

**Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και
δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με
την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP**



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αρκουμάνης Ιωάννης
Τμήμα: Μ.Π.Δ.

Επιβλέπων Καθηγητής: Μυγδαλάς Αθανάσιος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Μυγδαλά Αθανάσιο καθώς και τον Μαρινάκη Ιωάννη για τις υποδείξεις και την βοήθεια που απλόχερα μου προσέφεραν κατά την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Aegean Airlines και συγκεκριμένα τον κύριο Ραφτόπουλο Τάσο για τα δεδομένα, που μου παραχώρησε για την πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην διπλωματική αυτή εργασία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την αγάπη και υποστήριξη τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	5
1.Εισαγωγή	6
1.1 Το προϊόν και το περιβάλλον λειτουργίας των αεροπορικών εταιριών	6
1.2 Η επιχειρησιακή έρευνα στον χώρο των αεροπορικών εταιριών.....	8
2. Ανάλυση των προβλημάτων των αεροπορικών εταιριών και μέθοδοι επίλυσης	11
2.1 Σχεδιασμός δικτύου και κατασκευή προγράμματος πτήσεων	11
2.2. Ανάθεση αεροσκαφών σε πτήσεις (Fleet Assignment)	13
2.3. Δρομολόγηση αεροσκαφών (Aircraft Routing)	15
2.4. Βελτιστοποίηση ταιριάσματος πληρωμάτων (crew pairing)	16
2.5. Ανάθεση πληρωμάτων σε πτήσεις (crew rostering)	17
2.6. Διαχείριση εισροών (Revenue Management)	19
2.7. Διαχείριση μη προγραμματισμένων ενεργειών	20
2.8 Διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας	22
2.9 Μερικά ακόμη προβλήματα	23
3. Εστίαση στη βελτιστοποίηση της ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών	25
3.1 Η ακολουθία επίλυσης των δυο προβλημάτων	25
3.2 Το πρόβλημα ανάθεσης αεροσκαφών	26
3.2.1 Μοντελοποίηση	27
3.2.2. Εισαγωγή περιορισμών συντήρησης των αεροσκαφών	29
3.2.3 Μέθοδοι επίλυσης	31
3.3. Το πρόβλημα δρομολόγησης αεροσκαφών	34
3.3.1. Μοντελοποίηση	35
3.4 Συνδυαστικές μέθοδοι επίλυσης των δύο προβλημάτων	38

4. Μια συνδυαστική μέθοδος επίλυσης του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών	39
4.1 Εισαγωγή	39
4.2 Η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος	39
4.3 Περιορισμοί	41
4.4 Μοντελοποίηση	42
4.5 Η κατασκευή της πρώτης λύσης	45
4.6 Βελτίωση της πρώτης λύσης	49
4.7 Βελτιστοποίηση της αρχικής λύσης μέσω του αλγορίθμου GRASP	53
4.7.1 Η μέθοδος GRASP	53
4.7.2 Ο προσαρμοσμένος GRASP για την βελτίωση της αρχικής λύσης	59
4.7.3 Συμπεράσματα για τη λειτουργία του προσαρμοσμένου GRASP	65
5. Η επίλυση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών της Aegean Airlines	68
5.1 Η Aegean Airlines	68
5.2 Προβλήματα κατά την μοντελοποίηση και τρόποι αντιμετώπισης τους	71
5.3 Παράγοντες μοντελοποίησης	72
5.4 Εφαρμογή 1 ^{ου} σταδίου διαδικασίας επίλυσης	73
5.5 Εφαρμογή 2 ^{ου} σταδίου διαδικασίας επίλυσης	81
5.6 Εφαρμογή 3 ^{ου} σταδίου διαδικασίας επίλυσης	87
5.7 Συμπεράσματα	102
Βιβλιογραφία	103

Πρόλογος

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών (Fleet Assignment & Aircraft Routing), μιας αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ενός αλγορίθμου GRASP κατάλληλα τροποποιημένου για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Για την πρακτική εφαρμογή του αλγορίθμου κατασκευάστηκαν τρία προγράμματα σε γλώσσα προγραμματισμού C++, που αντιπροσωπεύουν τα τρία διαδοχικά στάδια της διαδικασίας που επινοήθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Τα στάδια αυτά είναι, α) η κατασκευή μιας πρώτης λύσης, ενός εφικτού προγράμματος πτήσεων δηλαδή, β) η βέλτιστη ανάθεση αεροσκαφών στην πρώτη λύση, γ) βελτιστοποίηση του όλου προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών μέσω του κατάλληλα προσαρμοσμένου αλγόριθμου GRASP.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο περιβάλλον των αεροπορικών εταιριών και στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν, ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην συμβολή της επιχειρησιακής έρευνας στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Στη συνέχεια (τρίτο κεφάλαιο), αναλύεται διεξοδικά το πρόβλημα της ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών καθώς και οι μέχρι σήμερα τρόποι αντιμετώπισης του. Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται η μέθοδος που επινοήθηκε κατά την παρούσα εργασία για την αυτοματοποιημένη επίλυση του προβλήματος, ενώ τελικά στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται μια πρακτική εφαρμογή της μεθόδου στο πρόβλημα ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών της αεροπορικής εταιρίας Aegean Airlines.

1. Εισαγωγή

Η αποτελεσματική λειτουργία μιας αεροπορικής εταιρίας, απαιτεί τον κατάλληλο προγραμματισμό και τις απαραίτητες μεθοδολογίες, που χρησιμεύουν σε κάθε μία από τις ιδιαίτερα πολύπλοκες και πολυδιάστατες δραστηριότητες μιας τέτοιας επιχείρησης. Η χρήση της επιχειρησιακής έρευνας, και των μοντέλων βελτιστοποίησης ειδικότερα, έχει γίνει απαραίτητη στο χώρο των εναέριων μεταφορών, λόγω της πολυπλοκότητας διαχείρισης συστημάτων τέτοιας μεγάλης κλίμακας. Η επιχειρησιακή έρευνα έχει δημιουργήσει ένα σοβαρό αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο οι σημερινές αεροπορικές εταιρίες διοικούνται και ανταγωνίζονται η μια την άλλη. Οδηγούμενες από την επιτακτική ανάγκη των διοικήσεων για κατάκτηση ανταγωνιστικού μεριδίου αγοράς, οι αεροπορικές εταιρίες στρέφονται σε ανεπτυγμένες τεχνικές βελτιστοποίησης, ώστε να δημιουργήσουν τα κατάλληλα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, για τον καλύτερο έλεγχο και λειτουργία της “αεροπορικής” επιχείρησης και των διαδικασιών της.

Πριν από εβδομήντα χρόνια, η αεροπορική βιομηχανία δημιουργήθηκε ως μέσο για την γρηγορότερη παράδοση ταχυδρομικού υλικού. Από τότε η βιομηχανία αυτή έχει εξελιχθεί σε μια πολύ μεγάλη και περίπλοκη επιχείρηση, για τη μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων. Το 1998, οι κορυφαίες 100 αερογραμμές μετέφεραν συνολικά παγκοσμίως, σχεδόν 1,3 δισεκατομμύρια επιβάτες, με ένα μέγεθος στόλου περίπου 9.800 αεροπλάνων, ενώ 1.5 εκατομμύριο άτομα απασχολούνταν επαγγελματικά σε αυτές και συμπλήρωναν ένα εισόδημα που έφτανε τα 287 δισεκατομμύρια δολάρια με τα λειτουργικά κέρδη να πλησιάζουν τα 18 δισεκατομμύρια δολάρια. Μαζί με το αυξανόμενο μέγεθος επήλθε και μια αυξανόμενη λειτουργική πολυπλοκότητα, που επιδεινώνεται από τον ανταγωνισμό ανάμεσα στους επιχειρηματικούς κύκλους.

1.1 Το προϊόν και το περιβάλλον λειτουργίας των αεροπορικών εταιριών

Το αντικείμενο μιας αεροπορικής εταιρίας είναι ξεχωριστό. Το προϊόν που προσφέρεται από τις αεροπορικές εταιρίες αντιπροσωπεύεται από πτήσεις που μεταφέρουν επιβάτες ή εμπορεύματα από διάφορες τοποθεσίες σε διαφορετικούς

προορισμούς. Η εμπορευσιμότητα και επιτυχία συνάμα αυτού του προϊόντος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους εξής παράγοντες:

- Ακρίβεια
- Επικαιρότητα
- Λειτουργικότητα
- Ποιότητα
- Κόστος εξυπηρέτησης
- Εύκολη πρόσβαση στο προϊόν

Τα παραπάνω κριτήρια γίνονται αντιληπτά από τον πελάτη-επιβάτη ως, ευέλικτα ωράρια πτήσεων, ακριβής αναχώρηση πτήσεων δίχως καθυστερήσεις, ικανοποιητική εξυπηρέτηση εν ώρα πτήσης, κατάλληλη μεταχείριση των αποσκευών και προσιτός-εύκολος τρόπος έκδοσης εισιτηρίων.

Για να αντεπεξέλθουν επιτυχώς στις παραπάνω απαιτήσεις και για να προσφέρουν ένα υψηλής ποιότητας αλλά και χαμηλού κόστους προϊόν, οι αεροπορικές εταιρίες επενδύουν τεράστια υλικά αλλά και ψυχικά / πνευματικά αποθέματα στην προσπάθεια να εξελίξουν οικονομικά αποδοτικές μεθόδους αντιμετώπισης των κυριότερων προβλημάτων τους, όπως είναι κατηγοριοποίηση των τιμών των εισιτηρίων, ο προγραμματισμός των πτήσεων, σχεδιασμός δικτύου πτήσεων, ακολουθία των πτήσεων, ταίριασμα πληρωμάτων, ανάθεση πυλών αναχώρησης και άφιξης ανά αεροδρόμιο, πρόγραμμα συντήρησης αεροσκαφών, προγράμματα εκπαίδευσης πληρωμάτων καθώς και διαδικασίες διαχείρισης των αποσκευών.

Η πολυπλοκότητα που διέπει τα παραπάνω προβλήματα προέρχεται από το ίδιο το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί μια αεροπορική, πιο αναλυτικά:

- Το τεράστιο επιχειρηματικό μέγεθος όσο αφορά, το γεωγραφικό εύρος στο οποίο εκτείνεται η επιχείρηση, τα αποθέματα που υποχρεωτικά πρέπει να υπάρχουν στην διάθεση της επιχείρησης (μηχανήματα, προσωπικό κτλ.), το μέγεθος και η ποικιλομορφία της αγοράς στην οποία απευθύνεται η επιχείρηση.

- Το εξαιρετικά δυναμικό περιβάλλον μέσα στο οποίο κινείται μια τέτοιου είδους επιχείρηση το οποίο εναλλάσσεται διαρκώς. Δεν είναι λίγες οι φορές που η εταιρία καλείται να αλλάξει τα πρωταρχικά της πλάνα, είτε λόγω καιρού, είτε λόγω μηχανικών προβλημάτων των αεροσκαφών, είτε λόγω ασθένειας του πληρώματος, είτε ακόμα και από τις διακυμάνσεις για παράδειγμα στην τιμή του πετρελαίου, ή μιας απρόσμενης τρομοκρατικής ενέργειας που μπορεί να επηρεάσει το μέγεθος της αγοράς (πρόσφατο παράδειγμα η 11^η Σεπτεμβρίου).
- Οι νομικοί και άλλοι περιορισμοί που διέπουν τις εναέριες μεταφορές και μπορεί να σχετίζονται με την συντήρηση-κατάσταση των αεροσκαφών ή την νομιμότητα όσο αφορά την εκπαίδευση του πληρώματος και την ετοιμότητα του, καθώς και τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται.
- Τα στενά οικονομικά όρια που τίθενται στον προγραμματισμό και σχεδιασμό της εταιρίας, ώστε να εκμεταλλευτούν όλοι οι δυνατοί πόροι στη μέγιστη αποδοτικότητα τους, δεν αφήνουν περιθώρια ελιγμών ή λάθους στα συστήματα οργάνωσης και διοίκησης που αφορούν την επιχείρηση.

1.2 Η επιχειρησιακή έρευνα στον χώρο των αεροπορικών εταιριών

Για να διατηρήσουν μια σταθερή αποδοτικότητα, οι αεροπορικές εταιρίες, πρέπει να αντιλαμβάνονται άμεσα τις παρούσες συνθήκες της αγοράς προκειμένου να ισορροπήσουν την προσφορά με τη ζήτηση. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη την γεωγραφική διασπορά της επιχείρησής τους, των υψηλών επενδυτικών δαπανών (τόσο σε χρήμα όσο και σε εργασία) και των αναμενόμενων εμποδίων που απορρέουν από την διεθνή αεροπλοΐα, δεν είναι καθόλου παράξενο, το ότι η αεροπορική βιομηχανία, έχει οδηγήσει άλλες επιστήμες, όπως η επιχειρησιακή έρευνα, στην εφαρμογή ειδικών τεχνικών βελτιστοποίησης για να αντιμετωπίσει τα επιχειρησιακά ζητήματα.

Από τεχνολογικής άποψης, η ταχύτητα των επεξεργασιών H/Y είναι πλέον ικανοποιητική για την επίλυση πολύπλοκων και μεγάλης κλίμακας προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο, η χωρητικότητα των αποθηκευτικών συσκευών των H/Y είναι αρκετά μεγάλη για να φιλοξενήσει επιχειρησιακά δεδομένα, το διαδύκτιο είναι αρκετά αξιόπιστο

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

για να μεταφέρει με διάφορους τρόπους ταχύτατα τις απαραίτητες πληροφορίες και δεδομένα στους άμεσα ενδιαφερόμενους. Παράλληλα το κόστος όλου αυτού του απαραίτητου τεχνολογικού εξοπλισμού, είναι αρκετά χαμηλό, που να εξασφαλίζει την άμεση απόσβεση του.

Από μεθοδολογικής άποψης, τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει υπάρξει μια θεαματική ανάπτυξη όσο αφορά τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης και τις τεχνικές επίλυσης προβλημάτων. Πλέον τα μοντέλα βελτιστοποίησης έχουν έρθει πιο κοντά στην πραγματικότητα και παρόλα αυτά είναι επαρκώς επιλύσιμα. Ο χρόνος επίλυσης προβλημάτων μεγάλης κλίμακας και πολυπλοκότητας έχει γίνει κατά πολύ μικρότερος, με αποτέλεσμα τα προβλήματα αυτά να μπορούν να επιλυθούν και από μικρότερα σε ισχύ συστήματα και να προσφέρουν στους χρήστες τους άμεσα και έγκυρα αποτελέσματα.

Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό ότι, οι μέθοδοι της επιχειρησιακής έρευνας που περιλαμβάνουν μεθόδους βελτιστοποίησης, τεχνικές επίλυσης και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων έχουν γίνει σημαντικό εργαλείο των αεροπορικών στην προσπάθεια τους να διατηρήσουν αλλά και να επεκτείνουν την θέση τους στην άκρως ανταγωνιστική αγορά των μεταφορών.

Μερικές από τις δραστηριότητες-λειτουργίες των αεροπορικών, για τις οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί μέθοδοι επίλυσης και βελτιστοποίησης από τον χώρο της επιχειρησιακής έρευνας είναι οι παρακάτω:

- Σχεδιασμός δικτύου και κατασκευή προγράμματος πτήσεων
- Ανάθεση αεροσκαφών σε πτήσεις
- Ακολουθίες πτήσεων που ανατίθενται σε αεροσκάφη (δρομολόγηση αεροσκαφών)
- Βελτιστοποίηση ταιριάσματος πληρωμάτων
- Ανάθεση πληρωμάτων σε πτήσεις
- Διαχείριση εισροών
- Διαχείριση μη προγραμματισμένων ενεργειών
- Διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας

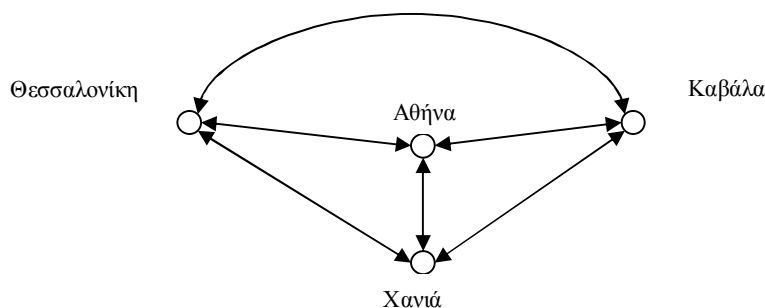
Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί μια ανάλυση των παραπάνω προβλημάτων, καθώς και μια συνοπτική αναφορά των μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί από τον κλάδο της επιχειρησιακής έρευνας για την επίλυση τους.

2. Ανάλυση των προβλημάτων των αεροπορικών εταιριών και μέθοδοι επίλυσης τους

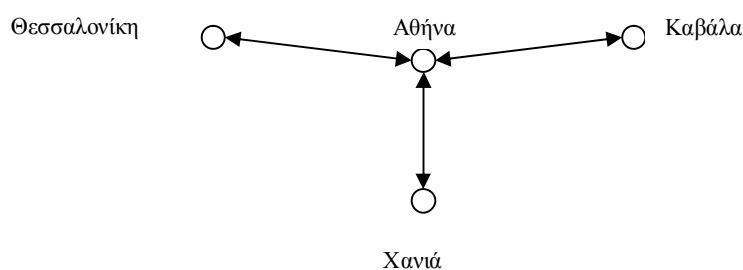
2.1 Σχεδιασμός δικτύου και κατασκευή προγράμματος πτήσεων

Η κατασκευή του προγράμματος πτήσεων ανά προορισμό καθώς και η κατασκευή του δικτύου που θα περιλαμβάνει το σύνολο των προορισμών που εξυπηρετεί μια αεροπορική εταιρία, είναι πρωταρχικής σημασίας για την σωστή και κερδοφόρα λειτουργία της. Το πρόγραμμα των πτήσεων συγκεκριμένα προσδιορίζει ένα σύνολο από ανταποκρινόμενους σταθμούς αναχώρησης και άφιξης τους οποίους εξυπηρετεί η κάθε αεροπορική εταιρία καθώς και τις ακριβείς ώρες αναχώρησης και άφιξης για κάθε συνδυασμό αυτών. Η απόφαση της αεροπορικής για το ποιους σταθμούς θα εξυπηρετεί, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις της εκάστοτε αγοράς, τη διαθεσιμότητα και τα χαρακτηριστικά του στόλου της, το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό αλλά και από την συμπεριφορά του ανταγωνισμού.

Πριν όμως από την δημιουργία συγκεκριμένου προγράμματος πτήσεων, η αεροπορική εταιρία καλείται να καθορίσει το δίκτυο της, το δίκτυο δηλαδή των επίγειων σταθμών ανάμεσα στους οποίους θα κινείται. Οι αλλαγές στις απαιτήσεις της αγοράς καθώς και οι αλλαγές στα νομικά πλαίσια που διέπουν την αεροπλοΐα και έχουν επιφέρει την απελευθέρωση στην επιλογή προορισμών για κάθε αεροπορική, έχουν αλλάξει τον τρόπο σχεδιασμού των δικτύων πτήσεων, από το πρότυπο «από σημείο σε σημείο», σχήμα (2.1.α), που επικρατούσε παλαιότερα και περιλάμβανε ουσιαστικά ζεύγη ανταποκρινόμενων σταθμών, στο πρότυπο ενός κεντρικού σταθμού και διαφόρων περιφερειακών σταθμών που βρίσκονται σε μια ακτίνα γύρω από τον κεντρικό (πρότυπο Hub and Spoke) (σχήμα 2.1.β), ανάλογα με την εμβέλεια των δυνατοτήτων της αεροπορικής εταιρίας.



Σχήμα 2.1.α: Δίκτυο πτήσεων βάση του πρότυπου «από σημείο σε σημείο»



Σχήμα 2.1.β: Δίκτυο πτήσεων βάση του πρότυπου ενός κεντρικού και πολλών περιφερειακών σταθμών

Διάφορες έρευνες έχουν γίνει για την βελτιστοποίηση όχι μόνο του δικτύου πτήσεων αλλά και διαφόρων υπό-προβλημάτων που σχετίζονται με αυτό, όπως η εύρεση κατάλληλης τοποθεσίας για τον κεντρικό σταθμό και η συχνότητα των πτήσεων που καλύπτουν το δίκτυο. Για την επιλογή του κεντρικού σταθμού έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι διακλάδωσης και φραγμών, καθώς και μαθηματικού προγραμματισμού. Για τον προσδιορισμό βέλτιστης συχνότητας πτήσεων έχουν προταθεί μέθοδοι όπως η θεωρία ακαθόριστων συνόλων.

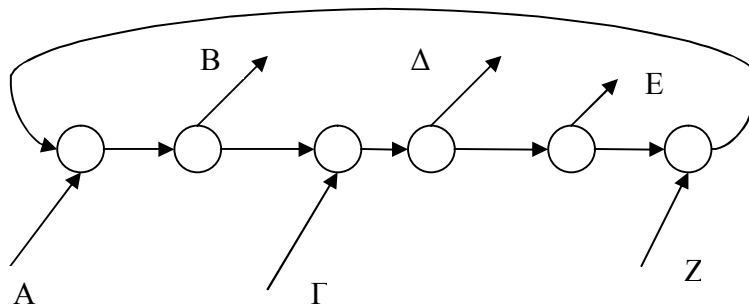
2.2. Ανάθεση αεροσκαφών σε πτήσεις (Fleet Assignment)

Εφόσον μια αεροπορική εταιρία έχει καθορίσει το δίκτυο και το πρόγραμμα των πτήσεων της, καλείται πλέον να αναθέσει τα αεροσκάφη του στόλου της, στις διάφορες πτήσεις που συνθέτουν το δίκτυο της. Συνήθως οι αεροπορικές εταιρίες έχουν στην κατοχή τους διαφορετικού τύπου αεροσκάφη, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και κόστη, όπως χωρητικότητα όσο αφορά τις διαθέσιμες θέσεις, κατανάλωση καυσίμων, και επιτρεπόμενο φορτωτικό βάρος. Επιδιώκεται όπως είναι αναμενόμενο η βέλτιστη ανάθεση των αεροσκαφών, λαμβάνοντας αυστηρά υπόψη τόσο τους παραπάνω φυσικούς περιορισμούς αλλά και την ποικιλομορφία της αγοράς και τις λοιπές επιχειρηματικές επιδιώξεις.

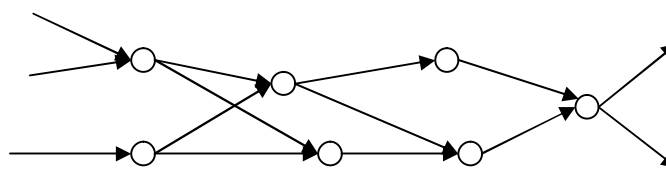
Ο προγραμματισμός ανάθεσης των αεροσκαφών γίνεται στην πραγματικότητα μήνες πριν την πρακτική εφαρμογή του, καθώς δίδεται έτσι το περιθώριο αναθεώρησης και βελτίωσης του αποτελέσματος κάτω από τις πραγματικές υπάρχουσες συνθήκες. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί ότι κατά το σχεδιασμό ανάθεσης πτήσεων σε αεροσκάφη, γίνεται η υπόθεση ότι το πρόγραμμα των πτήσεων παραμένει σταθερό και επαναλαμβάνεται περιοδικά (ανά μέρα ή εβδομάδα συνήθως), παρόλο που κάτι τέτοιο μπορεί να μην συμβαίνει στην πραγματικότητα (π.χ. απρογραμμάτιστες πτήσεις charter).

Η πλειονότητα των μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση και επίλυση του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών σε πτήσεις, αναπαριστούν το πρόγραμμα των πτήσεων ως χωροχρονικό δίκτυο ροής, με τόξα ανάμεσα στους διάφορους σταθμούς και μια λίστα πιθανών πτήσεων (τόξων) σε κάθε σταθμό (σχήμα 2.2.α). Οι διάφορες αναχωρήσεις και αφίξεις σε κάθε σταθμό αναπαριστώνται ως κόμβοι. Ταυτόχρονα υπάρχουν και τόξα που αναπαριστούν την επίγεια παραμονή του αεροσκάφους μέχρι την ώρα της επόμενης αναχώρησης του. Κάθε ένας συνδυασμός κόμβων και τόξων θα πρέπει να ανατίθεται σε ένα και μόνο αεροσκάφος, ώστε να ικανοποιείται ο λογικός περιορισμός που απαιτεί κάθε πτήση να εκτελείται μόνο μια φορά και από ένα αεροσκάφος. Άλλοι περιορισμοί που λαμβάνονται συνήθως υπόψη, είναι ο αριθμός των διαθέσιμων αεροσκαφών αλλά και των χαρακτηριστικών τους (π.χ. πτητική εμβέλεια, χωρητικότητα). Το μοντέλο αυτό καταλήγει να επιλύεται συνήθως με μεθόδους μικτού, ακέραιου προγραμματισμού.

Ένας άλλος τρόπος μοντελοποίησης του προβλήματος, πολύ πιο αναλυτικός είναι με την δημιουργία ενός δικτύου συνδέσεων, όπου οι κόμβοι είναι οι πτήσεις και τα τόξα η σύνδεση μεταξύ των πτήσεων (σχήμα 2.2.β). Μιας και οι πιθανοί τρόποι σύνδεσης των πτήσεων μεταξύ τους είναι πολλοί, συχνά οδηγούμαστε σε μεγαλύτερης κλίμακας δίκτυα από ότι στην περίπτωση του χωροχρονικού δικτύου. Από την άλλη μεριά όμως το δεύτερο μοντέλο είναι πολύ πιο ακριβές και κοντά στο πραγματικό δίκτυο πτήσεων.



Σχήμα 2.2.α: Αναπαράσταση χώρο-χρονικού δικτύου



Σχήμα 2.2.β: Αναπαράσταση δικτύου συνδέσεων

2.3. Δρομολόγηση αεροσκαφών (Aircraft Routing)

Το πρόβλημα δρομολόγησης αεροσκαφών, είναι ουσιαστικά το πρόβλημα δημιουργίας ενός δρομολογίου για κάθε αεροσκάφος του στόλου της αεροπορικής εταιρίας, δεδομένου του συνόλου των πτήσεων που πρέπει να πραγματοποιήσει η εταιρία, έχοντας ως στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους. Ένας δεύτερος τρόπος μοντελοποίησης του προβλήματος είναι έμμεσος και προσπαθεί να μεγιστοποιήσει έμμεσες αξίες όπως την ικανοποίηση της επιθυμίας των πελατών για περισσότερες πτήσεις χωρίς ενδιάμεσους σταθμούς, μεταξύ διαφόρων πόλεων.

Τα δημιουργούμενα δρομολόγια θα πρέπει βέβαια να υπακούουν σε κάποιους περιορισμούς. Δυο τυπικοί περιορισμοί στην κατασκευή δρομολογίων είναι ο περιορισμός συντήρησης των αεροσκαφών και ο περιορισμός εξισορρόπησης της διανομής των πτήσεων στα διάφορα αεροσκάφη. Ο περιορισμός συντήρησης, αφορά φυσικά τους τεχνικούς ελέγχους και επισκευές που θα πρέπει να γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, στα αεροσκάφη. Ο χρόνος που θα πετάει ένα αεροσκάφος συνεχόμενα χωρίς συντήρηση είναι περιορισμένος και πρέπει να υπακούει στους κανόνες ασφαλείας. Υπάρχουν πολλών ειδών συντηρήσεις που γίνονται σε αεροσκάφη, υπάρχουν έλεγχοι που κρατάνε λίγες ώρες όπως επίσης και επισκευές που μπορεί να διαρκέσουν και αρκετές μέρες, συνήθως όμως τέτοιου είδους μακροχρόνιες επισκευές δεν λαμβάνονται υπόψη κατά την μοντελοποίηση και επίλυση του προβλήματος, αφού είναι πιο σπάνιες.

Η σωστή διανομή των πτήσεων, εξασφαλίζει ότι όλα τα αεροσκάφη θα χρησιμοποιηθούν εξίσου κατά την λειτουργία του προγράμματος της αεροπορικής εταιρίας, ώστε να μην επιφορτίζεται μόνο μέρος του στόλου, πράγμα που οδηγεί σε αυξανόμενα κόστη συντήρησης καθώς και αυξανόμενα διαφυγόντα κέρδη εκμετάλλευσης του τεχνικού εξοπλισμού της εταιρίας.

2.4. Βελτιστοποίηση ταιριάσματος πληρωμάτων (crew pairing)

Το πρόβλημα του ταιριάσματος των πληρωμάτων, έγκειται ουσιαστικά στο κατάλληλο ταίριασμα κάθε πληρώματος σε μια ακολουθία πτήσεων, που αποτελεί τμήμα του συνολικού προγράμματος πτήσεων. Επόμενο είναι λοιπόν το παρόν πρόβλημα να έπεται της λύσης του σχεδιασμού δικτύου και προγράμματος πτήσεων, αλλά και της ανάθεσης αεροσκαφών σε πτήσεις.

Η ακολουθία των πτήσεων που ανατίθεται σε κάθε πλήρωμα έχει ως αρχή και τέλος την σταθερή επίγεια βάση του πληρώματος και ο αριθμός των πτήσεων που την αποτελούν διέπεται από κάποιους περιορισμούς, τόσο νομικούς ή συμβατικούς, που έχουν να κάνουν κυρίως με τις επιτρεπόμενες ώρες συνεχούς πτήσης, αλλά και φυσικούς που έχουν να κάνουν με τον αριθμό των διαθέσιμων πληρωμάτων σε κάθε βάση. Αυτός ο αριθμός των διαθέσιμων πληρωμάτων σε κάθε βάση μεταφράζεται κατά την μοντελοποίηση σε ελάχιστο και μέγιστο αριθμό διαθέσιμων ωρών πτήσης από κάθε βάση.

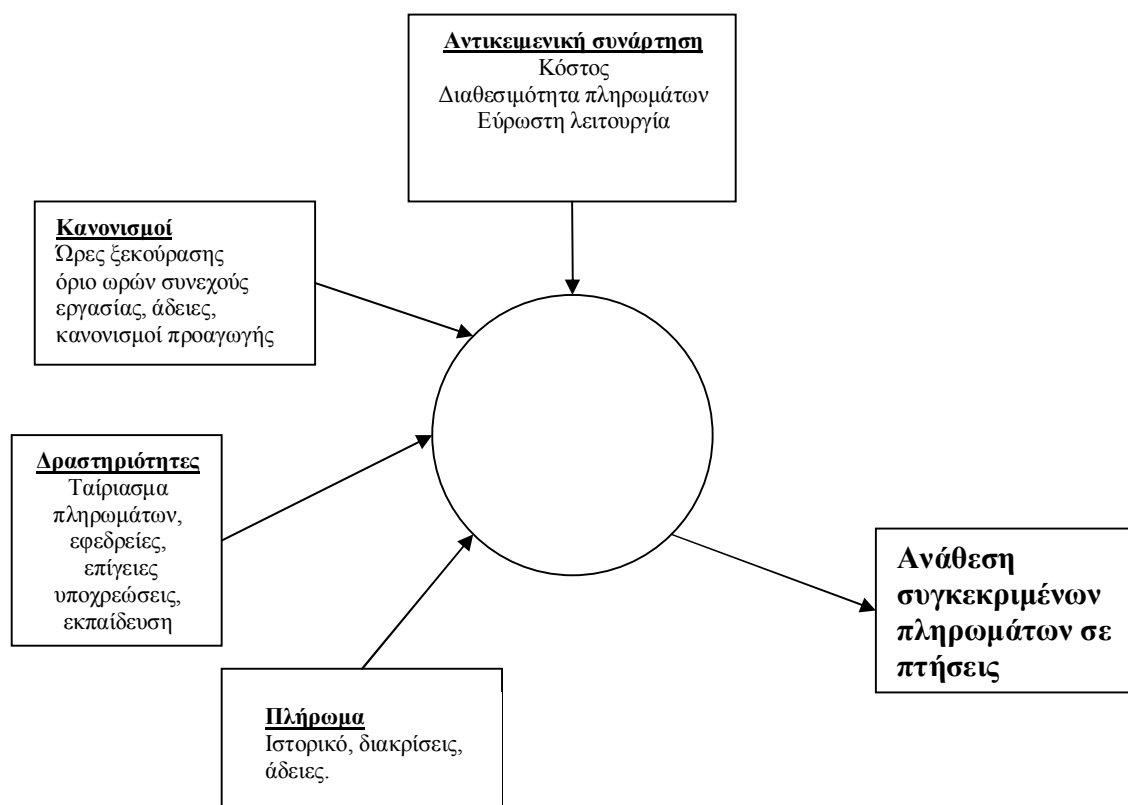
Το ιδανικό θα ήταν βέβαια, κάθε πλήρωμα να ακολουθεί την πορεία ενός αεροσκάφους, έτσι ώστε σε περίπτωση καθυστερήσεων να μην υπάρχουν προβλήματα κατά την ανταλλαγή των πληρωμάτων, κάτι τέτοιο όμως είναι ιδιαίτερα σπάνιο και συμβαίνει μόνο σε μικρής εμβέλειας και δυνατότητας αεροπορικές εταιρίες. Παρόλα αυτά το επιζητούμενο κατά την επίλυση του ταιριάσματος πληρωμάτων με πτήσεις, είναι ο περιορισμός στο ελάχιστο του αριθμού αλλαγών πληρωμάτων, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη τους όποιους νομικούς και φυσικούς περιορισμούς.

Οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση και βελτιστοποίηση της λύσης του προβλήματος βασίζονται συνήθως σε ένα καθορισμένο πρόβλημα διαχωρισμού, κατά το οποίο οι πτήσεις που θα πρέπει να καλυφθούν εμφανίζονται σε γραμμές, ενώ σε στήλες εμφανίζονται όλα τα πιθανά ταιριάσματα που μπορούν να καλύψουν την συγκεκριμένη πτήση ικανοποιώντας τους περιορισμούς.(σχήμα 2.4.α). Από το σύνολο αυτό των πιθανών ταιριασμάτων και έχοντας μια πρώτη λύση χρησιμοποιούνται μεθευρετικοί αλγόριθμοι ή μέθοδοι δημιουργίας στηλών (column generation) για την βελτίωση της υπάρχουσας λύσης. Επειδή σε μεσαίου και μεγάλου μεγέθους αεροπορικές εταιρίες, ο αριθμός των πιθανών ταιριασμάτων είναι εξαιρετικά μεγάλος, πολλές φορές λαμβάνεται υπόψη κατά την επεξεργασία τους, μόνο ένα

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

ανάθεση αυτή γίνεται συνήθως για κάθε μήνα ξεχωριστά και κάθε λίστα περιέχει συνήθως κάποια ιστορικά στοιχεία (π.χ. ημερομηνίες αδειών) που βοηθούν στο προγραμματισμό επόμενων μηνών.

Και σε αυτό το πρόβλημα, σύνθετοι κανόνες και οι κανονισμοί που προέρχονται από τη νομοθεσία και τις συμβατικές συμφωνίες πρέπει να καλυφτούν από τις λύσεις στην προσπάθεια βελτίωσης κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης που αφορά τη λειτουργία και το κέρδος φυσικά της εταιρίας (σχήμα 2.5.α).



Σχήμα 2.5.α : Διάγραμμα μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης πληρωμάτων σε πτήσεις

Για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης πληρωμάτων, έχει προτιμηθεί αυτή να γίνεται ξεχωριστά για κάθε ειδικότητα, για παράδειγμα συνήθως οι πιλότοι έχουν συγκεκριμένη εκπαίδευση σε ένα ειδικό τύπο αεροσκάφους και έτσι θα μπορούν να

πετάνε μόνο με αυτόν τον τύπο, σε αντίθεση με τους αεροσυνοδούς που συνήθως έχουν την δυνατότητα να εργαστούν σε διαφορετικού τύπου αεροσκάφη. Έτσι σε τελική ανάλυση και χρησιμοποιώντας συνήθως ακέραιο προγραμματισμό, μεγιστοποιείται η συμβολή κάθε πιθανού μέλους πληρώματος στο πρόγραμμα πτήσεων, μεγιστοποιώντας έτσι το κέρδος που μπορεί να προέλθει από αυτό.

2.6. Διαχείριση εισροών (Revenue Management)

Μια αεροπορική, προσφέρει συνήθως τα εισιτήρια της, που χαρακτηρίζονται από την προέλευση και τον προορισμό της πτήσης, σε διάφορες κατηγορίες τιμής. Αυτές οι κατηγορίες τιμής περιλαμβάνουν όχι μόνο τις συνήθεις κατηγορίες, διακεκριμένη (business) και οικονομική (economy), που εγκαθίστανται και σε χωριστά μέρη του αεροσκάφους, αλλά περιλαμβάνουν και κατηγορίες τιμής, για τις οποίες η διαφορά στη τιμή δικαιολογείται από τους διαφορετικούς παράγοντες όπως για π.χ. την επιλογή που προσφέρουν στον επιβάτη για ακύρωση του εισιτηρίου σε περίπτωση που αυτός δεν θέλει να το χρησιμοποιήσει, ή κάποιες ρυθμίσεις διανυκτέρευσης σε κάποιο ενδιάμεσο σταθμό που μπορεί να επιθυμεί ο πελάτης. Επομένως οι θέσεις σε μια πτήση είναι προϊόντα που μπορούν να προσφερθούν σε διαφορετικούς τύπους πελατών για διαφορετικές τιμές. Δεδομένου ότι τα εισιτήρια για μια πτήση πρέπει να πωληθούν προτού να απογειωθεί το αεροπλάνο, το προϊόν είναι φθαρτό και η διαχείριση εισροών πρέπει να εφαρμοστεί έγκαιρα ώστε να εξασφαλιστεί κέρδος.

Σημαντικό εργαλείο της διαχείρισης εισοδήματος μιας αεροπορικής, είναι η διαχείριση του προβλήματος ελέγχου διαθέσιμων θέσεων (seat inventory control problem). Αυτό το πρόβλημα αφορά την διανομή του πεπερασμένου αριθμού καθισμάτων στη ζήτηση, που εμφανίζεται κατά τη χρονική διάρκεια πριν την αναχώρηση της πτήσης. Ο στόχος είναι να βρεθεί ο σωστός συνδυασμός τύπου επιβατών στις πτήσεις έτσι ώστε τα εισοδήματα να μεγιστοποιούνται. Η βέλτιστη κατανομή του αριθμού καθισμάτων στις διάφορες κατηγορίες πρέπει έπειτα να μεταφραστεί σε μια πολιτική ελέγχου κρατήσεων, η οποία θα αποφασίζει εάν πρέπει να γίνει αποδεκτό ένα αίτημα κράτησης όταν αυτό φθάνει στον έλεγχο. Δεν είναι περίεργο, σε ένα ορισμένο χρονικό σημείο, να είναι πιο κερδοφόρα η απόρριψη ενός αιτήματος κράτησης,

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα να γίνει δεκτό ένα αίτημα κράτησης ενός άλλου επιβάτη σε ένα μετέπειτα χρονικό σημείο, που να αρμόζει περισσότερο στην πολιτική διανομής θέσεων της εταιρίας .

Άλλα σημαντικά θέματα που έχουν μεγάλη σημασία στη διαχείριση εισροών είναι η πρόβλεψη ζήτησης, η τιμολόγηση των εισιτηρίων κάθε κατηγορίας και η δυνατότητα κρατήσεων θέσεων μεγαλύτερων σε αριθμό από τις διαθέσιμες θέσεις του αεροσκάφους (overbooking). Η πρόβλεψη της ζήτησης είναι κρίσιμο εργαλείο στη διαχείριση εισροών των αεροπορικών, μιας και οι πολιτικές ελέγχου κράτησης χρησιμοποιούν τις προβλέψεις ζήτησης για να καθορίσουν την βέλτιστη στρατηγική ελέγχου κράτησης. Εάν μια αεροπορική εταιρία λάβει υπόψη της χαμηλής ποιότητας εκτίμηση της ζήτησης, θα οδηγηθεί σε μια στρατηγική ελέγχου κράτησης με ελάχιστη απόδοση . Οι αεροπορικές εταιρίες έρχονται συχνά αντιμέτωπες με προβλήματα όπως, ακυρώσεις εισιτηρίων και μη εμφάνιση επιβατών στο αεροδρόμιο (no-show), για οποιουδήποτε λόγους. Επομένως, προκειμένου να αποτραπεί η απογείωση ενός αεροσκάφους με μεγάλο αριθμό κενών καθισμάτων, οι αεροπορικές εταιρίες τείνουν να δέχονται περισσότερες κρατήσεις από τον διαθέσιμο αριθμό θέσεων σε μια πτήση. Τέλος η τιμολόγηση είναι προφανώς πολύ σημαντική διαδικασία με άμεσο αντίκτυπο στα εισοδήματα μιας αεροπορικής εταιρίας. Στην πραγματικότητα, η τιμολόγηση των διαφόρων κατηγοριών είναι η αφετηρία του προβλήματος διαχείρισης εισροών .

Όσο αφορά το πρόβλημα της μη εμφάνισης επιβατών στο αεροδρόμιο, και των κρατήσεων παραπάνω θέσεων, υποθέτοντας ότι οι αφίξεις των επιβατών είναι κατανομής Poisson, σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και χρησιμοποιώντας ένα δισδιάστατο στοχαστικό μοντέλο δυναμικού προγραμματισμού, μεγάλη αεροπορική εταιρία της Ευρώπης έχει αποδείξει πως μπορεί να έχει αύξηση κερδών έως και 2 εκατ. δολάρια το χρόνο.

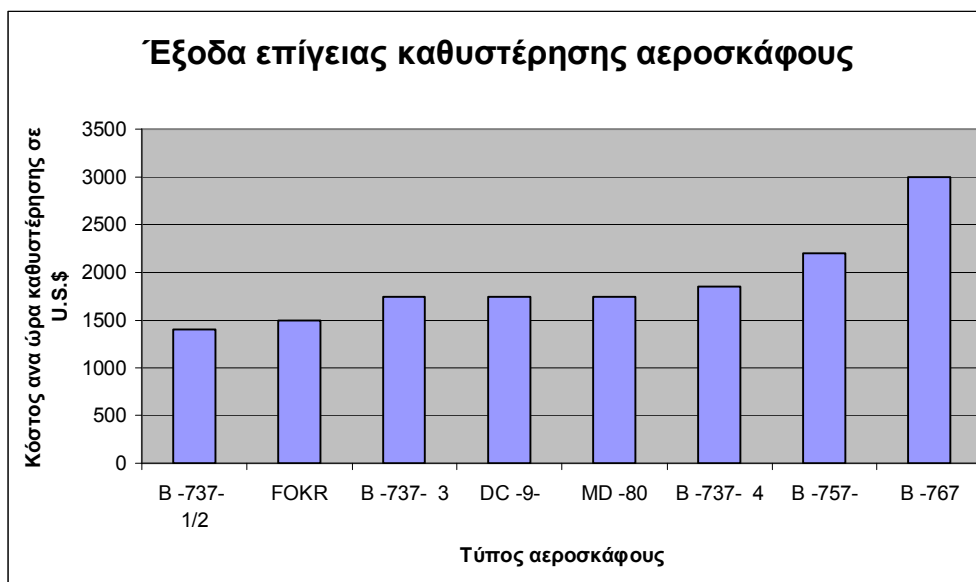
2.7. Διαχείριση μη προγραμματισμένων ενεργειών

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι αεροπορικές εταιρίες, σχεδιάζουν και εκδίδουν τελικά προς το κοινό το πρόγραμμα των πτήσεων τους. Πολλές φορές όμως, προβλήματα έλλειψης δυναμικού, όπως για παράδειγμα κάποια τεχνική βλάβη σε κάποιο από τα αεροσκάφη του στόλου της εταιρίας ή ακόμα και μια ραγδαία επιδείνωση του

καιρού, αποτρέπουν τις αεροπορικές εταιρίες από την πραγματοποίηση του προγράμματος πτήσεων τους, πράγμα που μπορεί να επιφέρει μεγάλο οικονομικό κόστος στην αεροπορική τόσο άμεσα (σχήμα. 2.7.α), όσο και έμμεσα με την απώλεια δυσαρεστημένων πελατών.

Όταν καταστάσεις σαν και αυτές εμφανίζονται στο προσκήνιο, απαιτείται άμεση ανταπόκριση, ώστε με τις κατάλληλες ενέργειες η αεροπορική να επανέλθει στο κανονικό της πρόγραμμα, με την δυνατόν χαμηλότερη απώλεια σε κέρδος και σε ικανοποίηση των πελατών τους. Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό πως η διαχείριση μη προγραμματισμένων ενεργειών, έχει να κάνει, κατά την διαδικασία επίλυσης της, με τους εξής τομείς μιας αεροπορικής: δρομολόγηση αεροσκαφών, προγραμματισμός πληρώματος και αποκατάσταση των πελατών.

Η δρομολόγηση αεροσκαφών και ο προγραμματισμός πληρωμάτων γίνεται με τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν και παραπάνω, επαναληπτικά έως ότου βρεθεί λύση που να ικανοποιεί τους νέους περιορισμούς έλλειψης δυναμικού που προέκυψαν. Κατά την διαδικασία επίλυσης της δρομολόγησης των αεροσκαφών, απαιτείται να βρεθούν οι κατάλληλες ακολουθίες πτήσεων που θα ανατεθούν σε όλα τα διαθέσιμα αεροσκάφη, ώστε να εκτελεσθεί σύντομα το κανονικό πρόγραμμα πτήσεων της αεροπορικής. Πάνω σε αυτό το πρόβλημα πολλοί μελετητές έχουν προτείνει διάφορες μεθόδους, όπως την εφαρμογή μιας μεθόδου διακλάδωσης και φραγμών για την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης των πελατών, καθώς και την ελαχιστοποίηση των ακυρώσεων πτήσεων. Σήμερα η αεροπορικές εταιρίες, ως επί των πλείστων, χρησιμοποιούν ευρετικούς αλγόριθμους που προσαρμόζονται στο αρχικό πρόγραμμα και παράγουν δυνατούς συνδυασμούς πτήσεων (νέα προγράμματα δηλαδή) που να εξυπηρετούν την αεροπορική εταιρία, ή έναν συνδυασμό απλών μεθόδων με την βοήθεια της επαγγελματικής τους εμπειρίας για να επιλύσουν το προκύπτον πρόβλημα.



Σχήμα 2.7.α: Παράδειγμα εξόδων επίγειας καθυστέρησης για συγκεκριμένους τύπους αεροσκαφών

2.8 Διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας

Το παρόν πρόβλημα αφορά τον χειρισμό της εναέριας κυκλοφορίας, παρακολουθώντας και κατευθύνοντας την πορεία κάθε αεροσκάφους από την απογείωση έως και την προσγείωση του. Η διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας είναι φυσικά αρμοδιότητα της εκάστοτε εθνικής υπηρεσίας που ελέγχει τον εθνικό εναέριο χώρο, αλλά οι ενέργειες αυτής της υπηρεσίας και η εύρυθμη λειτουργία της, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την λειτουργία και προγραμματισμό των αεροπορικών εταιριών.

Ο προγραμματισμός της εναέριας κυκλοφορίας συνήθως σχεδιάζεται υποθέτοντας μη προβληματικές συνθήκες δηλαδή καλοκαιρία και μικρή συμφόρηση στους διάφορους επίγειους σταθμούς (αεροδρόμια). Συχνά όμως προκύπτουν προβλήματα όπως επιδείνωση του καιρού ή κάποια τεχνική βλάβη σε επίγειο σταθμό. Σε περιπτώσεις σαν και αυτές υπάρχει ανάγκη αλλαγής του αρχικού πλάνου κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί όσο το δυνατόν μικρότερη συμφόρηση, τόσο στον αέρα όσο και στα διάφορα αεροδρόμια.

Παραδοσιακοί τρόποι αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων από το προσωπικό ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, είναι η καθυστέρηση απογείωσης νέων αεροσκαφών, ώστε να αποτραπεί η δημιουργία μεγαλύτερης συμφόρησης, ανά-δρομολόγηση των αεροσκαφών, εναέριες καθυστερήσεις ώστε να παραταθεί ο χρόνος μέχρι την προσγείωση στο αεροδρόμιο και αποστασιοποίηση των αεροσκαφών που βρίσκονται εν πτήση, ώστε να μην υπάρξει συμφόρηση σε συγκεκριμένο τμήμα του εναέριου χώρου.

Για να αντεπεξέλθουν σε τέτοιου είδους προβλήματα διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας, έχουν επιστρατευτεί μέθοδοι επιχειρησιακής έρευνας που αφορούν την πρόβλεψη δυνατοτήτων κάθε επίγειου σταθμού σε προβληματικές καταστάσεις, η την μοντελοποίηση του εναέριου δικτύου, ως ένα μεγάλης κλίμακας μη γραμμικό δίκτυο, η ακόμα και την χρήση ευρετικών αλγορίθμων που αναπαράγουν λύσεις με βάση το αρχικό πρόγραμμα που έχει σχεδιαστεί. Τέλος έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης μοντέλα γραμμικού, ακέραιου, μεικτού ακέραιου προγραμματισμού για την επίλυση του προβλήματος.

2.9 Μερικά ακόμη προβλήματα

Μερικά ακόμα προβλήματα που έχουν να κάνουν με την λειτουργία των αεροπορικών εταιριών και έχουν βρει λύση μέσω της επιστήμης της επιχειρησιακής έρευνας είναι, η ανάθεση πυλών αεροδρομίων σε αφιχθέντες πτήσεις, διαχείριση καυσίμων και διαχείριση ανθρωπίνου δυναμικού.

Η βέλτιστη ανάθεση αφιχθέντων πτήσεων σε αεροδρόμια είναι ιδιαίτερα σημαντική, μιας και αφορά την σωστή διαχείριση τεραστίων ποσοτήτων αποσκευών και αριθμού επιβατών. Κατά την επίλυση του προβλήματος πρέπει να ληφθούν υπόψη το μέγεθος του αεροσκάφους που καταφθάνει, της διαδρομής που θα πρέπει να διανύσουν οι επιβάτες ως την παραλαβή των αποσκευών ή ως την πύλη αναχώρησης της επόμενης πτήσης, τις ανάγκες ανεφοδιασμού και προετοιμασίας του αεροσκάφους για την επόμενη του πτήση, την πορεία και διαχείριση των αποσκευών. Λόγω της φύσης του προβλήματος, της αβεβαιότητας ακριβούς ώρας άφιξης των πτήσεων, την απαίτηση επίλυσης σε πραγματικό χρόνο του προβλήματος, των πολλαπλών αντικειμενικών στόχων προς βελτιστοποίηση, πολλές αεροπορικές εταιρίες χρησιμοποιούν έμπειρα συστήματα για την επίλυση του προβλήματος.

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

Το κόστος των καυσίμων είναι το μεγαλύτερο κόστος που επιβαρύνει μια αεροπορική εταιρία. Ουσιαστική μείωση του κόστους μπορεί να προέλθει από την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων καυσίμων ή από την μεταφορά τους από σταθμό σε σταθμό, στην περίπτωση όπου μεταξύ των δυο περιοχών που αυτοί υφίστανται υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή των καυσίμων. Οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση του κόστους των καυσίμων περιέχουν κυρίως γραμμικό προγραμματισμό και οι συνήθειες μεταβλητές που καθορίζουν το πρόβλημα, είναι οι τιμές των καυσίμων, οι δυνατότητες αποθήκευσης καυσίμων κάθε επίγειου σταθμού και οι δυνατότητες του προμηθευτή όσο αφορά τις ποσότητες με τις οποίες αυτός μπορεί να προμηθεύσει την αεροπορική.

Η διαχείριση ανθρωπίνου δυναμικού περιλαμβάνει την πρόσληψη, εκπαίδευση, και στελέχωση του προσωπικού της εταιρίας. Το προσωπικό των αεροπορικών εταιριών αφορά δυο μεγάλες κατηγορίες, το εναέριο (πιλότοι, αεροσυνοδοί) και το επίγειο (τεχνικούς, μηχανικούς, συνοδούς εδάφους, υπαλλήλων γραφείου κ.λ.π.). Όπως είναι λογικό η δραστηριότητα και εργασία του προσωπικού στο σύνολο του εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το προγραμματισμό όλων των παραπάνω προβλημάτων που αναφέρθηκαν, για παράδειγμα το προσωπικό του αεροδρομίου θα δραστηριοποιηθεί γύρω από την ώρα που μια πτήση ετοιμάζεται να προσγειωθεί ή να απογειωθεί από το αεροδρόμιο. Οι τεχνικές της επιχειρησιακής έρευνας καλούνται αξιοποιήσουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό το σύνολο του ανθρωπίνου δυναμικού, λαμβάνοντας υπόψη κάποιους περιορισμούς όπως μέγιστο επιτρεπτό ωράριο εργασίας, ημερομηνίες αδειών των εργαζομένων, αλλά και το πρόγραμμα πτήσεων που έχει σχεδιαστεί, ώστε να επέλθει το μέγιστο κέρδος.

3. Εστίαση στη βελτιστοποίηση της ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών

3.1 Η ακολουθία επίλυσης των δυο προβλημάτων

Η διαδικασία του προγραμματισμού της διαχείρισης των αεροσκαφών μιας αεροπορικής εταιρίας, δοθέντος ενός προγράμματος πτήσεων, αποτελείται ουσιαστικά από δύο σημαντικά βήματα : την ανάθεση αεροσκαφών σε πτήσεις (fleet assignment) και την δρομολόγηση των αεροσκαφών που αποτελούν το στόλο της αεροπορικής (Aircraft routing). Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το πρόβλημα της ανάθεσης αεροσκαφών σε πτήσεις αφορά την ανάθεση του σωστού τύπου αεροσκάφους σε κάθε πτήση του προγράμματος της αεροπορικής εταιρίας. Το πρόβλημα της δρομολόγησης των αεροσκαφών αφορά την δημιουργία της κατάλληλης ακολουθίας πτήσεων, την οποία θα εκτελεί κάθε αεροσκάφος κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου, ώστε να επέλθει το μέγιστο κέρδος.

Όπως γίνεται αντιληπτό πρόκειται για δύο αλληλένδετα προβλήματα, μιας και η λύση του ενός επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την λύση του άλλου. Συνήθως τα δύο αυτά προβλήματα λύνονται διαδοχικά. Πρώτα λύνεται το πρόβλημα ανάθεσης αεροσκαφών και στη συνέχεια το πρόβλημα δρομολόγησης τους, βασισμένο στη λύση του πρώτου. Ενώ αυτός ο τρόπος φαίνεται λογικός, δεν είναι σίγουρο ότι θα αποφέρει και το βέλτιστο αποτέλεσμα, μιας και η λύση του πρώτου προβλήματος περιορίζει την λύση του δεύτερου, έτσι ώστε αν δεν βρεθεί μια καλή ικανοποιητική λύση στο πρώτο πρόβλημα, θα είναι απίθανο να βρεθεί μια καλή λύση και στο δεύτερο πρόβλημα. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί κάποιες τεχνικές που ενσωματώνουν και τα δύο προβλήματα ώστε να επιτυγχάνεται οι υπό συνθήκες ταυτόχρονη λύση τους.

Παρακάτω θα γίνει η ανάλυση των δύο προβλημάτων ξεχωριστά, ενώ στη συνέχεια, θα αναφερθούν συνοπτικά κάποιες μέθοδοι που αντιμετωπίζουν ενιαία τα δύο προβλήματα, καθώς και ο τρόπος αντιμετώπισης που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία.

3.2 Το πρόβλημα ανάθεσης αεροσκαφών

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την επίλυση του παρόντος προβλήματος, αναζητείται η βέλτιστη ανάθεση τύπου αεροσκάφους σε κάθε πτήση που περιέχεται στο πρόγραμμα της αεροπορικής. Η διαφορά ανάμεσα σε διαφορετικού τύπου αεροσκάφη είναι ότι, με ένα μεγαλύτερο αεροσκάφος είναι δυνατή η μεταφορά περισσότερων επιβατών, άρα είναι και μεγαλύτερη η δυναμική πώλησης μεγαλύτερου αριθμού εισιτηρίων και επομένως μπορεί να προκύψει μεγαλύτερο κέρδος. Από την άλλη πλευρά όμως ένα μεγαλύτερο αεροσκάφος σημαίνει και μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος, δηλαδή μεγαλύτερο κόστος καυσίμων, περισσότερο πλήρωμα κτλ. Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτή η ανάγκη ένταξης του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών, σε ένα σύστημα βελτιστοποίησης που θα λαμβάνει υπόψη του τόσο την πρόβλεψη για την ζήτηση εισιτηρίων, αλλά και τους λειτουργικούς περιορισμούς της αεροπορικής.

Αν εξετασθεί καθαρά από την οικονομική του σκοπιά το πρόβλημα, χωρίς να ληφθεί υπόψη η αλληλένδετη σχέση που χαρακτηρίζει το σύνολο των προβλημάτων, με τα οποία έρχεται αντιμέτωπη μία αεροπορική, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η επίλυση του προβλήματος είναι απλώς η ανάθεση του καλύτερου, καταλληλότερου τύπου αεροσκάφους σε κάθε πτήση χωριστά. Μια τέτοια αντιμετώπιση θα δημιουργούσε αρκετά προβλήματα στην επίλυση των υπόλοιπων προβλημάτων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για παράδειγμα υιοθετώντας μια τέτοια λύση, μπορεί να σήμαινε πως κάποια αεροσκάφη θα έπρεπε να εκτελέσουν κάποιες πτήσεις χωρίς επιβάτες (deadheads), για να φτάσουν στον προορισμό από όπου θα αναχωρούσε η επόμενη πτήση του προγράμματος τους, πράγμα που θα σήμαινε τεράστια ανώφελα έξοδα. Παρατηρούμε δηλαδή πως κατ' αυτό τον τρόπο, επηρεάζεται και δυσχεραίνει το πρόβλημα δρομολόγησης των αεροσκαφών.

Είναι λοιπόν απαραίτητο, για να διευκολυνθεί και η επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης των αεροσκαφών, να συμπεριληφθούν κάποιοι περιορισμοί που να εξασφαλίζουν την αδιάκοπη ροή των πτήσεων που θα ανατεθούν σε κάθε αεροσκάφος, ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση απομονωμένων πτήσεων που η κάλυψη τους αποτελεί τεράστιο κόστος.

3.2.1 Μοντελοποίηση

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν δύο τρόποι μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών, ο ένας μέσω ενός χώρο χρονικού δικτύου ροής και ο άλλος μέσω ενός δικτύου συνδέσεων μεταξύ των διαφόρων επίγειων σταθμών. Το χωροχρονικό δίκτυο ροής ενέχει το στοιχείο της περιοδικότητας του προγράμματος πτήσεων, γι αυτόν το λόγο έχει κυκλική μορφή, μιας και επαναλαμβάνεται σε περιοδική βάση συνήθως ημερήσια ή εβδομαδιαία. Το δίκτυο συνδέσεων από την άλλη πλευρά είναι πολύ πιο αναλυτικό, μεγαλύτερης έκτασης και πολυπλοκότητας αλλά και πιο πρακτικό.

Το χωροχρονικό δίκτυο

Το χωροχρονικό δίκτυο έχει τα εξής συστατικά:

Κόμβοι: κάθε κόμβος αντιστοιχεί στη αναχώρηση ή άφιξη μιας πτήσης. Η θέση και το χρονικό σημείο στο οποίο έχει τοποθετηθεί ο κόμβος, αναπαριστά το τόπο αναχώρησης και την ώρα αναχώρησης της πτήσης. Αντίστοιχα ένας κόμβος μπορεί να αναπαριστά τον τόπο άφιξης και ώρα «ετοιμότητας» μιας πτήσης. Με την όρο «ώρα ετοιμότητας», εννοείται η χρονική στιγμή που το αεροσκάφος θα είναι έτοιμο για να εκτελέσει μια επόμενη πτήση, δηλαδή στην ώρα άφιξης προστίθεται ένα χρονικό διάστημα απαραίτητο για την προετοιμασία του αεροσκάφους και προκύπτει η χρονική στιγμή ετοιμότητας του αεροσκάφους. Κάθε κόμβος τοποθετείται με χρονική σειρά, σε κάθε σταθμό αναπαριστώντας το δίκτυο πτήσης κάθε αεροσκάφους.

Εναέρια Τόξα: σε συνδυασμό με τους κόμβους από τους οποίους αναχωρούν ή καταφθάνουν, αναπαριστούν τις πτήσεις που εμπεριέχονται στο πρόγραμμα της αεροπορικής.

Επίγεια Τόξα: συνδέουν διαδοχικούς κόμβους στο δίκτυο και αναπαριστούν επίγεια δραστηριότητα των αεροσκαφών όπως προετοιμασία ως την επόμενη πτήση, διανυκτέρευση σε κάποιον σταθμό κτλ.

Σε κάθε χωροχρονικό δίκτυο επιλέγεται μια συγκεκριμένη ώρα (π.χ. 05:00) από την οποία θεωρούμε ότι ξεκινά η αναπαράσταση των δραστηριοτήτων. Έτσι οι δραστηριότητες επαναλαμβάνονται σε κάθε περίοδο (συνήθως μίας ημέρας) από το σημείο αυτό και μετά.

Για την μαθηματική μοντελοποίηση του χώρο-χρονικού δικτύου ροής, έχουμε τις εξής μεταβλητές απόφασης:

X_i^f : που είναι ίση με 1 αν η πτήση i ανατίθεται στο αεροσκάφος f (εναέρια τόξα), ή ίσο με 0 στην αντίθετη περίπτωση.

C_i^f : το κόστος ανάθεσης της πτήσης I στο αεροσκάφος f

I : το σύνολο των πτήσεων

J : το σύνολο των επίγειων δραστηριοτήτων (επίγεια τόξα)

F : το σύνολο των αεροσκαφών

Y_i^f : η απεικόνιση των επίγειων τόξων

n : συμβολισμός των κόμβων

N : το σύνολο των κόμβων

$In(n)$: το σύνολο των αφιχθέντων πτήσεων στο κόμβο n

$Out(n)$: το σύνολο των αναχωρούντων πτήσεων από το κόμβο n

$Y_n^f -$ και $Y_n^f +$: τα επίγεια τόξα που εισέρχονται και εξέρχονται από το κόμβο n

$P(f)$: το σύνολο των πτήσεων, που πραγματοποιούνται μετά το σταθερό σημείο που αποτελεί την αρχή κάθε περιόδου στο δίκτυο.

$G(f)$: το σύνολο των επίγειων τόξων, που πραγματοποιούνται μετά το σταθερό σημείο που αποτελεί την αρχή κάθε περιόδου στο δίκτυο.

S_f : ο μέγιστος διαθέσιμος αριθμός αεροσκαφών

Έτσι έχουμε το εξής πρόβλημα βελτιστοποίησης:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{f \in F} C_i^f X_i^f \quad (1)$$

$$\sum_{f \in F} X_i^f = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in In(n)} X_i^f - \sum_{i \in Out(n)} X_i^f + Y_n^{f-} - Y_n^{f+} = 0, \quad \forall j \in N, \forall f \in F \quad (3)$$

$$\sum_{i \in P(f)} X_i^f + \sum_{j \in G(f)} Y_j^f \leq S_f, \quad \forall f \in F \quad (4)$$

$$X_i^f \in 0,1 \quad \forall i \in I, \forall f \in F$$

Στο προκύπτον πρόβλημα παρατηρείται ότι στην αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιείται το κόστος ανάθεσης των αεροσκαφών σε πτήσεις. Ο πρώτος (2) περιορισμός, ορίζει ότι κάθε πτήση θα καλύπτεται από ένα και μόνο αεροσκάφος μια φορά. Ο δεύτερος περιορισμός (3), εξασφαλίζει τη διατήρηση ροής πτήσεων σε κάθε κόμβο. Ο τρίτος περιορισμός (4) καθορίζει το μέγιστο αριθμό αεροσκαφών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την επίλυση του προβλήματος.

Το δίκτυο συνδέσεων

Στο δίκτυο συνδέσεων έχουμε τα εξής συστατικά:

Κόμβοι: κάθε κόμβος στο δίκτυο συμβολίζει μια πτήση από το πρόγραμμα πτήσεων της αεροπορικής. Η πτήση φυσικά χαρακτηρίζεται από τον τόπο αναχώρησης και άφιξης της καθώς και από τις αντίστοιχες ώρες αναχώρησης και άφιξης.

Τόξα: κάθε τόξο του δικτύου συμβολίζει την σύνδεση δύο πτήσεων, η οποία πραγματοποιείται από ένα συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφος.

Για την μαθηματική μοντελοποίηση του δικτύου συνδέσεων, έχουμε τις εξής μεταβλητές απόφασης:

Y_i^f : που είναι ίση με 1 αν η πτήση i καλύπτεται από το αεροσκάφος τύπου f , ή ίσο με 0 στην αντίθετη περίπτωση.

$X_{(ij)}^f$: που δείχνει αν η σύνδεση μεταξύ των κόμβων i και j γίνεται με αεροσκάφος τύπου f . Και αυτή η μεταβλητή παίρνει αντίστοιχα τις τιμές 0 και 1.

$C_{(ij)}^f$: είναι το κόστος σύνδεσης των κόμβων i και j με αεροσκάφος τύπου f .

d_i^f : είναι το κόστος πραγματοποίησης της πτήσης i από αεροσκάφος τύπου f .

F : το σύνολο των τύπων των αεροσκαφών.

K : το σύνολο των συνδέσεων.

I : το σύνολο των πτήσεων.

S_f : ο μέγιστος διαθέσιμος αριθμός αεροσκαφών τύπου f .

Όποτε η μοντελοποίηση έχει ως εξής:

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

$$\min \sum_{f \in F} \left(\sum_{(ij) \in K} C_{(ij)}^f X_{(ij)}^f + \sum_{i \in I} d_i^f Y_i^f \right) \quad (4)$$

$$\sum_{f \in F} Y_i^f = 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$Y_i^f = \sum_{j|(ji) \in K} X_{(ij)}^f = \sum_{j|(ij) \in K} X_{(ij)}^f \quad \forall i \in I, \forall f \in F \quad (6)$$

$$\sum_{ij \in K} X_{(ij)}^f + \sum_{i \in I} Y_i^f \leq S_f \quad \forall f \in F \quad (7)$$

$$X_{(ij)}^f \geq 0, Y_i^f \geq 0$$

Στην μοντελοποίηση αυτή, επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (4), που ουσιαστικά αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους ανάθεσης των αεροσκαφών σε πτήσεις και συνδέσεις μεταξύ πτήσεων. Ο πρώτος περιορισμός (5) ορίζει ότι κάθε πτήση θα καλύπτεται από ένα τύπο αεροσκάφους και μόνο μια φορά. Ο δεύτερος περιορισμός (6) αφορά την διατήρηση ροής όπως και στο προηγούμενο μοντέλο για κάθε κόμβο δηλαδή ότι διατηρείται η ροή μεταξύ πτήσεων. Ο τελευταίος περιορισμός (7), καθορίζει το μέγιστο αριθμό αεροσκαφών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την επίλυση του προβλήματος.

3.2.2. Εισαγωγή περιορισμών συντήρησης των αεροσκαφών

Όπως έχει προαναφερθεί, υπάρχει η ανάγκη συντήρησης των αεροσκαφών ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως ορίζουν οι κανονισμοί ασφαλούς πτήσης, αλλά και η ανάγκη επισκευής, στην περίπτωση μηχανικής βλάβης. Η δεύτερη περίπτωση της βλάβης ενός αεροσκάφους δεν λαμβάνεται συνήθως υπόψη κατά την μοντελοποίηση και επίλυση του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών, μιας και πρόκειται για μια μη προγραμματισμένη ενέργεια.

Για να συμπεριληφθεί το πρόβλημα της συντήρησης των αεροσκαφών, στην μοντελοποίηση του προβλήματος ανάθεσης, θα πρέπει να δοθεί μέσω της μοντελοποίησης με κάποιο τρόπο οι δυνατότητα (ένα χρονικό περιθώριο) για την

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

συντήρηση όλων ανεξάρτητα των αεροσκαφών του στόλου της αεροπορικής. Αυτό μπορεί να γίνει εισάγοντας ένα περιορισμό, που να ορίζει ότι ένας συγκεκριμένος αριθμός αεροσκαφών θα πρέπει να διανυκτερεύει σε σταθμούς όπου υπάρχει η δυνατότητα συντήρησης τους., μιας και η συντήρηση των αεροσκαφών γίνεται συνήθως βράδυ ώστε να παρενοχλείται στο ελάχιστο το ημερήσιο πρόγραμμα τους. Ένας τέτοιος περιορισμός θα μπορούσε να είναι ο εξής:

$$\sum x_{(ij)}^f \geq pc * Sf \quad , \quad \forall f \in F, \forall c$$

Όπου pc είναι το ποσοστό του συνόλου των αεροσκαφών τύπου f που διανυκτερεύουν σε κάποιο αεροδρόμιο, που θα πρέπει να μπουν στην διαδικασία συντήρησης τύπου c .

Ένας άλλος τρόπος ένταξης του προβλήματος συντήρησης στο πρόβλημα ανάθεσης των αεροσκαφών, είναι με την εισαγωγή στη λίστα των προγραμματισμένων πτήσεων, εικονικών πτήσεων που να ξεκινούν και να καταλήγουν στον ίδιο σταθμό, με διαφορά ώρας ίση με την απαιτούμενη για την συντήρηση του αεροσκάφους και ώρα εκκίνησης κάποια βολική (νυχτερινή δηλαδή), ώστε να μην διαταράσσεται το υπόλοιπο πρόγραμμα πτήσεων. Φυσικά τέτοιου είδους εικονικές πτήσεις θα πρέπει να ανατεθούν σε όλα τα αεροσκάφη, για να καλύπτεται η απαίτηση συντήρησης όλων ανεξαιρέτως των αεροσκαφών του στόλου.

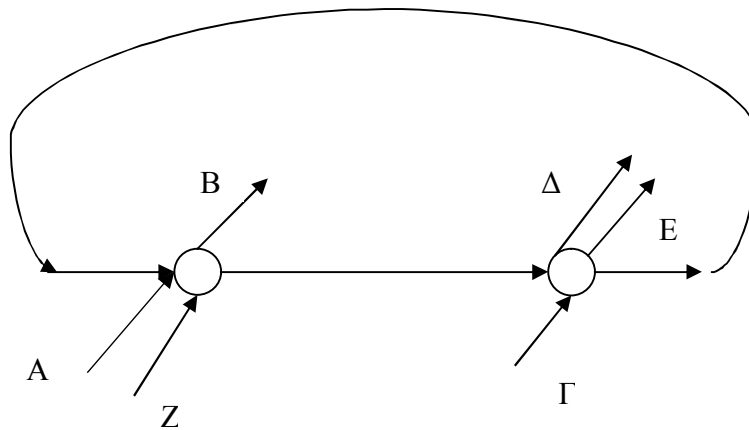
3.2.3 Μέθοδοι επίλυσης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες μέθοδοι επίλυσης των δυο τεχνικών μοντελοποίησης που παρουσιάστηκαν παραπάνω και αφορούν το πρόβλημα ανάθεσης των αεροσκαφών σε πτήσεις.

Χωροχρονικό δίκτυο ροής

Το πρόβλημα της ανάθεσης αεροσκαφών σε πτήσεις, χαρακτηρίζεται από το μεγάλο όγκο των δεδομένων που θα πρέπει να επεξεργασθούν για να δώσουν την βέλτιστη εφικτή λύση. Γι αυτό το λόγω κρίνεται σκόπιμη μια εκ των προτέρων επεξεργασία των δεδομένων, ώστε να μειωθεί ο χρόνος και η πολυπλοκότητα επεξεργασίας αυτών.

Ειδικά για το χωροχρονικό δίκτυο ροής, που μοντελοποιήθηκε παραπάνω, έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι μείωσης του μεγέθους του. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η συνένωση των κόμβων. Μιας και στο παρών δίκτυο ροής, αυτό που πραγματικά ενδιαφέρει ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός διατήρησης ροής των πτήσεων σε κάθε κόμβο, είναι η άφιξη κάθε πτήσης να πραγματοποιείται πριν από την αναχώρηση της. Είναι προφανές ότι δεν είναι απαραίτητη η πληροφορία του πότε ακριβώς φτάνει ή αναχωρεί μια πτήση, αλλά η σειρά με την οποία συμβαίνουν τα γεγονότα αυτά. Έτσι μπορεί να γίνει η συνένωση κάποιων κόμβων που αφορούν παρόμοια γεγονότα. Για παράδειγμα στο σχήμα 2.2.α του προηγούμενου κεφαλαίου, μετά την κατάλληλη συνένωση των κόμβων, δυο μόνο κόμβοι θα είναι απαραίτητοι για την αναπαράσταση του δικτύου, ένας για τις πτήσεις Z, A και B και ένας για τις πτήσεις Γ, Δ και E έτσι προκύπτει το δίκτυο του σχήματος 3.2.α. Εφόσον κάθε κόμβος διέπεται από κάποιες εξισώσεις, μειώνοντας τον αριθμό των κόμβων σημαίνει πως μειώνεται και ο όγκος του προβλήματος, με άμεσο αποτέλεσμα την γρηγορότερη και απλούστερη επίλυση του.



Σχήμα 3.2.α: Απλουστευμένο χωροχρονικό δίκτυο

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι περικοπής κόμβων από το δίκτυο ροής, όμως αυτοί βασίζονται κυρίως σε ευρετικές μεθόδους, που ταιριάζουν ξεχωριστά σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τις εξέχουσες συνθήκες αυτής. Για παράδειγμα, αν μια αεροπορική εταιρία έχει επιλέξει το πρότυπο ενός κεντρικού σταθμού με διάφορους περιφερειακούς

σταθμούς σε ακτινική απόσταση από τον κεντρικό (πρότυπο Hub and Spoke), τότε όπως είναι κατανοητό οι περισσότερες πτήσεις γίνονται μεταξύ του κεντρικού σταθμού και των διάφορων περιφερειακών και όχι μεταξύ των περιφερειακών, έτσι μπορούν να γίνουν επιπρόσθετες περικοπές στο δίκτυο απλουστεύοντας το.

Η συνολική διαδικασία επίλυσης του χώρο-χρονικού μοντέλου όπως συνήθως προτείνεται από την βιβλιογραφία είναι η εξής:

1. Μείωση του μεγέθους του προβλήματος όπως περιγράφηκε παραπάνω.
2. Επίλυση του προβλήματος με γραμμικό προγραμματισμό.
3. Χρήση ενός ευρετικού αλγόριθμου για την βελτιστοποίηση μεταβλητών.
4. Απλούστευση εκ νέου του προκύπτοντος προβλήματος.
5. Επίλυση του προκύπτοντος προβλήματος πολλαπλών πόρων.

Μιας και η παραπάνω διαδικασία περιλαμβάνει την χρήση ενός ευρετικού αλγορίθμου, αναμενόμενο είναι να μην προκύψει βέλτιστη λύση, αλλά μερικώς βέλτιστη. Παρόλα αυτά όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία η λύση που προκύπτει είναι πολύ κοντά στην βέλτιστη.

Δίκτυο συνδέσεων

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως. Το δίκτυο συνδέσεων είναι πολύ πιο αναλυτικό και άρα και μεγαλύτερο σε έκταση και σε χρόνο επεξεργασίας, σε σύγκριση με το χωροχρονικό δίκτυο ροής, αλλά από την άλλη πολύ πιο ρεαλιστικό. Για να επιλυθεί επομένως το δίκτυο συνδέσεων, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποιες τεχνικές, που θα διευκολύνουν την επίλυση του περιορίζοντας την μεγάλη έκταση του. Αντίθετα με την προηγούμενη ενότητα όπου χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές μείωσης των κόμβων που αποτελούν το χωροχρονικό δίκτυο, εδώ θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνικές αποσύνθεσης του προβλήματος σε υπό-προβλήματα. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό, όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία, είναι χρησιμοποιώντας χαλάρωση Lagrange, μετατρέποντας τον περιορισμό που θέλει την κάθε πτήση να καλύπτεται από ένα και μόνο αεροσκάφος, έτσι ώστε κάθε πτήση να ανατίθεται το πολύ μια φορά από ένα αεροσκάφος τύπου f . Έτσι προκύπτει ο εξής περιορισμός:

$$y_i^f = 1, \quad \forall i \in I, \forall f \in F$$

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

ενώ στην αντικειμενική συνάρτηση επισυνάπτεται και ο πολλαπλασιαστής Lagrange:

$$\sum \lambda_i (1 - \sum y_i^f), \quad \forall i \in I, \forall f \in F$$

Έτσι κατά αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα αποσυντίθεται κατά τύπο αεροσκάφους, δημιουργώντας υπό-προβλήματα, που η επίλυση τους έγκειται στην επίλυση απλουστευμένων δικτύων ροής ελαχίστου κόστους. Για την επίλυση του προκύπτοντος δυϊκού προβλήματος πρέπει να βρεθούν οι κατάλληλοι πολλαπλασιαστές Lagrange (λ_i), αυτό επιτυγχάνεται με επαναληπτική διαδικασία, όπου σε κάθε επανάληψη μετατρέπεται οι τιμή των λ_i σύμφωνα με κάποιον κανόνα.

Μετά το πέρας του παραπάνω αλγορίθμου, οι περισσότερες πτήσεις έχουν ανατεθεί σε αεροσκάφη. Οι εναπομένουσες πτήσεις ανατίθενται με την βοήθεια ενός αλγορίθμου απληστίας, που έχει δηλαδή ως στόχο την μέγιστη αύξηση του κέρδους.

Το πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι είναι εφικτός, κατά ένα μέρος ο έλεγχος του χρόνου επίλυσης του προβλήματος, καθορίζοντας τον αριθμό των επαναλήψεων που θα πραγματοποιηθούν για τον προσδιορισμό των λ_i , με κόστος βέβαια στην περίπτωση του μειωμένου αριθμού επαναλήψεων, την χαμηλή ποιότητα της λύσης. Έτσι θα πρέπει να καθοριστεί ένα όριο στον αριθμό των επαναλήψεων, ανάλογο της ποιότητας της λύσης (ως προς την καθολικά βέλτιστη), που επιθυμείται να επιτευχθεί.

3.3. Το πρόβλημα δρομολόγησης αεροσκαφών

Το πρόβλημα δρομολόγησης αεροσκαφών (Aircraft Routing), είναι το πρόβλημα δημιουργίας κατάλληλης ακολουθίας πτήσεων, για κάθε αεροσκάφος, που θα πρέπει να την εκτελεί κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου (συνήθως ημέρα ή εβδομάδα).

Οι ακολουθίες πτήσεων, που ουσιαστικά αποτελούν τα δρομολόγια των αεροσκαφών, θα πρέπει να ικανοποιούν διάφορους περιορισμούς. Οι βασικότεροι περιορισμοί του προβλήματος δρομολόγησης αεροσκαφών είναι οι εξής:

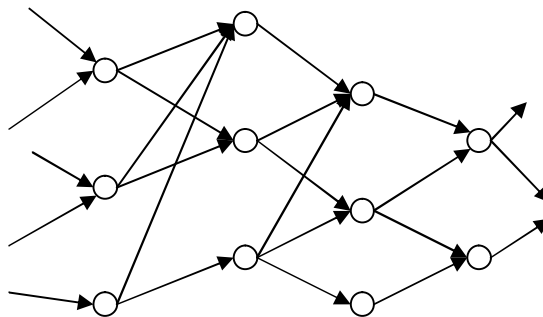
- (α) η κάλυψη των πτήσεων, εννοώντας ότι κάθε πτήση θα πρέπει να εκτελείται από ένα μόνο αεροσκάφος και μια μόνο φορά ανά χρονική περίοδο,

- (β) διατήρηση της ροής όσο αφορά τις πτήσεις, δηλαδή σε κάθε σταθμό η άφιξη μιας πτήσης προηγείται της αναχώρησης της επόμενης πτήσης, ενός συγκεκριμένου αεροσκάφους,
- (γ) περιορισμοί συντήρησης των αεροσκαφών,
- (δ) διατήρηση ισορροπίας ανάμεσα στην χρήση των αεροσκαφών έτσι ώστε όλα τα αεροσκάφη να χρησιμοποιούνται σχεδόν εξίσου.

Ένας από τους παραπάνω περιορισμούς είναι αυτός της υποχρεωτικής συντήρησης των αεροσκαφών ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως ορίζουν οι κανόνες ασφαλούς πτήσης των αεροσκαφών. Όπως έχει προαναφερθεί η συντήρηση των αεροσκαφών κυμαίνεται από μια απλή διάγνωση και συντήρηση του αεροσκάφους, με μικρή χρονική διάρκεια, ως την επισκευή κάποιας μηχανικής βλάβης που μπορεί να κρατήσει αρκετές ώρες ή ακόμα και μέρες. Κατά την μοντελοποίηση συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη η περίπτωση της μηχανικής βλάβης παρά μόνο της συντήρησης. Ο τρόπος με τον οποίο μοντελοποιείται αυτή η δυνατότητα συντήρησης για όλα τα αεροσκάφη είναι παρόμοιος με αυτόν που αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2.2. .

3.3.1. Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση του προβλήματος μπορεί να γίνει με την βοήθεια ενός δικτύου ροής, όπου τα τόξα συμβολίζουν την σύνδεση μεταξύ των πτήσεων και οι κόμβοι τις πτήσεις σχήμα (3.3.α).



Σχήμα 3.3.α: Αναπαράσταση τμήματος ενός δικτύου ροής πτήσεων

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

Έτσι προκύπτουν οι εξής μεταβλητές απόφασης:

X_j^i : που είναι ίση με 1 αν η πτήση i συνδέεται με την πτήση j και ίση με 0 στην αντίθετη περίπτωση.

V_j^i : είναι το κέρδος που προκύπτει αν η πτήση i ακολουθείται από την πτήση j .

A : είναι το σύνολο των πτήσεων

S : ένα υποσύνολο των πτήσεων.

$h(i), t(i)$: η αρχή και το πέρας του κάθε τόξου

Έτσι έχουμε το εξής μαθηματικό μοντέλο:

$$\max \sum_{(i,j) \in C} V_j^i X_j^i \quad (8)$$

$$\sum_{j: h(i)=t(j), j \neq i} X_j^i = 1, \forall i \in A \quad (9)$$

$$\sum_{i: h(i)=t(j), i \neq j} X_j^i = 1, \forall j \in A \quad (10)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \bar{S} \text{ και } h(i)=t(j)} X_j^i \geq 1, \forall S \subset A \quad (11)$$

για παράδειγμα, $2 \leq |S| \leq |A| - 2$

ενώ ισχύει για το σύνολο C ότι $C = \{i, j \in A \mid h(i)=t(j), i \neq j\}$

Με την μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (8), επιδιώκεται η μεγιστοποίηση του προκύπτοντος κέρδους. Οι περιορισμοί (9) και (10), ορίζουν ότι κάθε πτήση θα πρέπει να ακολουθείται και να προηγείται μιας μόνο πτήσης, ικανοποιώντας έτσι την απαίτηση για διατήρηση της ροής των πτήσεων. Ο περιορισμός (11) έγκειται στην αποτροπή δημιουργίας εσωτερικών βρόχων στο δίκτυο, έτσι ορίζει ότι τουλάχιστον μία πτήση του υποσυνόλου S του A , θα συνδέεται με το συμπληρωματικό \bar{S} του S , έτσι εξασφαλίζεται κατά ένα τρόπο ότι τα αεροσκάφη θα εκτελέσουν πολλών ειδών πτήσεις και η χρήση τους θα είναι ισορροπημένη.

Το παραπάνω πρόβλημα είναι παρόμοιο με μικρές διαφοροποιήσεις κατά την μοντελοποίηση, με το ασύμμετρο πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή (ATSP asymmetric traveling salesman problem), οπότε είναι πιθανό μέθοδοι επίλυσης του ATSP να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε αυτή τη περίπτωση, ώστε να προκύψουν καλές

και γρήγορες λύσεις. Προσοχή όμως θα πρέπει να δοθεί στο εξής θέμα, το πρόβλημα της δρομολόγησης αεροσκαφών είναι πιο δύσκολο από το ATSP, μιας και περιλαμβάνει περιορισμούς που αναφέρονται στο σύνολο των δρομολογίων.

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι μοντελοποίησης του προβλήματος που έχουν αναφερθεί στην διεθνή βιβλιογραφία, ένας από αυτούς, είναι παρόμοιος, με τον τρόπο που χρησιμοποιήθηκε και για το βέλτιστο ταίριασμα των πληρωμάτων (παρ. 1.2.4), και έγκειται στην επίλυση ενός καθορισμένου προβλήματος διαχωρισμού. Με την μέθοδο αυτή, μέσω ενός αλγορίθμου παράγονται όλα τα εφικτά δρομολόγια και τα πιο ελκυστικά από αυτά, με βάση την μείωση του κόστους που αποφέρουν, κατανέμονται στα διάφορα αεροσκάφη ως πιθανά δρομολόγια. Στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη οι κατάλληλοι περιορισμοί που αφορούν για παράδειγμα την συντήρηση των αεροσκαφών και την εξισορρόπηση της χρήσης τους και καταλήγει τελικά ο αλγόριθμος στα βέλτιστα ή σχεδόν βέλτιστα δρομολόγια που θα ανατεθούν στα αεροσκάφη.

3.4 Συνδυαστικές μέθοδοι επίλυσης των δύο προβλημάτων

Μέχρι πρόσφατα τα προβλήματα ανάθεσης αεροσκαφών σε πτήσεις και δρομολόγησης των αεροσκαφών, επιλύονταν ξεχωριστά με διαδοχικό τρόπο, η μεγάλη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα δύο προβλήματα καθώς και ο βαθμός στον οποίο η επίλυση του ενός επηρεάζει την επίλυση του άλλου, οδήγησε στην δημιουργία συνδυαστικών μεθόδων που επιλύουν ταυτόχρονα τα δύο προβλήματα.

Μια τέτοια συνδυαστική μέθοδος στηρίζεται στην δημιουργία σειράς πτήσεων (flight strings), που είναι ουσιαστικά μια ακολουθία πτήσεων που ξεκινά και καταλήγει σε ίδια ή και διαφορετικά αεροδρόμια, τα οποία περιλαμβάνουν και σταθμό συντήρησης αεροσκαφών στο δυναμικό τους. Τα ζητούμενο είναι να επιλέγουν έτσι οι σειρές-ακολουθίες των πτήσεων, ώστε να εξασφαλίζεται ότι κάθε πτήση εμπεριέχεται σε μια και μόνο ακολουθία. Μιας και η κάθε ακολουθία εξασφαλίζει την δυνατότητα συντήρησης για το αεροσκάφος που την πραγματοποιεί, σημαίνει και πως στο σύνολο τους οι ακολουθίες εξασφαλίζουν σε όλα τα αεροσκάφη του στόλου της αεροπορικής εταιρίας την απαραίτητη τακτική συντήρησης τους.

Τα πρόβλημα λοιπόν έγκειται στην παραγωγή όλων των πιθανών ακολουθιών, λαμβανομένου υπόψη όλους τους υπάρχοντες περιορισμούς ώστε να ανακύψουν μόνο οι

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

εφικτοί συνδυασμοί πτήσεων. Το μέγεθος του προγράμματος πτήσεων, το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αρκετά μεγάλο, κάνει το πρόβλημα ακόμα πιο δύσκολο, μιας και ο αριθμός των πιθανών συνδυασμών είναι τεράστιος.

Συνήθως σε τέτοιου είδους προβλήματα χρησιμοποιούνται παραλλαγές της μεθόδου κλάδου φράγματος και διαχωρισμός του προβλήματος σε υπό-προβλήματα που η μοντελοποίηση τους είναι παρόμοια με την μοντελοποίηση του προβλήματος δρομολόγησης αεροσκαφών που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3.

Στην παρούσα εργασία η επίλυση των δύο προβλημάτων γίνεται με συνδυαστικό τρόπο, με την δημιουργία μέσω κατάλληλου αλγορίθμου μιας πρώτης τυχαίας αλλά εφικτής λύσης, όσο αφορά τις ακολουθίες των πτήσεων. Στη συνέχεια με την χρήση ενός ευρετικού αλγορίθμου γίνεται η ανάθεση των ακολουθιών σε αεροσκάφη και τέλος στη φάση της βελτιστοποίησης, μέσω ενός αλγορίθμου τύπου GRASP, ελέγχονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί πτήσεων που αποτελούν τις ακολουθίες στο σύνολο τους και με επαναληπτικό τρόπο επιτυγχάνεται η μείωση του κόστους σε κάθε επανάληψη. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της συγκεκριμένης μεθόδου.

4. Μια συνδυαστική μέθοδος επίλυσης του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών

4.1 Εισαγωγή

Το περιβάλλον μιας αεροπορικής εταιρίας είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικό. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται εκ μέρους της διοίκησης απαιτούν μεγάλη ευαισθησία και βαθιά γνώση του χώρου, της αγοράς και των κινήσεων του ανταγωνισμού. Πολλές φορές οι αποφάσεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο, η πολυπλοκότητα όμως των προβλημάτων και η σημασία του αποτελέσματος, που έχει σοβαρό αντίκτυπο στα κέρδη της εταιρίας, καθιστούν το έργο αυτό ιδιαίτερα δύσκολο. Γι αυτόν ακριβώς το λόγο, με την βοήθεια των μεθόδων της επιχειρησιακής έρευνας, γίνεται μια προσπάθεια επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων με τεχνικές που μπορούν να παράγουν αξιόπιστες λύσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παρακάτω περιγράφεται μια αυτοματοποιημένη μέθοδος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών σε πτήσεις, σε συνδυασμό με την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης των αεροσκαφών .

4.2 Η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος

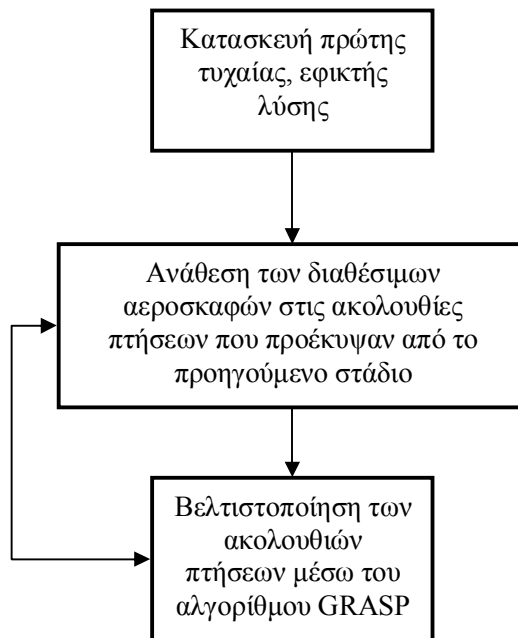
Όπως αναφέρθηκε και στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου, στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια διαδικασία επίλυσης του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών μιας αεροπορικής εταιρίας, με βάση το δίκτυο και το πρόγραμμα των πτήσεων που έχει σχεδιαστεί. Το πρόγραμμα των πτήσεων περιλαμβάνει την πόλη από την οποία θα αναχωρεί η πτήση, την ώρα αναχώρησης της, την πόλη όπου θα αφιχθεί η πτήση και την ώρα άφιξης της. Οι ώρες στις οποίες μπορεί να συμβεί η άφιξη ή η αναχώρηση ενός αεροσκάφους είναι συγκεκριμένες σε κάθε αεροδρόμιο και για κάθε αεροπορική εταιρία δίνονται από κάθε αεροδρόμιο συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα «χρονικά παράθυρα», στα οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν αφίξεις ή αναχωρήσεις των αεροσκαφών της συγκεκριμένης εταιρίας. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτός ο περιορισμός, είναι για τον καλύτερο προγραμματισμό, από το προσωπικό του αεροδρομίου, της διανομής των πυλών (gates) σε κάθε πτήση του προγράμματος, του

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

αεροδρομίου πλέον. Ο περιορισμός αυτός σε συνδυασμό με το πολιτική που ακολουθεί το τμήμα Marketing της εταιρίας, καθορίζει τις ώρες πραγματοποίησης των πτήσεων.

Με βάση τα παραπάνω η μέθοδος βελτιστοποίησης που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο και περιλαμβάνει τρεις φάσεις-στάδια, θεωρεί δεδομένη στην αρχή της διαδικασίας πραγματοποίησης της, μια αρχική χρονική τοποθέτηση των πτήσεων στην διάρκεια της μέρας. Έτσι στο πρώτο της στάδιο με βάση έναν κατάλληλο αλγόριθμο κατασκευάζει εφικτές ακολουθίες πτήσεων που θα αποτελέσουν την βάση για την παραπέρα βελτιστοποίηση. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάζεται μια «τυχαία», αλλά εφικτή πρώτη λύση. Υπάρχει βεβαίως και η δυνατότητα, η πρώτη λύση να είναι και το πρόγραμμα πτήσεων που χρησιμοποιούσε η αεροπορική, ως εκείνη τη στιγμή. Στην συνέχεια (δεύτερη φάση), οι ακολουθίες πτήσεων που κατασκευάστηκαν με τον παραπάνω τρόπο ανατίθενται μέσω ενός αλγορίθμου με βέλτιστο τρόπο στα αεροσκάφη που αποτελούν τον στόλο της αεροπορικής εταιρίας, ακολουθώντας μια επαναληπτική διαδικασία, που ως σκοπό έχει την μεγιστοποίηση του κέρδους. Τέλος στην Τρίτη φάση βελτιστοποίησης του προβλήματος, μια παραλλαγή του αλγορίθμου GRASP, τέτοια ώστε να ταιριάζει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος καλύτερα στο πρόβλημα, χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι βέλτιστες ή σχεδόν βέλτιστες ακολουθίες πτήσεων ή αλλιώς δρομολόγια που θα ανατεθούν στα αεροσκάφη της εταιρίας. Τα δύο τελευταία στάδια μπορούν να πραγματοποιηθούν επαναληπτικά, προκειμένου να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής της όλης διαδικασίας, ενώ στην συνέχεια του κεφαλαίου αναλύεται διεξοδικά κάθε στάδιο αυτής.



4.3 Περιορισμοί

Το παρών πρόβλημα θα πρέπει να ανταποκρίνεται και κατά την μοντελοποίηση, αλλά και κατά την λύση του στην πραγματικότητα. Σκοπός είναι, ο περιορισμός του κόστους με αποτέλεσμα την αύξηση του κέρδους. Κάθε παραγόμενο πρόγραμμα δρομολογίων (ακολουθιών) πτήσεων θα πρέπει για να είναι εφικτό να μην παραβιάζει τους παρακάτω περιορισμούς:

1. Κάθε πτήση, κάθε δρομολογίου πρέπει να ξεκινά από το σταθμό όπου έχει αφιχθεί η αμέσως προηγούμενη πτήση, του ίδιου δρομολογίου. (Διατήρηση ροής πτήσεων)
2. Ένας ελάχιστος χρόνος προετοιμασίας θα πρέπει να δίνεται σε κάθε αεροσκάφος προτού ξεκινήσει την επόμενη πτήση του.
3. Κάθε σταθμός, στο τέλος της περιόδου για την οποία έχει παραχθεί το πρόγραμμα (συνήθως μια ημέρα ή μια εβδομάδα), θα πρέπει να διαθέτει τον απαραίτητο αριθμό αεροσκαφών ώστε να είναι εφικτή η επανάληψη του προγράμματος.
4. Θα πρέπει να τηρούνται οι περιορισμοί του αεροδρομίου όσο αφορά τις ώρες πτήσεων.

5. Κανένα αεροσκάφος που είναι προγραμματισμένο για συντήρηση δεν θα ανατίθεται σε πτήσεις.

Ο πρώτος περιορισμός αφορά την διατήρηση της ροής των πτήσεων, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ουσιαστικά ο περιορισμός αυτός αναφέρει ότι δεν επιτρέπεται μετακίνηση άδειου, χωρίς επιβάτες, αεροσκάφους από τον ένα σταθμό στον άλλο για να εξυπηρετηθεί η αμέσως επόμενη πτήση. Ο δεύτερος περιορισμός χρησιμοποιείται ώστε το παραγόμενο μοντέλο να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, μιας και μετά από κάθε πτήση τα αεροσκάφη χρειάζονται κάποιο χρόνο ανεφοδιασμού και προετοιμασίας, έως την ώρα που θα είναι έτοιμα για την επόμενη τους πτήση. Ο τρίτος περιορισμός είναι απαραίτητος για να είναι εφικτή η επανάληψη του προγράμματος για πολλές χρονικές περιόδους. Ο τέταρτος περιορισμός αφορά τους περιορισμούς που θέτει η διοίκηση κάθε αεροδρομίου, ώστε να εξασφαλίζεται η δημιουργία ενός εφικτού προγράμματος προσγειώσεων, απογειώσεων, στάθμευσης και μεταφόρτωσης στα αεροδρόμια. Ο πέμπτος περιορισμός έχει να κάνει με την υποχρεωτική μηχανική συντήρηση των αεροσκαφών, ώστε να τηρούνται οι κανονισμοί ασφαλούς πτήσης.

Για να αξιολογηθούν τα παραγόμενα από τον αλγόριθμο δρομολόγια θα πρέπει να είναι γνωστά τα κόστη της κάθε πτήσης. Το κόστος κάθε δρομολογίου είναι το άθροισμα του κόστους των πτήσεων που περιέχονται σε αυτό, ενώ το συνολικό άθροισμα του κόστους κάθε δρομολογίου αποτελεί το συνολικό κόστος λειτουργίας του προγράμματος πτήσεων.

4.4 Μοντελοποίηση

Για την μοντελοποίηση του προβλήματος, υποθέτουμε πως έχουμε ένα πρόβλημα διανομής πόρων. Η μοντελοποίηση γίνεται με βάση τους περιορισμούς 1, 2 και 3 που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο. Ο περιορισμός 4 καλύπτεται θεωρώντας δεδομένη την χρονική τοποθέτηση των πτήσεων, ενώ ο περιορισμός 5 καλύπτεται με τις θεωρώντας εικονικές πτήσεις για την συντήρηση των αεροσκαφών. Οι μεταβλητές απόφασης είναι οι εξής:

Δείκτες:

i = Δείκτης πτήσης

j = Δείκτης δρομολογίου

f = δείκτης αεροσκάφους

s = δείκτης επίγειου σταθμού-αεροδρομίου

Σύνολα:

I = σύνολο των πτήσεων

J = σύνολο των εφικτών δρομολογίων

F = σύνολο διαθέσιμων αεροσκαφών

S = σύνολο επίγειων σταθμών-αεροδρομίων

Παράμετροι:

$a_j^i = 1$ αν η πτήση i περιέχεται στο δρομολόγιο j , $a_j^i = 0$ σε διαφορετική περίπτωση

$b_j^s = 1$ αν το δρομολόγιο j τερματίζει στο σταθμό s , $b_j^s = 0$ σε διαφορετική περίπτωση

C_j^f = το κόστος ανάθεσης του αεροσκάφους f στο δρομολόγιο j

d_s = αριθμός απαιτούμενων αεροσκαφών που θα τερματίσουν στον σταθμό s .

Μεταβλητές απόφασης:

X_j^f : ανάθεση του αεροσκάφους f στο δρομολόγιο j

Έτσι το μαθηματικό μοντέλο, του προβλήματος ελαχιστοποίησης του κόστους είναι το εξής:

$$\min \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} C_j^f X_j^f \quad (12)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{j \in J} a_j^i X_j^f = 1, \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{j \in J} b_j^s X_j^f = d_s, \quad \forall s \in S \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} X_j^f = 1, \forall f \in F \quad (15)$$

$$X_j^f \in \{0,1\}, \forall j \in J, f \in F \quad (16)$$

Τα σύνολα I , F και S προέρχονται από το πρόγραμμα και το δίκτυο πτήσεων που έχει σχεδιάσει η αεροπορική. Το κόστος C_j^f δίδεται ως δεδομένο από την αεροπορική και μπορεί να περιέχει το κόστος λειτουργίας ανά ώρα πτήσης του αεροσκάφους, το κόστος επίγειας λειτουργίας του αεροσκάφους, το κόστος προετοιμασίας και στελέχωσης του, με το κατάλληλο πλήρωμα, για την εκτέλεση των συγκεκριμένων πτήσεων που περιέχονται στο δρομολόγιο. Το σύνολο J περιέχει όλα τα δυνατά δρομολόγια που μπορούν να προκύψουν από τον αλγόριθμο. Οι παράμετροι a , b παίρνουν τιμές εξετάζοντας όλα τα αεροσκάφη f του συνόλου F . Η μεταβλητή απόφασης X_j^f παίρνει τιμές, εξετάζοντας όλα τα δρομολόγια του συνόλου J και αεροσκάφη του συνόλου F , που προκύπτουν από κάθε λύση.

Στο παραπάνω μοντέλο, η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί το κόστος ανάθεσης των διαθέσιμων αεροσκαφών στα παραγόμενα εφικτά δρομολόγια. Ο πρώτος περιορισμός (13), αφορά την κάλυψη όλων των πτήσεων του συνόλου I που περιέχονται στο σύνολο J των δρομολογίων, από το σύνολο F των αεροσκαφών, μια και μόνο φορά. Ο δεύτερος περιορισμός (14), ορίζει ότι όλοι οι σταθμοί του συνόλου S , θα έχουν στη διάθεση τον απαραίτητο αριθμό αεροσκαφών του συνόλου F , έτσι ώστε να είναι εφικτή η επανάληψη του προγράμματος κατά την επόμενη περίοδο. Ο τρίτος περιορισμός (15), αφορά ένα λογικό περιορισμό χρησιμοποίησης, στο παραγόμενο πρόγραμμα, κάθε αεροσκάφους του συνόλου F σε ένα και μόνο δρομολόγιο του συνόλου J . Τέλος ο τέταρτος περιορισμός, ορίζει ότι η μεταβλητή απόφασης X_j^f είναι διακριτή και παίρνει τις τιμές 0 και 1 ανάλογα την περίπτωση.

Το παραπάνω μαθηματικό μοντέλο είναι πολύ δύσκολο να λυθεί πρακτικά, μιας και ο αριθμός των παραγόμενων δρομολογίων αυξάνει εκθετικά με την αύξηση των πτήσεων που περιέχονται σε αυτά. Άλλωστε ο αριθμός που αναπαριστά το σύνολο των πτήσεων στις περισσότερες περιπτώσεις αεροπορικών, φτάνει να είναι τριψήφιος ανά ημέρα λειτουργίας, δημιουργώντας έτσι, ένα μεγάλης κλίμακας πρόβλημα

βελτιστοποίησης. Για τον λόγο αυτό στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια ευρετική μέθοδος αυτόματης επίλυσης του παραπάνω προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών.

4.5 Η κατασκευή της πρώτης λύσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την δημιουργία μιας πρώτης τυχαίας λύσης, θεωρείται δεδομένη μια αρχική χρονική τοποθέτηση των πτήσεων στην διάρκεια της μέρας. Με τον τρόπο αυτό η λύση που προκύπτει υπακούει στους περιορισμούς που θέτει το κάθε αεροδρόμιο καθώς και το τμήμα Marketing της εταιρίας, αλλά και λόγω της διασποράς που έχουν συνήθως οι ώρες των πτήσεων από και προς κάθε προορισμό, η προκύπτουσα λύση υπακούει και στον περιορισμό (11) που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.3 και θέλει όλα τα αεροσκάφη να εκτελούν πτήσεις με πολλαπλούς προορισμούς, χωρίς να δημιουργούνται εσωτερικοί βρόχοι στο πρόγραμμα των πτήσεων των αεροσκαφών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα δεδομένα που αποτελούν την είσοδο του αλγορίθμου κατασκευής πρώτης εφικτής λύσης περιέχουν τα εξής χαρακτηριστικά στοιχεία των πτήσεων:

- Αριθμός πτήσης (μοναδικός για κάθε πτήση)
- Τόπος αναχώρησης (κωδικοποιημένος)
- Τόπος προορισμού (κωδικοποιημένος)
- Ώρα αναχώρησης
- Ώρα άφιξης

Στη συνέχεια τα δεδομένα εισόδου πρέπει να επεξεργαστούν κατάλληλα ώστε να προκύψει ένα σύνολο ακολουθιών – δρομολογίων, που θα αποτελούν την πρώτη εφικτή λύση που θα υπακούει στους περιορισμούς 1 έως 4 που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.3. Για τον περιορισμό που αφορά την συντήρηση των αεροσκαφών, μπορεί να υποθεθεί, είτε ότι η μηχανική συντήρηση των αεροσκαφών γίνεται πάντα κατά την διάρκεια της νυχτερινής στάθμευσης και ο κατάλληλος μηχανικός έλεγχος

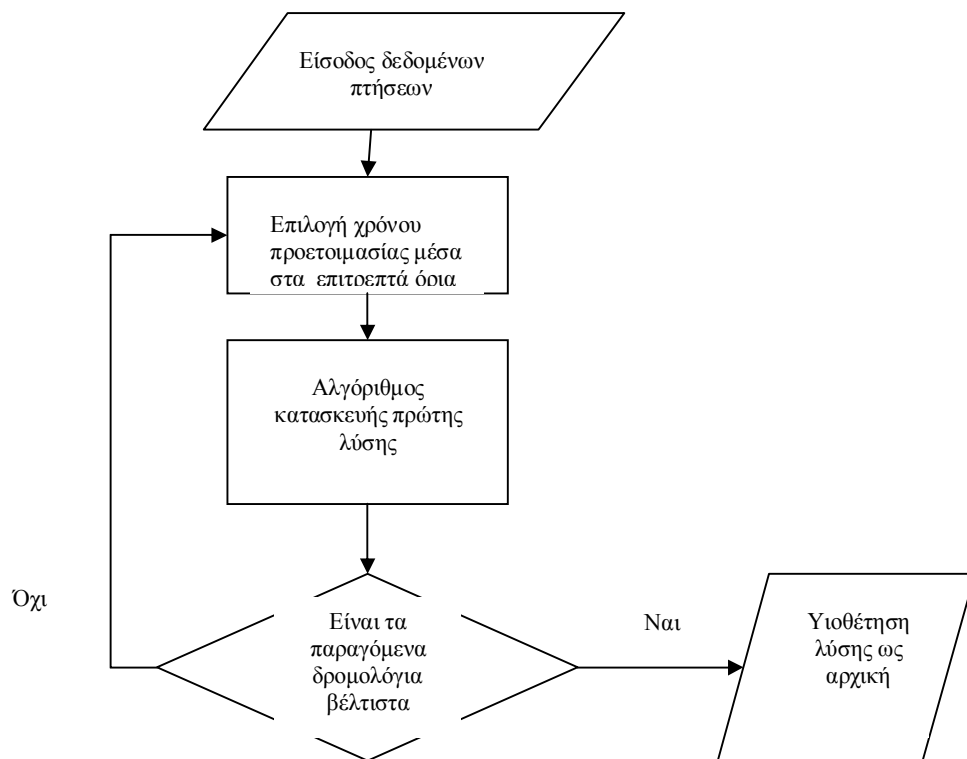
πραγματοποιείται κατά την διάρκεια προετοιμασίας του αεροσκάφους για την επόμενη του πτήση, είτε προσθέτοντας στο πρόγραμμα των πτήσεων εικονικές πτήσεις που έχουν ίδιο σταθμό άφιξης και αναχώρησης και διάρκεια όση κρίνεται απαραίτητη για την συντήρηση του αεροσκάφους. Αυτές οι εικονικές πτήσεις θα πρέπει φυσικά να ανατίθενται εξίσου σε όλα τα αεροσκάφη του ενεργού στόλου της αεροπορικής.

Για να ικανοποιηθεί ο πρώτος περιορισμός (13) του μοντέλου που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.4, που αφορά την κάλυψη όλων των πτήσεων που περιέχονται στο σύνολο των δρομολογίων από το σύνολο των αεροσκαφών, μια και μόνο φορά δημιουργείται μια λίστα με όλες τις πτήσεις του προγράμματος της αεροπορικής που πρέπει να καλυφθούν. Κάθε φορά που ανατίθεται μια πτήση σε κάποιο δρομολόγιο, αυτή διαγράφεται από τη λίστα η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου η λίστα μείνει κενή.

Για να ικανοποιηθεί ο περιορισμός διατήρησης ροής των πτήσεων, κάθε φορά που μια πτήση προστίθεται σε ένα δρομολόγιο, ελέγχεται αν ο σταθμός αναχώρησης της πτήσης αυτής είναι ίδιος με το σταθμό άφιξης της αμέσως προηγούμενης πτήσης που περιέχεται στο δρομολόγιο αυτό. Αν ο έλεγχος αυτός είναι θετικός, τότε η πτήση προστίθεται στο δρομολόγιο, αλλιώς παραμένει στην λίστα των πτήσεων που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί και επιλέγεται μια άλλη πτήση από τη λίστα που να ικανοποιεί τον περιορισμό αυτό.

Ο ελάχιστος απαραίτητος χρόνος που απαιτείται για την προετοιμασία κάθε αεροσκάφους, πριν αυτό πραγματοποιήσει την επόμενη πτήση του, δίδεται δεδομένος από την αεροπορική εταιρία, είτε προκύπτει από τον αλγόριθμο της πρώτης φάσης που παρουσιάζεται σε αυτή τη παράγραφο, για τη κατασκευή της πρώτης λύσης. Για να προκύψει από τον αλγόριθμο αυτό το χρονικό διάστημα, τίθεται ένα ανώτερο και ένα κατώτερο όριο διαστήματος μέσα στο οποίο είναι εφικτό να γίνει η προετοιμασία (από την στιγμή στάθμευσης έως τη στιγμή επανεκκίνησης του αεροσκάφους), και με επαναληπτική χρήση του αλγορίθμου προκύπτει ο χρόνος εκείνος που προσφέρει την καλύτερη ανάθεση των πτήσεων στα δρομολόγια (σχήμα 3.3.α). Αυτή η διαδικασία γίνεται, έτσι ώστε η πρώτη λύση που θα προκύψει να είναι όσο το δυνατό καλύτερης ποιότητας. Εννοώντας καλύτερη ανάθεση πτήσεων σε δρομολόγια σε αυτή την φάση,

εννοείται η καλύτερα ισορροπημένη διανομή των πτήσεων στα αεροσκάφη, ενώ ταυτόχρονα θα καλύπτονται όλες οι πτήσεις.



Σχήμα 4.5.α: Διαδικασία εύρεσης βέλτιστου χρόνου προετοιμασίας

Με βάση την υλοποίηση των παραπάνω περιορισμών, κατά την λειτουργία του ο αλγόριθμος της πρώτης φάσης επίλυσης του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών που επινοήθηκε και παρουσιάζεται στην παράγραφο αυτή εκτελεί την εξής διαδικασία. Αρχικά δημιουργείται η λίστα με όλες της πτήσεις που πρέπει να εκτελεστούν. Στη συνέχεια επιλέγεται ένα δρομολόγιο που ουσιαστικά αντιπροσωπεύει ένα σκάφος που θα το εκτελέσει. Από την λίστα των διαθέσιμων πτήσεων επιλέγεται η νωρίτερη πρωινή πτήση (γίνεται η αποδοχή ότι η περίοδος επανάληψης του προγράμματος είναι μια μέρα). Αυτή η πτήση αποτελεί την πρώτη πτήση του δρομολογίου. Στην συνέχεια με την βοήθεια μιας συνάρτησης (Nextdest), που έχει κατασκευαστεί επιλέγονται από την λίστα όλες οι πτήσεις που έχουν ως σταθμό αναχώρησης το σταθμό άφιξης της προηγούμενης πτήσης (διατήρηση ροής των

πτήσεων). Από τις πτήσεις που προέκυψαν από τη συνάρτηση *Nextdest*, επιλέγεται αυτή που είναι πιο κοντά στο χρόνο άφιξης της προηγούμενης πτήσης, αυξημένου κατά το βέλτιστο χρόνο προετοιμασίας του αεροσκάφους. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου συμπληρωθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός πτήσεων ή ξεπεραστεί μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας (κάπου μετά τα μεσάνυχτα συνήθως). Ο αλγόριθμος συνεχίζεται έως ότου συμπληρωθούν όλα τα δρομολόγια των αεροσκαφών.

Για την καλύτερη απόδοση του αλγορίθμου, η συνάρτηση *Nextdest* περιέχει έναν αλγόριθμο αύξουσας ταξινόμησης των πτήσεων (με βάση την ώρα αναχώρησης), που προκύπτουν ως υποψήφιες επόμενες πτήσεις ενός δρομολογίου, ώστε η διαδικασία αναζήτησης της βέλτιστης επόμενης πτήσης να είναι απλούστερη και γρηγορότερη.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο ψευδοκώδικας της πρώτης φάσης.

Διαδικασία Κατασκευή πρώτης λύσης

Εισαγωγή: Χαρακτηριστικά πτήσεων

Εξαγωγή: Αρχική λύση

Αρχή

Θέσε A =συνολικός αριθμός διαθέσιμων δρομολογίων

Θέσε F =συνολικός αριθμός πτήσεων

Θέσε P = μέγιστος αριθμός πτήσεων σε κάθε δρομολόγιο

Για $f=1$ έως $f= F$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Εισήγαγε πτήσεις στη λίστα διαθέσιμων πτήσεων

Για $a=1$ έως $a= A$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Επέλεξε δρομολόγιο a

Για $p=1$ έως $p= P$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $f=1$ έως $f= F$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Βρες την νωρίτερη πτήση από τη λίστα

Βάλε την πτήση αυτή στο δρομολόγιο a

Τέλος

Για $p=2$ έως $p= P$ με βήμα 1

Αν (ώρα άφιξης παρούσας πτήσης< αργότερη επιτρεπόμενη ώρα αναχωρήσεων)

Εκτέλεσε τη συνάρτηση **Nextdest**

Θέσε M τον συνολικό αριθμό των πτήσεων που προέκυψαν

Για $\mu=1$ έως $\mu= M$ με βήμα 1

Βρες την κατάλληλη πτήση βάση περιορισμών (για ώρα αναχώρησης)

Βγάλε την πτήση αυτή από τη λίστα διαθέσιμων πτήσεων

Βάλε την πτήση αυτή ως επόμενη στο δρομολόγιο

Τέλος

Τέλος

Εξαγωγή Εφικτά Δρομολόγια πτήσεων

Τέλος

Αν κατά τη παραπάνω διαδικασία παραμείνουν κάποιες πτήσεις που δεν έχουν ανατεθεί, τότε μεταβάλλονται κάποιοι παράμετροι, όπως ο χρόνος προετοιμασίας μεταξύ πτήσεων και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Αν παρόλα αυτά δεν βρεθεί λύση τότε θα πρέπει να επανεξεταστούν οι ώρες πτήσεων ή να δοθούν προτεραιότητες στις πτήσεις που ενδιαφέρουν πιο πολύ το τμήμα Marketing της εταιρίας.

Συγχρόνως με το παραπάνω αλγόριθμο, αναπτύχθηκε και μια παραλλαγή αυτού όπου γίνεται η προσπάθεια ανάθεσης των πτήσεων σε όλα τα δρομολόγια ταυτόχρονα, σε αντίθεση με την παραπάνω διαδικασία όπου κάθε δρομολόγιο συμπληρώνεται αφού συμπληρωθεί το προηγούμενο. Και οι δύο αλγόριθμοι εκτελέστηκαν στην πράξη στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, αλλά η πρώτη η διαδικασία επέφερε καλύτερα αποτελέσματα και για αυτό και παρουσιάστηκε αναλυτικότερα.

4.6 Βελτίωση της πρώτης λύσης

Η ποιότητα της πρώτης λύσης, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, έχει μεγάλη σημασία, μιας και αποτελώντας το σημείο εκκίνησης για την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης, επηρεάζει τόσο την ποιότητα αυτής αλλά και το χρόνο εύρεσης της. Όσο πιο κοντά στην βέλτιστη πραγματική λύση βρίσκεται η αρχική λύση, τόσο πιο γρήγορα θα συγκλίνει η διαδικασία και τόσο περισσότερο μειώνεται ο κίνδυνος να «παγιδευτεί» ο αλγόριθμος σε κάποιο τοπικό αντί για ολικό ελάχιστο, και να παρουσιαστεί αυτό ως τελική λύση του προβλήματος.

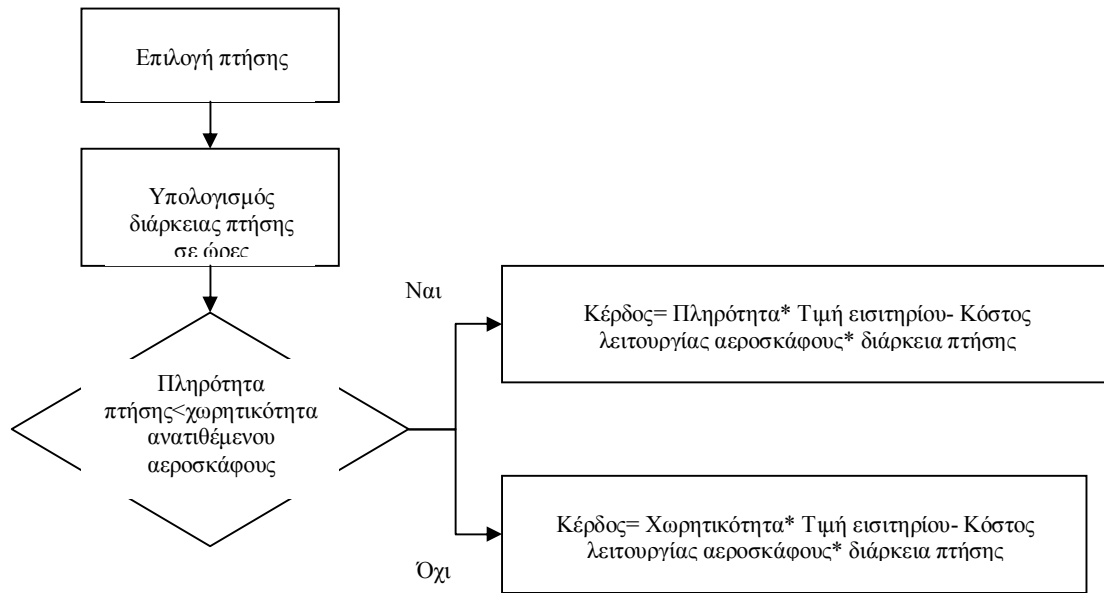
Κατανοώντας το παραπάνω πρόβλημα, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης της ανάθεσης των αεροσκαφών, έχοντας σαν βάση τα δρομολόγια που προέκυψαν από την διαδικασία της πρώτης φάσης (παρ. 4.5). Κατά τον αλγόριθμο αυτό μένουν αναλλοίωτα τα δρομολόγια ως έχουν από την πρώτη φάση και αναζητείται η βέλτιστη ανάθεση των αεροσκαφών, στα δρομολόγια αυτά έτσι ώστε να αυξηθεί το συνολικό κέρδος.

Για τον υπολογισμό του κέρδους σε κάθε περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

- Κόστος λειτουργίας αεροσκάφους ανά τύπο και ανά ώρα πτήσης
- Χωρητικότητα αεροσκάφους ανά τύπο
- Μέση πληρότητα αεροσκάφους ανά πτήση
- Τιμή εισιτηρίου επιβίβασης ανά πτήση, για κάθε επιβάτη

Τα παραπάνω δεδομένα είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του κέρδους ή κόστους (αρνητικό κέρδος) που επιφέρει κάθε πτήση ανάλογα με το αεροσκάφος που χρησιμοποιείται για να την καλύψει. Το κόστος λειτουργίας εξαρτάται από τον τύπο του αεροσκάφους και περιλαμβάνει τα έξοδα μηχανικής λειτουργίας του αεροσκάφους καύσιμα κ.τ.λ., καθώς και τα έξοδα που απαιτούνται για την επάνδρωση του και την προετοιμασία του (καθαρισμός, catering κτλ.). Το κόστος αυτό μετατρέπεται σε μέσο κόστος ανά ώρα λειτουργίας του αεροσκάφους, δηλ, ανά ώρα πτήσης. Οι ώρες πτήσεων κατά την μοντελοποίηση αυτή περιλαμβάνουν όχι μόνο το χρόνο που το αεροσκάφος βρίσκεται στον αέρα, την καθαρή ώρα πτήσης δηλαδή, αλλά και το χρόνο που κατά μέσο όρο απαιτείται για την τροχοδρόμηση και στάθμευση του αεροσκάφους. Ο χρόνος πτήσης δηλαδή είναι ο χρόνος που απαιτείται από πύλη σε πύλη αεροδρομίου (block time). Η χωρητικότητα του αεροσκάφους εκφράζεται από τον αριθμό των διαθέσιμων επιβατικών θέσεων που παρέχει ο συγκεκριμένος τύπος αεροσκάφους. Η μέση πληρότητα ανά πτήση εκφράζει τον αριθμό των επιβατών που μεταφέρονται κατά μέσο σε κάθε πτήση. Η πληροφορία αυτή μπορεί να προκύψει από ιστορικά δεδομένα της αεροπορικής εταιρίας που αφορούν την κίνηση πελατών της, αν και προτείνεται για την καλύτερη ανταπόκριση του παρόντος μοντέλου στην πραγματικότητα να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης της κίνησης επιβατών (π.χ. με την χρήση νευρωνικών δικτύων). Τέλος η τιμή του εισιτηρίου, όπως έχει οριστεί από το εμπορικό τμήμα της εταιρίας, χαρακτηρίζεται από τον τόπο αναχώρησης και άφιξης.

Για υπολογισθεί το κέρδος που αποφέρει η κάθε πτήση, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία που ενσωματώνεται στον αλγόριθμο αυτής αλλά και της επόμενης φάσης.



Το συνολικό κέρδος κάθε δρομολογίου είναι το συνολικό άθροισμα του κέρδους κάθε πτήσης που το αποτελεί, ενώ το συνολικό κέρδος του προγράμματος πτήσεων είναι το συνολικό άθροισμα του κέρδους όλων των δρομολογίων. Έτσι για να υπολογιστεί το βέλτιστο κόστος με καθορισμένα δρομολόγια, δοκιμάζονται από τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί διαθέσιμου τύπου αεροσκάφους-δρομολογίου ώστε να προκύψει εκείνη η ανάθεση αεροσκαφών που έχει το μεγαλύτερο κέρδος. Για να επιτευχθεί η εξέταση όλων των δυνατών συνδυασμών, αφού ανατεθούν αρχικά με τυχαίο τρόπο τα αεροσκάφη στα δρομολόγια, επιλέγονται στη συνέχεια ζεύγη δρομολογίων στα οποία τελείται ανταλλαγή των αεροσκαφών που τους έχουν ανατεθεί. Αν η ανταλλαγή αεροσκαφών έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση του κέρδους τότε η αλλαγή παραμένει, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ανατίθενται στα δρομολόγια τα αρχικά τους αεροσκάφη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου ελεγχθούν όλα τα πιθανά ζεύγη δρομολογίων.

Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η ποιότητα της πρώτης λύσης στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, έτσι ώστε να συνεχιστεί η διαδικασία βελτιστοποίησης ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών της αεροπορικής εταιρίας, με την εύρεση της τελικής λύσης κατά την τρίτη φάση όπως περιγράφεται αυτή στην επόμενη παράγραφο.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο ψευδοκώδικας της δεύτερης φάσης της διαδικασίας βελτιστοποίησης του προβλήματος.

Διαδικασία Βελτιστοποίηση πρώτης λύσης

Εισαγωγή: Δεδομένα πτήσεις, δεδομένα αεροσκαφών

Εξαγωγή: Βελτιωμένη αρχική λύση

Αρχή

Θέσε A = συνολικός αριθμός διαθέσιμων δρομολογίων

Θέσε P = μέγιστος αριθμός πτήσεων σε κάθε δρομολόγιο

Θέσε F = συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών

Θέσε K = συνολικό κέρδος προγράμματος πτήσεων

Για $f=1$ έως $f=F$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $\alpha=1$ έως $\alpha=A$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

 Ανέθεσε στο δρομολόγιο α το αεροσκάφος f

Για $\alpha=1$ έως $\alpha=A$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Εκτέλεσε Υπολογισμό κέρδους δρομολογίου α

Θέσε k = κέρδος δρομολογίου α

Θέσε $K = K + k$

Για $\alpha=1$ έως $\alpha=A$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $\beta=1$ έως $\beta=A$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Θέσε k' = κέρδος δρομολογίου α

Θέσε λ = κέρδος δρομολογίου β

Εκτέλεσε ανταλλαγή ανατιθέμενων αεροσκαφών

Εκτέλεσε Υπολογισμό κέρδους δρομολογίου α

Θέσε k'' = κέρδος δρομολογίου α

Εκτέλεσε Υπολογισμό κέρδους δρομολογίου β

Θέσε λ' = κέρδος δρομολογίου β

Αν $(k' + \lambda' \leq k + \lambda)$

 Αποθήκευσε την αλλαγή αεροσκαφών

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Εξαγωγή Εφικτά Δρομολόγια πτήσεων με βέλτιστη ανάθεση αεροσκαφών σε αυτά

Τέλος

4.7 Βελτιστοποίηση της αρχικής λύσης μέσω του αλγορίθμου GRASP

Στο τελικό στάδιο της μεθόδου πραγματοποιείται μια παραλλαγή του αλγορίθμου GRASP, τέτοια ώστε να ταιριάζει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος καλύτερα στο παρόν πρόβλημα, χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι βέλτιστες ή σχεδόν βέλτιστες ακολουθίες πτήσεων ή αλλιώς δρομολόγια, που θα ανατεθούν στα αεροσκάφη της εταιρίας. Για την καλύτερη κατανόηση του αλγορίθμου GRASP γίνεται μια ανάλυση της λειτουργίας και των παραγόντων που τον επηρεάζουν, στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

4.7.1 Η μέθοδος GRASP

Η μέθοδος GRASP (Greedy Randomized adaptive Search Procedure δηλ. αλγόριθμος άπληστης τυχαίας προσαρμοστικής αναζήτησης) είναι μια μεθευρετική μέθοδος για προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου λαμβάνουν χώρα ουσιαστικά δύο φάσεις, η κατασκευή λύσης και η τοπική αναζήτηση. Πιο αναλυτικά κατά την διάρκεια της φάσης κατασκευής της λύσης, κατασκευάζεται μια εφικτή λύση που να υπακούει σε όλους τους περιορισμούς του προβλήματος, μέσω μιας άπληστης αξιολόγησης όλων των δυνατών λύσεων. Η λύση αυτή συγκρίνεται με όλες τις γειτονικές της, κατά την διάρκεια της δεύτερης φάσης της τοπικής αναζήτησης και οι καλύτερες εφικτές λύσεις αποθηκεύονται σε μια περιορισμένη λίστα, από πού τυχαία θα προκύψει η επόμενη κατασκευασθείς λύση για την επόμενη επανάληψη.

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία του αλγορίθμου GRASP, θεωρούμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης. Έστω ότι δίνεται ένα πεπερασμένο σύνολο $E = \{1, 2, \dots, n\}$, ένα σύνολο δυνατών λύσεων $A \subseteq 2^E$ και την αντικειμενική συνάρτηση $f : 2^E \rightarrow \mathbb{R}$. Στην περίπτωση ελαχιστοποίησης αναζητούμε την βέλτιστη λύση $x^* \in A$, τέτοια ώστε $f(x^*) \leq f(x)$, για κάθε $x \in A$, ή για το πρόβλημα μεγιστοποίησης την βέλτιστη λύση $x^* \in A$ τέτοια ώστε $f(x^*) \geq f(x)$, για κάθε $x \in A$. Για παράδειγμα στο πρόβλημα δρομολόγησης αεροσκαφών το πεπερασμένο σύνολο E είναι το σύνολο όλων των συνδέσεων μεταξύ των πτήσεων, η αντικειμενική συνάρτηση $f(x)$, είναι η συνάρτηση του συνολικού κόστους σύνδεσης των πτήσεων και A είναι το εφικτό υποσύνολο του E με βάση τους περιορισμούς.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο αλγόριθμος GRASP, έχει δύο κύριες φάσεις, την κατασκευή λύσης και την τοπική αναζήτηση. Στο σχήμα (4.7.α) φαίνεται ο συνολικός ψευδοκώδικας του GRASP που εκτελείται για έναν μέγιστο αριθμό επαναλήψεων έστω N και έχει ως εισαγωγή δεδομένων μια πρώτη τυχαία λύση, ενώ στο σχήμα (4.7.β), παρουσιάζεται ο ψευδοκώδικας της φάσης κατασκευής της λύσης. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου κατασκευής της λύσης εξετάζονται μόνο τα καλύτερα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή λύσης, αυτό είναι και το άπληστο κομμάτι της αναζήτησης GRASP. Το τυχαίο κομμάτι του αλγορίθμου έγκειται στην κατασκευή μιας περιορισμένης λίστας, που περιέχει όλα τα στοιχεία που έχουν κριθεί ως κατάλληλα, δηλαδή μειώνουν το κόστος, για να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή λύσης. Ο αλγόριθμός επιλέγει τυχαία κάποια από τα στοιχεία που περιέχονται στην περιορισμένη λίστα και τα χρησιμοποιεί για να εξάγει μια ψευδοτυχαία λύση σε κάθε επανάληψη του.

Οι ψευδοτυχαίες λύσεις που εξάγονται από τον αλγόριθμο δεν είναι απαραίτητα βέλτιστες. Η φάση της τοπικής αναζήτησης βελτιώνει κάθε φορά την προηγούμενη λύση μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Σε κάθε επανάληψη πραγματοποιείται μια αναζήτηση ανάμεσα στις γειτονικές λύσεις της προηγούμενης λύσης και οι καλύτερες αποθηκεύονται στην περιορισμένη λίστα υποψηφίων λύσεων RCL (Random Candidate List). Η τοπική αναζήτηση σταματά, όταν πλέον δεν βρίσκονται καλύτερες λύσεις στην περιοχή της υπάρχουσας λύσης ή όταν ξεπεραστεί ένας καθορισμένος αριθμός επαναλήψεων.

Διαδικασία GRASP (N, πρώτη τυχαία λύση)

1. Διάβασε τα δεδομένα εισαγωγής
2. **Για** k=1 εώς N **εκτέλεσε:**
3. Λύση ← Άπληστη τυχαία κατασκευή (πρώτη φάση ή πρώτη λύση)
4. Λύση ← Τοπική αναζήτηση (δεύτερη φάση)
5. Αντικατέστησε την υπάρχουσα λύση με την βελτιωμένη
6. **Τέλος** βρόχου
7. **Εξαγωγή** Βέλτιστη λύση
8. **Τέλος** GRASP
- 9.

Σχήμα (4.7.α): Ψευδοκώδικας του αλγορίθμου GRASP

Διαδικασία Άπληστης τυχαίας κατασκευής (αρχική λύση)

1. Λύση ← Αρχική
2. Εκτίμησε το κόστος των υποψήφιων στοιχείων
3. **Ενώ** η λύση δεν είναι ολοκληρωμένη **εκτέλεσε:**
4. Δημιούργησε περιορισμένη λίστα RCL
5. Διάλεξε τυχαία ένα στοιχείο από την λίστα
6. Λύση ← Πρόσθεσε τα στοιχεία
7. Εκτίμησε το κόστος
8. **Τέλος** βρόχου
9. **Εξαγωγή:** Λύση
10. **Τέλος** Άπληστης τυχαίας κατασκευής

Σχήμα (4.7.β): Ψευδοκώδικας της φάσης κατασκευής λύσης

Διαδικασία Τοπικής αναζήτησης (παρούσα λύση)

1. Ενώ η λύση δεν είναι τοπικά βέλτιστη **εκτέλεσε:**
2. Βρες λύση τέτοια ώστε $x' \in \beta$ όπου β των σύνολο των γειτονικών λύσεων, ώστε $f(x') < f(\text{υπάρχουσα λύση})$
3. Λύση $\leftarrow x'$
4. Εξαγωγή: Λύση
5. **Τέλος** Τοπικής αναζήτησης

Σχήμα (4.7.γ): Ψευδοκώδικας της φάσης τοπικής αναζήτησης

Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας τοπικής αναζήτησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως, την τεχνική αναζήτησης των γειτονικών λύσεων, την δομή των γειτονικών λύσεων, την ταχύτητα υπολογισμού του κόστους μέσω της αντικειμενικής και φυσικά από την ποιότητα της αρχικής λύσης. Λέγοντας ποιότητα κάποιας λύσης, εννοείται το πόσο κοντά βρίσκεται η λύση αυτή στην πραγματικά βέλτιστη. Η ποιότητα της αρχικής λύσης, αλλά και η ποιότητα της λύσης που προκύπτει σε κάθε επανάληψη από την φάση της κατασκευής, παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα και την ταχύτητα με την οποία θα παραχθεί η τελική λύση. Ο τρόπος αναζήτησης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με την αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης από την καλύτερη γειτονική της, είτε με την πρώτη γειτονική λύση που θα έχει κόστος μικρότερο από την υπάρχουσα. Όπως είναι αναμενόμενο ο δεύτερος τρόπος αποδεικνύεται πολύ πιο γρήγορος στην πράξη, αφού απαιτεί λιγότερους υπολογισμούς, ενώ ταυτόχρονα δεν οδηγείται ο αλγόριθμος τόσο γρήγορα σε κάποιο τοπικό ελάχιστο, όπου και θα τερματιστεί. Παρόλα αυτά έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι και οι δύο τρόποι οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα.

Ο αλγόριθμος GRASP μπορεί να προσαρμοστεί κατάλληλα ανάλογα με τα επιθυμητά αποτέλεσμα που ζητείται να προκύψουν. Δυο είναι οι βασικοί παράμετροι που μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να επηρεαστεί η ταχύτητα και η ποιότητα της προκύπτουσας τελικής λύσης. Η μια παράμετρος είναι ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων που θα πραγματοποιήσει ο αλγόριθμος και η άλλη είναι η ποιότητα των στοιχείων που θα εισέρχονται στην περιορισμένη λίστα RCL.

Ανάλογα με τον αριθμό των επαναλήψεων που θα εκτελεστούν, που ουσιαστικά αποτελεί και το κριτήριο λήξης της διαδικασίας, στην περίπτωση που δεν έχει βρεθεί κάποιο ολικό ή τοπικό βέλτιστο πριν συμπληρωθεί ο αριθμός αυτός των επαναλήψεων, καθορίζεται η ποιότητα της τελικής λύσης, δηλαδή όσο περισσότερες επαναλήψεις πραγματοποιηθούν τόσο πιο καλή, θα είναι και η τελική λύση. Η αναλογία αυτή δεν είναι γραμμική μιας και η βελτίωση που συμβαίνει σε κάθε επανάληψη, είναι κατά μέσο όρο μικρότερη της προηγούμενης. Όμως γραμμική είναι η σχέση των επαναλήψεων με το χρόνο περάτωσης της διαδικασίας, μιας και κατά μέσο όρο σε κάθε επανάληψη απαιτούνται οι ίδιοι υπολογισμοί και άρα και ο ίδιος χρόνος επεξεργασίας. Έτσι τελικά συμπεραίνεται ότι ο χρόνος έως την περάτωση του αλγορίθμου, κατά την επεξεργασία του, είναι πολλαπλάσιος των επαναλήψεων που έχουν καθοριστεί.

Ο αριθμός των στοιχείων που εισέρχονται στην περιορισμένη λίστα RCL, μπορεί να καθοριστεί με δύο τρόπους, είτε ποσοτικά είτε ποιοτικά. Ποσοτικά, καθορίζοντας ένα μέγιστο αριθμό στοιχείων, έστω ψ που θα μπορούν να γίνουν δεκτά στη λίστα, έτσι τα καλύτερα ψ στοιχεία θα εισέρχονται στη λίστα. Ποιοτικά, καθορίζοντας την απόκλιση που θα γίνεται επιτρεπτή από την βέλτιστη κάθε φορά λύση, έτσι μπορεί να καθοριστεί ένας βαθμός α , όπου $\alpha \in [0,1]$ και αν θεωρηθεί ότι $\kappa(\epsilon)$ είναι το κόστος του στοιχείου ϵ και $\max\kappa(\epsilon)$, $\min\kappa(\epsilon)$ το μέγιστο και ελάχιστο αντίστοιχα κόστος που προκύπτει από τα στοιχεία που είναι υποψήφια για εισαγωγή (δηλαδή υποψήφιας εφικτές λύσεις), τότε το διάστημα: $(\min\kappa(\epsilon), \min\kappa(\epsilon) + \min\alpha[\max\kappa(\epsilon) - \min\kappa(\epsilon)])$, καθορίζει την ποιότητα ουσιαστικά των λύσεων που εισέρχονται στη λίστα. Αν $\alpha=0$, τότε γίνεται αντιληπτό ότι μόνο η καλύτερη λύση θα εισαχθεί στην λίστα, καθιστώντας έτσι καθαρά άπληστο τον αλγόριθμο, ενώ αν $\alpha=1$, όλες οι εφικτές λύσεις θα εισαχθούν στη λίστα, αυξάνοντας έτσι το μέτρο τυχαιότητας του αλγορίθμου.

Ο βαθμός α είναι, όπως έγινε αντιληπτό και παραπάνω πολύ σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα και την ταχύτητα εύρεσης της τελικής λύσης. Αν θεωρηθεί ότι $\alpha=0$ τότε ο αλγόριθμος θα παράγει το ίδιο αποτέλεσμα κάθε φορά αφού θα «κολλήσει» σε κάποιο τοπικό ελάχιστο, μιας και οι πολύ κοντινές λύσεις στην υπάρχουσα, μετά την πρώτη επανάληψη, θα είναι χειρότερες από αυτήν. Όσο το α παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 0, τόσο περισσότερες λύσεις που αποκλίνουν από την τοπικά βέλτιστη μπορούν να εισαχθούν στη λίστα, αποτρέποντας σε μεγαλύτερο βαθμό

το «κόλλημα» σε κάποιο τοπικό ελάχιστο και αυξάνοντας πιθανότατα την ποιότητα της τελικής λύσης.

Η πράξη έχει δείξει πως ο βαθμός α θα πρέπει να παίρνει μεγάλη τιμή γύρω στο 0,8. Αυτό δικαιολογείται ως εξής, όταν το α παίρνει μεγάλες τιμές η τυχαιότητα, δηλαδή η διασπορά των λύσεων αυξάνει και με αυτό τον τρόπο μπορεί η τελική λύση που θα υιοθετηθεί στα τελικά στάδια του αλγορίθμου να απέχει αρκετά από την πραγματική τοπική η ολική βέλτιστη λύση. Αντίστοιχα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αν επιλεγεί η τιμή $\alpha=0$ υπάρχει ο κίνδυνος λήξης του αλγορίθμου στο πρώτο τοπικό ελάχιστο που θα βρει. Κατάλληλες δοκιμές που έχουν γίνει και υπάρχουν στην βιβλιογραφία, έχουν αποδείξει ότι στα περισσότερα είδη προβλημάτων βελτιστοποίησης, η τιμή του α πρέπει να βρίσκεται κοντά στο 0,8.

Ένας άλλος παράγοντας που οδηγεί στην επιλογή του βαθμού α κοντά στο 0,8, είναι φυσικά και η ταχύτητα του αλγορίθμου, η χρονική διάρκεια δηλαδή από την στιγμή έναρξης έως τη στιγμή περάτωσης του. Αν επιλεγεί βαθμός α κοντά στο 1 τότε αυξάνεται ο αριθμός των υποψηφίων λύσεων που εισέρχονται στην λίστα άρα απαιτείται μεγαλύτερη μνήμη και περισσότερες πράξεις, άρα και περισσότερος χρόνος επεξεργασίας. Αντιθέτως οριοθετώντας το βαθμό α κοντά στο 0, οι υποψήφιες λύσεις σε κάθε επανάληψη είναι λιγότερες και ο χρόνος επεξεργασίας μικρότερος.

Γίνεται αντιληπτή λοιπόν, η ανάγκη για σωστή επιλογή του βαθμού α ανάλογα με το πρόβλημα και τις συνθήκες επίλυσης (αν επιθυμείται δηλαδή άμεση, γρήγορη επίλυση ή όχι), έτσι ώστε να εξισορροπηθεί κατάλληλα, η ποιότητα της τελικής λύσης με το χρόνο εξεύρεσης της. Με βάση αυτή την ευαισθησία που ενέχεται στην οριοθέτηση του βαθμού α , έχουν προταθεί, και αναφέρονται στην σχετική βιβλιογραφία, τεχνικές όπου ο βαθμός α προσδιορίζεται αυτόματα κατά την διάρκεια επεξεργασίας του αλγορίθμου, ανάλογα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε κάθε επανάληψη, έτσι ώστε να υπάρχει βελτιωμένο τελικό αποτέλεσμα, όσο αφορά την ποιότητα και την ταχύτητα.

4.7.2 Ο προσαρμοσμένος GRASP για την βελτίωση της αρχικής λύσης

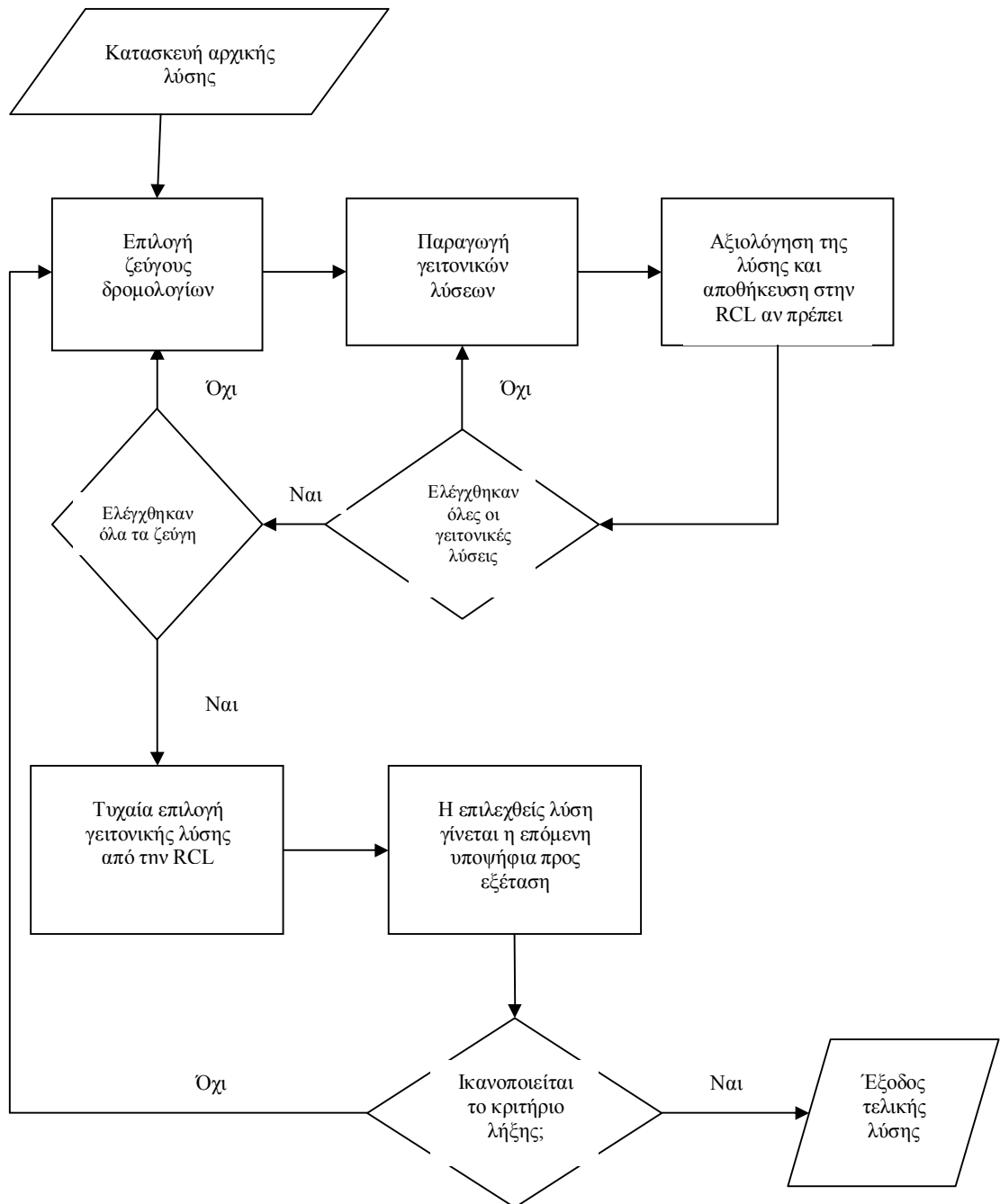
Για να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος GRASP κατάλληλα, για την βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών μιας αεροπορικής εταιρίας, θα πρέπει να τροποποιηθεί, έτσι ώστε να ταιριάζει καλύτερα στην φύση του προβλήματος.

Έχοντας σαν δεδομένο τις ακολουθίες των πτήσεων και την ανάθεση τους σε αεροσκάφη που προέκυψαν στην δεύτερη φάση της παρούσας μεθοδολογίας, η ευρετική έκδοση του αλγόριθμου GRASP, που χρησιμοποιείται, λειτουργεί ως εξής, ξεκινώντας από την αρχική λύση, σε κάθε επανάληψη του, αναζητά τις κατάλληλες κινήσεις, ανταλλαγές μεταξύ πτήσεων έτσι ώστε να προκύψουν ακολουθίες με μικρότερο συνολικά κόστος. Οι καλύτερες αλλαγές, που εξασφαλίζουν μείωση του κόστους, αποθηκεύονται στην περιορισμένη λίστα RCL. Ο περιορισμός της λίστας γίνεται ποιοτικά, με βάση το ποσοστό απόκλισης από την υπάρχουσα λύση. Στην συνέχεια μια από τις αποθηκευμένες λύσεις επιλέγεται με τυχαίο τρόπο, για να αποτελέσει την επόμενη υπό εξέταση λύση. Με αυτόν τον τρόπο παραλείπεται η φάση της κατασκευής με την μορφή που παρουσιάστηκε στην πρωτότυπη μορφή του GRASP (παρ.4.7.1) ενώ η φάση της τοπικής αναζήτησης λειτουργεί ως εξής, αφού γίνει αναζήτηση μεταξύ των γειτονικών λύσεων, επιλέγονται οι καλύτερες από αυτές για να αποθηκευτούν στην RCL, ενώ στη συνέχεια επιλέγεται τυχαία μια λύση, από τις υποψήφιες αποθηκευμένες, ως επόμενη. Οι επαναλήψεις σταματάνε όταν ικανοποιηθεί το κριτήριο λήξης του αλγορίθμου.

Τα κύρια στοιχεία του ευρετικού αλγορίθμου, είναι τα εξής:

- Η πρώτη εφικτή λύση
- Η παραγωγή και αξιολόγηση των γειτονικών της υπάρχουσας λύσεων
- Η αποθήκευση των προτιμητέων λύσεων στη λίστα RCL
- Η υιοθέτηση με τυχαίο τρόπο μιας λύσης από τις υποψήφιες που υπάρχουν στην RCL, για να αποτελέσει τη νέα υπό εξέταση λύση
- Η επανάληψη της διαδικασίας έως ότου ικανοποιηθεί το κριτήριο λήξης του αλγορίθμου.

Ένα διάγραμμα ροής του αλγορίθμου παρουσιάζεται παρακάτω (σχήμα 4.7.δ), τα βήματα του οποίου περιγράφονται στη συνέχεια.



Σχήμα 4.7.δ: Διάγραμμα ροής τρίτης φάσης (προσαρμοσμένος GRASP)

Η λειτουργία του αλγορίθμου GRASP, είναι ανάλογη με τη διαδικασία του τυχαίου περιπάτου, μιας και ξεκινά από μια πρώτη λύση και με τυχαία βήματα μετακινείται στις επόμενες, γειτονικές λύσεις. Όμως ο τυχαίος περίπατος αυτή της περίπτωσης είναι ελεγχόμενος μιας και μόνο οι καλύτερες λύσεις επιλέγονται και είναι διαθέσιμες για την συνέχιση του αλγορίθμου. Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος αναζήτησης γειτονικών λύσεων, θα αναλυθεί διεξοδικά η διαδικασία που ακολουθείται.

Το πρόγραμμα δρομολόγησης των αεροσκαφών μιας αεροπορικής εταιρίας ουσιαστικά περιέχει ένα σύνολο ακολουθιών – δρομολογίων που διανέμονται σε όλα τα διαθέσιμα αεροσκάφη. Ένα δρομολόγιο πτήσεων, περιέχει μια ακολουθία πτήσεων την οποία το ανατιθέμενο αεροσκάφος πρέπει να εκτελέσει. Ένα ζεύγος δρομολογίων, είναι ουσιαστικά ένα ζεύγος ακολουθιών πτήσεων. Ο αλγόριθμός GRASP χρησιμοποιεί ζεύγη ακολουθιών για να παράγει όλους τους εφικτούς συνδυασμούς των πτήσεων που περιέχονται στις ακολουθίες αυτές. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται ένας αριθμός νέων ζευγών ακολουθιών, που μπορούν να αντικαταστήσουν το ζεύγος ακολουθιών από το οποίο προήλθαν.

Σε γενικά πλαίσια, δύο είναι οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να παραχθούν γειτονικές λύσεις, δηλαδή παραλλαγμένα δρομολόγια, ο ένας τρόπος είναι με την αύξηση του ενός δρομολογίου με πτήσεις του δεύτερου και αντίστροφα, και ο δεύτερος με την ανταλλαγή πτήσεων μεταξύ δύο δρομολογίων. Οι αλλαγές αυτές συμβαίνουν με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί, διατήρησης ροής των πτήσεων και ο περιορισμός ύπαρξης αρκετών αεροσκαφών στο τέλος κάθε περιόδου εφαρμογής του προγράμματος (συνήθως μέρα ή εβδομάδα), έτσι ώστε το πρόγραμμα να μπορεί να επαναληφθεί την επόμενη περίοδο. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά και μέσω παραδείγματος, ο κάθε τρόπος αναζήτησης γειτονικών λύσεων, από ζεύγη δρομολογίων και το πώς αυτός υπακούει στους παραπάνω περιορισμούς.

Αύξηση του ενός δρομολογίου με πτήσεις του δεύτερου:

Με την παρούσα διαδικασία, εξετάζοντας ένα ζεύγος δρομολογίων (σχήμα 4.7.ε), αυξάνεται ο αριθμός πτήσεων του ενός από τα δύο δρομολόγια, αφαιρώντας ένα σύνολο

πτήσεων που αποτελούν κύκλωμα ή μιας μόνο πτήσης από το δεύτερο δρομολόγιο και προσθέτοντας το κατάλληλα στο πρώτο. Σύνολο πτήσεων που αποτελεί κύκλωμα, εννοείται μια ακολουθία πτήσεων με ίδια αρχή και τέλος, δηλαδή το αεροδρόμιο εκκίνησης και τερματισμού είναι το ίδιο.

Η αύξηση του πρώτου δρομολογίου μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ενώ το δεύτερο δρομολόγιο παραμένει μειωμένο κατά των αριθμό πτήσεων που προστίθενται στο πρώτο δρομολόγιο. Ο πρώτος τρόπος είναι τοποθετώντας ένα κύκλωμα πτήσεων, ή μια μόνο πτήση, μπροστά από την πρώτη πτήση του πρώτου δρομολογίου, εφόσον τηρείται ο περιορισμός διατήρησης ροής των πτήσεων. Για παράδειγμα αφαιρούνται οι πτήσεις 104 και 105 από το δρομολόγιο 1 και τοποθετούνται στην αρχή του δρομολογίου 2, έτσι προκύπτουν τα δρομολόγια 101-102-103 και 104-105-201-202-203-204-205.

Ο δεύτερος τρόπος πρόσθεσης πτήσεων σε ένα δρομολόγιο, είναι προσθέτοντας ένα κύκλωμα πτήσεων, ή μια μόνο πτήση, στο τέλος αυτού, εφόσον τηρείται ο περιορισμός διατήρησης ροής των πτήσεων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί και αλλαγή των τερματικών σταθμών των δύο δρομολογίων, όμως επειδή η αλλαγή αυτή εφαρμόζεται σε ζεύγος δρομολογίων ο αριθμός των αεροσκαφών στο τέλος της περιόδου εφαρμογής του προγράμματος παραμένει σταθερός και έτσι ικανοποιείται ο αντίστοιχος περιορισμός. Για παράδειγμα αν αφαιρεθεί η πτήση 205 από το δρομολόγιο 2 και προστεθεί στο τέλος του δρομολογίου 1 προκύπτουν τα νέα δρομολόγια 101-102-103-104-105-205 και 201-202-203-204, όπου παρατηρούμε πως έγινε και ανταλλαγή των τελικών αεροπορικών σταθμών.

Ο τρίτος τρόπος πρόσθεσης πτήσεων σε ένα δρομολόγιο, είναι προσθέτοντας ένα κύκλωμα πτήσεων σε ένα οποιοδήποτε σημείο μεταξύ του αρχικού και τερματικού σταθμού του, εφόσον βέβαια τηρείται ο περιορισμός διατήρησης ροής των πτήσεων. Για παράδειγμα έστω ότι το κύκλωμα πτήσεων 104-105 αφαιρείται από το δρομολόγιο 1 και προστίθεται μετά τη πτήση 204 του δρομολογίου 2, έτσι προκύπτουν τα νέα δρομολόγια 101-102-103 και 201-202-203-204-104-105-205. Στην περίπτωση αυτή γίνεται αντιληπτό πως δεν υπάρχει η περίπτωση πρόσθεσης μιας μόνο πτήσης, όπως στους προηγούμενους τρόπους, αλλά μόνο η περίπτωση πρόσθεσης κυκλώματος πτήσεων, μιας και διαφορετικά δεν θα καλύπτεται ο περιορισμός διατήρησης της ροής.

Παρατηρείται ότι ο πρώτος και τρίτος τρόπος προσθήκης πτήσεων δεν μεταβάλλει τους τελικούς σταθμούς των δρομολογίων, ενώ ο δεύτερος τους ανταλλάσσει, ικανοποιώντας έτσι τον περιορισμό ύπαρξης διαθέσιμων αεροσκαφών σε κάθε αεροδρόμιο για την πραγματοποίηση του προγράμματος στην επόμενη περίοδο.

Ανταλλαγή πτήσεων μεταξύ δρομολογίων:

Κατά την διαδικασία ανταλλαγής πτήσεων μεταξύ δυο δρομολογίων, τελείται μια ανταλλαγή ενός ζεύγους δύο ακολουθιών πτήσεων, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η ανταλλαγή δυο ακολουθιών πτήσεων που έχουν ίδιο αρχικό και τελικό σταθμό, τηρώντας έτσι πάντα τον περιορισμό διατήρησης ροής των πτήσεων. Για παράδειγμα, αφαιρείται η ακολουθία που περιλαμβάνει τις πτήσεις 102-103 από το δρομολόγιο 1 και αντικαθίσταται από την ακολουθία πτήσεων 203-204 του δρομολογίου 2. Αντίστοιχα την θέση της ακολουθίας 203-204 στο δρομολόγιο 2 θα πάρει η ακολουθία 102-103, έτσι προκύπτουν δυο νέες ακολουθίες 101-203-204-104-105 και 201-202-102-103-105.

Ο δεύτερος τρόπος ανταλλαγής επιτυγχάνεται ανταλλάσσοντας ακολουθίες που έχουν τον ίδιο αρχικό σταθμό, αλλά εκτείνονται μέχρι τον τερματικό σταθμό του αντίστοιχου δρομολογίου στο οποίο περιέχονται. Έτσι για παράδειγμα ανταλλάσσεται η ακολουθία 104-105 με τη πτήση 205 και προκύπτουν τα νέα δρομολόγια 101-102-103-205 και 201-202-203-204-104-105. Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει πάντα ανταλλαγή των τερματικών σταθμών μεταξύ των δρομολογίων, αλλά ταυτόχρονα ικανοποιείται ο περιορισμός ύπαρξης ίσου αριθμού αεροσκαφών σε κάθε αεροδρόμιο τερματικό σταθμό με την προηγούμενη λύση, ώστε να είναι εφικτή η επανάληψη του προγράμματος.

Ταυτόχρονα γίνεται αντιληπτό ότι ο πρώτος τρόπος ανταλλαγής γίνεται πάντα μεταξύ κυκλωμάτων πτήσεων, ενώ ο δεύτερος τρόπος γίνεται είτε μεταξύ δυο κυκλωμάτων πτήσεων είτε μεταξύ κυκλώματος και μιας μόνο πτήσης. Αυτό συμβαίνει ώστε, να εξασφαλίζεται πάντα η διατήρηση ροής των πτήσεων.

Στο σχήμα 4.7.ζ παρουσιάζονται όλες τις δυνατές λύσεις δρομολογίων που μπορούν να παραχθούν από το ζεύγος που φαίνεται στο σχήμα 4.7.ε.

Δρομολόγιο	Πτήση	Προέλευση	Προορισμός
1	101	ATH	KVA
	102	KVA	MUN
	103	MUN	SKG
	104	SKJ	HER
	105	HER	SKG
2	201	SKG	MJT
	202	MJT	KVA
	203	KVA	RHO
	204	RHO	SKG
	205	SKG	CHQ

Σχήμα 4.7.ε: Παράδειγμα ζεύγους δρομολογίων

A/A Λύσης	Δρομολόγιο 1	Δρομολόγιο2	Ενέργεια
1	101-203-204-104-105	201-202-102-103-205	Ανταλλαγή
2	101-102-103-201-202-203-204	104-105-205	Ανταλλαγή
3	101-102-103-104-105-205	201-202-203-204	Αύξηση
4	101-203-204	201-202-102-103-104-105-205	Ανταλλαγή
5	101-102-103	104-105-201-202-203-204-205	Αύξηση
6	101-102-103	201-202-203-204-104-105-205	Αύξηση
7	101-102-103-205	201-202-203-204-104-105	Ανταλλαγή
8	101-203-204-205	201-202-102-103-104-105	Ανταλλαγή
9	101-102-103-201-202-203-204-205	104-105	Ανταλλαγή
10	101-102-103-104-105-201-202-203-204-205	---	Αύξηση
11	101-102-103-201-202-203-204-104-105	205	Αύξηση
12	101-102-103-104-105-201-202-203-204	205	Αύξηση

Σχήμα 4.7.ζ: Εφικτές λύσεις που προκύπτουν από το ζεύγος του παραδείγματος

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

Πρέπει να σημειωθεί, ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι περιορισμοί του αεροδρομίου σε ότι αφορά τις ώρες των πτήσεων και την ανάθεση πυλών σε αυτές. Οι παραπάνω λύσεις αποτελούν προτάσεις προς το τμήμα Marketing για μείωση του κόστους εκτέλεσης του προγράμματος πτήσεων. Έχοντας αυτές τις προτάσεις η αεροπορική εταιρία, μπορεί να έρθει σε επαφή με την διοίκηση ή το αρμόδιο τμήμα κάθε αεροδρομίου ώστε να βρεθεί μια κοινή λύση όσο το δυνατόν πιο κοντινή στις παραπάνω λύσεις.

4.7.3 Συμπεράσματα για τη λειτουργία του προσαρμοσμένου GRASP

Η διαδικασία του προσαρμοσμένου αλγόριθμου GRASP, για την βελτιστοποίηση των δρομολογίων που εκτελούν τα αεροσκάφη, ξεκινά από μια καλή εφικτή πρώτη λύση και εξετάζει όλα τα ζεύγη δρομολογίων που υπάρχουν στην λύση αυτή για να παραχθούν οι επόμενες υποψήφιες λύσεις. Αφού αξιολογηθούν οι λύσεις που θα προκύψουν, ένα μέρος αυτών θα αποθηκευτεί στη περιορισμένη λίστα RCL. Από την περιορισμένη λίστα μία λύση θα επιλεγεί τυχαία για να αποτελέσει την επόμενη υπό εξέταση λύση. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου βρεθεί η λίστα άδεια χωρίς κανένα στοιχείο και άρα θα έχει βρεθεί μια τοπικά ή ολικά βέλτιστη λύση, ή μέχρι να συμπληρωθεί ένας προκαθορισμένος αριθμός επαναλήψεων. Για να προκύψουν ακόμα καλύτερα συμπεράσματα όσο αφορά τη λύση, η όλη διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί, αρχίζοντας από την πρώτη λύση, αρκετές φορές.

Η παραγωγή και αξιολόγηση των γειτονικών λύσεων φυσικά απαιτεί κάποιο χρόνο επεξεργασίας. Εάν υποθεθεί ότι μ είναι το σύνολο των δρομολογίων που θα περιέχονται στην πρώτη λύση, τότε το σύνολο των δυνατών δρομολογίων που θα πρέπει εξετασθούν θα είναι $\mu(\mu-1)/2$, δηλαδή για ένα στόλο 20 αεροσκαφών που ανατίθενται σε δρομολόγια, θα παραχθούν από τον GRASP 190 δυνατά δρομολόγια σε κάθε επανάληψη. Έτσι γίνεται κατανοητό, συνυπολογίζοντας και τον αριθμό των πτήσεων που περιέχονται σε κάθε δρομολόγιο, ότι ο χρόνος που απαιτείται για να βρεθεί κάποιο τοπικό ή ολικό βέλτιστο, μπορεί να είναι εκθετικός σε σχέση με τον αριθμό των δρομολογίων. Για το λόγο αυτό, για να αποφευχθεί η αέναη λειτουργία του αλγορίθμου έως ότου προκύψει αποτέλεσμα, χρησιμοποιείται ένα όριο χρόνου, το οποίο μόλις

συμπληρωθεί τερματίζεται και η λειτουργία του αλγορίθμου, δίνοντας σαν αποτέλεσμα την πιο πρόσφατα παραχθείσα λύση.

Παρόλα αυτά η ποιότητα της λύσης είναι ανάλογη του χρόνου που θα «τρέξει» ο αλγόριθμος GRASP. Έτσι όσο περισσότερες επαναλήψεις εκτελέσει ο αλγόριθμος τόσο πιο κοντά θα βρίσκεται η λύση στο πραγματικό βέλτιστο. Η ποιότητα της τελικής λύσης και ο χρόνος που θα χρειαστεί για την εύρεση αυτής εξαρτάται φυσικά σε μεγάλο βαθμό και από την ποιότητα της πρώτης λύσης. Όσο καλύτερη είναι η πρώτη λύση τόσο πιο γρήγορα θα εξαχθεί και η τελική λύση.

Παρακάτω δίδεται ο ψευδοκώδικας της διαδικασίας GRASP (σχήμα 4.7.η.)

Διαδικασία ευρετικού GRASP

Εισαγωγή: λύση υπό εξέταση

Εξαγωγή: νέα υπό εξέταση λύση, ή τελική λύση

Αρχή

Θέσε r =αριθμός δρομολογίων

Για $i=1$ έως $i=r-1$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Επέλεξε το δρομολόγιο i

Θέσε n =αριθμός των πτήσεων στο δρομολόγιο i

Για $j=i+1$ έως $j=r$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Επέλεξε το δρομολόγιο j

Θέσε m =αριθμός των πτήσεων στο δρομολόγιο j

Για $u=1$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $v=u$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $x=1$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $y=x$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Αν οι πτήσεις u έως v αποτελούν κύκλωμα

Εκτέλεσε

Αύξηση μπροστά από την πρώτη πτήση στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αύξηση μετά από την τελευταία πτήση στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αύξηση μπροστά από την πτήση x στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αν οι πτήσεις x έως y αποτελούν κύκλωμα

Εκτέλεσε

Αύξηση μπροστά από την πρώτη πτήση στο δρομολόγιο i

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αύξηση μετά από την τελευταία πτήση στο δρομολόγιο i

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αύξηση μπροστά από την πτήση u στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αν οι πτήσεις u και x έχουν ίδιο σταθμό αναχώρησης και οι v, y , ίδιο προορισμό

Εκτέλεσε

Κάνε ανταλλαγή ακολουθιών από u έως v , με την x έως y

Αξιολόγησε τη λύση κα τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αν οι πτήσεις u και x έχουν ίδιο σταθμό αναχώρησης

Εκτέλεσε

Κάνε ανταλλαγή ακολουθιών από u έως n , με την x έως m

Αξιολόγησε τη λύση κα τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Νέα λύση =επέλεξε μια τυχαία από την RCL

Αν δεν υπάρχει άλλη στην RCL τότε τελική λύση = υπάρχουσα λύση

Τέλος

Σχήμα 4.7.η.: Ψευδοκώδικας του ευρετικού GRASP

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

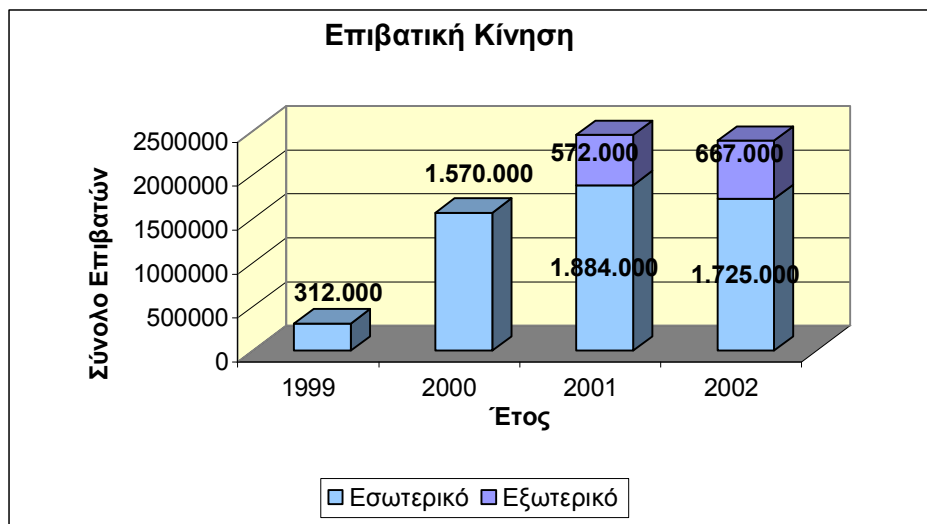
5. Η επίλυση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών της Aegean Airlines

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια πρακτική εφαρμογή της μεθόδου, που επινοήθηκε και παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης και ανάθεσης αεροσκαφών της αεροπορικής εταιρίας Aegean Airlines που δραστηριοποιείται στον ελληνικό χώρο.

5.1 Η Aegean Airlines

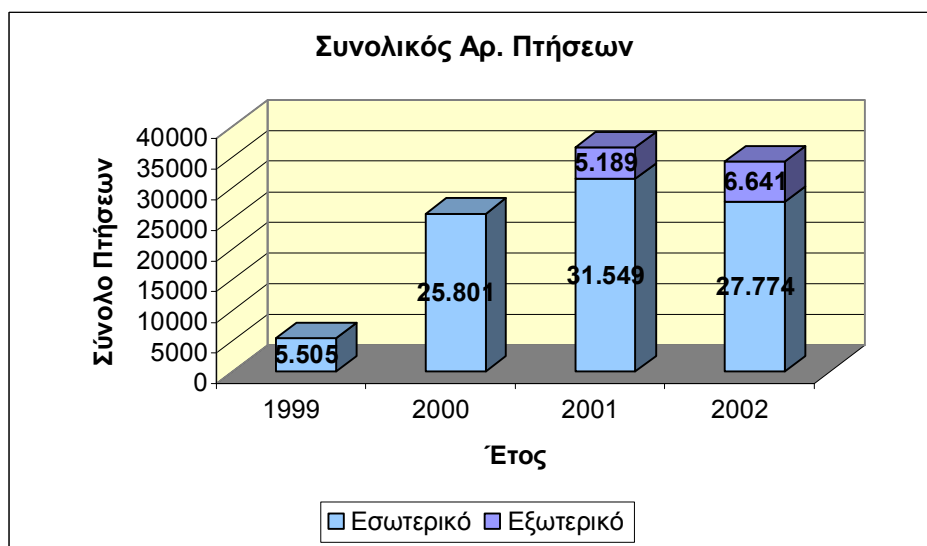
Η Aegean Airlines, αποτελεί την πρώτη ιδιωτική αεροπορική εταιρία που ιδρύθηκε στην Ελλάδα το 1988. Ξεκίνησε την λειτουργία της ως εταιρία ναυλωμένων πτήσεων VIP. Στη συνέχεια και από το έτος 1999, επέκτεινε την δραστηριότητα της με τακτικές πτήσεις εσωτερικού από Αθήνα προς Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο, Χανιά και Ρόδο, αυξάνοντας την δυναμικότητα του στόλου της με καινούργια αεροσκάφη. Κατά την πορεία της η Aegean Airlines, μέχρι το 2001 ενσωμάτωσε στις δυνάμεις τις, δυο άλλες ιδιωτικές αεροπορικές εταιρίες την Air Greece και την Cronus Airlines με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση των δυνατοτήτων της. Έτσι επέκτεινε την δραστηριότητα της και σε πτήσεις εξωτερικού. Σήμερα η Aegean Airlines αποτελείται από 16 σύγχρονα αεροσκάφη τα οποία εκτελούν περίπου 750 πτήσεις την εβδομάδα σε προορισμούς τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού. Συγκεκριμένα εξυπηρετεί 19 πόλεις από τις οποίες 12 εσωτερικού και 7 εξωτερικού σε χώρες όπως Γερμανία και Ιταλία.

Στα παρακάτω ραβδογράμματα φαίνεται η επιβατική κίνηση (σχήμα 5.1.α) και ο συνολικός αριθμός πτήσεων (σχήμα 5.2.β) από το 1999 έως το 2002. Ενώ στο σχήμα 5.3.γ παρουσιάζεται ο κύκλος εργασιών της εταιρίας για τα συγκεκριμένα έτη.



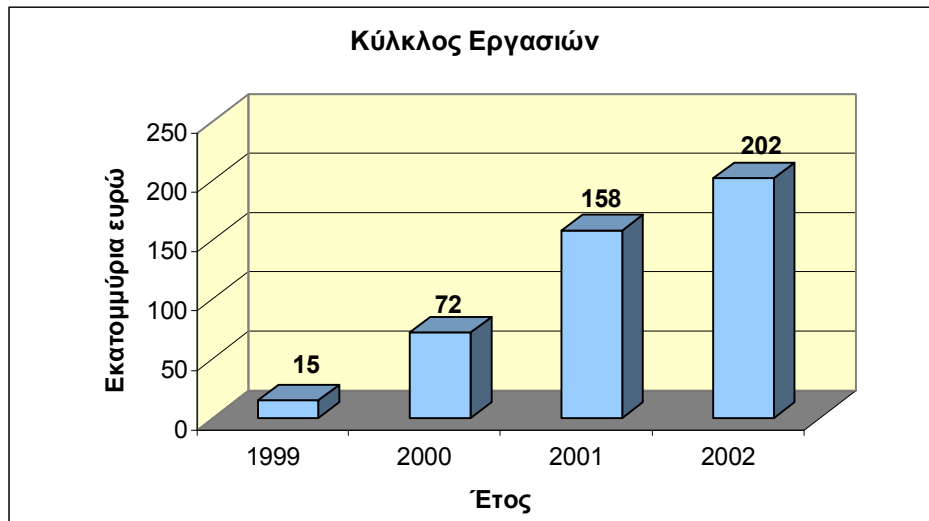
Σχήμα 5.1.α: Επιβατική κίνηση της Aegean Airlines

Η αύξηση της επιβατικής κίνησης για την Aegean Airlines, προσδιορίζει τη ανάγκη της εγχώριας αγοράς για οργανωμένες και ποιοτικά αναβαθμισμένες πτήσεις στον τομέα των αερομεταφορών.



Σχήμα 5.1.β: Συνολικός αρ. πτήσεων της Aegean Airlines

Παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση στο συνολικό αριθμό των πτήσεων από την αρχή λειτουργίας της αεροπορικής, με την σημερινή της μορφή, κατά την πάροδο του χρόνου. Ο αριθμός των πτήσεων της Aegean έχει πλέον ξεπεράσει τις 100 πτήσεις σε καθημερινή βάση.



Σχήμα 5.1.γ: Κύκλος εργασιών της Aegean Airlines

Η Aegean Airlines έχει πλέον αποσπάσει το 45% του μεριδίου της εγχώριας αγοράς σε πτήσεις εσωτερικού, έχει μεταφέρει περισσότερους από 9,5 εκατομμύρια επιβάτες, έχει πραγματοποιήσει περισσότερες από 100000 πτήσεις μέχρι το 2002 και απασχολεί περισσότερους από 1300 εργαζόμενους. Τα στοιχεία αυτά θέτουν το μέγεθος της συγκεκριμένης αεροπορικής αρκετά μεγάλο, ώστε να είναι απαραίτητες οι μέθοδοι της επιχειρησιακής έρευνας για βελτιστοποίηση της λειτουργίας της.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η εφαρμογή της διαδικασίας βελτιστοποίησης για την ανάθεση και δρομολόγηση των αεροσκαφών του στόλου της Aegean σε 110 πτήσεις, που εκτελούνται σε καθημερινή βάση, με άμεσο στόχο την δημιουργία ενός εφικτού προγράμματος, που θα αποφέρει αυξημένο κέρδος. Το μέγεθος του μοντέλου που προκύπτει είναι αρκετά μεγάλο ώστε να απαιτείται μια αυτοματοποιημένη μέθοδος επίλυσης του.

5.2 Προβλήματα κατά την μοντελοποίηση και τρόποι

αντιμετώπισης τους

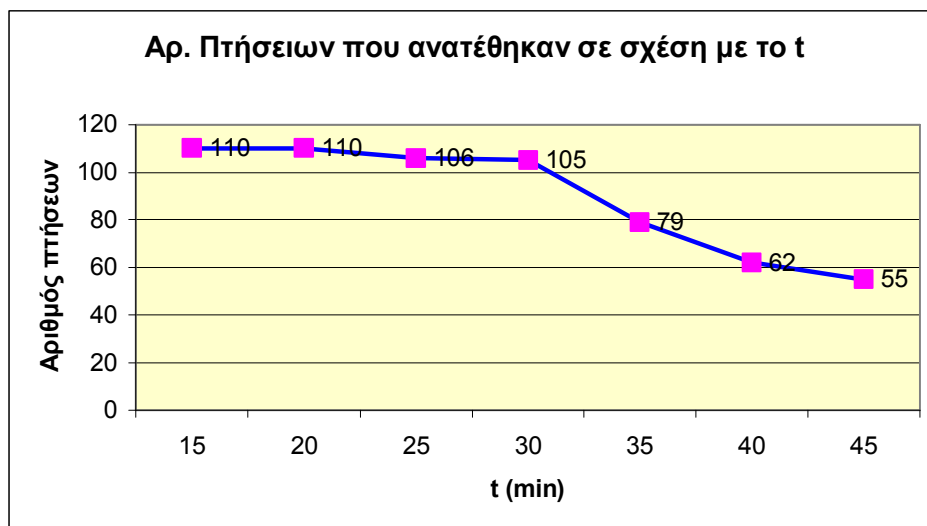
Πρωτίστως θα πρέπει να αναφερθεί ότι για την εφαρμογή της διαδικασίας που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4, αναπτύχθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και η επεξεργασία του πραγματοποιήθηκε σε σύστημα Pentium 2.6 GHz.

Ένα από τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την μοντελοποίηση ήταν ότι το πρόγραμμα τις Aegean είναι βασισμένο σε εβδομαδιαία βάση, πράγμα που σημαίνει ότι και τα δεδομένα των πτήσεων, που θα πρέπει να εισαχθούν θα πρέπει να εκτείνονται έτσι, ώστε να καλύπτουν την περίοδο μιας εβδομάδας. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι απαιτείται μεγάλης χωρητικότητας βάση δεδομένων στην είσοδο του αλγορίθμου, με άμεσο αποτέλεσμα την καθυστέρηση σε χρόνο επεξεργασίας αυτού. Μετά όμως από μια προσεκτική ανάλυση των πτήσεων που περιέχονται στο πρόγραμμα παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο μέρος των πτήσεων και συγκεκριμένα 110 στις μέχρι περίπου 130 πτήσεις που εκτελούνται καθημερινά, επαναλαμβάνονται σε καθημερινή βάση. Έτσι διαχωρίζονται οι 110 αυτές πτήσεις από τις υπόλοιπες για να σχηματιστεί μια βάση δεδομένων με έκταση περίπου στο 1/7, όπως αναμένεται, της περίπτωσης όπου θα χρειαζόταν να προστεθούν όλες οι πτήσεις μιας ολόκληρης εβδομάδας. Για να καλυφθούν οι πτήσεις αυτές χρησιμοποιούνται μόνο τα 12 από τα 16 αεροσκάφη της αεροπορικής, αφήνοντας έτσι την ευχέρεια στο αρμόδιο τμήμα της αεροπορικής για τη σχεδίαση του προγράμματος πτήσεων, να χρησιμοποιήσει τα υπόλοιπα αεροσκάφη για να καλύψει τις πτήσεις που απομένουν.

Ένα άλλο πρόβλημα που προέκυψε κατά την μοντελοποίηση είναι ο περιορισμός συντήρησης των αεροσκαφών. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να ικανοποιηθεί θέτοντας εικονικές πτήσεις με ίδιο αρχικό και τελικό σταθμό (το σταθμό όπου επιθυμείται να γίνει η συντήρηση) και διάρκεια ίση με την χρονική διάρκεια της απαραίτητης συντήρησης. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη αεροπορική εταιρία, εκτελεί τις απαραίτητες συντηρήσεις αεροσκαφών κατά την διάρκεια της νυχτερινής στάθμευσης στους διάφορους σταθμούς, ενώ παράλληλα δεσμεύει ένα από τα αεροσκάφη του στόλου της, το οποίο βρίσκεται πάντα σε εφεδρεία, για να αντικαταστήσει οποιοδήποτε άλλο αεροσκάφος που τυχόν έχει υποστεί μηχανική βλάβη.

5.3 Παράγοντες μοντελοποίησης

Για την μοντελοποίηση του προβλήματος θεωρήθηκαν 12 διαθέσιμα αεροσκάφη για να εκτελούν καθημερινά τις 110 πτήσεις. Έτσι απαιτείται η δημιουργία 12 εφικτών δρομολογίων με ένα μέγιστο αριθμό 11 πτήσεων το καθένα, ενώ βάση των δεδομένων των πτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν καμιά πτήση δεν αναχωρεί μετά τις 24:00 κάθε μέρας. Ο μέγιστος αριθμός επιτρεπτών πτήσεων σε κάθε δρομολόγιο έχει να κάνει με την μέση διάρκεια των πτήσεων (περίπου 1 ώρα στην περίπτωση αυτή) και το χρονικό διάστημα της μέρας κατά το οποίο μπορούν να εξυπηρετηθούν οι πτήσεις από τα αεροδρόμια (περίπου 18 ώρες). Το απαραίτητο χρονικό διάστημα για την προετοιμασία των αεροσκαφών βρέθηκε μετά από αρκετές επαναλήψεις του αλγορίθμου της πρώτης φάσης ότι είναι 20 λεπτά τις ώρες. Οι επαναλήψεις εκτελέστηκαν μεταβάλλοντας τον παραπάνω παράγοντα σε ένα διάστημα 15-45 λεπτών και η μεταβολή των λύσεων, όσο αφορά τον αριθμό των πτήσεων που ανατίθενται κάθε φορά φαίνεται στο σχήμα 5.3.α , όπου θεωρείται έστω t ο χρόνος προετοιμασίας.



Σχήμα 5.3.α: Εύρεση βέλτιστης διάρκειας προετοιμασίας

Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα του αλγορίθμου για $t=15$ και $t=20$ λεπτά είναι το ίδιο και γι αυτό το λόγο επιλέγεται ο μεγαλύτερος χρόνος, ώστε να δοθεί μεγαλύτερη ευχέρεια χρόνου για την προετοιμασία του αεροσκάφους πριν την επόμενη του πτήση.

Οι ώρες πτήσεων κατά την μοντελοποίηση περιλαμβάνουν όχι μόνο το καθαρό χρόνο πτήσης αλλά και το χρόνο που κατά μέσο όρο απαιτείται για την τροχοδρόμηση και στάθμευση του αεροσκάφους. Ο χρόνος πτήσης είναι ο χρόνος που απαιτείται από πύλη σε πύλη αεροδρομίου (block time). Η ώρα αναχώρησης και άφιξης κάθε πτήσης όπως χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα αναπαριστούν ακριβώς αυτό το χρόνο.

5.4 Εφαρμογή 1^ο σταδίου διαδικασίας επίλυσης

Για την κατασκευή μιας πρώτης λύσης όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, απαιτούνται τα εξής δεδομένα στην είσοδο του αλγορίθμου :

- Αριθμός πτήσης (μοναδικός για κάθε πτήση)
- Τόπος αναχώρησης (κωδικοποιημένος)
- Τόπος προορισμού (κωδικοποιημένος)
- Ώρα αναχώρησης
- Ώρα άφιξης

Οι τόποι προορισμού και άφιξης κάθε πτήσης αναπαραστάθηκαν με αριθμούς, έτσι ώστε να επεξεργασθούν με μεγαλύτερη ευκολία από το πρόγραμμα και η κωδικοποίησή τους έχει ως εξής:

1	Αθήνα	ATH	11	Σαντορίνη	JTR
2	Θεσσαλονίκη	SKG	12	Μύκονος	JMK
3	Ηράκλειο	HER	13	Χίος	JKH
4	Χανία	CHQ	14	Κώς	KGS
5	Ρόδος	RHO	15	Ρώμη	FCO
6	Ιωάννινα	IOA	16	Μιλάνο	LIN
7	Καβάλα	KVA	17	Ντύσελτορφ	DUS
8	Αλεξανδρούπολη	AXD	18	Στουτγκάρδη	STR
9	Κέρκυρα	CFU	19	Φρανκφούρτη	FRA
10	Μυτιλήνη	MJT	20	Μόναχο	MUC

Οι ώρες αναχώρησης και άφιξης δόθηκαν με την κανονική τους μορφή στο πρόγραμμα π.χ. 18:45, όπου με την χρήση μιας συνάρτησης επονομαζόμενης ως timescale μετατρέπονται από την ακέραια στο δεκαδικό σύστημα αυτή τους μορφή, σε λεπτά της ώρας, για να γίνουν οι κατάλληλες πράξεις και έλεγχοι, ενώ στη συνέχεια ξαναμετατρέπονται στην δεκαδική μορφή που είχαν στην είσοδο, για να γίνονται πιο κατανοητές από το χρήστη.

Τέλος ως κωδικοποιημένος αριθμός της κάθε πτήσης χρησιμοποιήθηκε ένας τριψήφιος αριθμός, με βάση την κωδικοποίηση που χρησιμοποιεί και η ίδια η αεροπορική εταιρία. Έτσι τα δεδομένα εισόδου της πρώτης φάσης της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι τα εξής:

Αρ. Πτήσης	Πόλη Αναχώρησης	Πόλη Άφιξης	Ωρα Αναχώρησης	Ωρα Άφιξης
510	1	2	635	730
500	1	2	825	920
540	1	2	855	950
110	1	2	1035	1125
530	1	2	1340	1435
120	1	2	1610	1705
124	1	2	1730	1825
126	1	2	1915	2010
128	1	2	2055	2150
136	1	2	2250	2345
103	2	1	705	800
105	2	1	745	840
109	2	1	900	950
113	2	1	1205	1255
511	2	1	1450	1545
501	2	1	1615	1710
541	2	1	1815	1910
125	2	1	1905	2000
127	2	1	2050	2145
531	2	1	2230	2335
300	1	3	710	805
306	1	3	920	1010
312	1	3	1220	1310
316	1	3	1530	1620
322	1	3	1750	1840
324	1	3	2000	2050
326	1	3	2135	2230
301	3	1	650	740
303	3	1	840	930
307	3	1	1050	1140
313	3	1	1350	1440
317	3	1	1655	1745
323	3	1	1920	2010
329	3	1	2130	2225
330	1	4	530	620
340	1	4	1400	1450

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

Αρ. Πτήσης	Πόλη Αναχώρησης	Πόλη Αφίξης	Ώρα Αναχώρησης	Ώρα Αφίξης
331	4	1	700	750
341	4	1	1525	1615
343	4	1	1925	2015
200	1	5	530	630
651	1	5	1450	1550
216	1	5	1810	1910
218	1	5	2045	2145
201	5	1	710	810
652	5	1	1630	1730
217	5	1	1950	2050
219	5	1	2225	2320
710	2	3	645	800
714	2	3	1745	1900
711	3	2	845	1000
715	3	2	1940	2055
414	1	6	1335	1430
415	6	1	1505	1600
402	1	9	925	1025
404	1	9	1240	1340
406	1	9	1635	1735
403	9	1	1100	1200
405	9	1	1415	1515
407	9	1	1815	1915
252	1	10	630	720
256	1	10	1645	1735
253	10	1	800	850
257	10	1	1810	1900
350	1	11	600	645
356	1	11	1110	1155
358	1	11	1700	1745
362	1	11	2055	2140
351	11	1	720	805
357	11	1	1230	1315
359	11	1	1820	1905
363	11	1	2220	2305
370	1	12	555	630
372	1	12	1105	1140
378	1	12	1935	2010
371	12	1	705	740
373	12	1	1215	1250
379	12	1	2040	2120
342	1	4	1800	1850

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

Αρ. Πτήσης	Πόλη Αναχώρησης	Πόλη Αφίξης	Ώρα Αναχώρησης	Ώρα Αφίξης
270	1	13	820	905
276	1	13	1950	2035
271	13	1	940	1025
222	1	14	810	900
223	14	1	935	1025
227	14	1	2045	2135
142	1	8	945	1045
146	1	8	1605	1705
143	8	1	1120	1220
147	8	1	1740	1840
722	2	5	2135	2250
723	5	2	2330	2440
716	2	10	1415	1510
255	10	1	1545	1635
258	1	10	1945	2035
730	2	11	1040	1150
731	11	2	1225	1335
650	1	15	900	1010
651	15	1	1100	1400
660	1	16	1100	1240
661	16	1	1330	1700
540	2	17	1040	1240
541	17	2	1340	1730
510	2	18	820	1000
511	18	2	1045	1410
530	2	19	1520	1710
531	19	2	1800	2140
800	1	20	1425	1605
801	20	1	1655	2035
500	2	20	1010	1135
501	20	2	1215	1530
991	3	1	2300	2350
992	2	3	2230	2345
994	1	2	735	830

Τα παραπάνω δεδομένα επεξεργάστηκαν βάση του αλγορίθμου της πρώτης φάσης σε γλώσσα προγραμματισμού C++, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν και αφορούν την ανάθεση των παραπάνω πτήσεων σε δρομολόγια, είναι τα εξής (τα αποτελέσματα εξάγονται σε αρχείο txt. με την παρακάτω μορφή):

Route 0 is assigned to the following flights:

Flight A3-330 departing from 1 at 4 arriving to 530 at 620
Flight A3-331 departing from 4 at 1 arriving to 700 at 750
Flight A3-270 departing from 1 at 13 arriving to 820 at 905
Flight A3-271 departing from 13 at 1 arriving to 940 at 1025
Flight A3-660 departing from 1 at 16 arriving to 1100 at 1240
Flight A3-661 departing from 16 at 1 arriving to 1330 at 1700
Flight A3-124 departing from 1 at 2 arriving to 1730 at 1825
Flight A3-125 departing from 2 at 1 arriving to 1905 at 2000
Flight A3-218 departing from 1 at 5 arriving to 2045 at 2145
Flight A3-219 departing from 5 at 1 arriving to 2225 at 2320

Route 1 is assigned to the following flights:

Flight A3-200 departing from 1 at 5 arriving to 530 at 630
Flight A3-201 departing from 5 at 1 arriving to 710 at 810
Flight A3-540 departing from 1 at 2 arriving to 855 at 950
Flight A3-730 departing from 2 at 11 arriving to 1040 at 1150
Flight A3-731 departing from 11 at 2 arriving to 1225 at 1335
Flight A3-716 departing from 2 at 10 arriving to 1415 at 1510
Flight A3-255 departing from 10 at 1 arriving to 1545 at 1635
Flight A3-358 departing from 1 at 11 arriving to 1700 at 1745
Flight A3-359 departing from 11 at 1 arriving to 1820 at 1905
Flight A3-378 departing from 1 at 12 arriving to 1935 at 2010
Flight A3-379 departing from 12 at 1 arriving to 2040 at 2120

Route 2 is assigned to the following flights:

Flight A3-370 departing from 1 at 12 arriving to 555 at 630
Flight A3-371 departing from 12 at 1 arriving to 705 at 740
Flight A3-222 departing from 1 at 14 arriving to 810 at 900
Flight A3-223 departing from 14 at 1 arriving to 935 at 1025
Flight A3-372 departing from 1 at 12 arriving to 1105 at 1140
Flight A3-373 departing from 12 at 1 arriving to 1215 at 1250
Flight A3-414 departing from 1 at 6 arriving to 1335 at 1430
Flight A3-415 departing from 6 at 1 arriving to 1505 at 1600
Flight A3-406 departing from 1 at 9 arriving to 1635 at 1735
Flight A3-407 departing from 9 at 1 arriving to 1815 at 1915

Route 3 is assigned to the following flights:

Flight A3-350 departing from 1 at 11 arriving to 600 at 645
Flight A3-351 departing from 11 at 1 arriving to 720 at 805
Flight A3-650 departing from 1 at 15 arriving to 900 at 1010
Flight A3-651 departing from 15 at 1 arriving to 1100 at 1400
Flight A3-800 departing from 1 at 20 arriving to 1425 at 1605
Flight A3-801 departing from 20 at 1 arriving to 1655 at 2035
Flight A3-326 departing from 1 at 3 arriving to 2135 at 2230
Flight A3-991 departing from 3 at 1 arriving to 2300 at 2350

Route 4 is assigned to the following flights:

Flight A3-252 departing from 1 at 10 arriving to 630 at 720
Flight A3-253 departing from 10 at 1 arriving to 800 at 850
Flight A3-306 departing from 1 at 3 arriving to 920 at 1010
Flight A3-307 departing from 3 at 1 arriving to 1050 at 1140
Flight A3-312 departing from 1 at 3 arriving to 1220 at 1310
Flight A3-313 departing from 3 at 1 arriving to 1350 at 1440
Flight A3-316 departing from 1 at 3 arriving to 1530 at 1620
Flight A3-317 departing from 3 at 1 arriving to 1655 at 1745
Flight A3-216 departing from 1 at 5 arriving to 1810 at 1910
Flight A3-217 departing from 5 at 1 arriving to 1950 at 2050

Route 5 is assigned to the following flights:

Flight A3-510 departing from 1 at 2 arriving to 635 at 730
Flight A3-510 departing from 2 at 18 arriving to 820 at 1000
Flight A3-511 departing from 18 at 2 arriving to 1045 at 1410
Flight A3-511 departing from 2 at 1 arriving to 1450 at 1545
Flight A3-146 departing from 1 at 8 arriving to 1605 at 1705
Flight A3-147 departing from 8 at 1 arriving to 1740 at 1840
Flight A3-126 departing from 1 at 2 arriving to 1915 at 2010
Flight A3-127 departing from 2 at 1 arriving to 2050 at 2145

Route 6 is assigned to the following flights:

Flight A3-710 departing from 2 at 3 arriving to 645 at 800
Flight A3-303 departing from 3 at 1 arriving to 840 at 930
Flight A3-110 departing from 1 at 2 arriving to 1035 at 1125
Flight A3-113 departing from 2 at 1 arriving to 1205 at 1255
Flight A3-530 departing from 1 at 2 arriving to 1340 at 1435
Flight A3-530 departing from 2 at 19 arriving to 1520 at 1710
Flight A3-531 departing from 19 at 2 arriving to 1800 at 2140

Route 7 is assigned to the following flights:

Flight A3-301 departing from 3 at 1 arriving to 650 at 740
Flight A3-500 departing from 1 at 2 arriving to 825 at 920
Flight A3-500 departing from 2 at 20 arriving to 1010 at 1135
Flight A3-501 departing from 20 at 2 arriving to 1215 at 1530
Flight A3-501 departing from 2 at 1 arriving to 1615 at 1710
Flight A3-322 departing from 1 at 3 arriving to 1750 at 1840
Flight A3-323 departing from 3 at 1 arriving to 1920 at 2010
Flight A3-128 departing from 1 at 2 arriving to 2055 at 2150
Flight A3-992 departing from 2 at 3 arriving to 2230 at 2345

Route 8 is assigned to the following flights:

Flight A3-103 departing from 2 at 1 arriving to 705 at 800
Flight A3-402 departing from 1 at 9 arriving to 925 at 1025

Flight A3-403 departing from 9 at 1 arriving to 1100 at 1200
Flight A3-404 departing from 1 at 9 arriving to 1240 at 1340
Flight A3-405 departing from 9 at 1 arriving to 1415 at 1515
Flight A3-120 departing from 1 at 2 arriving to 1610 at 1705
Flight A3-714 departing from 2 at 3 arriving to 1745 at 1900
Flight A3-715 departing from 3 at 2 arriving to 1940 at 2055
Flight A3-722 departing from 2 at 5 arriving to 2135 at 2250
Flight A3-723 departing from 5 at 2 arriving to 2330 at 2440

Route 9 is assigned to the following flights:

Flight A3-300 departing from 1 at 3 arriving to 710 at 805
Flight A3-711 departing from 3 at 2 arriving to 845 at 1000
Flight A3-540 departing from 2 at 17 arriving to 1040 at 1240
Flight A3-541 departing from 17 at 2 arriving to 1340 at 1730
Flight A3-541 departing from 2 at 1 arriving to 1815 at 1910
Flight A3-276 departing from 1 at 13 arriving to 1950 at 2035
Flight A3-277 departing from 13 at 1 arriving to 2115 at 2200

Route 10 is assigned to the following flights:

Flight A3-105 departing from 2 at 1 arriving to 745 at 840
Flight A3-142 departing from 1 at 8 arriving to 945 at 1045
Flight A3-143 departing from 8 at 1 arriving to 1120 at 1220
Flight A3-340 departing from 1 at 4 arriving to 1400 at 1450
Flight A3-341 departing from 4 at 1 arriving to 1525 at 1615
Flight A3-256 departing from 1 at 10 arriving to 1645 at 1735
Flight A3-257 departing from 10 at 1 arriving to 1810 at 1900
Flight A3-324 departing from 1 at 3 arriving to 2000 at 2050
Flight A3-329 departing from 3 at 1 arriving to 2130 at 2225
Flight A3-136 departing from 1 at 2 arriving to 2250 at 2345

Route 11 is assigned to the following flights:

Flight A3-994 departing from 1 at 2 arriving to 735 at 830
Flight A3-109 departing from 2 at 1 arriving to 900 at 950
Flight A3-356 departing from 1 at 11 arriving to 1110 at 1155
Flight A3-357 departing from 11 at 1 arriving to 1230 at 1315
Flight A3-651 departing from 1 at 5 arriving to 1450 at 1550
Flight A3-652 departing from 5 at 1 arriving to 1630 at 1730
Flight A3-342 departing from 1 at 4 arriving to 1800 at 1850
Flight A3-343 departing from 4 at 1 arriving to 1925 at 2015
Flight A3-362 departing from 1 at 11 arriving to 2055 at 2140
Flight A3-363 departing from 11 at 1 arriving to 2220 at 2305

Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό πως τηρούνται οι περιορισμοί που τέθηκαν κατά την μοντελοποίηση στη παράγραφο 4.4, συγκεκριμένα τηρείται ο περιορισμός διατήρησης ροής πτήσεων αφού σε κάθε δρομολόγιο, κάθε πτήση, ξεκινά από το σταθμό όπου έχει αφιχθεί η αμέσως προηγούμενη πτήση. Όσο αφορά τον περιορισμό για το ελάχιστο χρονικό διάστημα προετοιμασίας του αεροσκάφους πριν την επόμενη πτήση του, αν παρατηρηθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα, θα διαπιστωθεί ότι το χρονικό αυτό διάστημα σε κάθε περίπτωση ξεπερνά τα 20 λεπτά. Ο απαραίτητος περιορισμός για την επανάληψη του προγράμματος και την επόμενη χρονική περίοδο (ημέρα), τηρείται μιας και όλα τα δρομολόγια κατά την λύση που προέκυψε ξεκινούν και καταλήγουν στον ίδιο σταθμό. Συγκεκριμένα 8 αεροσκάφη διανυκτερεύουν στην Αθήνα, 3 στην Θεσσαλονίκη και 1 στο Ηράκλειο. Κατά την διανυκτέρευση πραγματοποιείται και η συντήρηση των αεροσκαφών στους συγκεκριμένους σταθμούς. Όσο αφορά τους περιορισμούς που θέτουν τα αεροδρόμια για τις ώρες πτήσεων, αυτοί τηρούνται ούτως ή άλλως μιας και οι ώρες των πτήσεων κατά την κατασκευή της πρώτης λύσης θεωρήθηκαν δεδομένες.

Ο συνολικός αριθμός των πτήσεων που ανατέθηκε σε κάθε δρομολόγιο εξάγεται από το πρόγραμμα σε μορφή αρχείου txt. και έχει ως εξής:

Route 0 has been assigned to 10 flights

Route 1 has been assigned to 11 flights

Route 2 has been assigned to 10 flights

Route 3 has been assigned to 8 flights

Route 4 has been assigned to 10 flights

Route 5 has been assigned to 8 flights

Route 6 has been assigned to 7 flights

Route 7 has been assigned to 9 flights

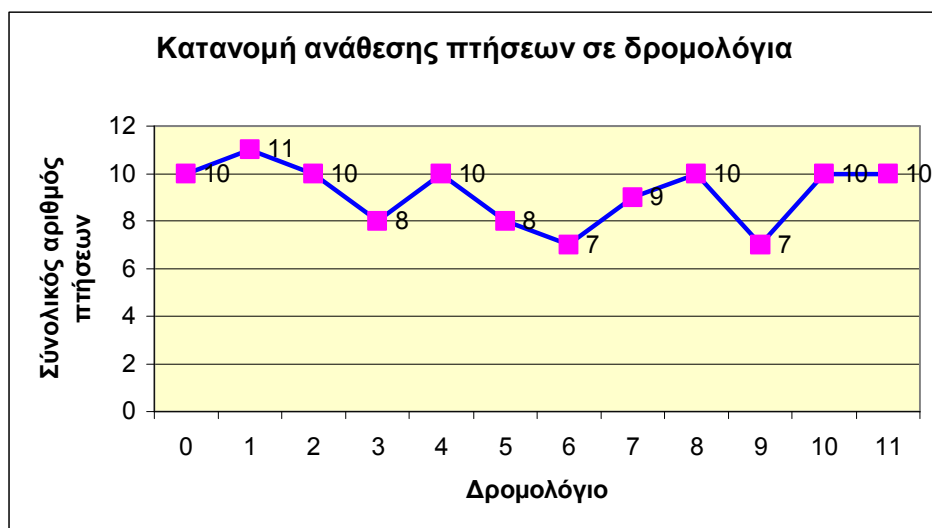
Route 8 has been assigned to 10 flights

Route 9 has been assigned to 7 flights

Route 10 has been assigned to 10 flights

Route 11 has been assigned to 10 flights

Η ισορροπημένη χρήση των αεροσκαφών βάση της λύσης που προέκυψε από τον αλγόριθμο είναι δεδομένη (σχήμα 5.4.α). Παρατηρείται εύκολα ότι σε κάθε δρομολόγιο έχουν ανατεθεί από 7 έως 10 πτήσεις, Το ότι κάποια δρομολόγια περιέχουν λιγότερες πτήσεις από αλλά εξηγείται από το γεγονός ότι περιέχουν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας π.χ. πτήσεις εξωτερικού. Ο μέσος όρος των πτήσεων που ανατίθενται σε κάθε δρομολόγιο είναι 9,167 πτήσεις, ενώ η τυπική απόκλιση από την μέση τιμή , είναι 1,337 πτήσεις.



Σχήμα 5.4.α: Ανάθεση πτήσεων σε δρομολόγια κατά την αρχική λύση που προέκυψε από τον αλγόριθμο

5.5 Εφαρμογή 2^{ου} σταδίου διαδικασίας επίλυσης

Κατά την εφαρμογή του δεύτερου σταδίου της διαδικασίας που επίλυσης της ανάθεσης και δρομολόγησης των αεροσκαφών της Aegean Airlines, επιχειρείται όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 4 (παρ. 4.6), η βελτίωση της αρχικής λύσης στο μέγιστο δυνατό βαθμό, έτσι ώστε έχοντας μια ποιοτική πρώτη λύση στο τρίτο στάδιο που ακολουθεί, να εξασφαλιστεί η γρήγορη, αποδοτική και έγκυρη εύρεση της βέλτιστης λύσης του προβλήματος.

Κατά την εφαρμογή του παρόντος σταδίου , τα δρομολόγια όπως προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο παραμένουν αναλλοίωτα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται και η τήρηση όλων των περιορισμών που αναφέρθηκαν κατά την μοντελοποίηση του προβλήματος. Η διαδικασία αυτού του σταδίου, έχει ως στόχο την βέλτιστη ανάθεση των διαθέσιμων αεροσκαφών (κατά τύπο) στα ήδη υπάρχοντα δρομολόγια. Έτσι μετά από μια τυχαία πρώτη ανάθεση των αεροσκαφών, μια επαναληπτική διαδικασία ελέγχου όλων των πιθανών συνδυασμών δρομολογίου-αεροσκάφους, είναι υπεύθυνη για την εύρεση της καλύτερης ποιοτικά, βέλτιστης κερδοσκοπικά λύσης.

Τα δεδομένα που απαιτούνται στην είσοδο του προγράμματος που αντιστοιχεί στον αλγόριθμο της παραπάνω διαδικασίας είναι τα εξής:

- Δομή δρομολογίων αρχικής λύσης
- Κόστος λειτουργίας αεροσκάφους ανά τύπο και ανά ώρα πτήσης
- Χωρητικότητα αεροσκάφους ανά τύπο
- Μέση πληρότητα αεροσκάφους ανά πτήση
- Τιμή εισιτηρίου επιβίβασης ανά πτήση, για κάθε επιβάτη

Έτσι τα πραγματικά δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, εκτός από την δομή των δρομολογίων της πρώτης λύσης που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, φαίνονται παρακάτω:

Τύπος Αεροσκάφους	Κόστος/ Ώρα λειτουργίας	Χωρητικότητα
AVRO RJ	2100	100
AVRO RJ	2100	100
AVRO RJ	2100	100
AVRO RJ	2100	100
AVRO RJ	2100	100
AVRO RJ	2100	100
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-300	2200	136
BOEING 737-400	2300	156
BOEING 737-400	2300	156
BOEING 737-400	2300	156

Πίνακας 5.5.α: Χαρακτηριστικά αεροσκαφών

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι τρεις διαθέσιμοι τύποι αεροσκαφών που διαθέτει η εταιρία καθώς και το πλήθος αυτών. Στην δεύτερη στήλη φαίνεται το λειτουργικό κόστος ανά ώρα πτήσεις σε ευρώ, ενώ στην τρίτη στήλη φαίνεται η χωρητικότητα κάθε αεροσκάφους σε επιβατικές θέσεις. Στο πρόγραμμα εισάγεται το σύνολο των αεροσκαφών, παρόλα που τελικά θα χρησιμοποιηθούν μόνο 12 από αυτά, έτσι ώστε να δίνεται η επιλογή στον αλγόριθμο να επιλέξει τα 12 εκείνα αεροσκάφη που θα φέρουν το βέλτιστο κέρδος.

Στο πίνακα που παρουσιάζεται στη συνέχεια (πίνακας 5.5.β), εμφανίζεται η μέση πληρότητα σε αριθμό επιβατών κάθε πτήσης, καθώς και η τιμή του εισιτηρίου σε ευρώ για κάθε μία από τις πτήσεις αυτές.

Πτήση	Μέση Πληρότητα	Τιμή εισιτηρίου
510	97	70
500	81	90
540	120	100
110	59	70
530	82	100
120	107	70
124	107	70
126	98	70
128	79	70
136	64	70
300	69	60
306	62	60
312	60	60
316	62	60
322	70	60
324	113	60
326	92	60
330	42	59
340	54	59
342	56	59
344	76	59
200	45	65
651	64	65
216	77	65
218	80	65
414	52	55
550	66	60
142	37	60
146	63	60

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

402	51	62
404	61	62
406	61	62
252	44	60
256	38	60
258	48	60
350	33	52
356	39	52
358	33	52
362	39	52
370	28	50
372	31	50
378	30	50
270	44	55
276	48	55
222	31	55
226	36	55
650	71	120
652	71	120
660	70	120
800	91	120
101	76	70
103	87	70
105	90	70
109	93	70
113	85	70
511	97	70
501	92	90
541	124	100
125	67	70
127	55	70
531	77	100
720	46	95
722	47	95
710	63	85
714	82	85
716	51	75
730	68	85
732	68	85
738	41	80
301	53	60
303	62	60
307	72	60
313	72	60
317	86	60
323	83	60

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

329	62	60
711	63	85
715	63	85
331	49	59
341	94	59
343	43	59
345	48	59
201	62	65
652	59	65
217	68	65
219	47	65
721	39	95
723	38	95
143	33	60
147	102	60
557	86	60
415	52	55
403	48	62
405	69	62
407	68	62
253	41	60
255	53	60
257	48	60
717	51	75
351	30	52
357	31	52
359	30	52
363	31	52
731	30	85
733	30	85
371	28	50
373	42	50
379	42	50
739	50	80
271	40	55
277	40	55
223	31	55
227	31	55
651	65	120
653	65	120
661	65	120
991	50	60
992	50	85
994	50	70

Πίνακας 5.5.β: Χαρακτηριστικά πτήσεων

Τα παραπάνω λοιπόν δεδομένα επεξεργάστηκαν από τον αλγόριθμο και προέκυψε μια βελτιωμένη αρχική λύση. Το αποτέλεσμα του προγράμματος προκύπτει σε αρχείο txt. και έχει ως εξής:

The first random solution profit is: 280923.625000

The new Total Profit is: 283363.625000

The difference is 2440.000000

The New Aircraft assignment is:

route 0 is assigned to aircraft type: BOEING 737-300

route 1 is assigned to aircraft type: BOEING 737-300

route 2 is assigned to aircraft type: AVRO RJ 100

route 3 is assigned to aircraft type: AVRO RJ 100

route 4 is assigned to aircraft type: AVRO RJ 100

route 5 is assigned to aircraft type: AVRO RJ 100

route 6 is assigned to aircraft type: AVRO RJ 100

route 7 is assigned to aircraft type: AVRO RJ 100

route 8 is assigned to aircraft type: BOEING 737-300

route 9 is assigned to aircraft type: BOEING 737-300

route 10 is assigned to aircraft type: BOEING 737-300

route 11 is assigned to aircraft type: BOEING 737-300

Παρατηρείται ότι η πρώτη τυχαία ανάθεση των αεροσκαφών, αποφέρει σύμφωνα με το πρόγραμμα πτήσεων που προκύπτει κέρδη στο ύψος των **280923.625000** €, ενώ με την βοήθεια του αλγορίθμου της δεύτερης φάσης πραγματοποιώντας βέλτιστη ανάθεση αεροσκαφών, προκύπτει ένα κέρδος του ύψους των **283363.625000** €, μια διαφορά δηλαδή από την πρώτη λύση **2440** €, ανά ημέρα λειτουργίας του προγράμματος πτήσεων.

Γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω λύση, ότι η χρήση αεροσκαφών τύπου Boeing 737-400, δεν κρίνεται περισσότερο κερδοφόρα σε σχέση με τους άλλους τύπους αεροσκαφών από τον αλγόριθμο και γι αυτό και δεν χρησιμοποιείται. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την μέση πληρότητα των πτήσεων που φαίνεται στον πίνακα 5.5.β, όπου καμιά πτήση δεν ξεπερνά τους 124 επιβάτες. Έτσι τα αεροσκάφη τύπου Boeing 737-300 με χωρητικότητα 136 καθισμάτων (πίνακας 5.5.α) αρκούν για πτήσεις μεγάλης πληρότητας.

5.6 Εφαρμογή 3^ο σταδίου διαδικασίας επίλυσης

Στο τρίτο στάδιο της διαδικασίας που επινοήθηκε, για την βελτιστοποίηση της ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών αεροπορικής εταιρίας, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4, γίνεται η χρήση ενός ευρετικού αλγορίθμου GRASP. Κατά τον αλγόριθμό αυτό που προγραμματίστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++, ελέγχονται κάθε φορά μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας όλες οι γειτονικές λύσεις μιας τυχαία επιλεγόμενης κάθε φορά λύσης, ώστε να προκύψει η ολικά ή τοπικά βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Ως δεδομένα εισόδου του προγράμματος απαιτούνται τα εξής:

1. Αρχική λύση
2. Χαρακτηριστικά αεροσκαφών
3. Χαρακτηριστικά πτήσεων
4. Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων (έστω c)
5. Απόκλιση από την υπάρχουσα κάθε φορά λύση (έστω a)

Η αρχική λύση είναι αυτή που προέκυψε από το πρώτο και δεύτερο στάδιο της διαδικασίας επίλυσης και περιέχει την δομή των δρομολογίων, όπως αυτή φαίνεται στη παράγραφο 5.4 και την ανάθεση των αεροσκαφών στα συγκεκριμένα δρομολόγια όπως αυτή προέκυψε από το δεύτερο στάδιο και έχει ως εξής:

Δρομολόγιο	Αεροσκάφος
0	BOEING 737-300
1	BOEING 737-300
2	AVRO RJ
3	AVRO RJ
4	AVRO RJ
5	AVRO RJ
6	AVRO RJ
7	AVRO RJ
8	BOEING 737-300
9	BOEING 737-300
10	BOEING 737-300
11	BOEING 737-300

Τα χαρακτηριστικά των αεροσκαφών περιλαμβάνουν κόστος ανά ώρα λειτουργίας και χωρητικότητα (πίνακας 5.5.α), ενώ τα χαρακτηριστικά των πτήσεων περιλαμβάνουν τον αριθμό της πτήσης, την πόλη αναχώρησης και άφιξης, την ώρα αναχώρησης και άφιξης που εισάγονται μαζί με τα δεδομένα των δρομολογίων, καθώς και την πληρότητα και τιμή του εισιτηρίου κάθε πτήσης (πίνακας 5.5.β.).

Οι μεταβλητές c και a μεταβάλλονται σε κάθε εκκίνηση του αλγορίθμου από τον χρήστη, έτσι ώστε να βρεθούν οι κατάλληλες τιμές για τα βέλτιστα αποτελέσματα. Η τιμή c ουσιαστικά καθορίζει τον αριθμό των στοιχείων που θα περιέχονται στο τέλος του αλγορίθμου στην περιορισμένη λίστα RCL, περιορίζοντας έτσι έμμεσα τις επαναλήψεις του αλγορίθμου. Η μεταβλητή a καθορίζει την αρνητική απόκλιση από την υπάρχουσα λύση, το ποσοστό μείωσης δηλαδή του κέρδους που μπορεί να γίνει αποδεκτό για την είσοδο μιας λύσης στην RCL.

Τα αποτελέσματα που αναμένονται από τον αλγόριθμο, είναι μια νέα σύνθεση των δρομολογίων που ανατίθενται στα διαθέσιμα αεροσκάφη, έτσι ώστε να προκύψει το βέλτιστο κέρδος λειτουργίας του προγράμματος πτήσεων.

Για την αποτελεσματικότερη και ταχύτερη επεξεργασία του αλγορίθμου έγιναν κάποιες αλλαγές στην δομή του ψευδοκώδικα που φαίνεται στο σχήμα 4.7.η, έτσι ώστε να αποφευχθούν άσκοποι υπολογισμοί. Ο ανανεωμένος ψευδοκώδικας φαίνεται στο σχήμα 5.6.α. Με την μετατροπή αυτή επιτεύχθηκε ραγδαία μείωση του χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων.

Διαδικασία ευρετικού GRASP

Εισαγωγή: λύση υπό εξέταση

Εξαγωγή: νέα υπό εξέταση λύση, ή τελική λύση

Αρχή

Θέσε r =αριθμός δρομολογίων

Για $i=1$ έως $i=r-1$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Επέλεξε το δρομολόγιο i

Θέσε n =αριθμός των πτήσεων στο δρομολόγιο i

Για $j=i+1$ έως $j=r$ με βήμα 1 Εκτέλεσε

Επέλεξε το δρομολόγιο j

Θέσε m =αριθμός των πτήσεων στο δρομολόγιο j

Για $u=1$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $v=u$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Αν οι πτήσεις u έως v αποτελούν κύκλωμα

Εκτέλεσε

Αύξηση μπροστά από την πρώτη πτήση στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αύξηση μετά από την τελευταία πτήση στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Για $x=1$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Αύξηση μπροστά από την πτήση x στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Για $x=1$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $y=x$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Αν οι πτήσεις x έως y αποτελούν κύκλωμα

Εκτέλεσε

Αύξηση μπροστά από την πρώτη πτήση στο δρομολόγιο i

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Αύξηση μετά από την τελευταία πτήση στο δρομολόγιο i

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Για $u=1$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Αύξηση μπροστά από την πτήση u στο δρομολόγιο j

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Για $u=1$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $v=u$ έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $x=1$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Για $y=x$ έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε

Αν οι πτήσεις u και x έχουν ίδιο σταθμό αναχώρησης και οι v, y , ίδιο προορισμό

Εκτέλεσε

Κάνε ανταλλαγή ακολουθιών από u έως v , με την x έως y

Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Τέλος

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

```

    Για u=1 έως n με βήμα 1 Εκτέλεσε
      Για x=1 έως m με βήμα 1 Εκτέλεσε
        Αν οι πτήσεις u και x έχουν ίδιο σταθμό αναχώρησης
          Εκτέλεσε
            Κάνε ανταλλαγή ακολουθιών από u έως n, με την x έως m
            Αξιολόγησε τη λύση και τοποθέτησε την στην RCL αν πρέπει
          Τέλος
        Τέλος
      Τέλος
    Τέλος
  Τέλος
  Νέα λύση =επέλεξε μια τυχαία από την RCL
  Αν δεν υπάρχει άλλη στην RCL τότε τελική λύση = υπάρχουσα λύση
  Τέλος

```

Σχήμα 5.6.α: Ανανεωμένος ψευδοκώδικας του ευρετικού GRASP

1^η περίπτωση $c=0, \alpha=0$

Αρχικά το πρόβλημα επιλύθηκε από το πρόγραμμα, θέτοντας τις εξής τιμές στις μεταβλητές c και α :

$c=0, \alpha=0,$

έτσι ο αλγόριθμος «έτρεξε» έως ότου η λίστα RCL βρεθεί άδεια, ενώ καμία λύση με κέρδος μικρότερο από την κάθε φορά υπάρχουσα δεν επιτράπηκε να εισαχθεί στην RCL.

Τα αποτελέσματα, όπως προκύπτουν από το πρόγραμμα, και αφορούν τα νέα δρομολόγια είναι τα εξής:

Aircraft 0 is assigned to the following flights

flight 362 from 1 to 11
 flight 363 from 11 to 1
 flight 378 from 1 to 12
 flight 379 from 12 to 1
 flight 358 from 1 to 11
 flight 359 from 11 to 1
 flight 124 from 1 to 2
 flight 125 from 2 to 1

Aircraft 1 is assigned to the following flights

flight 540 from 1 to 2
 flight 716 from 2 to 10
 flight 255 from 10 to 1
 flight 270 from 1 to 13
 flight 271 from 13 to 1
 flight 372 from 1 to 12

Βελτιστοποίηση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών
 αεροπορικής εταιρίας, με την χρήση ευρετικού αλγορίθμου GRASP

flight 373 from 12 to 1

Aircraft 2 is assigned to the following flights

flight 142 from 1 to 8

flight 143 from 8 to 1

flight 218 from 1 to 5

flight 217 from 5 to 1

flight 342 from 1 to 4

flight 341 from 4 to 1

flight 126 from 1 to 2

flight 730 from 2 to 11

flight 357 from 11 to 1

flight 256 from 1 to 10

flight 257 from 10 to 1

Aircraft 3 is assigned to the following flights

flight 660 from 1 to 16

flight 661 from 16 to 1

flight 216 from 1 to 5

flight 652 from 5 to 1

flight 510 from 1 to 2

flight 714 from 2 to 3

flight 313 from 3 to 1

flight 800 from 1 to 20

flight 801 from 20 to 1

flight 406 from 1 to 9

flight 407 from 9 to 1

Aircraft 4 is assigned to the following flights

flight 651 from 1 to 5

flight 219 from 5 to 1

flight 330 from 1 to 4

flight 331 from 4 to 1

flight 128 from 1 to 2

flight 992 from 2 to 3

flight 711 from 3 to 2

flight 510 from 2 to 18

flight 511 from 18 to 2

flight 105 from 2 to 1

Aircraft 5 is assigned to the following flights

flight 326 from 1 to 3

flight 329 from 3 to 1

flight 414 from 1 to 6

flight 415 from 6 to 1

flight 200 from 1 to 5

flight 201 from 5 to 1
flight 316 from 1 to 3
flight 317 from 3 to 1
flight 650 from 1 to 15
flight 651 from 15 to 1

Aircraft 6 is assigned to the following flights

flight 710 from 2 to 3
flight 303 from 3 to 1
flight 136 from 1 to 2
flight 103 from 2 to 1
flight 340 from 1 to 4
flight 343 from 4 to 1
flight 402 from 1 to 9
flight 403 from 9 to 1
flight 530 from 1 to 2
flight 530 from 2 to 19
flight 531 from 19 to 2

Aircraft 7 is assigned to the following flights

flight 301 from 3 to 1
flight 500 from 1 to 2
flight 500 from 2 to 20
flight 501 from 20 to 2
flight 501 from 2 to 1
flight 404 from 1 to 9
flight 405 from 9 to 1
flight 312 from 1 to 3
flight 715 from 3 to 2
flight 722 from 2 to 5
flight 723 from 5 to 2

Aircraft 8 is assigned to the following flights

flight 109 from 2 to 1
flight 306 from 1 to 3
flight 307 from 3 to 1
flight 120 from 1 to 2
flight 127 from 2 to 1
flight 322 from 1 to 3
flight 323 from 3 to 1

Aircraft 9 is assigned to the following flights

flight 356 from 1 to 11
flight 731 from 11 to 2
flight 540 from 2 to 17
flight 541 from 17 to 2

flight 541 from 2 to 1
flight 370 from 1 to 12
flight 371 from 12 to 1
flight 300 from 1 to 3

Aircraft 10 is assigned to the following flights

flight 511 from 2 to 1
flight 110 from 1 to 2
flight 113 from 2 to 1
flight 350 from 1 to 11
flight 351 from 11 to 1
flight 324 from 1 to 3
flight 991 from 3 to 1
flight 994 from 1 to 2

Aircraft 11 is assigned to the following flights

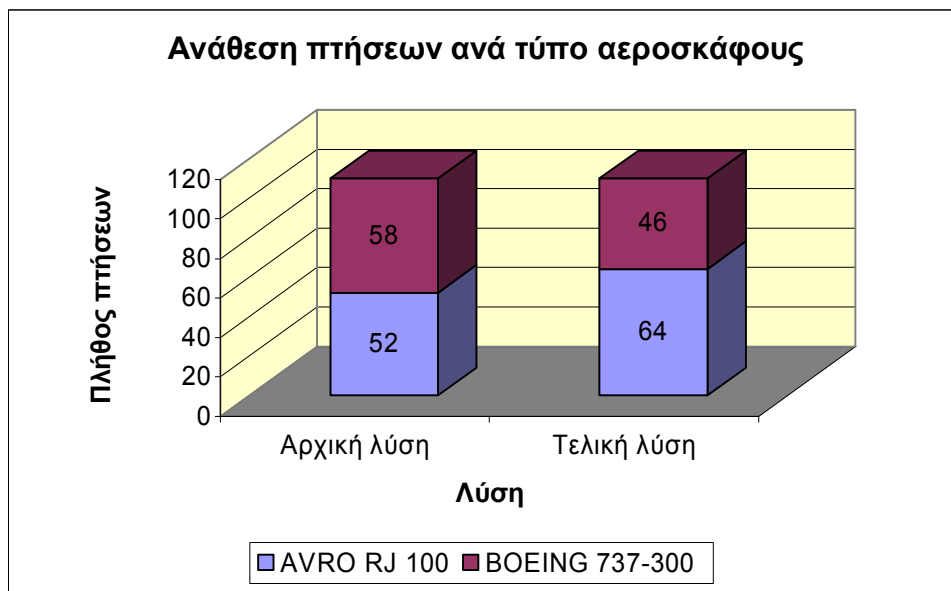
flight 222 from 1 to 14
flight 223 from 14 to 1
flight 252 from 1 to 10
flight 253 from 10 to 1
flight 146 from 1 to 8
flight 147 from 8 to 1
flight 276 from 1 to 13
flight 277 from 13 to 1

Ενώ ο συνολικός αριθμός των πτήσεων που ανατέθηκε σε κάθε δρομολόγιο εξάγεται από το πρόγραμμα και έχει ως εξής:

Aircraft 0 is assigned to 8 flights
Aircraft 1 is assigned to 7 flights
Aircraft 2 is assigned to 11 flights
Aircraft 3 is assigned to 11 flights
Aircraft 4 is assigned to 10 flights
Aircraft 5 is assigned to 10 flights
Aircraft 6 is assigned to 11 flights
Aircraft 7 is assigned to 11 flights
Aircraft 8 is assigned to 7 flights
Aircraft 9 is assigned to 8 flights
Aircraft 10 is assigned to 8 flights
Aircraft 11 is assigned to 8 flights

Παρατηρείται στη παραπάνω λύση, ότι πραγματοποιείται σε γενικές γραμμές μια μεταφορά των περισσότερων πτήσεων σε δρομολόγια που εκτελούνται από αεροσκάφη τύπου AVRO RJ 100, η οποία φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 5.6.β). Η μετακίνηση αυτή δικαιολογείται από το μικρότερο κόστος λειτουργίας του AVRO RJ

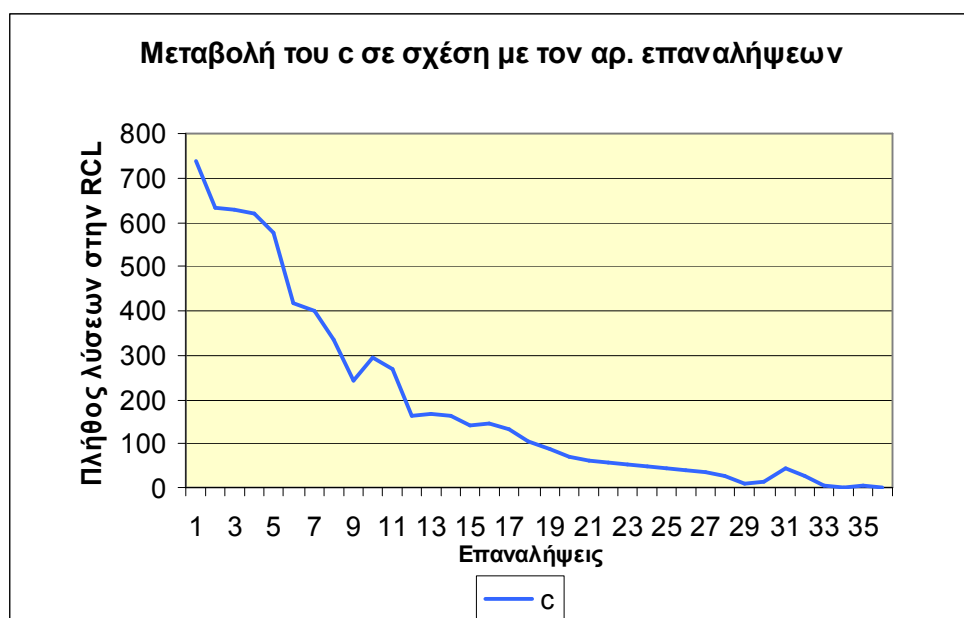
100, σε σχέση με το κόστος λειτουργίας του BOEING 737-300 και στο ότι για την πλειοψηφία των πτήσεων η χωρητικότητα του AVRO RJ 100, ξεπερνά την μέση πληρότητα της πτήσης. Γι αυτόν ακριβώς το λόγο, είναι απαραίτητη η υιοθέτηση ενός έγκυρου μοντέλου πρόβλεψης της πληρότητας των πτήσεων, έτσι ώστε με πιο έγκυρα δεδομένα ο αλγόριθμος να παράγει και πιο κοντινά στην πραγματικότητα αποτελέσματα.



Σχήμα 5.6.β: Ανάθεση πτήσεων ανά δρομολόγιο αεροσκάφους

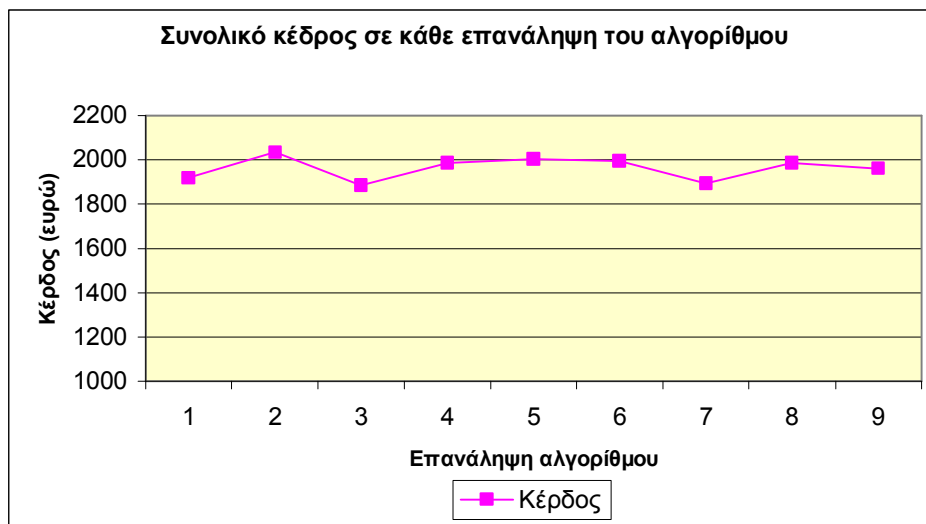
Το κέρδος που προκύπτει από τη λύση είναι κατά **1986.65 €** μεγαλύτερο, σε σχέση με την πρώτη λύση που προέκυψε μετά το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας, ενώ γίνεται φανερό εξετάζοντας την παραπάνω λύση ότι ικανοποιούνται οι απαραίτητοι περιορισμοί διατήρησης της ροής των πτήσεων και ύπαρξης ίδιου αριθμού αεροσκαφών σε κάθε επίγειο σταθμό στην αρχή και λήξη του προγράμματος, ώστε να είναι δυνατή η επανάληψη αυτού την επόμενη μέρα. Στο στάδιο αυτό δεν εξετάζονται οι ώρες των πτήσεων παρά μόνο η διάρκεια τους, μιας και η λύση που προκύπτει αποτελεί πρόταση προς την αεροπορική εταιρία για την κατασκευή ενός νέου προγράμματος που θα αποφέρει μεγαλύτερο κέρδος. Παρόλα αυτά η δομή του προγράμματος δεν απέχει πολύ από την δομή του αρχικού, έτσι ώστε αυτό να γίνεται πιο εύκολα αποδεκτό και υλοποιήσιμο.

Η μεταβολή του c σε σχέση με τις επαναλήψεις που εκτελεί ο αλγόριθμος, έως ότου βρεθεί σε κάποιο βέλτιστο, φαίνεται στο σχήμα 5.6.γ όπου παρατηρείται μια εκθετική μείωση του c συναρτήσει των επαναλήψεων. Η μεταβολή δηλαδή του c είναι απότομη στην αρχή της διαδικασίας και σταθεροποιείται προς το τέλος αυτής. Αυτή η καμπύλη αναπαριστά τον τρόπο με τον οποίο ο αλγόριθμος πλησιάζει τη βέλτιστη λύση του προβλήματος, μιας και πλησιάζοντας το βέλτιστο, ο αριθμός των γειτονικών λύσεων που αποφέρουν μεγαλύτερο κέρδος μειώνεται και μάλιστα εκθετικά.



Σχήμα 5.6.γ: Μεταβολή του c σε σχέση με τις επαναλήψεις που εκτελεί ο αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος όμως του τρίτου σταδίου μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές έτσι ώστε να βεβαιωθούμε αν η παραπάνω τιμή των 1986.65 € αποτελεί τοπικό ή ολικό μέγιστο της συνάρτησης κέρδους. Οι επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν έδωσαν κάθε φορά τα αποτελέσματα που φαίνονται παρακάτω (σχήμα 5.6.δ).



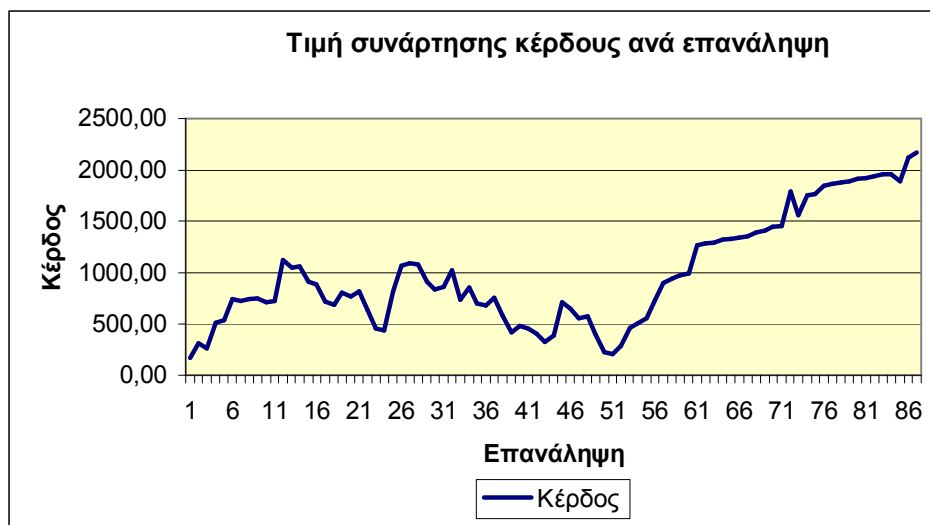
Σχήμα 5.6.δ: Αποτελέσματα διαδοχικών επαναλήψεων του αλγορίθμου

Από το παραπάνω σχήμα συμπεραίνεται ότι ο αλγόριθμος τερματίζεται κάθε φορά σε ένα τοπικό ή ολικό βέλτιστο, από όπου όλες οι γειτονικές λύσεις είναι χειρότερες από την παρούσα. Τα αποτελέσματα βέβαια κινούνται πάντα σε ένα διάστημα κέρδους 1900 με 2050 ευρώ περίπου, αλλά για να αυξηθεί η πιθανότητα εύρεσης του ολικού βέλτιστου, θα πρέπει να διευρυνθεί η «γειτονιά» αναζήτησης λύσης, ώστε να αποφευχθεί το κόλλημα σε κάποιο τοπικό βέλτιστο γι' αυτό το λόγο μεταβάλλεται στην δεύτερη περίπτωση η τιμή του α .

2^η περίπτωση $\epsilon=0, \alpha=\text{μεταβλητό}$

Στην περίπτωση αυτή διευρύνεται η περιοχή αναζήτησης λύσεων του αλγορίθμου, μιας και η είσοδος στην λίστα RCL, επιτρέπεται και σε λύσεις με μικρότερη τιμή κέρδους από την υπάρχουσα κάθε φορά λύση. Στην πράξη η τιμή του α κινείται από $\alpha=0,01$ έως $\alpha=0$, που σημαίνει ότι επιτρέπεται λύση με μικρότερο κέρδος μέχρι 300 € περίπου. Το ποσοστό $\alpha=0,01$ είναι αρκετά μεγάλο αν αναλογιστεί κανείς ότι συνολική αύξηση κέρδους που επιτυγχάνεται στο τρίτο στάδιο της διαδικασίας επίλυσης, είναι περίπου 2000 € στην περίπτωση της Aegean Airlines. Η σημασία του να είναι μεταβλητή η τιμή του α κατά την πραγματοποίηση του αλγορίθμου, έγκειται στην τελική σύγκλιση του αλγορίθμου. Αν το α παραμείνει με τιμή $\alpha>0$, τότε ο αλγόριθμος δεν συγκλίνει ποτέ

μιας και πάντα θα εντοπίζει λύσεις με μικρότερο κέρδος από το βέλτιστο. Έτσι στο πρόγραμμα το οποίο αναπτύχθηκε, η τιμή του α παραμένει μεγαλύτερη του 0 για κάποιες επαναλήψεις έτσι ώστε να αξιολογηθούν περισσότερα εφικτά ζεύγη δρομολογίων και στην συνέχεια έχοντας κάνει την κατάλληλη αναζήτηση, μόλις προκύπτει συνεχόμενη αύξηση του κέρδους σε διαδοχικές επαναλήψεις τότε η τιμή του α μειώνεται έως ότου πάρει την τελική του τιμή $\alpha=0$, έτσι ώστε να υπάρξει ταχύτερη σύγκλιση στις τελευταίες επαναλήψεις του αλγορίθμου και να αποφευχθεί η οποιαδήποτε παλινδρόμηση σε τιμές γύρω από το βέλτιστο (σχήμα 5.6.ε).



Σχήμα 4.6.ε: Μεταβολή κέρδους ανά επανάληψη.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να μην εξασφαλίζει το ότι η τελική λύση είναι το πραγματικά ολικό βέλτιστο, παρόλα αυτά στην πράξη προσφέρει συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα από την παραπάνω μέθοδο όπου το α παραμένει σταθερό. Πράγματι κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου στο πρόβλημα της Aegean Airlines προέκυψε κέρδος 2086 € αυξημένο δηλαδή κατά 5% από την προηγούμενη μέθοδο. Η λύση που προέκυψε και πληροί όλους τους απαραίτητους περιορισμούς όπως ήταν αναμενόμενο και παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Aircraft 0 is assigned to the following flights

flight 362 from 1 to 11
flight 363 from 11 to 1
flight 356 from 1 to 11
flight 357 from 11 to 1
flight 342 from 1 to 4
flight 343 from 4 to 1
flight 124 from 1 to 2
flight 109 from 2 to 1

Aircraft 1 is assigned to the following flights

flight 540 from 1 to 2
flight 511 from 2 to 1
flight 146 from 1 to 8
flight 147 from 8 to 1
flight 330 from 1 to 4
flight 331 from 4 to 1
flight 370 from 1 to 12
flight 371 from 12 to 1

Aircraft 2 is assigned to the following flights

flight 322 from 1 to 3
flight 323 from 3 to 1
flight 651 from 1 to 5
flight 652 from 5 to 1
flight 406 from 1 to 9
flight 407 from 9 to 1
flight 500 from 1 to 2
flight 500 from 2 to 20
flight 501 from 20 to 2
flight 113 from 2 to 1
flight 530 from 1 to 2

Aircraft 3 is assigned to the following flights

flight 200 from 1 to 5
flight 201 from 5 to 1
flight 218 from 1 to 5
flight 219 from 5 to 1
flight 650 from 1 to 15
flight 651 from 15 to 1
flight 800 from 1 to 20
flight 801 from 20 to 1
flight 326 from 1 to 3
flight 329 from 3 to 1

flight 136 from 1 to 2

Aircraft 4 is assigned to the following flights

flight 142 from 1 to 8

flight 143 from 8 to 1

flight 340 from 1 to 4

flight 341 from 4 to 1

flight 414 from 1 to 6

flight 415 from 6 to 1

flight 222 from 1 to 14

flight 223 from 14 to 1

flight 216 from 1 to 5

flight 217 from 5 to 1

Aircraft 5 is assigned to the following flights

flight 510 from 1 to 2

flight 510 from 2 to 18

flight 511 from 18 to 2

flight 714 from 2 to 3

flight 715 from 3 to 2

flight 716 from 2 to 10

flight 255 from 10 to 1

flight 994 from 1 to 2

flight 125 from 2 to 1

flight 126 from 1 to 2

flight 127 from 2 to 1

Aircraft 6 is assigned to the following flights

flight 722 from 2 to 5

flight 723 from 5 to 2

flight 710 from 2 to 3

flight 303 from 3 to 1

flight 402 from 1 to 9

flight 403 from 9 to 1

flight 110 from 1 to 2

flight 730 from 2 to 11

flight 731 from 11 to 2

flight 530 from 2 to 19

flight 531 from 19 to 2

Aircraft 7 is assigned to the following flights

flight 301 from 3 to 1

flight 252 from 1 to 10

flight 253 from 10 to 1

flight 306 from 1 to 3

flight 307 from 3 to 1

flight 660 from 1 to 16
flight 661 from 16 to 1
flight 404 from 1 to 9
flight 405 from 9 to 1
flight 128 from 1 to 2
flight 992 from 2 to 3

Aircraft 8 is assigned to the following flights

flight 103 from 2 to 1
flight 350 from 1 to 11
flight 351 from 11 to 1
flight 276 from 1 to 13
flight 277 from 13 to 1
flight 120 from 1 to 2
flight 501 from 2 to 1

Aircraft 9 is assigned to the following flights

flight 300 from 1 to 3
flight 711 from 3 to 2
flight 540 from 2 to 17
flight 541 from 17 to 2
flight 541 from 2 to 1
flight 378 from 1 to 12
flight 379 from 12 to 1

Aircraft 10 is assigned to the following flights

flight 105 from 2 to 1
flight 270 from 1 to 13
flight 271 from 13 to 1
flight 256 from 1 to 10
flight 257 from 10 to 1
flight 324 from 1 to 3
flight 991 from 3 to 1

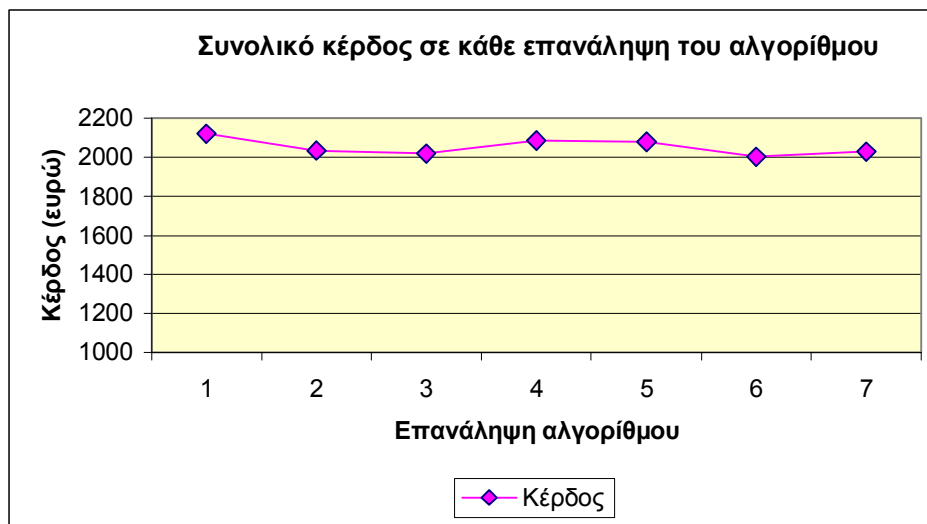
Aircraft 11 is assigned to the following flights

flight 372 from 1 to 12
flight 373 from 12 to 1
flight 312 from 1 to 3
flight 313 from 3 to 1
flight 316 from 1 to 3
flight 317 from 3 to 1
flight 358 from 1 to 11
flight 359 from 11 to 1

Ενώ ο συνολικός αριθμός των πτήσεων που ανατέθηκε σε κάθε δρομολόγιο εξάγεται από το πρόγραμμα και έχει ως εξής:

Aircraft 0 is assigned to 8 flights
Aircraft 1 is assigned to 8 flights
Aircraft 2 is assigned to 11 flights
Aircraft 3 is assigned to 11 flights
Aircraft 4 is assigned to 10 flights
Aircraft 5 is assigned to 11 flights
Aircraft 6 is assigned to 11 flights
Aircraft 7 is assigned to 11 flights
Aircraft 8 is assigned to 7 flights
Aircraft 9 is assigned to 7 flights
Aircraft 10 is assigned to 7 flights
Aircraft 11 is assigned to 8 flights

Αυξημένη τιμή του κέρδους παρατηρήθηκε σε κάθε εφαρμογή του αλγορίθμου στο παρών πρόβλημα ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών, καθώς οι τιμές που προέκυπταν ήταν πάντα αυξημένες κατά μέσο όρο 5% σε σχέση με την μέθοδο σταθερού α (σχήμα 5.6.ζ). Έτσι η μέθοδος αυτή θα πρέπει να προτιμάται για πιο ποιοτικές λύσεις, παρόλα αυτά είναι πιο αργή από τη προηγούμενη μιας και απαιτούνται πολλαπλάσιες επαναλήψεις μέχρι την εύρεση της βέλτιστης λύσης από τον αλγόριθμο, σε σχέση με την μέθοδο σταθερού α . Για την επιλογή λοιπόν της κατάλληλης μεθόδου θα πρέπει να ισορροπηθεί κατάλληλα, εκ μέρους της διοίκησης κάθε αεροπορικής η ερμηνεία του ρητού «ο χρόνος είναι χρήμα».



Σχήμα 5.6.ζ.: Αποτελέσματα διαδοχικών επαναλήψεων του αλγορίθμου (με α μεταβαλλόμενο)

5.7 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της διαδικασίας που επινοήθηκε για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης και δρομολόγησης αεροσκαφών της Aegean Airlines επέφερε ένα συνολικό κέρδος γύρω στα 4500 € ανά ημέρα εφαρμογής του προγράμματος πτήσεων που προέκυψε. Η αρχική λύση άλλωστε, που κατασκευάστηκε κατά το πρώτο στάδιο της διαδικασίας επίλυσης, λόγω του ότι θεωρήθηκαν ως δεδομένες οι ώρες πτήσεων, θα είναι παρόμοια με την λύση που χρησιμοποιεί η ίδια η εταιρία. Έτσι το οποιαδήποτε όφελος προκύπτει από τα δύο επόμενα στάδια της διαδικασίας είναι της ίδιας τάξης με το όφελος που θα προέκυπτε έχοντας ως αρχική λύση το πραγματικά χρησιμοποιούμενο πρόγραμμα πτήσεων της αεροπορικής εταιρίας. Το ποσό αυτό ανέρχεται στα 1.600.000 € περίπου το χρόνο, ανάγοντας απλά το ημερήσιο προσθετό κέρδος των 4500 € σε ετήσιο. Είναι λοιπόν σημαντικά τα οικονομικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή ενός τέτοιου μοντέλου βελτιστοποίησης, στο χώρο των αεροπορικών εταιριών. Άλλωστε το παραπάνω μοντέλο μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες συνθήκες και απαιτήσεις κάθε αεροπορικής εταιρίας μεταβάλλοντας κατάλληλα τους παράγοντες μοντελοποίησης.

Βιβλιογραφία

1. Gang Yu, Operations Research in the Airline Industry, Kluwer Academic Publishers (1997)
2. Gang Yu, Airline Optimization, Transportation and Logistics 18.2, 689-701
3. Mauricio G.C. Resende, Celso C. Ribeiro “Greedy Randomized Adaptive Search Procedures”
4. Abdoul Sylla “Operations Research in the Airline Industry”
5. C.A. Hane et al, The fleet assignment problem: solving a large-scale integer program, Math. Programming 70, 1995, pp.211-232
6. Gang Yu, Michael F. Argüello, Jonathan F. Bard, A GRASP for Aircraft Routing in response to Groundings and Delays, journal of Combinational Optimization 5, 211-218 (1997)
7. R.A. Rushmeier and S.A. Kontogiorgis, Advances in the Optimazation of Airline Fleet Assignment, Transportation Science, Vol. 31, No.2, 1997