



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΝΟΜΕΣ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Διατριβή που υπεβλήθη για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την
απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

υπό

Κωνσταντίνου Καρακιοζόπουλου

Χανιά, 2005

Η παρούσα ερευνητική μεταπτυχιακή εργασία εγκρίνεται από τους :

Μυγδαλάς Αθανάσιος

Ματσατσίνης Νικόλαος

Κοσματόπουλος Ηλίας

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Αθανάσιο Μυγδαλά για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του χωρίς τις οποίες αυτή η εργασία δεν θα είχε αυτή τη μορφή. Επίσης, όλο το προσωπικό του ΕΡΓΑ.Σ.Υ.Α. που ο καθένας με τον έναν ή με τον άλλο τρόπο βοήθησαν όχι μόνο στην εκπόνηση της εργασίας αλλά γενικά σε όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού. Πολλά ευχαριστώ στην οικογένειά μου, στους φίλους μου (εντός και εκτός Πολυτεχνείου) για την αγάπη και την ανοχή τους.

Τέλος αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Ηρακλή, που “βάφτισε” το σύστημα, για την απλόχερη βοήθειά του τα τελευταία 3 χρόνια.

Σύντομο Βιογραφικό

ΚΑΡΑΚΙΟΖΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΣΠΟΥΔΕΣ

Οκτώβριος 2002 : Διπλωματούχος του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης.

Οκτώβριος 2002 : Εισαγωγή στο Μεταπτυχιακό Τμήμα Ειδίκευσης του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης με κατεύθυνση Επιχειρησιακή Έρευνα.

ΕΡΓΑΣΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Ιούλιος 2001 : Πρακτική Άσκηση στο Τμήμα Logistics της εταιρίας KNAUF Γυψοποιία Α.Β.Ε.Ε.

Οκτώβριος 2004 – σήμερα : Υπεύθυνος μηχανοργάνωσης του Γραφείου Κίνησης Χανίων της εταιρίας Κ.Τ.Ε.Α. Κρήτης Α.Ε.

ΑΛΛΕΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

- Μέλος του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΕΡΓΑ.Σ.Υ.Α.) του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης
- Συμμετοχή στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Q – LABEL : Qualifying Labor For Enlargement (Ιούνιος 2004 – σήμερα)

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
 Κεφάλαιο 1	
Εισαγωγή	2
 Κεφάλαιο 2	
Τα προβλήματα Τοποθέτησης Κιβωτίων και Περιπλανώμενου Πωλητή	4
2.1 Το Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή	4
2.2 Το Πρόβλημα Τοποθέτησης Κιβωτίων	8
 Κεφάλαιο 3	
Εισαγωγή στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων	10
 Κεφάλαιο 4	
Το Βασικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων και οι Προεκτάσεις του	17
4.1 Ο Ορισμός του Βασικού Π.Δ.Ο.	17
4.2 Προεκτάσεις του Βασικού Π.Δ.Ο.	19
4.2.1 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας	20

4.2.2 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα	26
4.2.3 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές	27
4.2.4 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές και Διανομές	28

Κεφάλαιο 5

Ευρετικές & Μεθευρετικές μέθοδοι για την Επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων	31
5.1 Εισαγωγή	31
5.2 Κλασσικές ευρετικές μέθοδοι	34
5.2.1 Αλγόριθμοι εξοικονομήσεων	34
5.2.2 Ο αλγόριθμος σαρώματος	36
5.2.3 Οι αλγόριθμοι ομαδοποίηση πρώτα – δρομολόγηση μετά	37
5.2.4 Η μέθοδος των δύο φάσεων των Mole και Jameson	38
5.2.5 Η μέθοδος των δύο φάσεων των Christofides, Mingozzi και Toth	39
5.2.6 Οι πεταλοειδείς αλγόριθμοι	40
5.2.7 Ευρετικές μέθοδοι βελτίωσης	41
5.3 Μεθευρετικές Μέθοδοι	42
5.3.1 Ο αλγόριθμος των Alfa, Heragu και Chen	42
5.3.2 Ο αλγόριθμος της Προσομοιωμένης ανόπτησης του Osman	43
5.3.3 Περιορισμένη αναζήτηση	46
5.3.3.1 Ο αλγόριθμος του Willard	47

5.3.3.2 Ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης του Osman	47
5.3.3.3 TABUROUTE	48
5.3.3.4 Ο αλγόριθμος του Taillard	49
5.3.3.5 Ο αλγόριθμος των Xu και Kelly	49
5.3.3.6 Ο αλγόριθμος των Rego και Roucairol	50
5.3.3.7 Ο προσαρμοστικής μνήμης αλγόριθμος των Rochat και Taillard	50
5.3.3.8 Ο αλγόριθμος granular περιορισμένης αναζήτησης των Toth και Vigo	51
5.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις στο Π.Δ.Ο.	52

Κεφάλαιο 6

Διαδικασία Επίλυσης του Π.Δ.Ο.	53
6.1 Ο αλγόριθμος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest Neighbor)	53

Κεφάλαιο 7

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων	54
7.1 Γενικά	54
7.2 Χαρακτηριστικά	63
7.3 Αλληλεπιδραστικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων	65
7.4 Ανάπτυξη Σ.Υ.Α.	66

7.5 Συστήματα Επικοινωνίας (User Interface)	70
7.6 Τύποι Συστημάτων Επικοινωνίας	71
7.7 Συστήματα επικοινωνίας με γραφικές δυνατότητες (Graphical User Interface)	72
7.8 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων και Διαχείριση Στόλου Οχημάτων Διανομής	73
7.8.1 Εισαγωγή – Κατάσταση στην Ελλάδα	73
7.8.2 Προβλήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων	76
7.8.3 Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης Στόλου	78
7.8.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS)	82
7.8.5 Παρουσίαση Συστημάτων	83

Κεφάλαιο 8

Παρουσίαση του Συστήματος	86
8.1 Matlab – Matlab GUIDE	86
8.2 Το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ	92
8.2.1 «Μια πρώτη ματιά»	92
8.2.2 Διαχείριση Στόλου Οχημάτων με το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ	94

Κεφάλαιο 9

Συμπεράσματα	108
Βιβλιογραφία	112

Περίληψη

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Π.Δ.Ο. – *Vehicle Routing Problem – V.R.P.*) είναι ένα από τα πιο σημαντικά και πιο μελετημένα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Στο Π.Δ.Ο. το ζητούμενο είναι ο ορισμός του βέλτιστου συνόλου διαδρομών που πρέπει να εκτελεστούν από ένα στόλο οχημάτων έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν ένα σύνολο πελατών.

Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερα πακέτα βελτιστοποίησης, που στηρίζονται σε Εφαρμογές Επιχειρησιακής Έρευνας και στον Μαθηματικό Προγραμματισμό, με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση στον τομέα παροχής αγαθών και υπηρεσιών των συστημάτων διανομής. Ο μεγάλος αριθμός εφαρμογών τόσο στη Βόρειο Αμερική όσο και στην Ευρώπη δείχνει ότι η χρήση συστημάτων για την βελτιστοποίηση των διανομών αποφέρει σημαντικές εξοικονομήσεις που μπορεί να φτάσουν μέχρι και το 20% επί του συνολικού κόστους μεταφοράς. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε τον σημαντικό αντίκτυπο της εξοικονόμησης αυτής στο παγκόσμιο οικονομικό σύστημα. Στην πραγματικότητα η διαδικασία της μεταφοράς εμπλέκει όλα τα στάδια των συστημάτων παραγωγής και διανομής και αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα (από 10% ως και 20%) του τελικού κόστους των αγαθών.

Για τις ανάγκες της παρούσας ερευνητικής μεταπτυχιακής διατριβής αναπτύχθηκε ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων ικανό να συμβάλλει στην υποβοήθηση του αποφασίζοντα στην επιλογή της βέλτιστης δυνατής λύσης όσον αφορά στις διανομές προϊόντων σε έναν αριθμό πόλεων της Ελλάδας δίνοντας την δυνατότητα εισαγωγής και επεξεργασίας των δεδομένων, την γραφική απεικόνιση της λύσης με την βοήθεια χάρτη αλλά και την δυνατότητα επέμβασης στη λύση για τυχόν αναπροσαρμογές.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η ΔΙΟΔΟΣ είναι ένα λογισμικό διαχείρισης στόλου οχημάτων διανομής σε γραφικό περιβάλλον διεπαφής. Σκοπός της δημιουργίας του από την αρχή ήταν αφ' ενός η εύκολη αλληλεπίδρασή του με το χρήστη μέσα από απλές λειτουργίες και χρήση οικείων μενού και εικονιδίων και αφ' ετέρου η εύκολη παραμετροποίηση του ώστε να μπορεί, θεωρητικά τουλάχιστον, να αντεπεξέλθει στις ανάγκες της πλειοψηφίας των χρηστών.

Για την δημιουργία του ήταν απαραίτητη η γνώση των προβλημάτων που υπεισέρχονται στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και ειδικότερα σε αυτό της Δρομολόγησης Οχημάτων που αναλυτικά παρουσιάζονται στα πρώτα κεφάλαια.

Ειδικότερα,

Στο Κεφάλαιο 2 εισάγονται τα Προβλήματα του Περιπλανώμενου Πωλητή (Π.Π.Π. – Travelling Salesman Problem – T.S.P.) και της Τοποθέτησης Κιβωτίων (Π.Τ.Κ. – Bin Packing Problem – B.P.P.) τα οποία αποτελούν σημαντικό θεωρητικό υπόβαθρο για την επίλυση των περισσότερων προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια σύντομη αναφορά στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Π.Δ.Ο. – Vehicle Routing Problem – V.R.P.) καθώς και στις βασικές παραμέτρους που το αποτελούν.

Στο Κεφάλαιο 4 εισάγεται το Βασικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων αλλά και των επικρατέστερων προεκτάσεων και παραλλαγών του που προκύπτουν από μετατροπές των παραμέτρων του Βασικού Προβλήματος.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται ένα μέρος της πολύ μεγάλης σε έκταση έρευνας που έχει γίνει για την επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων. Γίνεται αναφορά και περιγραφή των σημαντικότερων Ευρετικών και Μεθευρετικών Μεθόδων που έχουν προταθεί μέχρι πρόσφατα καθώς και των αποτελεσμάτων που εξάγουν.

Στο Κεφάλαιο 6 ορίζονται οι μεταβλητές του Μαθηματικού Μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του Π.Δ.Ο. και αφορά ουσιαστικά στην απεικόνιση των διαδρομών στο γραφικό που δημιουργήθηκε

Στο Κεφάλαιο 7 επιχειρείται μια σύντομη αναφορά στα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, μια μικρή ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη των Συστημάτων Επικοινωνίας με Γραφικές Δυνατότητες (Graphical User Interfaces – GUIs). Επιπλέον γίνεται αναφορά στην συνεχώς αυξανόμενη τάση ανάπτυξης και υιοθέτησης από εταιρίες καινοτόμων λογισμικών διαχείρισης στόλου οχημάτων διανομής.

Τέλος στο Κεφάλαιο 8 γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση του συστήματος διαχείρισης στόλου οχημάτων διανομής ΔΙΟΔΟΣ που αναπτύχθηκε, με τη χρήση εικόνων που προήλθαν από εφαρμογή του συστήματος.

Κεφάλαιο 2

Τα προβλήματα Τοποθέτησης Κιβωτίων και Περιπλανώμενου Πωλητή

Πριν από τον ορισμό και την ανάλυση του βασικού **Π.Δ.Ο.** και των προεκτάσεων του, είναι απαραίτητο να αναφερθούμε σε δύο πολύ σημαντικά προβλήματα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης, των οποίων η επίλυση είναι απολύτως συνυφασμένη μ'αυτή του **Π.Δ.Ο.** Πρόκειται για :

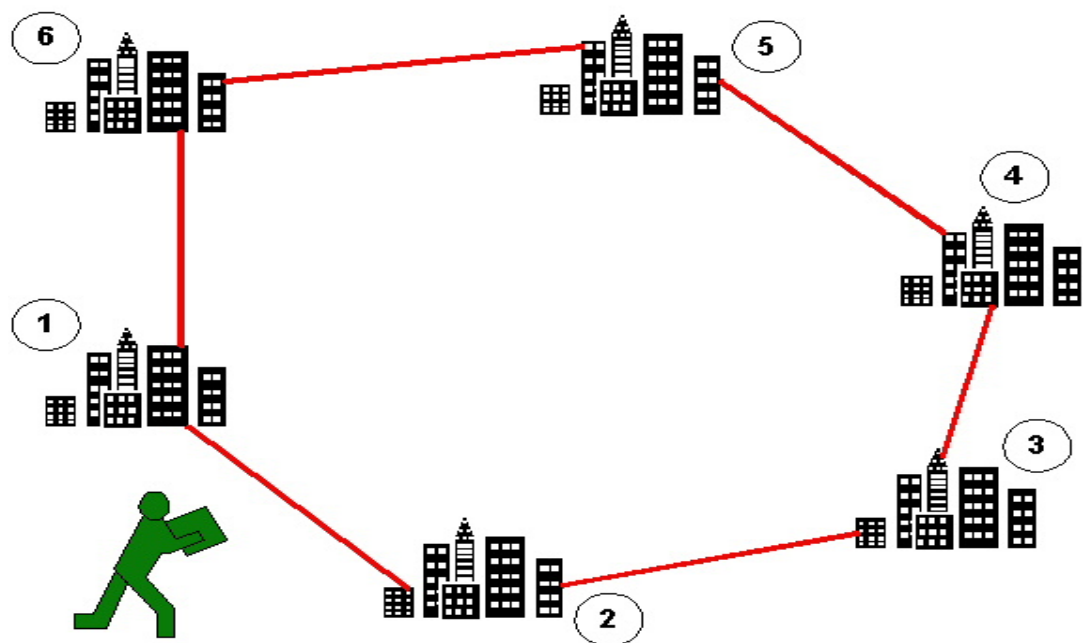
Το Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή (**Π.Π.Π.** – *Traveling Salesman Problem – T.S.P.*) και

Το Πρόβλημα Τοποθέτησης Κιβωτίων (**Π.Τ.Κ.** – *Bin Packing Problem – B.P.P.*)

2.1 Το Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή (Π.Π.Π. – Traveling Salesman Problem – T.S.P.)

Στο Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή (**Π.Π.Π.** - *Traveling Salesman Problem*) έχουμε έναν πωλητή ο οποίος ξεκινάει από μία πόλη – αφετηρία και θέλει να περάσει από ένα σύνολο από πόλεις και να επιστρέψει στην πόλη από την οποία ξεκίνησε. Το **Π.Π.Π.** απαιτεί τον καθορισμό ενός κύκλου ελαχίστου κόστους που περνά από κάθε κόμβο του σχετιζόμενου γραφήματος ακριβώς

μία φορά. Εάν το κόστος του ταξιδιού μεταξύ δύο τοποθεσιών δεν εξαρτάται από την κατεύθυνση του γραφήματος, τότε έχουμε ένα συμμετρικό Π.Π.Π. (Σχήμα 3.1), αλλιώς έχουμε ένα ασύμμετρο ή προσανατολισμένο Π.Π.Π. (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 2.1 : Το συμμετρικό Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή

Το Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στη συνδυαστική βελτιστοποίηση. Το πρόβλημα αυτό έχει μορφοποιηθεί με πάρα πολλούς τρόπους. Μια απλή μορφοποίηση του προβλήματος είναι η ακόλουθη:

Ένα γράφημα G για το Π.Π.Π. είναι ένα πλήρες, σταθμισμένο, μη προσανατολισμένο γράφημα που καθορίζεται από ζεύγη (N, d) όπου N είναι το

σύνολο των κόμβων και d η συνάρτηση απόστασης μεταξύ των κορυφών (κόμβων) του γραφήματος και ικανοποιεί τις :

- $d(i, j) = d(j, i)$ για όλα τα i και τα j που ανήκουν στο N
- $d(i, j) \geq 0$ για όλα τα i και τα j που ανήκουν στο N
- $d(i, j) + d(j, k) \geq d(i, k)$ για όλα τα i, j, k που ανήκουν στο N

Η συνθήκη 3 ονομάζεται τριγωνική ανισότητα. Ο αριθμός $d(i, j)$ ονομάζεται μήκος ή βάρος του (i, j) .

Μια πιο σύνθετη μορφοποίηση με τη χρήση ακέραιου προγραμματισμού είναι η ακόλουθη:

$$\text{Αντικειμενική Συνάρτηση :} \quad c^* = \min \sum_{ij \in E_n} c_{ij} x_{ij}$$

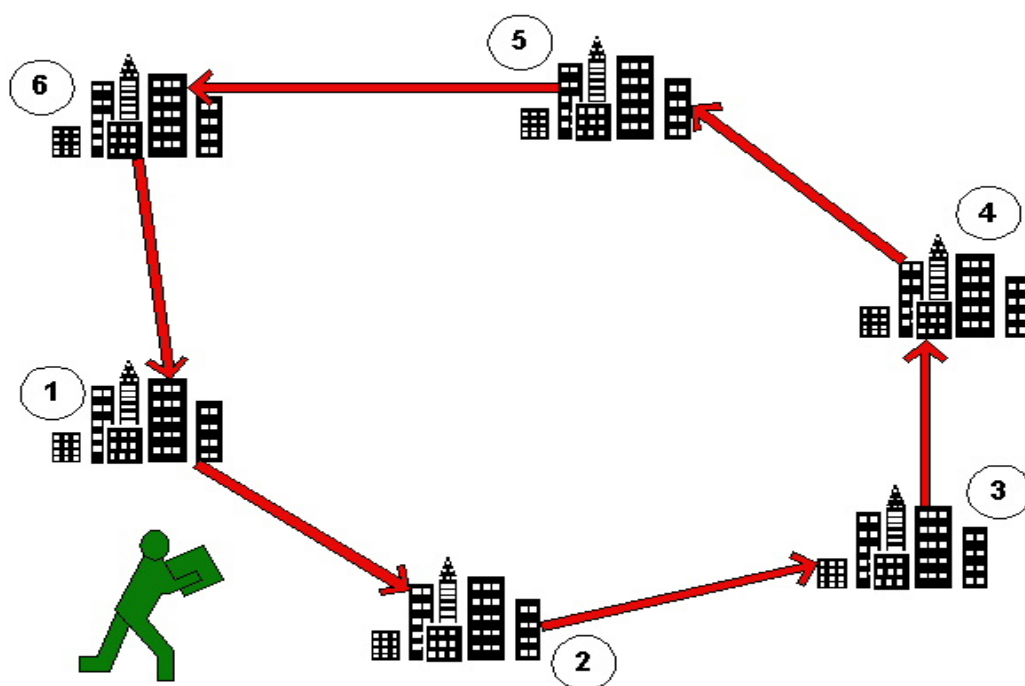
$$\text{Υπό τους περιορισμούς:} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 2 \quad , \quad i \in V_n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 2$$

$$\sum_{ij \in E_n} x_{ij} = n$$

$$x(C) \leq |C| - 1, \quad \text{για όλους τους κύκλους } C \in \{2, \dots, n\}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \text{για όλα τα } i, j \in E_n$$



Σχήμα 2.2 : Το ασύμμετρο Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή

Το **Π.Π.Π.** είναι ένα απλό πρόβλημα και βρίσκει εφαρμογές σε πολλά πεδία. Για τον λόγο αυτό έχουν προταθεί πολλοί ακριβείς και ευρετικοί αλγόριθμοι για την επίλυσή του. Οι ακριβείς αλγόριθμοι στηρίζονται κυρίως στις μεθόδους διακλάδωσης και οριοθέτησης (*branch and bound*), και είναι ικανοί να δώσουν λύση ακόμα και σε προβλήματα μεγάλης τάξης όσον αφορά τον αριθμό των μεταβλητών. Βασικό μειονέκτημα όμως των ακριβών αλγορίθμων παραμένει ο υπερβολικά μεγάλος χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό των λύσεων. Απ'την άλλη μεριά ορισμένες ευρετικές μέθοδοι έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικές όσον αφορά την ποιότητα των λύσεων που εξάγουν αλλά και τον χρόνο υπολογισμού τους, όπως για παράδειγμα οι αλγόριθμοι 2 – opt, 3 – opt και ο αλγόριθμος Lin – Kenighan για τους οποίους γίνεται λόγος σε παρακάτω κεφάλαιο όσον αφορά την εφαρμογή τους στο **Π.Δ.Ο.**.

2.2 Το Πρόβλημα Τοποθέτησης Κιβωτίων (Π.Τ.Κ. – *Bin Packing Problem – B.P.P.*)

Το Πρόβλημα Τοποθέτησης Κιβωτίων (Π.Τ.Κ. – **Bin Packing Problem – B.P.P.**) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θεωρητικής σημασίας προβλήματα και χρησιμοποιείται ως θεωρητικό υπόβαθρο σε πολλές περιπτώσεις. Το Π.Τ.Κ. βρίσκει πολλές εφαρμογές στην επίλυση πραγματικών προβλημάτων όπως για παράδειγμα στην διάταξη των αρχείων των ηλεκτρονικών υπολογιστών, στην εκχώρηση άρθρων σε εφημερίδες, στην δρομολόγηση προϊόντων, στην εκχώρηση διαφημιστικών μηνυμάτων σε κανάλια ή ραδιοφωνικούς σταθμούς και πολλές άλλες.

Στο κλασσικό Π.Τ.Κ. μιας διάστασης, δίνεται μια λίστα από αντικείμενα $L = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ καθένα με μέγεθος $s(a_i) \in (0,1]$ και ζητείται η τοποθέτησή τους στον ελάχιστο αριθμό κιβωτίων μοναδιαίας χωρητικότητας.

Σε μια άλλη εκδοχή του Π.Τ.Κ. δίνεται και πάλι η λίστα των αντικειμένων αλλά και διάφοροι τύποι κιβωτίων B^1, B^2, \dots, B^l με μεγέθη $1 = s(B^1) > s(B^2) > \dots > s(B^l)$. Θεωρούμε ότι υπάρχει απεριοριστος αριθμός κιβωτίων όλων των μεγεθών. Σκοπός είναι η τοποθέτηση των αντικειμένων στα κιβώτια έτσι ώστε το άθροισμα των μεγεθών των κιβωτίων που χρησιμοποιούνται να ελαχιστοποιείται.

Έχουν προταθεί πολλοί αλγόριθμοι για την επίλυση του Π.Τ.Κ.. Επικρατέστεροι όμως και πιο διαδεδομένοι απ'αυτούς είναι οι παρακάτω τέσσερις αλγόριθμοι απληστίας :

- **Ο αλγόριθμος Next Fit (NF)**

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό ένα αντικείμενο a_i τοποθετείται στο ανοικτό κιβώτιο που υπάρχει αν χωράει. Αν στο κιβώτιο αυτό δεν υπάρχει χώρος για το a_i , το κιβώτιο κλείνει και ανοίγει το επόμενο που δέχεται ως πρώτο του

αντικείμενο, το a_i . Ο αλγόριθμος NF είναι ένας αποτελεσματικός και γρήγορος αλγόριθμος.

- **Ο αλγόριθμος First Fit (FF)**

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί γενίκευση του NF. Στην περίπτωση αυτή όλα τα κιβώτια παραμένουν ανοικτά. Αν ένα αντικείμενο a_i δεν χωράει σε κανένα από τα ανοικτά κιβώτια ανοίγεται ένα νέο κιβώτιο. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα κιβώτια παραμένουν ανοικτά μέχρι να ολοκληρωθεί η τοποθέτηση και τελικά το a_i τοποθετείται εκεί που ταιριάζει καλύτερα, δηλαδή σ' εκείνο το κιβώτιο που θα καταλαμβάνει τον μικρότερο όγκο σε σχέση με τον όγκο του κιβωτίου.

- **Ο αλγόριθμος Next Fit Decreasing (NFD)**

Η λογική του αλγορίθμου αυτού στηρίζεται στην ταξινόμηση των αντικειμένων που πρόκειται να τοποθετηθούν στα κιβώτια. Τα αντικείμενα ταξινομούνται έτσι ώστε $s(a_1) \geq s(a_2) \geq \dots \geq s(a_n)$. Έτσι προκύπτει μια νέα λίστα L στην οποία εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Next Fit.

- **Ο αλγόριθμος First Fit Decreasing (FFD)**

Όπως και ο NFD έτσι και αυτός ο αλγόριθμος ταξινομεί τα αντικείμενα σε φθίνουσα σειρά. Διαφέρει μόνο στο ότι μετά την ταξινόμηση εφαρμόζει τον αλγόριθμο First Fit.

Κεφάλαιο 3

Εισαγωγή στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (**Π.Δ.Ο.** – *Vehicle Routing Problem – V.R.P.*) είναι ένα από τα πιο σημαντικά και πιο μελετημένα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Στο **Π.Δ.Ο.** το ζητούμενο είναι ο ορισμός του βέλτιστου συνόλου διαδρομών που πρέπει να εκτελεστούν από ένα στόλο οχημάτων έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν ένα σύνολο πελατών.

Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερα πακέτα βελτιστοποίησης, που στηρίζονται σε Εφαρμογές Επιχειρησιακής Έρευνας και στον Μαθηματικό Προγραμματισμό, με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση στον τομέα παροχής αγαθών και υπηρεσιών των συστημάτων διανομής. Ο μεγάλος αριθμός εφαρμογών τόσο στη Βόρειο Αμερική όσο και στην Ευρώπη δείχνει ότι η χρήση συστημάτων για την βελτιστοποίηση των διανομών αποφέρει σημαντικές εξοικονομήσεις που μπορεί να φτάσουν μέχρι και το 20% επί του συνολικού κόστους μεταφοράς. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε τον σημαντικό αντίκτυπο της εξοικονόμησης αυτής στο παγκόσμιο οικονομικό σύστημα. Στην πραγματικότητα η διαδικασία της μεταφοράς εμπλέκει όλα τα στάδια των συστημάτων παραγωγής και διανομής και αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα (από 10% ως και 20%) του τελικού κόστους των αγαθών.

Η επιτυχία της χρήσης τεχνικών που απορρέουν από εφαρμογές Επιχειρησιακής Έρευνας οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων τόσο στον τομέα του υλικού (hardware) όσο και στον τομέα του λογισμικού (software), αλλά και στη αυξανόμενη ανάμειξη συστημάτων πληροφόρησης κατά τις διαδικασίες παραγωγής και πώλησης. Ένας άλλος εξίσου σημαντικός παράγοντας αυτής της επιτυχίας είναι και η ανάπτυξη μοντέλων και αλγορίθμων κυρίως τα τελευταία χρόνια. Τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν υπ'όψη τους όλα τα χαρακτηριστικά των προβλημάτων διανομής που προκύπτουν σε πραγματικές εφαρμογές, ενώ οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι βρίσκουν ικανοποιητικές λύσεις σε αποδεκτούς υπολογιστικούς χρόνους.

Η διανομή αγαθών αφορά την εξυπηρέτηση, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, ενός συνόλου πελατών από ένα σύνολο οχημάτων. Τα οχήματα αυτά είναι εγκατεστημένα σε μία ή περισσότερες κεντρικές αποθήκες, χρησιμοποιούνται από ένα πλήρωμα (οδηγούς) και εκτελούν τις κινήσεις τους χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο οδικό δίκτυο. Ειδικότερα, η επίλυση ενός **Π.Δ.Ο.** απαιτεί ουσιαστικά τον καθορισμό ενός συνόλου διαδρομών, κάθε μία από τις οποίες πραγματοποιείται από ένα όχημα που έχει ως αφετηρία και τέλος την ίδια κεντρική αποθήκη. Οι διαδρομές αυτές πρέπει να γίνονται έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι ανάγκες των πελατών, να ικανοποιούνται οι πιθανοί περιορισμοί που προκύπτουν σε κάθε πρόβλημα και φυσικά να ελαχιστοποιείται τελικά το συνολικό κόστος μεταφοράς.

Το οδικό δίκτυο, που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των προϊόντων, περιγράφεται γενικά μέσω ενός γραφήματος του οποίου τα τόξα παριστάνουν τις διαδρομές ενώ οι κορυφές τα σημεία στα οποία βρίσκονται οι αποθήκες και οι πελάτες. Τα τόξα μπορεί να είναι προσανατολισμένα ή μη προσανατολισμένα ανάλογα με το αν μπορούν να διασχισθούν προς την μία ή και προς τις δύο κατευθύνσεις αντίστοιχα. Κάθε τόξο σχετίζεται με ένα κόστος, που γενικά αντιπροσωπεύει το μήκος του, με ένα χρόνο ταξιδιού, που πιθανώς εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος ή την χρονική περίοδο κατά την οποία διασχίζεται ένα τόξο.

Τα τυπικά χαρακτηριστικά των πελατών είναι :

- Οι κορυφές του γραφήματος στις οποίες βρίσκονται οι πελάτες

- Το σύνολο των προϊόντων (ζήτηση), πολλές φορές και από διαφορετικά είδη, που πρέπει να διανεμηθεί ή να συλλεχθεί από τον πελάτη
- Οι περίοδοι της ημέρας (χρονικά διαστήματα) κατά τις οποίες μπορεί να εξυπηρετηθεί ένας πελάτης (για παράδειγμα, εξ'αιτίας των χρονικών περιόδων που ένα κατάστημα-πελάτης είναι ανοικτό ή κάποιων περιορισμών κυκλοφορίας)
- Οι χρόνοι που απαιτούνται για την διανομή ή την συλλογή των προϊόντων που εξαρτώνται και από τον τύπο του οχήματος που χρησιμοποιείται
- Το υποσύνολο των διαθέσιμων οχημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξυπηρέτηση του πελάτη (για παράδειγμα λόγω περιορισμών κυκλοφορίας ή περιορισμών στο φορτίο του οχήματος)

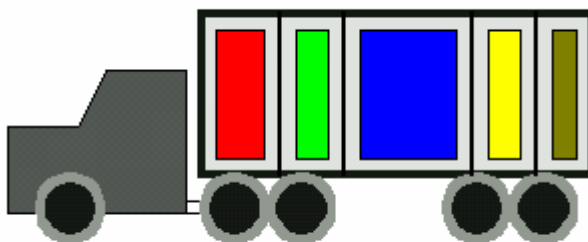
Πολλές φορές η ζήτηση ενός πελάτη δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθεί πλήρως. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι ποσότητες που πρέπει να διανεμηθούν ή να συλλεχθούν μπορούν να μειωθούν ή ένα υποσύνολο πελατών να μην εξυπηρετηθεί. Για να αντιμετωπισθούν τέτοια προβλήματα προσδιορίζονται στους πελάτες διάφορες προτεραιότητες ή ποινές που σχετίζονται με την μερική ή ολική έλλειψη εξυπηρέτησης.

Οι διαδρομές που σχεδιάζονται για να εξυπηρετηθούν οι πελάτες ξεκινούν και καταλήγουν σε μία ή περισσότερες αποθήκες, που βρίσκονται στις κορυφές ενός γραφήματος. Κάθε κορυφή χαρακτηρίζεται από τον αριθμό και τον τύπο των οχημάτων που βρίσκονται σε αυτήν καθώς και από τον συνολικό αριθμό προϊόντων που μπορεί να διαχειριστεί. Σε πολλές πραγματικές εφαρμογές, οι πελάτες είναι χωρισμένοι ανάλογα με τις αποθήκες από τις οποίες εξυπηρετούνται και τα οχήματα πρέπει να επιστρέψουν στην αποθήκη από την οποία ξεκίνησαν. Στις περιπτώσεις αυτές το ολικό **Π.Δ.Ο.** μπορεί να αναλυθεί σε μικρότερα ανεξάρτητα προβλήματα, καθένα από τα οποία σχετίζεται με μια διαφορετική αποθήκη.

Η μεταφορά προϊόντων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας έναν στόλο οχημάτων του οποίου η σύνθεση και το μέγεθος μπορεί να καθοριστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών.

Τα τυπικά χαρακτηριστικά των οχημάτων είναι :

- Η αποθήκη-βάση του οχήματος και η πιθανότητα το όχημα να τελειώσει την διαδρομή του σε μια διαφορετική αποθήκη
- Η χωρητικότητα του οχήματος, εκφρασμένη σαν μέγιστο βάρος ή όγκο ή αριθμό παλετών που μπορεί να μεταφέρει το όχημα
- Οι πιθανές υποδιαίρεσεις του οχήματος σε διαμερίσματα καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από την χωρητικότητά του και το είδος των προϊόντων που περιέχει (Σχήμα 1.1)
- Οι μέθοδοι φόρτωσης και εκφόρτωσης
- Το υποσύνολο των τόξων του γραφήματος που μπορούν να διασχισθούν από το όχημα
- Τα κόστος που σχετίζονται με την χρήση του οχήματος (ανά μονάδα απόστασης, ανά διαδρομή κ.α.)



Σχήμα 3.1 : Υποδιαίρεσεις του οχήματος σε διαμερίσματα ανάλογα με την χωρητικότητα τους ή το είδος των προϊόντων που μεταφέρει

Οι οδηγοί των οχημάτων πρέπει να ικανοποιούν και πολλούς περιορισμούς που προκύπτουν από συμβάσεις και κανονισμούς της εταιρείας, όπως για παράδειγμα ωράρια εργασίας, μέγιστη διάρκεια οδήγησης, υπερωρίες κ.α.). Στη συνέχεια οι περιορισμοί αυτοί που έχουν να κάνουν με τους οδηγούς, συμπεριλαμβάνονται στους περιορισμούς που αναφέρονται στα οχήματα.

Οι διαδρομές πρέπει να ικανοποιούν πολλούς λειτουργικούς περιορισμούς, που εξαρτώνται από την φύση των προϊόντων που διανέμονται, την ποιότητα του επιπέδου εξυπηρέτησης και τα χαρακτηριστικά των πελατών και των οχημάτων. Μερικοί τέτοιοι τυπικοί περιορισμοί είναι οι ακόλουθοι :

- Σε κάθε διαδρομή το συνολικό φορτίο δεν πρέπει να υπερβαίνει την χωρητικότητα του οχήματος
- Οι πελάτες που εξυπηρετούνται σε μια διαδρομή μπορούν να απαιτούν την διανομή προϊόντων σε αυτούς, την συλλογή προϊόντων απ'αυτούς ή ακόμα και τα δύο
- Οι πελάτες πρέπει να εξυπηρετώνται μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (time windows) και στα ωράρια εργασίας των οδηγών

Οι περιορισμοί προτεραιότητας μπορούν να τεθούν με την σειρά με την οποία εξυπηρετώνται οι πελάτες σε μια διαδρομή. Ένας τύπος περιορισμού προτεραιότητας απαιτεί ότι ένας πελάτης πρέπει να εξυπηρετηθεί κατά την ίδια διαδρομή από την οποία εξυπηρετείται ένα υποσύνολο πελατών και ο πελάτης αυτός να εξυπηρετηθεί πριν (ή μετά) από το υποσύνολο αυτό. Αυτή είναι η περίπτωση, για παράδειγμα των προβλημάτων συλλογής και διανομής (*pickup and delivery*) όπου οι διαδρομές σχεδιάζονται έτσι ώστε να πραγματοποιούνται και συλλογές εκτός από διανομές προϊόντων και τα προϊόντα που συλλέγονται πρέπει να διανεμηθούν σε κάποιους άλλους πελάτες με το ίδιο όχημα. Ένας άλλος τύπος περιορισμού προτεραιότητας που τίθεται είναι η σειρά με την οποία επισκέπτονται οι πελάτες που ανήκουν σ'ένα υποσύνολο όταν αυτοί δεν είναι του ίδιου τύπου (δηλαδή αν παραλαμβάνουν ή παραδίδουν προϊόντα). Τέτοιες εφαρμογές συναντάμε στα **Π.Δ.Ο.** με **Παραλαβές** (***V.R.P. with Backhauls***), όπου και πάλι οι διαδρομές πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να πραγματοποιούνται διανομές αλλά και παραλαβές. Στα προβλήματα αυτά οι περιορισμοί που σχετίζονται με την φόρτωση και την εκφόρτωση των προϊόντων καθώς και η δυσκολία της επαναδιευθέτησης του φορτίου του οχήματος στη διάρκεια της διαδρομής επιβάλλουν οι διανομές να γίνουν πριν τις παραλαβές.

Η εκτίμηση του συνολικού κόστους των διαδρομών και ο έλεγχος των περιορισμών που τίθενται σε αυτές, απαιτεί την γνώση του κόστους μετάβασης καθώς και του χρόνου μετάβασης μεταξύ των πελατών αλλά και μεταξύ των

αποθηκών και των πελατών. Για τον σκοπό αυτό, το αρχικό γράφημα μετασχηματίζεται σε ένα ολοκληρωμένο γράφημα του οποίου οι κορυφές του γραφήματος αντιστοιχούν σε πελάτες και αποθήκες. Για κάθε ζεύγος κορυφών i και j του ολοκληρωμένου γραφήματος, ορίζεται ένα τόξο (i, j) του οποίου το κόστος c_{ij} είναι το κόστος μετάβασης από την κορυφή i στην j μέσω του συντομότερου δρόμου. Ο χρόνος μετάβασης t_{ij} υπολογίζεται σαν το άθροισμα των χρόνων μετάβασης των τόξων που ανήκουν στον συντομότερο δρόμο ώστε να φτάσουμε από την κορυφή i στην j . Στη συνέχεια, αντί του αρχικού γραφήματος θα θεωρούμε το ολοκληρωμένο γράφημα που μπορεί να είναι προσανατολισμένο ή μη προσανατολισμένο ανάλογα με το αν οι πίνακες κόστους και χρόνου μετάβασης είναι συμμετρικοί ή ασύμμετροι, αντίστοιχα.

Οι αντικειμενικοί σκοποί της επίλυσης των **Π.Δ.Ο.** ποικίλουν και πολλές φορές είναι και αντικρουόμενοι. Οι συνηθέστεροι απ'αυτούς είναι :

- Η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς, που εξαρτάται από την συνολική απόσταση(ή τον συνολικό χρόνο μετάβασης) και από το σταθερό κόστος από την χρησιμοποίηση των οχημάτων αλλά και την αμοιβή των οδηγών.
- Η ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων (ή των οδηγών) που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση των πελατών
- Η εξισορρόπηση των διαδρομών όσον αφορά τους χρόνους μετάβασης και το φορτίο των οχημάτων
- Η ελαχιστοποίηση των «ποινών» λόγω της μη εξυπηρέτησης
- Διάφοροι συνδυασμοί των παραπάνω

Σε πολλές εφαρμογές, κάθε όχημα μπορεί να πραγματοποιήσει περισσότερες από μία διαδρομές σε κάποια ορισμένη χρονική περίοδο ή οι διαδρομές ενδέχεται να διαρκούν περισσότερο από μία ημέρα. Επίσης, μερικές φορές είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε στοχαστικές ή δυναμικές εκδοχές του προβλήματος (εξαρτώνται δηλαδή από τον χρόνο), όπως για παράδειγμα προβλήματα στα οποία δεν γνωρίζουμε εκ των προτέρων την ζήτηση των πελατών ή το κόστος μετάβασης σ'αυτούς.

Έχουν περάσει περισσότερα από 40 χρόνια από τότε που οι Dantzig και Ramser εισήγαγαν το πρόβλημα το 1959. Οι δυο τους περιέγραψαν μια πραγματική εφαρμογή που αφορούσε στην διανομή βενζίνης σε πρατήρια και πρότειναν την πρώτη μαθηματική διατύπωση καθώς και την πρώτη αλγοριθμική προσέγγιση. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1964, οι Clarke και Wright πρότειναν μια αποτελεσματική ευρετική μέθοδο απληστίας που αποτέλεσε μια βελτίωση της προσέγγισης των Dantzig και Ramser. Με βάση τις δύο αυτές πρωταρχικές προσεγγίσεις, αναπτύχθηκαν εκατοντάδες μοντέλα και αλγόριθμοι για την βέλτιστη λύση διάφορων εκδοχών του **Π.Δ.Ο.**. Αυτό το τεράστιο ενδιαφέρον για τα **Π.Δ.Ο.** παλαινήθηκε από τις πολλές πρακτικές εφαρμογές του προβλήματος αλλά και από την εξής αξιοσημείωτη δυσκολία: Οι πολυπλοκότερες περιπτώσεις **Π.Δ.Ο.** που μπορούν να επιλυθούν με τους πιο αποτελεσματικούς ακριβείς αλγορίθμους που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα, εκτός από μεμονομένες περιπτώσεις, είναι της τάξης των 50 πελατών.

Κεφάλαιο 4

Το Βασικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων και οι Προεκτάσεις του

4.1 Ο Ορισμός του Βασικού Π.Δ.Ο.

Το βασικό **Π.Δ.Ο.** είναι πολύ εύκολο να διατυπωθεί. Μας δίνονται οι πελάτες που είναι $i = 1, \dots, n$ ενώ $i = 0$ είναι η κεντρική αποθήκη από την οποία ξεκινούν όλες οι διανομές (Σχήμα 3.1). Ο πελάτης i έχει ζήτηση q_i σε ποσότητα προϊόντων, το κόστος μεταβίβασης μεταξύ δύο πελατών i και j ορίζεται ως c_{ij} .

Διαθέτουμε K οχήματα τα οποία εκτελούν τις διανομές και η χωρητικότητα καθενός απ'αυτά είναι ίση με Q_K .

Στην απλούστερη μορφή του το **Π.Δ.Ο.** μπορεί να αποδοθεί κάνοντας τις παρακάτω υποθέσεις :

- Ο στόλος των οχημάτων που πραγματοποιούν τις διανομές αποτελείται από όμοια οχήματα
- Δεν υπάρχουν περιορισμοί με χρονικά διαστήματα (Time windows)

Με βάση λοιπόν τις παραπάνω χαλαρώσεις το **Π.Δ.Ο.** μπορεί να διατυπωθεί μαθηματικά ως εξής :

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\min \sum_v \sum_{ij} c_{ij}^v x_{ij}^v$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum d_i x_{ij}^v \leq K, \forall v = 1, 2, \dots, M$$

$$X = [x_{ij}^v] \in S^*$$

$$x_{ij}^v = \begin{cases} 1 & \text{εάν } i \text{ και } j \text{ συνδέονται κατά την διαδρομή } v \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

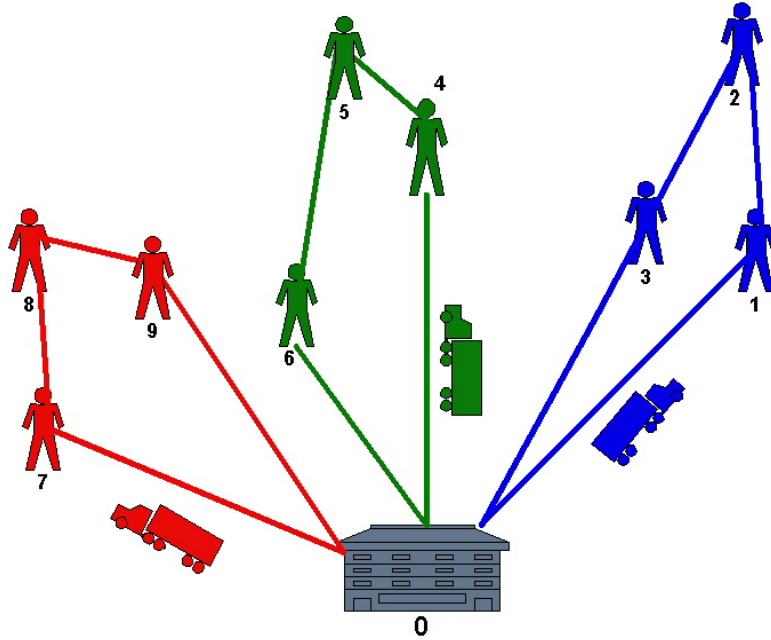
όπου c_{ij} είναι η απόσταση που διανύουν τα οχήματα ή το κόστος της διαδρομής από τον πελάτη i στον j .

d_i = η ζήτηση του σημείου/πελάτη i

K = η χωρητικότητα του οχήματος

M = το σύνολο των οχημάτων που διαθέτουμε

S^* = το σύνολο όλων των M λύσεων του Π.Π.Π.



Σχήμα 4.1 : Σχηματική απεικόνιση του Βασικού Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων

Αργότερα, στο **Κεφάλαιο 8** θα αναλυθεί και το μοντέλο Π.Δ.Ο. που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος που απασχόλησε την εργασία αυτή.

4.2 Προεκτάσεις του Βασικού Π.Δ.Ο.

Το **Π.Δ.Ο.** είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης και εκτός από τον παραπάνω ορισμό που αποτελεί στην ουσία το βασικό **Π.Δ.Ο.**, το πρόβλημα έχει και πάρα πολλές προεκτάσεις οι οποίες προκύπτουν κάθε φορά από τις πρακτικές εφαρμογές σε πραγματικά προβλήματα. Για κάθε μια από τις πρακτικές εφαρμογές του **Π.Δ.Ο.** που προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων διοίκησης και διανομής, θέτονται κάθε φορά διάφοροι λειτουργικοί περιορισμοί έτσι ώστε να ανταποκρίνονται κάθε φορά οι λύσεις στις επιθυμητές κατασκευές δρομολογίων. Για παράδειγμα, η εξυπηρέτηση μπορεί να περιλαμβάνει διανομές αλλά και παραλαβές, το φορτίο που μετακινείται μέσω κάποιου δρομολογίου να μην μπορεί να ξεπεράσει κάποια δεδομένη χωρητικότητα του οχήματος, το συνολικό μήκος του κάθε δρομολογίου να μην μπορεί να ξεπεράσει ένα δεδομένο όριο, η εξυπηρέτηση των πελατών να πρέπει να γίνει μέσα σε καθορισμένα χρονικά περιθώρια, ο στόλος των οχημάτων ενδέχεται να αποτελείται από ετερογενή οχήματα, πιθανές σχέσεις προαπαίτησης εξυπηρέτησης μεταξύ των πελατών, οι απαιτήσεις των πελατών μπορεί να μην είναι γνωστές εξ'αρχής, η εξυπηρέτηση κάποιου πελάτη μπορεί να γίνεται με περισσότερα του ενός οχήματα, αλλά και άλλα πολλά χαρακτηριστικά των απαιτήσεων των πελατών ή των χρόνων τα οποία διακυμαίνονται δυναμικά.

Οι σημαντικότερες προεκτάσεις του βασικού **Π.Δ.Ο.** που ακολουθούν παρακάτω είναι οι εξής :

- Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας (Π.Δ.Ο.Π.Χ. – *Capacitated Vehicle Routing Problem – C.V.R.P.*)
- Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα (Π.Δ.Ο.Χ.Δ. – *Vehicle Routing Problem with Time Windows – V.R.P.T.W.*)
- Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές (Π.Δ.Ο.Π. – *Vehicle Routing Problem with Backhauls – V.R.P.B.*)
- Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές και Διανομές (Π.Δ.Ο.Π.& Δ. – *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery – V.R.P.P.D.*)

4.2.1 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας (Π.Δ.Ο.Π.Χ. – *Capacitated Vehicle Routing Problem – C.V.R.P.*)

Η βασική στατική και αιτιοκρατική εκδοχή του Π.Δ.Ο., είναι γνωστή ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας (*Capacitated Vehicle Routing Problem – C.V.R.P.*). Στο Π.Δ.Ο.Π.Χ. όλοι οι πελάτες αντιστοιχούν σε κάποιες διανομές, οι απαιτήσεις σε προϊόντα είναι αιτιοκρατικές και γνωστές εκ των προτέρων, οι αποστολές στους πελάτες δεν μπορούν να διαιρεθούν σε περισσότερα του ενός οχήματα, ο στόλος των οχημάτων είναι ομοιογενής και ξεκινάει από μια μόνο κεντρική αποθήκη ή κέντρο διανομής. Έτσι οι μόνοι περιορισμοί που τίθενται είναι περιορισμοί χωρητικότητας των οχημάτων ενώ το ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (δηλαδή του αριθμού των δρομολογίων και / ή του μήκους τους ή του χρόνου διεκπεραίωσής τους) που απαιτείται για την εξυπηρέτηση των πελατών. Γενικά, το κόστος μετακίνησης μεταξύ δύο πελατών είναι το ίδιο ανεξάρτητα της κατεύθυνσης με την οποία γίνεται η μετακίνηση, δηλαδή ο πίνακας κόστους που προκύπτει είναι συμμετρικός, αν και σε πολλές εφαρμογές,

όπως η διανομή προϊόντων σε αστικές περιοχές όπου επιβάλλονται μετακινήσεις μίας κατευθυνσεις, ο πίνακας κόστους είναι ασύμμετρος.

Το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** έχει μελετηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις αρχές της δεκαετίας του '60 και τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί πολλές ευρετικές και ακριβείς προσεγγίσεις για την επίλυσή του. Έτσι, τα μεγαλύτερα προβλήματα που μπορούν να λυθούν με τη χρήση των πιο ακριβών και αποτελεσματικών αλγορίθμων που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα, αποτελούνται από 50 το πολύ πελάτες, παρόλο που σε αρκετές περιπτώσεις έχει δοθεί λύση σε ορισμένες εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα προβλήματα που εμφανίζονται σε αληθινές περιπτώσεις μπορούν να επιλυθούν μόνο με την χρήση ευρετικών μεθόδων.

Το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** αποτελεί μια γενίκευση του γνωστού **Προβλήματος του Περιπλανώμενου Πωλητή (Π.Π.Π.)** στο οποίο το ζητούμενο είναι ο καθορισμός του δρομολογίου εκείνου το οποίο σχετίζεται με το ελάχιστο κόστος, μέσω του οποίου ο **Πωλητής** επισκέπτεται ακριβώς μία φορά καθένα από τα σημεία από τα οποία πρέπει να περάσει. Σχετικά με την ακριβή επίλυση του **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** υπάρχει στην βιβλιογραφία ένας μεγάλος αριθμός προσεγγίσεων που στηρίζονται στην τεράστια και επιτυχημένη έρευνα που έχει γίνει τα τελευταία χρόνια για την ακριβή επίλυση του **Προβλήματος του Περιπλανώμενου Πωλητή**.

Οι Laporte και Nobert παρουσίασαν το 1987 μια εκτεταμένη μελέτη η οποία ήταν αποκλειστικά αφιερωμένη σε ακριβείς μεθόδους επίλυσης του **Π.Δ.Ο.** και έδωσαν μια πλήρη και αναλυτική περιγραφή της κατάστασης που επικρατούσε μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80. Σχετικά τώρα με τη λύση του **Π.Δ.Ο.Π.Χ.**, μέχρι και τα τέλη της περασμένης δεκαετίας οι πιο αποτελεσματικοί αλγόριθμοι ήταν αυτοί της διακλάδωσης και οριοθέτησης (branch and bound algorithms). Πρόσφατα προτάθηκαν πιο σύνθετα όρια όπως αυτά που στηρίζονται σε Λαγκρανζιανές χαλαρώσεις ή στην επιπρόσθετη προσέγγιση, τα οποία αυξάνουν το μέγεθος των προβλημάτων βελτιστοποίησης που μπορούν να λυθούν με τις μεθόδους διακλάδωσης και οριοθέτησης.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ Π.Δ.Ο.Π.Χ.

Το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** μπορεί να οριστεί ως εξής :

Θεωρούμε ένα γράφημα $G = (V, A)$ όπου $V = \{0, \dots, n\}$ είναι το σύνολο των κορυφών και A το σύνολο των τόξων. Οι κορυφές $j = 1, \dots, n$ ανταποκρίνονται στους πελάτες, καθεμία με γνωστή ζήτηση d_j , ενώ η κορυφή 0 αποτελεί την κεντρική αποθήκη από την οποία ξεκινούν όλες οι διανομές με ζήτηση $d_j = 0$.

Αν θεωρήσουμε το σύνολο S ως το σύνολο των πελατών και υποσύνολο του V ($S \subseteq V$), τότε $d(S) = \sum_{j \in S} d_j$ είναι η συνολική ζήτηση του συνόλου S .

Κάθε τόξο $(i, j) \in A$ σχετίζεται με ένα μη αρνητικό κόστος c_{ij} και αναπαριστά το κόστος μετακίνησης από την κορυφή i στην κορυφή j . Γενικά η χρήση κλειστών τόξων (i, i) δεν επιτρέπεται ενώ το κόστος σ'αυτήν την περίπτωση τίθεται ίσο με άπειρο ($c_{ii} = +\infty$) για κάθε $i \in V$. Αν ο πίνακας του κόστους είναι ασύμμετρος τότε το A είναι ένα σύνολο προσανατολισμένων τόξων και το πρόβλημα ονομάζεται **Ασύμμετρο Π.Δ.Ο.Π.Χ.** Δηλαδή όταν $c_{ij} \neq c_{ji}$ για όλα τα $i, j \in V$ το πρόβλημα ονομάζεται **Συμμετρικό Π.Δ.Ο.Π.Χ.** και το σύνολο των τόξων A αντικαθίσταται συχνά από ένα σύνολο μη προσανατολισμένων ακμών E . Στο εξής θα συμβολίζουμε το σύνολο των μη προσανατολισμένων ακμών του γραφήματος G με E όταν οι ακμές δηλώνονται με βάση τα άκρα τους $(i, j), i, j \in V$ και με E όταν αυτές δηλώνονται μέσω ενός μοναδικού δείκτη e . Σ'ένα σύνολο $S \subset V$ οι συναρτήσεις $\delta(S)$ και $\sigma(S)$ δηλώνουν το σύνολο των ακμών $e \in E$ (ή των τόξων $(i, j) \in A$) που έχουν ένα μόνο ή δύο άκρα, αντίστοιχα. Συνήθως, όταν θεωρούμε μεμονωμένες κορυφές, τότε γράφουμε $\delta(i)$ παρά $\delta(\{i\})$.

Σε διάφορες πρακτικές περιπτώσεις ο πίνακας κόστους ικανοποιεί την **τριγωνική ανισότητα**, $c_{ik} + c_{kj} \geq c_{ij}$ για όλα τα $i, j, k \in V$. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι βολικό να παραικλίνουμε από την απ'ευθείας σύνδεση μεταξύ των κορυφών i και j . Η εκτίμηση της τριγωνικής ανισότητας απαιτείται τις περισσότερες φορές από τους προτεινόμενους αλγόριθμους για την επίλυση του **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** Σ'αυτή την περίπτωση, αν το αρχικό βήμα δεν ικανοποιεί την τριγωνική ανισότητα, τότε η συνθήκη της ισοδυναμίας μπορεί να εξασφαλιστεί μ'έναν άμεσο τρόπο προσθέτοντας μια κατάλληλη μεγάλη θετική ποσότητα M στο

κόστος του κάθε τόξου. Ωστόσο, η παραδοχή αυτή μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή πολύ «κακών» λύσεων σε σχέση με το αρχικό κόστος, ειδικά όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των ευρετικών αλγορίθμων. Εάν το γράφημα G είναι ισχυρά συνδεδεμένο αλλά όχι πλήρες, είναι πιθανό να προκύψει ένα γράφημα στο οποίο το κόστος του κάθε τόξου (i, j) να ορίζεται ως το κόστος της ελάχιστης διαδρομής από το i στο j , υπολογισμένο όμως με βάση το αρχικό γράφημα. Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις οι κορυφές σχετίζονται με τα σημεία τα οποία δίνονται με συντεταγμένες και τότε το κόστος c_{ij} , για όλα τα τόξα $(i, j) \in A$, ορίζεται σαν την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο σημείων που αναπαριστούν τις κορυφές i και j . Στην περίπτωση αυτή ο πίνακας του κόστους είναι συμμετρικός και ικανοποιεί την τριγωνική ανισότητα και το προκύπτον πρόβλημα ονομάζεται **Ευκλείδειο Π.Δ.Ο.Π.Χ.**.

Η κεντρική αποθήκη διαθέτει ένα σύνολο K όμοιων οχημάτων, καθένα με χωρητικότητα C . Κάθε όχημα ακολουθεί ένα μόνο δρομολόγιο, ενώ ο αριθμός K δεν είναι μικρότερος ενός ορίου K_{\min} , όπου K_{\min} είναι ο ελάχιστος αριθμός των οχημάτων που χρειάζονται για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών. Η τιμή του K_{\min} καθορίζεται από την επίλυση του Προβλήματος Τοποθέτησης Κιβωτίων (**Π.Τ.Κ.**) που σχετίζεται με το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.**, για τον καθορισμό του ελάχιστου αριθμού κουτιών συσκευασίας, καθένα με χωρητικότητα C , που απαιτούνται για την φόρτωση n αντικειμένων, καθένα με ένα μη αρνητικό βάρος $d_j, j = 1, \dots, n$.

Σ'ένα σύνολο $S \subseteq V \setminus \{0\}$, ορίζουμε ως $\gamma(S)$ τον ελάχιστο αριθμό οχημάτων που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών που ανήκουν στο S , είναι δηλαδή η βέλτιστη λύση του **Π.Τ.Κ.** όσον αφορά το σύνολο S . Άρα έχουμε $\gamma(V \setminus \{0\}) = K_{\min}$ και για να επιβεβαιώσουμε την επιτευξιμότητα της λύσης απαιτούμε $d_j \leq C$ για κάθε $j = 1, \dots, n$.

Το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** συνίσταται στην εύρεση K απλών διαδρομών με ελάχιστο κόστος, οι οποίες ορίζονται σαν το άθροισμα του κόστους των τόξων που αναπαριστούν τις διαδρομές, έτσι ώστε :

- Κάθε διαδρομή επισκέπτεται την κορυφή 0, δηλαδή την κεντρική αποθήκη
- Κάθε κορυφή $j \in V \setminus \{0\}$ επισκέπτεται από ακριβώς μία διαδρομή

- Το άθροισμα της ζήτησης των κορυφών που επισκέπτεται μία διαδρομή δεν μπορεί να ξεπεράσει την χωρητικότητα C του οχήματος

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της βασικής εκδοχής του **Π.Δ.Ο.Π.Χ.**. Πρώτα απ'όλα, όταν ο αριθμός K των διαθέσιμων οχημάτων είναι μεγαλύτερος του ορίου K_{\min} είναι πιθανόν να παραμένουν αχρησιμοποίητα κάποια οχήματα, πρέπει άρα να προσδιορίσουμε το πολύ K διαδρομές. Στην περίπτωση αυτή, το σταθερό κόστος σχετίζεται συχνά με την χρήση των οχημάτων. Αυτή η περίπτωση μπορεί να συμπεριληφθεί στο **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** προσθέτοντας μια σταθερά, που αναπαριστά το σταθερό αυτό κόστος που σχετίζεται με τη χρήση του οχήματος, στο κόστος των τόξων που φεύγουν από την κεντρική αποθήκη.

Στις περισσότερες περιπτώσεις το επιπλέον ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση των διαδρομών που χρησιμοποιούνται (δηλαδή των οχημάτων). Κανονικά, οι αλγόριθμοι που προτείνονται στην βιβλιογραφία δεν λαμβάνουν ξεχωριστά υπόψη τους το ζητούμενο αυτό αλλά στηριζόμενοι στους υπάρχοντες αλγορίθμους χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους έτσι ώστε να συνυπολογίσουν και το ζητούμενο αυτό. Έτσι, όταν ο αλγόριθμος επιτρέπει τον καθορισμό των λύσεων χρησιμοποιώντας έναν αριθμό διαδρομών μικρότερο του K , αυτό μπορεί εύκολα να συμπεριληφθεί προσθέτοντας μία μεγάλη σταθερή ποσότητα στο κόστος των τόξων που φεύγουν από την κεντρική αποθήκη. Συνεπώς, η βέλτιστη λύση αρχικά ελαχιστοποιεί τον αριθμό των τόξων που φεύγουν από την κεντρική αποθήκη και στη συνέχεια το κόστος των υπόλοιπων τόξων που χρησιμοποιούνται. Αν ο αλγόριθμος προσδιορίζει λύσεις χρησιμοποιώντας μόνο K διαθέσιμα οχήματα, υπάρχουν δύο πιθανές επιλογές. Η πρώτη είναι να υπολογίσουμε το όριο K_{\min} λύνοντας το **Π.Τ.Κ.** που σχετίζεται με το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** και στη συνέχεια να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο θέτοντας $K = K_{\min}$. Η δεύτερη είναι να ορίσουμε μια επέκταση του προβλήματος με ένα πλήρες γράφημα $\bar{G} = (\bar{V}, \bar{A})$ που προκύπτει από το γράφημα G προσθέτοντας $K - K_{\min}$ ψευδοκορυφές στο V , καθεμία με ζήτηση $d_j = 0$. Ας θεωρήσουμε $W = \{n+1, \dots, n+K - K_{\min}\}$ ως το σύνολο των ψευδοκορυφών. Το κόστος \bar{c}_{ij} των τόξων $(i, j) \in \bar{A}$ ορίζεται ως :

$$\bar{c}_{ij} = \begin{cases} c_{ij} & \text{για } i, j \in V \\ 0 & \text{για } i = 0, j \in W \\ 0 & \text{για } i \in W, j = 0 \\ c_{0j} & \text{για } i \in W, j \in V \setminus \{0\} \\ M & \text{για } i \in V \setminus \{0\}, j \in W \\ M & \text{για } i \in W, j \in W \end{cases}$$

όπου M είναι ένας πολύ μεγάλος θετικός αριθμός. Η βέλτιστη λύση της επέκτασης αυτής του **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** που υπολογίζεται ενδέχεται να περιλαμβάνει «άδειες» διαδρομές κατασκευασμένες από ψευδοκορφές. Παρατηρούμε ότι προσθέτοντας μία μεγάλη σταθερά στο $c_{0j}, j \in W$, ο αριθμός των «άδειων» διαδρομών μεγιστοποιείται, δηλαδή ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων οχημάτων ελαχιστοποιείται. Επίσης παρατηρούμε ότι ακόμα και στις περιπτώσεις που ισχύει η τριγωνική ανισότητα, η ελαχιστοποίηση του αριθμού των διαδρομών δεν εξασφαλίζει πάντα την ελαχιστοποίηση του κόστους των διαδρομών. Απο την άλλη μεριά, οι λύσεις στις οποίες απαιτείται η χρήση ακριβώς K διαδρομών, (όπου $K > K_{\min}$) δεν οδηγεί πάντα στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους.

Το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** είναι γνωστό ως μη αιτιοκρατικά δύσκολο (NP- hard) πρόβλημα και γενικεύει το γνωστό **Π.Π.Π.** που προκύπτει όταν $C \geq d(V)$ και $K = K_{\min} = 1$. Συνεπώς, όλες οι χαλαρώσεις που προτείνονται για το **Π.Π.Π.** ισχύουν για το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** Όπως άλλωστε ειπώθηκε το **Π.Δ.Ο.Π.Χ.** είναι απόλυτα συνυφασμένο και με το **Π.Π.Π.**

4.2.2 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα (Π.Δ.Ο.Χ.Δ. - Vehicle Routing Problem with Time Windows – V.R.P.T.W.)

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα (Π.Δ.Ο.Χ.Δ.) είναι μια επέκταση του Περιορισμένης Χωρητικότητας Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων (Π.Δ.Ο.Π.Χ.) στο οποίο τίθενται οι περιορισμοί χωρητικότητας και κάθε πελάτης i σχετίζεται με ένα χρονικό διάστημα $[a_i, b_i]$ που ονομάζεται Χρονικό Διάστημα. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού θεωρούνται γνωστά η χρονική στιγμή την οποία τα οχήματα φεύγουν από την αποθήκη, ο χρόνος μετάβασης t_{ij} για κάθε τόξο $(i, j) \in A$ (ή t_e για κάθε $e \in E$) καθώς και ο χρόνος εξυπηρέτησης s_i του κάθε πελάτη i . Η εξυπηρέτηση κάθε πελάτη πρέπει να ξεκινήσει μέσα σ'ένα συγκεκριμένο Χρονικό Διάστημα και το όχημα πρέπει να παραμείνει στον πελάτη για χρόνο s_i . Επιπλέον, στην περίπτωση νωρίτερης άφιξης στον πελάτη i , το όχημα πρέπει να περιμένει μέχρι την χρονική στιγμή a_i , μέχρι δηλαδή να αρχίσει η εξυπηρέτηση.

Κανονικά, οι πίνακες κόστους και χρόνου μετάβασης συμπίπτουν και τα Χρονικά Διαστήματα καθορίζονται υποθέτωντας ότι όλα τα οχήματα φεύγουν από την αποθήκη την χρονική στιγμή 0. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι οι απαιτήσεις των παραθύρων αυτών προκαλούν έναν εμφανή προσανατολισμό κάθε διαδρομής αιώμα και αν οι αρχικοί πίνακες είναι συμμετρικοί. Επομένως, το Π.Δ.Ο.Χ.Δ. μοντελοποιείται σαν ένα ασύμμετρο πρόβλημα.

Η επίλυση του Π.Δ.Ο.Χ.Δ. συνίσταται στην εύρεση ενός συνόλου K ακριβώς διαδρομών με ελάχιστο κόστος έτσι ώστε :

- Κάθε διαδρομή επισκέπτεται την κορυφή – αποθήκη
- Κάθε κορυφή – πελάτης επισκέπτεται από ακριβώς μία διαδρομή
- Το άθροισμα των ζητήσεων των κορυφών που επισκέπτονται από μια διαδρομή δεν υπερβαίνει την χωρητικότητα του οχήματος C
- Για κάθε πελάτη i , η εξυπηρέτηση ξεκινά μέσα στο Χρονικό Διάστημα $[a_i, b_i]$, ενώ το όχημα σταματά εκεί για χρονικό διάστημα s_i .

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα (Π.Δ.Ο.Χ.Δ.) είναι γνωστό ως μη αιτιοκρατικά δύσκολο (NP- hard) πρόβλημα κατά την αυστηρή έννοια αφού γενικεύει το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας (Π.Δ.Ο.Π.Χ.) που προκύπτει όταν $\alpha_i = 0, b_i = +\infty$, για κάθε $i \in V \setminus \{0\}$. Τέλος το αποκαλούμενο Π.Π.Π. με Χρονικά Διαστήματα αποτελεί την ειδική περίπτωση του Π.Δ.Ο.Χ.Δ. όπου $C \geq d(V)$ και $K = 1$.

4.2.3 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές (Π.Δ.Ο.Π. - Vehicle Routing Problem with Backhauls – V.R.P.B.)

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές (Π.Δ.Ο.Π.) αποτελεί μια άλλη προέκταση του Περιορισμένης Χωρητικότητας Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων (Π.Δ.Ο.Π.Χ.) στο οποίο το σύνολο των πελατών $V \setminus \{0\}$ χωρίζεται σε δύο υποσύνολα. Το πρώτο υποσύνολο, L , αποτελείται από n πελάτες, καθένας από τους οποίους απαιτεί να του παραδοθεί μια συγκεκριμένη ποσότητα προϊόντων (Πελάτες Παράδοσης - *Linehaul Customers*). Το δεύτερο υποσύνολο, B , αποτελείται από m πελάτες από τους οποίους πρέπει να παραληφθεί μια επίσης γνωστή ποσότητα προϊόντων (Πελάτες Παραλαβής - *Backhaul Customers*). Οι πελάτες είναι αριθμημένοι έτσι ώστε $L = \{1, \dots, n\}$ και $B = \{n+1, \dots, n+m\}$.

Στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές (Π.Δ.Ο.Π.) υπάρχει ένας περιορισμός προτεραιότητας μεταξύ των δύο υποσυνόλων των πελατών : Κάθε φορά που μια διαδρομή εξυπηρετεί και τους δύο τύπους πελατών, οι πελάτες του πρώτου υποσυνόλου πρέπει να εξυπηρετηθούν πριν από αυτούς του δεύτερου. Για κάθε πελάτη i ορίζεται μια μη αρνητική ζήτηση, d_i , η οποία πρέπει να παραληφθεί ή να διανεμηθεί ανάλογα με το αν ο πελάτης ανήκει στο πρώτο ή στο δεύτερο υποσύνολο. Και σ'αυτήν την περίπτωση η αποθήκη θεωρούμε ότι είναι μια κορυφή με ζήτηση $d_0 = 0$. Όταν ο πίνακας του κόστους είναι ασύμμετρος, το πρόβλημα καλείται Ασύμμετρο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές (Α.Π.Δ.Ο.Π.). Η επίλυση του Π.Δ.Ο.Π. αλλά και

του **Α.Π.Δ.Ο.Π.** συνίσταται στην εύρεση K ακριβώς απλών διαδρομών με ελάχιστο κόστος έτσι ώστε :

- Κάθε διαδρομή επισκέπτεται την κορυφή – αποθήκη
- Κάθε κορυφή – πελάτης επισκέπτεται από ακριβώς μια διαδρομή
- Η συνολική ζήτηση και των δύο τύπων πελατών που επισκέπτονται από μια διαδρομή δεν μπορεί να υπερβαίνει την χωρητικότητα του οχήματος C
- Σε κάθε διαδρομή οι Πελάτες Παράδοσης προηγούνται των Πελατών Παραλαβής

Στο πρόβλημα αυτό δεν επιτρέπονται διαδρομές οι οποίες αποτελούνται μόνο από *Backhaul* πελάτες. Επιπλέον παρατηρούμε ότι ο τελευταίος περιορισμός προτεραιότητας επιβάλλει έναν προσανατολισμό των «μικτών» δρομολογίων, δηλαδή όταν οι διαδρομές περιλαμβάνουν και τους δύο τύπους πελατών.

Ορίζουμε τις ποσότητες K_L και K_B που εκφράζουν τον ελάχιστο αριθμό οχημάτων που χρειάζονται για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών τύπου **I** και **II** αντίστοιχα. Οι ποσότητες αυτές μπορούν να υπολογιστούν λύνοντας το **Π.Τ.Κ.** που αντιστοιχεί κάθε φορά στο συγκεκριμένο υποσύνολο των πελατών. Για να εξασφαλίσουμε την λύση υποθέτουμε ότι $K \geq \max\{K_L, K_B\}$. Τα **Π.Δ.Ο.Π.** και **Α.Π.Δ.Ο.Π.** είναι επίσης μη αιτιοκρατικά δύσκολο (NP- hard) πρόβλημα κατά την αυστηρή έννοια αφού και αυτά ουσιαστικά γενικεύουν τις βασικές εκδοχές του **Ασύμμετρου** και **Συμμετρικού Π.Δ.Ο.Π.Χ.** που προκύπτουν όταν $B = \emptyset$. Και σ'αυτήν την περίπτωση όπως και παραπάνω το αποκαλούμενο **Π.Π.Π.** με Παραλαβές είναι η ειδική περίπτωση του **Π.Δ.Ο.Π.** στο οποίο $C \geq \max\{d(L), d(B)\}$ και $K = 1$.

4.2.4 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές και Διανομές (**Π.Δ.Ο.Π.& Δ. - Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery – V.R.P.P.D.**)

Σ' αυτήν την εκδοχή του **Π.Δ.Ο.** κάθε πελάτης i σχετίζεται με δύο ποσότητες d_i και p_i , που δηλώνουν την ζήτηση όμοιων προϊόντων που πρέπει να

παραδοθούν και να παραληφθούν από τον πελάτη i , αντίστοιχα. Μερικές φορές χρησιμοποιείται μια μόνο ποσότητα ζήτησης $d_i = d_i - p_i$ για κάθε πελάτη i , που δηλώνει την καθαρή διαφορά μεταξύ των ζητήσεων διανομής και παραλαβής (η οποία μπορεί να είναι και αρνητική). Για κάθε πελάτη i , O_i είναι η κορυφή από την οποία ξεκινούν τα προϊόντα που της διανέμονται και D_i η κορυφή στην οποία κατευθύνονται τα προϊόντα που παραλήφθηκαν απ' αυτήν.

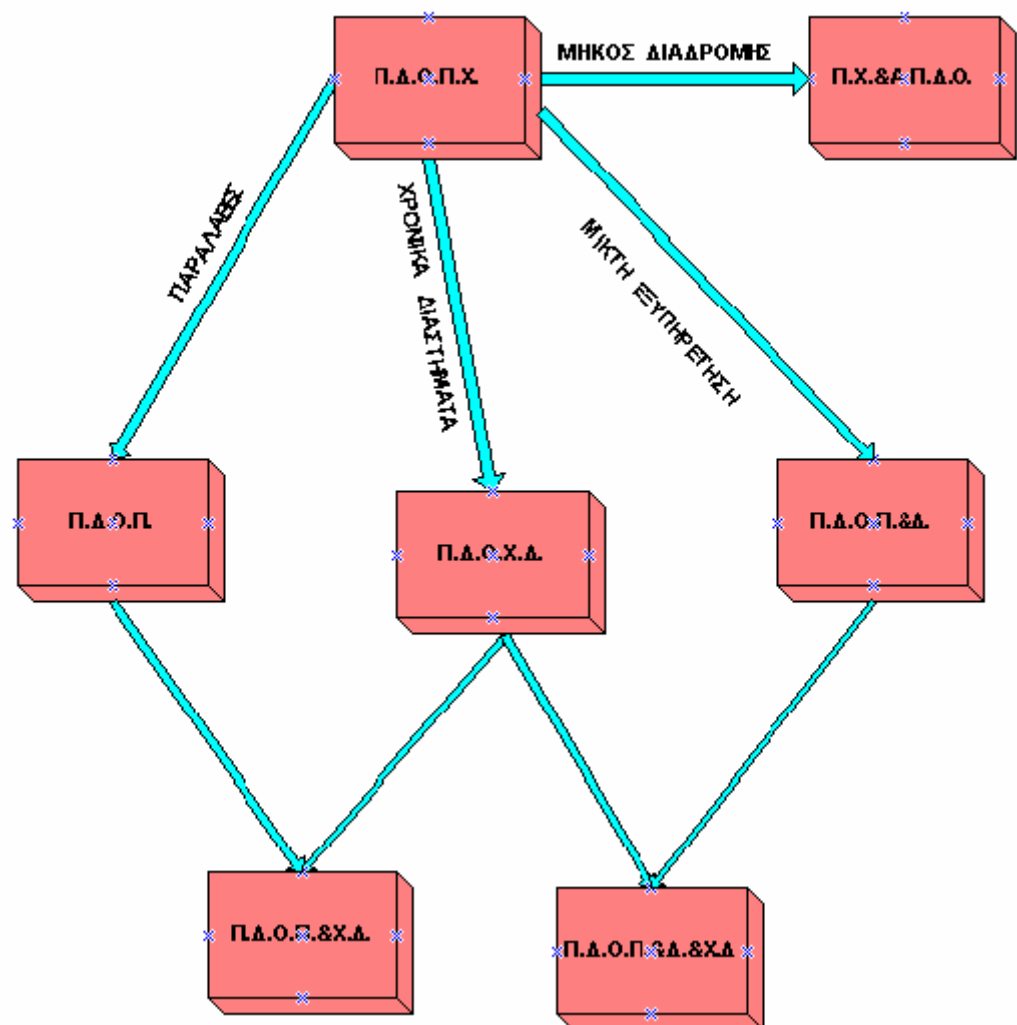
Υποθέτουμε ότι σε κάθε πελάτη η διανομή πραγματοποιείται πριν από την παραλαβή, ενώ το φορτίο ενός οχήματος πριν φτάσει σε έναν πελάτη ορίζεται ως το αρχικό φορτίο μείον το σύνολο των ζητήσεων που έχουν ήδη ικανοποιηθεί με διανομές συν όλες τις ζητήσεις που έχουν ικανοποιηθεί με παραλαβές.

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές και Διανομές (Π.Δ.Ο.Π. & Δ.) συνίσταται στη εύρεση ενός συνόλου από ακριβώς K απλές διαδρομές με το ελάχιστο κόστος, έτσι ώστε :

- Κάθε διαδρομή επισκέπτεται την κορυφή – αποθήκη
- Κάθε κορυφή – πελάτης επισκέπτεται από ακριβώς μία διαδρομή
- Το φορτίο του οχήματος κατά την διάρκεια μιας διαδρομής πρέπει να είναι μη αρνητικό και δεν πρέπει να υπερβαίνει την χωρητικότητα του οχήματος C
- Για κάθε πελάτη i , ο πελάτης O_i , όταν δεν είναι η αποθήκη, πρέπει να εξυπηρετηθεί από την ίδια διαδρομή και πριν από τον πελάτη i
- Για κάθε πελάτη i , ο πελάτης D_i , όταν δεν είναι η αποθήκη, πρέπει να εξυπηρετηθεί από την ίδια διαδρομή και μετά τον πελάτη i .

Συχνά η προέλευση ή ο προορισμός της ζήτησης είναι κοινά (είναι για παράδειγμα η αποθήκη, όπως συμβαίνει στα Π.Δ.Ο.Π.Χ. και Π.Δ.Ο.Π.). Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Ταυτόσημες Παραλαβές και Διανομές (Π.Δ.Ο.Τ.Π. & Δ.). Τα Π.Δ.Ο.Π. & Δ. και Π.Δ.Ο.Τ.Π. & Δ. είναι μη αιτιοκρατικά δύσκολο (NP-hard) προβλήματα κατά την αυστηρή έννοια αφού και αυτά με την σειρά τους γενικεύουν το Π.Δ.Ο.Π.Χ. που προκύπτει όταν $O_i = D_i = 0$ και $p_i = 0$ για κάθε $i \in V$. Τέλος, το αποκαλούμενο Π.Π.Π. με Παραλαβές και Διανομές είναι η ειδική περίπτωση του Π.Δ.Ο.Π.Χ. με $K = 1$.

Σχηματικά, οι παραπάνω προεκτάσεις του βασικού Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων μπορούν να απεικονιστούν όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2 :



Σχήμα 4.2 : Σχηματική απεικόνιση των προεκτάσεων του Βασικού Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων

Κεφάλαιο 5

Ευρετικές & Μεθευρετικές μέθοδοι για την Επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων

5.1 Εισαγωγή

Το **Π.Δ.Ο.** του οποίου έγινε αναφορά παραπάνω μπορεί να οριστεί από ένα γράφημα $G = (V, E)$ όπου $V = \{0, \dots, n\}$ είναι ένα σύνολο κορυφών. Εδώ θα επικεντρωθούμε στη μη προσανατολισμένη περίπτωση, όπου $E = \{(i, j) : i, j \in V, i < j\}$ αποτελεί ένα σύνολο ακμών. Η κορυφή 0 είναι μια αποθήκη ενώ οι υπόλοιπες κορυφές είναι οι πελάτες. Με κάθε κορυφή από το σύνολο $V \setminus \{0\}$ σχετίζεται μια μη αρνητική ζήτηση q_i ενώ με κάθε ακμή (i, j) ένα μη αρνητικό κόστος ή μήκος διαδρομής c_{ij} . (Εφ'όσον το γράφημα G είναι μη προσανατολισμένο μπορούμε να χρησιμοποιούμε εναλλακτικά τους όρους c_{ij} και c_{ji}). Το **Π.Δ.Ο.** συνίσταται από τον σχεδιασμό m διαδρομών με ελάχιστο συνολικό κόστος, καθεμιά από τις οποίες ξεκινά και καταλήγει στην αποθήκη (κορυφή 0), καθένας από τους πελάτες επισκέπτεται ακριβώς μια φορά, η συνολική ζήτηση κάθε διαδρομής δεν ξεπερνά την χωρητικότητα του οχήματος Q , το μήκος κάθε διαδρομής δεν ξεπερνά ένα ορισμένο μήκος L . Σε πολλές περιπτώσεις του προβλήματος, ο αριθμός m των διαδρομών είναι γνωστός εξ'αρχής. Σε άλλες όμως αποτελεί μεταβλητή απόφασης.

Για την επίλυση του **Π.Δ.Ο.** έχουν προταθεί μέχρι σήμερα πολλές κατηγορίες ευρετικών μεθόδων. Αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες ομάδες :

1. Τις κλασσικές ευρετικές μεθόδους που αναπτύχθηκαν κυρίως μεταξύ του 1960 και 1990 και
2. Τις μεθευρετικές μεθόδους που αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαετία.

Οι περισσότερες από τις διαδικασίες επίλυσης και βελτίωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα ανήκουν στην πρώτη από τις παραπάνω ομάδες. Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν μια σχετικά περιορισμένη εξερεύνηση του χώρου στον οποίο αναζητούνται οι λύσεις και γενικά εξάγουν καλά αποτελέσματα σε ικανοποιητικούς χρόνους υπολογισμού. Ωστόσο, πολλές από αυτές μπορούν εύκολα να επεκταθούν έτσι ώστε να είναι δυνατός ο συνυπολογισμός ποικίλων περιορισμών τους οποίους συναντάμε στις περισσότερες πραγματικές εφαρμογές. Στις μεθευρετικές μεθόδους, δίνεται έμφαση στην παρουσίαση μιάς εξερεύνησης σε βάθος των περιοχών εκείνων του χώρου που βρίσκεται η λύση, στις οποίες έχουμε εξ'αρχής τις περισσότερες πιθανότητες να εντοπίσουμε την βέλτιστη λύση. Τυπικά οι μέθοδοι αυτές συνδυάζουν κανόνες περιορισμένης αναζήτησης στην γειτονιά των λύσεων, δομές μνήμης και επανασυνδυασμό των λύσεων. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων που εξάγουν οι μέθοδοι αυτές είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή των ευρετικών. Βασικό μειονέκτημα όμως των μεθευρετικών μεθόδων είναι ο μεγάλος χρόνος υπολογισμού που απαιτούν.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία του **Π.Δ.Ο.** Στις δεκαετίες των '60 και '70, η έρευνα γύρω από το **Π.Δ.Ο.** επικεντρώθηκε στην δημιουργία διαδρομών, την βελτίωση των διαδρομών και τις ευρετικές μεθόδους δύο φάσεων. Την δεκαετία του '80 αναπτύχθηκαν μαθηματικές ευρετικές μέθοδοι βασισμένες στον προγραμματισμό. Αυτές οι ευρετικές μέθοδοι απαιτούσαν περισσότερο υπολογιστικό φόρτο, αλλά παρείχαν λύσεις υψηλής ποιότητας. Στο τέλος αυτή της τριακονταετίας, αρκετά προβλήματα με 50 περίπου πελάτες μπορούσαν να επιλυθούν. Στη δεκαετία του '90 η έρευνα επικεντρώνεται στην εφαρμογή μεθευρετικών μεθόδων γενικού

σκοπού για την επίλυση του **Π.Δ.Ο.** (για παράδειγμα μέθοδοι προσομοιωμένης ανόπτησης, αιτιοκρατικής ανόπτησης, γενετικών αλγορίθμων, νευρωνικών δικτύων και περιορισμένης αναζήτησης).

ΔΕΚΑΕΤΙΑ	ΓΕΓΟΝΟΤΑ
'50	<ul style="list-style-type: none"> Το Π.Δ.Ο. διατυπώνεται σαν ένα ακέραιο πρόγραμμα Επιλύονται μερικά μικρά προβλήματα της τάξεως των 10 με 20 πελατών
'60	<ul style="list-style-type: none"> Προτείνονται οι πρώτες ευρετικές μέθοδοι δημιουργίας δρομολογίων από τους Clarke και Wright το 1964 Εφαρμόζονται οι μέθοδοι 2-opt και 3-opt από τους Christofides και Eilon το 1969 Επιλύονται προβλήματα των 30 με 100 πελατών
'70	<ul style="list-style-type: none"> Προτείνεται ένας αριθμός ευρετικών μεθόδων δύο φάσεων αρχικά από τους Gillet και Miller το 1974 Εφαρμόζονται οι πρώτες υπολογιστικές μέθοδοι από τους Golden, Magnanti και Nguyen το 1977 Αρχίζουν να επιλύονται μεγάλα προβλήματα της τάξεως των 100 με 1000 πελατών Προβλήματα της τάξεως των 25 με 30 πελατών λύνονται με μεθόδους βελτιστοποίησης
'80	<ul style="list-style-type: none"> Προτείνονται μαθηματικά μοντέλα βασισμένα στον προγραμματισμό (Fisher και Jaikumar, 1981) Αναπτύσσονται ευρετικές μέθοδοι αλληλεπίδρασης (interactive) αρχικά από τους Cullen, Jarvis και Ratliff το 1981 Προβλήματα των 50 πελατών επιλύονται με μεθόδους βελτιστοποίησης
'90	<ul style="list-style-type: none"> Εφαρμόζονται οι πρώτες μεθευρετικές μέθοδοι Χρησιμοποιούνται μέθοδοι βελτιστοποίησης για την επίλυση προβλημάτων της τάξης των 50 με 100 πελατών

5.2 Κλασσικές ευρετικές μέθοδοι

Δύο κύριες τεχνικές χρησιμοποιούνται για την επίλυση του Π.Δ.Ο.:

- Η σύμπτυξη(*merge*) διαδρομών που ήδη υπάρχουν χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο εξοικονομήσεων(*savings*)
- Ο βαθμιαίος προσδιορισμός κορυφών στην διαδρομή χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο παρεμβολής(*insertion*) .

5.2.1 Αλγόριθμοι εξοικονομήσεων (savings algorithms)

Ο αλγόριθμος εξοικονομήσεων των Clarke και Wright (1964) είναι ίσως η πιο γνωστή ευρετική μέθοδος που έχει προταθεί για την επίλυση του Π.Δ.Ο.. Εφαρμόζεται σε προβλήματα στα οποία ο αριθμός των οχημάτων αποτελεί μεταβλητή απόφασης και λειτουργεί εξίσου καλά τόσο για προσανατολισμένα προβλήματα όσο και για μη προσανατολισμένα. Οι δύο διαθέσιμες εκδοχές αυτού του αλγορίθμου είναι η παράλληλη (*parallel*) και η ακολουθητική (*sequential*).

Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής:

Βήμα 1 (Υπολογισμός εξοικονομήσεων).

Υπολόγισε τις εξοικονομήσεις (*savings*): $s_{ij} = c_{io} + c_{oj} - c_{ij}$ για $i, j = 1, \dots, n$ και $i \neq j$.

Δημιούργησε n διαδρομές $(0, i, 0)$ για $i = 1, \dots, n$. Κατάταξε τις εξοικονομήσεις σε φθίνουσα σειρά.

Παράλληλη εκδοχή:

Βήμα 2 (Καλύτερη δυνατή σύμπτυξη).

Αρχίζοντας από την κορυφή της λίστας των εξοικονομήσεων, εκτέλεσε το ακόλουθο. Για δεδομένη εξοικονόμηση s_{ij} , προσδιόρισε αν υπάρχουν δύο διαδρομές, μία η οποία αρχίζει με $(0, j)$ και η άλλη η οποία τελειώνει με $(i, 0)$, οι οποίες να είναι δυνατόν να συγχωνευτούν. Αν ναι, συνδύασε τις δύο αυτές διαδρομές εξαλείφοντας τις κορυφές $(0, j)$ και $(i, 0)$ και βάζοντας στην θέση τους μία άλλη κορυφή (i, j) .

Ακολουθητική εκδοχή:**Βήμα 2 (Προέκταση διαδρομής).**

Θεώρησε διαδοχικά κάθε διαδρομή $(0, i, \dots, j, 0)$. Προσδιόρισε την πρώτη εξοικονόμηση s_{ki} ή s_{jl} που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύμπτυξη της παρούσας διαδρομής με μια άλλη η οποία τελειώνει με $(k, 0)$ ή αρχίζει με $(0, l)$. Πραγματοποίησε την σύμπτυξη και επανέλαβε την διαδικασία στην παρούσα διαδρομή. Αν δεν υπάρχει δυνατή σύμπτυξη, θεώρησε την επόμενη διαδρομή και πραγματοποίησε την ίδια διαδικασία. Σταμάτησε όταν δεν είναι δυνατή άλλη σύμπτυξη.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στα αριθμητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις ευρετικές μεθόδους των εξοικονομήσεων και συνήθως οι συγγραφείς δεν αναφέρουν αν θεωρείται κάθε φορά η παράλληλη ή η ακολουθητική εκδοχή. Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διάφορες παραλλαγές των αλγορίθμων των Clarke και Wright, όπως για παράδειγμα αυτοί των Gaskell (1967), Yellow (1970), Golden et al. (1977), Paessens (1988) και Nelson et al. (1985).

5.2.2 Ο αλγόριθμος σαρώματος(The sweep algorithm)

Ο αλγόριθμος σαρώματος εφαρμόζεται σε διδιάστατες περιπτώσεις του Π.Δ.Ο.. Αρχικά σχηματίζονται κάποιες περιοχές από κορυφές περιστρέφοντας μια ακτίνα η οποία ξεκινά από την αποθήκη. Έτσι εξασφαλίζεται μια διαδρομή λύνοντας για καθεμιά απο αυτές τις περιοχές ένα Π.Π.Π.. Κάποιες εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν μια φάση μεταβελτιστοποίησης στην οποία πραγματοποιείται ανταλλαγή κορυφών μεταξύ γειτονικών περιοχών και η διαδρομές επαναβελτιστοποιούνται. Οι πρώτοι που αναφέρονται στις μεθόδους αυτές είναι οι Wren (1971) και Wren και Holliday (1972), αλλά ο αλγόριθμος σαρώματος αποδίδεται στους Gillet και Miller (1974) οι οποίοι και τον δημοσίευσαν. Ακολουθεί μια απλή εφαρμογή της μεθόδου.

Ας υποθέσουμε ότι κάθε κορυφή i απεικονίζεται από τις πολικές συντεταγμένες της (θ_i, ρ_i) , όπου θ_i είναι η γωνία και ρ_i το μήκος της ακτίνας. Προσδιορίζουμε μια τιμή $\theta_i^* = 0$ αυθαίρετα σε μια κορυφή i^* και υπολογίζουμε τις γωνίες που απομένουν και οι οποίες έχουν κέντρο το 0 από την αρχική ακτίνα $(0, i^*)$. Τέλος τοποθετούμε τις κορυφές σε αύξουσα σειρά με βάση την γωνία θ_i .

Βήμα 1 (Προσδιορισμός αρχικής διαδρομής)

Διάλεξε ένα μη χρησιμοποιούμενο όχημα k .

Βήμα 2 (Κατασκευή διαδρομής)

Αρχίζοντας από την κορυφή που δεν ανήκει στην διαδρομή η οποία έχει την μικρότερη γωνία, ανέθεσε κορυφές στο όχημα k έτσι ώστε να μην υπερβεί την χωρητικότητα του ή το μήκος της διαδρομής. Αν απομένουν και άλλες κορυφές που δεν ανήκουν στην διαδρομή επέστρεψε στο **Βήμα 1**.

Βήμα 3 (Βελτιστοποίηση της διαδρομής)

Βελτιστοποίησε ξεχωριστά κάθε διαδρομή λύνοντας το αντίστοιχο Π.Π.Π..

5.2.3 Οι αλγόριθμοι ομαδοποίηση πρώτα – δρομολόγηση μετά (cluster-first, route-second*)

Πρόκειται για τον αλγόριθμο Fisher και Jaikumar στον οποίο αντί της χρήσης κάποιας γεωμετρικής μεθόδου για την δημιουργία περιοχών κορυφών, γίνεται επίλυση ενός Γενικευμένου Προβλήματος Εκχώρησης (Generalized Assignment Problem – GAP).

Βήμα 1 (Επιλογή σπόρου) :

Επέλεξε σημεία-σπόρους j_k στο V για να θέσεις αρχικές τιμές σε κάθε περιοχή k .

Βήμα 2 (Κατανομή πελατών στους σπόρους) :

Υπολόγισε το κόστος d_{ik} της τοποθέτησης κάθε πελάτη i σε κάθε περιοχή k .

$$d_{ijk} = \min\{c_{0i} + c_{ijk} + c_{jk0} + c_{jki} + c_{i0}\} - \{c_{0jk} + c_{jk0}\}$$

Βήμα 3 (Γενικευμένη εκχώρηση) :

Λύσε ένα Γενικευμένο Πρόβλημα Εκχώρησης με κόστος d_{ij} , βάρη πελατών q_i και χωρητικότητα οχήματος Q .

Βήμα 4 (Επίλυση Π.Π.Π.) :

Λύσε ένα Π.Π.Π. για κάθε περιοχή που αντιστοιχεί στην επίλυση του Γενικευμένου Προβλήματος Εκχώρησης.

Ο αριθμός των διαδρομών m είναι εκ των προτέρων καθορισμένος στον αλγόριθμο Fisher και Jaikumar.

5.2.4 Η μέθοδος των δύο φάσεων των Mole και Jameson

Ο αλγόριθμος των Mole και Jameson είναι μια ακολουθητική διαδικασία στην οποία, για μια δεδομένη τιμή των δύο παραμέτρων λ και μ , τα ακόλουθα δύο κριτήρια χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας διαδρομής :

$$e(i, l, j) = c_{il} + c_{lj} - \mu c_{ij}$$

$$\sigma(i, l, j) = \lambda c_{0l} - e(i, l, j)$$

Ο αλγόριθμος προχωράει ως εξής :

Βήμα 1 Για κάθε μη δρομολογημένο πελάτη x_l υπολογίζεται σε ποιο σημείο της διαδρομής μπορεί να εισαχθεί ο πελάτης :

$$e(i_l, l, j_l) = \min[e(r, l, s)]$$

για όλους τους γειτονικούς πελάτες $x_r, x_s \in R$, όπου x_{i_l} και x_{j_l} είναι οι πελάτες για τους οποίους η εισαγωγή του πελάτη x_l έχει την καλύτερη δυνατή τιμή.

Βήμα 2 Ο καλύτερος πελάτης x_{l^*} που θα εισαχθεί στην διαδρομή υπολογίζεται να είναι εκείνος για τον οποίο η ακόλουθη έκφραση μεγιστοποιείται :

$$\sigma(i_{l^*}, l^*, j_{l^*}) = \max[\sigma(i_l, l, j_l)]$$

για τον κάθε πελάτη x_l που δεν βρίσκεται ήδη σε κάποια διαδρομή και δεν παραβιάζει κάποιο περιορισμό.

Βήμα 3 Εισάγεται το x_{l^*} στη διαδρομή R ανάμεσα στον $x_{i_l^*}$ και στον $x_{j_l^*}$.

Βήμα 4 Βελτιστοποιείται η διαδρομή R χρησιμοποιώντας μεθόδους r -opt.

Βήμα 5 Επιστροφή στο **Βήμα 1** για να ξεκινήμα μιας καινούριας διαδρομής R εκτός αν όλοι οι πελάτες έχουν δρομολογηθεί ή κανένας από τους εναπομείναντες πελάτες δεν μπορεί να δρομολογηθεί.

5.2.5 Η μέθοδος των δύο φάσεων των Christofides, Mingozi και Toth

Η πρώτη φάση αυτού του ευρετικού αλγορίθμου αποτελείται από την εφαρμογή ενός αριθμού δοκιμών για την ομαδοποίηση χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο εκχώρησης ελαχίστου κόστους.

Φάση 1

Βήμα 1 (Ακολουθητικές δοκιμές). Επιλέγεται ένας πελάτης που δεν είναι στην διαδρομή για πελάτης σπόρο. Επιλέγεται ένα όχημα για τον πελάτη.

Βήμα 2 Τοποθετούνται οι πελάτες που δεν είναι σε διαδρομή σε κάποια ομάδα, βάση κάποιου κόστους εκχώρησης που σχετίζεται με τον πελάτη της κάθε ομάδας, μέχρις ότου να παραβιαστεί ο περιορισμός χωρητικότητας του οχήματος. Αν όλοι οι πελάτες είναι σε ομάδες ή όλα τα οχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί, ακολουθεί το **Βήμα 3**, αλλιώς επιστροφή στο **Βήμα 1**.

Βήμα 3 (Παράλληλες δοκιμές). Χρησιμοποιώντας όλους τους αρχικούς πελάτες για μια διαδρομή που βρέθηκαν στις ακολουθητικές δοκιμές, απελευθερώνονται όλοι οι πελάτες από τις ομάδες τους.

Βήμα 4 Για κάθε ελεύθερο πελάτη, υπολογίζεται το κόστος εισόδου σε σχέση με τους αρχικούς πελάτες της κάθε ομάδας, σε μια εφικτή ομάδα. Ελέγχονται όλες οι ομάδες και στη συνέχεια διατηρείται αυτή με το καλύτερο κόστος για κάθε πελάτη.

Βήμα 5 Εκχωρείται ο πελάτης με το καλύτερο κόστος στην ομάδα που αντιστοιχεί.

Φάση 2

Βήμα 7 Και για τις δύο ομαδοποιήσεις επιλύεται ένα Π.Π.Π. και διατηρείται η καλύτερη από τις δύο λύσεις.

5.2.6 Οι πεταλοειδείς αλγόριθμοι(The petal algorithms)

Μία φυσική επέκταση του αλγορίθμου σαρώματος είναι η δημιουργία διάφορων διαδρομών -που αποκαλούνται πέταλα- και η τελική επιλογή μια απο αυτές επιλύοντας ένα σύνολο υποπροβλημάτων της μορφής :

$$\text{Αντικειμενική συνάρτηση :} \quad \min \sum_{k \in S} d_k x_k$$

$$\text{Υπό τους περιορισμούς :} \quad \sum_{k \in S} a_{ik} x_k = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$x_k = 0 \text{ ή } 1 \quad k \in S$$

όπου S είναι το σύνολο των διαδρομών, $x_k = 1$ αν και μόνο αν η διαδρομή k ανήκει στη λύση, a_{ik} είναι μια δυαδική παράμετρος ίση με 1 αν η κορυφή i ανήκει στη διαδρομή k και d_k είναι το κόστος του πετάλου k . Αν οι διαδρομές αντιστοιχούν σε γειτονικές ομάδες κορυφών, τότε το πρόβλημα αυτό έχει την ιδιότητα κυκλικής προτεραιότητας των στηλών και μπορεί να επιλυθεί σε πολυωνυμικό χρόνο (Ryan et al., 1993).

Αυτή η διατύπωση προτάθηκε αρχικά από τους Balinski και Quandt (1964), αλλά δεν είναι πρακτική όταν η τιμή $|S|$ είναι πολύ μεγάλη. Οι Agarwal et al.,(1989) χρησιμοποίησαν την δημιουργία στηλών (μορφή της μεθόδου Simplex) για να επιλύσουν πιο περιορισμένες περιπτώσεις του Π.Δ.Ο., στις οποίες περίπου $10 \leq n \leq 25$. Οι ευρετικοί κανόνες για την δημιουργία υποσυνόλων S' απλών διαδρομών, που ονομάζονται 1- πέταλα, προτάθηκαν αρχικά από τους Foster και Ryan (1976) και Ryan et al (1993). Οι Renaud et al. (1996b) προχώρησαν ένα ακόμα βήμα παρακάτω συμπεριλαμβάνοντας στο S' εκτός από απλές διαδρομές και συνθέσεις, που ονομάζονται 2-πέταλα, που αποτελούνται από δύο ενσωματωμένες ή διασταυρούμενες διαδρομές.

5.2.7 Ευρετικές μέθοδοι βελτίωσης (Improvement heuristics)

Οι ευρετικές μέθοδοι βελτίωσης για το **Π.Δ.Ο.** ενεργούν ξεχωριστά για κάθε διαδρομή ή για διάφορες διαδρομές την φορά. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να εφαρμοστεί οποιαδήποτε ευρετική μέθοδος βελτίωσης που έχει προταθεί για την επίλυση του **Π.Π.Π.**. Στη δεύτερη περίπτωση μπορούν να αναπτυχθούν διαδικασίες που εκμεταλλεύονται την πολυσύνθετη δομή του **Π.Δ.Ο.**.

Οι περισσότερες διαδικασίες βελτίωσης για το **Π.Π.Π.** μπορούν να περιγραφούν με όρους που εισάγει σπό τον Lin (1965) περί μηχανισμού λ -opt. Στις διαδικασίες αυτές λ ακμές μετακινούνται από την διαδρομή και τα λ ευθύγραμμα τμήματα που απομένουν, επανενώνονται με όλους τους δυνατούς τρόπους. Αν κάποια από αυτές τις επανενώσεις αποδειχθεί επικερδής (η πρώτη ή η καλύτερη από όλες), τότε εφαρμόζεται. Η διαδικασία σταματά όταν βρεθεί ένα τοπικό ελάχιστο πέρα από το οποίο δεν είναι δυνατές περαιτέρω βελτιώσεις. Ο έλεγχος της λ -optimality μιας λύσης μπορεί να επιτευχθεί σε χρόνο $O(n^\lambda)$. Έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφοροποιήσεις αυτής της μεθόδου. Οι Lin και Kernighan (1973) πραγματοποιούν λ δυναμικές τροποποιήσεις κατά την διάρκεια της αναζήτησης. Ο Or (1976) πρότεινε την μέθοδο Or-opt η οποία πραγματοποιείται με την μετακίνηση τριάδων, δυάδων ή και μονάδων συνεχόμενων κορυφών σε άλλη θέση του γραφήματος. Αυτό ουσιαστικά ισοδυναμεί με έναν περιορισμένο τύπο ανταλλαγής 3-opt. Ο έλεγχος στη μέθοδο του Or απαιτεί χρόνο ίσο με $O(n^2)$. Στο ίδιο πνεύμα με αυτό του Or το 1996 οι Renaud et al. παρουσίασαν μια περιορισμένη έκδοση ενός αλγορίθμου 4-opt., που ονομάστηκε 4-opt*, ο οποίος εκτελεί ένα υποσύνολο επανενώσεων μεταξύ μιας αλυσίδας με w το πολύ ακμές και μιας με δύο ακμές. Ο έλεγχος για την διαπίστωση αν η λύση είναι 4-opt* απαιτεί χρόνο ίσο με $O(w n^2)$. Οι Johnson και McGeoch (1997) παρουσίασαν μία εκτενή εμπειρική ανάλυση διάφορων διαδικασιών βελτίωσης του **Π.Π.Π.** και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μια προσεκτική εφαρμογή της δουλειάς των Lin-Kernighan, που αναφέρθηκε παραπάνω, αποδίδει κατά μέσο όρο τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι τρεις

αναφορές των Thomson και Psaraftis (1993), van Breedam (1994) και Kinderwater και Savelsbergh (1997) παρείχαν περιγραφές των πολλαπλών ανταλλαγών ακμών διαδρομών για το Π.Δ.Ο.. Αυτές οι περιγραφές χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς συγγραφείς όπως οι Stewart και Golden (1984), οι Dror και Levy (1986), οι Salhi και Rand (1987), οι Fahrion και Wrede (1990), οι Potvin et al. (1992), ο Osman (1993), ο Taillard (1993) και πολλοί άλλοι.

5.3 Μεθευρετικές Μέθοδοι

Οι σημαντικότεροι μεθευρετικοί αλγόριθμοι που προτάθηκαν για την επίλυση του Π.Δ.Ο. είναι οι εξής :

5.3.1 Ο αλγόριθμος των Alfa, Heragu και Chen

Η μέθοδος που περιγράφεται από τους Alfa, Heragu και Chen μπορεί να θεωρηθεί σαν μέθοδος της κατηγορίας δρομολόγησης πρώτα και ομαδοποίησης στη συνέχεια. Αρχικά κατασκευάζεται μια γιγαντιαία διαδρομή χωρίς να λαμβάνονται υπ'όψη τα βάρη και η χωρητικότητα των οχημάτων και στη συνέχεια χωρίζονται σε ομάδες από συνεχόμενους κόμβους με συνολικό βάρος που δεν υπερβαίνει το Q . Στον αλγόριθμο ξεκινάμε από μια αρχική διαδρομή $(u_0, u_1, \dots, u_n, u_0)$. Σε κάθε επανάληψη, τρεις πλευρές επιλέγονται τυχαία και διαγράφονται από την διαδρομή και στη συνέχεια επανασυνδέονται με τους 8 δυνατούς τρόπους όπως στον κλασικό 3-opt αλγόριθμο.

5.3.2 Ο αλγόριθμος της Προσομοιωμένης ανόπτησης του Osman

Πριν την παρουσίαση του αλγορίθμου της Προσομοιωμένης ανόπτησης θα αναφερθούμε στην γενικότερη ιδέα της χρησιμοποίησης της ανόπτησης στην επίλυση των προβλημάτων της Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης. Το όνομα της στρατηγικής αυτής προέρχεται από την αναλογία ανάμεσα στην προσομοίωση της ανόπτησης των υλικών και την στρατηγική επίλυσης προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Η ανόπτηση σημαίνει ότι ένα υλικό θερμαίνεται μέχρι το σημείο τήξης του και στη συνέχεια ψύχεται αργά. Στην συνδυαστική βελτιστοποίηση αυτό αναπαριστάται με την κίνηση στον εφικτό χώρο αναζήτησης και όταν ο αλγόριθμος σταματήσει έχουμε τότε μια εφικτή λύση.

Στην προσομοιωμένη ανόπτηση, η γειτονιά $N(s)$ καθορίζει καταστάσεις που μπορεί να τις φτάσει κάποιος από την τρέχουσα κατάσταση s . Από την αρχική κατάσταση s_0 με μια τυχαία διαταραχή του συστήματος γεννιέται μια καινούρια λύση s' . Το αποτέλεσμα της αλλαγής στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης υπολογίζεται ως εξής, $\delta = f(s') - f(s_0)$. Εάν $\delta < 0$ η καινούρια κατάσταση είναι πάντοτε αποδεκτή. Εάν η αλλαγή δεν είναι αρνητική, δηλαδή $\delta \geq 0$, η καινούρια λύση είναι αποδεκτή σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής. Έτσι, έχουμε στη θερμοκρασία t η πιθανότητα αύξησης στην ενέργεια δ δίνεται από την σχέση $\rho(\delta) = e^{-\frac{\delta}{kt}}$, όπου k είναι η σταθερά Boltzmann, η οποία εφόσον δεν έχει κανένα απολύτως νόημα στην συνδυαστική βελτιστοποίηση, παραλείπεται. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της παραπάνω στρατηγικής είναι ο ακόλουθος :

select μια αρχική λύση s_0

select μια αρχική θερμοκρασία t_0

select μια συνάρτηση μείωσης της θερμοκρασίας $\alpha(t)$

repeat

repeat

τυχαία επιλογή μιας γειτονιάς $s \in N(s_0)$

$$\delta = f(s) - f(s_0)$$

if $\delta < 0$ **then**

$$s_0 = s$$

else

δημιουργούμε τυχαία x ομοιόμορφα στην ακτίνα $(0,1)$

if $x < e^{-\frac{\delta}{t}}$ **then**

$$s_0 = s$$

endif

endif

until ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ολοκληρωθεί.

$$t = \alpha(t)$$

until κάποιο κριτήριο σταματήματος να ικανοποιηθεί

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε από τον Osman, ξεκινάει από μια καλύτερη αρχικά λύση και χρησιμοποιεί κάποιες τροποποιήσεις του βασικού αλγορίθμου και έχει την ακόλουθη μορφή :

Φάση 1 Αλγόριθμος καθόδου (descent algorithm)

Βήμα 1 Αρχική λύση. Δημιουργείται μια αρχική λύση με τον αλγόριθμο Clarke και Wright.

Βήμα 2 Κάθοδος. Αναζητείται η λύση χρησιμοποιώντας ένα αριθμό λ -ανταλλαγών. Αν βρεθεί κάποια βελτίωση ενημερώνεται η τρέχουσα λύση. Τερματίζει όταν έχει ελεγχθεί όλη η γειτονιά και δεν υπάρχει επιπλέον βελτίωση.

Φάση 2 Αναζήτηση προσομοιωμένης απόπτωσης

Βήμα 1 Χρησιμοποιείται σαν αρχική λύση αυτή που προήλθε από το τέλος της προηγούμενης φάσης, είτε την αρχική λύση που προήλθε στην πρώτη φάση με τον αλγόριθμο Clarke και Wright.

Βήμα 2 (Αρχικοποίηση των παραμέτρων) Εφαρμόζεται μια διαδικασία λ -ανταλλαγών σε ολόκληρη την γειτονιά των λύσεων, χωρίς όμως ωστόσο να πραγματοποιείται καμιά αλλαγή. Σημειώνονται τα Δ_{\min} και Δ_{\max} τα οποία είναι οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες τιμές που θα πάρει η αντικειμενική συνάρτηση αν εφαρμοστούν οι αλλαγές και υπολογίζεται το β που είναι ο αριθμός των εφικτών αλλαγών. Στη συνέχεια εξισώνονται τα $c_1 = \Delta_{\max}, \delta = 0, k = 1, k_3 = 3, t = 1, t^* = 1$. Έστω x_1 η τρέχουσα λύση και $x^* = x_1$.

Βήμα 3 (Επόμενη λύση) Εξερευνάται η γειτονιά του x_t χρησιμοποιώντας τη διαδικασία των λ -ανταλλαγών. Αν έχει βρεθεί μια λύση x με $f(x) < f(x_t)$ και $x_{t+1} = x$, αν $f(x) < f(x^*)$, τότε $x^* = x$ και $c^* = c_k$. Αν μια καθολική αναζήτηση έχει πραγματοποιηθεί χωρίς να έχει οδηγήσει σε καλύτερη λύση, τότε το x είναι η καλύτερη λύση που έχουμε βρει ως τώρα στην γειτονιά του x_t και προκύπτει :

$$x_{t+1} = \begin{cases} x, & \text{με πιθανότητα } \rho_t \\ x_t, & \text{με πιθανότητα } 1 - \rho_t \end{cases}$$

όπου το ρ_t καθορίζεται ως

$$\rho_t = \exp\left(-\frac{[f(x) - f(x_t)]}{c_t}\right)$$

Εαν $x_{t+1} = x_t$ τότε $\delta = 1$.

Βήμα 4 Ενημέρωση της θερμοκρασίας.

Αν $\delta = 1$ τότε $c_{t+1} = \max\{\frac{c_t}{2}, c^*\}, \delta = 0, k = k + 1$.

Αν $\delta = 0$ τότε $c_{t+1} = \frac{c_t}{[(n\beta + n\sqrt{t})\Delta_{\min}\Delta_{\max}]}$.

$t = t + 1$

Βήμα 5 Αν $k = k_3$ τέλος, αλλιώς επιστροφή στο **Βήμα 3**.

5.3.3 Περιορισμένη αναζήτηση (Tabu search)

Στην περιορισμένη αναζήτηση εξετάζεται μια ακολουθία από λύσεις όπως στην προσομοιωμένη απόσπηση, αλλά η καλύτερη κίνηση γίνεται στην βέλτιστη γειτονιά της τρέχουσας λύσης x_t . Για να αποφευχθεί η δημιουργία κύκλων, λύσεις που έχουν πρόσφατα εξεταστεί απαγορεύεται να επανέλθουν στην λύση για ένα αριθμό από επαναλήψεις. Για να μειώνεται ο χρόνος και ο υπολογιστικός φόρτος, είναι συνηθισμένο να καταγράφεται η συμπεριφορά των λύσεων παρά τις ίδιες τις λύσεις. Ο βασικός μηχανισμός της περιορισμένης αναζήτησης μπορεί να επαυξηθεί με αρκετά χαρακτηριστικά όπως είναι κάποιες διαφοροποιήσεις και κάποιες επεκτάσεις. Οι στρατηγικές διαφοροποιήσεων επιχειρούν να δημιουργήσουν λύσεις που περιλαμβάνουν την σύνθεση συμπεριφορών σημαντικά διαφορετικών απ'αυτές που συναντήθηκαν ως τώρα στην αναζήτηση. Οι στρατηγικές επεκτάσεων επιχειρούν να δημιουργήσουν λύσεις που παραινούν

την ενσωμάτωση των καλών συμπεριφορών. Στη συνέχεια ακολουθούν κάποιες εφαρμογές της περιορισμένης αναζήτησης στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.

5.3.3.1 Ο αλγόριθμος του Willard

Μια από τις πρώτες προσπάθειες να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος της περιορισμένης αναζήτησης στο **Π.Δ.Ο.** οφείλεται στον Willard. Εδώ η λύση αρχικά παρουσιάζεται σαν μια γιγαντιαία διαδρομή και οι γειτονιές καθορίζονται σαν όλες οι εφικτές λύσεις που μπορούν να δημιουργηθούν από την τρέχουσα λύση χρησιμοποιώντας 2-opt και 3-opt μεθόδους. Η επόμενη κίνηση καθορίζεται από την επόμενη μη περιορισμένη κίνηση.

5.3.3.2 Ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης του Osman

Ο Osman όπως και στην περίπτωση της προσομοιωμένης απόκτησης καθορίζει τις γειτονιές χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό των λ - ανταλλαγών, με $\lambda = 2$. Στη μια εκδοχή του αλγορίθμου, που ονομάζεται βέλτιστα επιτρεπτή (*best-admissible*), ολόκληρη η γειτονιά εξερευνάται και η καλύτερη επιτρεπτή λύση επιλέγεται. Στην δεύτερη εκδοχή που ονομάζεται πρώτη βέλτιστα επιτρεπτή (*first-best-admissible*), η πρώτη επιτρεπτή κίνηση, αν υπάρχει, επιλέγεται αλλιώς συνεχίζεται ο αλγόριθμος με την ήδη υπάρχουσα λύση.

5.3.3.3 TABUROUTE

Ο αλγόριθμος **TABUROUTE** περιλαμβάνει αριστά πολύπλοκα και καινοτόμα χαρακτηριστικά. Η δομή της γειτονιάς καθορίζεται από όλες τις λύσεις οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν από την τρέχουσα λύση διαγράφοντας ένα κόμβο από την διαδρομή του και εισάγοντάς τον σε μια άλλη διαδρομή που περιέχει ένα από τους p γείτονές του. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη διαγραφή μιας υπάρχουσας διαδρομής ή στη δημιουργία μιας καινούριας. Ένα δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό του **TABUROUTE** είναι ότι στη διαδικασία αναζήτησης εξετάζονται λύσεις που μπορεί να μην είναι εφικτές σε σχέση με τους περιορισμούς χωρητικότητας ή τους περιορισμούς που συσχετίζονται με το μήκος της διαδρομής. Πιο συγκεκριμένα, η αντικειμενική συνάρτηση περιέχει δύο όρους, που ο ένας μετράει την υπερχωρητικότητα και ο άλλος την υπερδιάκρια. Ο καθένας απ'αυτούς έχει κάποιο βάρος : κάθε 10 επαναλήψεις τα βάρη είτε διαιρούνται με το 2 αν και οι δέκα προηγούμενες επαναλήψεις οδηγούσαν σε εφικτή λύση είτε πολλαπλασιάζεται με το 2 αν και οι δέκα προηγούμενες επαναλήψεις οδηγούν σε μη εφικτές λύσεις. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η περίπτωση να πέσει και να κολλήσει σε τοπικό ελάχιστο.

Όταν ένας κόμβος μετακινηθεί από την διαδρομή r στη διαδρομή s κατά την επανάληψη t , η επανείσοδος του στη διαδρομή r απαγορεύεται μέχρι την επανάληψη $t + \theta$, όπου το θ επιλέγεται τυχαία ανά επανάληψη. Άλλο ένα χαρακτηριστικό του **TABUROUTE** είναι η χρήση της στρατηγικής των διαφοροποιήσεων. Στη συνέχεια, φαίνεται μια περιγραφή του αλγορίθμου, όπου W είναι το σύνολο των κορυφών που είναι υποψήφιες για να μουν σε κάποια άλλη διαδρομή απ'αυτή που ήταν σε κάθε επανάληψη, $q \leq |W|$ είναι οι κορυφές που τελικά πραγματοποιούν την είσοδό τους και k είναι ο αριθμός των επαναλήψεων που πραγματοποιούνται χωρίς να γίνεται καμιά βελτίωση.

Βήμα 1 (Εκκίνηση). Δημιουργία $\left\lceil \frac{\sqrt{n}}{2} \right\rceil$ αρχικών λύσεων και εφαρμογή περιορισμένης αναζήτησης $W = V \setminus \{0\}, q = 5m$ και $k = 50$, όπου m ο

αριθμός των οχημάτων. Αυτή η τιμή του q βεβαιώνει ότι η πιθανότητα επιλογής μιας κορυφής για κάθε διαδρομή είναι τουλάχιστον 90%.

Βήμα 2 (Διαδικασία βελτίωσης της λύσης). Ξεκινώντας με την καλύτερη λύση που παρατηρήθηκε στο **Βήμα 1** εφαρμόζεται περιορισμένη αναζήτηση $W = V \setminus \{u_0\}, q = 5m, k = 50n$, όπου n ο αριθμός των κόμβων.

Βήμα 3 Ξεκινώντας με την καλύτερη λύση που παρατηρήθηκε στο Βήμα 2 εφαρμόζεται περιορισμένη αναζήτηση με $k = 50$. Εδώ το W είναι το σύνολο

των $\left\lceil \frac{|V|}{2} \right\rceil$ κορυφών οι οποίες έχουν πιο συχνά μετακινηθεί στο Βήμα 1 και 2 και $q = |W|$.

5.3.3.4 Ο αλγόριθμος του Taillard

Η εφαρμογή της περιορισμένης αναζήτησης για το **Π.Δ.Ο.** έχει πάρα πολλά στοιχεία του **TABUROUTE** όπως την τυχαία επιλογή των επαναλήψεων και την διαφοροποίηση. Καθορίζει τις γειτονιές όπως ακριβώς καθορίζονται και στον αλγόριθμο Osman. Ένα καινούριο χαρακτηριστικό του αλγορίθμου είναι ότι χωρίζει το πρόβλημα σε μικρά υποπροβλήματα και επιλύει στη συνέχεια κάθε ένα από αυτά. Αυτή η μέθοδος χαλάρωσης είναι κατάλληλη για παράλληλους αλγόριθμους αφού το καθένα από τα υποπροβλήματα μπορεί να καταναμεηθεί σε κάποιον από τους επεξεργαστές και έτσι να μειωθεί ο συνολικός υπολογιστικός φόρτος.

5.3.3.5 Ο αλγόριθμος των Xu και Kelly

Σε αυτήν την εφαρμογή χρησιμοποιείται μια πιο περίπλοκη δομή για την εύρεση των γειτονιών. Η διαδικασία που ακολουθείται έχει τρία βασικά χαρακτηριστικά :

Ανταλλαγές από κορυφές ανάμεσα σε δύο διαδρομές.

- Ολική επανατοποθέτηση κάποιων πλευρών σε διαφορετικές διαδρομές.

Τοπικές βελτιώσεις κάθε διαδρομής.

Η ολική επανατοποθέτηση επιτυγχάνεται με την επίλυση ενός μοντέλου ροής σε δίκτυα. Η βελτίωση μέσα στις ίδιες τις διαδρομές επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της διαδικασίας 3-opt. Ο αλγόριθμος έχει πάρα πολλές παραμέτρους οι οποίες δυναμικά εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της αναζήτησης. Οι καλύτερες λύσεις που βρίσκονται κρατούνται στην μνήμη και περιοδικά χρησιμοποιούνται για να ξανααρχικοποιηθούν διάφορες παράμετροι.

5.3.3.6 Ο αλγόριθμος των Rego και Roucairol

Το κύριο χαρακτηριστικό του αλγορίθμου Rego και Roucairol είναι η χρήση των αλυσίδων μετακίνησης για κίνηση από την μια λύση στην άλλη. Μια μετακίνηση αποτελείται από την μετακίνηση μιας κορυφής σε μια θέση που καταλαμβάνεται από μια άλλη κορυφή και έτσι δημιουργείται μια αλυσίδα αντίδρασης l επιπέδων. Για μια δοθείσα διαδρομή, ορίζεται σαν u_{i-1} ο προηγούμενος κόμβος του u_i και σαν u_{i+1} ο επόμενος. Μια l επιπέδου αλυσίδα μετακίνησης περιλαμβάνει την αντικατάσταση των τριάδων $(u_{i-1}^k, u_i^k, u_{i+1}^k, k = 0, \dots, l)$ με τις τριάδες $(u_{i-1}^m, u_i^m, u_{i+1}^m, m = 0, \dots, l)$ και ενημερώνεται το u_i^l .

5.3.3.7 Ο προσαρμοστικής μνήμης αλγόριθμος των Rochat και Taillard

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες βελτιώσεις στο χώρο της περιορισμένης αναζήτησης είναι ο αλγόριθμος της προσαρμοστικής μνήμης των Rochat και Taillard. Χρησιμοποιείται όχι μόνο στην περιορισμένη αναζήτηση αλλά και σε άλλους μεθευρετικούς αλγορίθμους. Μια προσαρμοστική μνήμη είναι η συλλογή καλών λύσεων που δυναμικά ενημερώνονται κατά την διάρκεια της διαδικασίας

αναζήτησης. Περιοδικά κάποια στοιχεία φεύγουν από τη ομάδα και συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να οδηγήσουν σε νέες καλύτερες λύσεις. Στο Π.Δ.Ο., οι διαδρομές των οχημάτων επιλέγονται από πάρα πολλές λύσεις και θα χρησιμοποιηθούν σαν αρχικό σημείο. Η διαδικασία δίνει μεγαλύτερα βάρη σε εκείνες τις διαδρομές που ανήκουν στις καλύτερες λύσεις. Όταν επιλέγονται αυτές οι πλευρές χρειάζεται προσοχή να μην συμπεριληφθεί ο ίδιος πελάτης δύο φορές στη λύση. Αυτός ο περιορισμός σημαίνει ότι η διαδικασία επιλογής θα σταματάει πάντα σε μια μερική λύση που θα αναπτυχθεί με την χρήση κάποιου ευρετικού αλγορίθμου.

5.3.3.8 Ο αλγόριθμος κοκκοποιημένης (granular) περιορισμένης αναζήτησης των Toth και Vigo

Η μέθοδος της κοκκοποιημένης (granular) περιορισμένης αναζήτησης είναι άλλη μια πολλά υποσχόμενη ιδέα. Παρουσιάστηκε το 1998 από τους Toth και Vigo και έχει αποφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα στην επίλυση του Π.Δ.Ο.. Η μέθοδος αυτή αντιτίθεται στην παρατήρηση ότι οι μεγαλύτερες ακμές ενός γραφήματος έχουν μόνο μια μικρή πιθανότητα να ανήκουν στη βέλτιστη λύση. Ωστόσο, εξαλείφοντας όλες εκείνες τις ακμές των οποίων το μήκος υπερβαίνει ένα κατώφλι «granularity», πολλές μη εφικτές λύσεις θα πάψουν να εξετάζονται κατά την διαδικασία εξεύρεσης λύσης. Οι Toth και Vigo πρότειναν την χρησιμοποίηση του τύπου $v = \beta \bar{c}$, όπου β είναι μια παράμετρος που επιλέγεται τυπικά στο διάστημα $[1.0, 2.0]$ και \bar{c} είναι το μέσο μήκος των ακμών μιας λύσης που προκύπτει από κάποια ευρετική μέθοδο. Εάν $\beta \in [1.0, 2.0]$, τότε το ποσοστό των ακμών που απομένουν στο γράφημα τείνει να γίνει ίσο με 10-20%. Πρακτικά, η τιμή του β μεταβάλλεται δυναμικά όποτε η λύση δεν βελτιώνεται για έναν συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων και περιοδικά μειώνεται μέχρι να επιστρέψει στην αρχική τιμή της. Οι γειτονικές λύσεις μπορούν να συμπεριληφθούν

πραγματοποιώντας έναν περιορισμένο αριθμό ανταλλαγών ακμών σε μια διαδρομή ή μεταξύ δύο διαφορετικών διαδρομών. Οι Toth και Vigo πρότειναν μια διαδικασία ικανή να εξετάζει όλες τις δυνατές ανταλλαγές σε χρόνο $O(|E(v)|)$, όπου $E(v) = \{(i, j) \in E : c_{ij} \leq v\} \cup I$ και I είναι ένα σύνολο από «σημαντικές» ακμές που είτε έπονται της κεντρικής αποθήκης ή ανήκουν στις λεγόμενες λύσεις «υψηλής ποιότητας».

5.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις στο Π.Δ.Ο.

Στο μέλλον ο στόχος θα είναι η σχεδίαση ευρετικών μεθόδων για την επίλυση του Π.Δ.Ο. οι οποίες θα είναι ικανές να παράγουν λύσεις υψηλής ποιότητας και πολύ κοντά στην βέλτιστη. Οι μέθοδοι αυτές θα πρέπει να είναι λιτές και σύντομες αλλά και να περιέχουν πολλές παραμέτρους. Επίσης θα πρέπει να είναι απλές και υπολογιστικά εφικτές.

Πιστεύεται ότι μέσα στα επόμενα χρόνια οι μεθευρετικές μέθοδοι για το Π.Δ.Ο. θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται όσον αφορά το μέγεθος των προβλημάτων που θα επιλύουν αλλά και όσον αφορά την υπολογιστική δύναμη. Οι ερευνητές θα πρέπει να είναι ολοένα και πιο προσεκτικοί στα θέματα της κομψότητας, της λιτότητας, της αντίληψης αλλά και της περιγραφής των νέων μεθόδων επίλυσης.

Κεφάλαιο 6

Διαδικασία Επίλυσης του Π.Δ.Ο.

6.1 Ο αλγόριθμος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest Neighbor)

Στο κεφάλαιο αυτό ορίζονται οι μεταβλητές του **Μαθηματικού Μοντέλου** που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του **Π.Δ.Ο.** και αφορά ουσιαστικά στην απεικόνιση των διαδρομών στο γραφικό που δημιουργήθηκε και αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Για την επίλυση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest Neighbor). Με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο υπολογίζεται η διαδρομή που θα ακολουθήσει το όχημα προκειμένου να ικανοποιήσει τη ζήτηση σε κάθε πόλη / πελάτη. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτόν, το όχημα ξεκινά από την αποθήκη και στη συνέχεια επισκέπτεται κάθε φορά την πλησιέστερη πόλη από αυτήν που βρισκόταν προηγουμένως. Η συγκεκριμένη διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το όχημα να έχει επισκεφθεί όλες τις πόλεις ανεξαιρέτως έχοντας ικανοποιήσει τη ζήτησή τους. Η τελευταία πόλη που επισκέπτεται είναι η αρχική, το όχημα επιστρέφει δηλαδή στην αποθήκη, από όπου ξεκίνησε ώστε να κλείσει ο κύκλος. Παρακάτω παρουσιάζεται σε τρία βήματα η μέθοδος του Πλησιέστερου Γείτονα:

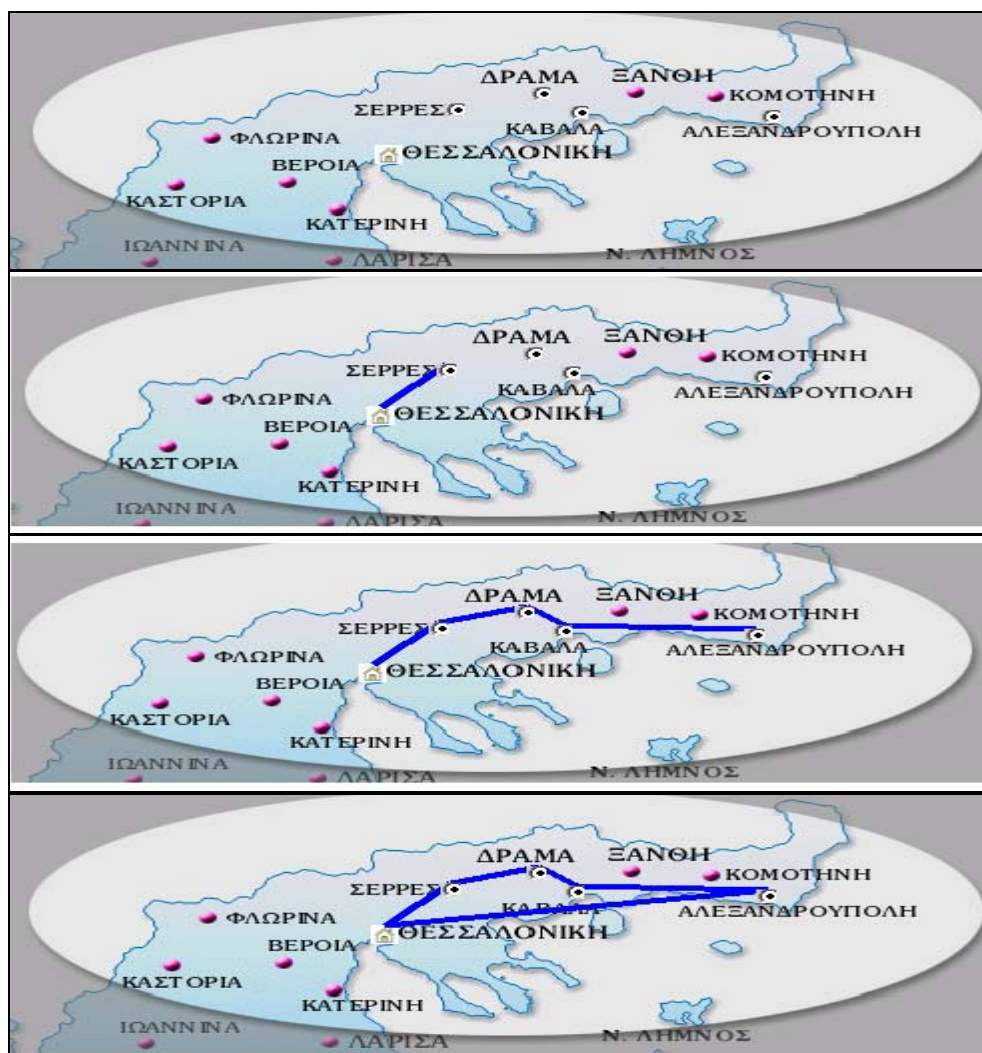
Βήμα 1 : Εκκίνηση από την αποθήκη για τη δημιουργία της διαδρομής

Βήμα 2 : Εύρεση της πόλης που είναι πλησιέστερα στην τελευταία που προστέθηκε στη διαδρομή.

Βήμα 2^α : Ελέγχεται εάν η ζήτηση της συγκεκριμένης πόλης μπορεί να καλυφθεί από την ποσότητα που βρίσκεται στο όχημα. Εάν ναι προχωράμε με το Βήμα 3, διαφορετικά επιστρέφουμε στην αποθήκη και ξεκινά νέα διαδρομή

Βήμα 3 : Επανάληψη του προηγούμενου βήματος 2 μέχρι να συμπεριληφθούν όλες οι πόλεις και να ικανοποιηθεί η ζήτησή τους

Στα ακόλουθα σχήματα φαίνεται η λειτουργία του αλγορίθμου :



Σχήμα 6.1 : Σχηματική απεικόνιση του Nearest Neighbor

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου του Πλησιέστερου Γείτονα είναι οι εξής :

c_{ij} = η απόσταση από την πόλη i στην πόλη j που είναι ίση με την απόσταση από την πόλη j στην πόλη i

k = ο αριθμός των οχημάτων

C = η χωρητικότητα των οχημάτων

d_i = η ζήτηση στην πόλη i

u_i = το φορτίο του οχήματος μετά την εξυπηρέτηση στην πόλη i

x_{ij} = δυαδική μεταβλητή που παίρνει την τιμή 1 αν το όχημα πραγματοποιεί την πορεία από την πόλη i στην πόλη j και 0 σε αντίθετη περίπτωση

V = το σύνολο των κόμβων (δηλαδή των πόλεων)

Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω παρατίθεται ένα μικρό παράδειγμα στηριγμένο στις πόλεις που φαίνονται στο Σχήμα 6.1

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή για την μεταβλητή c_{ij} χρησιμοποιήθηκε ένας πίνακας της παρακάτω μορφής :

Απο/Προς	Θεσ/κη	Αλεξ/πολη	Δραμα	Καβαλα	Ξανθη	Σερρες
Θεσ/κη	0	346	154	169	224	86
Αλεξ/πολη	346	0	212	177	122	271
Δραμα	154	212	0	38	90	70
Καβαλα	169	177	38	0	55	94
Ξανθη	224	122	90	55	0	149
Σερρες	86	271	70	94	149	0

Πίνακας 6.1 : Αποστάσεις Πόλεων

Έτσι για παράδειγμα η μεταβλητή c_{ij} για $i=2$ και $j=3$ είναι $C_{23}=212$. Αν υποθεθεί ότι η ζήτηση και η χωρητικότητα του οχήματος είναι αυτές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα,

Αλεξ/πολη	1		
Δραμα	1		
Καβαλα	1	Χωρητικότητα	10
Ξανθη	1		
Σερρες	1		

Πίνακας 6.2 : Ζήτηση και Χωρητικότητα

τότε τα βήματα του αλγορίθμου έχουν ως εξής :

«Βήμα 1 : Εκκίνηση από την αποθήκη για τη δημιουργία της διαδρομής»

Το όχημα ξεκινάει από την αποθήκη, δηλαδή από την Θεσσαλονίκη

«Βήμα 2 : Εύρεση της πόλης που είναι πλησιέστερα στην τελευταία που προστέθηκε στη διαδρομή»

Το όχημα κατευθύνεται προς την πλησιέστερη πόλη, δηλαδή τις Σέρρες ξεκινώντας γεμάτο με 10 «μονάδες ζήτησης»

«Βήμα 2^α : Ελέγχεται εάν η ζήτηση της συγκεκριμένης πόλης μπορεί να καλυφθεί από την ποσότητα που βρίσκεται στο όχημα. Εάν ναι προχωράμε με το Βήμα 3, διαφορετικά επιστρέφουμε στην αποθήκη και ξεκινά νέα διαδρομή»

Το όχημα μπορεί να καλύψει τη μια «μονάδα ζήτησης των Σερρών και άρα προχωράμε στο παρακάτω βήμα

«Βήμα 3 : Επανάληψη του προηγούμενου βήματος μέχρι να συμπεριληφθούν όλες οι πόλεις και να ικανοποιηθεί η ζήτησή τους»

Μετά την εξυπηρέτηση των Σερρών στο όχημα έχουν απομείνει 9 «μονάδες ζήτησης», άρα $U_1 = 9$. Η επόμενη πόλη που πρέπει να επισκεφτεί σύμφωνα με το **Βήμα 2** είναι η Δράμα.

Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το όχημα να περάσει από όλες τις πόλεις, να ικανοποιήσει τη ζήτηση τους και τελικά να επιστρέψει στην αποθήκη, η οποία βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη. Τελικά οι διαδρομές που προκύπτουν είναι οι εξής :

Αφετηρία	Προορισμός
Θεσ/κη	Σερρες
Σερρες	Δράμα
Δράμα	Καβαλα
Καβαλα	Ξανθη
Ξανθη	Αλεξ/πολη
Αλεξ/πολη	Θεσ/κη

Πίνακας 6.3 : Τελικές Διαδρομές

Η επίλυση του προβλήματος συνίσταται ουσιαστικά στην ελαχιστοποίηση της παρακάτω αντικειμενικής συνάρτησης :

$$\min \sum_{i \in v} \sum_{j \in v} c_{ij} x_{ij}$$

υπό τους περιορισμούς :

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad (1) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } j \text{ που ανήκουν στο σύνολο } V \text{ εκτός της}$$

πόλης απ' όπου ξεκινούν οι διανομές

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad (2) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } i \text{ που ανήκουν στο σύνολο } V \text{ εκτός της}$$

πόλης απ' όπου ξεκινούν οι διανομές

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = k \quad (3) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } i$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j} = k \quad (4) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } j$$

$$u_i - u_j + Cx_{ij} \leq C - d_j \quad (5) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } i, j \text{ εκτός της πόλης απ'}$$

όπου ξεκινούν οι διανομές και για $i \neq j$,

όταν $d_i + d_j \leq C$

$$d_i \leq u_i \leq C \quad (6) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } i \text{ εκτός της πόλης απ' όπου}$$

ξεκινούν οι διανομές

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (7) \quad \text{Για όλες τις πόλεις } i, j$$

Οι περιορισμοί (1) και (2) δηλώνουν ότι ακριβώς ένα τόξο εισέρχεται και εξέρχεται αντίστοιχα από κάθε πόλη.

Οι περιορισμοί (3) και (4) δηλώνουν τις απαιτήσεις σε αριθμό οχημάτων για την εξυπηρέτηση όλων των πόλεων.

Οι περιορισμοί (5) και (6) δηλώνουν τις απαιτήσεις σε χωρητικότητα των οχημάτων. Στην ουσία όταν $x_{ij} = 0$ ισχύει εφ'όσον $u_i \leq C$ και $u_j \geq d_j$, ενώ όταν $x_{ij} = 1$ οι περιορισμοί αυτοί επιβάλλουν ότι $u_j \geq u_i + d_j$ δηλαδή ότι το φορτίο του οχήματος μετά την εξυπηρέτηση στην πόλη j πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το άθροισμα του φορτίου μετά την πόλη i και της ζήτησης της πόλης j .

Τέλος ο περιορισμός (7) είναι η δυαδική μεταβλητή τύπου 0-1. Το x_{ij} είναι ίσο με 1 όταν ένα όχημα χρησιμοποιεί την διαδρομή $i \rightarrow j$ και ίσο με 0 όταν δεν την χρησιμοποιεί.

Κεφάλαιο 7

Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων

7.1 Γενικά

Αναμφισβήτητα η λήψη αποφάσεων είναι μια από τις πιο δύσκολες και αδόμετες διαδικασίες. Οι διάφοροι αποφασίζοντες αντιμετωπίζουν σε καθημερινή βάση ένα μεγάλο όγκο πληροφοριών που πρέπει να εξετάσουν για να οδηγηθούν στη τελική απόφαση. Μεγάλη ώθηση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων έδωσε η επανάσταση της επιστήμης της πληροφορικής. Ο συνδυασμός της θεωρίας αποφάσεων με τη γνώση και τα πανίσχυρα εργαλεία που προσφέρει η επιστήμη της πληροφορικής, οδήγησαν στη κατασκευή νέων τύπων πληροφοριακών συστημάτων με σκοπό να βοηθήσουν τους αποφασίζοντες και να βελτιώσουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Προς αυτή την κατεύθυνση πρωτοεμφανίζονται στις αρχές της δεκαετίας του 1970 τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Σ.Υ.Α.). Τα συγκεκριμένα συστήματα αποτελούν την εφαρμογή των τεχνικών της πληροφορικής ώστε να γίνει δυνατή η διευκόλυνση και η υποστήριξη του αποφασίζοντα, ο οποίος καλείται να αντιμετωπίσει και να καταλήξει σε αποφάσεις που αφορούν κακώς δομημένα και πολύπλοκα προβλήματα για τα οποία δεν υπάρχει σαφής αλγοριθμικός τρόπος επίλυσης.

Στην Αγγλική βιβλιογραφία αναφέρονται σαν Decision Support Systems (DSS), ενώ στη Γαλλική σαν Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD). Η ερμηνεία του όρου δεν είναι πάντα η ίδια. Η διαφορετική οπτική γωνία, από την οποία οι ερευνητές

παρατηρούν και ερμηνεύουν τα Σ.Υ.Α., έχουν οδηγήσει στη διατύπωση ποικίλων ορισμών για αυτά. Ο Little (1970) όρισε ότι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι ένα σύνολο διαδικασιών για την επεξεργασία δεδομένων και κρίσεων με στόχο να υποβοηθήσουν τους διευθύνοντες (managers) στη διαδικασία λήψης μιας απόφασης. Ένα τέτοιο σύστημα θεωρείται επιτυχημένο αν είναι: απλό, εύρωστο, προσαρμόσιμο, πλήρες, εύκολο στη χρήση και με καλό σύστημα επικοινωνίας με το χρήστη. Οι Keen και Scott-Morton (1978) έδωσαν τον ακόλουθο κλασικό ορισμό:

«Τα Σ.Υ.Α. συνδυάζουν τις διανοητικές ικανότητες των ανθρώπων με αυτές των ηλεκτρονικών υπολογιστών με αντικειμενικό στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των λαμβανομένων αποφάσεων. Είναι βασιζόμενα στους Η/Υ συστήματα υποστήριξης των αποφασίζόντων σε θέματα, που αφορούν την αντιμετώπιση ημιδομημένων προβλημάτων».

Την ίδια θεώρηση για τα Σ.Υ.Α με τους Keen και Scott-Morton (1978) έχουν και οι Alter(1977) και Huber(1980). Στις αρχές του '80 οι Bonczek et al. (1980), Moore and Chang (1980) και Keen (1980) έδωσαν τρεις νέους ορισμούς (Πίνακας 7.1) με βάση την αντίληψη για το τι κάνει ένα σύστημα και από το πώς ένα Σ.Υ.Α. πραγματοποιεί τον αντικειμενικό του σκοπό

Ορισμοί	Με βάση:
Little (1970)	Τη λειτουργία του συστήματος και τα χαρακτηριστικά τις επικοινωνίας του συστήματος με το χρήστη.
Keen (1980)	Τη διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος.
Bonczek et al.(1980)	Τα συστατικά του συστήματος.
Moore and Chang (1980)	Τις χρήσεις και τις δυνατότητες του συστήματος.

Πίνακας 7.1 : Ορισμοί Σ.Υ.Α.

Οι Sprague και Carlson(1982) αναφέρουν ότι τα Σ.Υ.Α είναι ένα σύνολο διαδικασιών, οι οποίες με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή έχουν σαν στόχο τη διεύρυνση

του γνωστικού πεδίου του αποφασίζουντα, στο τομέα του προβλήματος που αντιμετωπίζει. Ο ορισμός αυτός διευρύνθηκε από τους Andriole (1989), Sage (1986; 1991) και Adelman (1992), και η τελική του διατύπωση μπορεί να είναι η ακόλουθη:

«Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων είναι αλληλεπιδραστικά συστήματα (προγράμματα-software) που χρησιμοποιούν αναλυτικές μεθόδους, όπως ανάλυση αποφάσεων, αλγόριθμους βελτιστοποίησης κ.α., για την ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων, με στόχο την υποβοήθηση των αποφασιζόντων στη διαμόρφωση εναλλακτικών λύσεων, στην ανάλυση των μεταξύ των αντιδράσεων, στην αναπαράστασή τους και τελικά στην επιλογή της καταλληλότερης από αυτές για εφαρμογή».

Κατά τον Zeleny (1982) ο ρόλος των Σ.Υ.Α είναι να αναπτύσσουν τις ικανότητες των αποφασιζόντων έτσι, ώστε οι προτεινόμενες από αυτούς λύσεις να γίνονται με τη πάροδο του χρόνου καλύτερες και όχι να προτείνουν αυτά λύσεις καλύτερες από αυτές που μπορεί να αντιληφθούν οι αποφασίζοντες.

Οι παραπάνω απόψεις για τα Σ.Υ.Α αντανακλούν τις ιδέες του Simon, που είχαν ήδη διατυπωθεί από το 1960 και αφορούσαν τον τρόπο προσέγγισης των προβλημάτων απόφασης. Στο βιβλίο του αυτό ο Simon υποστήριζε ότι στη πραγματικότητα δεν έχει νόημα ο προβληματισμός για την επιλογή μιας λύσης μεταξύ μιας ικανοποιητικής και της βέλτιστης λύσης ενός προβλήματος, δεδομένου ότι η δεύτερη δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί και επομένως πρέπει απλά να προσανατολιζόμαστε στην αναζήτηση μιας εφικτής λύσης. Στην πραγματικότητα οι γνώσεις και οι ικανότητες των αποφασιζόντων είναι πεπερασμένες και επομένως θα πρέπει να γίνεται προσπάθεια προς τη διεύρυνση του γνωστικού πεδίου και της ανάπτυξης των ικανοτήτων των έτσι, ώστε να βελτιώνονται οι αποφάσεις που λαμβάνουν. Με τη χρήση ενός Σ.Υ.Α γίνεται προσπάθεια να βελτιωθεί η ποιότητα της πληροφόρησης, στην οποία βασίζεται μία απόφαση, ενώ παρέχεται από το σύστημα όχι μόνο μια απλή λύση αλλά ένας αριθμός εναλλακτικών λύσεων. Με το τρόπο αυτό βοηθούνται οι αποφασίζοντες να κατανοήσουν καλύτερα τη φύση των

διαφόρων προβλημάτων και επομένως να βελτιώσουν τις λαμβανόμενες από αυτούς αποφάσεις. Στην ανάπτυξη των Σ.Υ.Α. συνεισφέρουν διαφορετικοί επιστημονικοί κλάδοι. Το θεωρητικό πλαίσιο στην ανάλυση αποφάσεων που είναι απαραίτητο για την σχεδίαση χρήσιμων και πρωτότυπων προσεγγίσεων για την επιλογή της κατάλληλης απόφασης, παρέχεται από την επιχειρησιακή έρευνα (Management Science/Operation Research -MS/OR). Η επιστήμη της συμπεριφοράς (behavioral and cognitive science), συμμετέχει με την διερεύνηση του τρόπου που οι άνθρωποι και οι οργανισμοί επεξεργάζονται τις πληροφορίες και παίρνουν τις αποφάσεις τους. Η επιστήμη της πληροφορικής (computer science), παρέχει τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των Σ.Υ.Α. εργαλεία, τόσο σε υλικό (hardware) όσο και σε λογισμικό (software). Τα εργαλεία σχεδίασης και χειρισμού βάσεων δεδομένων προέρχονται από την περιοχή των πληροφοριακών συστημάτων διοίκησης (Management Information Systems – MIS). Τα Σ.Υ.Α υποστηρίζουν όλες τις φάσεις της διαδικασίας λήψης μιας απόφασης του Simon (1960), που παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.2 , σε αντίθεση με τα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης (Management Information Systems) που υποστηρίζουν την νοητική φάση (intelligence phase), και την επιχειρησιακή έρευνα (management science) που υποστηρίζει κυρίως τη φάση επιλογής (choice phase) και σε δεύτερο επίπεδο τη φάση σχεδίασης (design phase).

Ο βασικός λόγος για τη δυσκολία να καθορισθεί ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός για τα Σ.Υ.Α. είναι πιθανόν το γεγονός ότι αυτά συνδυάζουν ταυτόχρονα τις τρεις διαφορετικές έννοιες (Keen, 1987). Έτσι:

- Η έννοια **«Απόφαση»** σχετίζεται, αφενός, με μη τεχνικά λειτουργικά και αναλυτικά θέματα των Σ.Υ.Α. και αφετέρου, με τα κριτήρια επιλογής εφαρμογών.
- Η έννοια **«Υποστήριξη»** εστιάζεται στην ολοκλήρωση και την κατανόηση των τρόπων λειτουργίας των ανθρώπων, καθώς επίσης και το πως θα βοηθηθούν αυτοί.
- Τέλος με τον όρο **«Σύστημα»** δίνεται έμφαση στην τεχνική εμπειρία σχεδίασης και ανάπτυξης.

Κάθε ένας από τους ήδη γνωστούς ορισμούς, προσεγγίζει καλύτερα σε κάποια από τις παραπάνω έννοιες και επομένως παρατηρείται μια έλλειψη ισορροπίας μεταξύ των. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, κανένας από αυτούς να μην είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικός του τι είναι στη πραγματικότητα ένα Σ.Υ.Α.

Ο Keen (1987) τονίζει ότι για την ανάπτυξη των Σ.Υ.Α. κατά την επόμενη δεκαετία τρεις πρέπει να είναι οι κύριες κατευθύνσεις:

- η διεύρυνση της επιστημονικής σκέψης,
- η έρευνα, και
- η εφαρμογή.

7.2 Χαρακτηριστικά

Οι Sprague και Carlson (1982) αναφέρουν ότι τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός αποτελεσματικού Σ.Υ.Α είναι οι δυνατότητες που έχουν για να:

- Υποστηρίζουν τις διαδικασίες λήψης ημιδομημένων ή αδόμητων αποφάσεων.
- Υποστηρίζουν και τις τέσσερις φάσεις λήψης αποφάσεων (νοητική, σχεδίασης, επιλογής και ολοκλήρωσης). Συνδυάζουν τη συνεργασία μοντέλων, βάσεων δεδομένων και τεχνικών παρουσίασης των αποτελεσμάτων.
- Δίνουν έμφαση στην ευκολία χρήσης, την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα τους.
- Αλληλεπιδρούν με άλλα πληροφοριακά συστήματα που ήδη λειτουργούν.

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι και τα κύρια σημεία διαφοροποίησής των από τα άλλα συστήματα, όπως τα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης (M.I.S). Λόγω των διαφορετικών απόψεων που επικρατούν, όσον αφορά του τι ακριβώς είναι Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS), για αυτό είναι προτιμότερο να αναφερθούν τα

χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες ενός τέτοιου αντιπροσωπευτικού συστήματος, παρά να υιοθετηθεί κάποιος από τους ορισμούς αυτούς.

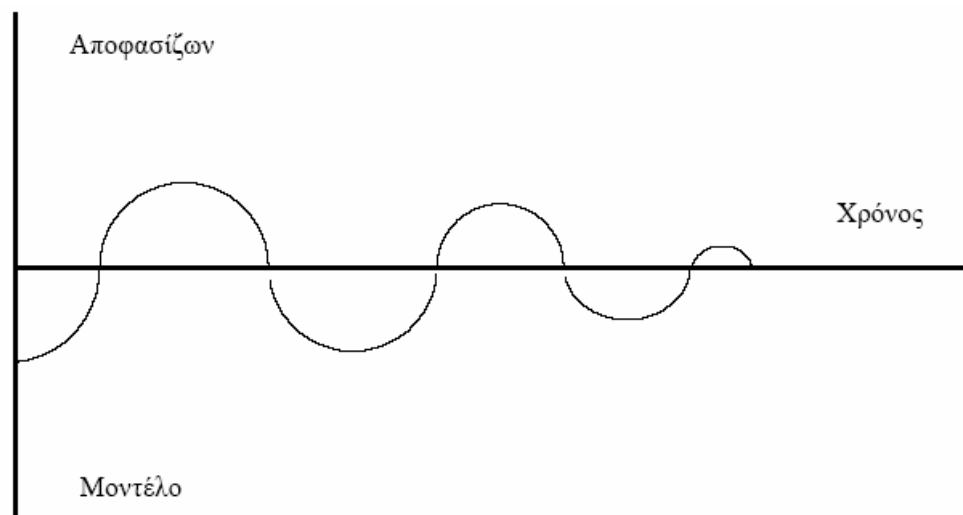
- Η χρήση τους βοηθά στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και όχι της αποδοτικότητας.
- Κατασκευάζονται για να παρέχουν υποστήριξη σε όλα τα επίπεδα διοίκησης βοηθώντας και όχι υποκαθιστώντας τον αποφασίζοντα ο οποίος διατηρεί τον πλήρη έλεγχο του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια λήψης μίας απόφασης.
- Η υποστήριξη παρέχεται είτε σε ομάδες ατόμων (Group Decision Support Systems), είτε σε ξεχωριστά άτομα (DSS).
- Παρέχουν υποστήριξη σε όλες τις φάσεις μιας διαδικασίας λήψης απόφασης. Διαθέτουν ευελιξία και προσαρμοστικότητα.
- Χρησιμοποιούνται κυρίως για να παρέχουν υποστήριξη σε ημιδομημένες ή αδόμητες αποφάσεις.
- Είναι φιλικά στη χρήση.
- Είναι ευέλικτα και ευκολοπροσαρμόσιμα σε τυχόν μεταβολές.
- Η χρήση ενός DSS οδηγεί στη βελτίωση των αποφάσεων και στην δημιουργία νέων απαιτήσεων του αποφασίζοντα από αυτό, γεγονός που οδηγεί στη βελτίωση του συστήματος. Η διαδικασία ανάπτυξης και βελτίωσης ενός DSS επαναλαμβάνεται συνεχώς ανάλογα με τη χρήση του.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στη σαφή διάκριση μεταξύ των όρων αποδοτικότητα (efficiency) και αποτελεσματικότητα (effectiveness). Με τα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης (MIS) γίνεται προσπάθεια αύξησης της αποδοτικότητας ενώ με τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS) αυξάνεται η αποτελεσματικότητα των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων δεν

αντικαθιστούν τα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης αλλά τα συμπληρώνουν έχοντας σαν αντικειμενικό τους σκοπό την υποβοήθηση του αποφασίζοντα ώστε να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά του.

7.3 Αλληλεπιδραστικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

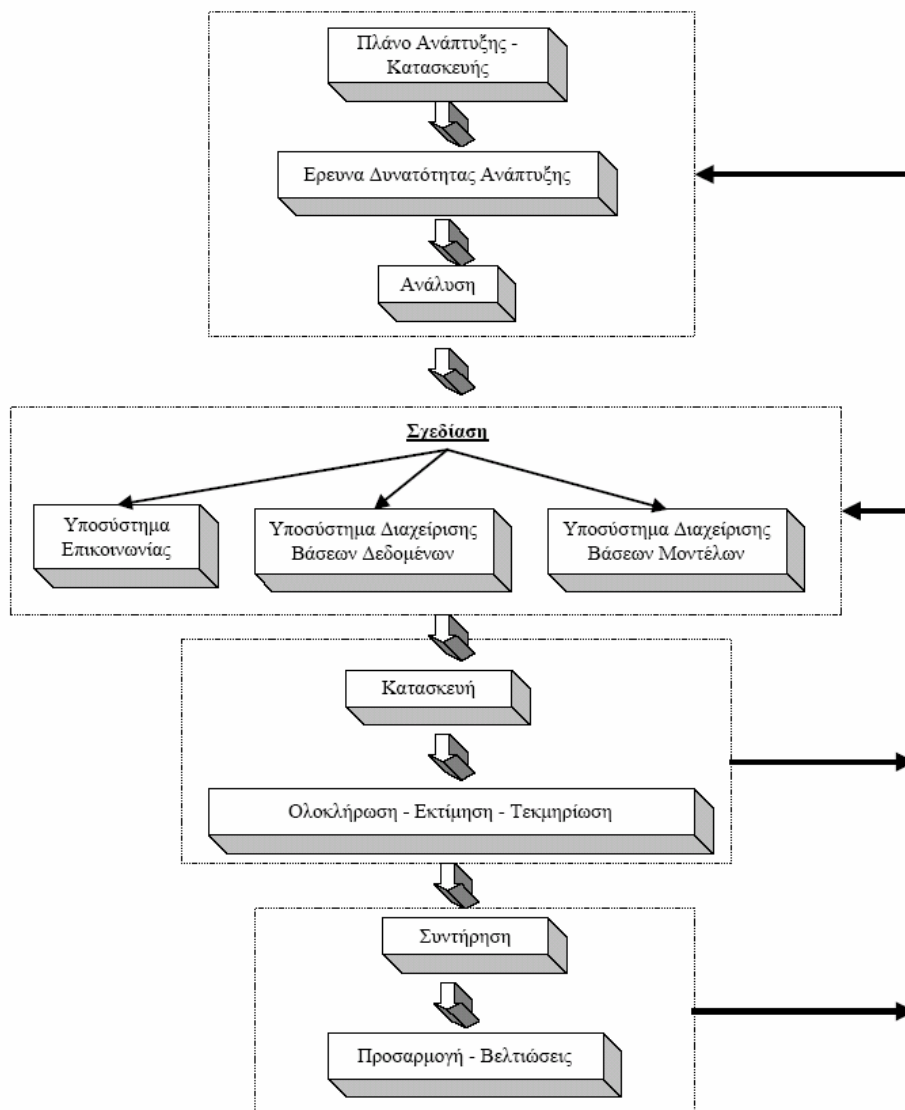
Η αλματώδης εξέλιξη της πληροφορικής, η ραγδαία πτώση των τιμών και το χαμηλό κόστος συντήρησης των Η/Υ καθώς και η αυτονομία χρήσης των οδήγησε τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη περισσότερο ευέλικτων και αποτελεσματικών Σ.Υ.Α τα οποία εργάζονται μέσα σε ένα περιβάλλον αλληλεπιδραστικής επικοινωνίας χρήστη - συστήματος. Η νέα αυτή γενιά χαρακτηρίστηκε από τους Courbon et al. (1977, 1979) σαν «Αλληλεπιδραστικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων» (ΑΣΥΑ). Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν τη κρίση και την εμπειρία των αποφασίζοντων για να τους καθοδηγήσουν στην λήψη αποφάσεων μέσα από μια διαδικασία δοκιμής - λάθους (trialand- error). Ο ρόλος των Α.Σ.Υ.Α., στα πλαίσια λήψης μίας απόφασης, συνίσταται από μια συνεχή προσπάθεια σταδιακής προσέγγισης της συλλογιστικής του αποφασίζοντα μέσω της αλληλεπίδρασής του με το σύστημα (Σχήμα 7.1)



Σχήμα 7.1 : Διαδικασία προσέγγισης αποφασίζοντα - μοντέλου

7.4 Ανάπτυξη Σ.Υ.Α.

Οι διαδοχικές φάσεις ανάπτυξης ενός πλήρους Σ.Υ.Α παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.2 που αποτελεί σύνθεση των εργασιών των Scott-Morton (1978) και Meador et al. (1984).



Σχήμα 7.2 : Στάδια Ανάπτυξης Σ.Υ.Α.

Στη συνέχεια εξετάζονται εν συντομία τα διάφορα στάδια ανάπτυξης.

Πλάνο ανάπτυξης και κατασκευής : Αρχικά καθορίζονται οι αντικειμενικοί στόχοι ανάπτυξης του συστήματος καθώς και οι αποφάσεις κλειδιά. Ο αποφασίζων προκειμένου να καταλήξει σε κάποια απόφαση χρειάζεται να υποστηριχθεί σε αυτή του την απόφαση από το σύστημα, το οποίο θα τον εφοδιάσει με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες.

Έρευνα δυνατότητας ανάπτυξης : Κατά το στάδιο αυτό γίνεται διεξοδική έρευνα αφενός μεν για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων - αναγκών του χρήστη και αφ' ετέρου για τη συγκέντρωση πληροφοριών για τα διαθέσιμα μέσα, την προηγούμενη εμπειρία και την κατάσταση που επικρατεί στον σχετικό ερευνητικό τομέα.

Ανάλυση : Αναλύεται και καθορίζεται η καλύτερη διαδικασία προσέγγισης του θέματος καθώς επίσης και τα απαιτούμενα μέσα για την ολοκλήρωση του συστήματος. Σαν μέσα μπορούν να θεωρηθεί η ομάδα εργασίας, τα τεχνικά μέσα, οι οικονομικοί πόροι και τα οργανωτικά θέματα. Οι Keen και Scott-Morton (1978) προτείνουν τον καθορισμό ιδανικών μοντέλων παροχής πληροφοριών για αποφάσεις κλειδιά (key decisions).

Σχεδίαση : Ακολουθεί το στάδιο σχεδιασμού και καθορισμού των λεπτομερειών που αφορούν τη δομή, τα χαρακτηριστικά και τα διάφορα συστατικά του συστήματος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.2, η εργασία προχωρά στη σχεδίαση των τριών υποσυστημάτων (διαλόγου - επικοινωνίας, διαχείρισης βάσεων δεδομένων και βάσης μοντέλων) καθώς και των αλληλεπιδράσεών των.

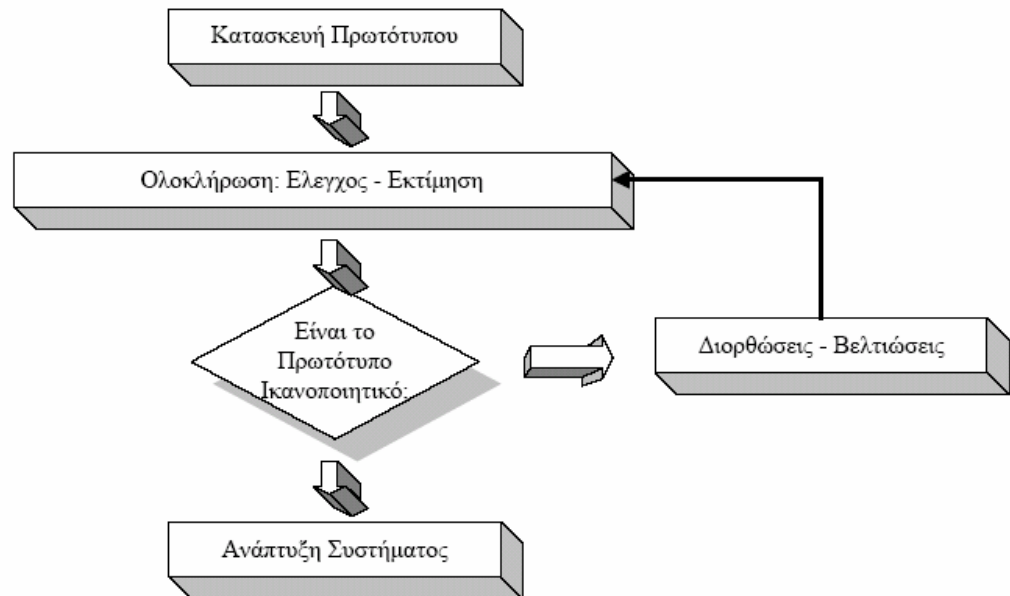
Κατασκευή : Η κατασκευή του συστήματος αποτελεί την προγραμματιστική υλοποίηση της προηγούμενης εργασίας. Ακολουθούν οι έλεγχοι ορθής λειτουργίας του συστήματος και τυχόν συμπληρωματικές βελτιώσεις.

Ολοκλήρωση : Το σύστημα τώρα εγκαθίσταται στο χώρο δουλειάς. Πριν τεθεί σε πλήρη λειτουργία είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν οι ακόλουθες εργασίες. Αρχικά γίνεται έλεγχος (testing) και εκτίμηση (evaluation) για το αν το σύστημα αφ'

ενός μεν παρέχει αυτά για τα οποία σχεδιάσθηκε και κατασκευάσθηκε και αφ' ετέρου για το αν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη - αποφασίζοντα (Ruttman, 1980; Sprague and Carlson, 1982; Riedel and Pitz, 1986; Rouse, 1986; Andriole, 1982; 1986; 1989; Adelman and Donell, 1986; Adelman, 1992). Τυχών αποκλίσεις οδηγούν στη διόρθωση του συστήματος και στην εκ νέου επανάληψη των υπόλοιπων απαραίτητων εργασιών. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το σύστημα να ικανοποιεί πλήρως τις ανάγκες του χρήστη - αποφασίζοντα. Πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές φορές, λόγω της πολυπλοκότητας των αποφάσεων, αφ' ενός μεν οι χρήστες δεν γνωρίζουν τι εργασίες ακριβώς επιθυμούν να κάνει το σύστημα, αφ' ετέρου δε τα μέλη της ομάδας εργασίας δεν μπορούν να κατανοήσουν, ακριβώς, τις ανάγκες των χρηστών. Θα πρέπει λοιπόν κατά το πρώτο στάδιο της διαδικασίας ανάπτυξης να κατασκευάζεται ένα πρωτότυπο (prototyping) του συστήματος αντί του πλήρους, το οποίο στη συνέχεια θα ελέγχεται και θα εκτιμάται από τον χρήστη- αποφασίζοντα, πριν προχωρήσει στη πλήρη ανάπτυξη του συστήματος (Σχήμα 7.3).

Το πρωτότυπο είναι ένα πρόχειρο σύστημα που διαθέτει όμως όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του πλήρους συστήματος.

Στη συνέχεια ακολουθεί η επίσημη παρουσίαση και επίδειξη (*demonstration*) όλων των δυνατοτήτων του συστήματος στο επιτελείο της επιχείρησης. Ακολουθεί η εκπαίδευση (*training*) των χρηστών στη λειτουργία του συστήματος τόσο από θεωρητικής όσο και από πρακτικής πλευράς. Τέλος το σύστημα αναπτύσσεται (*deployment*) σε όλες τις θέσεις εργασίας και τίθεται σε πλήρη λειτουργία. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα θα πρέπει να συνοδεύεται απαραίτητα από εγχειρίδια λειτουργίας του και να έχει τη δυνατότητα παροχής το ίδιο, ανά πάσα στιγμή, οδηγιών στο χρήστη για τον τρόπο λειτουργίας του.



Σχήμα 7.3 : Διαδικασία Ανάπτυξης Πρωτοτύπου

Συντήρηση : Είναι η διαρκής υποστήριξη του συστήματος από τους κατασκευαστές του, στα τυχόν προβλήματα που θα δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της "ζωής" του.

Προσαρμογή - βελτιώσεις : Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος μπορεί να δημιουργηθούν νέες ανάγκες στους χρήστες-αποφασίζοντες ή να χρειασθεί να προστεθούν κάποια νέα χαρακτηριστικά (νέες μέθοδοι κ.λ.π) ή οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη μεταβολή. Η ομάδα ανάπτυξης του συστήματος αλλά και το ίδιο το σύστημα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα προσαρμογής του στις νέες απαιτήσεις. Έτσι μπορεί να χρειασθεί να επαναληφθούν κάποιες μεμονωμένες εργασίες ή μια σειρά από αυτές.

7.5 Συστήματα Επικοινωνίας (User Interface)

Η αλληλεπίδραση ανθρώπου και ηλεκτρονικών υπολογιστών (Human Computers Interaction - HCI) ασχολείται με την κατανόηση του πως οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές έτσι ώστε να σχεδιασθούν συστήματα που να καλύπτουν καλύτερα τις ανάγκες των χρηστών. Το σύστημα επικοινωνίας είναι το μέσο με το οποίο οι χρήστες έρχονται σε επαφή με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Ο χρήστης έρχεται σε επαφή και γνωρίζει ένα πρόγραμμα - εφαρμογή μέσω του συστήματος επικοινωνίας του. Σαν σύστημα επικοινωνίας ενός προγράμματος λογισμικού θεωρούνται ότι είναι όλα τα σημεία επαφής του χρήστη και του συγκεκριμένου λογισμικού. Ο χρήστης δεν γνωρίζει τίποτε ούτε για την δομή του, ούτε για τους αλγορίθμους, ούτε για τις τεχνικές προγραμματισμού, ούτε για τις δομές, την οργάνωση και τους τρόπους επεξεργασίας των βάσεων δεδομένων του. Η γνώμη, επομένως, που σχηματίζει για ένα πρόγραμμα εξαρτάται κυρίως από το σύστημα επικοινωνίας του και λιγότερο από την τελειότητα της σχεδίασης και της ανάπτυξης των αλγορίθμων του. Μερικές από τις παρεχόμενες από το σύστημα δυνατότητες δύνονται στην συνέχεια:

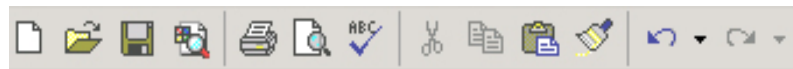
- Εξασφαλίζει την επικοινωνία του χρήστη με κάθε τμήμα του πληροφοριακού συστήματος (βάσεις δεδομένων, μοντέλα, κ.α.).
- Επιτρέπει την εισαγωγή, επεξεργασία και μετατροπή δεδομένων, δημιουργώντας διαφορετικής δομής βάσεις δεδομένων.
- Δημιουργεί αναφορές εμφάνισης και εκτύπωσης αποτελεσμάτων.
- Διαθέτει δυνατότητες χειρισμού γραφικών, τρισδιάστατων και πολυμέσων.
- Παρέχει δυνατότητες υποβοήθησης και υποστήριξης καθώς και εκπαίδευσης του χρήστη.

- Μπορεί να λειτουργεί σε διάφορες μορφές ανάλογα με τον χρήστη.
- Εξασφαλίζει την επικοινωνία μεταξύ χρηστών που εργάζονται σε δίκτυο.

7.6 Τύποι Συστημάτων Επικοινωνίας

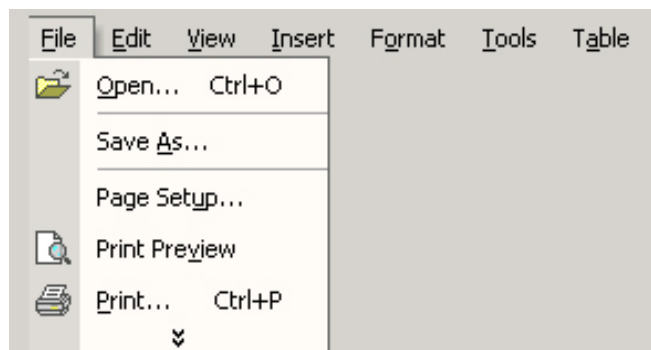
Η επικοινωνία μεταξύ χρηστών - συστήματος εξασφαλίζεται με τη χρήση διαφόρων τύπων επικοινωνίας, όπως:

Γραμμή εντολών : Η εισαγωγή των εντολών που θέλει ο χρήστης να εκτελεσθούν, γίνονται με βάση συγκεκριμένο συντακτικό από την λεγόμενη γραμμή εντολών. Κάθε εντολή έχει συγκεκριμένο αποτέλεσμα.



Εικόνα 7.1 : Γραμμή εντολών

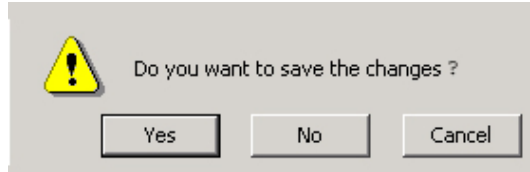
Μενού επιλογής : Ο χρήστης καλείται να επιλέξει μεταξύ μιας ομάδας δυνατών επιλογών - ενεργειών. Τα μενού έχουν πολλές φορές υπομενού επιτρεπομένων ενεργειών (Εικόνα 7.2). Επίσης υπάρχουν και μενού που εμφανίζονται με το πάτημα ενός από τα πλήκτρα του ποντικιού.



Εικόνα 7.2 : Μενού επιλογής

Ερωτήσεις και απαντήσεις : Η επικοινωνία μεταξύ χρήστη συστήματος γίνεται μέσω ερωτοαπαντήσεων. Μερικές φορές το σύστημα ερωτά τον χρήστη όταν θέλει

συμπληρωματικές πληροφορίες για να οδηγηθεί σε κάποιες ενέργειες ενώ άλλες φορές ο χρήστης υποβάλλει ερωτήσεις προς το σύστημα (what if,...).



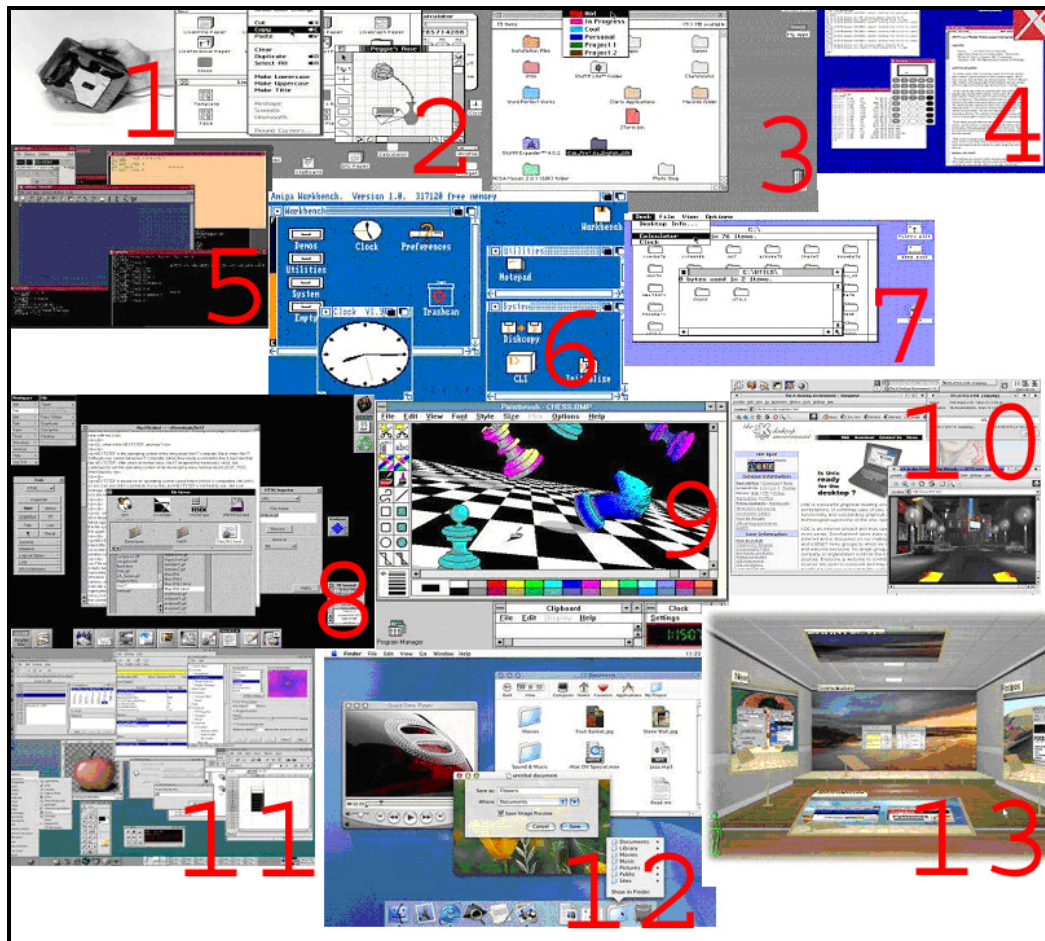
Εικόνα 7.3 : Επικοινωνία χρήστη - συστήματος

Επεξεργασία φυσικής γλώσσας : Αποτελεί ένα από τα πεδία έρευνας της Τεχνητής Νοημοσύνης. Οι εντολές από το χρήστη προς το πληροφοριακό σύστημα και οι απαντήσεις του συστήματος θα δίνονται σε φυσική γλώσσα

Χρήση φορμών και αντικειμένων : Οι φόρμες αποτελούνται από διάφορα πεδία στα οποία μπορούν να εισαχθούν, να τροποποιηθούν δεδομένα ή να επιλεγούν από προκαθορισμένες τιμές. Στις φόρμες είναι δυνατό να έχουν τοποθετηθεί και εικόνες, πλήκτρα, κουμπιά τα οποία ενεργοποιούνται με το πάτημα του ποντικιού και εκτελούν συγκεκριμένες ενέργειες. Οι καινούργιες γλώσσες προγραμματισμού διαθέτουν δυνατότητες αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, παρέχοντας αντικείμενα (κουμπιά, εικόνες, ιδιότητες,...).

7.7 Συστήματα επικοινωνίας με γραφικές δυνατότητες (Graphical User Interface)

Τα γραφικά περιβάλλοντα εργασίας (Graphical User Interface - GUI) συνέβαλαν σε πολύ σημαντικό βαθμό στη διάδοση των Η/Υ ακόμα και στους μη ειδήμονες. Η εγκυκλοπαίδεια [Britannica, 2000] ορίζει το γραφικό περιβάλλον επεξεργασίας ως ένα πρόγραμμα που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επικοινωνεί με τον Η/Υ με τη βοήθεια συμβόλων, εικονιδίων και δεικτικών συσκευών (pointing devices). Πολλά όμως από τα πράγματα που σήμερα θεωρούνται ως δεδομένα προέρχονται από ιδέες κάποιων ανθρώπων που δεν βρήκαν άμεση ανταπόκριση.

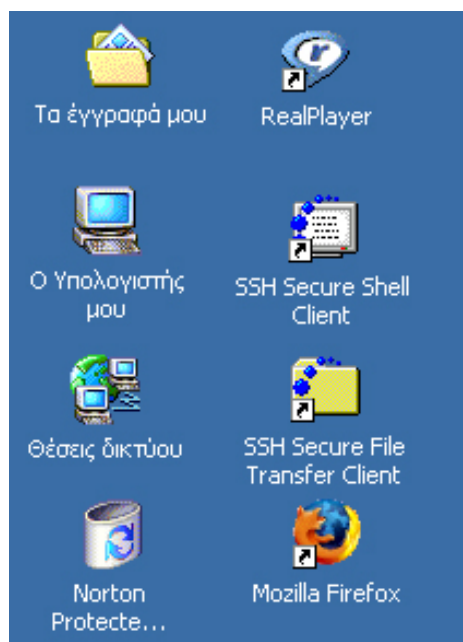


Εικόνα 7.4 : Εξέλιξη των GUIs (1. το πρώτο ποντίκι, 2. το πρώτο εμπορικό γραφικό περιβάλλον – Lisa Office System της Apple, 3. Το Macintosh της Apple, 4. Το X-Window System, 5. Το Workbench της Amiga, 6. Το GUI της Atari, 7. Το NeXT Step, 8. Τα Microsoft Windows 3.0, 9. Τα Microsoft Windows 95, 10. Το KDE 2, 11. Το GNOME, 12. Το MAC OS X, 13. Μια γέυση από το μέλλον

Η χρήση των νέων δυνατοτήτων γραφικών συστημάτων επικοινωνίας (Graphical User Interface - GUI) δίνουν την ευχέρεια στους χρήστες να έχουν να χειριστούν σύνθετες εντολές και ενέργειες μέσω αντικειμένων (Εικόνα 7.4). Τα βασικά συστατικά ενός τέτοιου συστήματος επικοινωνίας είναι: τα παράθυρα, οι εικόνες, τα εργαλεία. Τα παράθυρα είναι ανεξάρτητα τμήματα οθόνης και μπορούν να θεωρηθούν σαν ανεξάρτητες οθόνες. Σε κάθε παράθυρο εμφανίζεται ένα τμήμα μιας νοητής επιφάνειας ενός κειμένου ή μιας εφαρμογής. Μέσω του παραθυρικού περιβάλλοντος ο χρήστης μπορεί να εργάζεται ταυτόχρονα με διάφορες εφαρμογές και να βλέπει τα

επιμέρους αποτελέσματα σε διάφορα παράθυρα. Μπορεί επίσης να μεταφέρει δεδομένα, εικόνες, σχήματα, αποτελέσματα μεταξύ διαφόρων εφαρμογών που εκτελούνται σε διάφορα παράθυρα. Σήμερα ο χρήστης μπορεί να βλέπει στην οθόνη του το κείμενο, το σχήμα, μια αναφορά, ένα γραφικό αποτέλεσμα ακριβώς όπως θα εκτυπωθεί (What You See Is What You Get - WYSIWYG).

Ένα εικονίδιο είναι μια εικόνα που αναπαριστά μια εφαρμογή, ένα αρχείο, μια ενέργεια - εντολή, κ.α. (Εικόνα 7.5.).



Εικόνα 7.5 : Εικονίδια

7.8 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων και Διαχείριση Στόλου Οχημάτων Διανομής

7.8.1 Εισαγωγή – Κατάσταση στην Ελλάδα

Στις μέρες μας επικρατεί η άποψη ότι η ηλεκτρονική διαχείριση του στόλου διανομής στην Ελλάδα δεν είναι εφικτή λόγω πολλών αστάθμητων παραγόντων, όπως: δημόσια έργα, λαϊκές αγορές, συνεχείς μεταβολές στο οδικό δίκτυο, χαώδεις κυκλοφοριακές συνθήκες κι όλα όσα βασανίζουν καθημερινότητα και σε άλλες χώρες του εξωτερικού. Επομένως αρκετές εταιρείες που αναπτύσσουν λογισμικά διαχείρισης στόλων διανομής έχουν λάβει υπόψη τους τέτοιες συνθήκες, τις έχουν παραμετροποιήσει και εισάγει στα προϊόντα τους. Στην Ελλάδα μόλις το τελευταίο διάστημα οι περισσότερες εταιρείες επενδύουν σε λύσεις λογισμικού και κυρίως σε Συστήματα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (Enterprise Resources Planning Systems - ERP's). Θεωρείται βέβαιο ότι τα αμέσως επόμενα βήματά τους στην κατεύθυνση της μηχανογράφησης θα προσανατολισθούν σε ειδικευμένες λύσεις για τα logistics. Η διαδικασία αυτή θα επιταχυνθεί και για τους ακόλουθους λόγους:

- Οι συνεχείς συγχωνεύσεις και εξαγορές εταιρειών θα συγκεντρώσουν το πρόβλημα της διανομής σε λιγότερους αλλά και μεγαλύτερους φορείς. Θα δημιουργηθούν εκ των πραγμάτων μεγαλύτεροι στόλοι διανομής.
- Πολλές εταιρείες σταματάν να επενδύουν στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics) με στόχο να επικεντρωθούν στο marketing. Η διαδικασία αυτή ενισχύει τις εταιρείες 3rd party logistics / διανομών που θα συγκεντρώσουν μεγαλύτερο έργο διανομής.
- Άλλες εταιρείες πιθανόν διαπιστώνουν ότι υπάρχουν ανεκμετάλλευτοι χώροι διανομής και εκμεταλλεύόμενες τη δύναμή τους σε κάποια κανάλια ή κάποιους τύπους διανομής (λ.χ. ψυχρό φορτίο) λογικό είναι να βλέπουν ως επιχειρηματική ευκαιρία την επένδυση στη διανομή.

- Το κόστος μεταφοράς αποτελεί το 50%-60% του συνολικού κόστους logistics. Η εφαρμογή σύγχρονης τεχνολογίας για την καλύτερη αξιοποίηση των μέσων διανομής μειώνει σημαντικά το κόστος μέσω:
 1. εφαρμογής πολιτικής κοστολόγησης του έργου της διανομής,
 2. εισαγωγής συστήματος παρακολούθησης και προγραμματισμού του έργου της συντήρησης του στόλου,
 3. αξιολόγησης του συστήματος διανομής.

7.8.2 Προβλήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων

Η διαχείριση στόλου οχημάτων αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, η πολυπλοκότητα του οποίου οφείλεται στο πολύ μεγάλο πλήθος παραμέτρων. Η βάση του προβλήματος διαχείρισης στόλου οχημάτων βρίσκεται στη δρομολόγηση οχημάτων η έρευνα της οποίας ξεκίνησε την δεκαετία του '60 με την μελέτη του προβλήματος του περιπλανώμενου πωλητή (Travelling Salesman Problem - TSP). Το θεωρητικό αυτό πρόβλημα είχε να κάνει με έναν φανταστικό πωλητή ο οποίος ξεκινώντας από έναν κόμβο ενός δικτύου έπρεπε να διατρέξει όλους τους κόμβους του δικτύου οι οποίοι ενώνονται όλοι μεταξύ τους, περνώντας μία φορά από τον καθένα και επιστρέφοντας στον κόμβο από τον οποίο είχε ξεκινήσει, διανύοντας την ελάχιστη απόσταση. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυτού αυξάνεται εκθετικά με το πλήθος των κόμβων. Ερχόμενοι στο παρόν και στην πραγματικότητα, είναι φανερό ότι τα συστήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων (ή και άλλων μέσων) έχουν ως βάση το πρόβλημα TSP αλλά έχει υπεισέλθει και ένα πλήθος παραμέτρων οι οποίοι αυξάνουν τρομακτικά την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Ενδεικτικά αναφέρονται:

Δυναμικότητες δρομολογίων: Κάθε δρομολόγιο ενός οχήματος έχει και μία συγκεκριμένη δυναμικότητα, η οποία καθορίζεται από το ωφέλιμο φορτίο, το οποίο περιορίζεται με τη σειρά του από τη φύση των υλικών που μεταφέρονται. Επιπλέον η δυναμικότητα καθορίζεται και από το ωράριο εργασίας του οδηγού του οχήματος, το

οποίο με τη σειρά του περιορίζεται από κανόνες ασφαλείας, από την πολιτική της εταιρείας και τις ικανότητες του οδηγού. Τέλος σε περίπτωση ύπαρξης πολλών αποθηκών απαιτείται η λήψη απόφασης η οποία θα απαντά στο ερώτημα «ποια αποθήκη θα εξυπηρετήσει ποιους πελάτες».

Χρονικά περιθώρια (Time Windows): Στα πλαίσια βελτίωσης του επιπέδου εξυπηρέτησης (customer service) των πελατών της, κάθε εταιρεία δσμεύεται για παράδοση της παραγγελίας μέσα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο η οποία προσδιορίζεται κατά την παραγγελιοληψία. Εναλλακτικά μπορεί να υπάρχει ελαστικότητα στους χρόνους παράδοσης (Soft Time Windows) με αντιστάθμισμα την πληρωμή «προστίμου». Επιπλέον πρέπει να μελετάται και η περίπτωση μίσθωσης οχημάτων από τρίτους.

Εφικτότητα δρομολογίων - χαρακτηριστικά οχημάτων: Τα τεχνικά (βάρος, εγκατάσταση ψύξης, πλευρά φόρτωσης) και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οχημάτων (μήκος, ύψος, πλάτος) περιορίζουν τα δυνατά δρομολόγια που μπορεί να εκτελέσει το κάθε όχημα. Στην περίπτωση που τα δρομολόγια δεν είναι προκαθορισμένα αλλά αλλάζουν σε σύντομα χρονικά διαστήματα, αντιστοίχιση οχημάτων σε δρομολόγια πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα - πολλές φορές καθημερινά. Επιπλέον τα χαρακτηριστικά του στόλου των οχημάτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και κατά το σχεδιασμό της αποθήκης και του περιβάλλοντα χώρου (ελιγμοί οχημάτων, κ.λπ.)

Τυχαιότητα: Ενα πλήθος αστάθμητων παραγόντων υπεισέρχεται στο πρόβλημα διαχείρισης στόλου. Καιρικές συνθήκες, κλειστοί δρόμοι, γραφειοκρατικές διαδικασίες αποτελούν τέτοιους παράγοντες.

Δυναμική φύση του προβλήματος: Ο υπεύθυνος δρομολόγησης σε πολλές περιπτώσεις δεν έχει την πολυτέλεια του προγραμματισμού του στόλου από πριν. Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις που παρουσιάζεται ζήτηση και απαιτείται παράδοση μέσα στην ίδια ημέρα. Πολλές φορές οι στάσεις ενός οχήματος δεν είναι γνωστές από πριν, όπως και οι χρόνοι φόρτωσης / εκφόρτωσης.

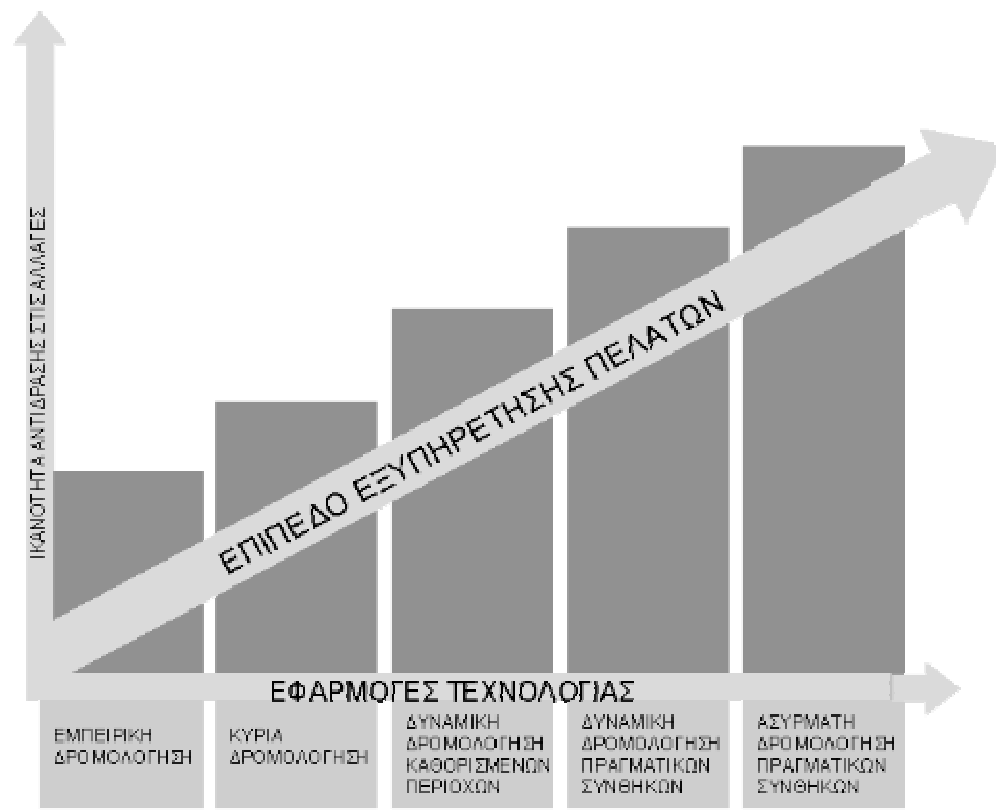
Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η πολυπλοκότητα του προβλήματος ακόμα και στις πιο απλές περιπτώσεις είναι τεράστια. Οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης στόλου απαιτούν διαχείριση τεράστιου όγκου πληροφοριών, πολλές ανθρωπόωρες, έχουν υψηλό κόστος, και τα αποτελέσματα δεν είναι πάντοτε επιτυχή.

7.8.3 Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης Στόλου

Η ύπαρξη στην αγορά σύγχρονων συστημάτων λογισμικού (software) δρομολόγησης οχημάτων δίνει πλέον την δυνατότητα στις εταιρείες που τα χρησιμοποιούν να γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή όλες τις πληροφορίες που επιθυμούν για τους πελάτες και τις ιδιαιτερότητες στην εξυπηρέτησή τους, τις παραγγελίες, τα διακινούμενα προϊόντα, τα οχήματα διανομής, κ.λπ., αλλά επίσης να μπορούν να σχεδιάζουν με αυτοματοποιημένο τρόπο και σε μικρό χρονικό διάστημα τη μορφή και ακριβή διαδρομή των δρομολογίων του στόλου των οχημάτων διανομής της επόμενης ημέρας.

Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα με την υποβοήθηση κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών η εταιρεία να είναι σε θέση να γνωρίζει την ακριβή θέση κάθε φορτηγού του στόλου της, των συνθηκών μεταφοράς των εμπορευμάτων, καθώς επίσης και να έχει τη δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με τα οχήματά της σε περιπτώσεις ανάκλησης μίας παραγγελίας που ακυρώθηκε, προσθήκης έκτακτης παραγγελίας, αναπροσαρμογής του δρομολογίου για διαφόρους λόγους, κ.λπ.

Με τη χρήση τέτοιων συστημάτων δρομολόγησης επιτυγχάνεται καλύτερο επίπεδο στην εξυπηρέτηση των πελατών και στις περισσότερες περιπτώσεις εταιρειών που εγκατέστησαν τέτοια συστήματα επιτεύχθηκε μεγαλύτερη ευελιξία και σημαντικές μειώσεις στο κόστος διανομής. Στο Σχήμα 7.4 απεικονίζεται σχηματικά η σχέση της χρήσης της τεχνολογίας τέτοιων συστημάτων με την προσδιδόμενη ευελιξία σε συνδυασμό με το βαθμό εξυπηρέτησης πελατών.



Σχήμα 7.4 : Σχέση τεχνολογίας και ικανοποίησης πελατών

Με την εφαρμογή μοντέλων και τεχνικών Επιχειρησιακής Έρευνας και λύσεων Πληροφορικής, τα Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης Στόλου λαμβάνουν την μορφή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων. Τα συστήματα αυτά πέραν της πληροφόρησης που παρέχουν, προσφέρουν τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων.

Τα δομικά στοιχεία ενός τέτοιου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων είναι:

1. Μοντέλα - Αλγόριθμοι

Για την επίλυση προβλημάτων Διαχείρισης Στόλου έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος αλγορίθμων και μοντέλων, τα οποία με τα κατάλληλα δεδομένα προτείνονται βέλτιστες λύσεις δρομολόγησης ή λύσεις που πλησιάζουν τη βέλτιστη (heurestics), λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά κριτήρια βελτιστοποίησης και περιορισμούς.

Αναφέρθηκε πριν ότι η τυχαιότητα είναι μία σημαντική παράμετρος στα προβλήματα διαχείρισης στόλου. Για το λόγο αυτό έχουν προταθεί τόσο ντετερμινιστικά όσο και στοχαστικά μοντέλα. Επιπλέον ανάλογα με τη χρονική στιγμή που γίνεται ο προγραμματισμός, εφαρμόζονται στατικά ή δυναμικά μοντέλα. Οι εναλλακτικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: (α) Δρομολόγηση με Βασικά Δρομολόγια (Master Routes), και (β) Χρησιμοποίηση Τεχνικών Δυναμικής Δρομολόγησης

Οι χρησιμοποιούμενοι αυτοί αλγόριθμοι έχουν ως εξής:

(α) Δρομολόγηση με Βασικά Δρομολόγια (Master Routes) - Στατικά Μοντέλα

Η χρήση των Master Routes αποτελεί μία από τις κλασικότερες μεθόδους δρομολόγησης που θα πρέπει ένα σύστημα Διαχείρισης Στόλου Οχημάτων (Fleet Management) να υποστηρίζει. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί προσχεδιασμένα δρομολόγια και γίνεται η επεξεργασία των εισερχόμενων εντολών παραγγελίας με βάση αυτά. Είναι δυνατόν για παράδειγμα να σχεδιαστούν διαφορετικά Master Routes με βάση την διαθεσιμότητα των οδηγών, των οχημάτων σε διαφορετικές ημέρες της εβδομάδας, ή ακόμη να σχεδιαστούν βασικά δρομολόγια βάσει των επισκεψιμοτήτων διανομής των πελατών και οποιασδήποτε άλλης ιδιαιτερότητας που παρουσιάζεται στο κομμάτι της δρομολόγησης σε μία εταιρεία.

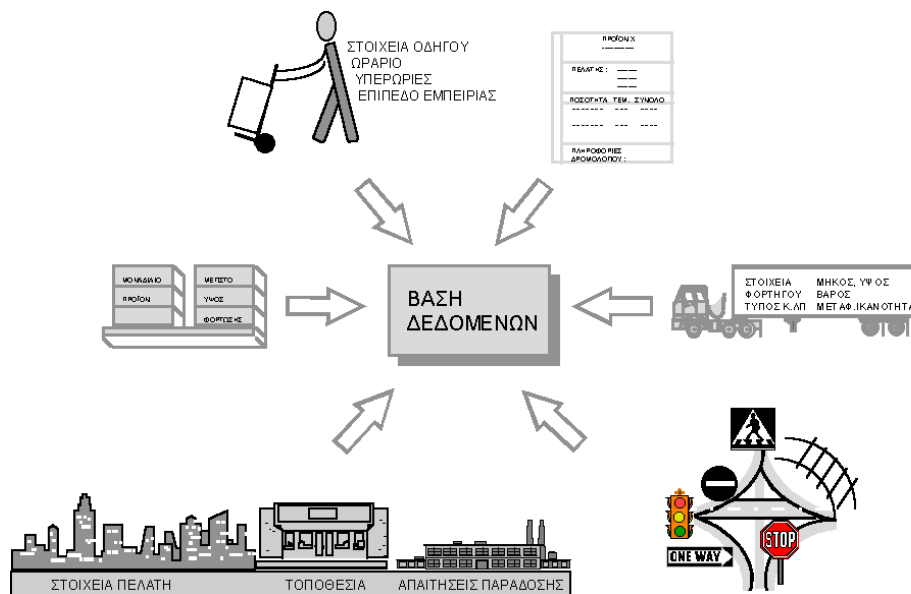
Η παραπάνω μέθοδος δρομολόγησης αποτελεί την πιο απλή μέθοδο αυτοματισμού που μειώνει στο ελάχιστο την χρονική διάρκεια της διαδικασίας δρομολόγησης του στόλου διανομής. Έχει βέβαια και τα μειονεκτήματά της που οφείλονται στο γεγονός ότι επειδή είναι προκαθορισμένη η συχνότητα στάσεων διανομής των οχημάτων, δεν είναι δυνατή η πιο σωστή και ακριβής εκμετάλλευση του χρόνου του οδηγού και συνεπώς επίτευξης της μεγαλύτερης μείωσης του κόστους. Ακόμη, η χρήση των Master Routes δεν επιτρέπουν μεγάλη ευελιξία στην ικανοποίηση πολλών ιδιαιτεροτήτων σε ότι αφορά την ικανοποίηση των απαιτήσεων παράδοσης των πελατών.

(β) Χρησιμοποίηση Τεχνικών Δυναμικής Δρομολόγησης - Δυναμικά Μοντέλα

Με τη χρησιμοποίηση τεχνικών δυναμικής δρομολόγησης δίνεται η ευκαιρία για τη σχεδίαση “έξυπνων”, ευέλικτων και χαμηλού κόστους δρομολογίων. Επιπροσθέτως, είναι δυνατή η βέλτιστη ικανοποίηση των απαιτήσεων παράδοσης του κάθε πελάτη, γεγονός που αντικατοπτρίζεται άμεσα στο επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών. Η χρήση τεχνικών Δυναμικής Δρομολόγησης από το λογισμικό Διαχείρισης Στόλου Οχημάτων (Fleet Management) απαιτεί την προσεκτική δόμηση (α) των παραμέτρων, (β) των κανόνων, και (γ) των γεωγραφικών περιοχών που επηρεάζουν τη δρομολόγηση.

2. Βάση Δεδομένων

Η εφικτότητα και ορθότητα των λύσεων που προκύπτουν από την εφαρμογή των μοντέλων που αναφέρθηκαν εξαρτάται άμεσα από την αξιοπιστία και ορθότητα των δεδομένων που εισάγονται ως input στο σύστημα. Έχει γίνει κατανοητό ότι ο όγκος των πληροφοριών και των παραμέτρων που απαιτούνται είναι τεράστιος (Σχήμα 7.5).



Σχήμα 7.5 : Σχηματική απεικόνιση των παραμέτρων που λαμβάνει υπ’ όψη του ένα λογισμικό Διαχείρισης Στόλου Οχημάτων (Fleet Management)

Για την αποθήκευση των πληροφοριών αυτών και την ανάκτησή τους για χρήση από το σύστημα απαιτείται η οργάνωση μίας ηλεκτρονικής Βάσης Δεδομένων.

3. User Interface

Για την επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και του συστήματος απαιτείται ο σχεδιασμός ενός User Interface μέσα από το οποίο θα γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων, η ανάκτηση πληροφοριών και θα εμφανίζονται τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των User Interfaces θα πρέπει να είναι η φιλικότητα προς τον χρήστη. Η εξέλιξη των συστημάτων υπολογιστών έχει οδηγήσει σε γραφικά συστήματα επικοινωνίας (Graphical User Interfaces - GUI's), τα οποία είναι περισσότερο φιλικά προς τον χρήστη.

7.8.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS)

Ενα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τη διαχείριση στόλου οχημάτων και τη δρομολόγησή τους είναι η διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών σε όρους απόστασης και χρόνου. Τα γραφικά περιβάλλοντα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα συστήματα αποθήκευσης δεδομένων και οι υψηλές ταχύτητες επεξεργασίας επέτρεψαν την ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η ενσωμάτωση των GIS στα συστήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων επιτρέπει τον λεπτομερή προγραμματισμό δρομολογίων με πραγματικά δεδομένα. Τα πλεονεκτήματα από την χρήση τέτοιων συστημάτων είναι:

- Χρήση πραγματικών αποστάσεων και ορθή εκτίμηση χρόνων
- Εμφάνιση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων της δρομολόγησης σε διάφορες μορφές με δυνατότητα εκτύπωσης

- Λεπτομερής αναπαράσταση του δικτύου διανομής πάνω σε χάρτη, με δυνατότητα χρήσης των στοιχείων αυτών από το σύστημα
- Δυνατότητα ενημέρωσης και ανανέωσης των στοιχείων της βάσης.
- Το γραφικό περιβάλλον εμφάνισης επιτρέπει την επεξεργασία σύνθετων στοιχείων από μη-ειδικούς.

Ενα σύστημα GIS μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων GPS (Global Positioning Systems). Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την παρακολούθηση του στόλου των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, με τη χρήση ασύρματων τεχνολογιών και δορυφορικών επικοινωνιών. Η εφαρμογή συστημάτων GPS παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Παρακολούθηση του στόλου των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο,
- Γραφική απεικόνιση της θέσης των οχημάτων επάνω σε χάρτη,
- Δυνατότητα δυναμικής δρομολόγησης και επέμβασης στα δρομολόγια.

7.8.5 Παρουσίαση Συστημάτων

Τα συστήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων έχουν εφαρμοσθεί ευρέως σε εταιρείες του εξωτερικού. Στην Ελλάδα δεν συμβαίνει το ίδιο κυρίως λόγω μη ορθής πληροφόρησης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ένας αριθμός Συστημάτων Διαχείρισης Στόλου με ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά. Από τον πίνακα (όπου "χ/π": χωρίς περιορισμό", H/W": εξαρτάται από το hardware) μπορεί να παρατηρηθεί ότι διατίθενται συστήματα τα οποία μπορούν να καλύψουν κάθε ανάγκη.

Σύστημα	Αρ. Πελατών	Αρ. Οχημάτων	Αρ. Αποθηκών	Real-time Routing	Dynamic Routing	Master Routing	Προγρ. Οδηγών	Παραλαβές	Παραδόσεις	LTL	TL	GIS	Άλλες Δυνατότητες
GeoRoute	4600	512	256	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	GeoWhiz	Τοπική και μη-τοπική διανομή. Πολλαπλές αφητηρίες.
GeoRoute 5	χ/π	χ/π	χ/π	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	-	-	ArcInfo, MapInfo	Προγραμματισμός σημείο ανά σημείο και δρόμο ανά δρόμο.
Load Manager	-	-	-	-	-	-	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	-	-
LoadExpress Plus	χ/π	500	χ/π	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Οποιοδήποτε	Βελτιστοποίηση. Χρονοπρογραμματισμός. Αναλύσεις.
Manugistics Routing & Scheduling	χ/π	χ/π	χ/π	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Xeta Rockwell, Cadec, Autoroach	Διαχείριση πόρων (οδηγοί, τράκτορες, τρεύλερ)
OVERS	10000	1000	100	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Map Objects	Διαχείριση σε πολλαπλές περιόδους. Περιορισμοί χώρου, χρόνου. Βελτιστοποίηση χωροθέτησης περιοχής εξυπηρέτησης.
RIMMS	χ/π	χ/π	χ/π	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	-	ESRI shape files	Πλήρως παραμετροποιήσιμο.
ROADNET 5000	χ/π	χ/π	χ/π	-	Ναι	-	Ναι	Ναι	Ναι	-	-	GDT maps	-
RoadShow	8000	χ/π	χ/π	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	-	GDT, Etak, MapInfo	Λαμβάνει υπόψη πραγματικά κόστη.
RoutePro	H/W	H/W	H/W	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Etak, Horizons Technology, GDT, PCMiller	Παραμετροποιήσιμο.
RouteSmart Neighborhood	χ/π	χ/π	1 +	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	GIS Plus, ArcInfo	Σύστημα ανάγνωσης αποστάσεων, διαχείριση συνδυασμών δρομολογίων.
RouteSmart Point-to-Point	χ/π	χ/π	1 +	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	ArcView	-
Routronics 2000	χ/π	χ/π	χ/π	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	MapInfo	Ολοκληρωμένο πακέτο, δυνατότητα υποστήριξης ασύρματων επικοινωνιών.
SHIPCONS II	χ/π	χ/π	χ/π	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	GDT, MapInfo, Etak	Βελτιστοποίηση κόστους, παραμετροποιήσιμες οθόνες, reporting.
Taylor II	1000	100	1000	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	-	2-D και 3-D animation, σχεδιασμός πειραμάτων, στατιστικά μοντέλα.
Territory Planner	χ/π	χ/π	χ/π	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	GDT Maps	-
TESYS	3000	1000	500	Ναι	Ναι	Όχι	-	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	CDPD/GPS/RF	-
TransCAD	χ/π	χ/π	χ/π	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	-	Ναι	Maptitude, GIST	Περιλαμβάνει πακέτο εργαλείων Επιχειρησιακής Έρευνας.
Trapeze	χ/π	χ/π	χ/π	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Etak, MapInfo, TIGER, ArcInfo, Navtech	-
TruckStops	16000	16000	16000	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Οποιοδήποτε πακέτο ανεβάζει αρχεία ASCII	Παραμετροποιήσιμο, δημιουργία reports.

Πίνακας 7.2 : Συστήματα Διαχείρισης Στόλου

Στα πλαίσια της μείωσης του κόστους διανομής και της μεγιστοποίησης του επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών αλλά και της διεύρυνσης των αγορών, η πολυπλοκότητα των δικτύων διανομής και του προβλήματος της διαχείρισης των μέσων διανομής αυξάνεται συνεχώς. Τα προβλήματα δρομολόγησης γίνονται περισσότερο σύνθετα και υπεισέρχονται νέες παράμετροι. Ταυτόχρονα όμως οι ερευνητές αναπτύσσουν νέα μοντέλα και εργαλεία για την υποστήριξη των αποφάσεων που σχετίζονται με τη διανομή. Η τεχνολογία της πληροφορικής, των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών παρουσιάζει αλματώδη ανάπτυξη. Τα τελευταία 25 χρόνια έχει συντελεσθεί ένας αριθμός από μικρές επαναστάσεις:

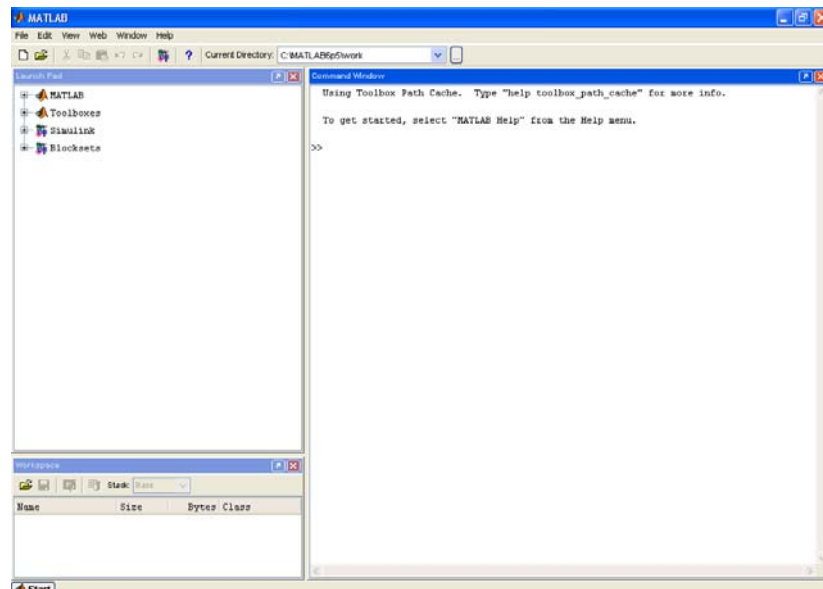
- κατανόηση και αφομοίωση των λειτουργιών των Logistics,
- ανάπτυξη της τεχνολογίας των Η/Υ και των τηλεπικοινωνιών,
- ανάπτυξη νέων αλγορίθμων και τεχνικών επιχειρησιακής έρευνας,
- εισαγωγή νέων εργαλείων διαχείρισης πληροφοριών και βάσεων δεδομένων,
- παρουσίαση νέων συστημάτων και εργαλείων λογισμικού και interfaces,
- αυξανόμενη τάση των εταιρειών για χρήση λογισμικού (software) υποστήριξης συστημάτων διανομής.

Κεφάλαιο 8

Παρουσίαση του Συστήματος

8.1 Matlab – Matlab GUIDE

Το MATLAB είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστών για ανθρώπους που χρησιμοποιούν αριθμητικούς υπολογισμούς, ειδικά στη γραμμική άλγεβρα (πίνακες). Ξεκίνησε ως ένα πρόγραμμα «Εργαστηρίου Πινάκων» («MATrix LABoratory») που είχε σκοπό να παρέχει αλληλεπιδρώσα προσπέλαση στις βιβλιοθήκες Linpack και Eispack. Από τότε έχει αναπτυχθεί αρκετά, για να γίνει ένα ισχυρότατο εργαλείο στην οπτικοποίηση, στον προγραμματισμό, στην έρευνα, στην επιστήμη των μηχανικών, και στις επικοινωνίες.

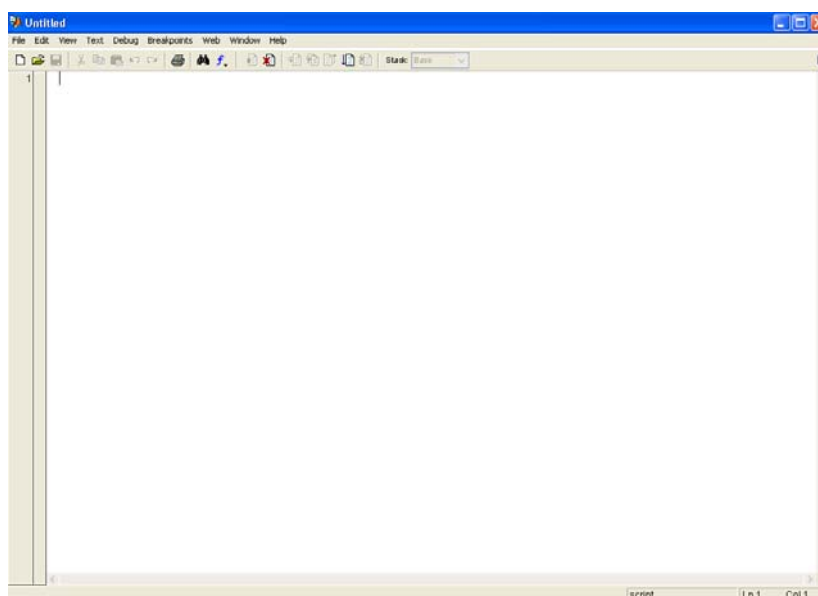


Εικόνα 8.1 : Η γραμμή εντολών (Command Window) του Matlab

Στο δυναμικό του Matlab συμπεριλαμβάνονται μοντέρνοι αλγόριθμοι, δυνατότητες χειρισμού τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, και ισχυρά προγραμματιστικά εργαλεία. Το Matlab δεν είναι σχεδιασμένο για συμβολικούς υπολογισμούς, αλλά αντισταθμίζει αυτή την αδυναμία του επιτρέποντας στο χρήστη να συνδέεται άμεσα με το Maple. Η επιφάνεια αλληλεπίδρασης βασίζεται κυρίως σε κείμενο, γεγονός που μπορεί να συγχύσει μερικούς χρήστες.

Τα περισσότερα σύνθετα πακέτα λογισμικού για μηχανικούς έχουν μια πληθώρα λειτουργιών, λιγότερο ή περισσότερο πολύπλοκων. Το Matlab είναι ένα από αυτά τα πακέτα λογισμικού, καθώς οι λειτουργίες του καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, που εκτείνονται από απλά μαθηματικά μέχρι και σύνθετες προσομοιώσεις. Συνήθως στις περιπτώσεις τέτοιων πακέτων λογισμικού υπάρχει ένα πρόβλημα. Από πού να ξεκινήσει κάποιος; Το παραπάνω βιβλίο περιγράφει το περιβάλλον του Matlab, αναλύει το βασικό μαθηματικό μέρος και εξηγεί πως μπορεί κάποιος να εμβαθύνει στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το ίδιο πρόγραμμα για να βρει τις πληροφορίες που χρειάζεται. Ακόμα και μια αρχή πρέπει να είναι κατάλληλα δομημένη για να πετύχει το στόχο της.

Το MATLAB (MATrix LABoratory) είναι ένα διαδραστικό περιβάλλον για αριθμητικούς υπολογισμούς κυρίως. Μέσω του Symbolic Toolbox μας παρέχει τη δυνατότητα να προβούμε και σε κάποιους συμβολικούς υπολογισμούς. Το 1978 δημιουργήθηκε η πρώτη του έκδοση σε Fortran. Το 1984 η έκδοση MATLAB 1 γράφηκε σε γλώσσα C. Γρήγορα το MATLAB έγινε ένα ιδιαίτερα πολύτιμο και δημοφιλές εργαλείο για επιστήμονες και ερευνητές πολλών επιστημονικών πεδίων. Στην εποχή μας έχουμε φθάσει στην έκδοση MATLAB 7. Ο πυρήνας του με τις βασικές εσωτερικές του εντολές είναι αναπτυγμένος σε γλώσσα C, ενώ όλες οι υπόλοιπες εντολές του είναι αναπτυγμένες στη γλώσσα του MATLAB.



Εικόνα 8.2 : Ο επεξεργαστής εντολών (Editor) του Matlab

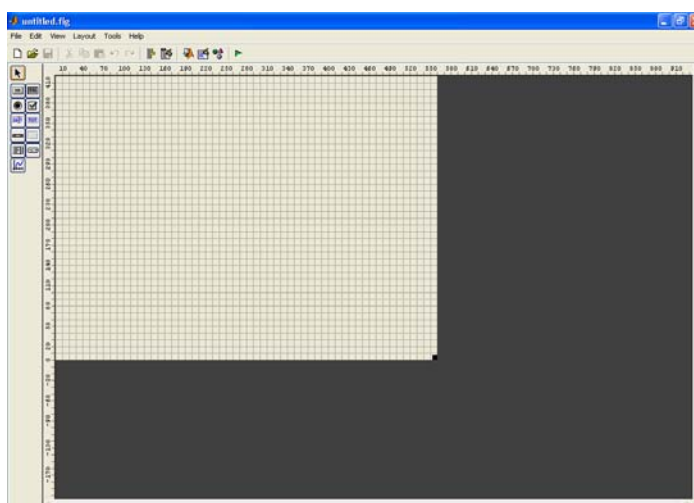
Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

1. Επιτρέπει ταχύ και εύκολο προγραμματισμό σε μία υψηλού επιπέδου γλώσσα.
2. Παρέχει υψηλού επιπέδου εύκολα υλοποιήσιμα γραφικά.
3. Το διαδραστικό περιβάλλον επιτρέπει τον πειραματισμό πάνω στα δεδομένα και εύκολη εύρεση σφαλμάτων.
4. Είναι μία σύγχρονη γλώσσα προγραμματισμού που υποστηρίζει τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, χειρίζεται τα δεδομένα με ιδιαίτερη ευκολία (π.χ. χωρίς δηλώσεις) . Τα προγράμματα MATLAB μπορούν να μεταφερθούν από ένα σύστημα σε ένα άλλο χωρίς μετατροπή.
5. Υπάρχουν πολλές βιβλιοθήκες (Toolboxes) που δίνουν τη δυνατότητα να χειριστούμε προβλήματα συγκεκριμένου πεδίου π.χ. Fuzzy Logic, Image Processing, Databases, Symbolic Maths κ.λ.π.

6. Υπάρχει άφθονος διαθέσιμος κώδικας στο διαδίκτυο που καλύπτει μεγάλη γκάμα Μαθηματικών Προβλημάτων.

Ένα γραφικό σύστημα επικοινωνίας (*Graphical User Interface – G.U.I.*) αποτελεί τη γραφική απεικόνιση ενός προγράμματος. Ένα καλό γραφικό σύστημα επικοινωνίας μπορεί να κάνει εύκολη τη κατανόηση ενός προγράμματος παρέχοντας στο χρήστη μια σειρά από καλαίσθητα εικονίδια και εφαρμογές που δουλεύουν με το πάτημα ενός κουμπιού. Τα γραφικά συστήματα επικοινωνίας πρέπει να δουλεύουν με όσο το δυνατό πιο κατανοητό και προβλέψιμο τρόπο έτσι ώστε ο χρήστης να γνωρίζει τι περίπου να περιμένει από κάθε του ενέργεια αλληλεπίδρασης με αυτό. Ένα τέτοιο σύστημα εξασφαλίζει στο χρήστη φιλικό περιβάλλον αποτελούμενο από κουμπιά, λίστες, μενού, κ.α. εργαλεία με τα οποία είναι ήδη εξοικειωμένος από τη χρήση άλλων παρεμφερών συστημάτων. Η φιλικότητα αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αποκλειστική ενασχόληση του χρήστη με την εφαρμογή και την απεμπλοκή του από τη θεωρία και τους μηχανισμούς που κρύβονται πίσω από αυτή. Από την άλλη όμως ένα σύστημα γραφικής επικοινωνίας προϋποθέτει πολύ πιο μεγάλο φόρτο εργασίας από τη πλευρά του προγραμματιστή καθώς πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει κάθε κίνηση του χρήστη ανά πάσα στιγμή.

Το Matlab παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος με τη χρήση της εφαρμογής GUIDE (GUI Development Environment).

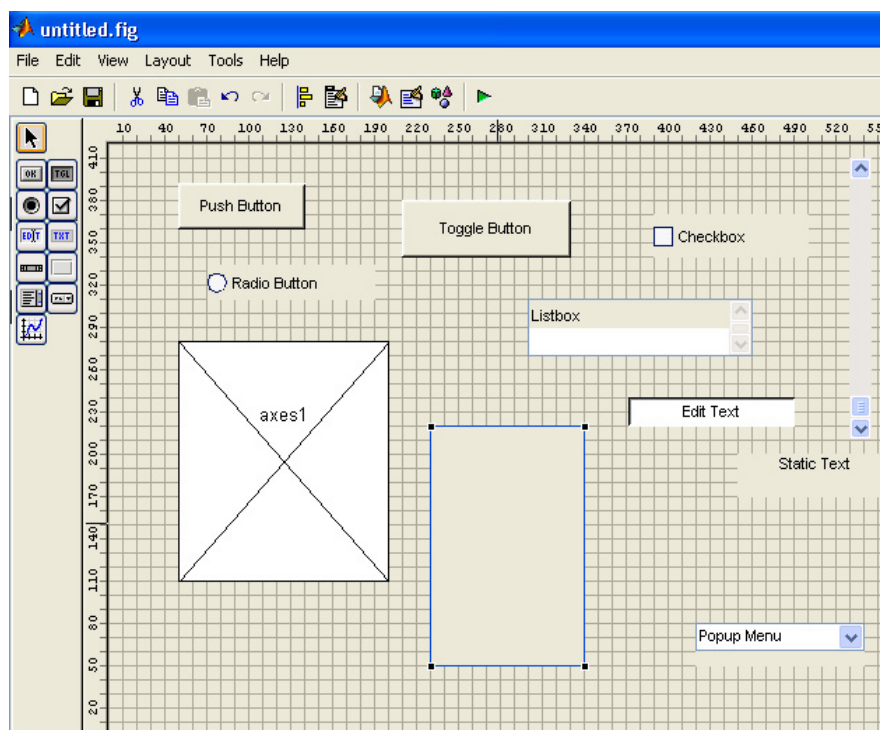


Εικόνα 8.3 : Το περιβάλλον σχεδίασης (Layout Editor) του Matlab GUIDE

Μάλιστα, με τη πάροδο και τη συνεχή ανανέωση των εκδόσεων βελτιώνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να φτάνει ολοένα και πιο κοντά σε κλασσικά προγράμματα ανάπτυξης γραφικών συστημάτων απεικόνισης όπως για παράδειγμα η VISUAL BASIC, η VISUAL C++, η VISUAL JAVA κ.α..

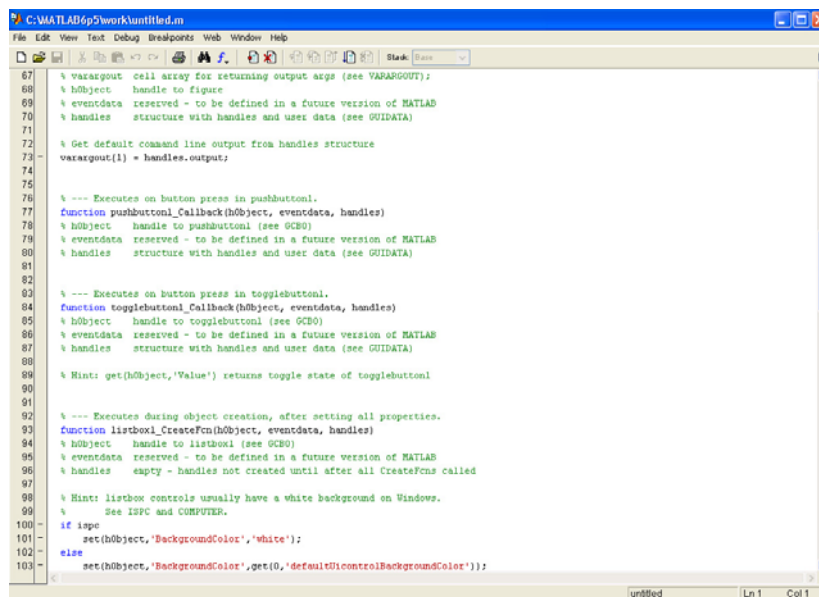
Τα τρία βασικά στοιχεία που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός GUI με το Matlab GUI Development Environment (GUIDE) είναι τα εξής :

1. **Συστατικά του συστήματος :** Καθένα από τα στοιχεία που εμφανίζονται στο GUI (pushbuttons, labels, edit boxes κ.α.) αποτελεί συστατικό. Τα συστατικά αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε κουμπιά ελέγχου (pushbuttons, edit boxes, lists, sliders κ.α.), στατικά στοιχεία (frames, text strings), μενού (menus) και άξονες (axes).
2. **Γραφήματα :** Όλα τα παραπάνω συστατικά τοποθετούνται μέσα σε ένα ξεχωριστό παράθυρο στην οθόνη του υπολογιστή που ονομάζεται γράφημα (figure).



Εικόνα 8.4 : Τα στοιχεία ελέγχου (Controls) του GUIDE

3. **Κώδικες :** Πρόκειται για τον προγραμματισμό των ενεργειών που ακολουθούν το πάτημα ενός συστατικού, το πάτημα του ποντικιού ή του πληκτρολογίου. Για κάθε ένα από τα συστατικά γράφεται σε ξεχωριστό περιβάλλον και ένας κώδικας που εκτελεί την πράξη για την οποία προορίζεται η δημιουργία του συστατικού



```

67 % varargin cell array for returning output args (see VARARGOUT);
68 % hObject handle to figure
69 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
70 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
71
72 % Get default command line output from handles structure
73 varargin{1} = handles.output;
74
75
76 % --- Executes on button press in pushbutton1.
77 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
78 % hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
79 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
80 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
81
82 % --- Executes on button press in togglebutton1.
83 function togglebutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
84 % hObject handle to togglebutton1 (see GCBO)
85 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
86 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
87
88 % Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton1
89
90
91 % --- Executes during object creation, after setting all properties.
92 function listbox1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
93 % hObject handle to listbox1 (see GCBO)
94 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
95 % handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
96
97 % Hint: listbox controls usually have a white background on Windows.
98 % See ISPC and COMPUTER.
99
100 if ispc
101     set(hObject,'BackgroundColor','white');
102 else
103     set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

```

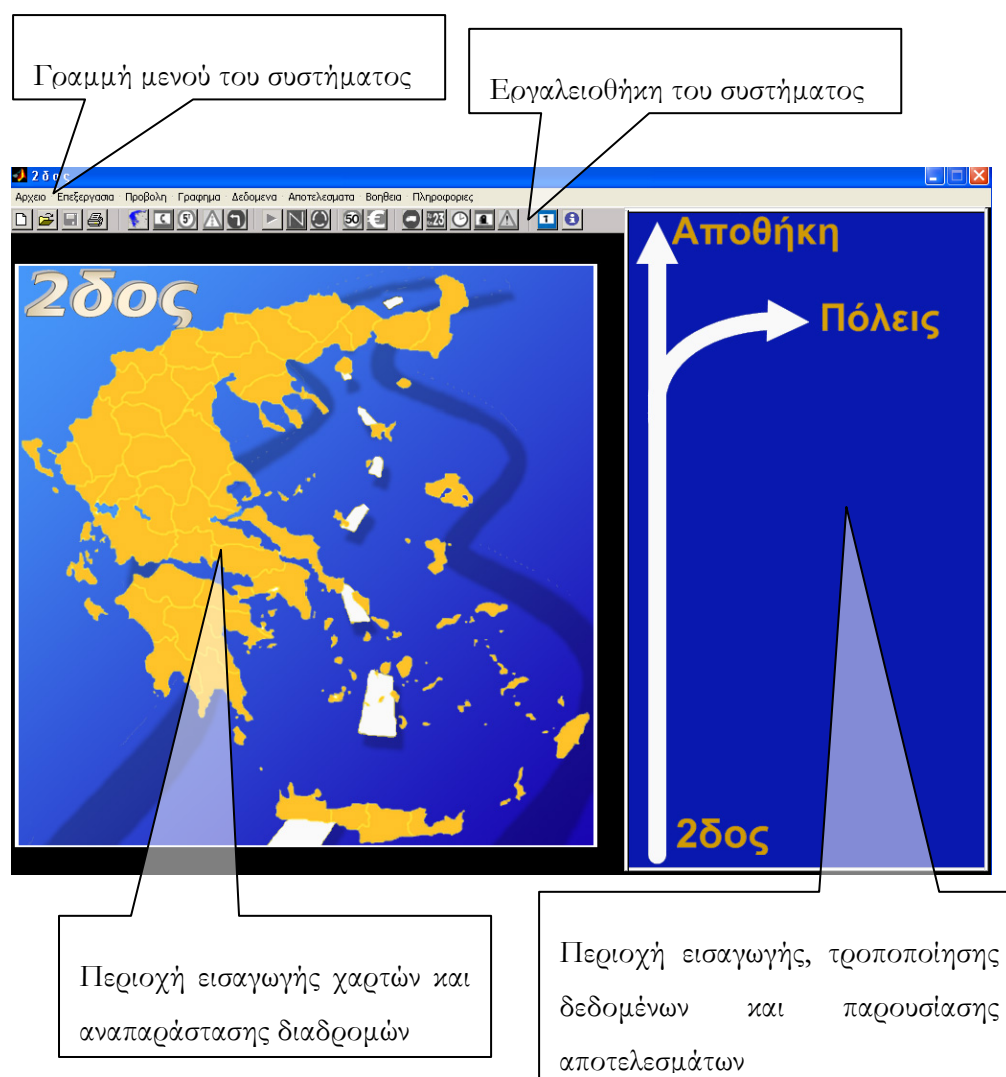
Εικόνα 8.5 : Κώδικας προγραμματισμού (Callback) των στοιχείων ελέγχου(Controls) του GUIDE

8.2 Το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ

Το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ αναπτύχθηκε με γνώμονα την εύκολη αλληλεπίδραση με το χρήστη μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον που ενισχύει τη διεπαφή και επιτρέπει τη χρήση του από άτομα μη εξοικειωμένα με το αντικείμενο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και της διαχείρισης του στόλου οχημάτων διανομής ειδικότερα.

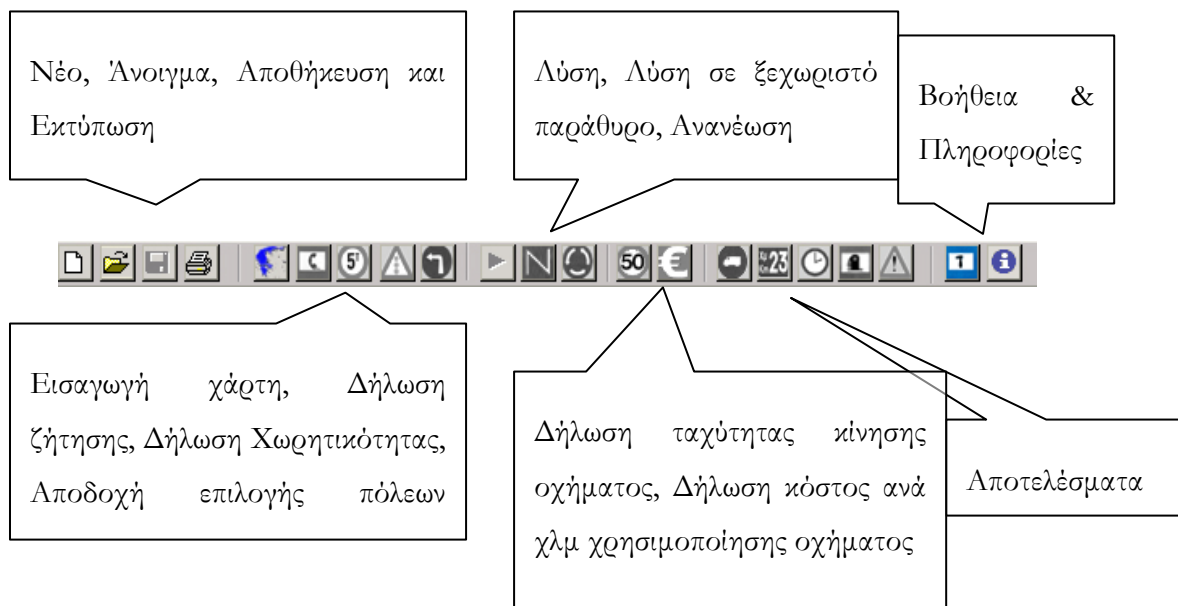
8.2.1 «Μια πρώτη ματιά»

Στην Εικόνα 8.6 φαίνεται η αρχική εικόνα του προγράμματος



Εικόνα 8.6 : Αρχική εικόνα του συστήματος ΔΙΟΔΟΣ

Αναλυτικότερα, τα κουμπιά της εργαλειοθήκης του συστήματος εξηγούνται στην παρακάτω εικόνα

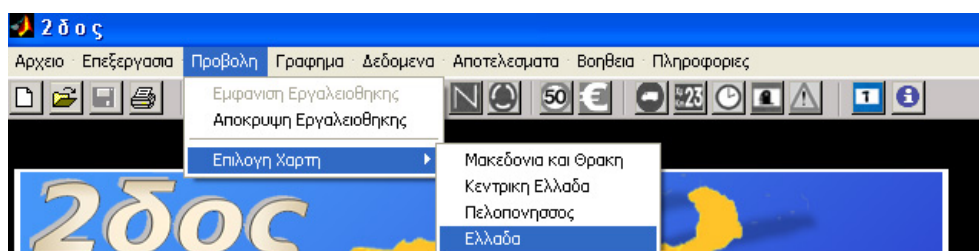


Εικόνα 8.7 : Η εργαλειοθήκη του συστήματος ΔΙΟΔΟΣ

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα αρκετά αναλυτικό παράδειγμα μιας ολοκληρωμένης εφαρμογής για την καλύτερη κατανόηση των λειτουργιών και δυνατοτήτων του συστήματος.

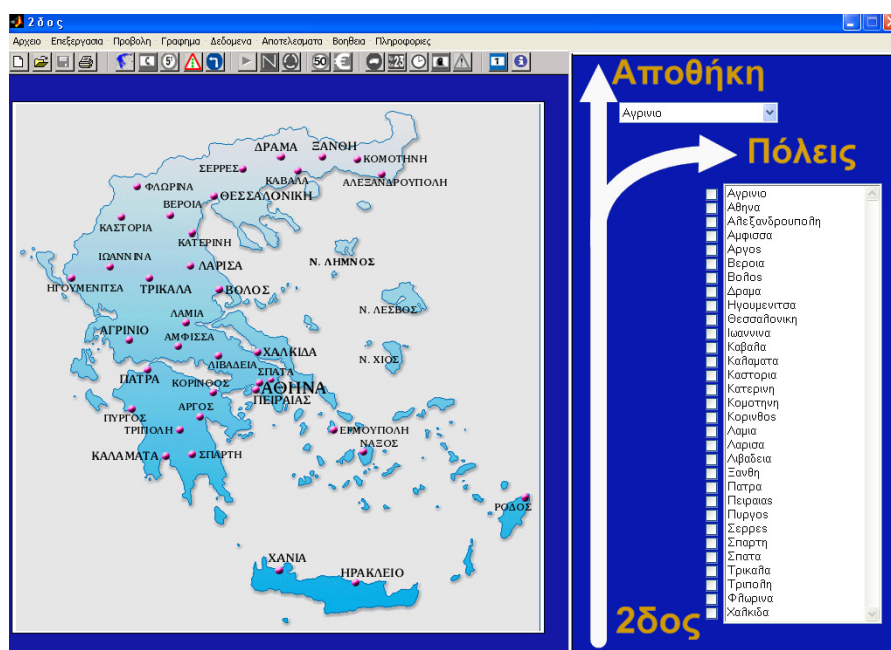
8.2.2 Διαχείριση Στόλου Οχημάτων με το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ

Το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι εύκολο να παραμετροποιηθούν αρχειτές από τις λειτουργίες του. Μια από αυτές είναι και το γεωγραφικό φάσμα στο οποίο απευθύνεται. Δίνεται δηλαδή η δυνατότητα στον κατασκευαστή του συστήματος να εισάγει στο σύστημα μια πληθώρα χαρτών ώστε να καλύπτονται οι εικάστοτε ανάγκες. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ διάφορων γεωγραφικών περιοχών της Ελλάδας αλλά και ολόκληρης της χώρας όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.8

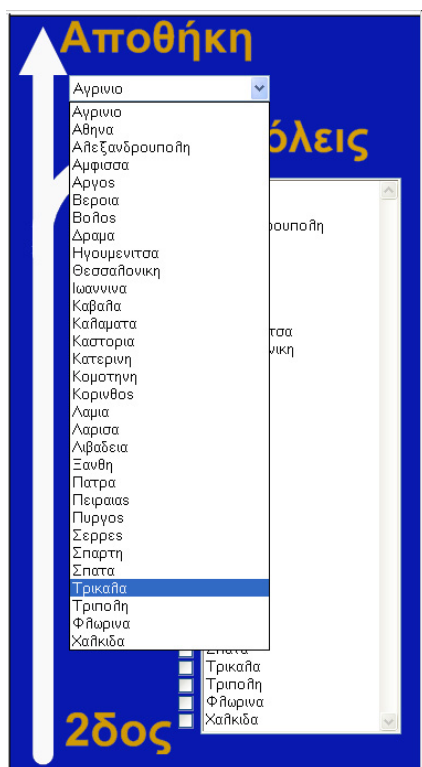


Εικόνα 8.7 : Η εργαλειοθήκη του συστήματος ΔΙΟΔΟΣ

Αφού επιλεγεί η γεωγραφική περιοχή, εμφανίζεται στην περιοχή «εισαγωγής χαρτών» ο χάρτης της περιοχής που επέλεξε. Στη συνέχεια καλείται να επιλέξει διαδοχικά τις τοποθεσίες που βρίσκονται η αποθήκη αλλά και οι πόλεις / πελάτες των οποίων τη ζήτηση καλείται να ικανοποιήσει. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται αναλυτικά στις εικόνες που ακολουθούν.




Εικόνα 8.8 : Εμφάνιση χάρτη και ενεργοποίηση επιλογών πόλεων

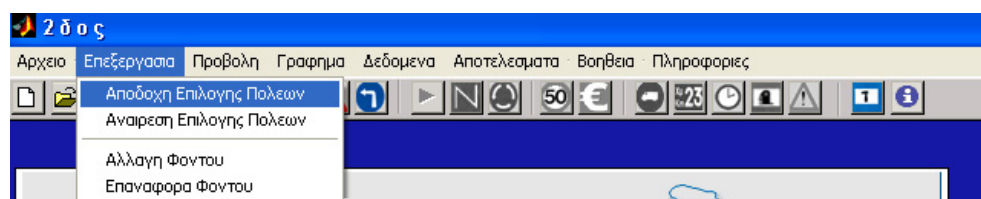


Εικόνα 8.9 : Επιλογή αποθήκης




Εικόνα 8.10 : Επιλογή πόλεων / πελατών




Οι παραπάνω επιλογές γίνονται από δύο λίστες. Η πρώτη αφορά την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται η αποθήκη. Αφού επιλεγεί η πόλη που επιθυμεί ο χρήστης τοποθετείται στο χάρτη ένα μικρό εικονίδιο. Στη συνέχεια επιλέγει τους προορισμούς, τις πόλεις δηλαδή που καλείται να επισκεφθεί το όχημα προκειμένου να παραδώσει τα προϊόντα ικανοποιώντας τη ζήτησή τους. Αφού έχουν γίνει όλα αυτά ο χρήστης δεν έχει παρά να επιλέξει το εικονίδιο «Αποδοχή Επιλογής Πόλεων»  από την Εργαλειοθήκη ή από το «Μενού → Επεξεργασία → Αποδοχή Επιλογής Πόλεων» όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.




Εικόνα 8.11 : Αποδοχή επιλογής πόλεων

Σε περίπτωση βέβαια που ο χρήστης επιθυμεί την διόρθωση των παραπάνω επιλογών μπορεί να το κάνει απλά επιλέγοντας το εικονίδιο «Αναίρεση Επιλογής Πόλεων»  από την Εργαλειοθήκη ή από το «Μενού → Επεξεργασία → Αναίρεση Επιλογής Πόλεων».

Το επόμενο βήμα είναι δήλωση των παραμέτρων (δεδομένων) του προβλήματος. Πρέπει δηλαδή κατά σειρά να δηλωθούν :

1. Η ζήτηση σε κάθε μια από τις πόλεις / πελάτες που επιλέχθηκαν.
Επιλέγοντας το εικονίδιο «Ζήτηση»  ή από το «Μενού → Δεδομένα → Ζήτηση». (Εικόνα 8.12)
2. Η χωρητικότητα του οχήματος. Επιλέγοντας το εικονίδιο «Χωρητικότητα»  ή από το «Μενού → Δεδομένα → Χωρητικότητα». (Εικόνα 8.13)
3. Μια προσέγγιση της μέσης ταχύτητας κίνησης του οχήματος.
Επιλέγοντας το εικονίδιο «Ταχύτητα»  ή από το «Μενού → Δεδομένα → Ταχύτητα». (Εικόνα 8.14)

4. Μια προσέγγιση του μέσου κόστους χρησιμοποίησης του οχήματος.

Επιλέγοντας το εικονίδιο «Κόστος»  ή από το «Μενού → Δεδομένα → Κόστος». Στην επίλυση τέτοιων προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων στο κόστος συμπεριλαμβάνονται συνήθως εκτός των καυσίμων που εξαρτάται από τις χιλιομετρικές αποστάσεις που διανύει το όχημα και κάποια σταθερά έξοδα (fixed costs) όπως για παράδειγμα το κόστος δέσμευσης του οχήματος από την εταιρία διανομής, η πληρωμή του οδηγού κ.λ.π.. (Εικόνα 8.15)

Μετά από κάθε παραπάνω από τις τέσσερις ενέργειες εμφανίζεται στην περιοχή «Εισαγωγής, Τροποποίησης Δεδομένων και Παρουσίασης Αποτελεσμάτων» ένας πίνακας στον οποίο ο χρήστης συμπληρώνει τα δεδομένα που του ζητούνται. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω παρατίθενται στη συνέχεια εικόνες.

Δεδομένα	Αποτελέσματα	Βοήθεια	Πλη
Ζήτηση			
Χωρητικότητα			
Ταχύτητα			
Κόστος ανα χλμ			
Τι δηλώθηκε ; / Αλλαγή Δεδομένων			

	1	2
1 Αθηνά	10	
2 Αλεξανδρουπολη	5	
3 Βεροια	7	
4 Θεσσαλονικη	10	
5 Ιωαννινα	10	
6 Καβαλα	4	
7 Καλαματα	4	
8 Καστορια	5	
9 Κομοτηνη	4	
10 Πατρα	7	
11 Σπαρτη	2	

Εικόνα 8.12 : Δήλωση της ζήτησης των πόλεων

Δεδομένα	Αποτελέσματα	Βοήθεια	Πληροφορίες
Ζήτηση			
Χωρητικότητα			
Ταχύτητα			
Κόστος ανα χλμ			
Τι δηλώθηκε ; / Αλλαγή Δεδομένων			

Χωρητικότητα	23
--------------	----

Εικόνα 8.13 : Δήλωση της χωρητικότητας του οχήματος

Δεδομένα	Αποτελέσματα	Βοήθεια	Πληροφορίες
Ζήτηση			
Χωρητικότητα			
Ταχύτητα			
Κόστος ανα χλμ			
Τι δηλώθηκε ; / Αλλαγή Δεδομένων			

Χιλιόμετρα ανα ώρα	58
--------------------	----

Εικόνα 8.14 : Δήλωση της ταχύτητας του οχήματος


Δεδομένα	Αποτελέσματα	Βοήθεια	Πληροφορίες
Ζήτηση			
Χωρητικότητα			
Ταχύτητα			
Κόστος ανα χλμ			
Τι δηλώθηκε ; / Αλλαγή Δεδομένων			

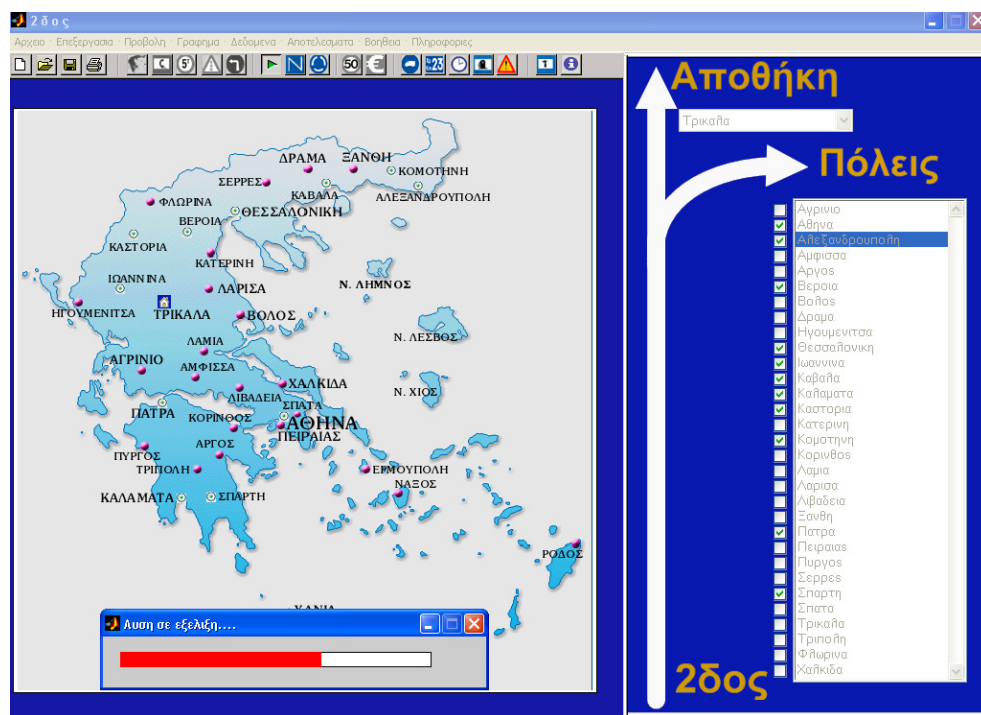
Κόστος ανα χλμ	0.43
----------------	------

Εικόνα 8.15 : Δήλωση του κόστους χρησιμοποίησης του οχήματος

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τις δηλώσεις των ποσοτήτων στα πεδία ζήτησης και χωρητικότητας χρησιμοποιούνται ίδιες μονάδες προκειμένου να μην υπάρξουν προβλήματα κατά τη διάρκεια της επίλυσης. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έχει χρησιμοποιηθεί ο αριθμός παλετών ως μονάδες ζήτησης και χωρητικότητα του φορτηγού.

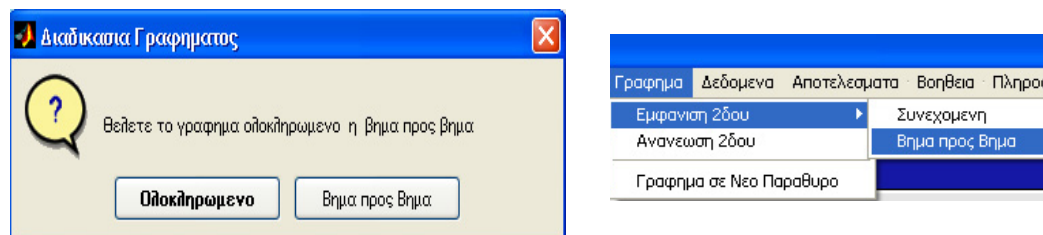
Πριν ο χρήστης προχωρήσει στη φάση της επίλυσης έχει τη δυνατότητα να ελέγξει τι δήλωσε σαν δεδομένα για το πρόβλημα αλλά και να κάνει κάποιες πιθανές τροποποιήσεις από το «Μενού → Δεδομένα → Τι Δηλώθηκε / Αλλαγές Δεδομένων».

Έχοντας λοιπόν ολοκληρώσει τη φάση της δήλωσης των δεδομένων το μόνο που χρειάζεται να κάνει ο χρήστης είναι να επιλέξει το εικονίδιο «Λύση»  από την Εργαλειοθήκη.



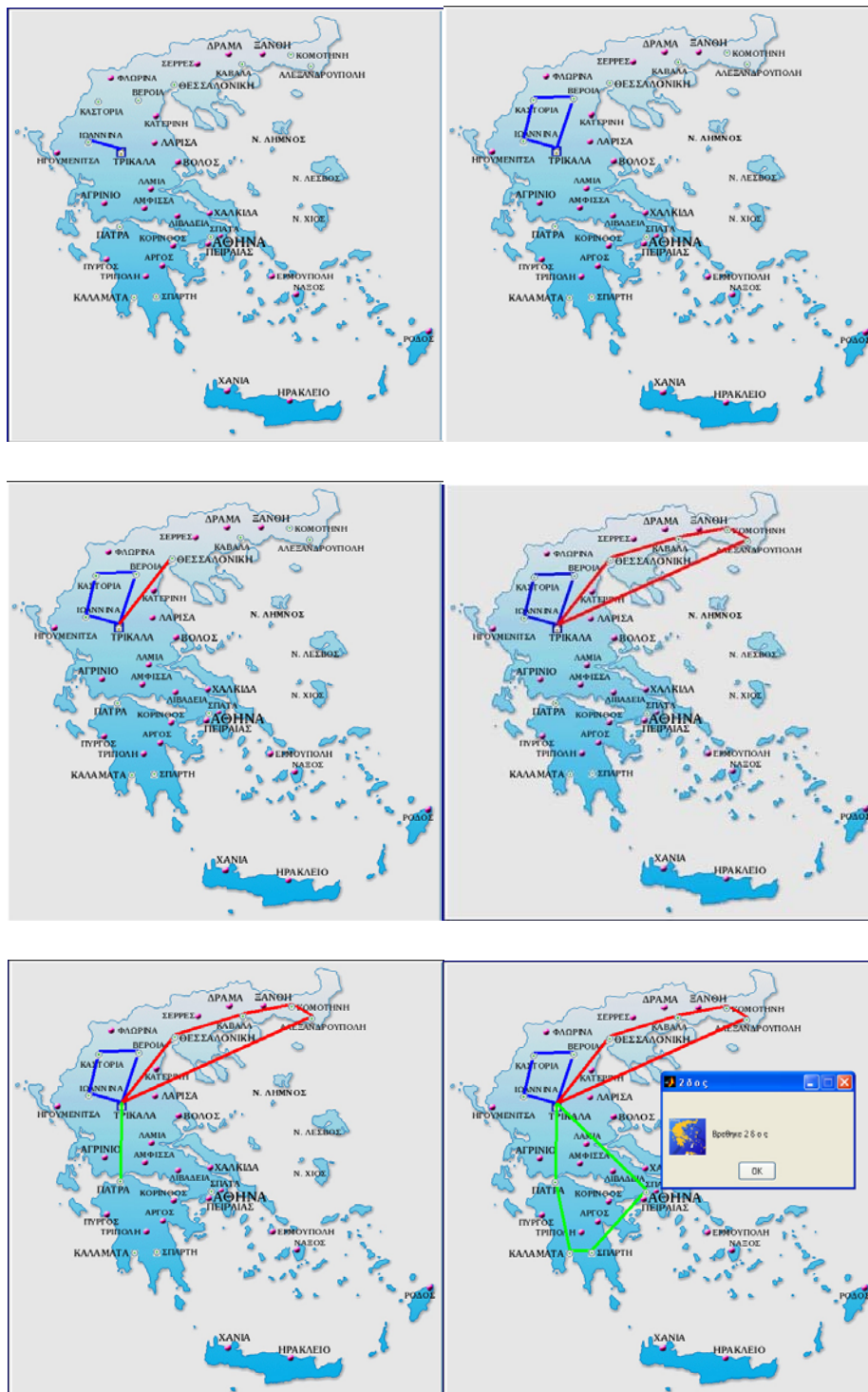
Εικόνα 8.16 : Φάση επίλυσης του προβλήματος

Μετά την ολοκλήρωση της επίλυσης το σύστημα ρωτάει το χρήστη εάν θα ήθελε την αναπαράσταση του γραφήματος «ολοκληρωμένη» ή «βήμα προς βήμα». Επιλέγοντας «ολοκληρωμένη» οι διαδρομές σχεδιάζονται πάνω στο χάρτη ενώνοντας τις πόλεις με την σειρά από τις οποίες διέρχεται το όχημα. Στην περίπτωση που επιλεγεί «βήμα προς βήμα» ο χρήστης μπορεί πιέζοντας με το ποντίκι πάνω στην περιοχή του χάρτη ή πατώντας οποιοδήποτε πλήκτρο να δει την αναπαράσταση των διαδρομών που ακολουθεί το όχημα σταδιακά από πόλη σε πόλη.








Εικόνα 8.17 : Επιλογές αναπαράστασης των διαδρομών

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η αναπαράσταση των διαδρομών που ακολουθεί το όχημα.



Εικόνα 8.18 : Σταδιακή αναπαράσταση των διαδρομών

Μετά την ολοκλήρωση της φάσης της επίλυσης το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ είναι σε θέση να προσφέρει στο χρήστη μια σειρά από αναλυτικούς πίνακες με χρήσιμα αποτελέσματα της εφαρμογής που μόλις ολοκλήρωσε. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται ως εξής :

1. Η διαδρομή που ακολούθησε το όχημα αναλυτικά από πόλη σε πόλη. Επιλέγοντας το εικονίδιο «Αποτελέσματα - Διαδρομές»  .
2. Οι αποστάσεις που διανύθηκαν. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει να δει τα χιλιόμετρα που διανύθηκαν αναλυτικά για κάθε «υπόδιαδρομή» ή συνολικά. Αυτό γίνεται εάν ο χρήστης επιλέξει το εικονίδιο «Αποτελέσματα - Αποστάσεις»  ή από το «Μενού → Αποτελέσματα → Αποστάσεις». (Εικόνα 8.19)
3. Οι χρόνοι που χρειάστηκαν για να πραγματοποιηθούν οι διαδρομές. Και πάλι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαλέξει αναλυτικά για κάθε «υπόδιαδρομή» ή συνολικά επιλέγοντας το εικονίδιο «Αποτελέσματα - Χρόνοι»  ή από το «Μενού → Αποτελέσματα → Χρόνοι». (Εικόνα 8.20)
4. Το κόστος των διανομών επιλέγοντας το εικονίδιο «Αποτελέσματα - Κόστη»  από την Εργαλειοθήκη ή από το «Μενού → Αποτελέσματα → Κόστη». (Εικόνα 8.21)
5. Τέλος ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να έχει έναν συγκεντρωτικό πίνακα με όλα τα παραπάνω αποτελέσματα επιλέγοντας απλά το εικονίδιο  ή από το «Μενού → Αποτελέσματα → Ολικός Πίνακας». (Εικόνα 8.22)

Αποτελέσματα		1	2
Βοήθεια · Πληροφορίες		1 # Διαδρομής	Χιλιόμετρα
Αποστάσεις	Επιμερους	2 Διαδρομή #1	716
Χρόνοι	Ολικές	3 Διαδρομή #2	1114
Κόστη		4 Διαδρομή #3	1134
Ολικός Πίνακας Δεδομένων			

1	2	3	4
1 # Διαδρομής	Αφειτηρία	Προορισμός	Χιλιόμετρα
2 Διαδρομή #1	Τρίκαλα	Ιωαννίνα	148
3 Διαδρομή #1	Ιωαννίνα	Καστορία	204
4 Διαδρομή #1	Καστορία	Βέροια	144
5 Διαδρομή #1	Βέροια	Τρίκαλα	220
6 Διαδρομή #2	Τρίκαλα	Θεσσαλονίκη	214
7 Διαδρομή #2	Θεσσαλονίκη	Καβάλα	169
8 Διαδρομή #2	Καβάλα	Κομοτηνή	111
9 Διαδρομή #2	Κομοτηνή	Αλεξανδρούπολη	66
10 Διαδρομή #2	Αλεξανδρούπολη	Τρίκαλα	554
11 Διαδρομή #3	Τρίκαλα	Πάτρα	304
12 Διαδρομή #3	Πάτρα	Καλαμάτα	215
13 Διαδρομή #3	Καλαμάτα	Σπάρτη	60
14 Διαδρομή #3	Σπάρτη	Αθήνα	225
15 Διαδρομή #3	Αθήνα	Τρίκαλα	330

Εικόνα 8.19 : Αποτελέσματα – Τα χιλιόμετρα των διαδρομών

Αποτελέσματα		1	2
Βοήθεια · Πληροφορίες		1 # Διαδρομής	Διάρκεια
Αποστάσεις	Επιμερους	2 Διαδρομή #1	12.3448
Χρόνοι	Ολικοί	3 Διαδρομή #2	19.2069
Κόστη		4 Διαδρομή #3	19.5517
Ολικός Πίνακας Δεδομένων			

1	2	3	4
1 # Διαδρομής	Αφειτηρία	Προορισμός	Διάρκεια
2 Διαδρομή #1	Τρίκαλα	Ιωαννίνα	2.5517
3 Διαδρομή #1	Ιωαννίνα	Καστορία	3.5172
4 Διαδρομή #1	Καστορία	Βέροια	2.4828
5 Διαδρομή #1	Βέροια	Τρίκαλα	3.7931
6 Διαδρομή #2	Τρίκαλα	Θεσσαλονίκη	3.6897
7 Διαδρομή #2	Θεσσαλονίκη	Καβάλα	2.9138
8 Διαδρομή #2	Καβάλα	Κομοτηνή	1.9138
9 Διαδρομή #2	Κομοτηνή	Αλεξανδρούπολη	1.1379
10 Διαδρομή #2	Αλεξανδρούπολη	Τρίκαλα	9.5517
11 Διαδρομή #3	Τρίκαλα	Πάτρα	5.2414
12 Διαδρομή #3	Πάτρα	Καλαμάτα	3.7069
13 Διαδρομή #3	Καλαμάτα	Σπάρτη	1.0345
14 Διαδρομή #3	Σπάρτη	Αθήνα	3.8793
15 Διαδρομή #3	Αθήνα	Τρίκαλα	5.6897

Εικόνα 8.20 : Αποτελέσματα – Η χρονική διάρκεια των διαδρομών

Αποτελέσματα	Βοήθεια	Πληροφορίες
Αποστάσεις		
Χρόνοι		
Κόστη		
Ολικός Πίνακας Δεδομένων	Επιμερους	Ολικά

1	2
1 # Διαδρομής	Κόστος
2 Διαδρομή #1	307.88
3 Διαδρομή #2	479.02
4 Διαδρομή #3	487.62


1	2	3	4
1 # Διαδρομής	Αφετηρία	Προορισμός	Κόστος
2 Διαδρομή #1	Τρικαλά	Ιωαννίνα	63.64
3 Διαδρομή #1	Ιωαννίνα	Καστορία	87.72
4 Διαδρομή #1	Καστορία	Βεροία	61.92
5 Διαδρομή #1	Βεροία	Τρικαλά	94.6
6 Διαδρομή #2	Τρικαλά	Θεσσαλονίκη	92.02
7 Διαδρομή #2	Θεσσαλονίκη	Καβάλα	72.67
8 Διαδρομή #2	Καβάλα	Κομοτηνή	47.73
9 Διαδρομή #2	Κομοτηνή	Αλεξανδρούπολη	28.38
10 Διαδρομή #2	Αλεξανδρούπολη	Τρικαλά	238.22
11 Διαδρομή #3	Τρικαλά	Πάτρα	130.72
12 Διαδρομή #3	Πάτρα	Καλαμάτα	92.45
13 Διαδρομή #3	Καλαμάτα	Σπάρτη	25.8
14 Διαδρομή #3	Σπάρτη	Αθήνα	96.75
15 Διαδρομή #3	Αθήνα	Τρικαλά	141.9

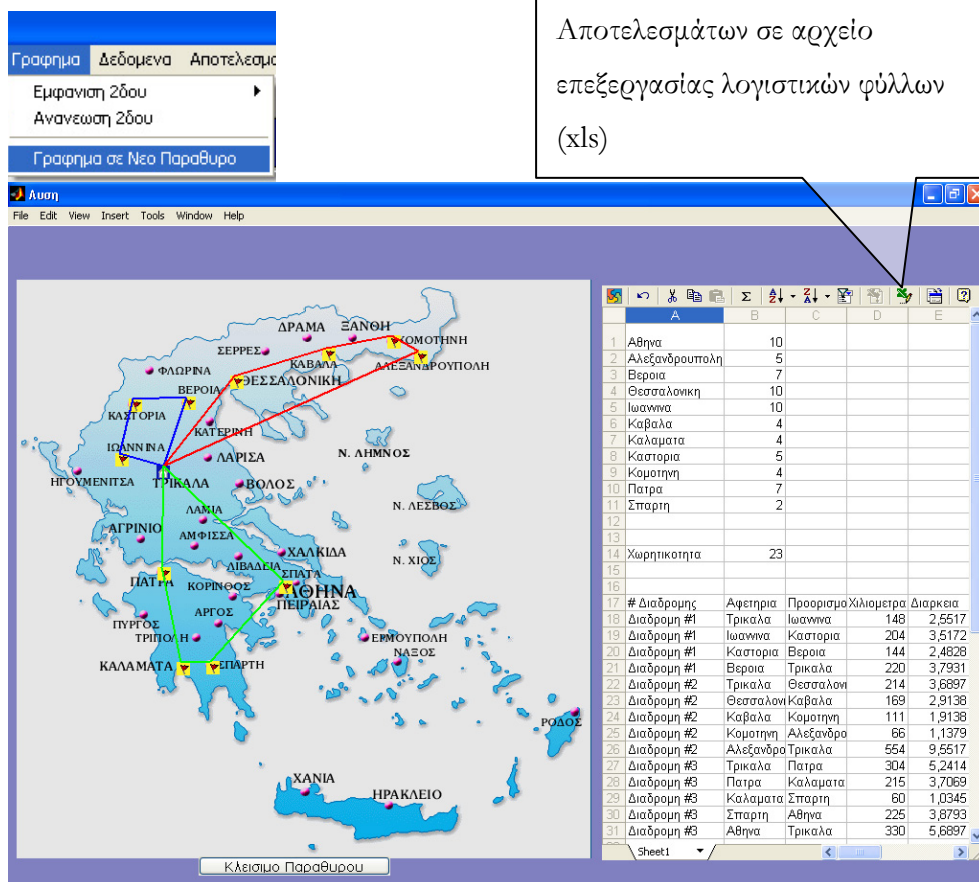
Εικόνα 8.21 : Αποτελέσματα – Το κόστος των διαδρομών

Αποτελέσματα	Βοήθεια	Πληροφορίες
Αποστάσεις		
Χρόνοι		
Κόστη		
Ολικός Πίνακας Δεδομένων		




1	2	3	4	5	6
1 # Διαδρομής	Αφετηρία	Προορισμός	Χιλιόμετρα	Διάρκεια	Κόστος
2 Διαδρομή #1	Τρικαλά	Ιωαννίνα	148	2.5517	63.64
3 Διαδρομή #1	Ιωαννίνα	Καστορία	204	3.5172	87.72
4 Διαδρομή #1	Καστορία	Βεροία	144	2.4828	61.92
5 Διαδρομή #1	Βεροία	Τρικαλά	220	3.7931	94.6
6 Διαδρομή #2	Τρικαλά	Θεσσαλονίκη	214	3.6897	92.02
7 Διαδρομή #2	Θεσσαλονίκη	Καβάλα	169	2.9138	72.67
8 Διαδρομή #2	Καβάλα	Κομοτηνή	111	1.9138	47.73
9 Διαδρομή #2	Κομοτηνή	Αλεξανδρούπολη	66	1.1379	28.38
10 Διαδρομή #2	Αλεξανδρούπολη	Τρικαλά	554	9.5517	238.22
11 Διαδρομή #3	Τρικαλά	Πάτρα	304	5.2414	130.72
12 Διαδρομή #3	Πάτρα	Καλαμάτα	215	3.7069	92.45
13 Διαδρομή #3	Καλαμάτα	Σπάρτη	60	1.0345	25.8
14 Διαδρομή #3	Σπάρτη	Αθήνα	225	3.8793	96.75
15 Διαδρομή #3	Αθήνα	Τρικαλά	330	5.6897	141.9

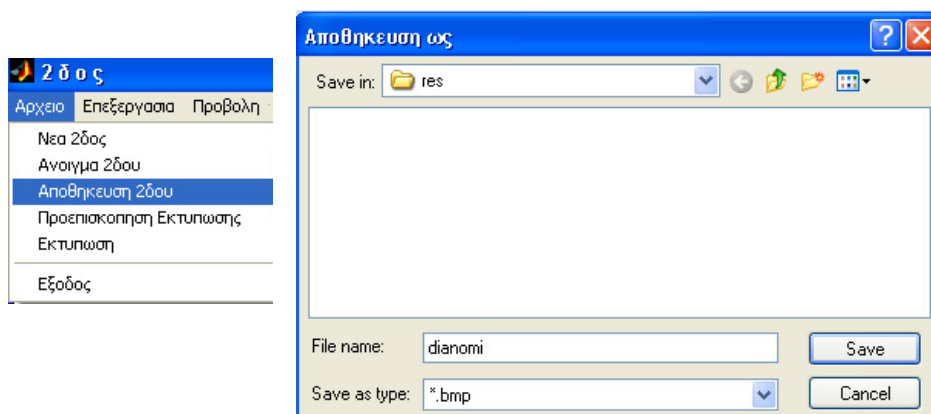
Εικόνα 8.22 : Αποτελέσματα – Ολικός Πίνακας

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι οι παραπάνω πίνακες με τα αποτελέσματα είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να επιτρέπεται η αντιγραφή και η επικόλληση των στοιχείων τους σε οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου και λογιστικών φύλλων. Βέβαια το σύστημα ΔΙΟΔΟΣ παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής της λύσης σε ξεχωριστό παράθυρο όπου φαίνονται οι διαδρομές σχεδιασμένες πάνω στον χάρτη αλλά και ένας πίνακας με όλα τα δεδομένα που δηλώθηκαν και τα αποτελέσματα σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα. Το «Γράφημα σε Νέο Παράθυρο»  («Μενού → Γράφημα → Γράφημα σε Νέο Παράθυρο» δίνει συν τοις άλλοις το πλεονέκτημα της απ' ευθείας μεταφοράς των δεδομένων και αποτελεσμάτων σε αρχείο επεξεργασίας λογιστικών φύλλων (xls).

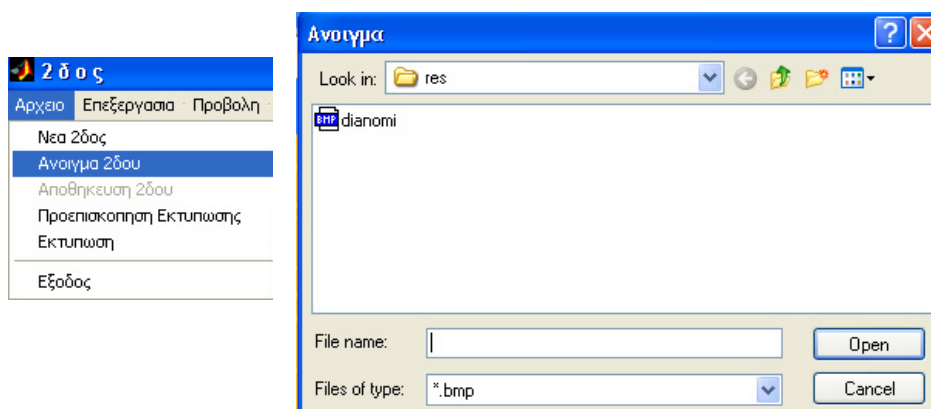


Εικόνα 8.23 : Γράφημα σε νέο παράθυρο

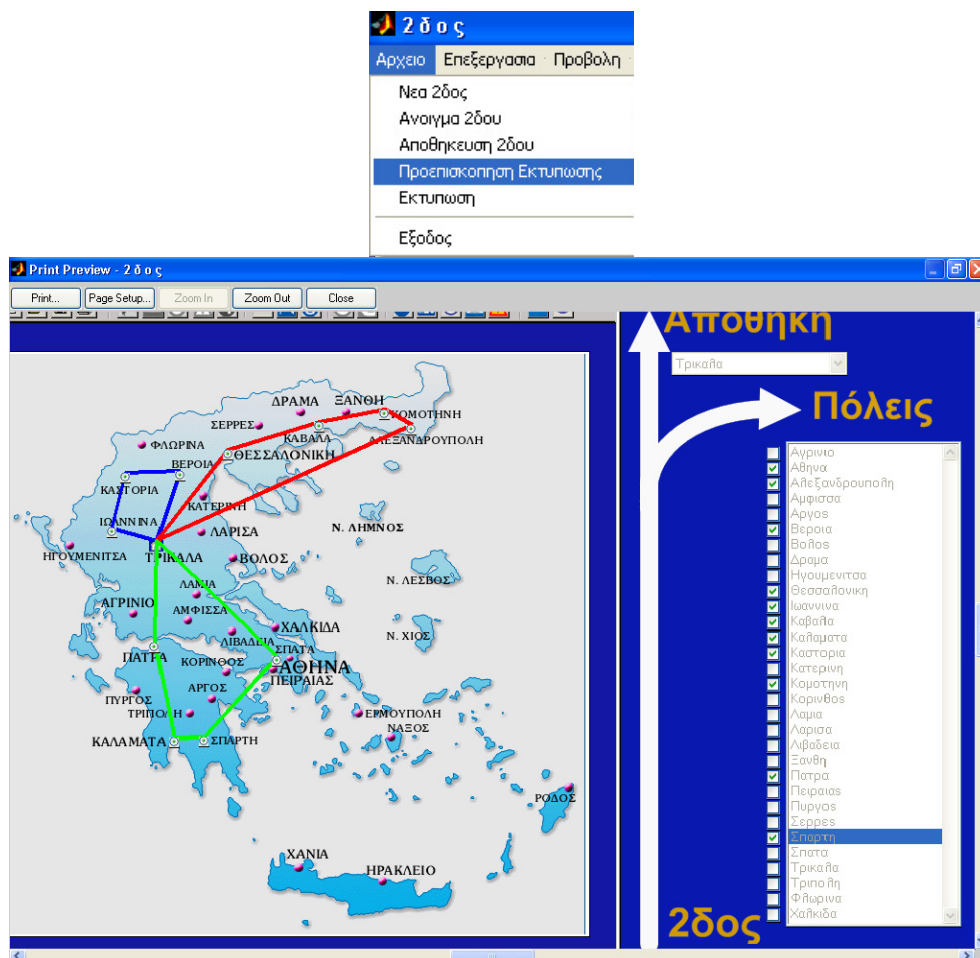
Έχοντας λοιπόν «τρέξει» μια ολοκληρωμένη εφαρμογή στο σύστημα αυτό που μένει για το χρήστη είναι να αποθηκεύσει τη λύση του ή ακόμα και να την εκτυπώσει από το «Μενού → Αρχείο → Εκτύπωση και το εικονίδιο  τροποποιώντας πρώτα τη μορφή από το «Μενού → Αρχείο → Προεπισκόπηση Εκτύπωσης». Από το «Μενού → Αρχείο → Αποθήκευση 2δου» ή από το εικονίδιο «Αποθήκευση 2δου»  η λύση αποθηκεύεται με τη μορφή αρχείου εικόνας έτσι ώστε να είναι εφικτή η απεικόνιση των διαδρομών και των αποτελεσμάτων τους για εφαρμογές που έχουν κατά καιρούς πραγματοποιηθεί χωρίς να είναι αναγκαία η επανεκτέλεσή τους. Μπορεί δηλαδή εύκολα ο χρήστης από το «Μενού → Αρχείο → Άνοιγμα 2δου» ή από το εικονίδιο «Άνοιγμα 2δου» , έχοντας αποθηκεύσει το αρχείο της εφαρμογής του με την κατάλληλη ονομασία, να δει το γράφημα και τα αποτελέσματά της.




Εικόνα 8.24 : Αποθήκευση της εφαρμογής

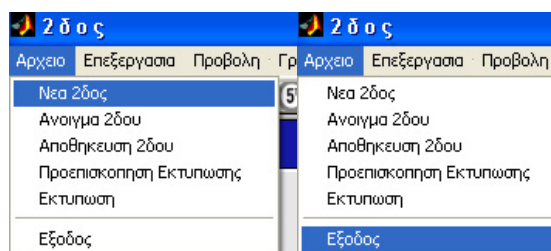


Εικόνα 8.25 : Άνοιγμα εφαρμογής




Εικόνα 8.26 : Προεπισκόπηση εκτύπωσης

Η δυνατότητα δημιουργίας νέου αρχείου ή η έξοδος από το παρόν παρέχεται από το «Μενού → Αρχείο → Νέα 2δου» (ή από το εικονίδιο  και «Μενού → Αρχείο → Έξοδος» , αντίστοιχα.



Εικόνα 8.27 : «Νέα 2δος» και «Έξοδος»

Τέλος το «Μενού → Βοήθεια → Σε μορφή html» (εικονίδιο «Βοήθεια» ) ή «Μενού → Βοήθεια → Σε μορφή video» παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ ενός κειμένου βοήθειας ή ενός αρχείου τύπου βίντεο με αναλυτικά βήματα μιας ολοκληρωμένης εφαρμογής

Κεφάλαιο 9

Συμπεράσματα

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων αποτελεί ένα από τα πιο σύνθετα προβλήματα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Στην πραγματικότητα η διαδικασία της μεταφοράς εμπλέκει όλα τα στάδια των συστημάτων παραγωγής και διανομής και αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα του τελικού κόστους των αγαθών. Η ανάγκη λοιπόν της επίλυσης του ήταν επιτακτική καθώς δεν άργησε να γίνει αντιληπτό ότι το οικονομικό όφελος από τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του στόλου διανομής των οχημάτων είναι πολύ μεγάλο. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι ακόμα και σήμερα γίνεται συνεχώς προσπάθεια για την εύρεση καλύτερων λύσεων με τη χρήση ευρετικών και μεθευρετικών αλγορίθμων.

Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι η ανάπτυξη ή η υιοθέτηση ηλεκτρονικών συστημάτων ικανών να διαχειριστούν αποτελεσματικά το στόλο των οχημάτων διανομής αποτελεί προτεραιότητα για επιχειρήσεις που εμπλέκονται στο χώρο της μεταφοράς αγαθών. Προκειμένου να αξιοποιηθεί ουσιαστικά από τις επιχειρήσεις άλλα και να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλα πρέπει να συνδυάζει:

- την εύκολη παραμετροποίηση και προσαρμογή στις ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης, με
- το μεγαλύτερο δυνατό βαθμό φιλικότητας, ώστε να αποδεσμεύσει το χρήστη από τη δομή, τους αλγορίθμους και τις τεχνικές προγραμματισμού που κρύβονται πίσω από το γραφικό του περιβάλλον.

Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ακόμα και από άτομα λιγότερο εξοικειωμένα τόσο με τη θεωρία των προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας όσο και με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Αντί Επιλόγου

Η εκπόνηση της διατριβής αυτής αποτέλεσε την αφορμή για την δημιουργία του συστήματος ΔΙΟΔΟΣ. Στόχος ήταν από την αρχή η δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα αποτελούσε μια πιλοτική εφαρμογή που θα ήταν δομημένη έτσι ώστε να επιδέχεται εύκολα τροποποιήσεις και βελτιώσεις. Βελτιώσεις οι οποίες θα μπορούσαν να το καταστήσουν τελικά ένα σύστημα το οποίο θα είναι σε θέση να δώσει ικανοποιητικές λύσεις στα προβλήματα διαχείρισης του στόλου διανομής που αντιμετωπίζει μια επιχείρηση. Κατά τη φάση της ανάπτυξης προέκυπταν συνεχώς ιδέες για ολοένα και περισσότερες εφαρμογές που θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στο σύστημα προκειμένου να αποτελέσει ένα ολοκληρωμένο πακέτο που θα μπορούσε να εξυπηρετήσει ακόμα και τις ανάγκες μιας μεγαλύτερης εταιρίας. Φυσικά, αυτό απαιτούσε πολύ χρόνο και ακόμα περισσότερες γνώσεις πάνω στο αντικείμενο του προγραμματισμού τόσο σε επίπεδο αλγοριθμικής επίλυσης του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων όσο και στη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος. Ενδεικτικά κάποιες από τις εφαρμογές που θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο επόμενων εκδόσεων είναι :

- Η χρησιμοποίηση επιπλέον ευρετικών αλγορίθμων για το κομμάτι της επίλυσης του Π.Δ.Ο. τα αποτελέσματα των οποίων όμως θα πρέπει να δίνονται σε ένα λογικό υπολογιστικό χρόνο.
- Η δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων με περισσότερες από μια αποθήκη
- Η προσαρμογή στο σύστημα ψηφιοποιημένων χαρτών με τη χρήση εργαλείων από τον τομέα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems – G.I.S.)

Είναι γεγονός ότι η αγορά πλέον κατακλύζεται από ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (Enterprise Resources Planning Systems –

E.R.P.s) τα οποία υιοθετούνται από πολλές εταιρίες έναντι αρκετά μεγάλων ποσών. Η περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος και η ενσωμάτωση σε αυτό διάφορων προεκτάσεων, ανάλογες με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, με γνώμονα πάντα τις ανάγκες των επιχειρήσεων, θα μπορούσε να το καταστήσει ένα πολύτιμο εργαλείο. Ένα τέτοιο εργαλείο θα ήταν ικανό να προσφέρει ουσιαστικές λύσεις σε μεσαίας οικονομικής δυνατότητας επιχειρήσεις, οι οποίες δεν είναι σε θέση να δαπανήσουν υπέρογκα ποσά για την εγκατάσταση ενός από τα ήδη γνωστά συστήματα.-

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1] Καρακιοζόπουλος Κων/νος. Μελέτη και Βελτιστοποίηση των διανομών της εταιρίας Μπισκότα Α.Β.Ε.Ε.. Διπλωματική Εργασία, Χανιά 2002.
- [2] Λούσκος Χρήστος. Συστήματα διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας και Διαδικασία Επιλογής. Διπλωματική Εργασία, Χανιά 2004.
- [3] Ματσατσίνης Νικόλαος. Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων. Σημειώσεις Προπτυχιακού Μαθήματος, Χανιά 2003
- [4] Μυγδαλάς Αθανάσιος, Μαρινάκης Ιωάννης. Συνδυαστική Βελτιστοποίηση. Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος, Χανιά 2001.

Ξένη Βιβλιογραφία

- [1] Achuthan N.R., Caccetta L., Hill S.P.. On the Vehicle Routing Problem, 1997.
- [2] Baptista S., Oliveira R.C., Zuquette E.. A Period Vehicle Routing Case Study, 2001
- [3] Baraglia R., Hidalgo J.I., Perego R.. A Hybrid Heuristic for the Traveling Salesman Problem, 2000.
- [4] Bruggen v.d. L., Gruson R., Salomon M.. Reconsidering the Distribution Structure of Gasoline Products for a Large Oil Company, 1993.

- [5] Crainic T.G., Laporte G.. Fleet Management and Logistics, 1998.
- [6] Golden B.L., Wasil E.A., Kelly J.P., Chao I.M.. The Impact of Metaheuristics on Solving the Vehicle Routing Problem : Algorithms, Problem Sets and Computational Results, 1998.
- [7] Laporte G., Gendreau M., Potvin J.Y., Semet F.. Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem, 2000.
- [8] Renaud J., Boctor F.F.. A Sweep Based Algorithm for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem, 2000.
- [9] Toth P., Vigo D.. An Overview of the Vehicle Routing Problem, 2001
- [10] Toth P., Vigo D.. Exact Solution of the Vehicle Routing Problem, 1998.
- [11] Toth P., Vigo D.. Models, Relaxations and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem, 1999.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- [1] Plant Management Online. www.plant-management.gr
- [2] Bussiness Know-how. www.bussiness-knowhow.gr