

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Βαθμολόγηση Προτιμήσεων Σε Συστήματα
Προγραμματισμού Ιπτάμενου Προσωπικού Με
Περιορισμό Ικανοποίησης Προτιμήσεων Σε
Αυστηρή Ιεράρχηση

Συγγραφέας
Αναστάσιος Ι. Κώτσιου

Υπεύθυνος Καθηγητής
Δρ. Κοζανίδης Γεώργιος

Βόλος 2019

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους
των απαιτήσεων για την απόκτηση
του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2019

©2019 Αναστάσιος Ι. Κώτσιου

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Επιτροπή Εξέτασης

1ος Εξεταστής
(Επιβλέπων)

Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

2ος Εξεταστής

Δρ. Δημήτριος Παντελής
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

3ος Εξεταστής

Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Οι αεροπορικές εταιρείες αντιμετωπίζουν συνεχώς την πρόκληση της αποτελεσματικής αξιοποίησης των πόρων του πληρώματος, για την αποδοτικότερη παροχή υπηρεσιών, τόσο προς το καταναλωτικό κοινό τους, όσο και προς το υφιστάμενο προσωπικό τους. Σκοπός, λοιπόν, των εταιρειών είναι ο βέλτιστος χρονοπρογραμματισμός του ανθρώπινου δυναμικού τους. Στο πλαίσιο της προτεινόμενης έρευνας, παρουσιάζεται το πρόβλημα ανάθεσης των ιπτάμενων σε πτητικές διαδρομές με στόχο την κάλυψη του υφιστάμενου πτητικού φορτίου και τη μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του ιπτάμενου προσωπικού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η κατασκευή εξατομικευμένων μηνιαίων προγραμμάτων των μελών του πληρώματος, όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων. Με ένα τέτοιο σύστημα, κάθε εργαζόμενος υποβάλλει τις προτιμήσεις του, αποδίδοντας μια βαθμολογία υποβολής για κάθε εφικτό πρόγραμμα. Επομένως, συνίσταται η ανάθεση σε κάθε ιπτάμενο, ενός προγράμματος που μεγιστοποιεί το βαθμό ικανοποίησης των προτιμήσεών του, λαμβάνοντας υπόψη την αρχαιότητά τους. Έτσι, το σύστημα γνωρίζει εκ των προτέρων την κατάταξη των προτιμήσεων του ιπτάμενου, προσπαθώντας να τηρήσει την ιεραρχία. Επιπλέον, σχολιάζεται λεπτομερώς, η μελέτη και η κατασκευή ενός μοντέλου μεικτού ακέραιου προγραμματισμού, η λύση του οποίου θα επιφέρει την ανάθεση των πτητικών διαδρομών στους ιπτάμενους. Τέλος, παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από δοκιμές που διεξήχθησαν σε ρεαλιστικά προβλήματα, τα οποία καταδεικνύουν το βαθμό επιρροής του αριθμού των προτιμήσεων που υποβάλλει ένας ιπτάμενος, στο χρόνο εύρεσης της βέλτιστης λύσης.

Abstract

Commercial airlines face the challenge of the efficient use of human resources aiming at the same time at high-quality service for their customers and at good working conditions for their employees. Therefore, commercial airlines' aim is the optimal human resources scheduling. On this thesis, the problem of assigning flights to flight crews is presented so that the needs of the scheduled flights to be covered and the preferences of the pilots to be maximised. More specifically, the construction of monthly schedules for each crew member is presented, by taking into account a system that describes their preferences. In the abovementioned system, each employee submits his preferences by grading each possible flight sequence. As a result, the system is informed about the hierarchy between the pilots and aims to construct a schedule that maximizes crew's satisfaction level considering the existed hierarchy. Moreover, a mixed integer programming model that assigns flights routes to pilots is studied and constructed. The above model assigns flights routes to pilots. Finally, experimental results from realistic problems were presented which highlight the impact of the preference systems on the total time needed for the calculation of the optimal solution.

Ευχαριστίες

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το τελευταίο στάδιο εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ολοκληρώνοντας το και φτάνοντας στο τέλος αυτής της «διαδρομής» θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν και με βοήθησαν.

Πρώτα από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, καθηγητή κ. Γεώργιο Κοζανίδη, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Κυρίως, όμως, τον ευχαριστώ για την καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και για τις ευκαιρίες που μου έδωσε ώστε να επεκτείνω τις γνώσεις και τις εμπειρίες μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για το χρόνο που αφιέρωσαν για την εξέταση της εργασίας μου. Επιπλέον, όλα αυτά τα χρόνια ήταν πάντα πρόθυμα να με βοηθήσουν με οποιοδήποτε τρόπο.

Πλησιάζοντας στο τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, που με συντρόφευσαν όλα αυτά τα χρόνια. Οι πολύωρες συζητήσεις καθώς και οι συμβουλές που μου παρείχαν με βελτίωσαν σαν άνθρωπο. Κοιτάζοντας πίσω στο χρόνο, θυμάμαι μόνο καλές στιγμές. Εύχομαι η φιλία μας να αντέξει στο χρόνο και την απόσταση.

Περισσότερο από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου, στους οποίους αφιερώνω αυτή την εργασία. Τους ευχαριστώ για την στήριξη και την κατανόηση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τη διαρκή πίστη τους σε μένα. Χωρίς τις δικές τους θυσίες και στερήσεις, δεν θα κατάφερνα να φτάσω στο σημείο αυτό που βρίσκομαι. Μου δίνουν δύναμη να συνεχίσω.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	ii
Ευχαριστίες	iii
Κατάλογος Σχημάτων	vi
Κατάλογος Πινάκων	vii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Η Συμβολή Της Αεροπορικής Βιομηχανίας	1
1.2.1 Οικονομικά Οφέλη	2
1.2.2 Κοινωνικά Οφέλη	2
1.2.3 Άλλα Οφέλη	3
1.3 Προγραμματισμός Πόρων Στην Αεροπορία	3
1.3.1 Σχεδιασμός Προγράμματος Αεροσκαφών(Aircraft Schedule Planning)	4
1.3.2 Σχεδιασμός Προγράμματος Πληρώματος(Crew Schedule Planning)	5
1.4 Συνεισφορά	6
1.5 Οργάνωση Της Διπλωματικής	6
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	8
2.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Και Αλγόριθμοι	8
2.2 Εφαρμογή Των Αλγορίθμων Στον Προγραμματισμό Προγράμματος	11
3 Ορισμός Του Προβλήματος	12
3.1 Τυπικοί Κανόνες Και Κανονισμοί	12
3.1.1 Οριζόντιοι Κανόνες	12
3.1.2 Κάθετοι Κανόνες	14
3.1.3 Τεχνητοί Κανόνες	15
3.2 Είδη Προβλήματος	15
3.3 Σύστημα Ικανοποίησης Προτιμήσεων	17
3.3.1 Αναλυτική Περιγραφή Του Προβλήματος	17
3.3.2 Μεθολογία Εκτέλεσης	18
3.3.3 Κατάλογος Προτιμήσεων	19
3.3.4 Περαιτέρω Διαχωρισμός Συστήματος	20
3.4 Συμβολή	21
3.4.1 Οφέλη	21
3.4.2 Στόχοι	22
4 Μοντελοποίηση	23
4.1 Γενικά	23
4.2 Βαθμολογία	23
4.2.1 Αναλυτική Διαδικασία	24
4.2.2 Χρήση Συνάρτησης	24
4.2.3 Απόδειξη	25
4.3 Χαμηλής Προτεραιότητας	26
4.3.1 Αναλυτική Διαδικασία	26
4.3.2 Τύπος	28
4.4 Σχεδιασμός	30
4.4.1 Γενικά	30
4.4.2 Κατάλληλος Σχεδιασμός	31

4.5	Μορφοποίηση	33
4.5.1	Μεταβλητές Απόφασης	33
4.5.2	Περιορισμοί	33
4.5.3	Αντικειμενική Συναρτηση	34
5	Αποτελέσματα Πειραμάτων	35
5.1	Μεταβολές Μεγεθών	35
5.1.1	Αριθμός Περιορισμών	35
5.1.2	Αριθμός Δυαδικών Μεταβλητών	36
5.1.3	Συνολικός Χρόνος	38
5.1.4	Χρόνος Χτισίματος Κώδικα	39
6	Σύνοψη	41
6.1	Συμπεράσματα	41
6.2	Μελλοντική Έρευνα	41
7	Βιβλιογραφία	43

Κατάλογος Σχημάτων

1	Ιεραρχία του σχεδιασμού λειτουργιών	3
2	Αλγόριθμος Δημιουργία Στηλών	8
3	Διακλάδωση και Φραγμού	9
4	Διακλάδωση και Τιμολόγησης	10
5	Τυπικοί Κανόνες και Κανονισμοί	13
6	Πρόβλημα ανάθεσης του πληρώματος	16
7	Προτιμήσεις ιπτάμενου	20
8	Αριθμός περιορισμών ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας	36
9	Αριθμός δυαδικών μεταβλητών ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας	37
10	Συνολικός χρόνος εκτέλεσης κώδικα ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας	38
11	Χρόνος χτισίματος κώδικα ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας	40

Κατάλογος Πινάκων

1	Πίνακας προτιμήσεων ενός ιπτάμενου	23
2	Πίνακας προτιμήσεων ενός ιπτάμενου για 4 επίπεδα προτεραιότητας	24
3	Πίνακας προτιμήσεων ενός ιπτάμενου για 6 επίπεδα προτεραιότητας	26
4	Πίνακας προτιμήσεων υψηλής-χαμηλής προτεραιότητας	27
5	Πίνακας προτιμήσεων ενός ιπτάμενου για 5 επίπεδα προτεραιότητας	30
6	Πίνακας προτιμήσεων και αριθμού γύρων	30
7	<i>Design</i> ενός πίνακα προτιμήσεων	31
8	Πίνακα προτιμήσεων και συντελεστών <i>coef</i>	32
9	Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και των αντίστοιχων περιορισμών	35
10	Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και των αντίστοιχων δυαδικών μεταβλητών	37
11	Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και του αντίστοιχου συνολικού χρόνου εκτέλεσης κώδικα	38
12	Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και των αντίστοιχων χρόνων χτισίματος κώδικα	39

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες η αεροπορική βιομηχανία χαρακτηρίζεται ως μια από τις πλέον προηγμένες βιομηχανίες. Όπως και σε άλλες πτυχές της σημερινής κοινωνίας, η εξάρτηση της βιομηχανίας των αερομεταφορών από τις τεχνολογίες πληροφορικής σε συνδυασμό με τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται στην έρευνα, της επέτρεψαν να αυξήσουν την παραγωγικότητά της, να μειώσουν τα κόστη της και να βελτιώσουν την απόδοσή της.

Η αεροπορική βιομηχανία, μέσω πτήσεων, προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς για επιβάτες ή φορτία από το ένα μέρος στο άλλο. Γενικότερα, η επιτυχία της βασίζεται στην εγκυρότητα, την ακρίβεια και την ποιότητα των υπηρεσιών της. Πιο συγκεκριμένα, η προσήλωση στα ευέλικτα προγράμματα πτήσεων, η συνέπεια ωραρίων, η έμφαση στην ασφάλεια των επιβατών και των φορτίων, η πληθώρα των προσφερόμενων υπηρεσιών κατά τη διάρκεια της πτήσης καθώς και οι προσιτές τιμές των αεροπορικών εισιτηρίων είναι κάποιες συνιστώσες στρατηγικής σημασίας για την επιτυχία των εταιρειών στο χώρο της αεροπορικής βιομηχανίας. Οι βασικοί πόροι που απαιτούνται για την λειτουργία μιας αεροπορικής εταιρείας είναι τα αεροσκάφη, το πλήρωμα του εδάφους και του αεροσκάφους και οι εγκαταστάσεις των αεροδρομίων, όπως για παράδειγμα οι διάδρομοι προσγείωσης/απογείωσης και οι πύλες.

Ο ανταγωνισμός που έχει δημιουργηθεί στον τομέα των αερομεταφορών έχει ωθήσει τις εταιρείες σε συνεχείς βελτιωτικές ενέργειες. Για αυτό το λόγο, οι περισσότερες επιχειρήσεις πραγματοποιούν μεγάλες επενδύσεις σε εξειγμένα αεροσκάφη και απασχολούν υψηλά εκπαιδευμένο και καταρτισμένο προσωπικό, στοχεύοντας στη διεκδίκηση μεγαλύτερου μεριδίου αγοράς. Ακόμα, γνωρίζουν ότι ο ανταγωνισμός δεν περιορίζεται μόνο εντός της αεροπορικής βιομηχανίας, αλλά περιλαμβάνει και τα μέσα μεταφοράς του εδάφους, όπως τρένα, λεωφορεία και πλοία.

Λίγες εφευρέσεις έχουν φέρει ριζικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ζουν και βιώνουν τον κόσμο, όσο η εφεύρεση του αεροπλάνου. Κατά τη διάρκεια των δύο παγκοσμίων πολέμων, οι κυβερνητικές επιχορηγήσεις και οι απαιτήσεις για νέα αεροπλάνα βελτίωσαν σημαντικά τις τεχνικές σχεδιασμού και κατασκευής τους. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο, δημιουργήθηκαν στην Ευρώπη οι πρώτες εμπορικές διαδρομές αεροπλάνου. Συνεπώς, η αεροπορική βιομηχανία έχει εισβάλει αισθητά στις ζωές των ανθρώπων, επηρεάζοντας τον τρόπο με τον οποίον ζουν και ασκούν τις καθημερινές τους δραστηριότητες. Η εκμηδένιση της απόστασης που επέφερε η άφιξη του αεροπλάνου στη ζωή του ανθρώπου, έχει φέρει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο αντίληψης, τόσο της απόστασης, όσο και του χρόνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η πρόσβαση του ανθρώπου σε μέρη που μέχρι πριν λίγες δεκαετίες θεωρούνταν απρόσιτα [15].

1.2 Η Συμβολή Της Αεροπορικής Βιομηχανίας

Η αεροπορία παρέχει το μοναδικό γρήγορο παγκόσμιο δίκτυο μεταφορών, το οποίο καθιστά απαραίτητο για τις παγκόσμιες επιχειρήσεις. Η βελτίωση της συνδεσιμότητας του αέρα βρίσκεται στο επίκεντρο της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης. Πολλά κράτη έχουν κατανοήσει τον ζωτικό ρόλο της σύνδεσης του αέρα για την οικονομική τους ευημερία και επενδύουν μεγάλα κεφάλαια για την συνεχή βελτίωσή της.[8]

1.2.1 Οικονομικά Οφέλη

Τουρισμός: Μία από τις βιομηχανίες που βασίζεται περισσότερο στην αεροπορία είναι ο τουρισμός. Ο κλάδος του τουρισμού και των αερομεταφορών αλληλοσυμπληρώνονται. Ο τουρισμός εξαρτάται από την μεταφορά για να φέρει τους επισκέπτες, ενώ ο κλάδος των μεταφορών εξαρτάται από τον τουρισμό για τη δημιουργία της ζήτησης για τις υπηρεσίες που παρέχει. Η ανάπτυξη της τουριστικής βιομηχανίας αντικατοπτρίζει άμεσα τις αεροπορικές μεταφορές. Η επέκταση του διεθνούς τουρισμού έχει μεγάλο αντίκτυπο στον τομέα της γεωγραφίας των μεταφορών.

Οι αερομεταφορές, είναι η αιτία και το αποτέλεσμα της ανάπτυξης του τουρισμού. Η προσβασιμότητα είναι η κύρια λειτουργία πίσω από τα βασικά στοιχεία των μεταφορών τουρισμού. Προκειμένου να αποκτηθεί πρόσβαση στις περιοχές που απευθύνονται κυρίως σε τουρίστες, θα χρησιμοποιηθεί κάθε δυνατός τρόπος μεταφοράς. Ωστόσο, οι αεροπορικές μεταφορές είναι ο κύριος τρόπος μεταφοράς. Οι αεροπορικές μεταφορές διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στις μετακινήσεις τουριστών μεγάλων αποστάσεων και όχι μόνο. Οι αεροπορικές μεταφορές έχουν φέρει επανάσταση στη γεωγραφική διάσταση των αποστάσεων. Οι πλέον απομακρυσμένες περιοχές μπορούν πλέον να επισκεφτούν από τουρίστες.

Εμπόριο: Οι αεροπορικές μεταφορές αποτελούν κινητήρια δύναμη του παγκοσμίου εμπορίου, καθώς και του ηλεκτρονικού εμπορίου, επιτρέποντας την παγκοσμιοποίηση της παραγωγής. Οι μικρές ποσότητες αεροπορικού φορτίου ανέρχονται σε μεγάλες αξίες στο παγκόσμιο εμπόριο. Το πλεονέκτημα της αεροπορίας σε σχέση με τους άλλους τρόπους μεταφοράς όσον αναφορά την ταχύτητα και την αξιοπιστία έχει συμβάλει στην αγορά υπηρεσιών άμεσης παράδοσης, που είναι ιδιαίτερα σημαντική για χρονικά ευαίσθητα αγαθά. Περίπου το 87 % των δεμάτων ηλεκτρονικού εμπορίου μεταξύ των καταναλωτών και των επιχειρήσεων μεταφέρονται αεροπορικώς. Επιπλέον, οι αεροπορικές μεταφορές βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού. Για παράδειγμα, πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν τις αεροπορικές μεταφορές για να συντομεύσουν τους χρόνους παράδοσης, επιτρέποντας τα προϊόντα να παραδίδονται γρήγορα και αξιόπιστα.

Θέσεις Εργασίας: Η ίδια η αεροπορική βιομηχανία αποτελεί πηγή σημαντικής οικονομικής δραστηριότητας, δημιουργώντας θέσεις εργασίας προσφέροντας άμεσα ή έμμεσα τις υπηρεσίες της, στους επιβάτες. Το φάσμα των θέσεων εργασίας είναι τόσο μεγάλο αν αναλογιστεί κανείς, το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολείται, όχι μόνο πάνω στο αεροπλάνο αλλά και στο περιβάλλον του αεροδρομίου.

1.2.2 Κοινωνικά Οφέλη

Η αεροπορία δημιουργεί μοναδικές δυνατότητες για την ενδυνάμωση των κρατών, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση. Πρόκειται για ένα μέσο που επιτρέπει στους ανθρώπους να έχουν πρόσβαση, σε αυτά που χρειάζονται για να καλύψουν άμεσα κάποιες από τις ανάγκες τους: βελτιωμένα μέσα διαβίωσης, εκπαίδευση, ασφαλείς κοινότητες και χώροι. Επίσης, δίνει απαντήσεις σε κρίσιμες ώρες ανάγκης για τη μεταφορά ανθρώπων, από το ένα μέρος στο άλλο σε περιόδους πολέμου ή τρομοκρατικής επίθεσης. Για όλες τις ευάλωτες ομάδες, καθώς και για τις κοινότητες των μεταναστών και τα άτομα που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές, οι αεροπορικές εταιρείες είναι μια γραμμή ζωής για την ενίσχυση της κοινωνικής τους ένταξης.

Η αεροπορία παρέχει το μοναδικό μέσο μεταφοράς για ορισμένες υπηρεσίες υγείας και ανθρωπιστικής βοήθειας. Ένα πρωταρχικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο η αεροπορία συμβάλλει στη δημόσια υγεία, είναι η ταχεία παροχή ιατρικών προμηθειών και οργάνων για τη μεταμόσχευση παγκοσμίως. Επιπλέον, προσφέρει λύσεις σε περιοχές που αντιμετωπίζουν φυσικές καταστροφές, πείνα και πολέμους με συνεχείς παραδόσεις φορτίων, μεταφορά προσφύγων ή εκκενώσεις περιοχών. Οι φυσικές καταστροφές συχνά αποκόπτουν ολόκληρες

περιοχές.

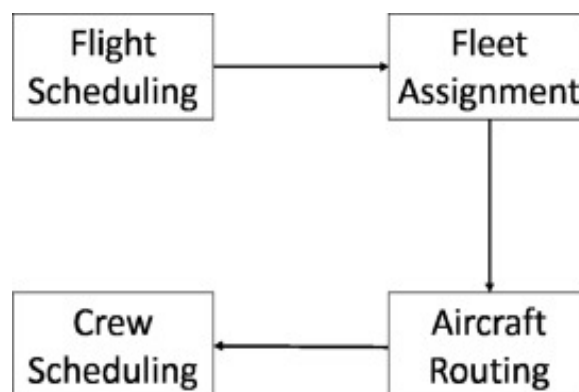
Για πολλούς η πρόσβαση στην εκπαίδευση ανώτερης ποιότητας απαιτεί ένα ταξίδι στο εξωτερικό, μερικές φορές σε άλλη περιοχή του πλανήτη. Η εξασφάλιση δίκαιων εκπαιδευτικών ευκαιριών και η προώθηση της δια βίου μάθησης αποτελούν θεμελιώδεις ανάγκες μιας κοινωνίας. Ο αριθμός των σπουδαστών στο εξωτερικό, παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση με το πέρασμα των χρόνων, με την επιλογή του αεροπλάνου για τις μεταφορές τους, να παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο. Χωρίς αεροπορικές μεταφορές, οι ευκαιρίες αυτές δεν θα ήταν εφικτές για όλους, ιδίως για βραχυπρόθεσμα πανεπιστημιακά προγράμματα ανταλλαγής φοιτητών. Για φοιτητές από αναπτυσσόμενες χώρες, η δυνατότητα να ταξιδεύσουν σε πανεπιστημιακά ιδρύματα για ανώτερη εκπαίδευση είναι ανεκτίμητη.

1.2.3 Άλλα Οφέλη

Η αεροπορία συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, διευρύνοντας τις ψυχαγωγικές και πολιτιστικές εμπειρίες των ανθρώπων. Παρέχει ένα προσιτό μέσο για την επίσκεψη σε μακρινούς φίλους και συγγενείς. Δεν είναι ψέμα, ότι πολλοί άνθρωποι θα επιλέξουν έναν μακρινό προορισμό για τις διακοπές τους, που σημαίνει ότι η μεταφορά τους θα πραγματοποιηθεί αεροπορικώς. Η προώθηση και συνειδητοποίηση των άλλων πολιτισμών είναι ένα πλεονέκτημα της αεροπορίας. Το ταξίδι προσφέρει τη δυνατότητα επαφής των ανθρώπων, με αποτέλεσμα να γνωρίσει ο κάθε άνθρωπος τον τρόπο ζωής και τις παραδόσεις άλλων ανθρώπων.

1.3 Προγραμματισμός Πόρων Στην Αεροπορία

Η αεροπορική βιομηχανία αντιμετωπίζει μερικά από τα μεγαλύτερα προβλήματα προγραμματισμού από κάθε άλλη βιομηχανία[3]. Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί μια εντυπωσιακή αύξηση των μεγεθών των προβλημάτων, σε όλους τους τομείς της σχεδίασης των αεροπορικών εταιρειών, λόγω της ταχείας επέκτασης των εταιρειών, καθώς και της έκρηξης του αριθμού των επιβατών που χρησιμοποιούν το αεροπλάνο για τις μετακινήσεις τους. Παρόλο που ο προγραμματισμός του πληρώματος συνεχίζει να δημιουργεί νέες προκλήσεις στην ερευνητική κοινότητα των εταιρειών, έχουν γίνει μεγάλα βήματα για την επίλυση αυτών των προβλημάτων.



Σχήμα 1: Ιεραρχία του σχεδιασμού λειτουργιών

Η εικόνα 1 δείχνει την ιεραρχία του σχεδιασμού των λειτουργιών στην αεροπορική βιομηχανία

Ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός των αεροσκαφών και του πληρώματος στις μεγάλες αεροπορικές εταιρείες, είναι πολύ πολύπλοκο καθήκον, έχοντας ως συνέπεια, να χωρίζεται σε διάφορα στάδια σχεδιασμού [2]. Η διαδικασία σχεδιασμού απεικονίζεται στην εικόνα 1, η οποία δείχνει τη λογική ακολουθία των διαδοχικών αυτών σταδίων, όπου η λύση από το ένα στάδιο, αποτελεί δεδομένο εισόδου για το επόμενο στάδιο. Στην πραγματικότητα όμως, τα τέσσερα αυτά στάδια έχουν ανατεθεί σε τέσσερα διαφορετικά τμήματα που εργάζονται ταυτόχρονα, με το κάθε τμήμα να εξετάζει το πρόβλημα από τη δική του σκοπιά. Υπάρχει μια συνεχής επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων, ώστε να ενημερώνονται για τυχόν αλλαγές οι οποίες θα επηρεάσουν τα άλλα τμήματα.

1.3.1 Σχεδιασμός Προγράμματος Αεροσκαφών (Aircraft Schedule Planning)

Σχεδιασμός Προγράμματος (Schedule Design)

Το πρόγραμμα της πτήσης, προσδιορίζει τα πόδια μιας πτήσης που πρέπει να εκτελέσει ένα αεροπλάνο, καθώς και τον χρόνο αναχώρησης κάθε πτήσης.[5] Καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ανταγωνιστική θέση μιας εταιρείας, και για αυτό τον λόγο, αποτελεί καθοριστικό παράδειγμα για το μέγεθος του κέρδους που σημειώνει η εταιρεία. Ωστόσο, ο σχεδιασμός ενός προγράμματος που θα μεγιστοποιεί τα κέρδη, είναι εξαιρετικά περίπλοκος. Επηρεάζει και επηρεάζεται ουσιαστικά από όλες τις αποφάσεις προγραμματισμού αεροσκαφών και πληρώματος, καθώς και από τις ανταγωνιστικές εταιρείες. Κανένα μοντέλο μέχρι σήμερα δεν έχει καταγράψει αυτές τις αλληλοεξαρτήσεις, ακόμη και αν αυτό το μοντέλο διατυπωθεί, θα ήταν σίγουρα αδύνατο να εκτελεστεί στην πράξη. Επιπλέον, οι απαιτήσεις των δεδομένων εισόδου δεν είναι τόσο εύκολα εφαρμόσιμες, με την έννοια ότι απαιτώνται ακριβείς εκτιμήσεις των απαιτήσεων επιβατών για συγκεκριμένα δρομολόγια, κόστη και ποσοστά ανάκτησης.

Παρά την πολυπλοκότητα αυτή, ο σχεδιασμός ενός προγράμματος και οι παραλλαγές του προβλήματος, έχουν κινήσει το ενδιαφέρον σε πολλούς ερευνητές εδώ και πολλά χρόνια. Η αδυναμία των μοντέλων βελτιστοποίησης να καταγράψουν επαρκώς το εύρος του σχεδιαστικού προβλήματος, ώθησε τους ερευνητές να χτίσουν προγράμματα με το χέρι, με περιορισμένη βελτιστοποίηση.

Η δημιουργία προγραμμάτων, με τις σημαντικές στρατηγικές και οικονομικές επιπτώσεις της, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό πεδίο για μελλοντική έρευνα, ένα περιβάλλον πλούσιο σε προκλήσεις και ευκαιρίες. Οι επιτυχίες σήμερα είναι μόνο τα πρώτα βήματα για την αντιμετώπιση των αμέτρητων δυσκολιών που αφορούν τον σχεδιασμό του προγράμματος. Πρέπει να διεξαχθούν μελλοντικές έρευνες για να ληφθούν υπόψιν οι κρίσιμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων πόρων της αεροπορικής εταιρείας, των ανταγωνιστών της και των αερολιμένων.

Εκχώρηση Στόλου (Fleet Assignment)

Με τον σχεδιασμό προγράμματος να έχει καθοριστεί, το πρόβλημα της εκχώρησης του στόλου, είναι να εντοπίζει τον κατάλληλο τύπο του αεροπλάνου που θα χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τα πόδια μιας πτήσης, ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος της πτήσης. Τα έξοδα εκχώρησης, αποτελούνται από:

- 1) Λειτουργικά έξοδα. Καθορίζουν για κάθε ζεύγος (πόδια πτήσης) - τύπος αεροσκάφους, αντιπροσωπεύοντας το κόστος πτήσης για κάθε πόδι πτήσης για το συγκεκριμένο αεροπλάνο.
- 2) Κόστη διαρροής. Μέτρηση των εσόδων που χάνονται, όταν η ζήτηση των επιβατών για μια συγκεκριμένη πτήση, υπερβαίνει τη χωρητικότητα του αεροπλάνου και δεν μπορεί να καλυφθεί.

Η λύση που θα προκύψει από το πρόβλημα εκχώρησης στόλου, θα πρέπει να ικανοποιεί και άλλους περιορισμούς που αναγκάζει το σκάφος να κινείται σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο μεταφορών.

Δρομολόγηση Αεροσκαφών (Aircraft Routing)

Με τον σχεδιασμό του προγράμματος και με τις αποφάσεις για την εκχώρηση του στόλου, το δίκτυο των πτήσεων αποσυντίθεται σε υποδίκτυα με αεροσκάφη μόνο ενός τύπου. Η αντιστοίχιση μεμονομένων αεροσκαφών στα πόδια πτήσης, γίνεται σε αυτό το βήμα της δρομολόγησης αεροσκαφών. Στόχος είναι να καθοριστούν τα δρομολόγια για κάθε αεροσκάφος. Ένα δρομολόγιο είναι μια ακολουθία από πόδια πτήσης, όπου θα πρέπει να είναι σαφές ότι η άφιξη ενός δρομολογίου θα προηγείται πάντα από την αναχώρηση του επόμενου δρομολογίου. Επίσης, κάθε αεροπλάνο θα πρέπει να επισκέπτεται συχνά τους σταθμούς συντήρησης, όπως ορίζεται από τους αντίστοιχους κανόνες συντήρησης.

1.3.2 Σχεδιασμός Προγράμματος Πληρώματος (Crew Schedule Planning)

Το πρόβλημα προγραμματισμού του πληρώματος με πολυάριθμους, περίπλοκους κανόνες και καλά καθορισμένα κόστη περιέχει πολλές δυσκολίες ως προς την βελτιστοποίησή του. Δημιουργούνται πολλά διαφορετικά σενάρια και πολλές αποφάσεις και είναι δύσκολο να βρεθούν χειροκίνητα εφικτές λύσεις, πόσο μάλλον βέλτιστες λύσεις. Επιπλέον, το πλήρωμα αντιπροσωπεύει το δεύτερο υψηλότερο λειτουργικό κόστος των αεροπορικών εταιρειών μετά από τα καύσιμα, οπότε ακόμα και μικρές βελτιώσεις στη χρήση τους, μπορούν να μεταφραστούν σε σημαντικά κέρδη για την εταιρεία.

Για τους παραπάνω λόγους, ο προγραμματισμός του πληρώματος των αεροπορικών εταιρειών έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητικών ομάδων εδώ και πολλά χρόνια.

Ακόμα και σήμερα, το πρόβλημα του προγραμματισμού του πληρώματος, αποσυντίθεται σε δύο διαδοχικά υποπροβλήματα, το πρόβλημα αντιστοίχισης του πληρώματος και το πρόβλημα ανάθεσης του πληρώματος.

Πρόβλημα Αντιστοίχισης Πληρώματος (Crew Pairing Problem)

Στην αεροπορική βιομηχανία, τα προγράμματα του πληρώματος αποτελούνται από ζεύγη. Πρόκειται για πτητικές διαδρομές μετ' επιστροφής που καταλήγουν και τελειώνουν στην ίδια βάση από όπου ξεκίνησαν. Αποτελούνται από νομικές εργάσιμες ημέρες, που ονομάζονται καθήκοντα, χωρισμένες σε ημέρες ανάπαυσης. Ο σκοπός του προβλήματος αντιστοίχισης του πληρώματος, είναι να δημιουργήσει ένα σύνολο ζευγών πληρώματος με το ελάχιστο δυνατό κόστος για την εταιρεία, που θα καλύπτει όλες τις πτητικές διαδρομές. Το σύνολο των ζευγών που θα δημιουργείται θα πρέπει να πληρεί όλους τους κανόνες των συμβάσεων εργασίας, καθώς και τους κανονισμούς εναέριας κυκλοφορίας. Οι περιορισμοί που προκύπτουν, μπορούν να επηρεάσουν την κατασκευή των καθηκόντων, να περιορίσουν κάποιο ζεύγος ή να επιβληθούν στο συνολικό πρόγραμμα του πληρώματος.

Πρόβλημα Ανάθεσης Πληρώματος (Crew Assignment Problem)

Αυτό το πρόβλημα συνδυάζει τα ζεύγη που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο βήμα, σε αποδοτικά μηνιαία προγράμματα του πληρώματος, τα οποία ονομάζονται πτητικές διαδρομές, αναθέτοντας τες στα μέλη του πληρώματος. Έχουν κυριαρχήσει δύο τρόποι ανάθεσης των πτητικών διαδρομών στην αεροπορική βιομηχανία σήμερα. Ο ένας που χρησιμοποιείται ως επί των πλείστων στις Η.Π.Α., ο οποίος είναι γνωστός ως «ανώνυμος χρονοπρογραμματισμός», ενώ ο δεύτερος τρόπος που χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη λαμβάνει υπόψιν

τις ανάγκες και προτιμήσεις του πληρώματος για την παραγωγή εξατομικευμένων προγραμμάτων και είναι γνωστός ως «προσωποποιημένος χρονοπρογραμματισμός». Περισσότερες λεπτομέρειες για τους δύο τρόπους αυτούς ανάθεσης των πτητικών διαδρομών στο πλήρωμα, θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο[1].

1.4 Συνεισφορά

Η παρούσα εργασία, εστιάζει στο πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού του ιπτάμενου προσωπικού. Η συνεισφορά της προτεινόμενης έρευνας, έγκειται στο ότι θα αναπτύξει μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την επίλυση ενός άκρως ενδιαφέροντος ρεαλιστικού προβλήματος, όπως αυτό θα προκύψει στην πράξη, χωρίς παραδοχές και υποθέσεις εργασίας που θα προκάλλουσαν αποκλίσεις από την πραγματικότητα.

Στόχος των προγραμματιστών, η προσπάθεια μεγιστοποίησης της ικανοποίησης των προτιμήσεων των ιπτάμενων, φυσικά αφού πρώτα εξασφαλιστεί πλήρως η κάλυψη του πτητικού φορτίου. Με άλλα λόγια, το πρώτο μέλημα των προγραμματιστών είναι η πλήρης κάλυψη όλων των πτητικών διαδρομών. Μόλις επιτευχθεί αυτό, στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της ποιότητας των προγραμμάτων των ιπτάμενων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν αποσκοπεί μόνο στον εντοπισμό μιας βέλτιστης λύσης, αλλά θα βοηθήσει τους σχεδιαστές του πληρώματος να προσδιορίσουν τον ταχύτερο τρόπο εύρεσης της λύσης αυτής. Ο χρόνος αποτελεί έναν σπάνιο πόρο για τους προγραμματιστές, καθώς θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστούν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων και μεταβλητών.

Τόσο το παρόν έγγραφο, όσο και το πρόγραμμα ηλεκτρονικών υπολογιστών που δημιουργήθηκαν, συμβάλλουν στην ανάπτυξη μιας πλατφόρμας για ερευνητικούς σκοπούς, όπου θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε προγράμματα διαχείρισης μεμονωμένων αεροπορικών εταιρειών. Με αυτόν τον τρόπο, θα είναι δυνατή η έρευνα για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας ολόκληρης της αεροπορικής εταιρείας.

1.5 Οργάνωση Της Διπλωματικής

Η αρχή της παρούσας διπλωματικής έγινε, παραθέτοντας γενικές πληροφορίες για την αεροπορική βιομηχανία. Τα οφέλη από τη συνεχή ανάπτυξη της βιομηχανίας αυτής, καθώς και πυλώνες της κοινωνίας που γνώρισαν την μεγαλύτερη επιρροή. Τα τεράστια προβλήματα προγραμματισμού, ώθησαν στην άνθηση της ερευνητικής δραστηριότητας στον κλάδο αυτό. Περιγράφεται λεπτομερώς, το πρόβλημα προγραμματισμού πληρώματος και ο τρόπος αντιμετώπισής του. Το πρώτο κεφάλαιο κλείνει με τη συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής.

Ακολουθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, στην οποία παρουσιάζεται το επιστημονικό έργο που χρησιμοποιείται στο παρόν έγγραφο. Εκεί ο αναγνώστης, μπορεί να βρει τις βασικές ιδέες και μια σύντομη περιγραφή των αλγορίθμων, που χρησιμοποιούνται στα μετέπειτα κεφάλαια. Ενώ στο δεύτερο μισό του κεφαλαίου αυτού, παρέχεται η σχετική βιβλιογραφία που ασχολείται με τα προβλήματα ικανοποίησης προτιμήσεων.

Στο 3ο κεφάλαιο, εισάγεται για πρώτη φορά λεπτομερώς, το πρόβλημα που απασχολεί το παρόν έγγραφο. Ένα πρόγραμμα υποχρεούται να πληρεί κάποιους κανόνες και κανονισμούς, ώστε να μπορεί να ανατεθεί σε έναν ιπτάμενο. Παρουσιάζονται οι τρόποι ανάθεσης του πληρώματος, που χρησιμοποιούν οι αεροπορικές εταιρείες ανά τον κόσμο. Έπειτα, ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του συστήματος ικανοποίησης προτιμήσεων. Δίνεται ένας κατάλογος προτιμήσεων, που καλείται ο ιπτάμενος να επιλέξει προτιμήσεις της αρεσκείας του, βάση των οποίων γίνεται η κατασκευή του προγράμματός του. Τέλος, περιγράφεται το όφελος

της διαδικασίας κατασκευής προγραμμάτων των ιπτάμενων με τη χρήση του συστήματος ικανοποίησης προτιμήσεων.

Στο κεφάλαιο 4, γίνεται προσπάθεια περιγραφής της διαδικασίας ανάθεσης πτητικών διαδρομών στους ιπτάμενους. Αρχικά, παρουσιάζονται οι έννοιες που θα απασχολήσουν έντονα στην ενότητα αυτή. Οι τρόποι εύρεσης της βαθμολογίας ενός πίνακα προτιμήσεων, καθώς η βαθμολογία εκφράζει τον βαθμό ικανοποίησης των προτιμήσεων του ιπτάμενου. Ο διαχωρισμός των προτιμήσεων σε υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας. Για έναν μεγάλο αριθμό προτιμήσεων, ο βέλτιστος διαχωρισμός τους σε επίπεδα προτεραιότητας, με στόχο την γρήγορη εκτέλεση των πράξεων. Τέλος, περιγράφεται ο τρόπος μορφοποίησης όλων των παραπάνω πληροφοριών.

Στη συνέχεια, στο 5ο κεφάλαιο αποτυπώνονται τα αποτελέσματα εξαιτίας της μεταβολής διαφόρων μεταβλητών εισόδου, ενώ ακολουθεί ένας σύντομος σχολιασμός των αποτελεσμάτων αυτών.

Τέλος, στο 6ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται διάφορα συμπεράσματα που προκύπτουν και μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας διατριβής.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Το πρόβλημα ικανοποίησης προτιμήσεων, είναι ένα αρκετά καινούριο πρόβλημα και έχει ως αντίκτυπο, η μελέτη γύρω από αυτό να είναι ελάχιστη σε σχέση με την πολυπλοκότητά του. Για τον λόγο αυτό, ακόμα και η βιβλιογραφία που συναντάται είναι πολύ περιορισμένη.

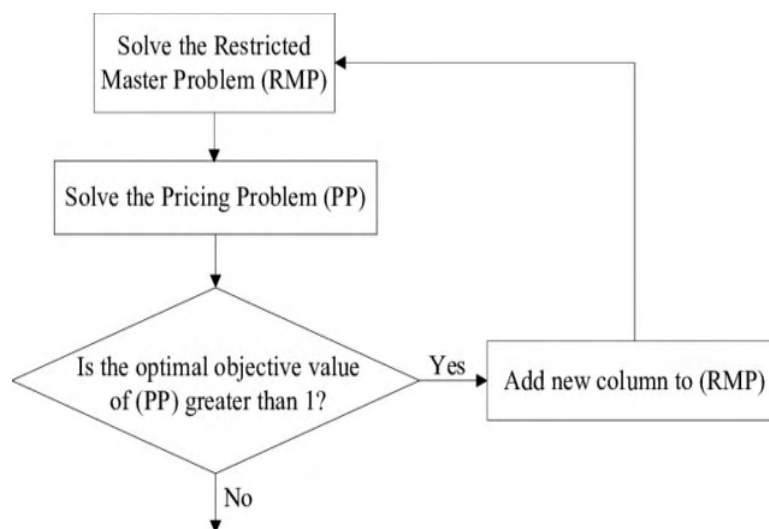
Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου, είναι να καταφέρει να εισάγει στον αναγνώστη, τις τεχνικές βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προγραμμάτων των πτητικών διαδρομών και τις διάφορες εφαρμογές που βρίσκουν ισχύ στον τομέα της αεροπορικής βιομηχανίας σήμερα. Για τον σκοπό αυτό, το παρόν κεφάλαιο διαχωρίζεται σε δύο ενότητες. Στην πρώτη ενότητα, περιγράφονται τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση των προγραμμάτων, ενώ στην δεύτερη σε ποιές εφαρμογές βρίσκουν ισχύ τα εργαλεία αυτά.

2.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Και Αλγόριθμοι

Στην σχετική ερευνητική βιβλιογραφία, για την αντιμετώπιση του εξεταζόμενου προβλήματος, η πλέον αποδοτική μεθοδολογία είναι η λεγόμενη «δημιουργία στηλών» (*column generation*). Μια νέα μεθοδολογία δημιουργείται, το όνομα της οποίας είναι «διακλάδωση και τιμολόγηση» (*branch and price*), η οποία είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού της «δημιουργίας στηλών» με τη μέθοδο «διακλάδωσης και φραγμού» (*branch and bound*). Περισσότερες λεπτομέρειες για κάθε μία από τις παραπάνω μεθοδολογίες, δίνονται στην συνέχεια.

Δημιουργία Στηλών (Column Generation)

Η τεχνική της «δημιουργίας στηλών», χρησιμοποιείται συνήθως για την επίλυση προβλημάτων μεγάλης κλίμακας [13]. Η γενική ιδέα είναι, ότι πολλά γραμμικά προγράμματα είναι πολύ μεγάλα για να εξετάσουν λεπτομερώς όλες τις μεταβλητές του προβλήματος. Αποτελεί γεγονός, ότι οι περισσότερες από αυτές τις μεταβλητές δεν είναι βασικές, οπότε υποθέτουν ότι θα έχουν μηδενική τιμή στη βέλτιστη λύση. Μόνο ένα υποσύνολο μεταβλητών θα πρέπει να εξετασθεί θεωρητικά για την επίλυση του προβλήματος.



Σχήμα 2: Δημιουργία Στηλών

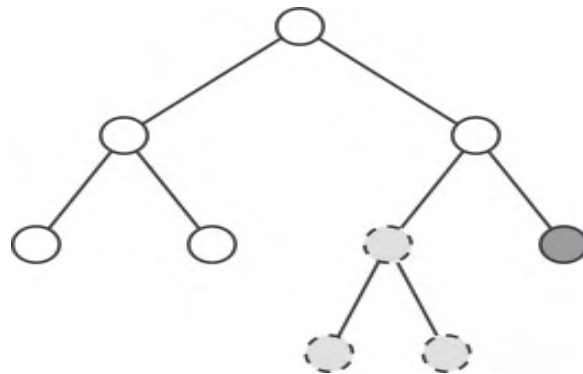
Η εικόνα 2 δείχνει τον αλγόριθμο «δημιουργίας στηλών»

Η τεχνική της «δημιουργίας στηλών» αξιοποιεί αυτή την ιδέα, για να παράγει μόνο τις μεταβλητές που έχουν την δυνατότητα να βελτιώσουν την αντικειμενική συνάρτηση. Το πρόβλημα που επιλύεται, χωρίζεται σε δύο υποπροβλήματα τα οποία είναι το κύριο πρόβλημα και το υποπρόβλημα. Το κύριο πρόβλημα, είναι το αρχικό πρόβλημα με μόνο ένα υποσύνολο μεταβλητών που εξετάζονται. Το υποπρόβλημα, είναι ένα νέο πρόβλημα που δημιουργήθηκε για την αναγνώριση μιας νέας μεταβλητής. Η αντικειμενική συνάρτηση του υποπροβλήματος είναι το μειωμένο κόστος της νέας μεταβλητής σε σχέση με τις τρέχουσες δυαδικές μεταβλητές.

Πολλοί ερευνητές έχουν παρατηρήσει, ότι η δημιουργία στήλης είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για την επίλυση ενός ευρέος φάσματος προβλημάτων, η οποία θα καταλήξει σε μία βέλτιστη λύση ή μία λύση πολύ κοντά στην βέλτιστη.

Διακλάδωση Και Φραγμού(Branch And Bound)

Η μέθοδος «διακλάδωση και φραγμού», είναι ένα παράδειγμα σχεδιασμού αλγορίθμου για διακριτά και συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης, καθώς και μαθηματικής βελτιστοποίησης. Ένας αλγόριθμος «διακλάδωσης και φραγμού» αποτελείται από μία συστηματική απαρίθμηση των υποψηφίων λύσεων, μέσω της αναζήτησης του χώρου κατάστασης: το σύνολο των υποψηφίων λύσεων θεωρείται ότι σχηματίζει ένα δέντρο με το πλήρες σύνολο να βρίσκεται στη ρίζα του δέντρου.[12]



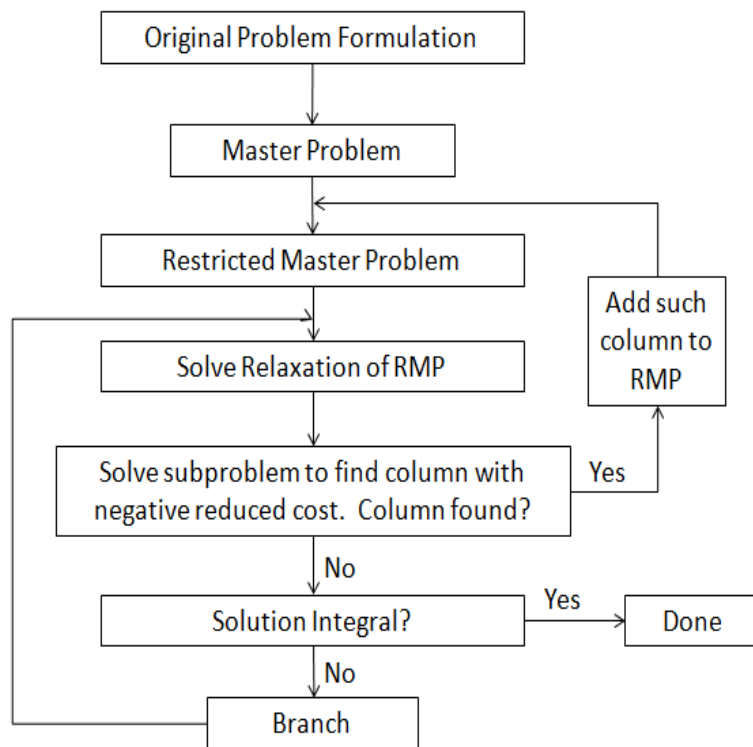
Σχήμα 3: Διακλάδωση και Φραγμού

Η εικόνα 3 δείχνει ένα παράδειγμα της μεθόδου «διακλάδωση και φραγμού»

Ο αλγόριθμος διερευνά τους κλάδους αυτού του δέντρου, που αντιπροσωπεύουν υποσύνολα της σειράς λύσεων. Πριν απαριθμηθούν οι υποψήφιες λύσεις ενός κλάδου, ο κλάδος ελέγχεται σε σχέση με των ανωτέρων και κατωτέρων εκτιμώμενων ορίων στη βέλτιστη λύση και απορρίπτεται, αν δεν μπορεί να παράγει μια καλύτερη λύση από την καλύτερη που βρέθηκε μέχρι στιγμής από τον αλγόριθμο. Αν δεν υπάρχουν όρια, ο αλγόριθμος εκφυλίζεται σε μια εξαντλητική αναζήτηση.

Διακλάδωση Και Τιμολόγηση(Branch And Price)

Η μεθοδολογία «διακλάδωση και τιμολόγηση», πρόκειται για τη μέθοδο «διακλάδωση και φραγμού» στην οποία σε κάθε κόμβο του δέντρου αναζήτησης, μπορούν να προστεθούν στήλες στη χαλάρωση του γραμμικού προβλήματος. Χρησιμοποιείται κυρίως, για την επίλυση προβλημάτων προγραμματισμού με έναν τεράστιο αριθμό μεταβλητών και στηλών.[14]



Σχήμα 4: Διακλάδωση και Τιμολόγησης

Η εικόνα 4 δείχνει ένα παράδειγμα της μεθόδου «διακλάδωση και τιμολόγησης»

Στην αρχή του αλγορίθμου, τα σύνολα των στηλών αποκλείονται από την χαλάρωση του γραμμικού προβλήματος, προκειμένου να μειωθούν οι απαιτήσεις υπολογισμών και μνήμης. Στη συνέχεια οι στήλες προστίθενται στη χαλάρωση του γραμμικού προβλήματος, όπως απαιτείται. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην παρατήρηση, ότι για μεγάλα προβλήματα οι περισσότερες στήλες θα είναι μη βασικές και η αντίστοιχη μεταβλητή τους, θα είναι μηδενική σε οποιαδήποτε βέλτιστη λύση.

2.2 Εφαρμογή Των Αλγορίθμων Στον Προγραμματισμό Προγράμματος

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, το πρόβλημα ικανοποίησης προτιμήσεων είναι ένα καινούριο πρόβλημα και εξαιτίας της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει, δεν έχουν προταθεί ακριβείς προσεγγίσεις στη βιβλιογραφία, για την επίλυσή του.

Η πιο γνωστή υπάρχουσα ευρετική μέθοδος είναι αυτή των *Gemache et al.* (1998)[4]. Αυτή η μέθοδος, επιλύει μια σειρά μικτών ακέραιων προγραμμάτων, ένα για κάθε εργαζόμενο, ξεκινώντας από τον αρχαιότερο υπάλληλο, δηλαδή τον υπάλληλο που προσλήφθηκε πιο νωρίς στην εταιρεία, έως τον νεότερο υπάλληλο. Κάθε πρόγραμμα συνίσταται στην εύρεση ενός προγράμματος με την καλύτερη βαθμολογία για τον τρέχον υπάλληλο, λαμβάνοντας υπόψη τα προγράμματα που έχουν ανατεθεί σε ανωτέρους υπαλλήλους και εξασφαλίζοντας, ότι πληρούνται ορισμένα κριτήρια εφικτότητας. Αυτό το υπολογισμένο πρόβλημα, τοποθετείται πριν προχωρήσει στην επίλυση του προβλήματος για τον επόμενο εργαζόμενο. Το πρόβλημα αρχικά επιλύεται με μια τεχνική «δημιουργία στηλών» ενσωματωμένη σε έναν αλγόριθμο «διακλάδωση και φραγμού». Παρότι η συγκεκριμένη μεθολογία είναι ευρετική, αποτελέσματα δοκιμών σε ρεαλιστικά προβλήματα καταδεικνύουν ότι είναι άκρως ικανοποιητική.

Το 2003, η ερευνητική ομάδα των *Achour, Gamache* και *Soumis*, παρουσιάζουν μια νέα στρατηγική διακλάδωσης, που εφαρμόζεται στο κόστος των υποπροβλημάτων κατά τη λύση ενός μεγάλου γραμμικού προγράμματος, με την τεχνική της «δημιουργίας στηλών».[6] Αυτή η στρατηγική «διακλάδωση και περικυψής», χρησιμοποιείται για τη βελτίωση του χρόνου λύσης των προβλημάτων υποβολής προσφορών.

Η ίδια ερευνητική ομάδα, βασισμένη και πάλι στην ευρετική μέθοδο των *Gemache et al.* (1998) προτείνουν μια μεθολογία βασισμένη σε ένα γραφικό μοντέλο και έναν αλγόριθμο αναζήτησης για τον προσδιορισμό, αν το πρόβλημα περιέχει τουλάχιστον μία εφικτή λύση. Οι βελτιώσεις σε σχέση με την αρχική ευρετική μέθοδο των *Gemache et al.* (1998) εντοπίζεται, κυρίως στο χρόνο ολοκλήρωσης και παραγωγής των πτητικών διαδρομών.[9]

Τελευταία δημοσίευση της ερευνητικής ομάδας που αναφέρθηκε παραπάνω,[7] προτείνει την πρώτη μέθοδο ακριβούς λύσης για το πρόβλημα υποβολής προσφορών. Αυτή η νέα μέθοδος, προσθέτει στην αρχική προσέγγιση των *Gemach et al.* (1998) ένα μηχανισμό που καθυστερεί την επιλογή του προγράμματος καλύτερων βαθμολογιών για έναν ανώτερο υπάλληλο, έως ότου παραμείνει μόνο ένα πρόγραμμα για τον εξεταζόμενο υπάλληλο, που θα μπορέσει να επιφέρει καλύτερο αποτέλεσμα για τους επόμενους υπαλλήλους. Αυτός ο μηχανισμός, βασίζεται στην απαρίθμηση όλων των εφικτών προγραμμάτων για κάθε υπάλληλο, όταν είναι διαθέσιμο ένα ανώτερο όριο σε αυτό το αποτέλεσμα.

Τέλος, η ερευνητική ομάδα του κ. Κοζανίδη, στην [11], προτείνει μια μεθοδολογία που επιφέρει βελτιώσεις στον τρόπο διαχείρισης των εναλλακτικών προγραμμάτων μέγιστης βαθμολογίας. Πιο συγκεκριμένα, αντί της ανάθεσης ενός τυχαίου προγράμματος με μέγιστη βαθμολογία σε κάθε ιπτάμενο ή της απαρίθμησης όλων των εναλλακτικών προγραμμάτων με μέγιστη βαθμολογία, η προτεινόμενη μεθοδολογία θα καταγράφει τη βαθμολογία του βέλτιστου προγράμματος που αναγνωρίστηκε για τον ιπτάμενο αυτό. Θα αποθηκεύει όλα τα εναλλακτικά βέλτιστα προγράμματα που θα έχουν αναγνωριστεί ως εκείνο το σημείο, απορρίπτοντας ταυτόχρονα όλα τα προγράμματα με χαμηλότερη βαθμολογία. Μέσω κατάλληλων μαθηματικών εκφράσεων, θα καθίσταται δυνατή και η εκ νέου δημιουργία προγραμμάτων για το συγκεκριμένο ιπτάμενο στους επόμενους κύκλους της διαδικασίας, υπό τον αυστηρό περιορισμό ότι οποιοδήποτε τέτοιο πρόγραμμα θα πρέπει αδιαπραγμάτευτα να είναι μέγιστης βαθμολογίας.

3 Ορισμός Του Προβλήματος

Στον κλάδο των αερομεταφορών, η διαδικασία προγραμματισμού του πληρώματος είναι μια περιοχή, στην οποία οι μεθοδολογίες επιχειρησιακής έρευνας, βρίσκουν πολύ συχνά ευρεία εφαρμογή με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Λόγω της πολυπλοκότητάς του, ο σχεδιασμός του πληρώματος, χωρίζεται σε δύο επιμέρους προβλήματα: το πρόβλημα αντιστοίχισης και το πρόβλημα ανάθεσης πληρώματος. Σε σύγκριση με το πρόβλημα αντιστοίχισης του πληρώματος, το πρόβλημα ανάθεσης έχει λάβει πολύ λιγότερη προσοχή στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία.

Στο πρώτο πρόβλημα, δημιουργείται ένα σύνολο από ανώνυμα ζεύγη πληρώματος, για να καλύψει τις πτητικές διαδρομές ενός μηνιαίου προγράμματος πτήσης, για ένα μόνο στόλο αεροσκαφών ή μιας οικογένειας στόλου. Ένα ζεύγος, είναι μία πτήση μετ' επιστροφής που αρχίζει και τελειώνει στην ίδια βάση πληρώματος. Αποτελείται από νομικά εργάσιμες ημέρες χωρισμένες με περιόδους ανάπαυσης. Μία εργάσιμη ημέρα αποτελείται από πόδια πτήσης καθώς και τις συνδέσεις μεταξύ αυτών των ποδιών πτήσης. Παρόλο που το πρόβλημα αντιστοίχισης διαφέρει μεταξύ των αεροπορικών εταιρειών σε σχέση με τους κανόνες και το κόστος, τα κύρια χαρακτηριστικά παραμένουν ίδια.

Στο δεύτερο πρόβλημα, ένας απαιτούμενος αριθμός των μελών του πληρώματος πρέπει να αντιστοιχηθεί σε κάθε ζεύγος που σχετίζεται με τη βάση του πληρώματος. Κατασκευάζοντας, ένα εξατομικευμένο μηνιαίο πρόγραμμα εργασίας για κάθε διαθέσιμο μέλος του πληρώματος σε αυτή τη βάση.

Ένα πρόγραμμα συνίσταται σε μια σειρά δραστηριοτήτων, όπως ο αριθμός των ζευγών, οι ημέρες διακοπών, οι ετήσιες άδειες και οι περίοδοι κατάρτισης. Επίσης, το πρόγραμμα ορισμένων υπαλλήλων πρέπει να περιλαμβάνει προκαθορισμένες δραστηριότητες, όπως ιατρικές εξετάσεις και ζεύγη που να ξεκινούν στο τέλος του προηγούμενου μήνα και θα τερματίζουν στις αρχές του τρέχοντος μήνα.

Ένα πρόγραμμα είναι εφικτό, αν σέβεται τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τους κανόνες ασφαλείας της αεροπορικής βιομηχανίας, τις συλλογικές συμβάσεις μεταξύ των εργαζομένων και της εταιρείας, καθώς και τις προκαθορισμένες απαιτήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι κανόνες και οι κανονισμοί περιγράφονται λεπτομερώς στο παρακάτω κεφάλαιο.

3.1 Τυπικοί Κανόνες Και Κανονισμοί

Οι κανόνες και οι κανονισμοί εκφράζουν τους όρους υπό τους οποίους ένα πρόγραμμα θεωρείται νόμιμο. Ορισμένοι από αυτούς μπορεί να οφείλονται σε νομοθεσίες και κυβερνητικές υπηρεσίες, μερικοί μπορεί να επιβληθούν από την ίδια την εταιρεία και άλλοι οφείλονται σε συμφωνίες της εταιρείας με συνδικαλιστικές οργανώσεις εργαζομένων. Στην περιγραφή των κανόνων γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα στους οριζόντιους, κάθετους και τεχνητούς κανόνες.[14]

3.1.1 Οριζόντιοι Κανόνες

Αυτοί οι κανόνες ισχύουν μόνο για το πρόγραμμα ενός μέλους του πληρώματος και δεν λαμβάνονται υπόψη στα προγράμματα των υπολοίπων υπαλλήλων στη λύση. Η πλειονότητα των κανόνων που αφορούν τα προβλήματα ανάθεσης του πληρώματος ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Οι μεγάλες ευρωπαϊκές εταιρείες, για παράδειγμα, έχουν συνήθως περισσότερους από 100 οριζόντιους κανόνες και κανονισμούς που πρέπει να εξετασθούν. Δεν είναι δυνατό, να δοθεί μια συνολική εικόνα όλων των κανόνων που μπορεί να υπάρχουν σε μια αεροπορική εταιρεία. Αντίθετα, θα παρουσιαστεί ένα μέρος του συνόλου των κανόνων.

(Πρόσωπο, Εργασία, Χρόνος)-Συμβατότητα

Αυτοί οι κανόνες είναι «εύκολοι», υπό την έννοια ότι μπορεί κανείς να υπολογίσει τη νομιμότητα οποιοδήποτε (συντρόφου, εργασίας, χρόνου) συνδυασμού. Η ασυμβατότητα μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη προσόντων ή αναγκών (για παράδειγμα ιατρικοί έλεγχοι) ή σε προκαταρκτικές εργασίες. Μια σημαντική περίπτωση, συμβαίνει όταν ένα μέλος αλλάζει λειτουργία κατά τη διάρκεια της περιόδου προγραμματισμού.

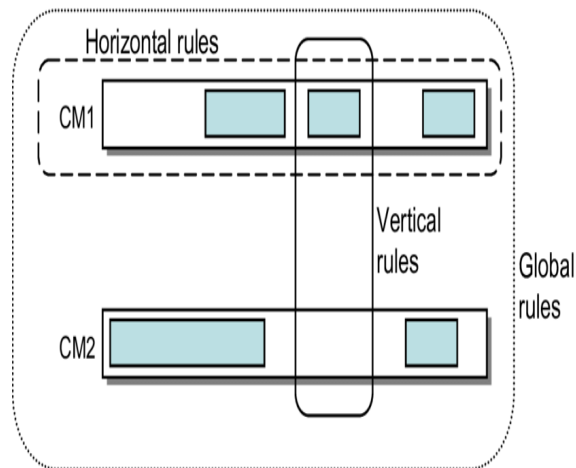
Χρόνος Ανάπαυσης Μεταξύ Των Εργασιών

Αυτοί οι κανόνες είναι επίσης γενικά «εύκολοι», δεδομένου ότι καθορίζουν αν μπορούν να ακολουθήσουν δύο εργασίες αμέσως η μία μετά την άλλη. Ο υπολογισμός του ίδιου του χρόνου ανάπαυσης, μπορεί να είναι μάλλον πολύπλοκος, δεδομένου ότι μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, όπως το μήκος (ημέρες, χρόνος υπηρεσίας κ.τ.λ.) του προηγούμενου ζεύγους ή της τελευταίας περιόδου υπηρεσίας (πιθανή νυχτερινή υπηρεσία).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο χρόνος ανάπαυσης, μπορεί να εξαρτάται περισσότερο από την προηγούμενη και την επόμενη εργασία. Για παράδειγμα, μπορεί να σχετίζεται με άλλες προηγούμενες εργασίες ή με το άτομο. Στην τελευταία περίπτωση, οι ιατρικοί περιορισμοί ενδέχεται να απαιτούν διαφορετικούς χρόνους ανάπαυσης.

Μοντέλα Ημέρας

Τα ζεύγη και τα άλλα καθήκοντα ομαδοποιούνται σε περιόδους εργασίας. Σε μια σύντομη και μεσαία μεταφορά, μια περίοδος εργασίας συνήθως αποτελείται από αρκετά καθήκοντα, αλλά σε μια μακρινή απόσταση, μια περίοδος εργασίας είναι συχνά ένας συνδυασμός καθήκοντων. Η διάρκεια μια περιόδου εργασίας, που συνήθως μετράται σε εργάσιμες ημέρες, είναι περιορισμένη. Στο τέλος μιας περιόδου εργασίας, πρέπει να δοθούν κάποιες ημερολογιακές ημέρες χωρίς καθήκοντα.



Σχήμα 5: Τυπικοί Κανόνες και Κανονισμοί

Η εικόνα 5 δείχνει τους τυπικούς κανόνες και κανονισμούς

Συσσωρευμένες Τιμές

Όλες οι αεροπορικές εταιρείες έχουν κανόνες που περιορίζουν τον αριθμό των ωρών λειτουργίας, συχνά σε μηνιαία και ετήσια βάση. Επίσης, υπάρχουν κανόνες που εγγυώνται έναν ελάχιστο αριθμό ημερών για διακοπές. Πολλές άλλες συσσωρευμένες τιμές μπορούν επίσης να ορίζουν κανόνες. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τις ώρες εργασίας και τον αριθμό των «βαρέων» καθήκοντων (για παράδειγμα πολλές ώρες λειτουργίας, μεγάλες πτήσεις).

Περαιτέρω Παράδειγμα Οριζόντιων Κανόνων

Για την καλύτερη κατανόηση αυτής της κατηγορίας οριζόντιων κανόνων και της πολυπλοκότητάς της, θα δοθεί ένα παράδειγμα. Το ταξίδι σε διαφορετικές ζώνες ώρας είναι κουραστικό και μεσολαβεί αρκετός χρόνος για να καταφέρει το πλήρωμα να εγκλιματιστεί. Κατά συνέπεια, μετά την ολοκλήρωση ενός ταξιδιού με μια συγκεκριμένη ζώνη ώρας, δεν επιτρέπεται η ανάθεση ενός επόμενου ταξιδιού με διαφορετική ζώνη ώρας από το αρχικό ταξίδι στο συγκεκριμένο πλήρωμα. Επιπλέον, ο ελάχιστος αριθμός ημερών μεταξύ δύο ζευγών εξαρτάται από τη μέγιστη διαφορά στις ζώνες ώρας.

3.1.2 Κάθετοι Κανόνες

Οι κάθετοι κανόνες αφορούν περισσότερο από ένα μόνο πρόγραμμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, εξαρτώνται από ένα υποσύνολο προγραμμάτων, αλλά υπάρχουν και ορισμένες που αφορούν ολόκληρο το πρόγραμμα. Τα βασικά δομικά στοιχεία των κάθετων κανόνων είναι:

- 1)Σύνολο πληρώματος
- 2)Περιορισμοί τύπου προσόντων: καθήκοντα-προσόντα και ζεύγη-προσόντα
- 3)Παγκόσμιοι περιορισμοί

Σύνολο Πληρώματος

Παρόλο που το πρόβλημα ανάθεσης του πληρώματος συνήθως αποσυντίθεται από το πλήρωμα, διαφορετικές δραστηριότητες απαιτούν διαφορετικά σύνολα του πληρώματος. Για παράδειγμα, για ένα πρόβλημα πληρώματος πιλοτηρίου μικρής διαδρομής, τα ζεύγη πτήσης ανατίθενται συνήθως σε έναν καπετάνιο και έναν πρώτο αξιωματικό. Ωστόσο, ορισμένα καθήκοντα εδάφους, όπως η εκπαίδευση σε προσομοιωτές, θα μπορούσαν να απαιτήσουν δύο καπετάνιους και έναν αξιωματικό.

Παρά το γεγονός ότι το σύνολο του πληρώματος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ειδικός περιορισμός εξειδίκευσης, αντιμετωπίζεται χωριστά, καθώς είναι ο σημαντικότερος τύπος κατακόρυφου περιορισμού.

Περιορισμοί Τύπου Προσόντων

Ίδιαίτερα καθήκοντα μπορεί να απαιτούν από ορισμένα μέλη του πληρώματος να κατέχουν συγκεκριμένα προσόντα. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα σημαντικά παραδείγματα περιορισμών της συγκεκριμένης κατηγορίας για την αποδοτικότερη κατανόησή τους.

- Μέλη του πληρώματος χωρίς εμπειρία.** Ο αριθμός των μελών του πληρώματος χωρίς εμπειρία σε μια συγκεκριμένη πτητική διαδρομή συνήθως περιορίζεται. Στα προβλήματα πληρώματος του πιλοτηρίου, ο μέγιστος αριθμός των πιλότων χωρίς εμπειρία για ένα ζεύγος δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος του ενός. Αυτός ο περιορισμός βασίζεται συνήθως στο επίπεδο της εργασίας.
- Πρέπει να πετάξουν μαζί.** Σε πολλές περιπτώσεις, ορισμένα μέλη του πληρώματος πρέπει να έχουν τις ίδιες δραστηριότητες, όπου το σύνολο των δραστηριοτήτων δεν είναι προκαθορισμένο. Αυτός ο κανόνας θα μπορούσε να εφαρμοσθεί για παράδειγμα σε παντρεμένα ζευγάρια.
- Ασυμβατότητες.** Συχνά, ορισμένα μέλη του πληρώματος είναι ασυμβίβαστα, με την έννοια ότι δεν μπορούν να εκτελέσουν το ίδιο δρομολόγιο και ενδεχομένως και κάποια καθήκοντα εδάφους εξαιτίας συγκρουόμενων προσωπικοτήτων.
- Γλωσσικά προσόντα.**

Παγκόσμιοι Περιορισμοί

Όλοι οι κάθετοι περιορισμοί που εξετάζονται μέχρι στιγμής εφαρμόζονται σε όλες τις εργασίες. Για παράδειγμα όλα τα ζεύγη μπορεί να έχουν την απαίτηση γλώσσας. Οι παγκόσμιοι περιορισμοί είναι περιορισμοί, οι οποίοι θέτουν απαιτήσεις σε ολόκληρη τη λύση.

1) Ανώτατο όριο για το κόστος της λύσης. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να επιθυμεί να μεγιστοποιήσει την ικανοποίηση του πληρώματος, υπό την επιφύλαξη του περιορισμού του συνολικού κόστους.

2) Περιορισμοί στη συνολική ικανοποίηση της προσφοράς.

3) Οι οριζόντιοι κανόνες καθορίζονται περισσότερο από την περίοδο προγραμματισμού.

Περαιτέρω Κατακόρυφοι Περιορισμοί

Πρόκειται για περιορισμούς που μπορούν να διαμορφωθούν με διαφορετικούς τρόπους και να θεωρηθούν ως σύνθεση των δομικών στοιχείων που περιγράφηκαν παραπάνω.

3.1.3 Τεχνητοί Κανόνες

Συνήθως, οι αεροπορικές εταιρείες εισάγουν πρόσθετους περιορισμούς που δεν απαιτούνται λόγω νομοθεσίας ή συμβατικών συμφωνιών, αλλά που επηρεάζουν την ποιότητα του προγράμματος. Οι τεχνητοί κανόνες (που ονομάζονται επίσης κανόνες ποιότητας) βασίζονται κυρίως στην εμπειρία των σχεδιαστών και παρέχουν έναν περαιτέρω περιορισμό του χώρου λύσης έτσι ώστε να παραληφθούν οι μη ελκυστικές λύσεις. Συνεπώς, εξετάζονται οι αντίστοιχες πτυχές:

1) Ευστάθεια της λύσης

2) Υποστήριξη μεθόδων λύσης

Την ημέρα λειτουργίας, το πρόγραμμα ενδέχεται να χρειαστεί να αλλάξει εξαιτίας μιας ασθένειας ενός μέλους του πληρώματος. Ως εκ τούτου, κάποιος προσπαθεί να λάβει αυτό υπόψη στο στάδιο σχεδιασμού, δημιουργώντας ισχυρές λύσεις. Πρόσθετοι κανόνες μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην επίτευξη καλύτερης απόδοσης των μεθόδων λύσης εξαιρώντας δρομολόγια.

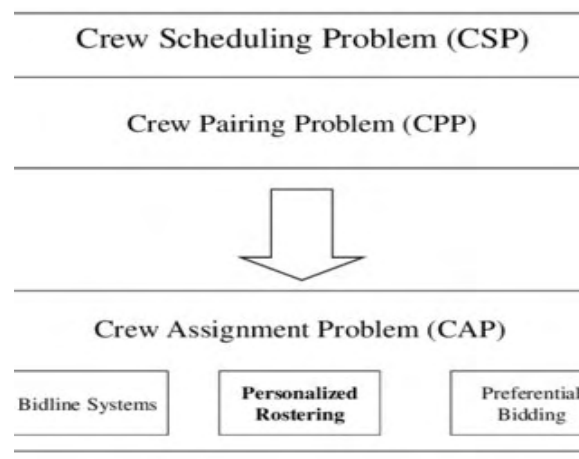
3.2 Είδη Προβλήματος

Σε αντίθεση με την αντιστοίχιση πληρώματος, η ανάθεση του πληρώματος μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων. Στην βόρεια Αμερική, για παράδειγμα, στις περισσότερες αεροπορικές εταιρείες η ανάθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, δημιουργούνται ανώνυμα πτητικά δρομολόγια ίσα με τον αριθμό των ιπτάμενων υπό χρονοπρογραμματισμό, τα οποία στο δεύτερο στάδιο κατανέμονται στο πλήρωμα βάσει προσφορών για αυτά τα ανώνυμα πτητικά δρομολόγια. Οι πιλότοι υποβάλλουν προσφορά είτε για ένας ζεύγος, είτε για συγκεκριμένες ημέρες ανάπαυσης, οι οποίες απονέμονται με βάση την αρχαιότητα και τροποποιούνται μόνο όταν οι επιλογές τους έχουν ήδη ληφθεί από ένα ανώτερο μέλος του πληρώματος. Αποτελεί σύννηθες φαινόμενο, τα ανώτερα μέλη να πετούν καλύτερα ταξίδια από ότι τα νεαρά μέλη του πληρώματος. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι γνωστή και ως «ανώνυμος χρονοπρογραμματισμός».

Για τις ευρωπαϊκές αεροπορικές εταιρείες και άλλες αεροπορικές εταιρείες στον υπόλοιπο

κόσμο, η διαδικασία ανάθεσης του πληρώματος είναι τελείως διαφορετική. Η εταιρεία χτίζει τα προγράμματα για να καλύψει άμεσα τις ανάγκες της και όχι τις ανάγκες του πιλότου. Αυτή η δεύτερη προσέγγιση είναι γνωστή ως «προσωποποιημένος χρονοπρογραμματισμός». Η δημιουργία κάθε προγράμματος εκτελείται έχοντας κατά νου τον ιπτάμενο για τον οποίο προορίζεται το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Επόμενο λοιπόν θα είναι, αν υπάρχουν εκ των προτέρων προγραμματισμένες δραστηριότητες για κάθε ιπτάμενο, να πρέπει να ληφθούν υπόψιν, έτσι ώστε το τελικό πρόγραμμα που θα κατασκευαστεί να τις ικανοποιεί. Παράλληλα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όλα τα ισχύοντα ποιοτικά χαρακτηριστικά, έτσι ώστε η τελική ικανοποίηση των ιπτάμενων να είναι η μέγιστη δυνατή. Στον «προσωποποιημένο χρονοπρογραμματισμό» η αρχαιότητα δεν παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο και όλες οι εργασίες είναι ομοιογενείς. Αυτό έχει ως συνέπεια, ο ανώτερος καπετάνιος σε σχέση με τον κατώτερο καπετάνιο να έχουν τον ίδιο χρόνο υπηρεσίας, νυχτερινές βάρδιες, χρόνο μακριά από τη βάση κ.ο.κ..

Ορμώμενες από την επιθυμία τους να ικανοποιήσουν σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό τις προτιμήσεις των ιπτάμενών τους, αρκετές αεροπορικές εταιρείες έχουν αναπτύξει τα τελευταία χρόνια μια παραλλαγή της προσέγγισης δημιουργίας προσωποποιημένων προγραμμάτων, η οποία ονομάζεται σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων. Η συγκεκριμένη στρατηγική δίνει στον κάθε ιπτάμενο τη δυνατότητα, να δηλώσει εκ των προτέρων ένα σύνολο προτιμήσεων που θα ήθελε να ικανοποιούνται από το πρόγραμμα που τελικά θα του ανατεθεί. Περισσότερες λεπτομέρειες για την συγκεκριμένη προσέγγιση θα δοθούν σε επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 6: Πρόβλημα ανάθεσης του πληρώματος

Η εικόνα 6 δείχνει τους διαφορετικούς τρόπους ανάθεσης πληρώματος

Κατά την σύγκριση των διαφορετικών προσεγγίσεων ανάθεσης, τα οφέλη του «ανώνυμου χρονοπρογραμματισμού» αφορούν κυρίως την πλευρά του πληρώματος. Με την υποβολή προσφοράς για ένα συγκεκριμένο ζεύγος, ένα μέλος του πληρώματος γνωρίζει ακριβώς ποι-ά θα είναι τα καθήκοντά του, αν του υλοποιηθεί η προσφορά. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων, όπου το πλήρωμα εκφράζει μόνο προτιμήσεις για ορισμένα χαρακτηριστικά του προγράμματος, χωρίς να γνωρίζει ακριβώς την τελική μορφή του συνολικού προγράμματος. Ωστόσο, υπάρχουν συστήματα ικανοποίησης προτιμήσεων στην αγορά, που παρέχουν άμεση ανατροφοδότηση για τα μέλη του πληρώματος κατά τη διάρκεια της φάσης υποβολής προσφορών και καθορίζουν σημαντικά χαρακτηριστικά των αναμενόμενων πτητικών δρομολογίων πρώτης προτεραιότητας.

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα του «ανώνυμου χρονοπρογραμματισμού» εντο-

πίζονται στο μεγαλύτερο κόστος που δημιουργείται, όταν τα ζεύγη που επιθυμούνται, δεν μπορούν να αντεθούν πλήρως μεμονωμένα λόγω των αντιφάσεων με τα καθήκοντα που έχουν προανατεθεί, τις ημέρες των διακοπών και συνεπώς δεν μπορούν να ανατεθούν ορισμένοι συνδυασμοί της προσφοράς. Επιπλέον, η διαδικασία σχεδιασμού αποτελείται από περισσότερα βήματα από ότι στον «προσωποποιημένο χρονοπρογραμματισμό», όπου ένα μοναδικό πρόγραμμα για κάθε μέλος του πληρώματος δημιουργείται μια φορά και στη συνέχεια δημοσιεύεται.

Από την άποψη της λύσης, ωστόσο, οι διαφορετικές προσεγγίσεις ανάθεσης είναι αρκετά παρόμοιες, και από άποψη μοντελοποίησης διαφέρουν κυρίως στη διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κατά την εξέταση της ποιότητας εργασίας. Δεδομένου ότι αυτές οι διαφορετικές αρχές ανάθεσης εφαρμόζονται διαφορετικά στις αεροπορικές εταιρείες και συνήθως συνδυάζονται και επεκτείνονται, υπάρχει μια απαίτηση για ευέλικτα και γενικά συστήματα ανάθεσης, που υποστηρίζουν τόσο τη μοντελοποίηση των διαφορετικών περιβαλλόντων ανάθεσης όσο και την παροχή κατάλληλων μεθόδων βελτιστοποίησης για την αποτελεσματικότερη επίλυση των προβλημάτων.

3.3 Σύστημα Ικανοποίησης Προτιμήσεων

Η κατάρτιση μηνιαίων προγραμμάτων εργασίας για τα μέλη του πληρώματος, είναι ένα δυσχερές πρόβλημα που χρήζει αντιμετώπιση, διότι συνεπάγεται μεγάλης κλίμακας προβλήματα. Αυτό μεταφράζεται, με την ύπαρξη χιλιάδων περιορισμών και εκατομμυρίων μεταβλητών. Επιπλέον, αν κάποιος πρέπει να εξετάσει ένα σύνολο προτιμήσεων που εκφράζει κάθε εργαζόμενος κατά την κατασκευή του προγράμματος, το πρόβλημα γίνεται πιο περίπλοκο. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρόβλημα δεν συνίσταται μόνο στην κάλυψη ενός συνόλου δραστηριοτήτων και καθηκόντων, αλλά και στην ικανοποίηση των εργαζομένων όσο το δυνατόν περισσότερο.

3.3.1 Αναλυτική Περιγραφή Του Προβλήματος

Το σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων, είναι μια μέθοδος κατασκευής πτητικών προγραμμάτων, κατανέμοντας τις προτιμήσεις του πληρώματος για συγκεκριμένα μηνιαία ζεύγη, με βάση τις προτιμήσεις κάθε μέλους του πληρώματος, χωρίς να έρχεται σε σύγκρουση με τις δραστηριότητες που έχουν δημιουργηθεί κατά την εκχώρησή τους. Στόχος της μεθόδου, είναι η μέγιστη δυνατή κάλυψη του υφιστάμενου πτητικού φορτίου, μέσω της δημιουργίας κατάλληλων πτητικών προγραμμάτων. Δεν θα πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι, ένας ιπτάμενος μπορεί να έχει ήδη προγραμματισμένες δραστηριότητες στον χρονικό ορίζοντα αναφοράς, όπως για παράδειγμα άδειες, σεμινάρια, εκπαιδεύσεις, κ.τ.λ..

Κάθε πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από κάποιο αντιπροσωπευτικό κόστος, το οποίο εκφράζει το βαθμό στον οποίο το πρόγραμμα αυτό ικανοποιεί συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, κοινά για όλους τους ιπτάμενους. Στόχος της υιοθέτησης αυτών των ποιοτικών χαρακτηριστικών για την αξιολόγηση των προγραμμάτων, είναι η μεγιστοποίηση της ικανοποίησης των ιπτάμενων που θα τα εκτελέσουν, καθώς και η επίτευξη συγκεκριμένων ποιοτικών απαιτήσεων που συνδέονται με την εύρυθμη λειτουργία της εκάστοτε αεροπορικής εταιρείας.

Το σχετικό κόστος ποιότητας συνδέεται άμεσα με τις προτιμήσεις των ιπτάμενων και το σύστημα στοχεύει στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ικανοποίησή τους. Οι προτιμήσεις αυτές μπορούν να εκφραστούν ποικιλοτρόπος. Οι ιπτάμενοι εκχωρούν ακέραιες τιμές (θετικές ή αρνητικές) σε διαφορετικά στοιχεία υποβολής προσφορών προκειμένου να αντικατοπτρίσουν τις προτιμήσεις τους, αποδίδοντας έναν μεμονωμένο στόχο για κάθε εργαζόμενο. Οι προτιμήσεις μπορεί να αφορούν ένα συγκεκριμένο προορισμό, μια συγκεκριμένη ημέρα ρεπό ή

ένα συγκεκριμένο ζεύγος. Μία προτίμηση, μπορεί επίσης να αφορά το συνολικό τελικό πρόγραμμα. Για παράδειγμα, ένας πιλότος προτιμά ένα πρόγραμμα που δεν περιλαμβάνει πτήσεις τα Σαββατοκύριακα.

Σημαντική παράμετρος κατά τη διαδικασία δημιουργίας προγραμμάτων, λαμβάνει χώρα συνήθως ιεραρχικά σε αυστηρή αρχαιότητα. Αυτό σημαίνει ότι ξεκινώντας από τον παλαιότερο (βάση ημερομηνίας πρόσληψης στην εταιρεία) και συνεχίζοντας στους νεότερους, το σύστημα προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την ικανοποίηση του κάθε ιπτάμενου χωριστά, όπως αυτή προκύπτει από τις αντίστοιχες δηλωθείσες προτιμήσεις. Η κατασκευή θα γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε η μεγιστοποίηση της ικανοποίησης να μην γίνεται ποτέ εις βάρος των περισσότερων ανωτέρων υπαλλήλων.

Επιπλέον, κάθε ιπτάμενος θα έχει τη δυνατότητα να δηλώσει προτεραιότητα για κάθε επιθυμητή προτίμηση, αντί για τη χρήση μόνο συντελεστών βαρύτητας. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα θα γνωρίζει ποιά είναι η κατάταξη των προτιμήσεων του συγκεκριμένου ιπτάμενου, έτσι ώστε να προσπαθήσει να τις ικανοποιήσει ιεραρχικά. Έτσι το σύστημα δεν θα προσπαθεί απλά να μεγιστοποιήσει το σταθμισμένο άθροισμα των προτιμήσεων που θα ικανοποιηθούν. Επομένως, δεν εγχυμονεί ο κίνδυνος, το σύστημα να επιλέξει να ικανοποιήσει ένα εναλλακτικό σύνολο προτιμήσεων με μικρότερους συντελεστές, αν αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη βαθμολογία για το πρόγραμμα. Η ενσωμάτωση αυτής της αυστηρής ιεράρχησης των προτιμήσεων, εισάγει έναν επιπλέον σημαντικό βαθμό ελευθερίας, καθώς δίνει σε κάθε ιπτάμενο τη δυνατότητα να εκφράσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την ικανοποίησή του για κάθε μία από τις δηλωθείσες προτιμήσεις του.

3.3.2 Μεθολογία Εκτέλεσης

Λόγω των ειδικών ιδιοτήτων του προβλήματος, στην περίπτωση ικανοποίησης των προτιμήσεων, η εύρεση της βέλτιστης λύσης, η οποία συνεπάγεται και στην κατασκευή προγραμμάτων για κάθε ιπτάμενο που θα ικανοποιεί τις προτιμήσεις του, καθίσταται εφικτή μόνο όταν ακολουθηθεί μια ιεραρχική διαδικασία επίλυσης σε διαδοχικούς κύκλους. Η σειρά εκτέλεσης θα είναι από τον παλαιότερο υπάλληλο προς τον νεότερο.

Μετά από αυτήν την παρατήρηση, γίνεται φανερό ότι τα προγράμματα πρέπει να χτίζονται διαδοχικά, δηλαδή το ένα μετά το άλλο, από τον ανώτερο υπάλληλο προς τον κατώτερο. Σε μια τέτοια διαδοχική προσέγγιση, προσδιορίζεται ένα πρόβλημα για κάθε ιπτάμενο. Αποτελείται από την κατασκευή του καλύτερου προγράμματος για τον τρέχον ιπτάμενο και περιλαμβάνει μια αντικειμενική συνάρτηση που ορίζεται μόνο από τις προτιμήσεις του. Με την εύρεση της βέλτιστης λύσης, η μέθοδος θα εξασφαλίζει ότι σε κάθε ανώτερο υπάλληλο, του έχει ήδη ανατεθεί ένα πρόγραμμα που μεγιστοποιεί την ικανοποίηση των προτιμήσεών του και παράλληλα υπάρχει ένας εφικτός συνδυασμός προγραμμάτων, για τους υπόλοιπους ιπτάμενους που επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή κάλυψη των πτητικών διαδρομών.

Η συγκεκριμένη διαδικασία, εξασφαλίζει τη μέγιστη ικανοποίηση των προτιμήσεων των ιπτάμενων σε αυστηρή αρχαιότητα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι δεν είναι δυνατό να εκχωρηθεί ένα πρόγραμμα υψηλότερης βαθμολογίας σε έναν ανώτερο ιπτάμενο, αν αυτή η ανάθεση δεν επιτρέπει την εκχώρηση εφικτών προγραμμάτων σε κατώτερους ιπτάμενους ή ακόμα και την κάλυψη όλων των πτητικών διαδρομών. Από την άλλη πλευρά, αν δύο ή περισσότερα προγράμματα έχουν την ίδια υψηλή βαθμολογία για έναν ανώτερο ιπτάμενο, το πρόγραμμα που θα πρέπει να του ανατεθεί, θα πρέπει να είναι αυτό με το χαμηλότερο αντίκτυπο στις προτιμήσεις των κατωτέρων του.

Συνοπτικά για περισσότερη ακρίβεια, μια προσέγγιση πρέπει να κατασκευάζει για κάθε ιπτάμενο ένα πρόγραμμα το οποίο:

- 1) Είναι εφικτό
- 2) Εξασφαλίζει ότι το σύνολο ζευγών που δεν έχουν καλυφθεί ακόμα και μετά την καταχώρηση του τρέχοντος προγράμματος, θα μπορεί να καλυφθεί από ένα σύνολο εφικτών προγραμμάτων από τους νεότερους ιπτάμενους

3) Είναι ένα πρόγραμμα μέγιστης βαθμολογίας μεταξύ του συνόλου των προγραμμάτων που ικανοποιούν τα δύο προηγούμενα κριτήρια

4) Μεταξύ του συνόλου των προγραμμάτων που ικανοποιούν τα τρία παραπάνω κριτήρια, επιτρέπει την κατασκευή των καλύτερων προγραμμάτων για τους νέους υπαλλήλους

3.3.3 Κατάλογος Προτιμήσεων

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ένας κατάλογος προτιμήσεων, βάση τον οποίο δίνεται η δυνατότητα στον ιπτάμενο να επιλέξει τις προτιμήσεις της αρεσκείας του. Δεν είναι δυνατόν να παρουσιαστούν λεπτομερώς όλες οι κατηγορίες προτιμήσεων, παρά μόνο οι πιο σημαντικές. [10]

1) Ημέρες Εκτός Λειτουργίας (ρεπό)

Προτίμηση να μην εργαστεί μια συγκεκριμένη ημέρα ή ένα διάστημα ημερών. Είναι οι ευκολότερες και πιο δημοφιλείς προτιμήσεις.

2) Ζεύγη

Προτίμηση για ένα συγκεκριμένο πτητικό δρομολόγιο. Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την αντιστοίχιση ενός συγκεκριμένου ιπτάμενου, σε ένα συγκεκριμένο ζεύγος, μια συγκεκριμένη ημερομηνία.

3) Ιδιότητες Ζευγών

Πρόκειται για τα χαρακτηριστικά των ζευγών. Περιλαμβάνουν το χρόνο αναφοράς, το χρόνο αποδέσμευσης, τη διάρκεια σύνδεσης, τη διάρκεια του χρόνου παραμονής, τις πόλεις μετάβασης, το μήκος των ζευγών, τα μεταβαλλόμενα ζεύγη, τα ζεύγη με τα συνεχόμενα νυχτερινά καθήκοντα, τον τύπο του εξοπλισμού, το άθροισμα προτιμήσεων, πόλεις προσγείωσης και αριθμός εκφορτώσεων, τις διαφορετικές βάσεις, κτλ.

4) Χαρακτηριστικά Γραμμής

Τα χαρακτηριστικά των γραμμών περιλαμβάνουν τον μέγιστο αριθμό ημερών που μπορεί ένας ιπτάμενος να μην εργάζεται, τον μεταβλητό χρόνο μπλοκαρίσματος, το ρυθμό του, τον τύπο των διαφόρων ταξιδιών, το μέγεθος της εργασίας και του μπλοκαρίσματος, τις ημέρες ρεπό μεταξύ των εργασιών μπλοκαρίσματος, κτλ.

5) Γενικές Προτιμήσεις Σε Μια Συγκεκριμένη Ημερομηνία

Πρόκειται για μια κατηγορία που προσφέρει ορισμένες γενικές προτιμήσεις, σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία, όπως είναι ο χρόνος αναφοράς μιας συγκεκριμένης ημερομηνίας, ο χρόνος αποστολής μια συγκεκριμένης ημερομηνίας, η διάρκεια ενός ζεύγους σε συγκεκριμένη ημερομηνία και η πόλη παραμονής σε συγκεκριμένη ημερομηνία.

6) Αποφυγή Πτήσης Η Εκτέλεσή Της

Προτίμηση για την αποφυγή μια πτήσης, είτε πρόκειται για την αποφυγή ενός συγκεκριμένου προορισμού για διαφόρους λόγους, είτε την αποφυγή κάποιου συγκεκριμένου μέλους του πληρώματος. Από την άλλη μεριά, επιθυμία για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης πτήσης αντίστοιχα.

7) Θέση

Προτίμηση θέσης, αφορά κυρίως τους υπαλλήλους μιας πτήσης, όπως για παράδειγμα τον διευθυντή υπηρεσιών, ή θέσεις διαφορετικών γλωσσών.

8)Κρατήσεις

Προτιμήσεις για κρατήσεις των ημερών για ρεπό ή των ιδιοτήτων ενός ζεύγους ή των σκληρών γραμμών (πρόκειται για γραμμές με συνεχόμενα νυχτερινά καθήκοντα για τον ιπτάμενο).

9)Προ-κατασκευασμένες

Προτίμηση για προκατασκευασμένες σκληρές γραμμές.

Start Pairings	
2:	Set Condition Minimum Credit
3:	Prefer Off Apr 7, 2015, Apr 8, 2015, Apr 9, 2015, Apr 10, 2015, Apr 11, 2015, Apr 12, 2015, Apr 13, 2015, Apr 6, 2015
4:	Avoid Pairings If Pairing Check-Out Time Between Apr 6, 2015 13:00 And Apr 6, 2015 23:59
5:	Avoid Pairings If Pairing Check-Out Time Between Apr 6, 2015 14:00 And Apr 6, 2015 23:59
6:	Avoid Pairings If Pairing Check-Out Time Between Apr 6, 2015 15:00 And Apr 6, 2015 23:59
7:	Avoid Pairings If Pairing Check-Out Time Between Apr 6, 2015 16:00 And Apr 6, 2015 23:59
8:	Avoid Pairings If Pairing Check-Out Time Between Apr 6, 2015 17:00 And Apr 6, 2015 23:59
9:	Avoid Pairings If Pairing Check-Out Time Between Apr 6, 2015 18:00 And Apr 6, 2015 23:59
10:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 13, 2015 13:00 And Apr 13, 2015 23:59
11:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 13, 2015 14:00 And Apr 13, 2015 23:59
12:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 13, 2015 15:00 And Apr 13, 2015 23:59
13:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 13, 2015 16:00 And Apr 13, 2015 23:59
14:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 13, 2015 17:00 And Apr 13, 2015 23:59
15:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 13, 2015 18:00 And Apr 13, 2015 23:59
16:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 12:00 And Apr 19, 2015 23:59
17:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 13:00 And Apr 19, 2015 23:59
18:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 14:00 And Apr 19, 2015 23:59
19:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 15:00 And Apr 19, 2015 23:59
20:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 16:00 And Apr 19, 2015 23:59
21:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 17:00 And Apr 19, 2015 23:59
22:	Avoid Pairings If Pairing Check-In Time Between Apr 19, 2015 18:00 And Apr 19, 2015 23:59
23:	Award Pairings If Average Daily Credit > 008:10
24:	Award Pairings If Average Daily Credit > 008:00
25:	Award Pairings If Average Daily Credit > 007:50
26:	Award Pairings If Pairing Number J5040
27:	Award Pairings If Average Daily Credit > 007:40

Σχήμα 7: Προτιμήσεις ιπτάμενου

Η εικόνα 7 αποτελεί ένα παράδειγμα προτιμήσεων ενός ιπτάμενου

10)Μόνιμες Προτιμήσεις

Οι μόνιμες προτιμήσεις είναι ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιεί το σύστημα αν ο χρήστης δεν εισάγει συγκεκριμένη προτίμηση για έναν μήνα. Μια μόνιμη προτίμηση μπορεί να περιέχει μόνο γενικές προσφορές προτιμήσεων και δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη ημερομηνία, όπως για παράδειγμα οι εβδομαδιαίες διακοπές ή οι ιδιότητες ενός ζεύγους. Η δημιουργία μιας μόνιμης προτίμησης, είναι ένας τρόπος για να διασφαλιστεί, ότι μια προσφορά που αντικατοπτρίζει τις προτιμήσεις ενός χρήστη, θα εισαχθεί στην περίπτωση που δεν είναι σε θέση να υποβάλλει προτιμήσεις για έναν συγκεκριμένο μήνα.

3.3.4 Περαιτέρω Διαχωρισμός Συστήματος

Συμβατικό Σύστημα Ικανοποίησης Προτιμήσεων

Σε ένα συμβατικό σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων, κάθε μέλος του πληρώματος υποβάλλει τις προτιμήσεις του, χωρίς να γνωρίζει τις προτιμήσεις των άλλων μελών του πληρώματος. Κατά συνέπεια, οι συγκρούσεις ενδέχεται να έχουν ως αποτέλεσμα ότι ορισμένα δρομολόγια να επιλέγονται ή να προτιμώνται από πάρα πολλά μέλη του πληρώματος και ορισμένα δρομολόγια να προτιμώνται από λίγα ή και καθόλου μέλη του πληρώματος. Μόλις ολοκληρωθεί η περίοδος υποβολής προτιμήσεων, το μαθηματικό πρόγραμμα προσπαθεί να βρει την βέλτιστη λύση, προσπαθώντας να συμβιβάσει τις αντικρουόμενες προτιμήσεις που

δεν μπορούν να εκχωρηθούν όπως ακριβώς έχουν ζητηθεί.

Διαδραστικό Σύστημα Ικανοποίησης Προτιμήσεων

Το διαδραστικό σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων, αντίθετα, αλλάζει τη διαδικασία υποβολής των προτιμήσεων σε μια «συνεχή» διαδικασία, όπου τα μέλη του πληρώματος μπορούν να δουν τις προτιμήσεις των άλλων μελών κάθε στιγμή. Αυτός ο τύπος συστήματος, συνήθως τρέχει μια εξωτερική φιλοξενούμενη εφαρμογή, που επιτρέπει συνεχή αλληλεπίδραση με το πρόγραμμα υποβολής. Η ανατροφοδότηση από τα άλλα μέλη του πληρώματος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υποβολής, συνδυάζεται με τις προτιμήσεις των άλλων μελών και δημιουργεί την καλύτερη δυνατή λύση. Ενώ, ένα κατώτερο μέλος του πληρώματος επιτρέπεται να υποβάλλει γενικές προτιμήσεις που ενδεχομένως να ισχύουν για όλα τα ταξίδια, εγχυμονεί κίνδυνος να μην του επιτραπεί η δυνατότητα υποβολής προτίμησης για ένα συγκεκριμένο πτητικό δρομολόγιο, που έχει ανατεθεί σε ένα ανώτερο μέλος. Σαν αποτέλεσμα, θα πρέπει να αλλάξει τις προτιμήσεις του, μέχρι να προκύψει μια ομαλή και συμβατή λύση που θα ικανοποιεί όλα τα μέλη.

Η προκύπτουσα λύση θεωρείται βέλτιστη, καθώς οι παράμετροι προσφοράς προτιμήσεων είναι πιο ακριβείς και πιο αποδοτικοί όσο αναφορά τους περιορισμούς και τις προτιμήσεις στην παρούσα κατάσταση καθώς και την αρχαιότητα των μελών. Προκειμένου να επιτραπεί κάποια ανατροφοδότηση, από την αρχή της περιόδου υποβολής και πριν ακόμα γίνουν οι πρώτες προτιμήσεις, δημιουργείται μια αξιόπιστη αρχική λύση με βάση την κατάσταση αναμονής ή τις προκαθορισμένες προτιμήσεις κάθε μέλους.

Μέχρι το τέλος της περιόδου υποβολής προσφοράς, τα μέλη δημιούργησαν ένα ρεαλιστικό και βέλτιστο για αυτούς σύνολο προτιμήσεων, καθώς και συμβατό με τις επιλογές των άλλων μελών. Δεδομένου ότι το διαδραστικό αυτό σύστημα δημιουργεί μία λύση που σέβεται ένα σύνολο προτιμήσεων που υπαβάλλονται από τα μέλη του πληρώματος, καταφέρνει να βελτιστοποιήσει πραγματικά τις προτιμήσεις αυτές.

3.4 Συμβολή

3.4.1 Οφέλη

Όσο αναφορά τα μέλη του πληρώματος, το σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων βελτιώνει την ποιότητα του εργασιακού περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται, επειδή τα μέλη έχουν την δυνατότητα να εκφράσουν οι ίδιοι τις προτιμήσεις τους και να συνεισφέρουν οι ίδιοι στη δημιουργία των ιπτάμενων δρομολογίων. Ακόμα και για τα κατώτερα μέλη, που γεννάται το ερώτημα αν η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος είναι ευνοϊκή για αυτούς, η απάντηση είναι καταφατική. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων μπορεί να τους εγγυηθεί ότι, οι προτιμήσεις τους για να μην εργαστούν μια συγκεκριμένη μέρα θα τιμηθεί πλήρως ή εν μέρει, αν αυτή η ημερομηνιακή προτίμηση δεν συμπίπτει με προτίμηση των ανωτέρων τους.

Από την άλλη, όσο αναφορά την εταιρεία, το σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων δημιουργεί ιπτάμενα δρομολόγια και ζεύγη σε μία διαδικασία, χωρίς την ανάγκη κατασκευής των δρομολογίων σε πρώτο χρόνο και έπειτα της ανάθεσης αυτών, στα διάφορα μέλη του πληρώματος. Εξοικονομεί το κόστος λειτουργίας, εξαλείφοντας τη σύγκρουση μεταξύ των προσχεδιασμένων ζευγών με τις υπάρχουσες δραστηριότητες. Επιπλέον, λόγω της απλοποιημένης διαδικασίας, αφήνει επιπλέον χρόνο για τους υπεύθυνους σχεδιασμού του πληρώματος, να χειριστούν την αλλαγή προγράμματος της τελευταίας στιγμής.

3.4.2 Στόχοι

Στη συνέχεια παραθέτονται συνοπτικά οι στόχοι που προσπαθεί ένα σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων να πετύχει.

Νόμιμα Δρομολόγια

Μετά το τέλος της διαδικασίας υποβολής προτιμήσεων, το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση, να απονέμει δρομολόγια, χωρίς να έρχονται σε σύγκρουση με τις προκαθορισμένες δραστηριότητες και καθήκοντα των πιλότων, να τηρεί όλες τις απαιτήσεις της κυβέρνησης και της εταιρείας και συνέχεια να τιμά τις προτιμήσεις των μελών.

Αποδεκτό Αποτέλεσμα

Σε καμία περίπτωση, το σύστημα δεν θα πρέπει να αφήνει κανένα ανοιχτό ζεύγος, με την έννοια ότι κάποιο δρομολόγιο δεν ανατέθηκε σε κάποιον ιπτάμενο. Πρέπει να παράγει στοχοποιημένους κατόχους δρομολογίων και κρατήσεων. Για να επιτευχθεί αυτό, το σύστημα θα πρέπει να έχει την ικανότητα να αντιμετωπίζει καταστάσεις στις οποίες οι προτιμήσεις των μελών του πληρώματος δεν μπορούν να ικανοποιηθούν πλήρως, τηρώντας τις απαιτήσεις της εταιρείας.

Υψηλή Συνολική Ικανοποίηση

Η ικανοποίηση των κατώτερων μελών του πληρώματος, αποτελεί μια σημαντική παράμετρο του συστήματος. Είναι γεγονός ότι, όσο αναφορά τα ανώτερα μέλη θα ικανοποιούνται πλήρως, ενώ για τα κατώτερα θα πρέπει να παρέχεται αιτιολογία για όλες τις μειωμένες προτιμήσεις.

Χρόνος

Το σύστημα ικανοποίησης προτιμήσεων μετά την ολοκλήρωσή του, θα πρέπει να δημοσιεύει εγκαίρως τα αποτελέσματα όλων των πακέτων προτιμήσεων. Τα πακέτα προτιμήσεων, θα πρέπει να επιλύονται διαδοχικά για να καταφέρουν να χειριστούν τις προτιμήσεις, όπως η αποφυγή μιας πτήσης, η εκτέλεσης ενός ζευγους κτλ.

4 Μοντελοποίηση

4.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξετασθεί η διαδικασία ανάθεσης των ιπτάμενων σε πτητικές διαδρομές, με στόχο την κάλυψη του υφιστάμενου πτητικού φορτίου και τη μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του ιπτάμενου προσωπικού. Για τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος, θα λαμβάνεται ως δεδομένο, πίνακας προτιμήσεων (Πιν. 1), ο οποίος έχει κατασκευαστεί σε προγενέστερο χρόνο και θα τερματίζει, δίνοντας σαν αποτέλεσμα τον αριθμό των προτιμήσεων που μπορούν να ικανοποιηθούν.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>
1	k_1
2	k_2
3	k_3
4	k_4
...	...
...	...
n	k_n

Πίνακας 1: Πίνακας προτιμήσεων

Όπως έχει αναφερθεί, κάθε πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από κάποια βαθμολογία, η οποία εκφράζει το βαθμό στον οποίο το συγκεκριμένο πρόγραμμα, ικανοποιεί τις προτιμήσεις του ιπτάμενου. Στην παρούσα μεθοδολογία, σημαντική παράμετρος στη διαδικασία κατασκευής προγραμμάτων, αποτελεί η αυστηρή ικανοποίηση των προτεραιοτήτων (*strictly priority*) του ιπτάμενου. Αυτό σημαίνει, ότι σκοπός του συστήματος είναι η ικανοποίηση των προτιμήσεων ιεραρχικά και όχι στη μεγιστοποίηση ενός σταθμισμένου αθροίσματος.

Οι πληροφορίες που αντλούνται από έναν πίνακα προτιμήσεων είναι: για κάθε επίπεδο προτεραιότητας, ο αριθμός των προτιμήσεων που έχει εισάγει ένας ιπτάμενος. Δεν αποτελεί ενδιαφέρον, η ποιότητα των προτιμήσεων, παρά μόνο ο αριθμός τους σε κάθε επίπεδο.

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί, ότι το σύστημα δεν είναι σε θέση να καταφέρει να ικανοποιήσει όλες τις προτιμήσεις των ιπτάμενων. Κάθε εταιρεία θέτει μια μέγιστη βαθμολογία (*maxscore*), η οποία αντιπροσωπεύει το άθροισμα της βαθμολογίας των προτιμήσεων που μπορεί να ικανοποιήσει. Η θέσπιση αυτής της μέγιστης βαθμολογίας, δημιουργείται για την ομαλή κατασκευή των προγραμμάτων, καθώς δεν αφήνει περιθώρια για αντικρουόμενες προτιμήσεις μεταξύ των ιπτάμενων. Είναι γεγονός, ότι με την ταχεία ανάπτυξη των συστημάτων ικανοποίησης προτιμήσεων, ο αριθμός των προτιμήσεων που μπορεί να εισάγει ο ιπτάμενος έχει εκτοξευθεί.

Μια ακόμα παράμετρος που θα πρέπει να αποσαφηνιστεί, είναι η βάση (*base*). Πρόκειται για μια τιμή, που παρουσιάζει τον αντίκτυπο της μετάβασης από το ένα επίπεδο προτεραιότητας στο άλλο. Καθώς η ικανοποίηση των προτιμήσεων γίνεται αυστηρά ιεραρχικά, η μετάβαση από το ένα επίπεδο στο άλλο, θα επιφέρει μεταβολές στο άθροισμα της βαθμολογίας των προτιμήσεων.

4.2 Βαθμολογία

Στην παρούσα ενότητα, θα παρουσιαστούν λεπτομερώς, οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η εύρεση της βαθμολογίας ενός πίνακα προτιμήσεων. Ένα χρήσιμο εργαλείο, καθώς υποδεικνύει τον αριθμό των προτιμήσεων που καλύπτονται από την δημιουργία του προγράμματος του ιπτάμενου.

4.2.1 Αναλυτική Διαδικασία

Για την καλύτερη κατανόηση αλλά και οικονομία πράξεων, θα χρησιμοποιηθεί ένας πίνακας για $n=4$ επίπεδα προτεραιότητας (Πιν. 2). Η διαδικασία εύρεσης βαθμολογίας λαμβάνει υπόψη την αυστηρή ικανοποίηση των προτιμήσεων.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>
1	k_1
2	k_2
3	k_3
4	k_4

Πίνακας 2: Πίνακας προτιμήσεων για 4 επίπεδα προτεραιότητας

Η διαδικασία ξεκινά από τις κατώτερες προτιμήσεις (βάση της σειράς προτεραιότητας για ικανοποίηση). Παρακάτω, παρουσιάζονται λεπτομερώς οι πράξεις βήμα βήμα.

1ο βήμα: Για κάθε επίπεδο προτεραιότητας υπολογίζεται το γινόμενο της βάσης, με το άθροισμα του αριθμού των γεγονότων (*occurrences*) για το συγκεκριμένο επίπεδο, με την βαθμολογία όλων των προηγούμενων επιπέδων προτεραιότητας.

επίπεδο 4: $k_4 * base$

επίπεδο 3: $k_3 * (base + k_4 * base)$

επίπεδο 2: $k_2 * (base + k_4 * base + (base + k_4 * base) * k_3)$

επίπεδο 1: $k_1 * (base + k_4 * base + (base + k_4 * base) * k_3 + (base + k_4 * base + (base + k_4 * base) * k_3) * k_2)$

2ο βήμα: Υπολογίζεται ένα συνολικό άθροισμα όλων των επιπέδων προτεραιότητας. Το άθροισμα αυτό αντιπροσωπεύει τη συνολική βαθμολογία του πίνακα.

$$\cdot score = k_4 * base + k_3 * (base + k_4 * base) + k_2 * (base + k_4 * base + (base + k_4 * base) * k_3) + k_1 * (base + k_4 * base + (base + k_4 * base) * k_3 + (base + k_4 * base + (base + k_4 * base) * k_3) * k_2)$$

Παρουσιάστηκε λοιπόν, η αναλυτική διαδικασία εύρεσης της βαθμολογίας ενός πίνακα προτιμήσεων. Η διαδικασία είναι κοινή, ακόμα και για μεγάλους πίνακες προτιμήσεων, με πολλά επίπεδα προτεραιότητας.

4.2.2 Χρήση Συνάρτησης

Για την εύρεση της βαθμολογίας ενός πίνακα με την χρήση συνάρτησης, θα χρησιμοποιηθεί ο παραπάνω πίνακας (Πιν. 2). Η διαδικασία έχει ως εξής.

1ο βήμα: Άθροισμα όλων των αριθμών των γεγονότων.

2ο βήμα: Άθροισμα των γινομένων των αριθμών των γεγονότων, ανά δύο μεταξύ τους. Τα γινόμενα αυτά, δεν περιλαμβάνουν πολλαπλασιασμό του αριθμού του γεγονότος με τον εαυτό του, καθώς και ο πολλαπλασιασμός με τους άλλους αριθμούς των γεγονότων θα γίνεται μόνο μια φορά, με τη σειρά που θα εμφανίζονται.

3ο βήμα: Άθροισμα των γινομένων των αριθμών των γεγονότων, ανά τρία μεταξύ τους. Για τα γινόμενα ισχύουν οι αντίστοιχες παραδοχές όπως στο βήμα 2.

4ο βήμα: Άθροισμα των γινομένων των αριθμών των γεγονότων, ανά τέσσερα μεταξύ τους. Για τα γινόμενα ισχύουν οι παραδοχές όπως στα προηγούμενα βήματα.

Ο αριθμός των βημάτων είναι ίσος με τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας. Στη συνέχεια, θα πραγματοποιείται ένα συνολικό άθροισμα όλων των παραπάνω βημάτων. Η τελική βαθμολογία του πίνακα, θα προκύπτει από το γινόμενο του συνολικού αθροίσματος με τη βάση. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να μεταφραστεί εύκολα με τη χρήση της παρακάτω συνάρτησης.

$$\begin{aligned} \cdot \text{score} = & \text{base} * \left(\sum_{i=1}^n k_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_i * k_j + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{m=j+1}^n k_i * k_j * k_m + \right. \\ & \left. \sum_{i=1}^{n-3} \sum_{j=i+1}^{n-2} \sum_{m=j+1}^{n-1} \sum_{d=m+1}^n k_i * k_j * k_m * k_d + \dots \right) \end{aligned}$$

Αν χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου τα στοιχεία από τον Πίν. 2, δηλαδή ένας πίνακας με τέσσερα επίπεδα προτεραιότητας, άρα η διαδικασία θα τερματίζει μετά από τέσσερα βήματα, θα επιφέρει τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$\begin{aligned} \cdot \text{score} = & \text{base} * (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \text{base} * (k_1 * k_2 + k_1 * k_3 + k_1 * k_4 + k_2 * k_3 + k_2 * k_4 + k_3 * k_4) + \\ & \text{base} * (k_1 * k_2 * k_3 + k_1 * k_2 * k_4 + k_1 * k_3 * k_4 + k_2 * k_3 * k_4) + \text{base} * (k_1 * k_2 * k_3 * k_4) \end{aligned}$$

Είναι εύκολα κατανοητό, ότι και οι δύο τρόποι εύρεσης της βαθμολογίας ενός πίνακα προτιμήσεων καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα. Επίσης, ένα ακόμα συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξαχθεί είναι ότι, η εύρεση της βαθμολογίας με τη χρήση συνάρτησης, είναι πιο απλή και οικονομική μέθοδος όσο αναφορά τον αριθμό των πράξεων. Η αίσθηση αυτή θα γίνει πιο αντιληπτή σε μεγάλους πίνακες προτιμήσεων, με πολλά επίπεδα προτεραιότητας.

4.2.3 Απόδειξη

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να αποδειχθεί ότι, η εύρεση της βαθμολογίας ενός πίνακα προτιμήσεων καταλήγει στο ίδιο αποτέλεσμα, ανεξαρτήτως σημείου εκκίνησης των πράξεων. Αυτό σημαίνει ότι, είτε ξεκινά η διαδικασία υπολογισμού της βαθμολογίας από την κατώτερη προτίμηση (βάση της σειράς προτεραιότητας για ικανοποίηση), είτε η διαδικασία ξεκινά από την υψηλότερη προτίμηση καταλήγουμε στο ίδιο αποτέλεσμα.

Για την συγκεκριμένη απόδειξη θα χρησιμοποιηθεί ο Πίν. 2.

α' τρόπος: Το σημείο εκκίνησης θα είναι το τελευταίο επίπεδο προτεραιότητας

Το αποτέλεσμα της παρούσας διαδικασίας έχει υπολογιστεί στην ¶4.2.1 και ¶4.2.2 και είναι:

$$\begin{aligned} \cdot \text{score} = & \text{base} * (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \text{base} * (k_1 * k_2 + k_1 * k_3 + k_1 * k_4 + k_2 * k_3 + k_2 * k_4 + k_3 * k_4) + \\ & \text{base} * (k_1 * k_2 * k_3 + k_1 * k_2 * k_4 + k_1 * k_3 * k_4 + k_2 * k_3 * k_4) + \text{base} * (k_1 * k_2 * k_3 * k_4) \end{aligned}$$

β' τρόπος: Το σημείο εκκίνησης θα είναι το πρώτο επίπεδο προτεραιότητας
Θα χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση που αναφέρθηκε στην §4.2.2. Το αποτέλεσμα είναι το εξής:

$$\begin{aligned} \cdot \text{score} = & \text{base} * \left(\sum_{i=1}^n k_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_i * k_j + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{m=j+1}^n k_i * k_j * k_m + \right. \\ & \left. \sum_{i=1}^{n-3} \sum_{j=i+1}^{n-2} \sum_{m=j+1}^{n-1} \sum_{d=m+1}^n k_i * k_j * k_m * k_d \right) \\ \cdot \text{score} = & \text{base} * (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \text{base} * (k_1 * k_2 + k_1 * k_3 + k_1 * k_4 + k_2 * k_3 + k_2 * k_4 + k_3 * k_4) + \\ & \text{base} * (k_1 * k_2 * k_3 + k_1 * k_2 * k_4 + k_1 * k_3 * k_4 + k_2 * k_3 * k_4) + \text{base} * (k_1 * k_2 * k_3 * k_4) \end{aligned}$$

Το όφελος από την παραπάνω απόδειξη σε πρώτο χρόνο δεν γίνεται άμεσα αντιληπτό, αλλά η παρούσα απόδειξη αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια των κατασκευαστών προγραμμάτων για τους ιπτάμενους. Είναι γνωστό, ότι η εταιρεία θέτει μια μέγιστη βαθμολογία, σύμφωνα με την οποία επιλέγονται οι προτιμήσεις των ιπτάμενων που μπορούν να ικανοποιηθούν. Πλέον για τους κατασκευαστές δεν θα απαιτείται η συνεχόμενη διαδικασία υπολογισμού της βαθμολογίας του πίνακα προτιμήσεων, αφαιρώντας κάθε φορά ένα επίπεδο προτεραιότητας, μέχρις ότου η βαθμολογία του πίνακα προτιμήσεων δεν ξεπερνά τη μέγιστη βαθμολογία.

Οι κατασκευαστές θα είναι σε θέση να γνωρίζουν τον ακριβή αριθμό των προτιμήσεων άμεσα, σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ένας σύμμαχος στην προσπάθεια κατασκευής του προγράμματος των ιπτάμενων.

4.3 Χαμηλής Προτεραιότητας

Στην ενότητα αυτή, θα γίνει μια προσπάθεια επεξήγησης των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας. Έχει αναφερθεί ότι η εταιρεία θέτει μια μέγιστη βαθμολογία, βάση της οποίας κατασκευάζονται τα προγράμματα των ιπτάμενων και ένα σύνολο προτιμήσεων ικανοποιείται. Το υπόλοιπο των προτιμήσεων που δεν ικανοποιούνται, αποτελούν τις προτιμήσεις χαμηλής προτεραιότητας.

4.3.1 Αναλυτική Διαδικασία

Για την περιγραφή και την καλύτερη κατανόηση της αναλυτικής διαδικασίας εύρεσης των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας, θα δοθεί αριθμητικό παράδειγμα. Αρχικά, θα βρεθεί το σύνολο των προτιμήσεων που ικανοποιούνται και έπειτα η προτεραιότητα που τηρείται στις προτιμήσεις χαμηλής προτεραιότητας.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>
1	3
2	1
3	4
4	2
5	3
6	5

Πίνακας 3: Πίνακας προτιμήσεων για 6 επίπεδα προτεραιότητας

Τα δεδομένα εισόδου του παραδείγματος, είναι ένας πίνακας προτιμήσεων (Πιν. 3), μια μέγιστη βαθμολογία ($maxscore$)=1000 και μία τιμή βάσης ($base$)=10.

1ο βήμα: Εύρεση του συνόλου των προτιμήσεων υψηλής προτεραιότητας που ικανοποιούνται και της βαθμολογίας τους.

Η διαδικασία έχει περιγραφεί στην ¶4.2.

- Η βαθμολογία για τα πρώτα 3 επίπεδα προτεραιότητας είναι:

$$\cdot score = base * (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + base * (k_1 * k_2 + k_1 * k_3 + k_1 * k_4 + k_2 * k_3 + k_2 * k_4 + k_3 * k_4) + base * (k_1 * k_2 * k_3 + k_1 * k_2 * k_4 + k_1 * k_3 * k_4 + k_2 * k_3 * k_4) + base * (k_1 * k_2 * k_3 * k_4) \Rightarrow$$

$$\cdot score = 390 \leq 1000 : maxscore$$

- Η βαθμολογία για τα πρώτα 4 επίπεδα προτεραιότητας ομοίως είναι:

$$\cdot score = 1190 \geq 1000 : maxscore$$

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι, μπορούν να ικανοποιηθούν προτιμήσεις για 3 επίπεδα και η βαθμολογία αυτών των προτιμήσεων θα είναι $score = 390$.

2ο βήμα: Εύρεση βαθμολογίας των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας.

Όσα επίπεδα προτεραιότητας δεν κατάφεραν να ικανοποιηθούν στο προηγούμενο βήμα, αποτελούν τις προτιμήσεις χαμηλής προτεραιότητας. Για αυτό το σύνολο προτιμήσεων, θα γίνει μια προσπάθεια ιεράρχησής τους. Στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 4), αποτυπώνεται η διαμόρφωση των προτιμήσεων υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>
1	3
2	1
3	4
4	2
5	3
6	5

Πίνακας 4: Πίνακας προτιμήσεων υψηλής-χαμηλής προτεραιότητας

Η διαφορά μεταξύ της μέγιστης βαθμολογίας, με την βαθμολογία των προτιμήσεων υψηλής προτεραιότητας, έχει ως αποτέλεσμα τη βαθμολογία των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας.

$$\cdot lowscore = maxscore - score \Rightarrow lowscore = 1000 - 390 = 610$$

Στη συνέχεια, θα προταθούν 2 τρόποι ιεράρχησης των προτιμήσεων αυτών, για αυτή την τιμή βαθμολογίας $lowscore$. Οι προτεινόμενοι τρόποι ιεράρχησης των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας, δεν συνάπτουν με την διαδικασία που ακολουθείται στις προτιμήσεις υψηλής προτεραιότητας.

1ος τρόπος: Ιεραρχικά και ίσα

Αρχικά πραγματοποιείται διαίρεση της τιμής *lowscore* με το άθροισμα των αριθμών των γεγονότων (*occurrences*) των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας.

$$\cdot 610 / 10 = 61$$

Έπειτα, το αποτέλεσμα αυτής της πράξης πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό κάθε γεγονότος.

- επίπεδο προτεραιότητας 4 : $2 * 61 = 122$
- επίπεδο προτεραιότητας 5 : $3 * 61 = 183$
- επίπεδο προτεραιότητας 6 : $5 * 61 = 305$

Όπως είναι φυσικό και επόμενο, το άθροισμα των βαθμολογιών των επιπέδων 4 , 5 και 6 δίνει το *lowscore* = $610 = 122 + 183 + 305$.

2ος τρόπος: Συντελεστής βαρύτητας

Για κάθε ένα επίπεδο χαμηλής προτεραιότητας, δίνεται ένας συντελεστής βαρύτητας, με τον μικρότερο συντελεστή να δίνεται στις κατώτερες προτιμήσεις (βάση της σειράς προτεραιότητας για ικανοποίηση), προσπαθώντας να δοθεί μια ιεράρχηση προτεραιότητας. Στην συνέχεια, υπολογίζεται το γινόμενο των συντελεστών βαρύτητας, με τον αριθμό των γεγονότων καθώς και μια σταθερή μεταβλητή *z*. Το άθροισμα αυτών των γινομένων όλων των επιπέδων, θα ισούται με την βαθμολογία *lowscore*. Οπότε ισχύει:

$$\cdot \sum_{i=1}^n (\text{συντελεστής βαρύτητας επιπέδου } i) * (\text{occurrences επιπέδου } i) * (z) = \text{lowscore}$$

Κάνοντας χρήση των δεδομένων εισόδου του εξεταζόμενου παραδείγματος, η παραπάνω σχέση γράφεται σαν μια εξίσωση, με μόνο άγνωστο την σταθερή μεταβλητή *z*.

$$\cdot 2 * 3 * z + 3 * 2 * z + 5 * 1 * z = 610 \Rightarrow z = 35,882$$

Πλέον η βαθμολογία για κάθε ένα επίπεδο χαμηλής προτεραιότητας διαμορφώνεται ως εξής:

- επίπεδο προτεραιότητας 4 : $2 * 3 * 35,882 = 215,292$
- επίπεδο προτεραιότητας 5 : $3 * 2 * 35,882 = 215,292$
- επίπεδο προτεραιότητας 6 : $5 * 1 * 35,882 = 179,41$

Το άθροισμα των βαθμολογιών των επιπέδων 4 , 5 και 6 δίνει το *lowscore*.

4.3.2 Τύπος

Πέρα της μεθόδου που περιγράφηκε παραπάνω, θα περιγραφεί μια νέα μεθολογία εύρεσης της βαθμολογίας προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας. Βασική διαφορά της, με την παραπάνω μεθοδολογία, ότι η βαθμολογία των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας επηρεάζουν άμεσα τη βαθμολογία των προτιμήσεων υψηλής προτεραιότητας, κάτι το οποίο δεν συνέβαινε στην αναλυτική διαδικασία. Τα δεδομένα εισόδου του παραδείγματος θα είναι κοινά (Πιν. 3, *maxscore*=1000, *base*=10).

1ο βήμα: Εύρεση του συνόλου των προτιμήσεων υψηλής προτεραιότητας που ικανοποιούνται και της βαθμολογίας τους.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με παραπάνω και τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον Πιν. 4.

2ο βήμα: Εύρεση βαθμολογίας των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας.

Έστω η μεταβλητή y , αντιπροσωπεύει τη βαθμολογία όλων των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να δημιουργείται μια νέα βάση για τις προτιμήσεις υψηλής προτεραιότητας, η οποία να ισούται: $\widetilde{base}=(base+y)$. Οπότε η διαδικασία καταλήγει να αναζητά τη βαθμολογία ενός πίνακα προτιμήσεων με μια νέα βάση. Θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$\cdot \text{maxscore} \geq \widetilde{score}$$

Σύμφωνα με την διαδικασία της §4.3.1 είχε δοθεί τύπος για τον ακριβή υπολογισμό της βαθμολογίας ($score$), για τον εξεταζόμενο πίνακα. Δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι, η βάση πλέον έχει μεταβληθεί, καθώς και η βαθμολογία όλων των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας πλέον επηρεάζουν την συνολική βαθμολογία.

$$\cdot \text{maxscore} \geq y + \widetilde{base} * \left(\sum_{i=1}^n k_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n k_i * k_j + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{m=j+1}^n k_i * k_j * k_m + \sum_{i=1}^{n-3} \sum_{j=i+1}^{n-2} \sum_{m=j+1}^{n-1} \sum_{d=m+1}^n k_i * k_j * k_m * k_d + \dots \right)$$

Η παραπάνω ανισότητα, αποτελεί μια σχέση με μοναδικό άγνωστο το y , δηλαδή τη βαθμολογία των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας. Λύνοντας ως προς το μοναδικό άγνωστο, το αποτέλεσμα είναι:

$$y \leq \frac{\text{maxscore} - \text{score}}{\frac{\text{score}}{\text{base}} + 1}$$

Για μια πιο ασφαλή εικόνα των παραπάνω μεγεθών, καθώς και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν, θα γίνει χρήση του παραδείγματος.

Η συνολική βαθμολογία των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας είναι:

$$y \leq \frac{1000 - 390}{\frac{390}{10} + 1} \Rightarrow y \leq 15,25$$

Σύμφωνα με την οποία τιμή y , θα πρέπει πλέον να γίνει η ταξινόμηση των προτιμήσεων χαμηλής προτεραιότητας (βλέπε §4.3.1). Επίσης, θα εμφανιστεί και μεταβολή της βαθμολογίας κάθε επιπέδου υψηλής προτεραιότητας, η οποία μεταβολή θα οφείλεται στο γεγονός της αύξησης της βάσης κατά y .

Είναι εύκολα αντιληπτό, ότι εμφανίζεται μεγάλη διαφορά στην τιμή της βαθμολογίας των προτιμήσεων χαμηλής και υψηλής προτεραιότητας μεταξύ των δύο μεθολογιών που περιγράφηκαν παραπάνω. Η διαφορά αυτή, έγκειται στο γεγονός ότι στη διαδικασία εύρεσης βαθμολογίας με την χρήση τύπου, η εξάρτηση των βαθμολογιών χαμηλής και υψηλής προτεραιότητας, είναι πιο στενή σε σχέση με την αναλυτική διαδικασία. Το κοινό των δύο μεθοδολογιών δεν είναι άλλο, από το γεγονός ότι ο αριθμός των προτιμήσεων υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας δεν μεταβλήθηκε.

4.4 Σχεδιασμός

4.4.1 Γενικά

Η μεγάλη εκτόξευση του αριθμού των προτιμήσεων που υποβάλλονται από τους ιπτάμενους, οδήγησε τους κατασκευαστές προγραμμάτων, σε εκτενέστερο διαχωρισμό όσο αναφορά τα επίπεδα προτεραιότητας. Ο διαχωρισμός των προτιμήσεων σε υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας με γνώμονα μια μέγιστη βαθμολογία, κρίνεται ανεπαρκής.

Πολλές φορές, η συνολική βαθμολογία ενός πίνακα προτιμήσεων, υπερβαίνει κατά πολύ τη μέγιστη βαθμολογία που έχει τεθεί. Έτσι λοιπόν, εισάγεται μια νέα έννοια, η έννοια του γύρου (*round*). Με τον όρο αυτό, υπολογίζεται ο αριθμός των γύρων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της συνολικής βαθμολογίας του πίνακα, σύμφωνα πάντα με την μέγιστη βαθμολογία. Σε κάθε γύρο, ο υπολογισμός της βαθμολογίας του πίνακα, ξεκινά από το μηδέν και το τέλος του γύρου έγκειται στο τελευταίο επίπεδο προτεραιότητας, πριν ξεπεραστεί η μέγιστη βαθμολογία. Κάθε φορά που ένα επίπεδο προτεραιότητας υπολογίζεται και εκχωρείται μέσα σε έναν συγκεκριμένο γύρο, δεν λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς των μεταγενέστερων γύρων. Η διαδικασία υπολογισμού των γύρων ξεκινά από τις προτιμήσεις που χρήζουν άμεσης προτεραιότητας.

Στόχος των κατασκευαστών κάθε φορά είναι η εύρεση του ελάχιστου αριθμού γύρων. Επειδή πολλές φορές, ο αριθμός αυτός είναι απαγορευτικά μεγάλος, η εταιρεία καθορίζει ένα ανώτατο όριο γύρων που θα λαμβάνεται υπόψιν κατά τη κατασκευή των προγραμμάτων για τους ιπτάμενους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται παράδειγμα υπολογισμού του ελάχιστου αριθμού γύρων για έναν πίνακα προτιμήσεων. Τα δεδομένα εισόδου του παραδείγματος είναι: Πιν. 5, *maxscore*=500, *base*=10.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>
1	3
2	2
3	4
4	1
5	5

Πίνακας 5: Πίνακας προτιμήσεων για 5 επίπεδα προτεραιότητας

Η διαδικασία υπολογισμού του αριθμού των γύρων είναι σχετικά απλή. Κάθε φορά που η συνολική βαθμολογία ξεπερνά την μέγιστη βαθμολογία, η βαθμολογία του τελευταίου επιπέδου προτεραιότητας θα προσμετράται στον επόμενο γύρο.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>	<i>1st round</i>	<i>2nd round</i>	<i>3rd round</i>
1	3	30	-	-
2	2	110	-	-
3	4	590	40	-
4	1	-	90	-
5	5	-	590	50

Πίνακας 6: Πίνακας προτιμήσεων και αριθμού γύρων

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, στον πρώτο γύρο μπορούν να ικανοποιηθούν οι προτιμήσεις των δύο πρώτων επιπέδων προτεραιότητας, καθώς για την ικανοποίηση του τρίτου

επιπέδου, η συνολική βαθμολογία υπερβαίνει τη μέγιστη βαθμολογία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η ικανοποίηση του τρίτου επιπέδου να μετατείνεται στον δεύτερο γύρο και πιο συγκεκριμένα, να αποτελεί το πρώτο επίπεδο προς ικανοποίηση για το γύρο αυτό.

Ακολούθως, στο δεύτερο γύρο, ικανοποιούνται οι προτιμήσεις για τα επίπεδα τρία και τέσσερα, καθώς για την ικανοποίηση του πέμπτου επιπέδου, η βαθμολογία αυτού του γύρου ξεπερνά τη μέγιστη βαθμολογία, το οποίο είναι απαγορευτικό. Τέλος, στο τρίτο γύρο ανήκει μόνο το πέμπτο επίπεδο προτεραιότητας

4.4.2 Κατάλληλος Σχεδιασμός

Έχει τονιστεί, ότι σε ρεαλιστικές συνθήκες, ο αριθμός των προτιμήσεων που υποβάλλει ένας ιπτάμενος είναι τρομακτικά μεγάλος. Αυτό συνεπάγεται, στη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού γύρων. Η δημιουργία των γύρων, καθώς και η ιεράρχηση των επιπέδων μέσα στους γύρους, αποτελεί σημαντική παράμετρο όσο αναφορά το χρόνο κατασκευής ενός προγράμματος.

Έχοντας πλέον σαν δεδομένο, τον ελάχιστο αριθμό γύρων, το οποίο έχει υπολογιστεί σε προγενέστερο βήμα, η παράμετρος η οποία θα μεταβληθεί και θα βελτιώσει το χρόνο εκτέλεσης των πράξεων κατά τη δημιουργία των προγραμμάτων των ιπτάμενων, είναι η τοποθέτηση των επιπέδων προτεραιότητας μέσα στους γύρους. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια προσπάθεια διαχωρισμού, ώστε να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ του αριθμού των διαφόρων επιπέδων, χωρίς να διαφοροποιηθεί η ιεράρχησή τους.

Στο σημείο αυτό, εισάγεται η έννοια του *design* ενός πίνακα προτιμήσεων. Πρόκειται για ένα μέγεθος, που εκφράζει τους ποικίλους τρόπους με τους οποίους μπορούν να μοιραστούν τα διάφορα επίπεδα προτεραιότητας στους γύρους. Σε πρώτο χρόνο, δεν γίνεται αναφορά στην επιλογή του καλύτερου *design*, παρά μόνο στην διαμόρφωσή τους. Στην συνέχεια, δίνεται ένα παράδειγμα για τη διαμόρφωση *design* ενός πίνακα προτιμήσεων. Τα δεδομένα του παραδείγματος είναι: Πιν. 5, $maxscore=1200$, $base=10$. Όσο αναφορά τον ελάχιστο αριθμό γύρων, η διαδικασία υπολογισμού έχει δοθεί στην παραπάνω παράγραφο και στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο ελάχιστος αριθμός των γύρων είναι 2.

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>	<i>1st Design</i>	<i>2nd Design</i>
1	3	30	30
2	2	110	110
3	4	590	590
4	1	1190	10
5	5	50	110

Πίνακας 7: *Design* ενός πίνακα προτιμήσεων

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων του παραπάνω πίνακα. Η στήλη των *design*, αντιπροσωπεύει τη συνολική βαθμολογία του εκάστοτε επιπέδου και γύρου. Για το πρώτο *design*, στον πρώτο γύρο ικανοποιούνται τέσσερα επίπεδα προτεραιότητας και η βαθμολογία του ανέρχεται στους 1190, ενώ στο δεύτερο γύρο ικανοποιείται μόνο ένα επίπεδο με βαθμολογία ίση με 50. Για το δεύτερο *design*, στον πρώτο γύρο ικανοποιούνται τρία επίπεδα προτεραιότητας με συνολική βαθμολογία ίση με 590, ενώ η βαθμολογία του δεύτερου γύρου είναι 110 και ο αριθμός των επιπέδων είναι δύο, αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι, η ιεράρχηση των επιπέδων προτεραιότητας ως προς την ικανοποίησή τους δεν μεταβάλλεται, ανεξαρτήτως αν ένα επίπεδο αλλάζει τον γύρο στον οποίο θα ικανοποιηθεί.

Έχοντας πλέον αριθμήσει όλα τα πιθανά *design* για έναν πίνακα προτιμήσεων, θα πρέπει να επιλεγεί το καλύτερο, δηλαδή εκείνο το οποίο θα αποδίδει ένα πλεονέκτημα στους κατα-

σχευαστές προγραμμάτων στο χρόνο εκτέλεσης των πράξεων. Η απάντηση για την επιλογή αυτή, θα είναι το αποτέλεσμα ενός προβλήματος ελαχιστοποίησης.

Αρχικά, θα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός των συντελεστών *coef*. Πρόκειται, για έναν συντελεστή που εκφράζει για κάθε επίπεδο προτεραιότητας, τη συνολική βαθμολογία όλων των προηγούμενων επιπέδων που ανήκουν στο γύρο αυτό. Ακολουθεί παράδειγμα για την βαθύτερη κατανοήση (Πιν. 7, *maxscore*=1200, *base*=10).

<i>Priorities</i>	<i>Occurrences</i>	<i>1st Design</i>	<i>2nd Design</i>
1	3	3*300	3*150
2	2	2*100	2*50
3	4	4*20	4*10
4	1	1*10	1*60
5	5	5*10	5*10

Πίνακας 8: Πίνακα προτιμήσεων και συντελεστών *coef*

Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι ο υπολογισμός του μέγιστου συντελεστή *coef* για κάθε γύρο. Ιδιαίτερη προσοχή, θα πρέπει να δοθεί στον τρόπο εκτέλεσης των πράξεων, καθώς ο μέγιστος συντελεστής κάθε γύρου, εμφανίζεται στο επίπεδο προτεραιότητας που χρήζει άμεση ικανοποίηση.

Design 1

·Για τον πρώτο γύρο $\Rightarrow \maxcoef_1 = 300$

·Για τον δεύτερο γύρο $\Rightarrow \maxcoef_2 = 10$

Design 2

·Για τον πρώτο γύρο $\Rightarrow \maxcoef_1 = 150$

·Για τον δεύτερο γύρο $\Rightarrow \maxcoef_2 = 60$

Το επόμενο βήμα, είναι ο υπολογισμός δύο μεγεθών, *Cmax* και *Cmin* για κάθε ένα διαφορετικό *design*. Ο όρος *Cmax* αντιπροσωπεύει τον μεγαλύτερο από τους μέγιστους συντελεστές \maxcoef_i όλων των γύρων, ενώ ο όρος *Cmin* αντιπροσωπεύει τον μικρότερο από τους μέγιστους συντελεστές \maxcoef_i , αντίστοιχα.

Τέλος, έχοντας γνωστά όλα τα παραπάνω δεδομένα, η βέλτιστη λύση του προβλήματος είναι η ελάχιστη διαφορά μεταξύ των τιμών *Cmax* και *Cmin* όλων των *design*.

Design 1

$$\left. \begin{array}{l} \cdot Cmax \equiv \maxcoef_1 = 300 \\ \cdot Cmin \equiv \maxcoef_2 = 10 \end{array} \right\} = Cmax - Cmin = 300 - 10 = 290 \quad (1)$$

Design 2

$$\left. \begin{array}{l} \cdot Cmax \equiv \maxcoef_1 = 150 \\ \cdot Cmin \equiv \maxcoef_2 = 60 \end{array} \right\} = Cmax - Cmin = 150 - 60 = 90 \quad (2)$$

Οπότε η βέλτιστη λύση είναι: $Z = \text{Min} (Cmax - Cmin) = 90$

Ο διαχωρισμός των επιπέδων προτεραιότητας, όπως διαμορφώνονται στο *Design 2* είναι προτιμότερος για τους κατασκευαστές προγραμμάτων των ιπτάμενων, καθώς του προσδίδει ένα πλεονέκτημα στον χρόνο εκτέλεσης πράξεων.

4.5 Μορφοποίηση

Σε αυτήν την τελευταία ενότητα, θα δοθεί ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να μορφοποιηθεί ένας πίνακας προτιμήσεων, δίνοντας σαν αποτέλεσμα την επιλογή του καλύτερου *design*, τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας σε κάθε γύρο, καθώς και τη βαθμολογία τους. Είναι φανερό ότι, η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην §4.4.2 είναι ένας χειροκίνητος τρόπος εύρεσης όλων αυτών των πληροφοριών. Ένας τρόπος, που θα εμφανίσει πολλές δυσκολίες καθώς ο αριθμός των επιπέδων αυξηθεί. Ακόμη, θα χρειαστεί επανάληψη όλων των πράξεων, αν γίνει μια μεταβολή στα δεδομένα εισόδου. Η μορφοποίηση που θα προταθεί, θα λαμβάνει σαν δεδομένα εισόδου τον πίνακα προτιμήσεων καθώς και τον αριθμό των γύρων του πίνακα.

4.5.1 Μεταβλητές Απόφασης

Οι μεταβλητές απόφασης που θα χρησιμοποιηθούν, θα εξαρτώνται από τον αριθμό των γύρων του πίνακα προτιμήσεων. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των γύρων θα ισούται με τον αριθμό των μεταβλητών απόφασης. Με την πρώτη μεταβλητή απόφασης να αντιπροσωπεύει τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας του πρώτου γύρου και τη δεύτερη μεταβλητή απόφασης να αντιπροσωπεύει τον αριθμό των επιπέδων του δεύτερου γύρου, κ.ο.κ..

4.5.2 Περιορισμοί

Για οικονομία χρόνου και πράξεων, κάποιος από τους περιορισμούς θα περιγραφούν σαν μεμονωμένοι περιορισμοί, ενώ άλλοι σαν μια ομάδα περιορισμών, η οποία θα μεταβάλλεται ανάλογα με τον αριθμό των γύρων.

1η Ομάδα Περιορισμών

Πρόκειται, για τον πιο απλό και λογικό περιορισμό. Συνδέει τις μεταβλητές απόφασης με το συνολικό αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας. Έστω x_i οι μεταβλητές απόφασης, R ο αριθμός των γύρων και n ο αριθμός των επιπέδων. Θα ισχύει ότι:

$$\sum_{r=1}^R x_r = n$$

2η Ομάδα Περιορισμών

Στην ουσία πρόκειται για μια ομάδα περιορισμών και όχι έναν μεμονωμένο περιορισμό. Ο αριθμός των περιορισμών αυτής της κατηγορίας, είναι ίσος με τον αριθμό των γύρων του πίνακα προτιμήσεων. Οπότε προκύπτει, η μέγιστη βαθμολογία κάθε γύρου r , να είναι ίση με τη βαθμολογία κάθε πίνακα, όπου κάθε συντελεστής που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των γεγονότων, θα πολλαπλασιάζεται με μια δυαδική μεταβλητή a_q . Η δυαδική μεταβλητή a_q θα παίρνει την τιμή 0 ή 1, ανάλογα αν το επίπεδο προτεραιότητας ανήκει στον γύρο που υπολογίζεται κάθε φορά η μέγιστη βαθμολογία.

$$\begin{aligned} \cdot Maxscore_r = base * & \left(\sum_{i=1, q=1}^{n, n} k_i * a_q + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1, q=n+1}^{n, n+\binom{n}{2}} k_i * k_j * a_q + \right. \\ & \left. \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{m=j+1, q=n+1+\binom{n}{2}}^{n, n+\binom{n}{2}+\binom{n}{3}} k_i * k_j * k_m * a_q + \dots \right) \end{aligned}$$

Στο σημείο αυτό, θα είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι η δυαδική μεταβλητή a_q , σε κάθε

γύρο θα παίρνει διαφορετικές τιμές, καθώς αντιπροσωπεύει κάθε φορά τα διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας, ανάλογα με το γύρο που εξετάζεται κάθε φορά.

3η Ομάδα Περιορισμών

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιορισμών, εμφανίζει ελάχιστες διαφορές σε σχέση με τη δεύτερη κατηγορία. Αφορά τους μέγιστους συντελεστές κάθε γύρου. Η μόνη διαφορά στη διαδικασία διατύπωσης του περιορισμού, είναι η πρόσθεση της βάσης (*base*), στο δεξί μέλος του περιορισμού.

$$\begin{aligned} \cdot Maxcoef_r = & base * \left(\sum_{i=1, q=1}^{n, n} k_i * b_q + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1, q=n+1}^{n, n+\binom{n}{2}} k_i * k_j * b_q + \right. \\ & \left. \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{m=j+1, q=n+1+\binom{n}{2}}^{n, n+\binom{n}{2}+\binom{n}{3}} k_i * k_j * k_m * b_q + \dots \right) + base \end{aligned}$$

4η Ομάδα Περιορισμών

Μία ομάδα λογικών περιορισμών. Περιορίζει τη μέγιστη βαθμολογία κάθε γύρου, να μην ξεπερνά τη μέγιστη βαθμολογία του πίνακα, η οποία αποτελεί δεδομένο εισόδου. Επιπλέον, υποδεικνύει τον μέγιστο και ελάχιστο συντελεστή.

$$\begin{aligned} \cdot Maxscore_r & \leq maxscore \\ \cdot Cmax & \geq Maxcoef_r \\ \cdot Cmin & \leq Maxcoef_r \end{aligned}$$

5η Ομάδα Περιορισμών

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιορισμών, περιγράφει τη σύνδεση μεταξύ των μεταβλητών απόφασης και των δυαδικών μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στις ομάδες 2 και 3. Εξαρτάται από τον αριθμό των γύρων καθώς και τον αριθμό των μεταβλητών απόφασης.

6η Ομάδα Περιορισμών

Σε αυτήν την κατηγορία περιορισμών ανήκουν οι περιορισμοί που δημιουργούνται μεταξύ των δυαδικών μεταβλητών. Στην ουσία, οι περιορισμοί της κατηγορίας αυτής, εξασφαλίζουν τη γραμμικότητα του προβλήματος.

4.5.3 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση δεν είναι άλλη, από την εύρεση της ελάχιστης διαφοράς μεταξύ του μέγιστου και του ελάχιστου συντελεστή.

$$\cdot Z = Min (Cmax - Cmin)$$

Συνοψίζοντας, η παραπάνω μορφοποίηση περιγράφει ένα πρόβλημα Μεικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού. Υπάρχουν πολύ αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για την επίλυση προβλημάτων αυτής της κατηγορίας. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιείται ένα μοντέρνο περιβάλλον ανάπτυξης πληροφοριακών εφαρμογών (*Visual Studio*) και μια προηγμένη γλώσσα αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (*C*).

5 Αποτελέσματα Πειραμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξετασθεί η αντίδραση και τα αποτελέσματα που προκύπτουν στον πηγαίο κώδικα εξαιτίας της μεταβολής του αριθμού των κελιών. Πιο συγκεκριμένα, θα αυξάνεται ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας και θα εξετάζεται ο αντίκτυπος της ενέργειας αυτής, τόσο στον αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών, όσο και στο χρόνο χτισίματος και εκτέλεσης του πηγαίου κώδικα.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές, σε δύο διαφορετικούς υπολογιστές με διαφορετικές δυνατότητες. Για τα προβλήματα που μελετήθηκαν και θα παρουσιαστούν στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, ελήφθησαν 30 διαφορετικές μετρήσεις για κάθε μεταβολή της τιμής, με στόχο την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, μιας και η βιβλιογραφία υποδεικνύει πως ο ιδανικός αριθμός μετρήσεων, θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του 20-30.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι η επαλήθευση των αποτελεσμάτων όσο αναφορά την εγκυρότητα και την εφικτότητά τους, πραγματοποιήθηκαν σε ένα άλλο προγραμματιστικό περιβάλλον, αυτό του *Lingo*. Πρόκειται, για ένα ολοκληρωμένο εργαλείο, σχεδιασμένο για την ταχύτερη, ευκολότερη και αποδοτικότερη κατασκευή και επίλυση γραμμικών μοντέλων βελτιστοποίησης.

Για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων, αρχικά θα εισαχθεί ένας πίνακας προτιμήσεων με 5 επίπεδα προτεραιότητας (έστω Πιν. 5), μια βάση ($base=10$) και μία μέγιστη βαθμολογία ($maxscore=5000$). Η επιλογή της μέγιστης βαθμολογίας, έγινε με τον τρόπο αυτό, ώστε να γίνουν πιο διακριτές οι μεταβολές των μεγεθών.

5.1 Μεταβολές Μεγεθών

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί, ότι δεν αποτελεί ενδιαφέρον η ποιότητα της βέλτιστης λύσης, αλλά οι αξιοσημείωτες μεταβολές που παρουσιάζουν τα διάφορα μεγέθη, καθώς μεταβάλλονται τα επίπεδα προτεραιότητας. Επιπλέον, ο αριθμός των γεγονότων (*occurences*) που θα εισάγεται κάθε φορά, καθώς θα αυξάνεται το μέγεθος του πίνακα προτιμήσεων, θα είναι τυχαίος και θα εξυπηρετεί τα κριτήρια εφικτότητας, χωρίς να επηρεάζει το μέγεθος που εξετάζεται κάθε φορά. Ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας αυξάνεται από το 5 μέχρι το 12. Επιλέγεται το διάστημα αυτό, καθώς οι μεταβολές που προκύπτουν είναι ευδιάκριτες και τα συμπεράσματα πλήρως εύστοχα.

5.1.1 Αριθμός Περιορισμών

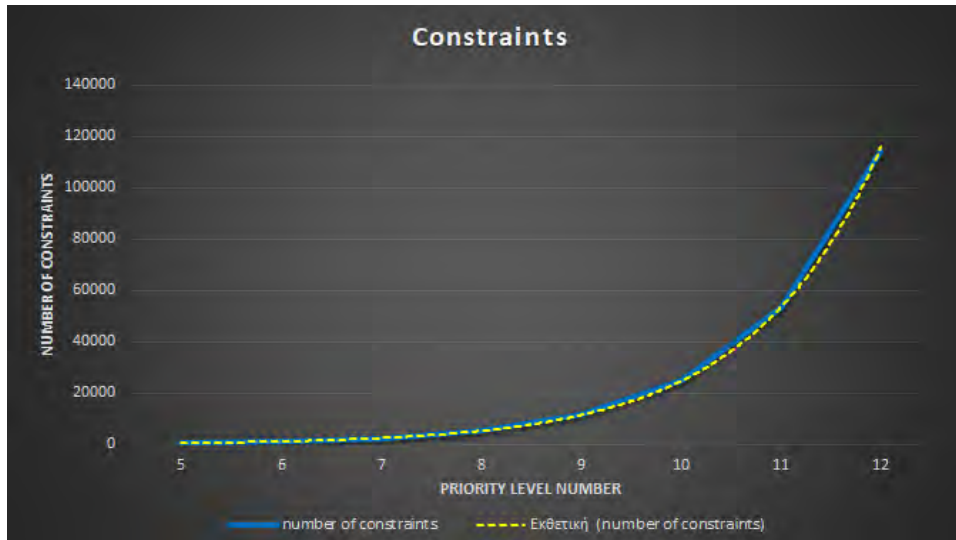
Η πρώτη μεταβολή που εξετάζεται, είναι αυτή του αριθμού των περιορισμών του πηγαίου κώδικα που απαιτούνται κάθε φορά, ώστε η μορφοποίηση να καταλήγει σε βέλτιστη λύση. Τα μεγέθη της βάσεως και της μέγιστης βαθμολογίας παραμένουν αμετάβλητα.

<i>Priority Level Number</i>	<i>Number Of Constraints</i>
5	513
6	1.101
7	2.393
8	5.221
9	11.373
10	24.701
11	53.385
12	114.837

Πίνακας 9: Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και των αντίστοιχων περιορισμών

Ο παραπάνω πίνακας, παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προκύπτουν στον κώδικα, εξαιτίας της μεταβολής των επιπέδων προτεραιότητας.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η αποτύπωση των δεδομένων του παραπάνω πίνακα σε ένα διάγραμμα και ακολούθως ένας σύντομος σχολιασμός. Το διάγραμμα που προκύπτει είναι το εξής:



Σχήμα 8: Αριθμός περιορισμών ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας

Ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί, είναι ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας, όπως είναι φυσικό και επόμενο, να αυξάνεται και ο αριθμός των περιορισμών του πηγαίου κώδικα. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση του αριθμού των επιπέδων, οδηγεί σχεδόν στο διπλασιασμό του αριθμού των περιορισμών.

Η κίτρινη καμπύλη στο παραπάνω διάγραμμα, αντιπροσωπεύει την εκθετική σχέση δύο μεγεθών, ενώ η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει την σχέση των δύο μεγεθών, για το εξεταζόμενο πρόβλημα. Παρατηρείται, ότι οι δύο γραμμές συγκλίνουν σε όλο το εξεταζόμενο διάστημα. Όποτε, η σχέση μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών, τείνει να είναι εκθετική. Αυτό πιθανολογεί μια πρόβλεψη του αριθμού των περιορισμών, καθώς τα επίπεδα προτεραιότητας αυξηθούν περαιτέρω του 12, που είναι το εξεταζόμενο άνω όριο διαστήματος.

5.1.2 Αριθμός Δυαδικών Μεταβλητών

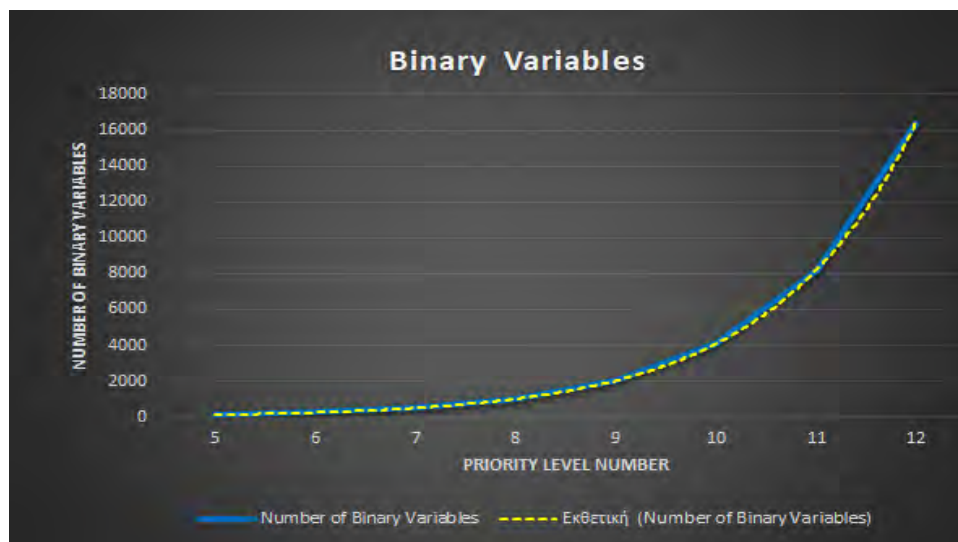
Έντονο ενδιαφέρον, αποτελεί η μεταβολή του αριθμού των δυαδικών μεταβλητών, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας. Όπως έχει αναφερθεί, η χρήση των δυαδικών μεταβλητών συμβάλλει στην εξασφάλιση της γραμμικότητας του προβλήματος.

Ακολουθεί πίνακας, που αποτυπώνει τις μετρήσεις που έγιναν, για τον απαιτούμενο αριθμό δυαδικών μεταβλητών, καθώς ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας αυξάνεται.

<i>Priority Level Number</i>	<i>Number Of Binary Variables</i>
5	$4^{*31} = 124$
6	$4^{*63} = 252$
7	$4^{*127} = 508$
8	$4^{*255} = 1.020$
9	$4^{*511} = 2.044$
10	$4^{*1.023} = 4.092$
11	$4^{*2.047} = 8.188$
12	$4^{*4095} = 16.380$

Πίνακας 10: Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και των αντίστοιχων δυαδικών μεταβλητών

Η αποτύπωση των δεδομένων του παραπάνω πίνακα, έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του διαγράμματος ως εξής:



Σχήμα 9: Αριθμός δυαδικών μεταβλητών ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας

Εύκολα παρατηρείται, ότι με την αύξηση του αριθμού των επιπέδων προτεραιότητας και εδώ σημειώνεται μια αύξηση του αριθμού των δυαδικών μεταβλητών. Και στην περίπτωση αυτή, μια μικρή αύξηση των επιπέδων προτεραιότητας θα οδηγήσει σχεδόν στον διπλασιασμό του αριθμού των δυαδικών μεταβλητών.

Επίσης, η κίτρινη καμπύλη του διαγράμματος αντιπροσωπεύει την εκθετική σχέση δύο τυχαίων μεγεθών, ενώ η μπλε καμπύλη αντιπροσωπεύει τη σχέση των εξεταζόμενων μεγεθών. Προκύπτει λοιπόν, η σχέση μεταξύ των επιπέδων προτεραιότητας και του αριθμού των δυαδικών μεταβλητών να μεταφράζεται σχεδόν ως εκθετική, όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Παρόλο λοιπόν, που ο ρόλος των δυαδικών μεταβλητών είναι η εξασφάλιση της γραμμικότητας του προβλήματος, μικρές μεταβολές στα δεδομένα εισόδου μπορούν να επιφέρουν τεράστιες αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές έχουν σαν συνέπεια, τη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών.

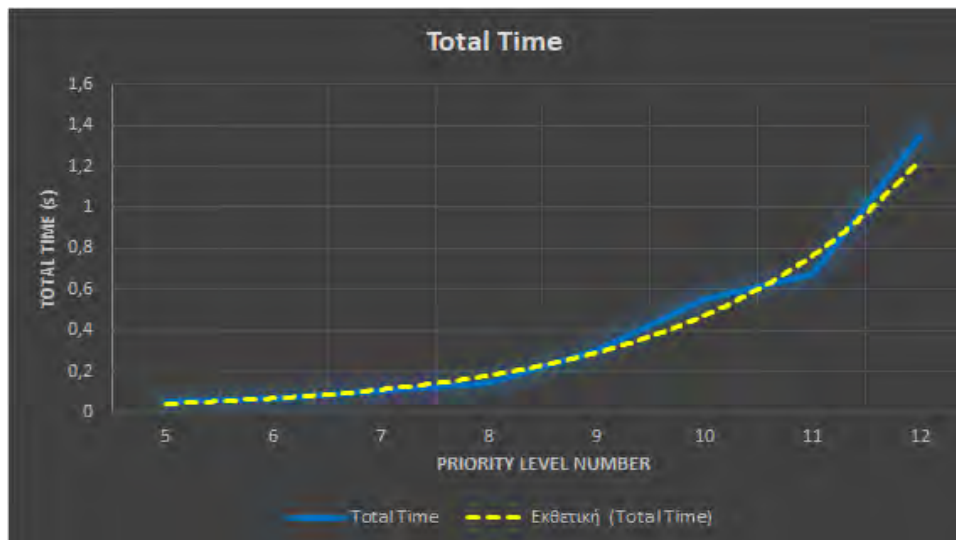
5.1.3 Συνολικός Χρόνος

Έπειτα, εξετάζεται ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του πηγαίου κώδικα. Η έννοια του συνολικού χρόνου, περιλαμβάνει το άθροισμα δύο παραμέτρων. Πρώτον, τον χρόνο συγγραφής της μορφοποίησης του πηγαίου κώδικα, όπως περιγράφηκε στην §4.5. Δεύτερον, περιλαμβάνει τον χρόνο που απαιτείται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

<i>Priority Level Number</i>	<i>Total Time (sec)</i>
5	0,051
6	0,064
7	0,105
8	0,145
9	0,305
10	0,555
11	0,675
12	1,348

Πίνακας 11: Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και του αντίστοιχου συνολικού χρόνου εκτέλεσης κώδικα

Ο Πιν. 11 αποτύπωνει τους συνολικούς χρόνους που μετρήθηκαν καθώς ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας αυξάνεται. Η αποτύπωση των παραπάνω δεδομένων σε διάγραμμα έχει τη παρακάτω μορφή.



Σχήμα 10: Συνολικός χρόνος εκτέλεσης κώδικα ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας

Τα συμπεράσματα από το παραπάνω διάγραμμα είναι τα εξής. Είναι εύκολα αντιληπτή, η αύξηση του συνολικού χρόνου, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας. Επίσης, παρατηρείται η αύξηση του συνολικού χρόνου να γίνεται πιο έντονη στα τελευταία επίπεδα προτεραιότητας, σε σχέση με τα πρώτα επίπεδα. Ένα αποτέλεσμα πολύ λογικό, αν αναλογιστεί κανείς, τον τεράστιο όγκο μεταβλητών και περιορισμών που δημιουργούνται, όταν ο αριθμός των επιπέδων πάρει τις μέγιστες εξεταζόμενες τιμές.

Επιπλέον, η σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών δεν μπορεί να μεταφραστεί ως εκθετική, καθώς οι δύο καμπύλες δεν συγκλίνουν σε όλο το εξεταζόμενο διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι και το επίπεδο 9, η σχέση των δύο μεγεθών θεωρείται εκθετική. Από το σημείο αυτό και έπειτα, παρατηρείται μια εναλλαγή της μεταβολής της εξεταζόμενης καμπύλης, με την καμπύλη της εκθετικής κατανομής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να είναι αδύνατη η πρόβλεψη του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του κώδικα, για έναν αριθμό επιπέδου πέρα του εξεταζόμενου διαστήματος.

5.1.4 Χρόνος Χτισίματος Κώδικα

Ο όρος χρόνος χτισίματος κώδικα, περιγράφει το χρόνο που απαιτείται, για να καταφέρει ο κώδικας να αποτυπώσει τη μορφοποίηση (δηλαδή την αντικειμενική συνάρτηση και τους αντίστοιχους περιορισμούς), διαδικασία που περιγράφεται στην §4.5. Στην ουσία, ο χρόνος χτισίματος, αποτελεί μέρος του συνολικού χρόνου.

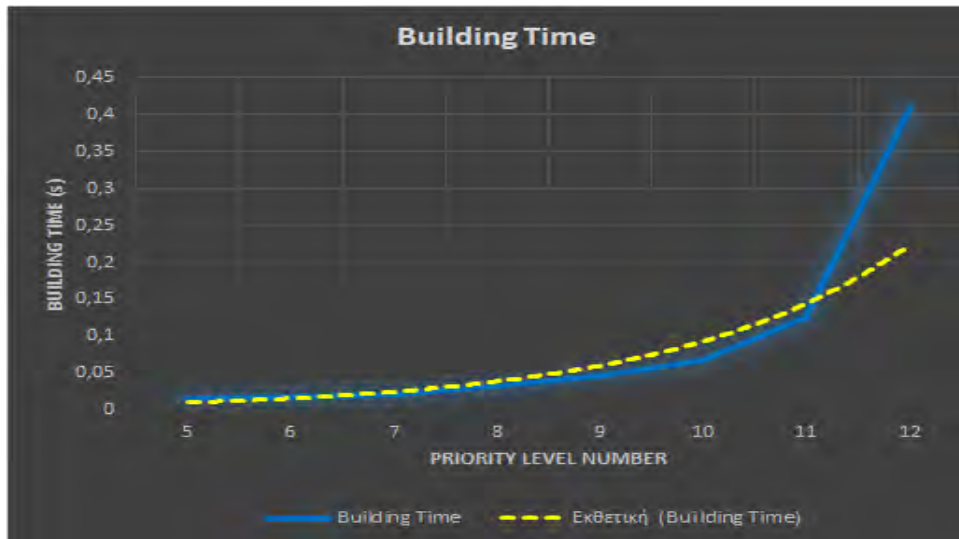
<i>Priority Level Number</i>	<i>Building Time (sec)</i>
5	0,015
6	0,018
7	0,021
8	0,034
9	0,047
10	0,067
11	0,125
12	0,41

Πίνακας 12: Πίνακας αριθμού επιπέδων προτεραιότητας και των αντίστοιχων χρόνων χτισίματος κώδικα

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από το παρακάτω διάγραμμα(Σχ. 11) είναι τα εξής. Ο χρόνος χτισίματος κώδικα, αποτελεί κομμάτι του συνολικού χρόνου. Επόμενο θα είναι, οι μεταβολές της κατηγορίας αυτής, να είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές που υφίστανται στο συνολικό χρόνο. Και στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται μια αύξηση του χρόνου, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας.

Επίσης, από τη μελέτη του διαγράμματος, παρατηρείται ότι η σχέση των δύο μεγεθών είναι τελείως άναρχη. Αρχικά, η σχέση των μεγεθών μεταφράζεται ως εκθετική, μέχρι και το επίπεδο προτεραιότητας 8, καθώς οι δύο καμπύλες συγκλίνουν στο διάστημα αυτό. Αντίθετα, καθώς αυξάνεται ο αριθμός του επιπέδου προτεραιότητας από 8 σε 11, η αύξηση του χρόνου χτισίματος, είναι μικρότερη σε σχέση με την καμπύλη που ακολουθεί η εκθετική κατανομή. Τέλος, από το επίπεδο 11 και έπειτα, η μεταβολή του χρόνου αυξάνεται απότομα και είναι πιο γρήγορη, σε σχέση με αυτή της εκθετικής κατανομής.

Το παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνει τα στοιχεία του Πιν. 12



Σχήμα 11: Χρόνος χτισίματος κώδικα ανάλογα τον αριθμό των επιπέδων προτεραιότητας

6 Σύνοψη

6.1 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη των προβλημάτων στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το κύριο συμπέρασμα που εξήχθει, είναι ότι ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας, είναι ο βασικός παράγοντας επιρροής, της ταχύτητας εύρεσης της βέλτιστης λύσης. Ο συνδυασμός της ταχείας ανάπτυξης των τεχνολογικών συστημάτων και της εξέλιξης των συστημάτων ικανοποίησης προτιμήσεων, είχαν σαν αποτέλεσμα στην εκτόξευση του αριθμού υποβολής προτιμήσεων.

Οι προγραμματιστές καλούνται πλέον, όχι μόνο να καλύψουν το υφιστάμενο πτητικό φορτίο, αλλά στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του ιπτάμενου προσωπικού. Μια διαδικασία επίπονη, καθώς η βέλτιστη λύση που θα προκύψει, θα πρέπει να πληρεί τα δύο αυτά κριτήρια στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Καταβάλλεται προσπάθεια από τους προγραμματιστές, να κάνουν τον χρόνο εύρεσης της βέλτιστης λύσης, σύμμαχό τους.

Στο πλαίσιο των πειραμάτων, μία πρώτη παρατήρηση που εξήχθει, είναι ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας, αυξάνεται ο αριθμός των περιορισμών και των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στον πηγαίο κώδικα. Μικρές αυξήσεις του αριθμού των επιπέδων προτεραιότητας έχει σαν αποτέλεσμα, τις έντονες αυξήσεις στον αριθμό μεταβλητών και περιορισμών. Αυτό θα οδηγήσει, τους προγραμματιστές να είναι σε θέση να διαχειριστούν ολοένα και περισσότερα δεδομένα και μεταβλητές. Ο μεγάλος όγκος των μεταβλητών και των περιορισμών με τη σειρά τους, θα δημιουργούν συνεχώς εμπόδια στη διαδικασία εύρεσης της λύσης, καθώς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν συνεχώς νέες πληροφορίες.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας επηρεάζει άμεσα τον χρόνο χτισίματος αλλά και εκτέλεσης του πηγαίου κώδικα. Και στην περίπτωση αυτή, μικρές μεταβολές στο αριθμό επιπέδου, επιφέρει τεράστιες μεταβολές στους χρόνους. Ένα συμπέρασμα πολύ λογικό, αν αναλογιστεί κανείς, τον αριθμό των νέων μεταβλητών και περιορισμών που δημιουργούνται και θα πρέπει να ληφθούν από τον πηγαίο κώδικα.

Χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα για την αποφυγή του μεγάλου αριθμού προτιμήσεων που υποβάλλονται από τους ιπτάμενους, χρήζει άμεση και επιτακτική ανάγκη η βέλτιστη διαχείρησή τους. Θα κατηγοριοποιούνται άμεσα σε επίπεδα από τους προγραμματιστές και θα δίνεται προσοχή σε αυτές που βρίσκονται υψηλότερα ιεραρχικά.

Όλες οι μετρήσεις που διεξήχθησαν στο παρόν έγγραφο, αφορούν αποκλειστικά την ταχύτητα εύρεσης της βέλτιστης λύσης. Δεν αποτελεί αντικείμενο, η ποιότητα καθώς είναι βέβαιο ότι κάθε φορά, λύση που παράγεται είναι η βέλτιστη δυνατή.

6.2 Μελλοντική Έρευνα

Ένας από τους μελλοντικούς στόχους, είναι η περαιτέρω αυτοματοποίηση του πηγαίου κώδικα. Στην παρούσα διπλωματική, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να μοιράζονται τα διάφορα επίπεδα προτεραιότητας, ως προς τον ταχύτερο χρόνο εκτέλεσης τους, για σταθερό αριθμό γύρων. Έχει ανφερθεί, ότι ο αριθμός των προτιμήσεων που υποβάλλει ένας ιπτάμενος σε ρεαλιστικές συνθήκες, είναι αρκετά μεγάλος. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, να δημιουργούνται πολλά επίπεδα και κατ'επέκταση τη δημιουργία πολλών γύρων. Προκύπτει, λοιπόν, η ανάγκη της περιγραφής ενός νέου κώδικα, που θα λαμβάνει υπόψιν τη μεταβολή του αριθμού των γύρων. Όλα τα δεδομένα και αποτελέσματα που περιγράφονται παραπάνω, είναι με γνώμονα, τη μη μεταβολή του αριθμού των γύρων. Δεν είναι εφικτή, η πρόβλεψη των χρόνων, όπως και του αριθμού των περιορισμών και μεταβλητών που θα δημιουργούνται, από τη μεταβολή του αριθμού των γύρων.

Επίσης, μια επέκταση που θα καθιστούσε τον κώδικα πιο ελκυστικό, θα ήταν η βελτίωση του χρόνου εκτέλεσής του. Δημιουργείται ένας μεγάλος όγκος περιορισμών για την

εξασφάλιση της γραμμικότητας του προβλήματος, ειδικότερα όταν ο αριθμός των επιπέδων προτεραιότητας αυξάνει. Θα αποτελούσε μεγάλο κίνητρο η αυτοματοποίηση και η αντικατάσταση όλων αυτών των περιορισμών με άλλους, πιο χρηστικούς και οικονομικούς, όσο αναφορά τη διατύπωση και εκτέλεσή τους.

Επιπλέον, σημαντική πρόοδος θα σημειωθεί με την χρήση του παραπάνω πηγαίου κώδικα σε πιο ρεαλιστικά περιβάλλοντα. Θα εξετασθεί, αν ο κώδικας μπορεί να ανταπεξέλθει πλήρως και ικανοποιητικά σε πραγματικές συνθήκες. Η ιδέα αυτή, μπορεί να γίνει εφικτή, με την είσοδο πραγματικών δεδομένων από ένα σύνολο μελών του πληρώματος, ο προγραμματισμός των οποίων απαιτείται για τη λειτουργία μιας πραγματικής αεροπορικής εταιρείας. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβεί, με τη συνεργασία με έναν πραγματικό παράγοντα της αεροπορικής βιομηχανίας.

Τέλος, μια περαιτέρω διερεύνηση όσο αναφορά την ποιότητα της βέλτιστης λύσης, σε ρεαλιστικές συνθήκες, η βέλτιστη λύση που θα παράγεται κάθε φορά, θα πρέπει να πληρεί όλα τα κριτήρια εφικτότητας, όπως επίσης, τα οικονομικά οφέλη της εταιρείας και του πληρώματος θα πρέπει να είναι τα μέγιστα δυνατά.

7 Βιβλιογραφία

References

- [1] Amedeo R. Odoni Cynthia Barnhart, Peter Belobaba. Applications of operations research in the air transport industry. (37):368–391, 2003.
- [2] Ellis Johnson Cynthia Barnhart, Amy Cohn, George Nemhauser Diego Klabjan, and Pamela Vance. Airline crew scheduling. 56:517–560.
- [3] Niklas Kohl Erik Anderson, Efthymios Housos and Dag Wedelin. Crew pairing optimization. *University of Texas at Austin*.
- [4] Michel Gamach, Ois Soumis Franc, and Daniel Villeneuve. The preferential bidding system at air canada. 32(3), 1998.
- [5] Balaji Gopalakrishnan and Ellis L Johnson. Airline crew scheduling: state-of-the-art. 37(140):305–337, 2005.
- [6] M. Gamache F. Soumis H. Achour. Branch and cut at the subproblem level in a column-generation approach: Application to the airline industry. *Les Cahiers du GERAD*, 2003.
- [7] Francois Soumis Heykel Achour, Michel Gamache and Guy Desaulniers. An exact solution approach for the preferential bidding system problem in the airline industry. 41(3):354–365, 2007.
- [8] Industry High Level Group (IHLG). Aviation benefits 2017.
- [9] Jérôme Olivier Ouelletb Michel Gamachea, Alain Hertz b. A graph coloring model for a feasibility problem in monthly crew scheduling with preferential bidding. 34(2007):2384–2395, 2005.
- [10] Crew Optimization Software Provider. What is preferential bidding system ? <http://aos.us/classic/WhatIsPBS.html>, June 1992.
- [11] Κοζανίδης Γεώργιος. *Αλγόριθμοι δημιουργίας στηλών για τη βελτιστοποίηση του προβλήματος χρονικού προγραμματισμού ιπταμένων υπό περιορισμούς ικανοποίησης προτιμήσεων σε αυστηρή αρχαιότητα*.
- [12] Wikipedia. Branch and bound. https://en.wikipedia.org/wiki/Branch_and_bound, February 2004.
- [13] Wikipedia. Column generation. https://en.wikipedia.org/wiki/Column_generation, June 2004.
- [14] Wikipedia. Branch and price. https://en.wikipedia.org/wiki/Branch_and_price, April 2011.
- [15] Gang Yu. Operations research in the airline industry. volume 9, 2012.