμός ποικιλομορφίας πληθυσμού για τους 3 τελεστές διασταύρωσης

Ο τελεστής διασταύρωσης καλύτερου γονιδίου αδυνατεί να ακολουθήσει τους άλλους δύο στην εύρεση αντίστοιχα καλών λύσεων παρά μόνο στην αρχή της εξέλιξης.

Στο Σχήμα 11 φαίνεται καθαρά ότι στο αρχικό στάδιο της εξέλιξης και στα τρία πειράματα οι τιμές ευρωστίας της καλύτερης λύσης μειώνονται απότομα αφού και οι τρείς προσεγγίσεις επιλύουν τις

παραβιάσεις των περιορισμών που η ύπαρξη τους έχει αντίκτυπο στην τιμή της ευρωστίας της καλύτερης λύσης.

Επομένως, ο τελεστής διασταύρωσης καλύτερου γονιδίου καταφέρνει αρχικά να βρει λύσεις που δεν εμπεριέχουν παραβίαση των περιορισμών αλλά στην συνέχεια δεν εκμεταλλεύεται το διαθέσιμο γενετικό υλικό στην έκταση που το κάνουν οι άλλοι τελεστές.

Οι τιμές με το ποσοστό ανομοιομορφίας του συνολικού πληθυσμού ανά γενιά για τα τρία πειράματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 12. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων ποικιλομορφίας του πληθυσμού των τριών μεθόδων διασταύρωσης συμφωνεί με τα αποτελέσματα των τιμών ευρωστίας.

Η αδυναμία του τελεστή διασταύρωσης καλύτερου γονιδίου να εκμεταλλευτεί σε μεγάλο βαθμό το γενετικό υλικό του πληθυσμού έχει αντίκτυπο στην ικανότητα του διατήρησης υψηλού βαθμού ποικιλίας καθ' όλη της διάρκεια της εξελικτικής διαδικασίας.

Οι τελεστές διασταύρωσης 1 και 2 σημείων παρουσιάζουν εμφανώς χαμηλότερη επίδοση στην διατήρηση της ποικιλομορφίας στον πληθυσμό κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου σε σύγκριση με το τελεστή διασταύρωση καλύτερου γονιδίου αλλά σε καμία περίπτωση δε διαφαίνεται να εκφυλίζουν το γενετικό υλικό στον

πληθυσμό. Μάλιστα η επίδοση τους στην διατήρηση της ποικιλομορφίας παρουσιάζεται επαρκής κατά το πέρασμα των γενεών.

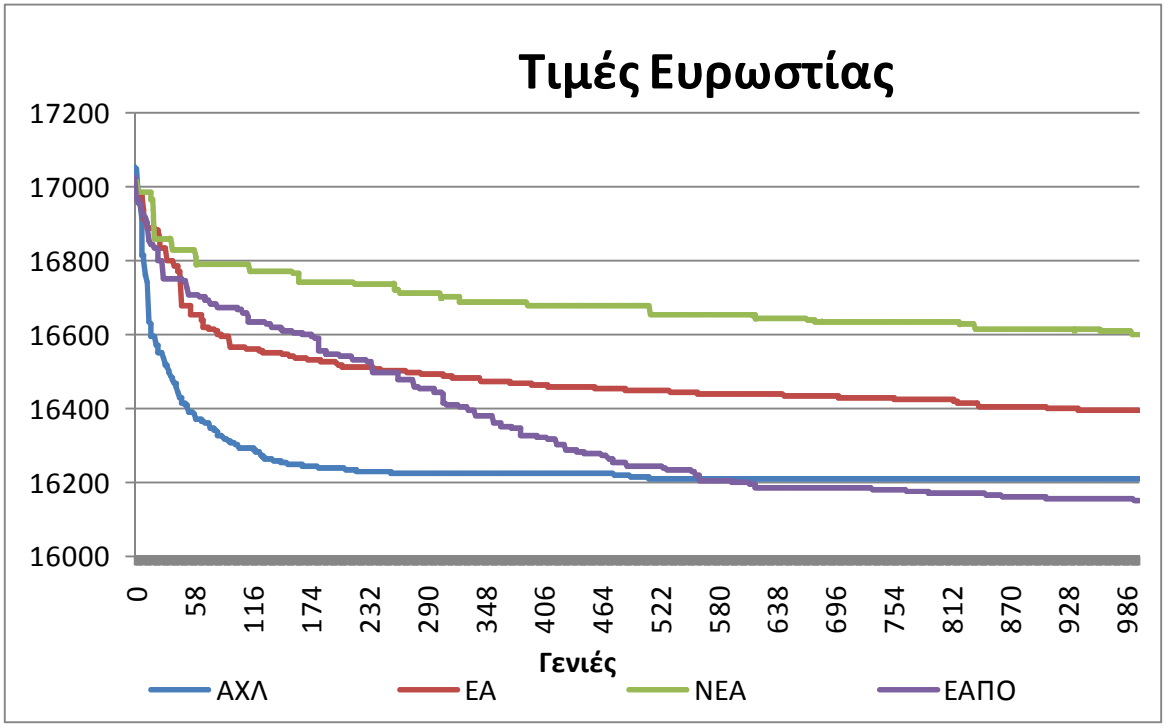
5.7.2 Πειράματα Σύγκρισης Μεθόδων Επιλογής-Αντικατάστασης Λύσεων

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα πάνω σε πραγματικά προβλήματα για να διαπιστωθεί η επίδραση των διαφορετικών μεθόδων επιλογής και αντικατάστασης λύσεων στις τιμές ευρωστίας των καλύτερων λύσεων του πληθυσμού και της πίεσης επιλογής στο γενετικό υλικό που ασκούν στην διατήρηση ποικιλομορφίας στον πληθυσμό.

Οι μέθοδοι που εξετάστηκαν ήταν οι παρακάτω:

- Αντικατάσταση Χειρότερων Λύσεων με Επιλογή Κανόνα Ρουλέτας (ΑΧΛ),
- Επιλεκτική Αντικατάσταση (ΕΑ),
- Ντετερμινιστική Επιλεκτική Αντικατάσταση (ΝΕΑ) και
- Επιλεκτική Αντικατάσταση Πολλαπλών Ομάδων (ΕΑΠΟ).

Οι τιμές ευρωστίας της καλύτερης λύσης σε κάθε γενιά για καθένα από τις παραπάνω μεθόδους επιλογής και αντικατάστασης λύσεων κατά την εξέλιξη του ΓΑ παρουσιάζονται στο Σχήμα 13.

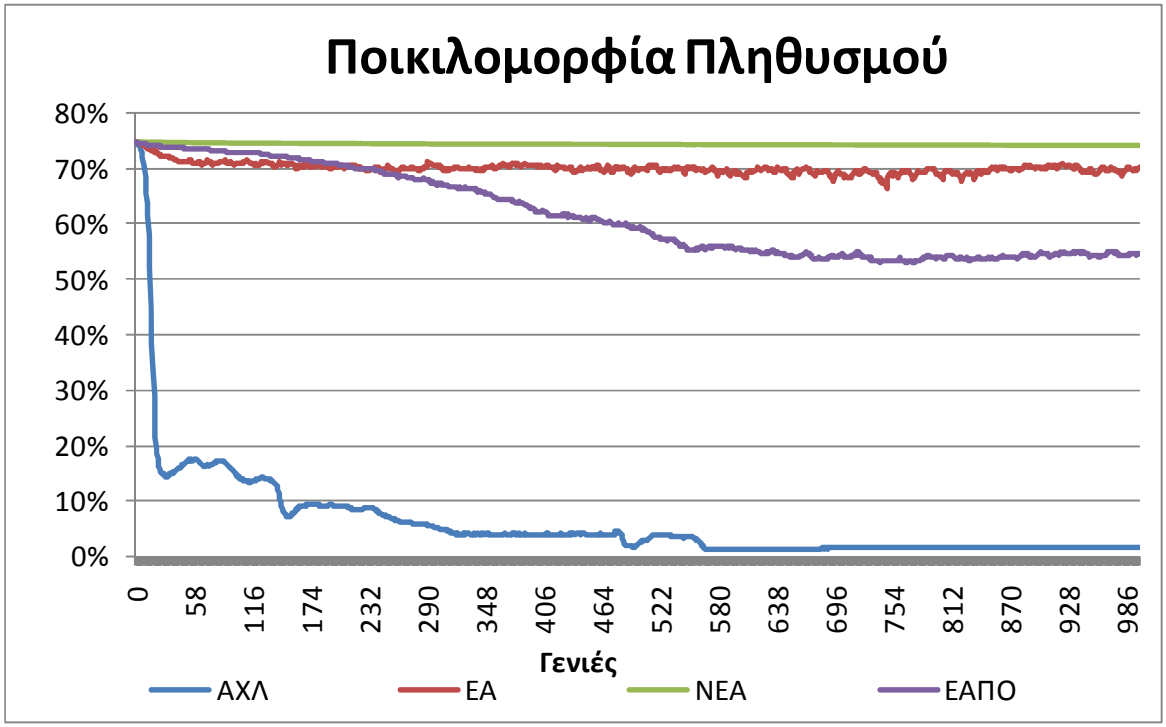


Σχήμα 13. Καλύτερες τιμές ευρωστίας πληθυσμού για τις διάφορες μεθόδους επιλογής και αντικατάστασης λύσεων.

Η απόδοση των τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων μπορεί να διακριθεί σε 3 κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει η μέθοδος ΝΕΑ με την απόδοση της να κρίνεται ως κακή. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλογής λύσεων προς αναπαραγωγή στην τύχη και αντικατάσταση τους μόνο στην περίπτωση που ο απόγονος είναι καλύτερος από τους γονείς παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στην εξερεύνηση και κυρίως στην εκμετάλλευση του γενετικού υλικού που υπάρχει στον πληθυσμό (κάτι που διαφαίνεται από την πολύ καλύτερη επίδοση άλλων μεθόδων).

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκει η μέθοδος ΕΑ με απόδοση που κρίνεται ως μέτρια. Μέχρι κάποιο σημείο της εξέλιξης μάλιστα είναι η δεύτερη καλύτερη μέθοδος αλλά σύντομα παρουσιάζει αδυναμία εύρεσης σχημάτων του γενετικού υλικού που θα μπορούσαν να αυξήσουν την απόδοση της.



Σχήμα 14. Βαθμός ποικιλομορφίας πληθυσμού για τις διάφορες μεθόδους επιλογής και αντικατάστασης λύσεων

Στην Τρίτη και καλύτερη ποιοτικά κατηγορία ανήκουν η μέθοδος ΑΧΛ και η μέθοδος ΕΑΠΟ. Η μεν πρώτη παρουσιάζει αξιοσειμίωτη ικανότητα εκμετάλλευσης του πληθυσμού και σύγκλισης από νωρίς σε πολύ καλές λύσεις. Η δε δεύτερη, ξεκινά αρκετά πιο συντηρητικά και παρουσιάζει σχεδόν γραμμική απόδοση μέχρι την στιγμή του η

επίδοση της . Στην συνέχεια μάλιστα βρίσκει τον τρόπο να αξιοποιήσει τον υπάρχοντα πληθυσμό για να παρέχει τις απολύτως καλύτερες λύσεις μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων.

Ο βαθμός ποικιλομορφίας του πληθυσμού που καταφέρνει να εξασφαλίσει κάθε μέθοδος κατά την διάρκεια εκτέλεσης του ΓΑ παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.

Οι μέθοδοι ΕΑ και ΝΕΑ δικαιολογούν την χαμηλή τους απόδοση με την διατήρηση πολύ υψηλού βαθμού διαφορετικότητας στο γενετικό υλικό του πληθυσμού. Η μέθοδος ΕΑ παρουσιάζει σημαντική αυξομείωση γύρω από μια σχεδόν σταθερή υψηλή τιμή ανομοιομορφίας ενώ στην μέθοδο ΝΕΑ, με την άμεση αντικατάσταση όμοιου γονέα, ο βαθμός ποικιλομορφίας παρουσιάζει ιδιαίτερα σταθερή τιμή.

Η μέθοδος ΑΧΛ παρουσιάζει φθίνουσα και ταχύτατη εκφύλιση του γενετικού υλικού κατά τις γενιές που ασκεί μεγάλη πίεση στην εύρεση αποδοτικών λύσεων. Στην συνέχεια το εκφυλισμένο γενετικό υλικό και η προφανής σύγκλιση σε ακρότατο του χώρου λύσεων δεν της επιτρέπει να ακολουθήσει σε απόδοση την μέθοδο ΕΑΠΟ.

Τέλος, η μέθοδος ΕΑΠΟ παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά. Παρατηρούμε μεγάλο βαθμό ανομοιομορφίας στο σύνολο του πληθυσμού που δεν επηρεάζεται σημαντικά με το πέρασμα των γενεών

και που συνοδεύεται από προοδευτική και ικανοποιητική απόδοση (την καλύτερη ανάμεσα στις μεθόδους που μετρήθηκαν).

5.7.3 Πειράματα στα Προβλήματα Solomon

Για την αποτίμηση της ποιότητας του αλγορίθμου, εξετάσθηκαν τα γνωστά στην επιχειρησιακή έρευνα προβλήματα του Solomon[87]. Τα προβλήματα αυτά είναι 56 διαφορετικές δρομολογήσεις με πελάτες είτε συμμετρικά καταμερισμένους (προβλήματα τύπου C) είτε τυχαία κατανεμημένους (προβλήματα τύπου R), είτε και συμμετρικά και τυχαία κατανεμημένους (προβλήματα τύπου RC). Ακόμη διαχωρίζονται ως προς το εύρος των χρονικών παραθύρων, σε τύπου 1 με στενά χρονικά παράθυρα και 2 με μεγαλύτερα.

5.7.3.1 Σύγκριση μεταξύ Γενετικών Αλγορίθμων

Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των γνωστότερων γενετικών αλγορίθμων και του προτεινόμενου, για το μέσο όρο κάθε κατηγορίας προβλημάτων. Για κάθε κατηγορία προβλημάτων υπάρχουν δύο σειρές πειραματικών αποτελεσμάτων. Στην πάνω γραμμή , αναφέρεται ο Μ.Ο. χρησιμοποιούμενων οχημάτων και στην κάτω γραμμή ο Μ.Ο. συνολικού μήκους των διαδρομών.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ΓΑ στα προβλήματα Solomon

Ερευνητές	C1	C2	R1	R2	RC1	RC2	ΣΟ/ΣΑ
Thangiah (1995a)	10	3	12,75	3,18	12,5	3,38	429
	892,11	749,13	1300,25	1124,28	1474,13	1411,13	65074
Potvin and Bengio (1996)	10	3	12,58	3	12,13	3,38	422
	838,11	590	1296,83	1117,64	1446,25	1368,13	62634
Wee Kit et al. (2001)	10	3	**12,58**	**3,18**	**12,75**	**3,75**	**432**
	833,32	593	**1203,32**	**951,17**	**1382,06**	**1132,8**	**57265**
Berger et al. (2003)	**10**	**3**	11,92	2,73	11,5	3,25	405
	828,48	**589,93**	1221,1	975,43	1389,89	1159,37	57952
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	10,00	3,00	12,83	3,91	12,50	4,38	446
	828,84	601,25	1257,03	951,85	1419,16	1108,23	58043,40

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια σύγκριση του προτεινόμενου αλγορίθμου με τους γενετικούς αλγορίθμους στο ΠΔΣΟ.

Πίνακας 3. Σύγκριση ΓΑ για τα προβλήματα Solomon

	C1	C2	R1	R2	RC1	RC2	ΣΟ/ΣΑ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	10,00	3,00	12,83	3,91	12,50	4,38	446
	828,84	601,25	1257,03	951,85	1419,16	1108,23	58043,40
Μ.Ο. ΟΧΗΜΑΤΩΝ	10,00	3,00	12,46	3,02	12,22	3,44	422,00
Μ.Ο. ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ	848,01	630,52	1255,38	1042,13	1423,08	1267,86	60731,25
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (Μ.Ο.)	0,00%	0,00%	3,02%	29,36%	2,29%	27,18%	5,69%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Μ.Ο.)	-2,26%	-4,64%	0,13%	-8,66%	-0,28%	-12,59%	-4,43%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (ΚΑΛΥΤΕΡΟ)	0,00%	0,00%	2,01%	22,96%	-1,96%	16,67%	3,24%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (ΚΑΛΥΤΕΡΟ)	0,04%	1,92%	4,46%	0,07%	2,68%	-2,17%	1,36%

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι καλύτερα από το Μ.Ο. των άλλων ΓΑ που αντιμετωπίζουν το

πρόβλημα παρόλο που σε κάποια προβλήματα η καλύτερη λύση υπολογίζεται με χρήση περισσοτέρων οχημάτων. Ο προτεινόμενος ΓΑ είναι 1,36% χειρότερος από τον καλύτερο ΓΑ.

5.7.3.2 Σύγκριση με Αλγόριθμους Απαγορευμένης Αναζήτησης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διάφορων αλγορίθμων απαγορευμένης αναζήτησης στις διάφορες κατηγορίες προβλημάτων του Solomon. Γι κάθε ερευνητή σε κάθε κατηγορία προβλημάτων αναφέρεται στην πάνω γραμμή ο Μ.Ο. χρησιμοποιούμενων οχημάτων και στην κάτω γραμμή ο Μ.Ο. συνολικού μήκους των δρομολογίων. Στην τελευταία στήλη αναφέρεται ανά ερευνητή ο συνολικός αριθμός οχημάτων (ΣΟ) και η συνολική απόσταση (ΣΑ) σε όλα τα προβλήματα.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα του προτεινόμενου αλγορίθμου και αλγορίθμων απαγορευμένης αναζήτησης (tabu search)

Ερευνητές	C1	C2	R1	R2	RC1	RC2	ΣΟ/ΣΑ
Garcia et al. (1994)	10	3	12,92	3,09	12,88	3,75	436
	877,1	602,3	1317,7	1222,6	1473,5	1527	65977
Rochat and Taillard (1995)	**10**	**3**	12,25	**2,91**	11,88	3,38	415
	828,38	**589,86**	1208,5	**961,72**	1377,39	1119,59	57231
Potvin and Bengio (1996)	10	3	12,5	3,09	12,63	3,38	426
	850,2	594,6	1294,5	1154,4	1456,3	1404,8	63530
Taillard et al. (1997)	**10**	**3**	12,17	2,82	11,5	3,38	410
	828,38	**589,86**	1209,35	980,27	1389,22	1117,44	57523
Chiang and Russell (1997)	**10**	3	**12,17**	2,73	11,88	3,25	411
	828,38	591,42	**1204,19**	986,32	1397,44	1229,54	58502
De Backer and Furnon (1997)	10	3,25	14,17	5,27	14,25	**6,25**	**508**
	829,77	604,84	1214,86	930,18	1385,12	**1099,96**	**56998**
Brandao (1999)	10	3	12,58	3,18	**12,13**	3,5	425
	829	591	1205	995	**1371**	1250	58562
Schulze and Fahle (1999)	10	3	12,25	2,82	11,75	3,38	414
	828,94	589,93	1239,15	1066,68	1409,26	1286,05	60346
Tan et al. (2000)	10	3,25	13,83	3,82	13,63	4,25	467
	870,87	634,85	1266,37	1080,24	1458,16	1293,38	62008
Lau et al. (2001)	10	3	14	3,55	13,63	4,25	464
	832,13	612,25	1211,54	960,43	1385,05	1232,65	58432
Cordeau et al. (2001)	**10**	**3**	12,08	2,73	11,5	3,25	407
	828,38	**589,86**	1210,14	969,57	1389,78	1134,52	57556
Lau et al. (2003)	10	**3**	12,17	3	12,25	3,38	418
	832,13	**589,86**	1211,55	1001,12	1418,77	1170,93	58477
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	10,00	3,00	12,83	3,91	12,50	4,38	446
	828,84	601,25	1257,03	951,85	1419,16	1108,23	58043,40

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια σύγκριση του προτεινόμενου αλγορίθμου με τους αλγορίθμους απαγορευμένης αναζήτησης.

Πίνακας 5. Σύγκριση του προτεινόμενου Γενετικού Αλγόριθμου Δρομολόγησης Στόλου οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής με τους αλγορίθμους απαγορευμένης αναζήτησης

	C1	C2	R1	R2	RC1	RC2	ΣΟ/ΣΑ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	10,00	3,00	12,83	3,91	12,50	4,38	446
	828,84	601,25	1257,03	951,85	1419,16	1108,23	58043,40
Μ.Ο. ΟΧΗΜΑΤΩΝ	10,00	3,04	12,76	3,25	12,49	3,78	433,42
Μ.Ο. ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ	838,64	598,39	1232,74	1025,71	1409,25	1238,82	59595,17
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (Μ.Ο.)	0,00%	-1,37%	0,59%	20,28%	0,06%	15,64%	2,90%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Μ.Ο.)	-1,17%	0,48%	1,97%	-7,20%	0,70%	-10,54%	-2,60%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (ΚΑΛΥΤΕΡΟ)	0,00%	0,00%	5,45%	-25,81%	3,05%	-30,00%	-12,20%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (ΚΑΛΥΤΕΡΟ)	0,06%	1,93%	4,39%	2,33%	3,51%	0,75%	1,83%

Στον πίνακα δίνεται η επί τοις εκατό διαφορά του προτεινόμενου αλγορίθμου σε χρησιμοποιούμενα οχήματα και σε απόσταση διαδρομών τόσο ως προ το μέσο όρο των ερευνητών που παρουσιάστηκαν παραπάνω όσο και ως προς τον καλύτερο από αυτούς σε κάθε κατηγορία προβλημάτων.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δείχνει τάση να χρησιμοποιεί γενικά περισσότερα οχήματα και παρουσιάζεται καλύτερος από το μέσο όρο των μεθόδων απαγορευμένης αναζήτησης. Συνολικά η απόδοσή του ΑΔΣΟΔΔ είναι πολύ κοντά στον συνολικά καλύτερο (1,83% μεγαλύτερη απόσταση) ενώ και στις επιμέρους κατηγορίες προβλημάτων η απόδοση του κρίνεται πολύ καλή με την επί τοις εκατό διαφορά στην απόσταση να κυμαίνεται από το 0,06% μέχρι το 4,39%.

5.7.3.3 *Σύγκριση με Εξελικτικούς Αλγόριθμους*

Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διάφορων εξελικτικών αλγορίθμων (evolutionary algorithms) που δεν είναι γενετικοί στις διάφορες κατηγορίες προβλημάτων του Solomon. Όπως και στις προηγούμενες παραγράφους, γι κάθε ερευνητή σε κάθε κατηγορία προβλημάτων αναφέρεται στην πάνω γραμμή ο Μ.Ο. χρησιμοποιούμενων οχημάτων και στην κάτω γραμμή ο Μ.Ο. συνολικού μήκους των δρομολογίων. Στην τελευταία στήλη αναφέρεται ανά ερευνητή ο συνολικός αριθμός οχημάτων (ΣΟ) και η συνολική απόσταση (ΣΑ) σε όλα τα προβλήματα.

Πίνακας 6. Σύγκριση προτεινόμενου Γενετικού Αλγόριθμου Δρομολόγησης Στόλου οχημάτων σε Δίκτυα Διανομής με τους εξελικτικούς αλγορίθμους

	C1	C2	R1	R2	RC1	RC2	ΣΟ/ΣΑ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	10,00	3,00	12,83	3,91	12,50	4,38	446
	828,84	601,25	1257,03	951,85	1419,16	1108,23	58043,40
Μ.Ο. ΟΧΗΜΑΤΩΝ	10,00	3,00	12,18	2,99	11,73	3,50	414,73
Μ.Ο. ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ	830,26	592,25	1216,06	964,78	1389,42	1144,48	57649,36
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (Μ.Ο.)	0,00%	0,00%	5,40%	30,97%	6,59%	24,84%	7,54%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Μ.Ο.)	-0,17%	1,52%	3,37%	-1,34%	2,14%	-3,17%	0,68%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (ΚΑΛΥΤΕΡΟ)	0,00%	0,00%	5,45%	43,22%	7,48%	34,62%	9,85%
% ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (ΚΑΛΥΤΕΡΟ)	0,06%	1,93%	4,42%	-0,23%	2,93%	-1,02%	2,17%

Πίνακας 7. Αποτελέσματα του προτεινόμενου ΑΠΔΣΟΔΔ και εξελικτικών αλγορίθμων

Ερευνητές	C1	C2	R1	R2	RC1	RC2	ΣΟ/ΣΑ
Berger et al. (1998)	10	3	12,58	3,09	12,13	3,5	424
	834,61	594,25	1261,58	1030,01	1441,35	1284,25	60539
Homberger and Gehring (1999)	**10**	**3**	11,92	2,73	11,63	3,25	406
	828,38	**589,86**	1228,06	969,95	1392,57	1144,43	57876
Gehring and Homberger (1999)	10	3	12,42	2,82	11,88	3,25	415
	829	590	1198	947	1356	1140	56942
Gehring and Homberger (2001)	10	3	12	2,73	11,5	3,25	406
	828,63	590,33	1217,57	961,29	1395,13	1139,37	57641
Tan et al. (2001b)	10	3	12,91	5	12,6	5,8	471
	841,96	611,2	1205	929,6	1392,3	1080,1	56931
Bent and Van Hentenryck (2004)	10	3	**12,17**	2,73	11,63	3,25	409
	828,38	589,86	**1203,84**	980,31	1379,03	1158,91	57707
Le Bouthillier and Crainic (2005)	10	3	12,17	2,82	11,5	3,25	409
	828,38	589,86	1209,27	965,91	1389,22	1143,7	57574
Homberger and Gehring (2005)	10	3	11,92	2,73	11,5	3,25	405
	828,38	589,86	1212,73	955,03	1386,44	1123,17	57309
Ibaraki et al. (2005)	10	3	11,92	2,73	**11,63**	3,25	406
	828,38	589,86	1220,02	961,64	**1378,72**	1132,17	57480
Pisinger and Röpke (2005)	10	3	11,92	2,73	11,5	3,25	405
	828,38	589,86	1212,39	957,72	1385,78	1123,49	57332
Mester et Al. (2007)	10	3	12	**2,73**	11,5	**3,25**	**406**
	828,38	589,86	1208,18	**954,09**	1387,12	**1119,7**	**56812**
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	10,00	3,00	12,83	3,91	12,50	4,38	446
	828,84	601,25	1257,03	951,85	1419,16	1108,23	58043,40

Στον πίνακα 6 φαίνονται στατιστικά στοιχεία σύγκρισης του ΑΔΣΟΔΔ με τους εξελικτικούς αλγορίθμους του πίνακα 7. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος και σε σύγκριση με αυτή την κατηγορία αλγορίθμων αντιμετώπισης του ΠΔΣΟ παρουσιάζει πολλή καλή επίδοση

σε σχέση με τον Μ.Ο. ενώ σε σχέση με τον καλύτερο παρουσιάζει στο σύνολο λίγο χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με τους αλγορίθμους απαγορευμένης αναζήτησης αν και σε συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων (R2, RC2) παρουσιάζει καλύτερη επίδοση. Σε κάθε περίπτωση ο αλγόριθμος παρουσιάζει το φαινόμενο χρησιμοποίησης περισσότερων οχημάτων κατά μέσο όρο από τις καλύτερες λύσεις στην βιβλιογραφία για να επιτύχει τις συγκεκριμένες επιδόσεις.

5.7.4 Πειράματα σε Πραγματικά Δεδομένα

Ο προτεινόμενος ΑΔΣΟΔΔ δοκιμάστηκε πάνω σε ένα πραγματικό σύνολο 3607 πελατών και 69 οχημάτων/οδηγών στο δίκτυο διανομής της εταιρίας ΜΕΒΓΑΛ στην περιοχή της Αττικής. Τα δεδομένα αντλήθηκαν από τα time sheets και τα τιμολόγια παραδόσεων των δρομολογίων της εταιρίας κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2000 που παρουσιάζουν ακριβείς μετρήσεις των επιδόσεων του στόλου της στην πραγματική εμπορική της δραστηριότητα.

Ο πίνακας παρουσιάζει πειραματικά δεδομένα τα οποία εξετάζουν τον αλγόριθμο ΑΔΣΟΔΔ σε δύο ανεξάρτητους τύπους διακύμανσης των απαιτήσεων του χρήστη.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα στρατηγικής και επιχειρηματικής δρομολόγησης σε πραγματικά προβλήματα

	Στρατηγική Δρομολόγηση	Επιχειρισιακή Δρομολόγηση			
		ΔΕΥΤΕΡΑ & ΤΕΤΑΡΤΗ	ΤΡΙΤΗ & ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ
ΜΕΒΓΑΛ	**8061,70**	**8022,10**	**7749,40**	**7990,60**	**7264,00**
ΑΔΣΟΔΔ	**7542,10**	**7412,92**	**7166,66**	**7455,87**	**6808,51**
	-6,45%	**-7,59%**	**-7,52%**	**-6,69%**	**-6,27%**
ΑΔΣΟΔΔ (40% Ομοιότητα)	**7693,50**	**7624,25**	**7365,35**	**7613,58**	**6937,26**
	-4,57%	**-4,96%**	**-4,96%**	**-4,72%**	**-4,50%**
ΑΔΣΟΔΔ (75% Ομοιότητα)	**7752,29**	**7707,63**	**7449,50**	**7670,18**	**6993,36**
	-3,84%	**-3,92%**	**-3,87%**	**-4,01%**	**-3,73%**
ΑΔΣΟΔΔ (90% Ομοιότητα)	**7912,34**	**7854,04**	**7658,00**	**7823,38**	**7122,97**
	-1,85%	**-2,09%**	**-1,18%**	**-2,09%**	**-1,94%**

Το «βασικό» αποτέλεσμα φαίνεται στην στήλη «Στρατηγική Δρομολόγηση», γραμμή «ΑΔΣΟΠΠ», όπου βλέπουμε τον αλγόριθμο να επιτυγχάνει 6,45% βελτίωση σε σχέση με τις διαδρομές που είχε καθορίσει εμπειρικά η εταιρία ως «βασικές διαδρομές» για το σύνολο των εργασιών της.

Παραλλαγές εμφανίζονται στις στήλες ως εξής: φιλτράρονται τα αποτελέσματα και γίνονται αποδεκτές μόνον εκείνες οι λύσεις οι οποίες έχουν 40%, 75% και 90% ομοιότητα, αντίστοιχα, με τις ήδη χρησιμοποιούμενες διαδρομές της εταιρίας. Ο λόγος για αυτό το φιλτράρισμα είναι ότι στην αληθινή επιχειρησιακή δραστηριότητα είναι θεμιτό να γίνονται μικρές, σταδιακές βελτιώσεις στο επιχειρησιακό

πρόγραμμα, και όχι «από την μία μέρα στην άλλη» να αλλάζουν όλες οι συνθήκες. Για παράδειγμα, οι οδηγοί προτιμούν μικρές αλλαγές στα δρομολόγιά τους, παρά ξαφνικά να κυκλοφορούν σε εντελώς νέες γειτονιές με εντελώς νέους πελάτες. Οι στήλες δείχνουν μειωμένη βελτίωση σε σχέση με την βέλτιστη δυνατή απόδοση του ΑΔΣΟΠΠ, αλλά συνεχίζει πάντα να υπάρχει βελτίωση σε σχέση με τις εμπειρικές διαδρομές. Το βασικό αποτέλεσμα (χωρίς φιλτράρισμα) συνεχίζει να είναι σημαντική τεχνική ένδειξη της ποιότητας του αλγορίθμου, καθώς δείχνει την καλύτερη δυνατή επίδοσή του.

Παραλλαγές εμφανίζονται στις γραμμές ως εξής: σε καθημερινή βάση απαιτείται «επιχειρησιακή» (operational) βελτιστοποίηση, επιπλέον από την «στρατηγική» (strategic) βελτιστοποίηση των διαδρομών. Η «στρατηγική» βελτιστοποίηση αφορά την εύρεση διαδρομών που δίνουν μια γενική λύση σε όλες τις πιθανές ανάγκες της εταιρίας, καλύπτοντας όλους τους γνωστούς πελάτες σε γενικώς ισχύουσες συνθήκες κίνησης. Επειδή οι οδηγοί πρέπει να συνηθίζουν συγκεκριμένες, επαναλαμβανόμενες διαδρομές, αυτή η στρατηγική σχεδίαση είναι πολύ σημαντική. Από εκεί και πέρα, σε συγκεκριμένες συνθήκες, οι διαδρομές πρέπει να προσαρμοστούν. Για παράδειγμα, όταν ένας πελάτης δεν χρειάζεται εξυπηρέτηση μια μέρα, ο οδηγός που τον εξυπηρετούσε μπορεί με μια μικρή μεταβολή στο δρομολόγιό του να βελτιώσει την απόσταση που διανύει. Στις γραμμές του πίνακα

φαίνεται πως ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται σε επιμέρους ημέρες της εβδομάδας για τις οποίες υπήρχαν συστηματικά πειραματικά δεδομένα με μικρή αλλά όχι αμελητέα απόκλιση από τα συνολικά δεδομένα.

Η σύγκριση αυτή κάνει την καλύτερη αξιοποίηση που ήταν εφικτή των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων. Καθώς τέτοια εμπορικά δεδομένα είναι πολύτιμα, δεν μπορούσαν να γίνουν ανεξάρτητα πειράματα για κάθε πιθανή εξειδικευμένη ανάγκη που ίσως προκύψει στο μέλλον. Όμως, με μια ενιαία βάση δεδομένων εμπορικών μετρήσεων, οργανώθηκε πείραμα που αξιολογεί τον αλγόριθμο και ως προς το κριτήριο της μειωμένης «ενόχλησης» των οδηγών και ως προς το κριτήριο της στρατηγικής και της επιχειρησιακής βελτιστοποίησης. Με την μέτρηση πειραματικών αποτελεσμάτων σε όλους τους συνδυασμούς αυτών των κριτηρίων, αφού όλοι υποστηρίζονται από την διαθέσιμη βάση δεδομένων, απολαμβάνουμε μια ποικιλία πειραματικών αποτελεσμάτων που δοκιμάζουν εκτενώς τον αλγόριθμο, επιβεβαιώνοντας με σαφήνεια την ποιότητα της απόδοσής του.

5.8 Παράλληλη Επίλυση

Επειδή μεγάλου μεγέθους στιγμιότυπα του ΠΔΣΟΔΔ μπορεί να είναι πολύ απαιτητικά όσο αφορά την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ

και κατ' επέκτασιν του χρόνου υπολογισμού χρησιμοποιήσαμε μια υλοποίηση του προτύπου Message Passing Interface(MPI) για την παραγωγή μια παράλληλης έκδοσης του αλγορίθμου. Το πρότυπο MPI είναι διαθέσιμο σε διάφορες βιβλιοθήκες λογισμικού και επιλέχθηκε για την σταθερότητα, απλότητα και διαλειτουργικότητα του. Οι εντολές του πρότύπου γίνονται εύκολα διαθέσιμες στις εφαρμογές και οι περισσότερες υλοποιήσεις παρέχουν την δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ διεργασιών σε ένα σύνολο μικτών τερματικών Win32 και UNIX πάνω από ένα TCP/IP δίκτυο. Επομένως, οι περισσότερο κοινοί πόροι υλικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογιστικά αποδοτική παράλληλη εκτέλεση με την υιοθέτηση του προτύπου MPI.

Για την μείωση τη ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των διεργασιών το γενετικό μέρος του αλγορίθμου παρέμεινε το ίδιο σε κάθε διεργασία ενώ παραλληλοποιήθηκε η φάση αξιολόγησης των λύσεων του πληθυσμού που είναι το πιο απαιτητικό υπολογιστικά μέρος του αλγορίθμου. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου όλες οι διεργασίες έχουν το ίδιο πληθυσμό την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό επιτυγχάνεται με την πανομοιότυπη αρχικοποίηση όλων των διεργασιών. Η κοινή μέθοδος αρχικοποίησης υποχρεώνει όλες τις διεργασίες να δημιουργήσουν τον ίδιο αρχικό πληθυσμό. Στην συνέχεια πραγματοποιούμαι παράλληλα την εξέλιξη του πληθυσμού. Λόγω του ότι για ένα δεδομένο πληθυσμό οι διεργασίες αποκτούν την

ίδια τιμή αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε χρωμόσωμα στον πληθυσμό και εκτελούν ακριβώς την ίδια μέθοδο αντικατάστασης, η επόμενη γενιά λύσεων θα είναι η ίδια σε κάθε διεργασία. Οι γενιές μετά την αρχική δημιουργούνται με την εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων επιλογής και αναπαραγωγής των λύσεων στον πληθυσμό. Η κοινή αρχικοποίηση που χρησιμοποιούν όλες οι διεργασίες εγγυάται ότι η επιλογή και η αναπαραγωγή των λύσεων πραγματοποιείται σε κάθε διεργασία με ταυτόσημο τρόπο.

Η παραλληλοποίηση της φάσης αξιολόγησης του πληθυσμού επιτυγχάνεται με την ομαδοποίηση των χρωματοσώματα σε ομάδες. Το πλήθος των ομάδων είναι ίσο με τον αριθμό των διαφορετικών διεργασιών που λαμβάνουν μέρος στον παράλληλο υπολογισμό και κάθε διεργασία είναι υπεύθυνη για αξιολόγηση των χρωματοσωμάτων της ομάδας που της έχει ανατεθεί. Μετά το πέρας του υπολογισμού από όλες τις διεργασίες τα αποτελέσματα κατανέμονται σε όλες τις διεργασίες ώστε όλες να έχουν την ίδια τιμή για την ποιότητα κάθε συγκεκριμένου χρωματοσώματος στον πληθυσμό.

Με την εφαρμογή της παράλληλης εκδοχής του αλγορίθμου είναι δυνατό να γίνει εκμετάλλευση ενός μικτού δικτύου υπολογιστών για την επίτευξη αποτελεσμάτων σε ρεαλιστικό χρόνο.

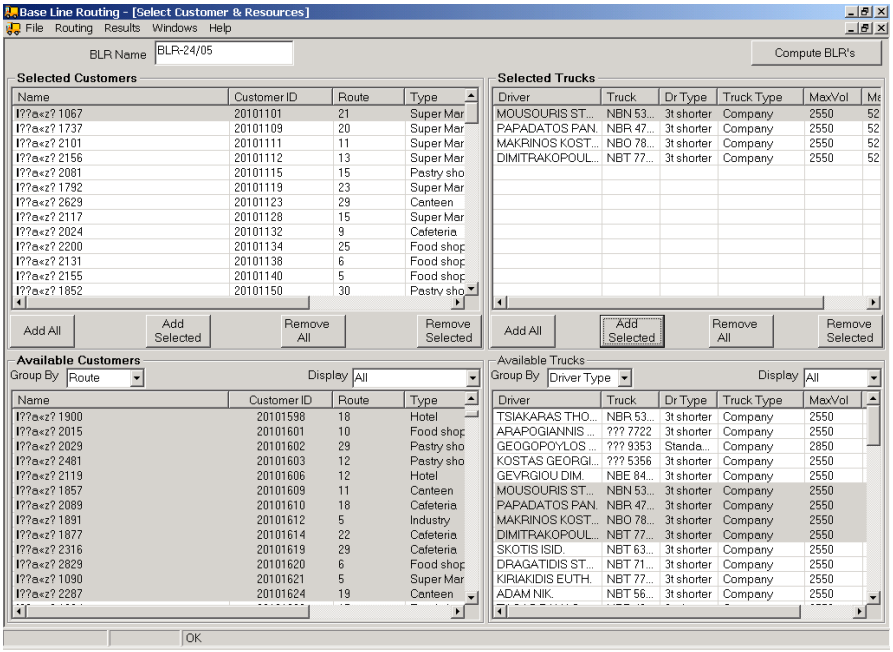
5.9 Το ΣΥΛΑ για Δίκτυα Διανομής που Υλοποιήθηκε

Το ΣΥΛΑ που χρησιμοποιείται για την δημιουργία και διαχείριση δρομολογίων είναι αναπτυγμένο σε παραθυρικό περιβάλλον και χρησιμοποιεί τον ΓΑ που παρουσιάστηκε για την δρομολόγηση πελατών και οχημάτων-οδηγών με την επιλογή κριτηρίων δρομολόγησης καθοριζόμενα από το χρήστη.

Η εφαρμογή χρησιμοποιεί βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα των πελατών (όνομα, θέση, τύπος, παράθυρο χρόνου, αναμενόμενη ζήτηση κλπ.), οχημάτων (χωρητικότητα, τρέχοντα έξοδα κλπ), οδηγών(ώρες εργασίας κλπ), επιχειρησιακή πολιτική (ώρες αποθήκης, (α)συμβατότητες κλπ) και τα υπολογισμένα δρομολόγια.

5.9.1 Επιλογή Πελατών και Οχημάτων

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τους πόρους(οχήματα, οδηγοί) και τους πελάτες που θα συμμετέχουν στην δημιουργία των βασικών διαδρομών.

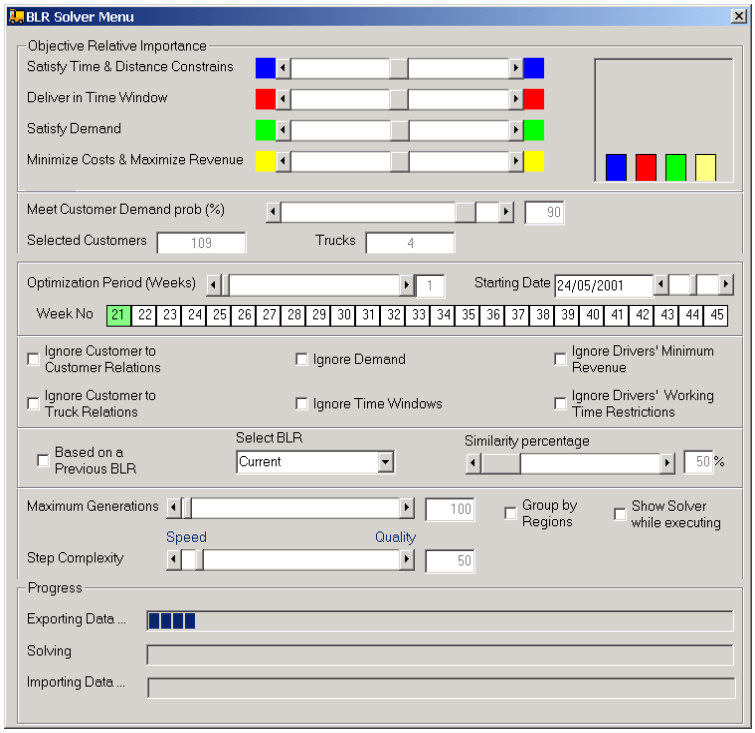


Σχήμα 15. Οθόνη επιλογής πελατών, οχημάτων

Σε ειδικά διαμορφωμένο παραθυρικό περιβάλλον (Σχήμα 15) παρουσιάζονται όλοι οι διαθέσιμοι πόροι και πελάτες. Τα διαθέσιμα δεδομένα μπορούν να φιλτραριστούν και να ταξινομηθούν. ανάλογα με διάφορα κριτήρια (τύπος πελάτη, περιοχή κλπ). Από τα διαθέσιμα οχήματα, οδηγούς και πελάτες κατασκευάζουμε σύνολα οχημάτων, οδηγών και πελατών που θα ενταχθούν στη δρομολόγηση.

5.9.2 Επιλογή παραμέτρων δρομολόγησης

Πριν από την εκτέλεση του ΓΑ είναι απαραίτητος ο καθορισμός των παραμέτρων της δρομολόγησης (βλ.Σχήμα 16).



Σχήμα 16. Οθόνη επιλογής παραμέτρων δρομολόγησης

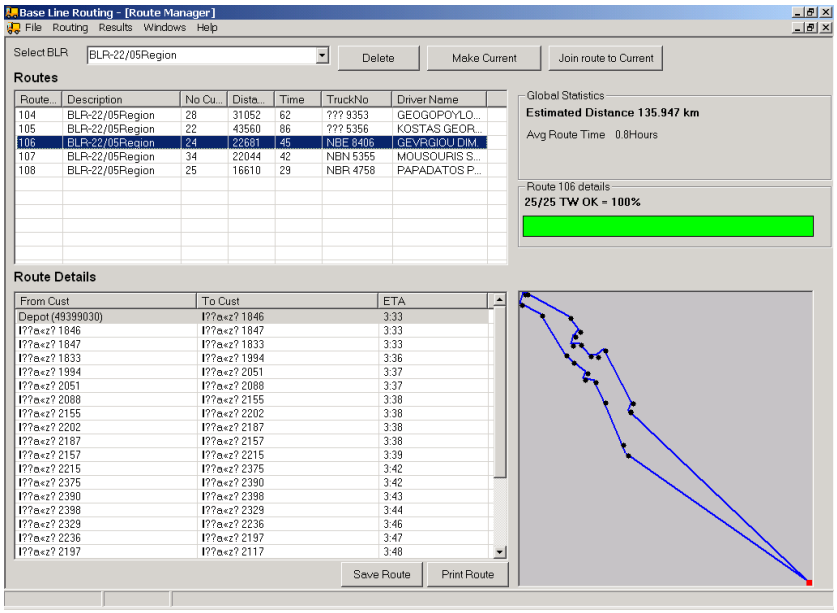
Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει:

- την σχετική βαρύτητα των βασικών παραμέτρων της δρομολόγησης, μεταβάλλοντας ουσιαστικά τα βάρη στον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης.
- την έναρξη και το μέγεθος της χρονικής περιόδου για την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση
- τις παραμέτρους που θα αγνοηθούν κατά την εκτέλεση από τις: σχέσεις μεταξύ πελατών, ζήτηση πελατών, ελάχιστο κέρδος οδηγών, σχέσεις μεταξύ οδηγών και πελατών, παράθυρα χρόνου και ώρες εργασίας οδηγών.

- Τον εξαναγκασμό του αλγορίθμου να βασιστεί σε ένα προηγούμενο σύνολο βασικών δρομολογίων. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να καθοριστεί και το ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των δύο συνόλων διαδρομών.
- Το πλήθος των γενεών εξέλιξης του αλγορίθμου καθώς επίσης και το μέγεθος του πληθυσμού.
- Αν θα χρησιμοποιηθεί ο ευρετικός αλγόριθμός ομαδοποίησης των πελατών κατά την αρχικοποίηση του αλγορίθμου.

5.9.3 Διαχείριση των βασικών δρομολογίων

Για κάθε σύνολο βασικών δρομολογίων εκτός της σειράς των πελατών και η ανάθεση τους σε οχήματα κρατούνται ο αναμενόμενος χρόνος ταξιδιού ,ο αναμενόμενος χρόνος άφιξης σε κάθε πελάτη και συγκεντρωτικά στοιχεία για κάθε σύνολο βασικών διαδρομών (συνολικός χρόνος και συνολική απόσταση για όλα τα φορτηγά σε ένα συγκεκριμένο σύνολο δρομολογίων). Κάθε δρομολόγιο φαίνεται σχηματικά και δίνονται στοιχεία για τους πελάτες που περιλαμβάνει(βλ. Σχήμα 17).



Σχήμα 17. Οθόνη διαχείρισης δρομολογίων

Η εφαρμογή διατηρεί ένα σύνολο επιχειρησιακών και ένα σύνολο προσωρινών δρομολογίων. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα εκτύπωσης και αποθήκευσης σε αρχείο κάποιου δρομολογίου ενώ ειδικά για τα προσωρινά μπορεί να τα διαγράψει ή να τα προσθέσει στα επιχειρησιακά.

Κεφάλαιο 6ο

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων για Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίων στην Εμπορική Ναυτιλία

6.1 Εισαγωγή

Η αποτελεσματικότητα των πλωτών μεταφορών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το λειτουργικό κόστος του πλοίου, η επιλογή του ναυλωτή, η διαδρομή που θα ακολουθηθεί, το κόστος του φορτίου και η αξιοπιστία στις επικοινωνίες. Η διαδικασία ναύλωσης περιέχει έναν πολύ μεγάλο αριθμό αλληλοεξαρτώμενων και πολύπλοκων σταδίων και επίσης έναν μεγάλο αριθμό μεσαζόντων

(αγοραστές, πωλητές, πλοιοκτήτες, ναυλωτές, διαχειριστές πλοίων). Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν κατά πολύ τόσο την αποτελεσματικότητα όσο και το κόστος στη ναυτιλία. Οι σύγχρονες πολιτικές στις διαδικασίες ναύλωσης θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν απλές και στατικές σε αντίθεση με το γεγονός ότι οι επιχειρήσεις και ειδικά αυτές που σχετίζονται με την ναυτιλία είναι από τη φύση τους πολύ δυναμικές. Οι αποφάσεις συνήθως παίρνονται επί τόπου και βασίζονται κυρίως στην εμπειρία και τη διαίσθηση. Παρ' όλα αυτά, είναι εφικτό να υποστηριχθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων, εισάγοντας ενεργά συστήματα, τα οποία βασίζονται στη γνώση και τα οποία θα λαμβάνουν συνεχή ροή πληροφοριών ενώ επίσης θα συλλέγουν και θα αξιοποιούν ιστορικά και στατιστικά δεδομένα αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων για την ναυτιλία σήμερα, βασίζεται κατά πολύ σε πληροφορίες οι οποίες είναι διαθέσιμες μέσω διαφόρων μορφών επικοινωνίας (τηλέφωνο, fax, Internet, e-mail ή ακόμα και προφορικά). Η συλλογή, οργάνωση και αναπαράσταση αυτής της πληροφορίας πρέπει να βελτιωθεί και να αυτοματοποιηθεί. Οι ναυτιλιακές εταιρίες δεν πρέπει να βασίζονται πλήρως στην ικανότητα των ανθρώπων της να συλλέγουν και να επεξεργάζονται όλες τις απαραίτητες πληροφορίες.

6.2 Το Μοντέλο Αξιολόγηση Εντολών Μεταφοράς Φορτίων στην Εμπορική Ναυτιλία

Η ναύλωση στην εμπορική ναυτιλία είναι μία επιχειρησιακή διαδικασία που επαφίεται εξ' ολοκλήρου στην διευθυντή ναύλωσης και στις ικανότητές του να προαγάγει και να διαφημίσει το στόλο, να αντιληφθεί την συμπεριφορά της αγοράς, να αντιδράσει και να κινηθεί στρατηγικά στις διακυμάνσεις της αγοράς, και να αντιδρά γρήγορα και εύστοχα σε απροσδόκητα γεγονότα. Η ναύλωση παρουσιάζει μία κυμαινόμενη συμπεριφορά τόσο σχετικά με το εμπόριο και τα ακολουθούμενα πρότυπα όσο και σε οικονομικούς και πολιτικούς περιορισμούς. Σε αυτό το πλαίσιο διαφαίνεται η χρησιμότητα ενός πληροφοριακού συστήματος ικανό να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στην διαδικασία της ναύλωσης πλοίων παρέχοντας εξοικονόμηση χρόνου, διαχείριση πληροφορίας, πρόβλεψη και εκτίμηση ασταθών παραγόντων, πρόσβαση σε μεγαλύτερη αγορά, άμεση επικοινωνία μεταξύ των συμμετεχόντων στην διαδικασία.

6.2.1 Περιγραφή της Διαδικασίας Ναύλωσης στην Ναυτιλία

Ο διαχωρισμός της ναυτιλιακής αγοράς σε επιμέρους ανεξάρτητες αγορές, η ύπαρξη διαφορετικών εμπλεκόμενων ρόλων με αντικρουόμενα συμφέροντα και το πλήθος των διαφορετικών λειτουργιών που πρέπει να διεκπεραιωθούν προκειμένου να εκτελεστεί ένα ταξίδι μεταφοράς φορτίου καθιστά αδύνατη την ενασχόληση μιας ερευνητικής εργασίας με το σύνολο της ναυτιλιακής αγοράς.

Ο στόχος στην διαχείριση ναυλώσεων για πλοία που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη αγορά είναι η εύρεση και επιλογή φορτίων τα οποία αναμένεται να είναι τα πιο κερδοφόρα. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των φορτίων ποικίλουν ανάλογα με την πολιτική της κάθε ναυτιλιακής εταιρείας.

Η διαδικασία όμως που ακολουθούν οι ναυτιλιακές εταιρείες ή οι μεσίτες τους, για να επιλέξουν ένα σύνολο από φορτία τα οποία θα αξιολογηθούν στην συνέχεια με μεγαλύτερη ακρίβεια, είναι σταθερή ανεξάρτητη από την πολιτική της εταιρείας. Την διαδικασία αυτή την εκτελούν οι διαχειριστές ναυλώσεων, στελέχη με μεγάλη εμπειρία στην ναυτιλιακή αγορά τα οποία έχουν την ικανότητα να αναγνωρίσουν τις ευκαιρίες και τους κινδύνους που κρύβονται στην αγορά μέσα από ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων και παραμέτρων που πρέπει να

εξεταστούν. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει βασικά από τον ορισμό του πλοίου για το οποίο αναζητείται φορτίο. Τα στοιχεία του πλοίου που απαιτούνται να είναι γνωστά έτσι ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία επιλογής φορτίων είναι τα εξής:

- Η θέση του πλοίου και η εκτιμώμενη ημερομηνία που αυτό προβλέπεται να είναι διαθέσιμο. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από το τελευταίο προγραμματισμένο ταξίδι του πλοίου
- Ο τύπος του πλοίου
- Το μήκος και το βύθισμα του πλοίου
- Οι ταχύτητες του πλοίου όταν αυτό είναι με ή χωρίς φορτίο αντίστοιχα
- Σε περίπτωση που υπάρχουν συμφωνίες για μεταφορά φορτίων σε μεταγενέστερο χρονικό διάστημα από το διάστημα για το οποίο αναζητείται φορτίο, τότε πρέπει να είναι γνωστά όλα τα στοιχεία και οι δεσμεύσεις που έχουν γίνει για τις συμφωνηθέντες μεταφορές.
- Χρονικά διαστήματα κατά τα οποία το πλοίο πρέπει να παραμείνει ανενεργό και το λιμάνι στο οποίο πρέπει να παρευρίσκεται.

Στην συνέχεια η εταιρεία ελέγχει τα φορτία για τα οποία έχει στοιχεία. Τα απαραίτητα στοιχεία, πέρα από αυτά της ιδιοκτησίας και

της αντιπροσώπευσης, που πρέπει να είναι διαθέσιμα για ένα φορτίο για να ληφθεί αυτό υπόψη στην διαδικασία της επιλογής φορτίων είναι:

- το είδος του φορτίου
- η ποσότητα του φορτίου
- ο συντελεστής στοιβασίας του φορτίου, απαραίτητος για την μετατροπή της ποσότητας του φορτίου σε όγκο φορτίου
- το λιμάνι φόρτωσης
- το διάστημα που αυτό θα είναι διαθέσιμο στο λιμάνι φόρτωσης
- το λιμάνι εκφόρτωσης
- αν υπάρχει η ημερομηνία νωρίτερα από την οποία δεν μπορεί να ξεκινήσει η εκφόρτωση του φορτίου
- αν υπάρχει η καταληκτική ημερομηνία παράδοσης φορτίου
- οι ρυθμοί φόρτωσης και εκφόρτωσης
- η τρέχουσα τιμή ναύλου που επικρατεί στην αγορά για το συγκεκριμένο είδος φορτίου και για τον εμπορικό δρόμο που ανήκει η διαδρομή μεταξύ λιμανιών φόρτωσης και εκφόρτωσης του συγκεκριμένου φορτίου.

Την πληροφορία για τα διαθέσιμα φορτία η εταιρεία την λαμβάνει από το δίκτυο της ενημέρωσης το οποίο διαθέτει στο οποίο συμμετέχουν ναυλωτές, μεσίτες και πράκτορες με τους οποίους η εταιρεία συνεργάζεται και θεωρεί αξιόπιστη την πληροφόρηση τους. Ο

τρόπος με τον οποίο λαμβάνει την πληροφορία η εταιρεία δεν είναι τυποποιημένος ούτε ως προς το μέσω ούτε ως προς το την μορφοποίηση. Έτσι η πληροφορία για τα διαθέσιμα φορτία είναι άλλοτε σε έντυπη μορφή (fax), άλλοτε σε ηλεκτρονική μορφή (email) και άλλοτε η πληροφόρηση είναι μόνο τηλεφωνική.

Με δεδομένα όλα τα παραπάνω στοιχεία και θεωρώντας γνωστές τις αποστάσεις μεταξύ των όλων των εμπορικών λιμανιών, το τμήμα ναύλωσης βρίσκει από το αρχικό σύνολο των διαθέσιμων φορτίων εκείνο το υποσύνολο που περιέχει εκείνα τα φορτία που μπορούν να μεταφερθούν από το ενδιαφερόμενο πλοίο. Ένα φορτίο θεωρείται ότι μπορεί να μεταφερθεί από ένα πλοίο όταν:

- Το είδος του φορτίου μπορεί να μεταφερθεί από τον τύπο πλοίων που ανήκει το ενδιαφερόμενο πλοίο
- Το μέγεθος του φορτίου τόσο σε ποσότητα όσο και σε όγκο είναι μικρότερο από την διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου
- Το μέγεθός του πλοίου επιτρέπει την προσέγγιση των λιμανιών φόρτωσης και εκφόρτωσης
- Το πλοίο προλαβαίνει να μεταβεί από το λιμάνι στο οποίο θα βρίσκεται διαθέσιμο στο λιμάνι εκφόρτωσης και να φορτώσει το φορτίο πριν επέλθει η ημερομηνία λήξης φόρτωσης.

- Σε περίπτωση που υπάρχει καταληκτική ημερομηνία παράδοσης του πλοίου να προλαβαίνει το πλοίο να ξεφορτώσει το φορτίο πριν επέλθει η ημερομηνία αυτή.
- Στην περίπτωση κατά την οποία το πλοίο είναι ήδη φορτωμένο με κάποιο φορτίο και αναζητείται νέο φορτίο για παράλληλη μεταφορά θα πρέπει η τοποθέτηση του στα διαμερίσματα του πλοίου, μαζί με το προηγούμενο φορτίο, να είναι εφικτή. Η εφικτότητα φόρτωσης καθορίζεται από την διαθέσιμη χωρητικότητα που προκύπτει με βάση την τοποθέτηση των ήδη υπαρχόντων φορτίων στο πλοίο και από το πλήθος των διαμερισμάτων που διαθέτει το πλοίο το οποίο δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το πλήθος των φορτίων που είναι φορτωμένα.
- Στην περίπτωση που υπάρχουν συμβόλαια για μεταφορά άλλων φορτίων σε μετέπειτα χρονική στιγμή από αυτή που αντιστοιχεί η μεταφορά του υπό εξέταση φορτίου, τότε η μεταφορά του φορτίου που εξετάζεται δεν πρέπει να επηρεάζει την εκτέλεση των ήδη συμφωνηθέντων μεταφορών.
- Για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η μεταφορά του φορτίου το πλοίο να είναι ενεργό και να μην πρέπει να παρευρεθεί σε κάποιο λιμάνι ανενεργό.

Από το σύνολο των φορτίων που καλύπτουν τους παραπάνω περιορισμούς το τμήμα ναύλωσης πρέπει να επιλέξει εκείνα τα φορτία για τα οποία θα κάνει περαιτέρω αξιολόγηση και για τα οποία ενδεχομένως να προχωρήσει σε διαπραγματεύσεις. Στις περιπτώσεις που είναι μεγάλο το πλήθος των φορτίων που προέκυψαν και τα στοιχεία που πρέπει να αξιολογηθούν είναι πάρα πολλά, η εμπειρία των στελεχών που εκτελούν την διαδικασία έχει καθοριστικό ρόλο. Το σύνολο πάντως των κριτηρίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των φορτίων, δεν είναι αντικειμενικό σύνολο αλλά εξαρτάται από την πολιτική που ακολουθεί η κάθε εταιρεία. Πιθανά κριτήρια τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή φορτίων είναι:

- το αναμενόμενο κέρδος το οποίο εξαρτάται από την μέση τιμή του ναύλου που επικρατεί στην αγορά για το συγκεκριμένο είδος μεταφοράς, την μεταφερόμενη ποσότητα του φορτίου, την απόσταση του λιμανιού φόρτωσης από το λιμάνι διαθεσιμότητας του πλοίου, την απόσταση του λιμανιού φόρτωσης από το λιμάνι εκφόρτωσης.
- το χρονικό διάστημα για το οποίο αναζητούνται φορτία και η εκτίμηση της εταιρείας για την ύπαρξη επιπλέον ζήτησης σε μελλοντικό χρόνο για μεταφορά φορτίων το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- οι εκτιμήσεις της εταιρείας για το πώς θα κυμανθούν οι ναύλοι στην αγορά το χρονικό διάστημα για το οποίο αναζητούνται φορτία.
- η περιοχή εμπορίου στην οποία βρίσκονται τα λιμάνια εκφόρτωσης.
- η θαλάσσια διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει το πλοίο κατά την μεταφορά κάθε φορτίου
- η αξιοπιστία της πηγής πληροφόρησης για κάθε φορτίο.

Το σύνολο των φορτίων που επιλέγεται αξιολογείται περαιτέρω κυρίως με την ανάλυση κόστους μεταφοράς και με την εκτίμηση του ναύλου που θα ζητηθεί για κάθε φορτίο. Με βάση την αξιολόγηση που πραγματοποιείται προκύπτει μια κατάταξη των φορτίων ανάλογα με τα περιθώρια κέρδους που επιτρέπει το κάθε φορτίο. Στην συνέχεια η εταιρεία αρχίζοντας από το φορτίο με την καλύτερη αξιολόγηση ξεκινάει διαπραγματεύσεις με τον διαμεσολαβητή ή τον ιδιοκτήτη του φορτίου. Ανάλογα με την εξέλιξη των διαπραγματεύσεων και αν υπήρξε τελική συμφωνία ή όχι, το τμήμα ναύλωσης μπορεί να ξεκινήσει διαπραγματεύσεις με το επόμενο φορτίο που προέκυψε από την αξιολόγηση. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι έως ότου επέλθει συμφωνία για την μεταφορά κάποιου φορτίου.

6.2.2 Ανάλυση Ναυτιλιακών Πληροφοριακών Συστημάτων

Γενικά τα προϊόντα τα οποία έχουν κάνει την εμφάνιση τους στην αγορά της ναυτιλίας μπορούν να χωριστούν σε Αυτόνομα Συστήματα (Standalone Systems), Πηγές Άμεσης Πληροφόρησης (Online Information Sources), Περιοχές Ηλεκτρονικού Εμπορίου (Electronic Market Places) και Υβριδικά Συστήματα (Hybrid Systems). Τα αυτόνομα συστήματα όπως τα [20], [30] χρησιμοποιούνται συνήθως για υπολογισμό ταξιδιού (voyage estimation) και ανάλυση χρονοναύλωσης (time charter) και δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη ευφυΐα. Οι Πηγές Άμεσης Πληροφόρησης όπως τα [9], [52], [68], [16] παρέχουν στους συνδρομητές πολλές "χρονικές" πληροφορίες όπως δείκτες, θέσεις πλοίων, τιμές καυσίμων κτλ. Οι πληροφορίες που παρέχονται είναι πάρα πολλές και για να εκτιμηθούν χρειάζεται μεγάλη εμπειρία.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο όγκος των δεδομένων που έχουν να διαχειριστούν οι ναυτιλιακές εταιρείες, η πολυπλοκότητα των υπολογισμών και η διασπορά της πληροφορίας σε διάφορες πηγές, καθιστά αναγκαία την χρήση πληροφοριακών συστημάτων και του διαδικτύου για την διευκόλυνση της διαδικασίας εύρεσης φορτίου και διαπραγμάτευσης ναύλωσης. Επομένως τα πληροφορικακά συστήματα

στην ναυτιλιακή αγορά μπορούν επιπρόσθετα να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες.

Συστήματα εύρεσης και διαχείρισης πληροφορίας: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα πληροφοριακά συστήματα που χρησιμοποιούν οι εταιρείες για να βρίσκουν τις αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την μορφοποίηση της πληροφορίας των διαθέσιμων φορτίων προς μεταφορά. Η μη υιοθέτηση μιας διεθνώς αναγνωρισμένης μορφοποίησης της πληροφορίας για την περιγραφή των διαθέσιμων προς μεταφορά φορτίων δυσχεραίνει την χρησιμοποίηση πληροφοριακών συστημάτων που διαχειρίζονται όλα τα διαθέσιμα φορτία για τα οποία είναι ενήμερη μια εταιρεία. Το πρόβλημα αυτό προσπαθούν να το αντιμετωπίσουν κάποια εργαλεία τα οποία εκμεταλλεύονται την χρήση συγκεκριμένων λέξεων και μοτίβων στην ήδη υπάρχουσα πληροφορία για να την μετατρέψουν σε μια κοινή μορφοποίηση την οποία διαχειρίζονται τα υπόλοιπα πληροφοριακά συστήματα της εταιρείας.

Συστήματα ανάλυσης κόστους ταξιδιού: Με τα συστήματα αυτά, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στις ναυτιλιακές εταιρείες, πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση του κόστους εκτέλεσης ενός συγκεκριμένου ταξιδιού. Στα συστήματα αυτά, ο χρήστης καθορίζει τα στοιχεία ενός φορτίου και τα στοιχεία το πλοίου για το οποίο θέλει να εξετάσει την ναύλωση και το σύστημα πραγματοποιεί λεπτομερής

ανάλυση του εκτιμώμενου κόστος της μεταφοράς. Τέτοια συστήματα τις περισσότερες φορές επικοινωνούν με συστήματα υπολογισμού αποστάσεων μεταξύ λιμανιών έτσι ώστε να καθορίσουν το κόστος εκτέλεσης. Τα συστήματα αυτά δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει την τιμή του ναύλου ανά ημέρα ή μεταφερόμενο τόνο, ανάλογα με το τι αυτός επιθυμεί για να υπολογίσουν στην συνέχεια το αναμενόμενο κέρδος. Τέτοιου είδους συστήματα είναι χρήσιμα τόσο για την αξιολόγηση ενός φορτίου όσο και κατά την διαπραγμάτευση της μεταφοράς του.

Συστήματα βέλτιστης ανάθεσης φορτίων σε πλοία: Τα συστήματα αυτά πραγματοποιούν την βέλτιστη δρομολόγηση πλοίων ανάμεσα σε ένα σύνολο ενεργειών φόρτωσης και εκφόρτωσης ενός προκαθορισμένου συνόλου φορτίων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος εξυπηρέτησης των συγκεκριμένων φορτίων. Τα συστήματα αυτά είναι λιγοστά στην αγορά των ναυτιλιακών ηλεκτρονικών προγραμμάτων καθώς έχουν αναπτυχθεί από λιγοστές ναυτιλιακές εταιρείες οι οποίες δραστηριοποιούνται στο χώρο της βιομηχανικής αγοράς.

Ηλεκτρονικές αγορές: Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των ηλεκτρονικών αγορών και στην διαδικασία ναύλωσης. Για την ακρίβεια οι ενδιαφερόμενοι για μεταφορά φορτίου μέσω θαλάσσης, καταχωρούν τα στοιχεία για κάθε φορτίο προς μεταφορά σε συγκεκριμένους

δικτυακούς τόπους, από όπου οι εγγεγραμμένες ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να αναζητήσουν φορτία προς μεταφορά. Συχνά τέτοια συστήματα μετατρέπονται σε δικτυακούς πλειστηριασμούς όπου κάθε εταιρεία καταθέτει την δική της προσφορά για το φορτίο που ενδιαφέρεται και ο κάτοχος του φορτίου αποφασίζει για την προσφορά την οποία θα δεχθεί. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου δίνεται στις ναυτιλιακές εταιρείες η δυνατότητα να καταγράψουν στο σύστημα τα πλοία που διαθέτουν και να ενημερώνουν για την θέση των πλοίων και την κατάσταση τους. Με αυτό τον τρόπο οι ηλεκτρονικές αγορές κάνουν αντιστοίχηση πλοίων και φορτίων και παρουσιάζουν στις εταιρείες ένα σύνολο από φορτία που είναι εφικτό να μεταφερθούν από ένα συγκεκριμένο πλοίο που θα βρίσκεται σε μια δεδομένη περιοχή για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Σε ορισμένες από αυτές τις ηλεκτρονικές αγορές παρέχονται εργαλεία ανάλυσης κόστους ενός ταξιδιού έτσι ώστε να διευκολύνουν τις ναυτιλιακές εταιρείες στην επιλογή της πιο συμφέρουσας μεταφοράς φορτίου.

Όπως γίνεται αντιληπτό η διαδικασία της ναύλωσης υποστηρίζεται με ηλεκτρονικά μέσα, κυρίως στο στάδιο της ενημέρωσης των διαθέσιμων φορτίων και σε περιορισμένες περιπτώσεις στο στάδιο του διαχωρισμού των φορτίων που μπορούν να μεταφερθούν από ένα συγκεκριμένο πλοίο. Η εύρεση των πιο κερδοφόρων διαθέσιμων φορτίων στηρίζεται, λόγο του όγκου των δεδομένων και των ελέγχων

που πρέπει να πραγματοποιηθούν, στην διεξοδική μελέτη ενός μόνο συνόλου διαθέσιμων φορτίων. Η επιλογή του συνόλου αυτού των φορτίων που αξιολογούνται γίνεται εμπειρικά χωρίς την χρήση πληροφοριακών συστημάτων ενώ και η ίδια η αξιολόγηση των φορτίων που προκύπτουν στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία των ατόμων που την πραγματοποιούν με μοναδική ηλεκτρονική υποστήριξη τα πακέτα ανάλυσης κόστους.

6.3 Υπολογισμός Ταξιδιού

Ο Υπολογισμός Ταξιδίου (ΥΤ), (Voyage Estimation - VE) είναι ένας απλός, ντετερμινιστικός υπολογισμός που πραγματοποιείται για μια πιθανή εκτέλεση μια εντολής μεταφοράς φορτίου από ένα πλοίο. Ο συγκεκριμένος υπολογισμός λαμβάνει υπόψη στοιχεία όπως η κατανάλωση του πλοίου, η ταχύτητα του, οι ρυθμοί φόρτωσης και εκφόρτωσης αλλά όχι στοιχεία όπως οι μελλοντικές τιμές καυσίμων ή οι καιρικές συνθήκες. Όλες οι εκτιμήσεις γίνονται από τον διαχειριστή ναυλώσεων οι οποίες και δίνονται ως σταθερές στον υπολογισμό. Οι είσοδοι του ΥΤ περιλαμβάνουν στοιχεία και χαρακτηριστικά των πλοίων, των εντολών μεταφοράς φορτίου και των λιμανιών. Οι έξοδοι του ΥΤ περιλαμβάνουν τον αριθμό των ημερών που ένα πλοίο ταξιδεύει

με έρμα και με φορτίο, φορτώνει και ξεφορτώνει, το σύνολο της εκτιμώμενης διάρκειας του ταξιδιού, το συνολικό κόστος των απαραίτητων καυσίμων, το συνολικό κόστος του ταξιδιού και το εκτιμώμενο κέρδος ή ζημιά.

Τα έσοδα ενός ταξιδιού ή ναύλα πολλές φορές αναφέρονται σε Αντίστοιχο Ναύλωσης Χρόνου (ΑΝΧ) – Time Charter Equivalent (TCE). .Το ΑΝΧ είναι ένας κλασσικός τρόπος να περιγραφεί η πληρωμή για μία ναύλωση για ένα μεμονωμένο ταξίδι. Το συνολικό ποσό διαιρείται με την διάρκεια σε ημέρες της ναύλωσης. Είναι δηλαδή μια απλή κανονικοποίηση που γίνεται για την άνεση στη σύγκριση αριθμητικών τιμών και που αγνοεί τις διαφορές ανάμεσα στις Ν/Τ και τις Ν/Χ όπως το ρίσκο και η σημασία της συνολικής διάρκεια του ταξιδιού.

6.4 Δεσπόζουσες Επιχειρηματικές Πρακτικές

Το βασικότερο επιχειρησιακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα ό διαχειριστής ναύλωσης (πέρα από το στόλο πλοίων που διαχειρίζεται!) είναι η ποσότητα της πληροφορίας με την οποία κατακλύζεται και πιο συγκεκριμένα η αξιοπιστίας των πληροφοριών και η αποδοτική χρήση τους. Επομένως, μιας και οι διαχειρις΄τες ναύλωσης σπάνια υποθέτουν τολμηρές επιλογές και πρακτικές για να

μην θέσουν σε κίνδυνο το πλήρωμα και το πλοίο, συνήθως συνεργάζονται με ένα κλειστό συνεργαζόμενο δίκτυο μεσιτών και χειρίζονται ένα περιορισμένο αλλά αξιόπιστο αριθμό πληροφοριών.

Σε αυτό το πλαίσιο, είναι υποχρεωμένοι, βασισμένο κυρίως στην εμπειρία και την διαίσθησή τους, να λαμβάνουν σε πολύ στενά χρονικά περιθώρια αποφάσεις που σχετίζονται με σκληρές διαπραγματεύσεις και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την άμεση κερδοφορία των εταιριών τους. Μια πιο αποδοτική μέθοδος αξιολόγησης των διάφορων εντολών μεταφοράς φορτίου δεν θα δεν θα τους επέτρεπε να αυξήσουν τον διαθέσιμο χρόνο απόκρισής τους αλλά θα τους επέτρεπε παράλληλα να ασχολούνται με ένα μεγαλύτερο αριθμό εντολών, με συνέπεια να είναι σε θέση να μεγαλώσουν το δίκτυο συνεργατών τους και να λαμβάνουν υπόψη ευκαιρίες για τις οποίες προηγουμένως δεν λάμβαναν καν γνώση. Γενικά, οι δεσπόζουσες πρακτικές μπορούν να χαρακτηριστούν ως απλοϊκές και συντηρητικές αν και το συγκεκριμένο επιχειρησιακό μοντέλο είναι εκ φύσης του πολύ δυναμικό και πληροφοριακά συστήματα θα μπορούσαν να διευκολύνουν τις επιχειρηματικές διαδικασίες με τις οποίες ασχολούνται οι διαχειριστές ναυλώσεων με την παροχή υπηρεσιών επεξεργασίας δεδομένων και διαχείριση ροής εργασιών. Η προσέγγισή μας προτείνει ότι για την κατάκτηση ενός ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος κατά την διάρκεια αξιολόγησης ενός μεγάλου αριθμού

εντολών μεταφοράς φορτίου και πραγματοποίηση των αντίστοιχων διαπραγματεύσεων, τα τμήματα ναυλώσεων των ναυτιλιακών εταιριών θα πρέπει να αναπτύξουν την υποδομή για την απόκτηση όσο το δυνατό περισσότερο όγκο δομημένων πληροφοριών σχετικά με την ναυτιλιακή αγορά και να χρησιμοποιούν τον προτεινόμενο αλγόριθμο για την επιλογή των πιο κερδοφόρων και με μικρότερο ρίσκο ευκαιριών από μια μακριά λίστα διαθέσιμων επιλογών. Ο αλγόριθμος δεν είναι σχεδιασμένος να ανταγωνίζεται την γνώση και την επιχειρησιακή πρακτική του διαχειριστή ναυλώσεων αλλά περισσότερο να τον υποστηρίζει και να ενισχύει την ικανότητά του διαλογής ενδιαφερουσών επιλογών όταν πολλές ευκαιρίες είναι διαθέσιμες. Σε καμία περίπτωση ο αλγόριθμος δεν σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει την κρίση του διαχειριστή ναυλώσεων .Ο έμπειρος διαχειριστής ναυλώσεων είναι μακράν το καλύτερο εργαλείο για την διαπραγμάτευση πιθανών ταξιδιών όταν λίγα πλοία και λίγες εντολές μεταφοράς φορτίου είναι διαθέσιμες. Ωστόσο, όσο ο διαθέσιμος στόλος πλοίων και ο όγκος του αριθμού των διαθέσιμων εντολών μεταφοράς φορτίου αυξάνεται σημαντικά μεγαλώνει, τότε αναδύεται η ανάγκη για ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που να μπορεί να υποδείξει εφικτές και ενδιαφέρουσες επιχειρηματικές επιλογές μιας και σε αυτή την περίπτωση ο διαχειριστής ναυλώσεων απλά δεν μπορεί να αξιολογήσει πλήρων μια άπειρη λίστα πιθανών ταξιδιών. Το σύστημα υποβοηθά στην «πλοήγηση» ανάμεσα σε όλες τις διαθέσιμες επιλογές

απομακρύνοντας τις ανεπιθύμητες και επιτρέπει στον διαχειριστή ναυλώσεων να επιλέξει τις καλύτερες ο ίδιος προσωπικά.

6.5 Ο Αλγόριθμος Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίων

Κατά την διάρκεια της έρευνας ενός αλγορίθμου για το ΠΑΕΜΦ, εξετάστηκε ως το βέλτιστο αποτέλεσμα, η πιθανότητα ανάπτυξης ενός πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος αξιολόγησης των επιχειρησιακών επιλογών. Σε περιπτώσεις όπου οι ειδικοί βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία και την διαίσθηση, ένα υπολογιστικό σύστημα ίσως θα μπορούσε να την προσεγγίσει και να την προσομοιώσει με επιτυχία με την χρήση λεπτομερών και περίπλοκων επιχειρησιακών μοντέλων πλαισιωμένο από μια διαδικασία απόκτησης πληροφοριών. Η καλή επίδοση ενός τέτοιου συστήματος σε αυτό τον τομέα της ναυτιλιακής αγοράς θα βοηθούσε τους διαχειριστές ναυλώσεων να οδηγούνται κατευθείαν στην τελική απόφαση δίχως να περνούν από το στάδιο των εκτενών υπολογισμών και ανάλυση της αγοράς και του ανταγωνισμού. Κάτι τέτοιο αποδείχτηκε ωστόσο να είναι μακριά από το μέτρο του εφικτού για το συγκεκριμένο επιχειρησιακό μοντέλο.

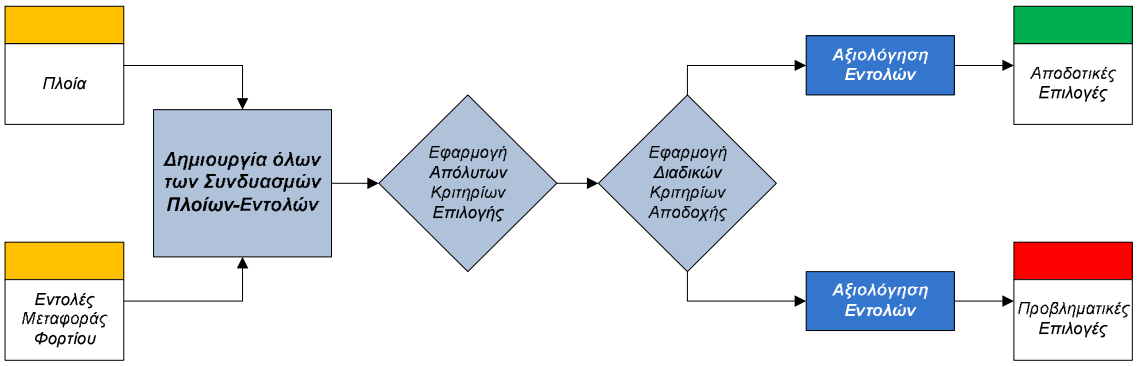
Οι δύο βασικοί λόγοι για αυτό είναι: i) το γεγονός ότι δεν υπάρχει δυνατότητα απόκτησης για όλα τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα σχετικά με τις ναυλώσεις και τις εντολές μεταφοράς φορτίου ώστε να επεξεργαστούν από ένα υπολογιστικό σύστημα – όπως έχει ήδη τονιστεί , οι οντότητες στην ναυτιλιακή αγορά είναι πολύ διστακτικές στο να διαμοιράζουν πληροφορίες σχετικά με τις συμφωνίες και τις κινήσεις που πραγματοποιούν. Πάρα πολλοί σημαντικοί παράμετροι και πολλά δεδομένα δεν γίνονται γνωστά ποτέ. Επιπρόσθετα, ένα συγκεκριμένο μέρος των πληροφοριών που δημοσιεύονται περιέχουν ημιτελή ή ανακριβή δεδομένα ή ακόμη εντελώς ψευδά. ii) Η επιθυμία πραγματοποίηση μιας ναύλωσης βασίζεται σε εκτιμήσεις, όπως η τάση της αγοράς, οι τιμές των καυσίμων και οι συνθήκες στα λιμάνια. Στατιστικά ίσως αξίζει η μοντελοποίηση και η προσπάθεια εκτίμησης αυτών των παραμέτρων αλλά η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα δεν μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να υποστηρίξουν την πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία λήψεων αποφάσεων. Σε κάθε περίπτωση, επαναχρησιμοποιήσιμα στατιστικά στοιχεία στην διάθεση των ειδικών είναι πάντα ευπρόσδεκτα και χρήσιμα.

Ένα χαρακτηριστικά παράδειγμα είναι το ότι σε περίπτωση μιας παγκόσμιας κρίσης οι τιμές ναυλώσεων πέφτουν. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν εντολές μεταφοράς φορτίου που να θέλουν την χρήση του πλοίου για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμα

και εάν το τίμημα είναι πολύ καλό κατά την διάρκεια της κρίσης, το πλοίο θα παραμένει ναυλωμένο σε χαμηλή τιμή για αρκετό καιρό μετά την κρίση οπότε και οι τιμές πιθανότατα θα έχουν ανακάμψει αισθητά. Από την άλλη, η απόφαση το πλοίο να παραμείνει ανενεργό με την απόρριψη τέτοιων επιλογών συνεπάγεται μια σημαντική οικονομική ζημιά. Στην πραγματικότητα, οι διαχειριστές ναυλώσεων αντιμετωπίζουν τέτοια διλλήματα σχεδόν σε καθημερινή βάση κάθε φορά που ένα πλοίο ελευθερώνεται ακόμα και εάν η αγορά είναι σταθερή

Για την εκμετάλλευση τεχνολογιών που συνήθως εφαρμόζονται σε συστήματα αυτοματοποίησης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων αποφασίστηκε να επιτρέπεται από τον προτεινόμενο Αλγόριθμό Αξιολόγησης Εντολών Μεταφοράς Φορτίου (ΑΑΕΜΦ) στον τελικό χρήστη οι διαθέσιμες επιλογές να ταξινομούνται σύμφωνα με την αξιολογημένη τιμή από τον προτεινόμενο αλγόριθμο. Αυτή η επιλογή εμπεριέχει το ελάχιστο δυνατό ρίσκο μιας και το σύστημα δεν λαμβάνει την τελική απόφαση είτε θετική (για την ναύλωση ενός πλοίου) είτε αρνητική (απόρριψη μιας εφικτής εκτέλεσης μιας εντολής μεταφοράς φορτίου που φαίνεται να είναι μη επικερδής ή μη επιθυμητή). Είναι επίσης βοηθητικό για την πραγματοποίηση what-if σεναρίων αφού ο ειδικός διαχειριστής ναυλώσεων μπορεί να δει άμεσα και να συγκρίνει τα αποτελέσματα του συστήματος με την δική του

κρίση. Ο ΑΑΕΜΦ βασίζεται κυρίως στην στατιστική επεξεργασία ενός απλού αλλά πρωτότυπου και αποτελεσματικού μοντέλου για το οικονομικό αποτέλεσμα μίας ναύλωσης. Μια σχηματική αναπαράσταση της ροής δεδομένων και διαδικασιών του αλγορίθμου παρουσιάζεται στο Σχήμα 18.



Σχήμα 18. Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου αξιολόγησης εντολών μεταφοράς φορτίων.

Η εκτέλεση του αλγορίθμου πραγματοποιείται σε δύο φάσεις, «φιλτράρισμα» και «αξιολόγηση». Κατά την διάρκεια του φιλτραρίσματος ο αλγόριθμος διαχωρίζει τις πιθανές ναυλώσεις σε εφικτές και προβληματικές. Κατά την διάρκεια της αξιολόγησης ο αλγόριθμος υπολογίζει μια τιμή ποσοτικοποιώντας την ποιότητα κάθε πιθανής ναύλωσης που πέρασε από την διαδικασία του φιλτραρίσματος.

Οι είσοδοι του αλγορίθμου περιλαμβάνουν το σύνολο των διαθέσιμων εντολών μεταφοράς φορτίου και το σύνολο των πλοίων που διαχειρίζεται ο διαχειριστής ναυλώσεων. Αρχικά διαγράφονται εντολές με περασμένη ημερομηνία. Ωστόσο όσο αφορά τα πλοία δεν

λαμβάνουμε υπόψη μόνο τα ελεύθερα αλλά όλο το στόλο αφού θα πρέπει να σχεδιάζουμε για το μέλλον – κάθε πιθανή ασυμβατότητα θα ξεκαθαριστεί κατά την φάση του φιλτραρίσματος. Έτσι ο αλγόριθμος δημιουργεί όλες τις πιθανές δυάδες εντολών με πλοία. Κατά την διάρκεια του φιλτραρίσματος αυτέ οι δυάδες φιλτράρονται ώστε να αποκλειστούν αδύνατες επιλογές και να διαχωριστούν οι προβληματικές. Στο τέλος, οι δυάδες που «επέζησαν» του φιλτραρίσματος αξιολογούνται ως προς την ποιότητά τους λαμβάνοντας υπόψη το εκτιμώμενο κέρδος συμπεριλαμβανομένου του ακριβώς επόμενου πιθανού ταξιδιού με έρμα βάση στατιστικής ανάλυσης ιστορικών δεδομένων. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης στατιστικής ανάλυσης ο αλγόριθμος πρέπει να έχει γνώση όλων των δεδομένων σχετικά με τα λιμάνια και τις μεταξύ τους αποστάσεις, τα πλοία, τις τιμές των καυσίμων καθώς επίσης και πληροφορίες για ναυλώσεις που έχουν γίνει στο παρελθόν στην παγκόσμια ναυτιλιακή αγορά. Η ποιότητα και η ποσότητα των διαθέσιμων δεδομένων επηρεάζουν την απόδοση του ΑΑΕΜΦ.

Οι έξοδοι του συστήματος είναι συνδυασμοί πιθανών ταξιδιών-ναυλώσεων (συνδυασμοί φορτιών-πλοίων) ταξινομημένοι με κριτήριο το αριθμητικό αποτέλεσμα της φάσης αξιολόγησης. Παρουσιάζονται ξεχωριστά οι "προβληματικές" περιπτώσεις ναύλωσης από τις πλήρως αποδεκτές, αφού είναι πάλι θέμα πολιτικής του πλοιοκτήτη το αν και

πότε θα διακινδυνεύσει να ναυλώσει ένα πλοίο ακριβά αλλά κάτω από δυσμενείς συνθήκες.

6.5.1 Φάση Φιλτραρίσματος

Η φάση φιλτραρίσματος του ΑΑΕΜΦ περιλαμβάνει δύο διαδικασίες φιλτραρίσματος που εκτελούνται σειριακά. Η πρώτη διαδικασία φιλτραρίσματος, που ονομάζεται Φίλτρο Απόλυτων Κριτηρίων Επιλογής (ΦΑΚΕ), λαμβάνει υπόψη του όλους τους συνδυασμούς εντολών μεταφοράς φορτίου και πλοίων και αποσύρει κάθε περίπτωση που είναι αδύνατο να εκτελεστεί. Όλοι οι τεχνικά πραγματοποιήσιμοι συνδυασμοί προωθούνται στην δεύτερη διαδικασία φιλτραρίσματος, που ονομάζεται Φίλτρο Διάδικων Κριτηρίων Επιλογής (ΦΔΚΕ), η οποία δεν αντιδιαστολή με το ΦΑΚΕ δεν διαγράφει καμία επιλογή αλλά τις διαχωρίζει ανάλογα με το εάν η πολιτική της ναυτιλιακής εταιρίας είναι θετική ή προσεκτική σχετικά με την πραγματοποίηση της αντίστοιχης νάυλωσης βάση μη-οικονομικών παραμέτρων όπως είναι λόγου χάρη η αξιοπιστία του μεσίτη. Ο χρήστης μπορεί έτσι να δώσει το μεγαλύτερο μέρος της προσοχής του στις καλύτερες επιλογές και να ελέγξει τις χειρότερες μόνο αν εκεί παρουσιαστεί κάποιος πολύ ελκυστικός ναύλος, αν η αγορά είναι κακή

και όλες οι επιλογές της πρώτης κατηγορίας προσφέρουν χαμηλούς ναύλους, κτλ.

6.5.2 Φίλτρο Απόλυτων Κριτηρίων Επιλογής

Το ΦΑΚΕ διαγράφει τις αδύνατες ναυλώσεις και δημιουργεί ένα υποσύνολο F' του F που περιλαμβάνει όλους τους συνδιασμούς μεταξύ εντολών μεταφοράς φορτίου και διαθέσιμων πλοίων που μπορούν να πραγματοποιηθούν. ΥΗ διαδικασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 19.

Algorithm 1 Feasibility Filter

Require: $\mathcal{F} = (\mathcal{V}, \mathcal{C})$
  Set $\mathcal{F}' = \emptyset$
  for all $(v, c) \in \mathcal{F} : v \in \mathcal{V},\ o \in \mathcal{C}$ **do**
    if (v can transport ct_c) AND ($s_v \geq cq_c$) AND
    (v can travel to pl_c) AND (v can travel to pd_c) AND
    (v can dock in pl_c) AND (v can dock in pd_c) AND
    ($\mathrm{ETA}(v, pl_c) \leq twe_c$) AND ($\mathrm{ETS}(v) \geq \mathrm{ETD}(v, pd_c)$) **then**
      Set $\mathcal{F}' = \mathcal{F}' \cup \{(v, c)\}$
    end if
  end for
  return $\mathcal{F}'$

Σχήμα 19. Φίλτρο Απόλυτων Κριτηρίων Επιλογής

Οι κανόνες που υλοποιεί το ΦΑΚΕ είναι οι παρακάτω:

- Το πλοίο είναι ικανό να μεταφέρει το προτεινόμενο φορτίο.

- Το πλοίο επιτρέπεται από τους διεθνείς κανονισμούς να ταξιδέψει στις προτεινόμενες περιοχές (λιμάνια φορτώσεως και εκφορτώσεως, περιοχές εμπορίου κτλ.)
- Το πλοίο είναι ικανό να ταξιδέψει στις προτεινόμενες περιοχές (λιμάνια φορτώσεως και εκφορτώσεως, περιοχές εμπορίου κτλ.) (αυτός ο κανόνας είναι τελείως διαφορετικός από τον προηγούμενο και εξαρτάται από τεχνικούς παράγοντες όπως το βύθισμα του πλοίου σε σύγκριση με το βάθος των λιμανιών κτλ.)
- Το πλοίο είναι ικανό να ταξιδέψει την απαιτούμενη περίοδο (για παράδειγμα δεν έχει ανάγκη περιοδικών επισκευών πριν τη λήξη της ναύλωσης)
- Το πλοίο είναι διαθέσιμο για την απαιτούμενη περίοδο (για παράδειγμα, η προηγούμενη ναύλωση τελειώνει αρκετά νωρίς ώστε να ξεκινήσει κανονικά η επόμενη)

Η συνάρτηση $ETA(v, pl_c)$ υπολογίζει τον εκτιμώμενο χρόνο άφιξης του πλοίου v στο λιμάνι pl_c, η συνάρτηση $ETD(v, pd_c)$ υπολογίζει τον εκτιμώμενο χρόνο αναχώρησης του πλοίου v από το λιμάνι pd_c και η συνάρτηση $ETS(v)$ υπολογίζει την χρονική στιγμή του επόμενου ελέγχου για το πλοίο v. Όλες οι πιο πάνω συναρτήσεις έχουν συμπεριφοράς «καλύτερης περίπτωσης» ώστε να μην αποκλείουν επιλογές που έχουν στενά χρονικά περιθώρια.

6.5.3 Φίλτρο Δυαδικών Κριτηρίων Επιλογής

ΤΟ ΦΔΚΕ δεν διαγράφει επιλογές, απλώς διαχωρίζει από το σύνολο F' όλες τις επιλογές με τις οποίες η εταιρική πολιτική δεν συμφωνεί και τις εισάγει στο σύνολο F''. Η διαδικασία περιγράφεται στο Σχήμα 20. Η εφαρμογή κάθε κανόνα του ΦΔΚΕ είναι ανεξάρτητη από την εφαρμογή των υπόλοιπων: ένας συνδυασμός περνά το φίλτρο αν ανταποκρίνεται σε όλες τις απαιτήσεις, η κάθε μία των οποίων αποτιμάται ξεχωριστά. Έτσι γίνεται εύκολη η εισαγωγή νέων κριτηρίων στο μέλλον.

Algorithm 2 Comfortability Filter

Require: set $\mathcal{F}'$: the output of Feasibility Filter
  Set $\mathcal{F}'' = \emptyset$
  for all $(v, c) \in \mathcal{F}' : v \in \mathcal{V},\ o \in \mathcal{C}$ **do**
    if ($ct_c \notin$ `AllowedCargos`) `OR`
    ($RoutingPoints(v, c) \in$ `PortsToAvoid`) `OR`
    ($RoutingPoints(v, c) \in$ `ExtremeWeatherAreas`) `OR`
    ($r_c \notin$ `TrustedCharteres`) `OR` ($b_c \notin$ `TrustedBrokers`) `OR`
    ((Market Index for $v \leq$ `LowIndexThreshold`) `AND`
      ($ETD(v, pd_c) \geq$ `now` + `LongCharterThreshold`)) `OR`
    ((Market Index for $v \geq$ `HighIndexThreshold`) `AND`
      ($ETD(v, pd_c) \leq$ `now` + `ShortCharterThreshold`)) `OR`
    (Number of vessels in area of $pd_c \geq$ `CompetitionThreshold`) **then**
      Set $\mathcal{F}' = \mathcal{F}' \setminus \{(v, c)\}$
      Set $\mathcal{F}'' = \mathcal{F}'' \cup \{(v, c)\}$
    end if
  end for
  return $\mathcal{F}'$, $\mathcal{F}''$

Σχήμα 20. Φίλτρο Δυαδικών Κριτηρίων Επιλογής

Οι κανόνες που υλοποιεί το ΦΔΚΕ είναι οι παρακάτω:

- Ο τύπος του προτεινόμενου φορτίου είναι στον κατάλογο που ο πλοιοκτήτης προτιμά να αποφεύγει
- Η διαδρομή του προτεινόμενου ταξιδιού είναι στον κατάλογο που ο πλοιοκτήτης προτιμά να αποφεύγει
- Το προτεινόμενο ταξίδι περνά από προσωρινώς επικίνδυνες περιοχές (για παράδειγμα εξαιτίας πολέμου)
- Το προτεινόμενο Ταξιδιού περνά από περιοχές με μεγάλη πιθανότητα για ιδιαίτερη κακοκαιρία κατά την απαιτούμενη περίοδο
- Ο ναυλωτής είναι άγνωστος ή υπάρχει προτίμηση του πλοιοκτήτη να τον αποφεύγει
- Ο πράκτορας δεν είναι γνωστός ή υπάρχει προτίμηση του πλοιοκτήτη να τον αποφεύγει
- Η αγορά κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και η διάρκεια του προτεινόμενου Ταξιδιού είναι αρκετά μεγάλη (ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα σχετικά κατώφλια (thresholds), αν και θα προσφέρονται και προεπιλογές)
- Η αγορά κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και η διάρκεια του προτεινόμενου Ταξιδιού είναι αρκετά μικρή (ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα σχετικά κατώφλια (thresholds), αν και θα προσφέρονται και προεπιλογές)

- Πολύ υψηλό επίπεδο ανταγωνισμού προβλέπεται στο λιμάνι εκφορτώσεως ή κοντά σε αυτό (οι μελλοντική θέση ανταγωνιστικών, δηλαδή παρόμοιων καραβιών συνάγεται από τα συμβόλαια που κλείνουν)

6.5.4 Φάση Αξιολόγησης

Η φάση αξιολόγησης του ΑΑΕΜΦ ένας επαυξημένος ΥΤ που λαμβάνει υπόψη το ταξίδι με έρμα που εκτιμά ότι θα απαιτηθεί να διανυθεί από κάποιο πλοίο στο τέλος κάποιας ναύλωσης. Το τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι τιμές (utility) που εκφράζουν την αξιολόγηση κάθε συνδυασμού πλοίου και εντολής μεταφοράς φορτίου στα σύνολα F', F'' σε φθίνουσα σειρά ταξινόμησης με τις πρώτες τιμές να εκφράζουν τις πιο κερδοφόρες και τις πιο επιλογές που παρουσιάζουν το λιγότερο ρίσκο σύμφωνα με το προτεινόμενο αλγόριθμο.

6.5.4.1 Εύρεση Ομοιότητας και Επιλογή Δεδομένων

Το εγχείρημά μας έγκειται στην ανάπτυξη ενός ευφυούς αλγόριθμου που να εξετάζει την εξάρτηση της αξίας ενός προτεινόμενου ταξιδιού ναύλωσης από τον προορισμό του. Είναι φανερό ότι ο προορισμός ενός ταξιδιού επηρεάζει τα κέρδη που θα αποκτηθούν

κατά το επόμενο ταξίδι. Ένα σύστημα πρόβλεψης συνδυασμένο με κανονικό ΥΤ θα μπορούσε θεωρητικά να λύσει το πρόβλημα: έχοντας μάθει τις ακριβείς παραμέτρους που θα χρειαζόντουσαν για τον υπολογισμό του επόμενου ταξιδιού ανάλογα με την τωρινή επιλογή (αν μπορούσανε να χρησιμοποιηθούνε αποτελέσματα όπως αυτά στα οποία στοχεύουν εργασίες όπως οι [1], [5], [98] θα ήτανε δυνατό να βρεθεί ποιο ταξίδι οδηγεί στην πιο κερδοφόρα αλυσίδα ταξιδιών. Είναι όμως αδύνατον στο παρόν επιχειρησιακό μοντέλο να πραγματοποιηθούνε καλές προβλέψεις, καθώς οι άγνωστοι παράγοντες είναι οι τιμές των καυσίμων, η κατάσταση της αγοράς, οι κινήσεις του διεθνούς εμπορικού στόλου, η πολιτική κατάσταση που επικρατεί στον κόσμο, ο καιρός κτλ και κάθε πιθανό ταξίδι υπόκειται σε διαπραγματεύσεις μεταξύ του ιδιοκτήτη του πλοίου και του ναυλωτή.

Αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα ως εξής: χρησιμοποιούμε μια έμμεση ένδειξη, ένα feature, που να είναι σχετικά εύκολο να μετρηθεί και να αντληθεί από ιστορικά δεδομένα (στην περίπτωση που θα παρουσιάσουμε, καλές βάσεις δεδομένων υπάρχουν στα [9], [52], [68], [16]) και που να είναι εφικτό να προβλεφθεί με ικανοποιητική ακρίβεια. Η παράμετρος αυτή δε χρειάζεται να είναι κάποιος παράγοντας που υπολογίζεται κανονικά στον ΥΤ. Πρέπει να εξαρτάται από τις ποσότητες που δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν και η επιρροή τους να μπορεί να εκτιμηθεί, έμμεσα, από αυτήν.

Το μέγεθος αυτής της μελλοντικής διαδρομής καθορίζει το κόστος που θα φέρει στον πλοιοκτήτη η επιλογή του να καταλήξει στον προορισμό που αξιολογείται. Επιπλέον, εμπεριέχει μια έμμεση πληροφορία για τα έσοδα που θα ακολουθήσουν από αυτόν τον προορισμό: μια στατιστική πρόβλεψη για μεγάλη απόσταση δείχνει ότι ιστορικά η αγορά στον προορισμό αυτόν δεν ήταν καλή και για αυτό υπήρξε ανάγκη τα πλοία που έφταναν εκεί να φεύγουν μακριά για να φορτώσουν εκ νέου, ενώ μια καλή αγορά φαίνεται στο ότι κρατάει τα πλοία στην περιοχή της (δηλαδή, φορτώνουν σε αυτήν). Ένα πλεονέκτημα αυτής της μέτρησης είναι ότι είναι πολύ εύκολο να υπολογιστεί η επιρροή της. Απλώς συμψηφίζεται με τα υπόλοιπα έξοδα του Ταξιδιού που ελέγχεται το νέο έξοδο που έχει εκτιμηθεί. Το αποτέλεσμα είναι χρηματικό ποσό και συνεπώς, αν και δεν είναι συγκρίσιμο με αποτελέσματα απλού Υπολογισμού Ταξιδιού, είναι εύκολο να κατανοηθεί και να συγκριθεί με αποτελέσματα που συμπεριλαμβάνουν την πρόβλεψη αλλά αφορούν άλλες πιθανές ναυλώσεις.

Η πρόβλεψη βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα και δείχνει πώς η ζητούμενη τιμή εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του καραβιού, το λιμάνι και την εποχή του χρόνου. Η ακρίβειά της είναι ικανοποιητική διότι δεν προβλέπονται άμεσα οι διάφοροι πολύπλοκοι και έντονα μεταβαλλόμενοι παράγοντες του Υπολογισμού Ταξιδιού,

αλλά η συνολική τους επιρροή μαζί με τα σταθερά αποτελέσματα γεωγραφικών και σταθερών οικονομικών παραγόντων (για παράδειγμα η ιδιότητα ορισμένων περιοχών να παράγουν ορισμένα φορτία).

Όταν πρέπει να αξιολογηθεί ένα ταξίδι, θέλουμε να προβλέψουμε την απόσταση του ταξιδιού με έρμα που θα είναι η αρχή της επόμενης ναύλωσης. Παίρνουμε από το προτεινόμενο ταξίδι τον προορισμό του ως αρχικό λιμάνι για το επόμενο, γνωρίζουμε το είδος και το μέγεθος του καραβιού που εξετάζουμε και βρίσκουμε από τον κλασσικό υπολογισμό ταξιδιού την ημερομηνία όπου θα μπορεί να ξεκινήσει η επόμενη ναύλωση. Η πρόβλεψη του μελλοντικού ταξιδιού με έρμα βάσει αυτών των δεδομένων υλοποιείται με τα εξής βήματα:

6.5.4.1.1 Εύρεση ιστορικών δεδομένων

Πραγματοποιείται κάθε φορά που εισάγονται νέες πραγματοποιημένες ναυλώσεις στο σύστημα. Δομείται μια βάση δεδομένων η κάθε εγγραφή της οποίας είναι ένα (κατά προσέγγιση) ανεξάρτητο στατιστικό δείγμα που συνδέει μια μέτρηση της απόστασης ενός ταξιδιού με έρμα με τις τιμές των παραγόντων από τους οποίους αυτή εξαρτάται σύμφωνα με το μοντέλο που χρησιμοποιούμε – στην πρώτη μας εφαρμογή, μέγεθος και τύπος πλοίου, λιμάνι και εποχή του χρόνου. Οι εγγραφές υπολογίζονται από διαδοχικά ταξίδια που αναφέρονται σε λίστες ναυλώσεων (fixture lists), ενώ προβληματικά

δεδομένα (περιπτώσεις με ελλιπή ή παραπλανητικά – outliers - αποτελέσματα) παραλείπονται.

6.5.4.1.2 Υπολογισμός ομοιότητας

Έχοντας τα δεδομένα για τα ταξίδια με έρμα, οι παράμετροι που επιλέγουμε για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ των ιστορικών δεδομένων και το εκτιμόμενο ταξίδι με έρμα μιας πιθανής ναύλωσης είναι η τοποθεσία του λιμανιού έναρξης του ταξιδίου με έρμα, το μέγεθος του πλοίου και η ημερομηνία του έτους (σεζόν).Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί προσθετικές μετρικές απόστασης(ομοιότητας) βασισμένες στη θεωρία αναγνώρισης προτύπων αλλά και στη utility theory [53] μιας και αυτές αναμένονται να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε η παραμετροποίηση του αλγορίθμου να αποτελεί λογική διαχειριστική διαδικασία, σε αντίθεση με μη-προσθετικές μετρικές που απαιτούν χρόνο και κόπο ώστε να διερευνηθούν και να παραμετροποιηθούν σωστά [3]. Επιπλέον, η προσθετική μορφή της εξίσωσης επιτρέπει σε παραμέτρους να συμπεριληφθούν χωρίς αλλαγή στην μαθηματική μορφή της.

Ορίζουμε ως B το σύνολο των ταξιδιών με έρμα των ιστορικών δεδομένων και για κάθε ταξίδι με έρμα $b, b \in B$ ορίζουμε ps_b το λιμάνι αφετηρία, vs_b το μέγεθος του πλοίου που πραγματοποιεί το ταξίδι με έρμα και st_b το σημείο του έτους στο οποίο το ταξίδι με έρμα ξεκινά. Οι μετρικές απόστασης μεταξύ ενός ταξιδίου με έρμα b και μια

πιθανής ναύλωσης (v, c) υπολογίζονται και κοινωνικοποιούνται στο διάστημα $[0,1]$ από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$pdist(v,c,b) = \frac{dist(pd_c, ps_b) - \min\big(dist(pd_c, p)\big)}{\max\big(dist(pd_c, p)\big) - \min\big(dist(pd_c, p)\big)}, p \in P$$

$$sdist(v,c,b) = \frac{|s_v - vs_b| - \min\left(|s_v - s_x|\right)}{\max\left(|s_v - s_x|\right) - \min\left(|s_v - s_x|\right)}, x \in V$$

$$tdist(v,c,b) = 1 - \left|\frac{2 \cdot \left(|ETD(v, pd_c) - st_b| \; mod \; 365\right)}{365} - 1\right|$$

Όπου $dist(a,b)$ επιστρέφει την απόσταση μεταξύ των λιμανιών a, b. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή των παραπάνω μετρικών, τόσο πιο διαφορετικά είναι τα ιστορικά δεδομένα συγκρινόμενα με την πιθανή ναύλωση και το αντίθετο. Η συνολική ανομοιότητα μεταξύ ενός ιστορικού δεδομένου και μιας πιθανής ναύλωσης δίνεται από την συνάρτηση:

$$dis(v,c,b) = \sqrt{\frac{w_p \cdot pdist(v,c,b)^2 + w_s \cdot sdist(v,c,b)^2 + w_t \cdot tdist(v,c,b)^2}{w_p + w_s + w_t}}$$

Όπου w_p, w_s, w_t είναι βάρη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να ρυθμίζεται η σχετική βαρύτητα κάθε μετρικής στον υπολογισμό της συνολικής ανομοιότητας. Η ομοιότητα, στο διάστημα $[0,1]$ με την τιμή 1 να καθορίζει το πιο όμοιο και το 0 την πιο ανόμοια επιλογή είναι απλά:

$$sim(v,c,b) = 1 - dis(v,c,b)$$

6.5.4.1.3 Επιλογή δεδομένων

Από το προηγούμενο βήμα θα πρέπει να επιλέξουμε τις καλύτερες εγγραφές για την πρόβλεψη. Έχουμε την αξιολόγηση κάθε εγγραφής, με την τιμή της ομοιότητας της ως προς την πιθανή ναύλωση αναφοράς, και πρέπει να διαλέξουμε τον αριθμό των πιο όμοιων δεδομένων θα χρησιμοποιήσουμε. Η επιλογή των πιο όμοιων δεδομένων από το σύνολο των υπολογισμένων μέτρων ομοιότητας θα είναι το στατιστικό δείγμα για την πρόβλεψη για τη ναύλωση υπο εξέταση.

Για κάθε πιθανή ναύλωση (v, c) στα σύνολα F', F''. Ο ΑΑΕΜΦ χρησιμοποιεί μια παραλλαγή του k-κοντινότερου γείτονα (k-nearest neighbor) ευρετικού αλγόριθμου για την επιλογή των πιο όμοιων ταξιδιών με έρμα τα οποία θα συμμετέχουν στον υπολογισμό του utility για την πιθανή ναύλωση έπο εξέταση. Επομένως ο αλγόριθμος δημιουργεί ένα σύνολο $B'_{v,c}$ ταξιδιών με έρμα ($B'_{v,c} \subseteq B$) έτσι ώστε για κάθε ταξίδι $b, b \in B'_{v,c}$ με έρμα καμία μετρική απόστασης από τις $pdist(v, c, b)$, $sdist(v, c, b)$, $tdist(v, c, b)$ να μην συνεισφέρει περισσότερο από k τοις εκατό στην συνολική ανομοιότητα $dis(v, c, b)$.

6.5.4.2 Υπολογισμός Αξιολόγησης

Σε αυτό το σημείο υπάρχει η δυνατότητα να βρούμε εάν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου k-κοντινότερου γείτονα ανήκουν σε

κάποια γνωστή κατανομή χρησιμοποιώντας κριτήρια statistical significance και goodness-of-fit [2], [38], [55], [76] και ιδιαιτέρως το κριτήριο Kolmogorov-Smirnov[55] το οποίο μας επιτρέπει να συγκρίνουμε σύνολα αποτελεσμάτων από διαδοχικά περισσότερες εγγραφές με κλασσικές στατιστικές κατανομές μέχρι να βρούμε ένα σύνολο με κατάλληλο σχήμα ώστε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους της κατανομής. Εναλλακτικά, μπορούμε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους της πιο ταιριαστής στατιστικής κατανομής που βρέθηκε στο προηγούμενο βήμα με τεχνικές maximum-likelihood[88] και να χρησιμοποιήσουμε την κατανομή αντί για τις απλές τιμές.

Σε περίπτωση που βρεθεί μια κατανομή πιθανότητας για τα παρόμοια ταξίδια με έρμα στο σύνολο $B'_{v,c}$ η αντικειμενική συνάρτηση της πιθανής ναύλωσης (v, c) υπό εξέταση υπολογίζεται με τη βοήθεια ολοκληρωτικού λογισμού ([53]) σύμφωνα με την συνάρτηση:

$$u(v,c) = \int_0^\infty g(TCE(v,c)|b) \cdot p(b) \cdot db$$

όπου $b \in B'_{v,c}$, $g(x) = A \cdot \left(1 - e^{-\frac{x}{M}}\right)$, $p(x)$ η πιθανότητα του x και $TCE(v,c)|b$ είναι το ΑΝΧ της πιθανής ναύλωσης (v, c) συμπεριλαμβανομένου το ταξίδι με έρμα b. Η κυρτή μορφή της συνάρτησης $g(x)$, όπως μελετήθηκε από τον Cullinane [28], αναγκάζει την αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης να μειώνεται όσο η διακύμανση του εκτιμώμενου ταξιδιού με έρμα αυξάνεται. Αυτό

σημαίνει ότι υψηλή αβεβαιότητα κάνει μια επιλογή λιγότερο επιθυμητή – η αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης είναι εναντίον του ρίσκου (risk-averse). Η χρήση της πιθανότητας – ουσιαστικά υπολογισμός μαθηματικής ελπίδας (expectation) – δίνει το συνολικό ΑΝΧ για την κατανομή που έχουμε προβλέψει. Το ΑΝΧ υπολογίζεται μέσω ΥΤ όπου τα αναμενόμενα ναύλα είναι αυτά που αναφέρονται στην εντολή μεταφοράς φορτίου.

Στην πιο απλή και συνηθέστερη περίπτωση, κατά την οποία δεν σταθεί δυνατό να βρεθεί μια κατανομή πιθανότητας για τα πιθανά ταξίδια με έρμα μετά την εκτέλεση μιας πιθανής ναύλωσης, ο ΑΑΕΜΦ χρησιμοποιεί διακριτά δεδομένα και η προηγούμενη συνάρτηση εκφυλίζεται στην πράξη σε ένα άθροισμα:

$$u(v,c) = \frac{1}{|B'_{v,c}|} \cdot \sum_{b \in B'_{v,c}} g(TCE(v,c)|b)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση, και στις δύο τις μορφές, προσανατολίζεται στο «μέσο» υπο την έννοια του ότι εάν ήταν γραμμική θα έδινε το μέσο όρο. Ωστόσο η χρήση μιας risk-averse συνάρτησης σημαίνει ότι η αντικειμενική συνάρτηση θα μειώνεται όσο η διασπορά αυξάνει: για παράδειγμα μεταξύ δύο ναυλώσεων που οι εκτιμήσεις για το επόμενο ταξίδι με έρμα έχουν την ίδια μέση τιμή η αντικειμενική συνάρτηση θα είναι υψηλότερη για την ναύλωση με την μικρότερη εκτιμώμενη απόκλιση (διότι μικρότερη απόκλιση συνεπάγεται

μικρότερο ρίσκο). Σε μαθηματικούς όρους, η χρήση μιας απλής, με κλειστή μορφή, ανεξάρτητη της κατανομής αντικειμενικής συνάρτησης κάνει το σύστημα εύρωστο και την αριθμητή ολοκλήρωση μια απλή διαδικασία.

Η φάση αξιολόγησης του ΑΑΕΜΦ για όλες τις πιθανές ναυλώσεις στο σύνολο F' οι οποίες συνάδουν με την γενική εταιρική πολιτική της πλοιοκτήτριας εταιρίας περιγράφεται στο Σχήμα 21. Ανάλογη είναι και η διαδικασία για τις πιθανές ναυλώσεις στο σύνολο F'' που περιλαμβάνει τις προβληματικές πιθανές ναυλώσεις.

Algorithm 3 Evaluation of Possible Fixtures

Require: sets $\mathcal{F}'$, $\mathcal{B}$ and constants w_p, w_s, w_t, k, A, M

for all $(v,c) \in \mathcal{F}' : v \in \mathcal{V},\ o \in \mathcal{C}$ **do**

  Set $\mathcal{B}'_{v,c} = \mathcal{U} = \emptyset$

  for all $b \in \mathcal{B}$ **do**

    Calculate $d = \left(\frac{k}{100} \cdot \mathrm{dis}(v,c,b)\right)$

    if $\left(\mathrm{pdist}(v,c,b) \leq \frac{w_p+w_s+w_t}{w_p} \cdot d\right)$ AND

      $\left(\mathrm{sdist}(v,c,b) \leq \frac{w_p+w_s+w_t}{w_s} \cdot d\right)$ AND

      $\left(\mathrm{tdist}(v,c,b) \leq \frac{w_p+w_s+w_t}{w_t} \cdot d\right)$ **then**

      Set $\mathcal{B}'_{v,c} = \mathcal{B}'_{v,c} \cup b$

    end if

  end for

  Set $\mathrm{u}(v,c) = 0$

  for all $b \in \mathcal{B}'_{v,c}$ **do**

    Set $\mathrm{u}(v,c) = \mathrm{u}(v,c) + A\left(1 - e^{-\frac{\mathrm{tce}(v,c)\,|\,b}{M}}\right)$

  end for

  Set $\mathrm{u}(v,c) = \frac{1}{|\mathcal{B}'_{v,c}|} \cdot \mathrm{u}(v,c)$

  Set $\mathcal{U} = \mathcal{U} \cup \mathrm{u}(v,c)$

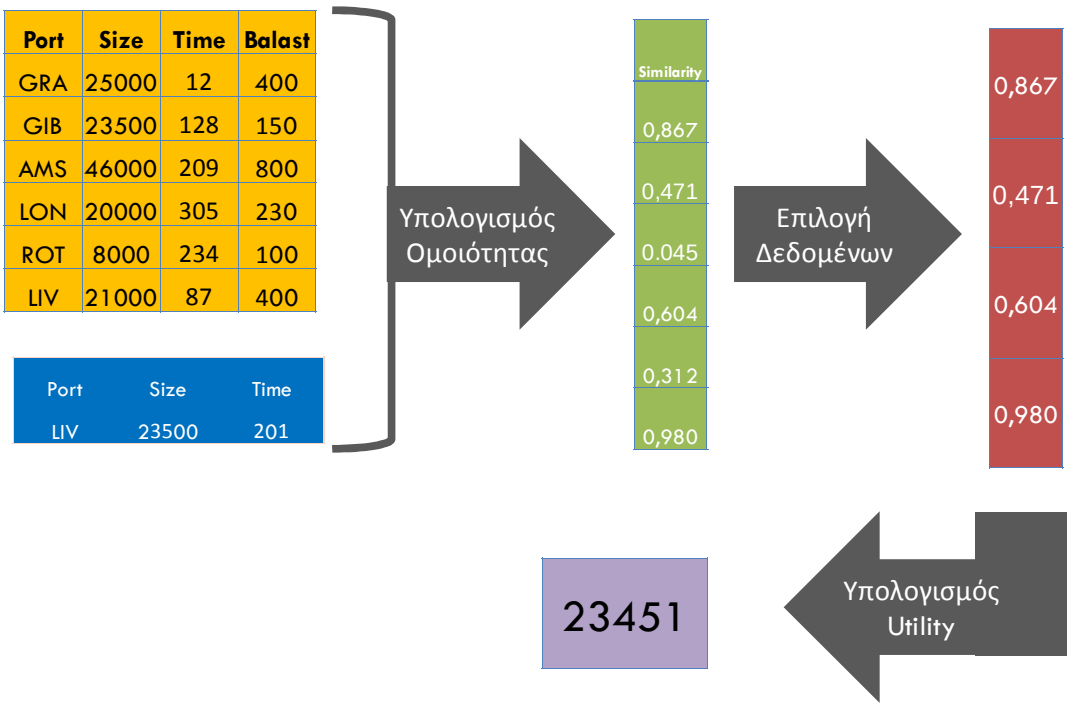
end for

return $\mathcal{U}$

Σχήμα 21. Φάση Αξιολόγησης ΑΑΕΜΦ

Η ροή των δεδομένων που μόλις περιγράφηκε συνοψίζεται στο Σχήμα 22. Εκεί φαίνεται πώς ένα ταξίδι προς αξιολόγηση (μπλε πίνακας) συγκρίνεται με τα δεδομένα στη βάση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για σύγκριση απεικονίζονται στον κίτρινο πίνακα. Υπολογίζεται το μέτρο απόστασης/ομοιότητας για κάθε γραμμή (πράσινος πίνακας) και τα δεδομένα ταξινομούνται από τη μικρότερη στην μεγαλύτερη απόσταση. Κάποια δεδομένα (κόκκινος πίνακας) από την αρχή της ταξινομημένης σειράς χρησιμοποιούνται, ανάλογα με την

επιλογή στο τρίτο βήμα. Στο τελευταίο βήμα υπολογίζεται από τα αριθμητικά δεδομένα η αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης της πιθανής ναύλωσης.



Σχήμα 22. Διάγραμμα ροής δεδομένων για τη φάση αξιολόγησης.

6.6 Πειραματικά Αποτελέσματα

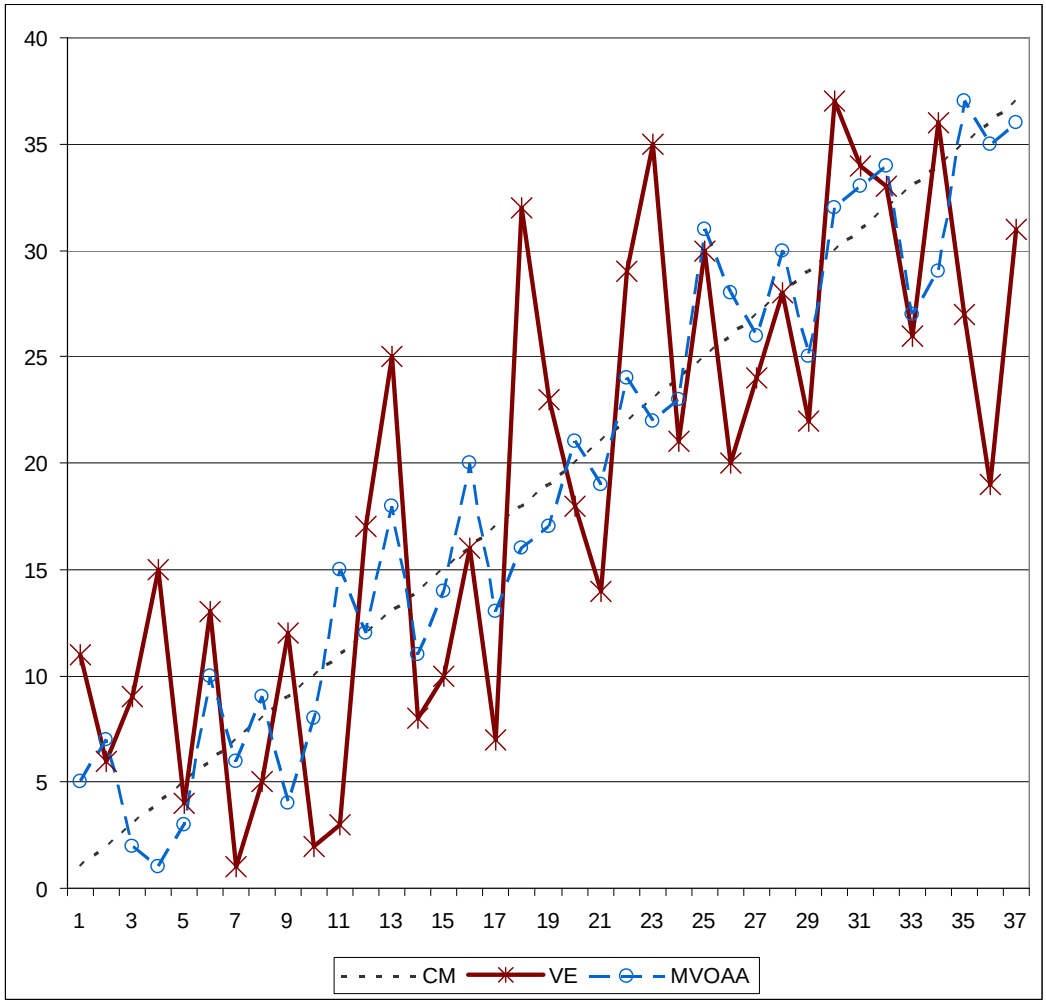
Εκτελέσαμε τέσσερα ποσοτικά πειραματικά αποτελέσματα για να αξιολογήσουμε την απόδοση του ΑΑΕΜΦ πάνω σε πραγματικά προβλήματα σε τέσσερις διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η βέλτιστη απόδοση του αλγορίθμου είναι άγνωστη. Όλες οι πιθανές ναυλώσεις θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν και το αποτέλεσμα τους να ποσοτικοποιηθεί, γεγονός που είναι φυσικά αδύνατο. Για να προσεγγίσουμε την βέλτιστη απόφαση όσο το δυνατό πιο αξιόπιστα η παρακάτω διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε κάθε πείραμα. Για τις διαθέσιμες εντολές μεταφοράς φορτίου και ένα συγκεκριμένο πλοίο ο διαχειριστής ναυλώσεων κλήθηκε να καθορίσει την εντολή μεταφοράς φορτίου που θα διάλεγε αυτός. Αυτή η επιλογή οριζόταν ως η καλύτερη. Στην συνέχεια η συγκεκριμένη εντολή απομακρυνόταν από τις διαθέσιμες και ο ειδικός έπρεπε να επιλέξει την καλύτερη επιλογή από τις εναπομείναντες. Αυτή η επιλογή οριζόταν ως η δεύτερη καλύτερη. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόταν για όλες τις εντολές και αποφεύγει την μη προσεκτική αξιολόγηση κάποιων επιλογών.

Η εκτέλεση του ΑΑΕΜΦ γινόταν για τις τιμές 1 έως δέκα της παραμέτρου k , τα βάρη w_p, w_s, w_t ήταν ίσα μεταξύ τους και οι παράμετροι A και M ήταν ίσοι με 10.000 and 7.500 αντίστοιχα. Η σειρά αξιολόγησης των εντολών μεταφοράς φορτίου από τον διαχειριστή

ναυλώσεων (CM), τον ΑΑΕΜΦ (MVOAA) για $k = 5$ και του ΥΤ (VE) δίνεται στο Σχήμα 23, Σχήμα 24, Σχήμα 25 και Σχήμα 26.

6.6.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Στα τρία πρώτα πειράματα αποφύγαμε να ανακατέψουμε εντολές μεταφοράς φορτίου που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από περισσότερα από ένα πλοία. Από την άλλη, όταν πολλές εντολές μεταφοράς φορτίου και πολλά πλοία είναι διαθέσιμα, όπως συχνά συναντάται στην πράξη και στο τέταρτο πείραμα, ο αριθμός των πιθανών αποφάσεων είναι πολύ μεγάλος και επομένων η ύπαρξη ενός εργαλείου για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων είναι πολύ σημαντική.

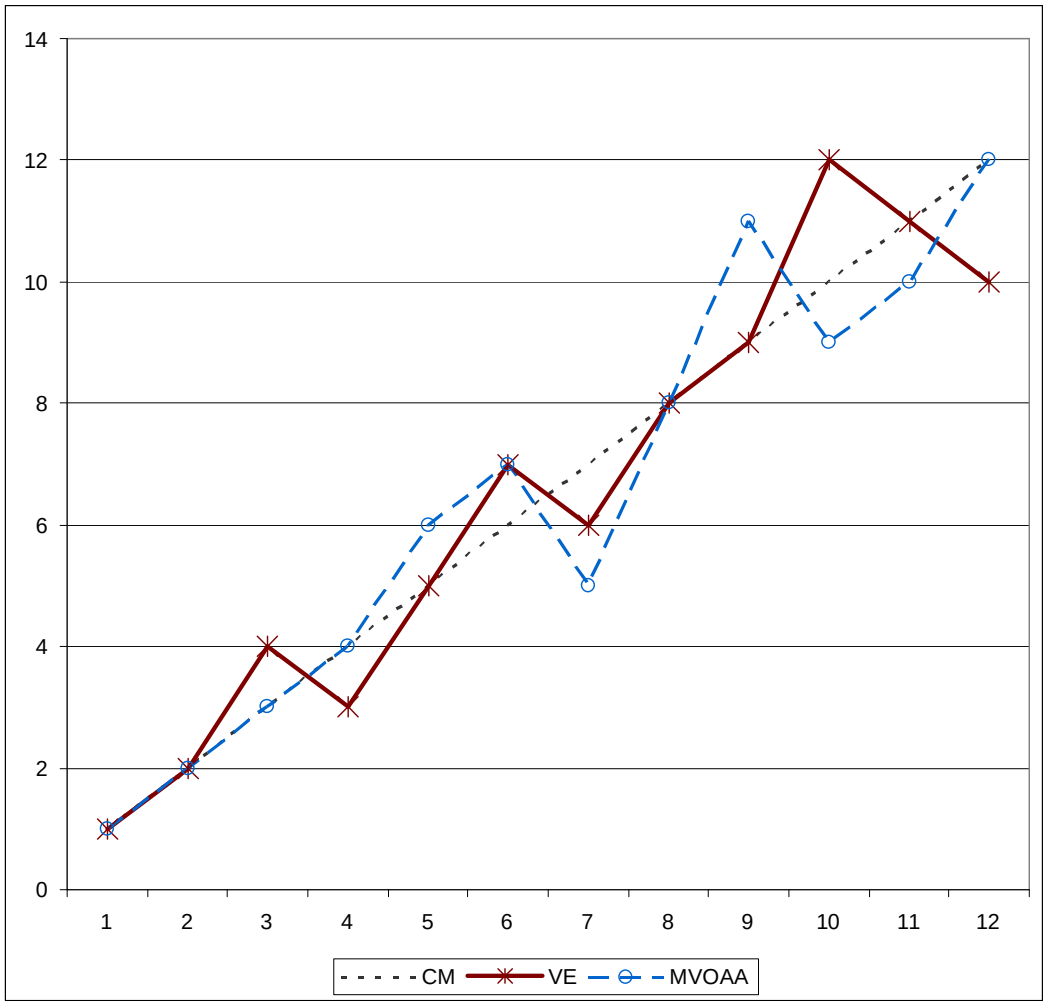


Σχήμα 23. Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 1

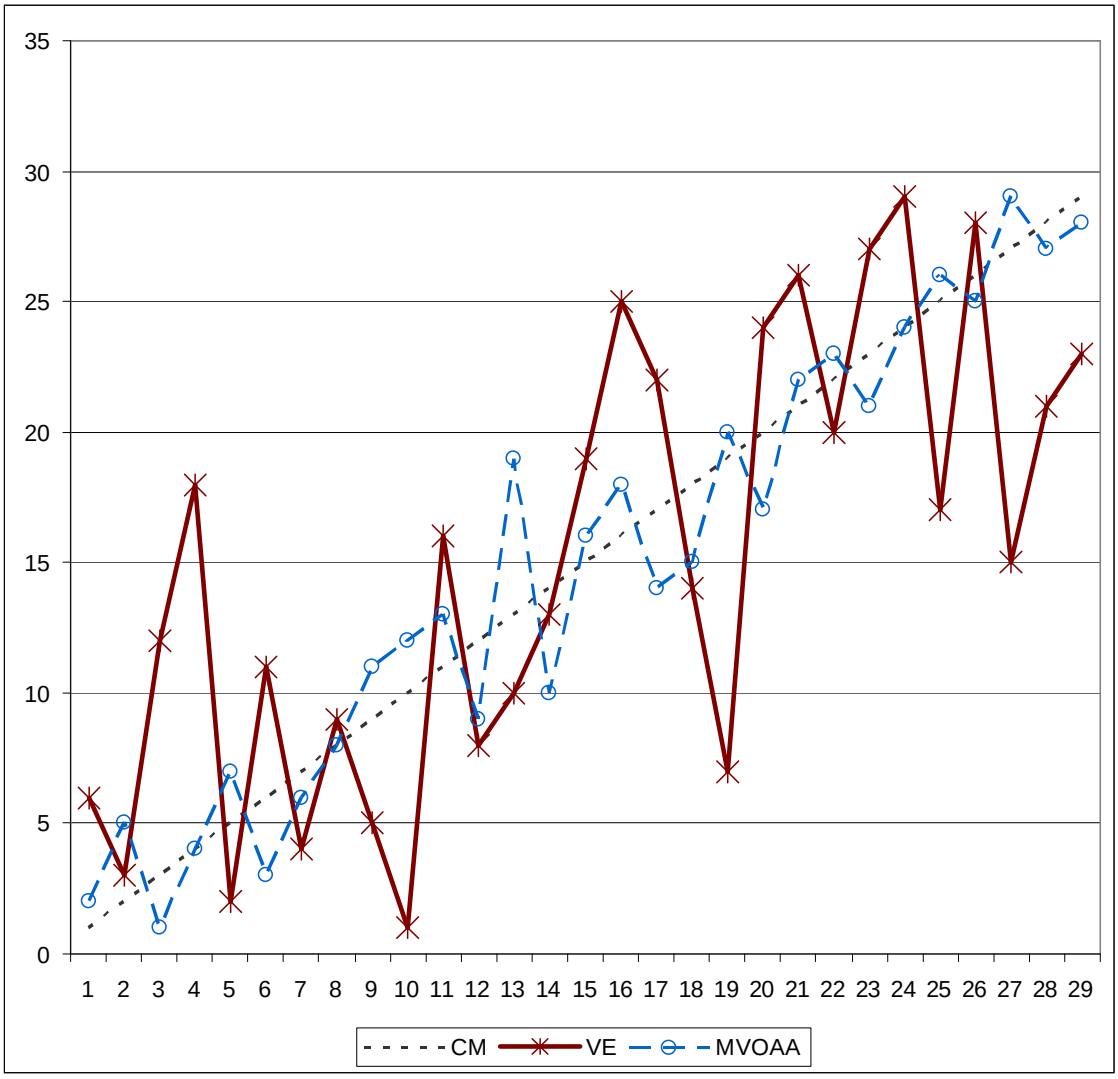
Οι εντολές μεταφοράς φορτίων στα τρία πρώτα πειράματα αντιπροσωπεύουν περιπτώσεις με διαφορετική δυσκολία. Σε κάθε πείραμα εξετάζουμε μόνο το σύνολο των αποδοτικών επιλογών ώστε να εκτελέσουμε ένα συγκρίσιμο πείραμα μίας και ο διαχωρισμός πιθανών ναυλώσεων σε αποδοτικές και προβληματικές εισάγεται από το προτεινόμενο ΑΑΕΜΦ αλλά δεν υπάρχει «επίσημα» ως έννοια στις γενικό επιχειρησιακό μοντέλο ναυλώσεων που ακολουθείται από τους διαχειριστές ναυλώσεων.

Συγκρίνουμε τον ΑΑΕΜΦ (MVOAA) με τις αποφάσεις του διαχειριστή ναυλώσεων (CM) και του απλού ΥΤ δίχως να λαμβάνουμε υπόψη το αναμενόμενο ταξίδι με έρμα στο τέλος της ναύλωσης ώστε να εξετάσουμε τα αποτελέσματα σε σωστή βάση. Η σύγκριση επιτυγχάνεται εξετάζοντας την σειρά με την οποία τοποθετούνται οι πιθανές ναυλώσεις (συνδυασμός πλοίου και εντολής μεταφοράς φορτίου) ανάλογα με την μέθοδο αξιολόγησης (διαχειριστής ναυλώσεων, ΥΤ, ΑΑΕΜΦ).

Επιπρόσθετα ορίζουμε μια απλή μετρική λάθους ή οποία είναι βασικά η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς μεταξύ της σειράς-θέσης (ranking) του αποτελέσματος της αξιολόγησης των πιθανών ναυλώσεων από τον ΑΑΕΜΦ και τον ΥΤ από την σειρά αξιολόγησης των πιθανών ναυλώσεων από τον διαχειριστή ναυλώσεων. Επειδή το λάθος είναι πιο σημαντικό για τις καλύτερες επιλογές (αυτές με την καλύτερη βαθμολογία ή αντίστοιχα τις πρώτες στην σειρά κατάταξης κάθε μεθόδου αξιολόγησης) εισάγουμε ένα βάρος το οποίο φθίνει γραμμικά καθώς η θέση των επιλογών μειώνεται. Για ένα σύνολο n πιθανών ναυλώσεων, 1 έως n, ορίζουμε ως $CM_i, MVOAA_i$ $και$ VE_i τη σειρά αξιολόγησης αυτών των ναυλώσεων σύμφωνα με τον διαχειριστή ναυλώσεων, τον ΑΑΕΜΦ και τον ΥΤ αντίστοιχα, όπου $CM_i < CM_j,\ \forall\, i < j$ και $CM_i, MVOAA_i\ ,\ VE_i\ \in [1, n]$.



Σχήμα 24 Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 2



Σχήμα 25. Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 3

Επομένως η μετρική λάθους για τον ΑΑΕΜΦ ορίζεται σύμφωνα με την παρακάτω συνάρτηση:

$$err_{mvoaa} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} w_i \, |CM_i - MVOAA_i|^2}$$

όπου:

$$w_i = \frac{n + 1 - i}{\frac{1}{2}\, n\,(n+1)}$$

Η μετρική λάθους err_{ve} για τον απλό ΥΤ ορίζεται με τον ίδιο τρόπο:

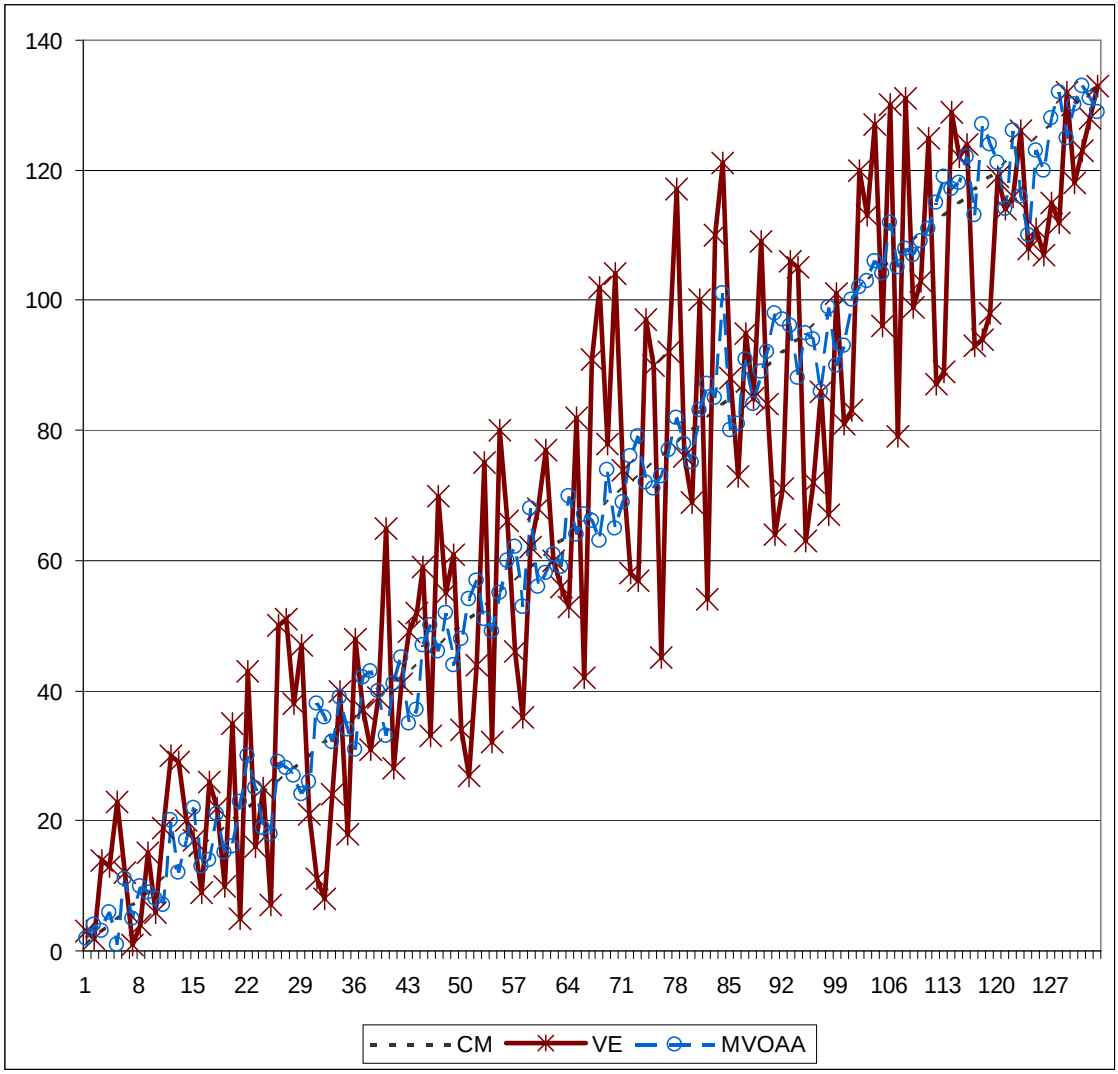
$$err_{ve} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} w_i \, |CM_i - VE_i|^2}$$

Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει τις τιμές των μετρικών λάθους στα πειράματα 1έως 4 για τον ΥΤ και τον ΑΑΕΜΦ και τις διάφορες τιμές της παραμέτρου k. Συμπεριλαμβάνεται και η μέση τιμή των μετρικών και για τα τέσσερα πειράματα. Αυτό που θα πρέπει να τονιστεί είναι το γεγονός πως η χρήση υψηλών τιμών για την παράμετρο k δεν έχει νόημα ακόμα και στην περίπτωση που εξασφαλίζει καλά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα του προτεινόμενου αλγορίθμου έχουν νόημα και σημασία μόνο στην περίπτωση που τα ταξίδια με έρμα από τα ιστορικά δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση μιας πιθανής ναύλωσης είναι ταξίδια με έρμα που μπορεί όντως να πραγματοποιηθούν στην πράξη ή έχουν πραγματοποιηθεί παλαιότερα από ένα πλοίο ίδιας κλάσης την ίδια περίοδο του έτους ώστε να αποτελούν αξιόπιστο στατιστικό δείγμα. Με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου k πέρα ενός σημείου, θα επιτραπεί σε ταξίδια με έρμα με σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά από το αναμενόμενο ταξίδι με έρμα στο τέλος της πιθανής ναύλωσης υπό εξέταση να υπεισέρθουν στον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης της με αποτέλεσμα ο σκοπός εφαρμογής του προτεινόμενου αλγορίθμου να μην ισχύει

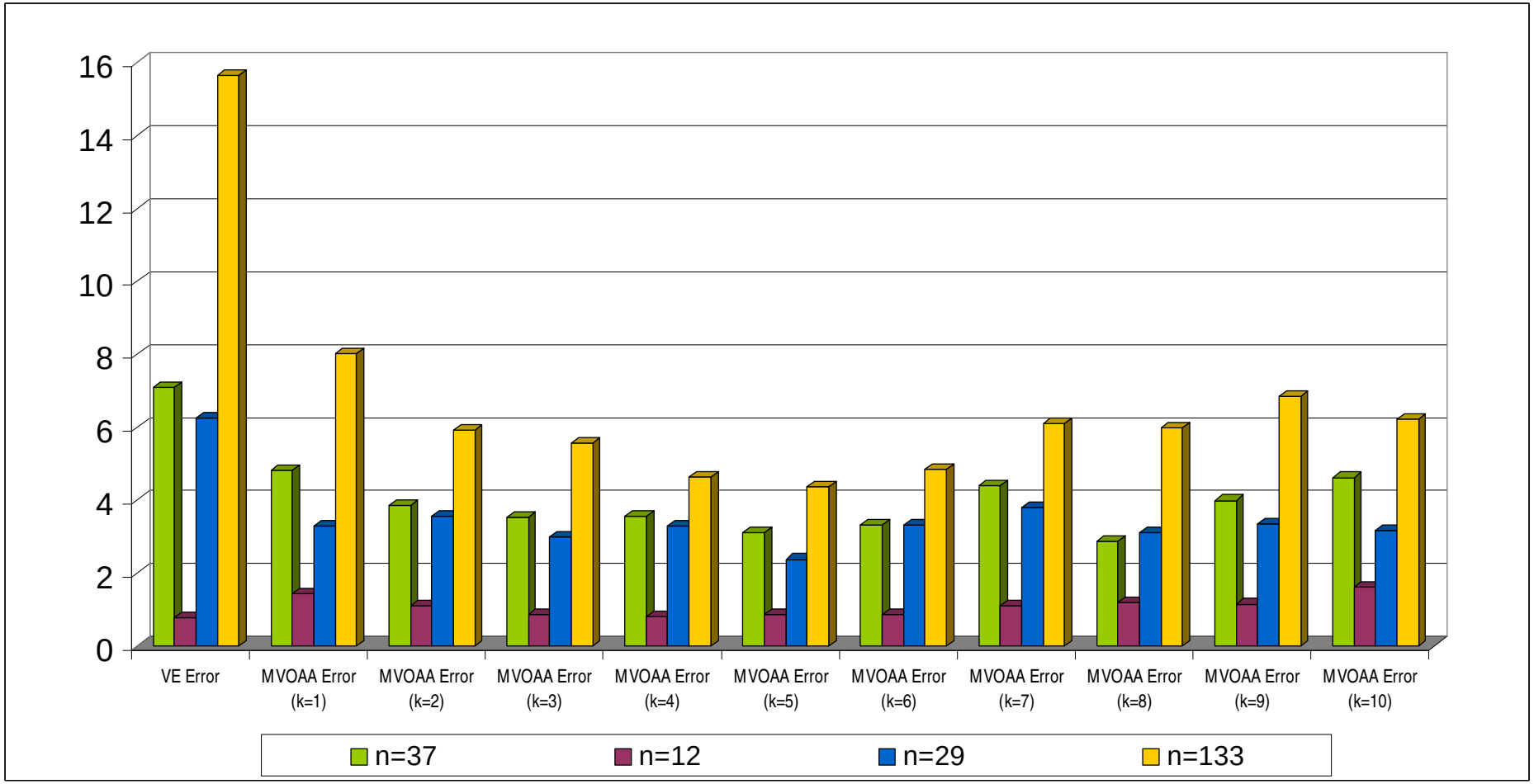
ακόμα και εάν τα αποτελέσματα είναι καλά (ακόμα και είναι καλύτερα από την χρήση μικρών τιμών για το *k*).

Πίνακας 9. Τιμές μετρικές λάθους του ΑΑΕΜΦ για τις διάφορες τιμές του k

	Test 1	**Test 2**	**Test 3**	**Test 4**
n	37	12	29	133
err_{ve}	7,07921	0,78446	6,25768	15,63457
err_{mvooa} (k=1)	4,82496	1,43223	3,29855	8,01671
err_{mvooa} (k=2)	3,86581	1,09778	3,55999	5,91921
err_{mvooa} (k=3)	3,51991	0,87706	2,99923	5,55643
err_{mvooa} (k=4)	3,57246	0,8165	3,29228	4,63132
err_{mvooa} (k=5)	3,10646	0,87706	2,37999	4,35835
err_{mvooa} (k=6)	3,31727	0,88434	3,31454	4,83821
err_{mvooa} (k=7)	4,39384	1,09778	3,79049	6,10581
err_{mvooa} (k=8)	2,86192	1,18754	3,12241	5,98959
err_{mvooa} (k=9)	3,99395	1,1547	3,35693	6,84154
err_{mvooa} (k=10)	4,62152	1,62117	3,17715	6,23529



Σχήμα 26. Αποτελέσματα ΑΑΕΜΦ – Πείραμα 4



Σχήμα 27. Μετρικές Λάθους του ΑΑΕΜΦ για τις διάφορες τιμές του k

Κεφάλαιο 7ο

Σύνοψη

7.1 Γενική σύνοψη

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής μελετήθηκαν δύο σημαντικά προβλήματα στον τομέα των μεταφορών, το πρόβλημα δρομολόγησης του στόλου οχημάτων σε δίκτυα διανομής και το πρόβλημα αξιολόγησης εντολών μεταφοράς φορτίων.

Στη μεθοδολογία αντιμετώπισης του ΠΔΣΟΔΔ πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση ενός πραγματικού προβλήματος δρομολόγησης και αναλύθηκε ένας γενετικός αλγόριθμος για την αντιμετώπιση της στρατηγικής δρομολόγησης, δηλαδή της σταθερής δρομολόγησης για

μεγάλα χρονικά διαστήματα, για προβλήματα με πολλούς και αντικρουόμενους περιορισμούς.

Η μεθοδολογία που προτείνεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής παρουσιάζει την απαραίτητη ευελιξία ενσωμάτωσης πάσης φύσεως περιορισμών, παραμέτρων και αντικειμένων βελτιστοποίησης. Με τη χρήση κατάλληλα σχεδιασμένων γενετικών τελεστών, και εξελιγμένων στρατηγικών αναζήτησης παρέχεται η δυνατότητα αντιμετώπισης των μεγάλων και σύνθετων προβλημάτων δρομολόγησης.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5, διαπιστώνει κανείς ότι η παρούσα αντιμετώπιση του προβλήματος πρέπει να θεωρηθεί ως επιτυχημένη. Οι λύσεις που προέκυψαν στα προβλήματα της βιβλιογραφίας είναι πάρα πολύ κοντά στις μέχρι σήμερα βέλτιστες και η εκτέλεση του αλγορίθμου σε πραγματικά σύνθετα δεδομένα έδειξε ότι τέτοια σύνθετα προβλήματα είναι εφικτό να αντιμετωπιστούν με επιτυχία ανεξάρτητα από τους επιμέρους περιορισμούς τους.

Στη μεθοδολογία αντιμετώπισης του ΠΑΕΜΦ παρουσιάσαμε τεχνικές παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στην αυτοματοποίηση της διαδικασία λήψεων αποφάσεων στα πλαίσια μια πολύπλοκης πραγματικής εφαρμογής, όπου, είναι άστοχο στην πράξη

να βασιζόμαστε τυφλά σε πλήρως αυτοματοποιημένες αποφάσεις ενός υπολογιστικού συστήματος.

Έγινε λεπτομερής ανάλυση των ορίων κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων και εκμεταλλευτήκαμε τα αποτελέσματα της πιλοτικής αυτοματοποιημένης διαδικασίας ώστε στην ουσία να παρέχουμε καθοδήγηση και αποδοτικότητα στον ειδικό παρά να γίνει προσπάθεια αντικατάστασης του. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος βασίζεται κυρίως στην στατιστική επεξεργασία ενός απλού αλλά πρωτότυπου και αποτελεσματικού μοντέλου για το οικονομικό αποτέλεσμα μίας ναύλωσης. Η εκτέλεση του αλγορίθμου πραγματοποιείται σε δύο φάσεις, «φιλτράρισμα» και «αξιολόγηση». Κατά την διάρκεια του φιλτραρίσματος ο αλγόριθμος διαχωρίζει τις πιθανές ναυλώσεις σε εφικτές και προβληματικές. Κατά την διάρκεια της αξιολόγησης ο αλγόριθμος υπολογίζει μια τιμή ποσοτικοποιώντας την ποιότητα κάθε πιθανής ναύλωσης που πέρασε από την διαδικασία του φιλτραρίσματος.

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί μια ικανοποιητική διαλογή και απομάκρυνση των μη επιθυμητών επιλογών από το σύνολο των επιλογών με το οποίο θα έπρεπε να καταπιαστεί ο ειδικός. Η απομάκρυνση αυτή έχει την μορφή της υποβάθμισης παρά της διαγραφής ώστε σε καμία περίπτωση,

ακόμα και στην περίπτωση λάθους εκ μέρους του συστήματος, να μην χάνεται πληροφορία σχετικά με επιχειρησιακές κινήσεις.

Από την εφαρμογή του ΣΥΛΑ για την αξιολόγηση εντολών μεταφοράς φορτίου στην ναυτιλιακή αγορά που αναπτύχθηκε, διαφαίνεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην μείωση του χρόνου και του φόρτου εργασίας κατά την λήψη αποφάσεων για την ναύλωση πλοίων στην ελεύθερη αγορά. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό σε μια εποχή που οι διαχειριστές ναυλώσεων πολλές φορές απορρίπτουν νέες τεχνολογίες και μεθόδους επικοινωνίας και εργασίας, όπως οι on-line ανταλλαγή πληροφοριών και διαπραγματεύσεις, απλώς επειδή δεν μπορούν να χειριστούν αποδοτικά την υπερπροσφορά πληροφοριών που απορρέει από ένα πιθανό άνοιγμα στην αγορά και τις πηγές πληροφοριών οι οποίες μπορεί να είναι αξιόπιστες σε μικρό η μεγάλο βαθμό.

7.2 Καινοτομία Διατριβής

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μια πρωτότυπη εργασία που εφαρμόζει τις σύγχρονες εξελίξεις στο χώρο της πληροφορικής στην επιχειρησιακή έρευνα. Τα προβλήματα στον τομέα των μεταφορών είναι βασικά προβλήματα που απαντώνται πολύ συχνά στον

πραγματικό κόσμο όπου η βελτιστοποίηση των διαδικασιών και των δρομολογίων επιφέρει μεγάλο οικονομικό αλλά και περιβαλλοντολογικό όφελος. Η έρευνα στα πλαίσια της παρούσας διατριβής αξιοποιεί τις δυνατότητες των γενετικών αλγόριθμων και τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ, προσανατολισμένη σε μία πραγματική εφαρμογή υποστήριξης αποφάσεων.

Στην αντιμετώπιση του ΠΔΣΟΔΔ η συμβολή της διατριβής επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μεθοδολογίας υποστήριξης της διαδικασίας στρατηγικού προγραμματισμού δρομολόγιων βασισμένη σε γενετικούς αλγόριθμους, με τον ταυτόχρονο σχεδιασμό μιας νέας κωδικοποίησης κατάλληλης για προβλήματα προγραμματισμού, καθώς και τη δημιουργία ειδικών γενετικών τελεστών για το πρόβλημα.

Στην αντιμετώπιση του ΠΑΕΜΦ η καινοτομία της διατριβής έγκειται στην δημιουργία μεθοδολογίας εξερεύνησης πολλαπλών επιχειρηματικών επιλογών και ανάπτυξης νέου αλγορίθμου αξιολόγησης πιθανών ναυλώσεων για τις υποστήριξη διαδικασιών λήψεων αποφάσεων σε ναυτιλιακές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη αγορά.

Αναφορές

[1] Alon, I., Qi, M., Sadowski, R. J. Forecasting aggregate retail sales: A comparison of artifcial neural networks and traditional methods. Journal of Retailing and Consumer Services, vol 8, pp. 147 – 156, 2001.

[2] Anderson, T. W. An introduction to multivariate statistical analysis, 2nd edn. New York: Wiley, 1984.

[3] Angilella, S., Greco, S., Lamantia, F. Matarazzo, B., Assessing non-additive utility for multicriteria decision aid, European Journal of Operational Research, 158(3), 2004, pp. 734-744.

[4] Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N., Container ship stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs, Discrete Applied Mathematics 103, 2000, pp. 271-279.

[5] Ausloos, M. Statistical physics in foreign exchange currency and stock markets. Physica A, vol 285, pp. 48 –65, 2000.

[6] AXS Marine: www.axsmarine.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[7] Azaron, A. and Kianfar, F., Dynamic shortest path in stochastic dynamic networks: Ship routing

problem, European Journal of Operational Research, 144(1), 2003, pp. 138-156.

[8] Baker, J. E.: Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm. In Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms and their Application, 1987, pp. 14-21.

[9] Baltic exchange: www.balticexchange.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[10] Bausch, D.O., Brown, G.G. and Ronen D., Scheduling short-term marine transport of bulk products. Maritime Policy and Management 25(4), 1998, pp. 335-348.

[11] Bent, R., Van Hentenryck, P., . A two-stage hybrid local search for the vehicle routing problem with time windows, Transportation Sci., 38(4),2004, pp. 515–530.

[12] Berger J., Salois M., and Begin, R., A Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, AI 98, 12th Canadian Conference on Artificial Intelligence, Vancouver, Canada, 1998.

[13] Berger, J., Barkaoui M., Bräysy O., A route-directed hybrid genetic approach for the vehicle routing problem with time windows. Inform. Systems Oper. Res., 41,2003, 179–194.

[14] Bish, E.K., Leong, T.Y., Li, C.L., Ng, J.W.C., Simchi-Levi, D., Analysis of a new vehicle scheduling and location problem, Naval Research Logistics 48, 2001, pp. 363-385.

[15] Blanton J.L. and Wainwright R.L., Multiple Vehicle Routing with Time and Capacity Constrains using Genetic Algorithms, Proceedings of the 5th

International Conference on Genetic Algorithms, 1993.

[16] BRL Shipping Consultants: www.brldata.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[17] Bortfeldt, A. Gehring, H., A hybrid genetic algorithm for the container loading problem, European Journal of Operational Research 131, 2001, pp. 143-161.

[18] Brandão, J., Metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows, Metaheuristics—Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization, eds. S. Voss, S. Martello, I. H. Osman, C. Roucairol, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1999, pp. 19–36.

[19] Brønmo, G., Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., A multistart local search heuristic for ship scheduling - a computational study, Computers and Operations Research, 34(3), 2007, pp. 900-917.

[20] Burmester & Vogel: www.voyage-estimation.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[21] Cedeno, W. and Vemuri, V., Dynamic multi-modal function optimization using genetic algorithms, Proc. XVIII Latin-American Inf. Conf., Las Palmas de Gran Canaria, Spain, August 1992, 292-301.

[22] Cedeno, W. and Vemuri, V., Multi-Niche crowding for multi-modal search, Applications Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers, Vol. II, ed. L. Chambers (CRC Press, New York, 1995, pp. 5-27.

[23] Chiang, W. C., Russell. R. A., A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. INFORMS J. Comput., 1997, 9, pp. 417–430.

[24] Christiansen, M., Fagerholt, K., Ronen, D., Ship routing and scheduling: status and perspectives, Transportation Science, 39(1), 2004, p.118.

[25] Clarke G. , Wright J., Scheduling of depots from a central depot to a number of delivery points, Operations Research 12, 568-581, 1964.

[26] Cordeau, J.-F., Laporte, G., Mercier, A. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows, J. Oper. Res. Soc., 52, 2001, pp. 928–936.

[27] Cordeau J-F., Gendreau M., Laporte G., Potvin J-Y., Semet F., A guide to vehicle routing heuristics, Journal of the Operational Research Society, Volume 53, Number 5, May 2002 , pp. 512-522(11).

[28] Cullinane, K. P. B. The utility analysis of risk attitudes in shipping, Maritime Policy Management, Vol 18, No. 3, pp. 157-169, 1991

[29] Cullinane, K. P. B. A portfolio analysis of market investments in dry bulk shipping, Transportation Research – Part B. Methodological, Vol. 29B, pp. 181-200, 1995.

[30] Danaos: www.danaos.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[31] Darby-Dowman, K., Fink, R.K., Mitra, G. and Smith, J.W., An intelligent system for US Coast Guard cutter scheduling, European Journal of Operational Research 87, 1995, pp. 574585.

[32] De Backer, B., Furnon, V., Meta-heuristics in constraint programming experiments with tabu search on the vehicle routing problem. Proc. Second Internat. Conf. Metaheuristics (MIC'97), Sophia Antipolis, France, 1997, pp. 1–14.

[33] DeJong, K., An Analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems, Doctoral Dissertation, University of Michigan, 1975.

[34] DYNALOG (Dynamic logistics for distribution networks), ESPRIT[35] Program 26387, http://www.cordis.lu/esprit/src/26387.htm.

[35] European Strategic Programme for Research and Development in Information Technologies (ESPRIT), http://www.cordis.lu/esprit.

[36] Fagerholt, K., Ship scheduling with soft time windows: An optimization based approach, European Journal of Operational Research 131(3), 2001, pp. 559-571.

[37] Fagerholt, K., A computer-based decision support system for vessel fleet scheduling: experience and future research, Decision Support Systems, 37(1), 2004, pp. 35-47.

[38] Fisz, M. (1963). Probability theory and mathematical statistics, 3rd edn. New York: Wiley.

[39] Garcia, B.-L., Potvin, J.-Y., Rousseau, J.-M.. A parallel implementation of the tabu search heuristic for vehicle rou,ing problems with time window constraints. Comput. Oper. Res., 1994, 21, pp. 1025–1033.

[40] Gendreau, M., An introduction to tabu search, Handbook of Metaheuristics, eds F. Glover, G. A. Kochenberger, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2003.

[41] Gehring, H., Homberger, J., A parallel hybrid evolutionary metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows, Proc. EUROGEN99, eds K. Miettinen, M. Mäkelä, J. Toivanen , University of Jyväskylä, Finland, 1999, pp. 57–64.

[42] Gehring, H., Homberger, J. Parallelization of a two-phase metaheuristic for routing problems with time windows. Asia-Pacific J. Oper. Res., 18, 2001, pp. 35–47.

[43] Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., New Insertion and Postoptimization Procedures for the Traveling Salesman problem. Operations Research, 40(8), 1992, pp. 1086-1093

[44] Glover, F., Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. Comput. Oper. Res., 13, 1986, pp. 533–549.

[45] Homberger, J., Gehring, H., Two evolutionary metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows, Inform. Systems Oper. Res., 37, 1999, pp. 297–318.

[46] Homberger, J., Gehring, H., A two-phase hybrid metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. Eur. J. Oper. Res., 162, 2005, pp. 220–238.

[47] Holland J. H., Adaptation in Natural and Artificial systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

[48] Iakovou, E., An Interactive Multiobjective Model for the Strategic Maritime Transportation of Petroleum Products: Risk Analysis and Routing, Safety Science 39, 2001, pp. 19-29.

[49] Ibaraki, S. Imahori, M. Kubo, T. Masuda, T. Uno and M. Yagiura, Effective local search algorithms for routing and scheduling problems with general time-window constraints, Transportation Science 39, 2005, pp. 206–232.

[50] Information Society Technologies (IST) - The IST thematic priority will contribute directly to

realising European policies for the knowledge society, http://www.cordis.lu/ist.

[51] Interbox: www.interbox.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[52] Intertanko: www.intertanko.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[53] Keeney, R., Raiffa, H. Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs. New York: Cambridge University Press, 1999.

[54] Imai, A., Nishimura, E. Papadimitriou, S., Berth allocation with service priority, Transportation Research Part B 37, 2002, pp. 437-457.

[55] Kendall, M., Stuart, A. The advanced theory of statistics, 4th edn. London: C. Griffin, 1977.

[56] Kim, K.H., Lee, K.M., Hwang, H., Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals, International Journal of Production Economics 84, 2003, pp. 283-292.

[57] Kim, K.H., Moon, K.C., Berth scheduling by simulated annealing, Transportation Research Part B 37, 2003, pp. 541-560.

[58] Kindervater, G.A.P., Savelsbergh, M.W.P., Vehicle routing: handling edge exchanges, Local Search in Combinatorial Optimization, eds E. H. Aarts, J. K. Lenstra, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1997, pp. 311–336.

[59] Kim S.-H. and Lee K.-K., An optimization-based decision support system for ship scheduling. Computers and Industrial Engineering 33, 1997, pp. 689-692.

[60] Kozan, E., Preston, P., Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals, International Transactions in Operational Research 6, 1999, pp. 311-329.

[61] Laporte G., Gendreau M., Potvin J-Y., Semet F., Classical amd Modern Heuristics for the vehicle routing problem, International Transaction in Operational Research, vol. 7, pp. 285-300, 2000.

[62] Lau, H. C., Lim, Y. F., Liu., Q., Diversification of neighborhood via constraint-based local search and its application to VRPTW, Proc. CP-AI-OR 2001 Workshop, Kent, UK, 2001.

[63] Lau, H. C., Sim, M. , Teo, K. M., Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles. Eur. J. Oper. Res., 148, 2003, pp. 559–568.

[64] Lawrence S. A., International sea transport: the years ahead, Lexington, MA:719 Lexington Books; 1972.

[65] Le Bouthillier, A., Crainic, T. G., A cooperative parallel metaheuristic for vehicle routing with time windows. Comput. Oper. Res., 32, 2005, pp. 1685–1708.

[66] Lim, A., The berth planning problem. European Journal of Operational Research 22, 1998, pp. 105-110.

[67] Liu, F.-H., Shen S.-Y. , A route-neighborhood-based metaheuristic for vehicle routing problem with time windows. Eur. J. Oper. Res., 118, 1999, pp. 485–504.

[68] Lloyds: www.lloydsmiu.com/lmiu/index.htm, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[69] Luis S.J., Yin X. and Yuan Z.Y., Multiple Vehicle Routing with Time Windows Using Genetic Algorithms, Congress on Evolutionary Computation, IEEE Service Center, 1999, pp. 1804-1808.

[70] Mahfound, S. W., Crowding and preselection revisited, Parallel Problem Solving from Nature 2, eds. R. Manner and B. Manderick (Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1992, pp. 27-36.

[71] MARIDES (Maritime Decision Support), IST[50] Project 1999-21129, http://dbs.cordis.lu/fep-cgi/srchidadb?ACTION=D&SESSION=24402004-2-11&DOC=1&TBL=EN_PROJ&RCN=EP_RCN_A:56852&CALLER=PROJ_IST.

[72] Merrick, J. R. W. and Van Dorp, J. R., Speaking the Truth in Maritime Risk Assessment, Risk Analysis, 26(1), 2006, pp. 223-237.

[73] Mester, D., Braysy O., Dullaert, W., A multi-parametric evolution strategies algorithm for vehicle routing problems, Expert Systems with Applications, 32(2), 2007, pp. 508-517.

[74] Michalewicz Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs (3rd edition), Springer-Verlag, 1996, pp. 212-220.

[75] Ocean Connect: www.oceanconnect.com, Ημερομηνία Τελευταίας Επίσκεψης: 10/5/2008.

[76] Papoulis, A. Probability, random variables, and stochastic processes, 2nd edn. New York: McGraw-Hill, 1984.

[77] Pisinger, D., Röpke, S., A general heuristic for vehicle routing problems, Technical Report, Department of Computer Science, University of Copenhagen, Denmark, 2005.

[78] Potvin J.Y. and Bengio S., The Vehicle Routing Problem with Time Windows Part II: Genetic Search, Journal on Computing, 8(2), 1996, pp. 165-172.

[79] Rochat, Y., Taillard., E., Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. J. Heuristics, 1995, 1, pp. 147–167.

[80] Ronen, D., Cargo ships routing and scheduling: survey of models and problems, European Journal of Operational Research, 12, 1983, pp. 119-126.

[81] Ronen, D., Ship scheduling the last decade, European Journal of Operational Research, 71, 1993, pp. 325-333.

[82] Russell R. A., Hybrid heuristics for the vehicle routing problem with time windows. Transportation Sci., 29, 1995, pp. 156–166.

[83] Savelsbergh M.W.P., Local Search for Routing Problems with Time Windows, Annals of Operations Research 4, 1985, pp. 285-305.

[84] Shaw, P., Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. M. Maher, J.-F. Puget, eds. Principles and Practice of Constraint Programming—CP98, Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, New York, 198, pp. 417–431.

[85] Schulze, J., Fahle., T., A parallel algorithm for the vehicle routing problem with time window constraints. Ann. Oper. Res. 86, 1999, pp. 585–607.

[86] Soares, C.G. and Teixeira, A.P., Risk assessment in maritime transportation, Reliability Engineering and System Safety, 74(3), 2001, pp. 299-309.

[87] Solomon M. M., Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, Operations Research 35 (2), 1987 pp. 254-265.

[88] Stark, H., Woods, J. W., Probability, random processes, and estimation theory for engineers, 2nd edn. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1994.

[89] Taillard, E., Badeau, P., M. Gendreau, F. Guertin, J.-Y. Potvin. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. Transportation Sci., 1997, 31, pp. 170–186.

[90] Tan, K. C., Lee, L. H. , Zhu, K. Q., Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows. Proc. 6th Internat. Sympos. Artificial Intelligence Math., Ft. Lauderdale, FL, 2000.

[91] Tan, K. C., T. H. Lee, K. Ou, L. H. Lee. A messy genetic algorithm for the vehicle routing problem with time window constraints. Proc. 2001 Congress Evolutionary Comput., IEEE Service Center, Pistacaway, NJ, 2001, pp. 679–686.

[92] Thangiah S. R., Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms, submitted to the book on "Applications Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers", CRC Press, 1995, pp. 253-277.

[93] United Nations Conference on Trade and Developement secretariat, Review of Maritime Transport 2000, United Nations Publication, 2000.

[94] United Nations Conference on Trade and Developement secretariat, Review of Maritime Transport 2007, United Nations Publication, 2007.

[95] Vis, I.F.A., De Koster, R., Transshipment of containers at a container terminal: an overview, European Journal of Operational Research 147(1), . 2003, 1-16.

[96] Wee Kit, H., Chin J., Lim A., A hybrid search algorithm for the vehicle routing problem with time windows. Internat. J. Artificial Intelligence Tools, 10, 2001, 431–449.

[97] Whitley D. and Kauth J., GENITOR: A different genetic algorithm. In Rocky Mountain Conference on Artificial Intelligence, 118-130, 1988.

[98] Yao, J., Tan, C. L., A case study on using neural networks to perform technical forecasting of forex. Neurocomputing, vol 34, 2000 pp.79 – 98.

Δημοσιεύσεις

Mourkousis G., Protonotarios M, Varvarigou T.: Application of Genetic Algorithms to a Large-Scale Multiple-Constraint Vehicle Routing Problem, International Journal of Computational Intelligence and Applications Vol. 3, No. 1, March 2003.

Halkos D., Yannopoulos A., Doulamis A., Doulamis N., Stavroulas Y., Mourkousis G., Tsiara K., Theodora A. Varvarigou: "A Secure Framework Exploiting Content Guided and Automated Algorithms for Real Time Video Searching", Multimedia Tools and Applications, Springer, Vol. 42, Issue 3, May 2009

Mourkousis G., Yannopoulos A., Varvarigou T.: Introduction of Algorithmic Insight in the Decision-Making Support Process for the Maritime Spot Market, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Elsevier Press **(Under Revision)**.

Mourkousis G., Protonotarios M. Varvarigou T.: The DYNALOG Project: Dynamic Logistics for Distribution Networks, 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2002), Orlando, USA, July 14-18, 2002

Mourkousis G., Protonotarios M., Varvarigou T.: Vehicle Routing Using Genetic Algorithms In Distibution Networks, 1st International Congress on Transportation Research In Greece, Athens, Greece, 21-22 February 2002.

Protonotarios M, Mourkousis G., Vyridis I., Varvarigou T.: Very Large Scale Vehicle Routing with Time Windows and Stochastic Demand Using Genetic Algorithms with Parallel Fitness Evaluation, 8th International Conference in High Performance Computing and Networking (2000).

Giannopoulos A., Kosmopoulos D., Bouloudis Y., Varvarigou T., Hatziathanassiou C., Mourkousis G., Varvarigou V., Malamos A., Kalligeros I.: The MARIDES Project: Intelligent Chartering in the Maritime Industry1st International Congress on Transportation Research In Greece, Athens, Greece, 21-22 February 2002.