



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

**Μοντελοποίηση και Τεχνο-οικονομική Αποτίμηση
Μοντέρνων Τηλεπικοινωνιακών – Δορυφορικών Υπηρεσιών
με χρήση Τεχνικών Βελτιστοποίησης**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ελένη Ν. Σαρρή

Αθήνα, Ιούλιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

**Μοντελοποίηση και Τεχνο-οικονομική Αποτίμηση
Μοντέρνων Τηλεπικοινωνιακών – Δορυφορικών Υπηρεσιών
με χρήση Τεχνικών Βελτιστοποίησης**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ελένη Ν. Σαρρή

Συμβουλευτική Επιτροπή : Γεώργιος Π. Παπαβασιλόπουλος
Σπυρίδων Τζαφέστας
Βασίλειος Μάγκλαρης

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 10^η Ιουλίου 2007.

.....
Γεώργιος Π. Παπαβασιλόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Μάγκλαρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γρηγόρης Μέντζας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ελευθέριος Παπαγιαννάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Εμμανουήλ Ν. Προtonotάριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κωνσταντίνος Τζαφέστας
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2007

.....
Ελένη Ν. Σαρρή

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ελένη Ν. Σαρρή, 2007.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η εκπονηθείσα διδακτορική διατριβή, που διήρκησε περί τα τέσσερα χρόνια, αποτελείται από τον συγκερασμό των αναγκών της σύγχρονης τηλεπικοινωνιακής πραγματικότητας για την δημιουργία εργαλείων λήψης αποφάσεων με τεχνολογικά και οικονομικά κριτήρια, αλλά και της θεωρητικής θεμελίωσης της τεχνο-οικονομικής αποτίμησης. Στην πορεία της μελέτης, κάτω από την καθοδήγηση του Επιβλέποντός μου, εμβάθυνα σε θέματα βελτιστοποίησης γραμμικής, μη γραμμικής, με στοχαστικά στοιχεία ή με απουσία θορύβου, σε συνεχή και διακριτά συστήματα.

Θα ήθελα να κάνω ιδιαίτερη μνεία στον Επιβλέποντα της διατριβής μου, Καθηγητή κ. Γ. Π. Παπαβασιλόπουλο, για την πραγματικά πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του. Με βοήθησε στην δημιουργία του κατάλληλου θεωρητικού υπόβαθρου και ήταν πάντα δίπλα μου σε οποιαδήποτε απορία ή ιδέα που είχα. Το ειδικό βάρος της προσωπικότητας του κ. Παπαβασιλόπουλου επέδρασε σημαντικά σε εμένα, αποτελώντας πάντα πηγή έμπνευσης. Η αλληλεπίδραση τόσο σε επιστημονικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο χαρακτήρα, με καθιστά ιδιαίτερα τυχερή και περήφανη που ολοκλήρωσα την διατριβή μου, υπό την καθοδήγηση του Καθηγητή κ. Παπαβασιλόπουλου.

Επίσης θα ήθελα να αναφερθώ ιδιαίτερα στον Καθηγητή κ. Ηρακλή Δημόπουλο, με τον οποίο συνεργάζομαι πολλά χρόνια για την πολύπλευρη βοήθειά του. Ο εξαιρετικός αυτός επιστήμονας αποτέλεσε το κινητήριο έναυσμα για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής. Με βοήθησε τόσο σε προσωπικό όσο και σε επιστημονικό επίπεδο και αισθάνομαι επίσης ιδιαίτερη τιμή, για την εμπιστοσύνη που περιέβαλε το πρόσωπό μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της συμβουλευτικής μου επιτροπής Καθηγητή κ. Β. Μάγκαλη και Καθηγητή κ. Σπ. Τζαφέστα για το ενδιαφέρον και τη στήριξή τους, με το ιδιαίτερο επιστημονικό τους βάρος, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής, κ. Ε. Πρωτονοτάριο, κ. Ι. Ψαρρά, κ. Κ. Τζαφέστα, κ. Γ. Μέντζα και κ. Ε. Παπαγιαννάκη Καθηγητή στη σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην διαδικασία αξιολόγησής μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τον Ελληνικό Δορυφορικό Παροχέα Hellas-Sat και συγκεκριμένα στον τέως Πρόεδρο και Διευθύνοντα Σύμβουλο κ. Γ. Αργυρόπουλο. Επίσης στον κ. Δ. Σταθόπουλο αλλά και σε όλα τα μέλη της ομάδας συνεργασίας της Hellas-Sat, για την σημαντική στήριξη και βοήθεια στην πορεία της μελέτης, για την παροχή δεδομένων και την υιοθέτηση των προτεινόμενων τεχνικών.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ντίνο Αρκουμάνη για την υπομονή, ανοχή και βοήθεια του όλα αυτά τα χρόνια. Ως ο συνταξιδιώτης μου στη ζωή, ήταν αυτός που άμεσα με ενθάρρυνε και ενίσχυσε όλη μου την πορεία στην εκπόνηση της διατριβής μου. Ευχαριστίες οφείλω και στα πολύ κοντινά μου πρόσωπα, την αδερφή μου Θαρρενή Κορφιά, τον Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Γιώργο Ανδρέου, για την υποστήριξη, βοήθεια και εμπιστοσύνη τους, σε όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου πορείας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Γιάννη Σταύρακα, Παναγιώτη

Χρησιτά, Αριστοτέλη Γλεντή, Νώντα Βιρβιδάκη και Γιάννη Τασούλα για την ανοχή και πολύτιμη παρουσία τους.

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή αναφέρεται στην μοντελοποίηση τεχνο-οικονομικής αποτίμησης νέων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Ειδικότερα, έγινε τεχνο-οικονομική μελέτη ασύρματων δορυφορικών υπηρεσιών. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους τεχνολογικούς παράγοντες και περιορισμούς της συγκεκριμένης τηλεπικοινωνιακής εφαρμογής, έγινε εκτίμηση των οικονομικών ωφελειών για έναν Δορυφορικό Παροχέα της διάθεσης της διαστημικής χωρητικότητας, καλύπτοντας τις πραγματικές ανάγκες της τηλεπικοινωνιακής αγοράς για τη δημιουργία εργαλείου λήψης αποφάσεων. Στόχος αποτελεί ο καθορισμός της βέλτιστης τιμολογιακής πολιτικής, ενός Δορυφορικού Παροχέα, ώστε να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση των εσόδων του, μέσω της βέλτιστης κατανομής του διαθέσιμου φάσματος. Γίνεται μοντελοποίηση του προβλήματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης εφαρμογής παροχής ασύρματων δορυφορικών υπηρεσιών και γίνεται αποτίμηση με οικονομικούς όρους, μέσω της βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα μεγιστοποίησης, των δυνατών Εσόδων που μπορούν να αποκομιστούν από τη μίσθωση του διαθέσιμου φάσματος. Δημιουργούνται τεχνο-οικονομικά μοντέλα λήψης αποφάσεων, όπου γίνεται η σύγκριση διαφορετικών σεναρίων συνδυασμών πελατών σε ένα Δορυφορικό Παροχέα, που ζητούν μίσθωση διαστημικής χωρητικότητας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά (υπηρεσία, χρόνο μίσθωσης, ζητούμενο εύρος ζώνης, χρέωση).

Κατά την αρχική φάση της μελέτης έγινε συλλογή και στατιστική επεξεργασία πραγματικών δεδομένων χρεώσεων που ισχύουν στην διεθνή δορυφορική αγορά, για την εξαγωγή παραμέτρων ζήτησης και χρέωσης δορυφορικών υπηρεσιών, που χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση των μοντέλων. Η υλοποίηση γίνεται με τη δημιουργία μοντέλων, με χρήση διαφορετικών τεχνικών και λογικής υλοποίησης που αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα. Έγινε πλήρης θεωρητική περιγραφή και αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό για όλα τα μοντέλα. Δημιουργήθηκαν μοντέλα με χρήση Ευρετικής Τεχνικής αλλά και με χρήση δύο αλγορίθμων Δυναμικού Προγραμματισμού, εφαρμόζοντας διαφορετικούς τρόπους μοντελοποίησης.

Στο πρώτο στάδιο της υλοποίησης, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων χρησιμοποιώντας Ευρετικές Τεχνικές και περιγράφοντας το πρόβλημα με όρους κέρδους και ρίσκου. Το αποτέλεσμα προκύπτει σε μορφή δέντρου αποφάσεων, με ζητούμενο τη μεγιστοποίηση των Εσόδων και περιγράφεται με όρους πραγματικών και αναμενόμενων Εσόδων, με την αντίστοιχη πιθανότητα αποκομιδής αυτών-ρίσκο. Οι αποφάσεις λαμβάνονται διαδοχικά στο χρόνο και έτσι το μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής είναι δυναμικό. Ανάλογα με αυτά τα δεδομένα προκύπτουν τα εναλλακτικά επιχειρηματικά βήματα που θα μπορούν να ακολουθηθούν για την αποφυγή και αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων (contingency plans). Ακολούθως, δημιουργήθηκε ένα δεύτερο μοντέλο λήψης αποφάσεων για την ίδια εφαρμογή, όπου αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα μαθηματικής βελτιστοποίησης, με χρήση αλγορίθμων Δυναμικού Προγραμματισμού, με στοχαστικά στοιχεία διακριτού χρόνου. Καταστρώνονται οι αρχικές εξισώσεις κατάστασης και κόστους και μορφοποιείται ο αλγόριθμος. Ακολουθεί η επίλυσή του, με αναλυτική μέθοδο, εξάγοντας τον τελικό αναδρομικό

τύπο, για κάθε διακριτό στάδιο. Επιπρόσθετα, δημιουργείται και ένας δεύτερος Εναλλακτικός Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού, όπου γίνεται διαφορετική αντιμετώπιση της ίδιας εφαρμογής, με κατάστρωση διαφορετικών αρχικών εξισώσεων κατάστασης και κόστους, όπου γίνεται αναλυτική επίλυση.

Έγινε πειραματική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Αναλύθηκαν τα εξαγόμενα αποτελέσματα των μοντέλων, εφαρμοσμένα σε πολλαπλές επαναλήψεις. Βασικό κριτήριο αποτέλεσαν, οι προκύπτουσες από τα μοντέλα βέλτιστες αποφάσεις επιλογής σεναρίων, που πρέπει να λάβει ο Δορυφορικός Παροχέας, ώστε να μεγιστοποιήσει τα Έσοδά του. Επιπρόσθετο κριτήριο, αποτελεί το ποσό των Εσόδων που υπολογίζεται από κάθε μοντέλο, από την υιοθέτηση αυτών των αποφάσεων. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μοντέλων που υλοποιούνται με χρήση Ευρετικής Τεχνικής αλλά και Δυναμικού Προγραμματισμού έδειξαν υψηλό βαθμό ταύτισης, τόσο ως προς τις εξαγόμενες αποφάσεις, όσο και ως προς το ποσό των Εσόδων, για τον Δορυφορικό Παροχέα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους, για όλες τις περιπτώσεις.

Abstract

This thesis deals with the techno-economic modelling and evaluation of new telecommunication services. Specifically, the techno-economic evaluation of wireless satellite services is considered. The economic benefits for a Satellite Operator from leasing the available satellite bandwidth are evaluated, taking into account the technological factors and specifications of the satellite services. The purpose of the thesis is to determine the optimal leasing policies of a Satellite Operator, by maximizing the profits from the optimum allocation of the available bandwidth. The case study of providing wireless services is modelled, taking into account technological factors. Economic evaluation is performed through optimization techniques, by maximizing the possible revenues that can be acquired by the leasing of the satellite bandwidth. Techno-economic decision making tools are developed for the comparison of different scenarios of combinations of customers asking to hire satellite capacity. There is a variety of services that a satellite can support. For each of these services requested by the customers, there is a different bandwidth demand, duration of lease, and a different price, incorporated to the models.

Initially, pricing data are gathered from the international market. These data are statistically processed to produce demand and pricing parameters, for satellite services. These parameters are integrated at the following steps of this study, which involves the modelling of the problem. The implementation is performed by creating different models using different techniques and conceptual structure, for the same application. For each model there is a complete theoretical description and development of the appropriate software. Decision making tools are created using a Heuristic approach and two different Dynamic Programming Algorithms approaches, applying alternative concepts of modelling.

At the first stage of implementation, a decision making tool was created using Heuristic techniques, considering associated profits and risk. The output of the model is in the form of a decision tree. This maximization problem is described in terms of real and expected revenues, along with the corresponding probability of getting them. The final outcome leads to optimal enterprise steps that maximize revenues and enables the evaluation of different contingency plans. The decisions are taken successively in a time horizon and thus the presented tool incorporates time evolution. Consequently the model is dynamic.

At the following stage a second model was created for the same application using the discrete time, Dynamic Programming Algorithm, with stochastic elements. The mathematical description of the problem formulation is constructed by defining the discrete time system equation and the additive cost function. Accordingly the Dynamic Programming Algorithm for the specific application was applied. Using analytical methods the optimal cost for each stage is computed in the form of a recursive function. At the third stage, an Alternative Dynamic Programming Algorithm was proposed. This Algorithm uses a different modelling approach, for the

same problem. A new discrete time system equation and additive cost function was designed. The analytical solution was derived.

All the models are evaluated experimentally. Multiple executions are applied at each model in order to evaluate the similarity of the outcomes. The main criterion is the decisions that the models produce. These decisions consist of the optimal leasing policies for the Satellite Operator that will maximize the Revenues. Additional criterion is the amount of Revenues that is computed from each model, from the adoptions of these optimal leasing policies. The comparison of the outcomes of the models, under the concepts of the Heuristic and the two Dynamic Programming type approaches shows that the resulting optimal leasing policies and revenues are very similar, for all experiments, a fact that reinforces the confidence in the relevance of the proposed methodology.

Key Words

Telecommunications, Satellite Services, Modelling, Decision Making Tool, Leasing Policies, Stochastic Optimization, Heuristic Approach, Dynamic Programming Algorithm

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός Διατριβής	3
1.2 Τεχνικές Βελτιστοποίησης – Δυναμικός Προγραμματισμός	5
Το βασικό πρόβλημα του Δυναμικού Προγραμματισμού	5
Ο Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού	8
Κεφάλαιο 2	11
Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων	11
2.1 ΕΝΟΤΗΤΑ 1	16
2.1.1 Υπηρεσίες VSAT	19
2.1.2 Υπηρεσίες Telephony	20
2.1.3 Υπηρεσίες IP Gateway	21
2.1.4 Υπηρεσίες Corporate	22
2.1.5 Υπηρεσίες Broadcast	24
2.1.6 Υπηρεσίες Video Contribution, Media Company, Government	25
2.2 ΕΝΟΤΗΤΑ 2	26
2.2.1 Υπηρεσίες VSAT	26
2.2.2 Υπηρεσίες Telephony	27
2.2.3 Υπηρεσίες IP Gateway	29
2.2.4 Υπηρεσίες Corporate	30
2.2.5 Υπηρεσίες Broadcast	31
2.2.6 Υπηρεσίες Government	33
2.2.7 Υπηρεσίες Video Contribution, Media Company	34
2.3 Παρατηρήσεις	34
Κεφάλαιο 3	35
Περιγραφή Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής	35
3.1 Λογική υλοποίησης	35
Υπολογισμός εσόδων από την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’	42
Υπολογισμός εσόδων από την ‘Κενή Χωρητικότητα’	44
Αποτελέσματα: Δέντρο Αποφάσεων	46
3.2 Μαθηματική περιγραφή Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής	48
3.2.1 Υπολογισμός όλων των δυνατών συνδυασμών k ανά k πελατών	48
3.2.2 Υπολογισμός εσόδων από ‘Κενή Χωρητικότητα’	49
3.2.3 Υπολογισμός εσόδων από την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’	52
3.2.4 Συνάρτηση εξόδου μοντέλου λήψης αποφάσεων	53
3.2.5 Λογική χρήση μοντέλου λήψης αποφάσεων	55
3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής	55
3.3.1 Θεωρητική προσέγγιση	56
3.3.2 Πειραματική προσέγγιση	59
3.3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’	61
3.3.4 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων ‘Κενής Χωρητικότητας’	63
3.3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρου P_A	64

Κεφάλαιο 4	67
Περιγραφή Μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού	67
4.1 Μοντελοποίηση προβλήματος	68
Κατάσχεση εξίσωσης κατάστασης δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου ..	68
Κατάσχεση συνάρτησης κόστους δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου ...	69
4.2 Επίλυση Προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού	71
4.3 Υλοποίηση Μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού	76
Προσδιορισμός Μέσης Τιμής Θορύβου	76
Αλγόριθμος Έυρεσης Πιθανών Συνδυασμών.....	78
Κριτήριο Επιλογής Βέλτιστης Απόφασης.....	79
Κεφάλαιο 5	81
Εναλλακτικός Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού	81
5.1 Μοντελοποίηση προβλήματος	81
Κατάσχεση εξίσωσης κατάστασης δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου ..	81
Κατάσχεση συνάρτησης κόστους δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου ...	84
5.2 Επίλυση Προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού	85
Ανάλυση Όρων Αλγορίθμου	91
Κριτήριο Επιλογής Βέλτιστης Απόφασης.....	94
Κεφάλαιο 6	95
Εφαρμογή και Σύγκριση Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής και Μοντέλων Δυναμικού Προγραμματισμού	95
6.1 Πλαίσιο Πειραματικής Συγκριτικής Αξιολόγησης	95
6.2 Αποτελέσματα Πειραματικής Συγκριτικής Αξιολόγησης μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού	97
6.2.1 Αποτελέσματα Περίπτωση 1	100
6.2.2 Αποτελέσματα Περίπτωση 2	102
6.2.3 Αποτελέσματα Περίπτωση 3	103
6.2.4 Αποτελέσματα Περίπτωση 4	104
6.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Πειραματικής Συγκριτικής Αξιολόγησης.....	106
6.4 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού	108
6.4.1 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 1	108
6.4.2 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 2	109
6.4.3 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 3	111
6.4.4 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 4	112
6.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού	113
Κεφάλαιο 7	115
Επίλογος	115
Βιβλιογραφία	121
Παράρτημα	129

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει επιτελεστεί μια ραγδαία ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών σε παγκόσμια κλίμακα. Η ανάπτυξη αυτή συνίσταται τόσο στην ταχύτητα των τεχνολογικών εξελίξεων, όσο και στην διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα πλήθος από νέες παρεχόμενες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, χρήσεις και υπηρεσίες, ως απόρροια της ταχύτατης τεχνολογικής ανάπτυξης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1. Έχει όμως παρατηρηθεί σε αρκετές περιπτώσεις ότι ο ρυθμός της τεχνολογικής εξέλιξης δεν ακολουθεί πάντα το βαθμό ωριμότητας της αγοράς, με τον πρώτο να είναι σημαντικά μεγαλύτερος. Σε αρκετές περιπτώσεις, η παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή αγορά, απαρτιζόμενη από τον μέσο καταναλωτή, δεν είναι έτοιμη να υιοθετήσει τις νέες τεχνολογίες. Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό, αποτελεί το κόστος υλοποίησης των νέων εφαρμογών, που πολλές φορές είναι τόσο υψηλό που κάνει την επένδυση από μέρους του παρόχου ασύμφορη. Ακόμη, η δημιουργία ενιαίας τηλεπικοινωνιακής πολιτικής, με τη θέσπιση κανόνων διαχείρισης πολλών πλευρών των τηλεπικοινωνιών, είτε σε επίπεδο κρατών, είτε σε επίπεδο συνομοσπονδιών κρατών όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, θέτει επιπλέον περιορισμούς στους παρόχους, στους οποίους μέχρι πρόσφατα δεν υπόκειταν και πρέπει να λάβουν υπ' όψιν κατά τον στρατηγικό σχεδιασμό της πολιτικής τους.

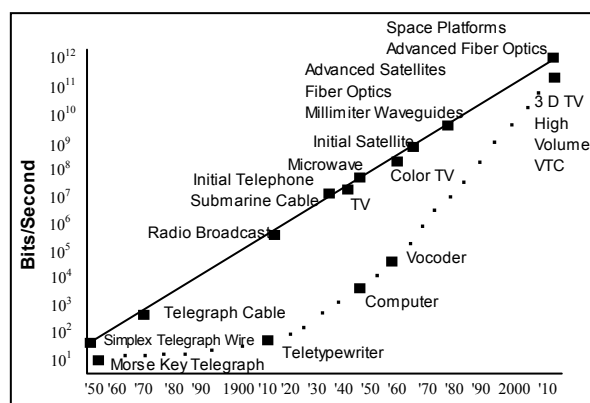
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο τομέας των κινητών επικοινωνιών. Ο τομέας αυτός αναπτύσσεται ραγδαία, δημιουργώντας νέες τεχνολογικές δυνατότητες και καταλαμβάνοντας μεγάλο μερίδιο της τηλεπικοινωνιακής αγοράς. Η αυξανόμενη ανταγωνιστική αγορά κινητών επικοινωνιών έχει οδηγήσει σε χαμηλότερες τιμές και υψηλότερο επίπεδο παροχής υπηρεσιών για τον χρήστη. Παρόλα αυτά το ρίσκο για τους παρόχους συνεχώς αυξάνεται. Οι τεχνολογικές επενδύσεις για παράδειγμα στην τεχνολογία τρίτης γενιάς κινητών 3G, εγείρει διάφορα ερωτηματικά. Το υψηλότερο κόστος αδειοδότησης φάσματος και το υψηλό κόστος υποδομής εφαρμογής του 3G, σε συνδυασμό με την αργή διείσδυση των παρεχόμενων υπηρεσιών στην αγορά, οδήγησε σε ένα επισφαλές περιβάλλον για τους παρόχους, ιδιαίτερα στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης [33], [34].

Έτσι, όλο και περισσότερο εγείρεται η ανάγκη για μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας των νέων τεχνολογικά εφικτών, τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών, πριν από την υλοποίησή τους και εντείνεται η ανάγκη για τη δημιουργία νέων μοντέλων και μεθόδων Τεχνο-οικονομικής αποτίμησης των τηλεπικοινωνιών. Η επισταμένη μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας των νέων τεχνολογικών λύσεων καθώς και η

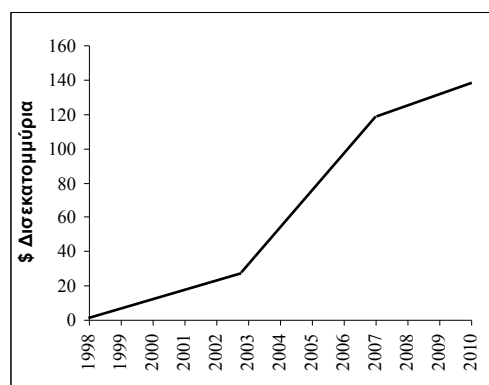
βέλτιστη επιλογή επιχειρηματικών σεναρίων, με γνώμονα τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των διαφόρων εφαρμογών είναι το αντικείμενο της τεchnο-οικονομικής αποτίμησης. Η ανάγκη για τεchnο-οικονομικές μελέτες, πηγάζει από τις ανάγκες της ίδιας της τηλεπικοινωνιακής σύγχρονης πραγματικότητας και απαντά ένα αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον. Ο τομέας αυτός αποτελεί ένα καινοτόμο πεδίο για έρευνα σήμερα και δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί αρκετά.

Τα θέματα τεchnο-οικονομικής αποτίμησης τηλεπικοινωνιών και νέων τεχνολογιών αποτελούν ένα παρθένο και προσοδοφόρο έδαφος για έρευνα σήμερα, με ιδιαίτερη έμφαση στις δορυφορικές επικοινωνίες που αποτελούν ένα συνεχώς αυξανόμενο και με ολοένα και περισσότερες εφαρμογές, κομμάτι των ασύρματων επικοινωνιών.

Η δραστική αύξηση των καινοτομιών στην τεχνολογία μετάδοσης οπτικών ινών, στη δεκαετία του '90, αποτέλεσε την πλέον θεωρούμενη προσοδοφόρα τεχνολογική εξέλιξη. Όμως η συνεχώς αναπτυσσόμενη δορυφορική αγορά ανέτρεψε τα οικονομικά δεδομένα. Τις επόμενες δεκαετίες τα δορυφορικά, τα επίγεια ασύρματα και τα οπτικών ινών συστήματα θα έχουν συμπληρωματικού τύπου ανάπτυξη. Από το 2000 έως το 2010, τα ετήσια δορυφορικά έσοδα παγκοσμίως, αναμένονται να αυξηθούν από 30 δισεκατομμύρια Δολάρια (US\$), σε περισσότερα από 100 δισεκατομμύρια Δολάρια (US\$) (Σχήμα 1.2). Αυτό σημαίνει ότι το μερίδιο από τα παγκόσμια τηλεπικοινωνιακά έσοδα, για τις δορυφορικές υπηρεσίες θα αυξηθούν από 2.75% σε περίπου 4.00%, για όλες τις υπηρεσίες.



Σχήμα 1.1



Σχήμα 1.2

Η παρούσα μελέτη αντιμετωπίζει ορισμένα προβλήματα σχετικά με την τεchnο-οικονομική αποτίμηση των Δορυφορικών υπηρεσιών. Σε διεθνή κλίμακα, το σημερινό επίπεδο γνώσεων στον συγκεκριμένο τομέα περιλαμβάνει μερικές μελέτες περιορισμένης κλίμακας που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια, χωρίς να έχει επιτευχθεί πλήρης ωριμότητα. Η υλοποίηση τεchnο-οικονομικών μελετών γίνεται κυρίως στον ιδιωτικό τομέα, από μελετητικούς οίκους αλλά και από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αντιστροφή του κλίματος και ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον επιστημονικής θεμελίωσης της τεchnο-οικονομικής αποτίμησης.

Έχουν υλοποιηθεί μελέτες οικονομικής αποτίμησης, με βάση τεχνολογικά χαρακτηριστικά στον ευρύτερο τομέα των τηλεπικοινωνιών [1]-[13]. Ειδικότερα στις

Δορυφορικές Επικοινωνίες υπάρχουν τεχνο-οικονομικές μελέτες [3],[13] με έμφαση στο κόστος υλοποίησης και εξοπλισμού, αλλά και στην βέλτιστη κατανομή πόρων κίνησης [27]-[32]. Οι μελέτες αυτές χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές, όπως γεωμετρικό προγραμματισμό και σύνθεση του κόστους των στοιχείων εξοπλισμού. Επίσης μελέτες πολύ ενδιαφέρουσες που έχουν σχέση με την παρούσα μελέτη, έχουν γίνει τόσο στον τομέα των αεροπορικών υπηρεσιών όσο και στον ξενοδοχειακό τομέα, με χρήση Ευρετικών Τεχνικών αλλά και Δυναμικού Προγραμματισμού [14]-[17]. Τέλος επαρκής βιβλιογραφία εμφανίζεται σχετικά με το inventory πρόβλημα που ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στο υπό εξέταση θέμα καθώς επίσης και σε τεχνικές βέλτιστης απόφασης [18]-[23]. Η μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας με εφαρμογή στις παρεχόμενες Δορυφορικές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας τεχνικές βελτιστοποίησης, όπως προτείνεται στην παρούσα εργασία, δεν έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα.

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός Διατριβής

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής, αποτελεί η τεχνο-οικονομική αποτίμηση δορυφορικών υπηρεσιών. Δημιουργούνται μοντέλα αποτίμησης του επιχειρηματικού σχεδίου, για έναν Δορυφορικό. Στόχο αποτελεί ο καθορισμός των βέλτιστων αποφάσεων σχετικά με την αποδοχή και χρέωση των πελατών ενός Δορυφορικού Παροχέα, ώστε να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση των εσόδων του, μέσω της βέλτιστης κατανομής του διαθέσιμου φάσματος. Γίνεται μοντελοποίηση του προβλήματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης εφαρμογής παροχής ασύρματων δορυφορικών υπηρεσιών και γίνεται αποτίμηση με οικονομικούς όρους, μέσω της βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα μεγιστοποίησης, των δυνατών Εσόδων που μπορούν να αποκομιστούν από τη μίσθωση του διαθέσιμου φάσματος. Δημιουργούνται τεχνο-οικονομικά μοντέλα λήψης αποφάσεων, όπου γίνεται η σύγκριση διαφορετικών σεναρίων συνδυασμών πελατών σε ένα Δορυφορικό Παροχέα, που ζητούν μίσθωση διαστημικής χωρητικότητας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά (χρόνο μίσθωσης, ζητούμενο εύρος ζώνης, χρέωση). Παράλληλα γίνεται η ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν Δορυφορικό Παροχέα Παροχέα, είτε είναι νεοεισερχόμενος είτε παγιωμένος στη δορυφορική αγορά.

Η υλοποίηση γίνεται με τη δημιουργία μοντέλων, με χρήση διαφορετικών τεχνικών και λογικής υλοποίησης που αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα. Στην υλοποίηση των μοντέλων βελτιστοποίησης, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα ζήτησης και χρεώσεων δορυφορικών υπηρεσιών. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν από την διεθνή δορυφορική αγορά και έγινε κατάλληλη στατιστική επεξεργασία τους. Τα στοιχεία ζήτησης και χρεώσεων ενσωματώθηκαν κατά την δημιουργία των μοντέλων.

Στο πρώτο στάδιο της μελέτης δημιουργείται ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων χρησιμοποιώντας Ευρετικές Τεχνικές και περιγράφοντας το πρόβλημα με όρους κέρδους και ρίσκου. Κάθε σενάριο οδηγεί σε ένα δέντρο αποφάσεων με ζητούμενο τη μεγιστοποίηση των εσόδων και περιγράφεται με όρους πραγματικών και

αναμενόμενων εσόδων, με την αντίστοιχη πιθανότητα αποκομιδής αυτών-ρίσκο. Ανάλογα με αυτά τα δεδομένα προκύπτουν τα εναλλακτικά επιχειρηματικά βήματα που θα μπορούν να ακολουθηθούν για την αποφυγή και αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων (contingency plans). Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, έγινε Ανάλυση Ευαισθησίας των παραμέτρων εισόδου του μοντέλου [24], [25]. Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν από την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν και έτσι προσδιορίστηκε η ευαισθησία του μοντέλου, σε τυχόν αποκλίσεις από τις υπολογιζόμενες τιμές των παραμέτρων.

Κατά τη δεύτερη φάση της μελέτης, δημιουργείται ένα δεύτερο μοντέλο λήψης αποφάσεων για την ίδια εφαρμογή, όπου αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα μαθηματικής βελτιστοποίησης. Γίνεται χρήση αλγορίθμων Δυναμικού Προγραμματισμού διακριτού χρόνου, με στοχαστικά στοιχεία. Καταστρώνονται οι αρχικές εξισώσεις κατάστασης και κόστους και μορφοποιείται ο αλγόριθμος. Ακολουθεί η επίλυσή του, με αναλυτική μέθοδο, εξάγοντας τον τελικό αναδρομικό τύπο, για κάθε διακριτό στάδιο. Επιπρόσθετα, δημιουργείται και ένας δεύτερος Εναλλακτικός Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού, όπου γίνεται διαφορετική αντιμετώπιση της ίδιας εφαρμογής, με κατάστρωση διαφορετικών αρχικών εξισώσεων κατάστασης και κόστους, όπου γίνεται αναλυτική επίλυση.

Όλα τα μοντέλα υλοποιούνται, σε κατάλληλο υπολογιστικό περιβάλλον και ακολουθεί η σύγκρισή τους. Στόχος της σύγκρισης των μοντέλων είναι η επιβεβαίωση του βέλτιστου επιχειρηματικού σχεδίου που προτείνουν, ακολουθώντας διαφορετική μοντελοποίηση. Εξάγονται τα αποτελέσματα σύγκρισης, σε πολλαπλές επαναλήψεις (1000 το πλήθος). Γίνεται η σύγκριση των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής τόσο με το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, όσο και με το μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού. Το βασικό κριτήριο αποτελούν οι βέλτιστες αποφάσεις που προτείνουν τα μοντέλα κατά κύριο λόγο, αλλά και το τελικό ποσό εσόδων που υπολογίζουν από την υιοθέτηση αυτών των αποφάσεων. Τα αποτελέσματα κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά, με υψηλό βαθμό ταύτισης, γεγονός που επιβεβαιώνει την προτεινόμενη από την παρούσα εργασία, λογική υλοποίησης της τεχνο-οικονομικής αποτίμησης παρεχομένων Δορυφορικών υπηρεσιών.

Συνοπτικά στην παρούσα διδακτορική διατριβή, i) επιτεύχθηκε η μοντελοποίηση του προβλήματος της βέλτιστης κατανομής φάσματος ενός Δορυφορικού Παροχέα, ii) αναπτύχθηκε σε κατάλληλο υπολογιστικό περιβάλλον, εύχρηστη μορφή λογισμικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε Δορυφορικό Παροχέα, για τον καθορισμό του επιχειρηματικού του σχεδίου iii) αντιμετωπίστηκε ένα πραγματικό πρόβλημα τεχνο-οικονομικής αποτίμησης με ανάπτυξη μεθοδολογιών Ευρετικής Τεχνικής αλλά και με χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης, στοχαστικού Δυναμικού Προγραμματισμού.

Η δομή της μελέτης διαρθρώνεται ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τη διεθνή δορυφορική αγορά. Τα δεδομένα αυτά χωρίζονται σε δύο Ενότητες ανάλογα με την Ενεργό Ισοτροπική Ισχύ των

Δορυφόρων και υπολογίζονται στατιστικά δεδομένα χρεώσεων και ζήτησης δορυφορικών υπηρεσιών.

Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφεται η υλοποίηση του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής. Συγκεκριμένα αναφέρονται, στην πρώτη υποενότητα η λογική υλοποίησης του μοντέλου, στην δεύτερη υποενότητα η πλήρης μαθηματική περιγραφή του μοντέλου, και τέλος στην τρίτη υποενότητα γίνεται Ανάλυση Ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου.

Στο Κεφάλαιο 4, περιγράφεται η υλοποίηση του μοντέλου με χρήση Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού. Περιλαμβάνει στην πρώτη υποενότητα, την μοντελοποίηση του προβλήματος, με την κατάστρωση των αρχικών εξισώσεων κατάστασης και κέρδους του συστήματος. Ακολούθως στην δεύτερη υποενότητα, γίνεται πλήρης μαθηματική αναλυτική επίλυση του αλγορίθμου, με εξαγωγή του τελικού αναδρομικού τύπου. Στην τελευταία υποενότητα εξηγείται ο τρόπος υλοποίησης σε υπολογιστικό περιβάλλον του μοντέλου, μέσω του προσδιορισμού των παραμέτρων του θορύβου και της περιγραφής του αλγορίθμου εύρεσης όλων των πιθανών σεναρίων συνδυασμών πελατών. Το τελευταίο κομμάτι αυτής της υποενότητας προσδιορίζει το κριτήριο βέλτιστης απόφασης για τον Δορυφορικό Παροχέα.

Στο Κεφάλαιο 5, περιγράφεται η υλοποίηση του μοντέλου με χρήση Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού. Περιλαμβάνει την πλήρη περιγραφή του εναλλακτικού αλγορίθμου, μέσω της μοντελοποίησης αλλά και αναλυτικής επίλυσης του συστήματος.

Στο Κεφάλαιο 6, γίνεται η σύγκριση των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού. Περιγράφεται στην πρώτη υποενότητα το πλαίσιο της πειραματικής συγκριτικής αξιολόγησης. Στην δεύτερη υποενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης, για κάθε δυνατή περίπτωση και στη τρίτη γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων και εξήγηση αυτών. Τέλος στην τέταρτη υποενότητα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής και του μοντέλου Εναλλακτικού Δυναμικού Προγραμματισμού και γίνεται η ανάλυση και εξήγηση αυτών.

Στο Κεφάλαιο 7, παρατίθενται τα συνολικά συμπεράσματα και αποτελέσματα της διατριβής. Αναλύεται η συμβολή της και θέτονται νέα θέματα συνέχισης της ερευνητικής δραστηριότητας, ως συνέχεια της παρούσης εφαρμογής.

1.2 Τεχνικές Βελτιστοποίησης – Δυναμικός

Προγραμματισμός

Το βασικό πρόβλημα του Δυναμικού Προγραμματισμού

Το βασικό πρόβλημα του Στοχαστικού Δυναμικού Προγραμματισμού μπορεί να περιγραφεί από,

1) το διακριτού χρόνου δυναμικό σύστημα και

2) από την συνάρτηση κόστους, η οποία είναι επαυξητική στο χρόνο.

Το δυναμικό σύστημα εκφράζει την εξέλιξη της κατάστασης του συστήματος, κάτω από το πρίσμα των αποφάσεων που λαμβάνονται σε διακριτές χρονικές στιγμές και έχει τη μορφή:

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 1.1}$$

όπου

k , είναι ο δείκτης του διακριτού χρόνου

x_k , είναι η θέση του συστήματος τη χρονική στιγμή k και περιλαμβάνει παρελθούσα πληροφορία σχετική με μελλοντική βελτιστοποίηση

u_k , είναι ο έλεγχος που εφαρμόζεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή k και είναι η μεταβλητή απόφασης για κάθε χρονική στιγμή

w_k , είναι το στοχαστικό στοιχείο του θορύβου, δηλαδή η άγνωστη παράμετρος διαταραχής

N , είναι ο χρονικός ορίζοντας, που είναι το πλήθος των φορών που εφαρμόζεται ο έλεγχος.

Η συνάρτηση κόστους, όπως περιγράφεται ακολούθως είναι επαυξητική στο χρόνο, υπό την έννοια ότι το κόστος την χρονική στιγμή k , που συμβολίζεται $g_k(x_k, u_k, w_k)$, συσσωρεύεται μέσα στο χρόνο.

$$g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, u_k, w_k) \quad \text{Εξ. 1.2}$$

και $g_N(x_N)$ είναι το τελικό κόστος που αντιστοιχεί στο τέλος της διαδικασίας. Όμως λόγω της παρουσίας του θορύβου w_k , το κόστος είναι μια τυχαία μεταβλητή και η βελτιστοποίηση γίνεται στην αναμενόμενη τιμή του κόστους. Έτσι το μοντέλο βελτιστοποίησης κλειστού βρόγχου έχει τη μορφή ελαχιστοποίησης της συνάρτησης αναμενόμενων κοστών περιλαμβανομένων των μελλοντικών κοστών:

$$\min E \left\{ g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, u_k, w_k) \right\} \quad \text{Εξ. 1.3}$$

Τα βασικά χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης του προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού είναι τα ακόλουθα:

Ένα διακριτού χρόνου σύστημα της μορφής, $x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k)$

Μία ανεξάρτητη τυχαία παράμετρος w_k , που στη γενίκευση επιτρέπεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του w_k να εξαρτάται από τα x_k και το u_k

Μία συνάρτηση περιορισμού του ελέγχου u_k , που γενικά θα εξαρτάται από το x_k και την χρονική στιγμή k , $u_k \in U_k(x_k)$

Ένα επαυξητικό κόστος της μορφής, $g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, u_k, w_k)$

Και τέλος τη βελτιστοποίηση κλειστού βρόγχου πάνω στις αποφάσεις, δηλαδή τους κανόνες επιλογής u_k για κάθε k και κάθε πιθανή τιμή x_k .

Έτσι δεδομένου ενός δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου θεωρούμε ότι η κατάσταση του συστήματος x_k ανήκει στο χώρο S_k , η απόφαση u_k ανήκει στο χώρο C_k και η τυχαία διαταραχή w_k ανήκει στο χώρο D_k . Η απόφαση u_k υπόκειται σε περιορισμός να παίρνει τιμές από το μη κενό σύνολο $U_k(x_k) \subseteq C_k$ και εξαρτάται από την τρέχουσα κατάσταση x_k . Έτσι $u_k \in U_k(x_k) \subseteq C_k, \forall x_k \in S_k, \forall k$. Ο θόρυβος w_k περιγράφεται από μία συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $P_k(\cdot | x_k, u_k)$, που μπορεί να εξαρτάται αποκλειστικά από τα x_k και u_k και όχι από τις προηγούμενες διαταραχές w_{k-1}, \dots, w_0 .

Θεωρούμε την κλάση πολιτικών που αποτελείται από την ακολουθία συναρτήσεων

$$\pi = (\mu_0, \dots, \mu_{N-1}),$$

όπου η πολιτική μ_k είναι μια απεικόνιση της κατάστασης στην απόφαση δηλαδή $u_k = \mu_k(x_k)$ **Εξ. 1.4**

και $\mu_k(x_k) \in U_k(x_k), \forall x_k \in S_k$. Αυτή η κλάση πολιτικών ονομάζεται ‘αποδεκτή’.

Δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης x_0 και της αποδεκτής πολιτικής $\pi = (\mu_0, \dots, \mu_{N-1})$ έχουμε την εξίσωση κατάστασης του συστήματος

$$x_{k+1} = f_k(x_k, \mu_k(x_k), w_k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

Έτσι για δεδομένες συναρτήσεις $g_k, \quad k = 0, 1, \dots, N$, το αναμενόμενο κόστος της π , ξεκινώντας από την κατάσταση x_0 είναι

$$J_\pi(x_0) = \min E \left\{ g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, \mu_k(x_k), w_k) \right\} \quad \text{Εξ. 1.5}$$

όπου η αναμενόμενη τιμή λαμβάνεται ως προς τις τυχαίες μεταβλητές w_k και x_k . Η βέλτιστη πολιτική π^* είναι αυτή που ελαχιστοποιεί αυτό το κόστος, δηλαδή

$$J_{\pi^*}(x_0) = \min_{\pi \in \Pi} J_\pi(x_0) \quad \text{Εξ. 1.6}$$

όπου Π είναι το σύνολο των αποδεκτών πολιτικών.

Παρατηρούμε ότι η βέλτιστη πολιτική π^* είναι συνάρτηση της σταθερής αρχικής κατάστασης x_0 . Παρόλα αυτά πολύ ενδιαφέρον θέμα του βασικού προβλήματος του Δυναμικού Προγραμματισμού είναι ότι είναι πιθανόν να βρεθεί μια πολιτική π^* που να είναι ταυτόχρονα βέλτιστη για όλες τις αρχικές συνθήκες.

Το βέλτιστο κόστος που είναι

$$J^*(x_0) = \min_{\pi \in \Pi} J_\pi(x_0) \quad \text{Εξ. 1.7}$$

Η συνάρτηση J^* ουσιαστικά αναθέτει σε κάθε αρχική κατάσταση x_0 , το βέλτιστο κόστος $J^*(x_0)$ και ονομάζεται βέλτιστη συνάρτηση κόστους. Σημειώνεται ότι η χρήση του ελαχίστου \min στην προηγούμενη εξίσωση, αντιπροσωπεύει στην πραγματικότητα το μεγαλύτερο κάτω όριο (infimum) του συνόλου των τιμών $\{J_\pi(x_0) | \pi \in \Pi\}$, όποτε η εξίσωση γίνεται $J^*(x_0) = \inf_{\pi \in \Pi} J_\pi(x_0)$.

Ο Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού

Η τεχνική του Δυναμικού Προγραμματισμού βασίζεται σε μια πολύ απλή ιδέα, την ‘Αρχή του Βελτίστου’ (Principle of Optimality). Αυτή διατυπώθηκε από τον Bellman, ο οποίος συνεισέφερε τα μέγιστα στην διάδοση του Δυναμικού Προγραμματισμού και στην διαμόρφωσή του σε ένα σχηματικό εργαλείο. Η αρχή του βελτίστου (Principle of Optimality) περιγράφεται ακολούθως.

Ορισμός 1.1

Έστω $\pi^* = (\mu_0^*, \dots, \mu_{N-1}^*)$ είναι μια βέλτιστη πολιτική για το βασικό πρόβλημα και έστω ότι όταν χρησιμοποιείται η π^* , μια δοσμένη κατάσταση x_i συμβαίνει την χρονική στιγμή i με θετική πιθανότητα. Θεωρούμε το υποπρόβλημα όπου το σύστημα βρίσκεται στην κατάσταση x_i τη χρονική στιγμή i και το ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους προς τα εμπρός (δηλαδή από τη δεδομένη χρονική στιγμή και μελλοντικά), από τη χρονική στιγμή i μέχρι τη χρονική στιγμή N

$$E \left\{ g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, \mu_k(x_k), w_k) \right\} \quad \text{Εξ. 1.8}$$

Τότε η περιορισμένη πολιτική $\{\mu_i^*, \mu_{i+1}^*, \dots, \mu_{N-1}^*\}$ είναι η βέλτιστη για αυτό το υποπρόβλημα.

Η αιτιολόγηση της αρχής του βελτίστου είναι απλή. Αν η περιορισμένη πολιτική $\{\mu_i^*, \mu_{i+1}^*, \dots, \mu_{N-1}^*\}$ δεν ήταν όπως αναφέρθηκε η βέλτιστη, θα ήταν δυνατόν να μειωθεί περισσότερο το κόστος, μεταφερόμενοι σε μια βέλτιστη πολιτική, κατά την άφιξη στο x_i . Έτσι κάνοντας για παράδειγμα ένα ανάλογο για οδικές διαδρομές, έστω ότι η συντομότερη διαδρομή από την πόλη της Ξάνθης στην πόλη της Θεσσαλονίκης διέρχεται μέσα από την πόλη της Καβάλας. Τότε η αρχή του βελτίστου μεταφράζεται στο προφανές γεγονός ότι το κομμάτι της διαδρομής από την Καβάλα μέχρι την Θεσσαλονίκη είναι και η συντομότερη διαδρομή ανάμεσα στην Καβάλα και στην Θεσσαλονίκη.

Η αρχή του βελτίστου προτείνει ότι η βέλτιστη πολιτική μπορεί να συντεθεί τμηματικά, πρώτα βρίσκοντας την βέλτιστη πολιτική για το τελικό υποπρόβλημα, που αναφέρεται στην τελική κατάσταση, ακολούθως επεκτείνοντας την βέλτιστη πολιτική για το υποπρόβλημα που αφορά τις δύο τελευταίες καταστάσεις και συνεχίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο έως ότου δομηθεί η βέλτιστη πολιτική για ολόκληρο το πρόβλημα. Ο αλγόριθμος του Δυναμικού Προγραμματισμού βασίζεται στην ιδέα της σειριακής διαδικασίας, λύνοντας όλα τα υποπροβλήματα δοσμένου ενός χρονικού διαστήματος και χρησιμοποιώντας τη λύση υποπροβλημάτων μικρότερου χρονικού διαστήματος από το συνολικό.

Έτσι ο αλγόριθμος του Δυναμικού Προγραμματισμού περιγράφεται ως:

Ορισμός 1.2

Για κάθε αρχική κατάσταση x_0 , το βέλτιστο κόστος $J^*(x_0)$ του βασικού προβλήματος είναι ίσο με το $J_0(x_0)$ που δίνεται από το τελευταίο βήμα του ακόλουθου αλγορίθμου, ο οποίος κινείται προς τα πίσω στο χρόνο, από την περίοδο $N-1$ μέχρι την περίοδο 0:

$$J_N(x_N) = g_N(x_N) \quad \text{Εξ. 1.9}$$

$$J_k(x_k) = \min_{u_k \in U_k, w_k} E \{g_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(f_k(x_k, u_k, w_k))\}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 1.10}$$

όπου η αναμενόμενη τιμή λαμβάνεται ως προς την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του w_k , που εξαρτάται από τα x_k και u_k . Επιπρόσθετα αν το $u_k^* = \mu_k^*(x_k)$ ελαχιστοποιεί το δεξί μέρος της Εξίσωσης 2.10 για κάθε x_k και k , τότε η πολιτική $\pi^* = (\mu_0^*, \dots, \mu_{N-1}^*)$ είναι βέλτιστη.

Η συνάρτηση $J_k(x_k)$ μεταφράζεται ως το βέλτιστο κόστος για το $N-k$ σταδίων πρόβλημα, ξεκινώντας στην κατάσταση x_k , την χρονική στιγμή k και καταλήγοντας στο χρόνο N . Η $J_k(x_k)$ ονομάζεται κόστος-προς εμπρός (cost-to-go) στην κατάσταση x_k και την χρονική στιγμή k , ενώ αναφερόμαστε στην J_k , ως την συνάρτηση κόστους-προς εμπρός, την χρονική στιγμή k .

Έτσι η μέθοδος επίλυσης προβλημάτων Δυναμικού Προγραμματισμού βασίζεται στην διασύνδεση επιμέρους αποφάσεων, από κάθε χρονική στιγμή και προς τα εμπρός στο χρόνο, μέχρι την τελική χρονική στιγμή, ώστε η σύνθεσή τους δίνει την τελική απόφαση. Το αρχικό πρόβλημα χωρίζεται σε επιμέρους υποπροβλήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω αναδρομικής σχέσης. Το υπολογιστικό κόστος της μεθόδου είναι υψηλό και έτσι κρίνεται κατάλληλη σε προβλήματα που δεν αντιμετωπίζονται με μεθόδους Γραμμικού ή Ακέραιου Προγραμματισμού. Έτσι αν και η μέθοδος παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία, το τίμημα είναι συνήθως οι αυξημένες απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύς, αλλά και ιδιαίτερες απαιτήσεις στην αρχική μοντελοποίηση του υπό εξέταση συστήματος.

Επίσης, σε πολλά πρακτικά προβλήματα εφαρμογής δεν είναι εφικτή η εύρεση μιας αναλυτικής μορφής λύσης και έτσι απαραίτητη είναι η προσφυγή σε αριθμητική εκτέλεση του αλγορίθμου του Δυναμικού Προγραμματισμού. Αυτό μπορεί να αποτελέσει μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτητική υπολογιστικά εργασία, μιας και η ελαχιστοποίηση στην Εξίσωση 1.10, πρέπει να εκτελεστεί για κάθε τιμή του x_k . Ο χώρος των καταστάσεων θα πρέπει να διακριτοποιηθεί με κάποιο τρόπο, εάν δεν είναι ήδη πεπερασμένο σύνολο. Οι υπολογιστικές απαιτήσεις είναι ανάλογες του αριθμού των πιθανών καταστάσεων x_k και έτσι για πολύπλοκα προβλήματα ο υπολογιστικός φόρτος μπορεί να είναι μεγάλος. Παρόλα αυτά, ο Δυναμικός Προγραμματισμός είναι η μοναδική γενική προσέγγιση για διαδοχική βελτιστοποίηση σε στάδια, υπό συνθήκες αβεβαιότητας και ακόμα και στις περιπτώσεις που το υπολογιστικό κόστος είναι απαγορευτικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την επίλυση πιο πρακτικών υπο-βέλτιστων (suboptimal) προσεγγίσεων.

Κεφάλαιο 2

Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων

Η μεθοδολογία υλοποίησης κατά την πρώτη φάση, περιελάμβανε τη μελέτη και καταγραφή των τεχνολογικών χαρακτηριστικών της σύγχρονης πραγματικότητας τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Διεθνές επίπεδο των δορυφορικών επικοινωνιών και των αντίστοιχων νέων εφαρμογών που προκύπτουν από αυτές. Ο στόχος του προτεινόμενου μοντέλου, που υλοποιείται στο επόμενο στάδιο, είναι η δημιουργία εργαλείου λήψης αποφάσεων που θα βοηθήσει έναν Δορυφορικό Παροχέα (Δ.Π.) να επιλέξει τη βέλτιστη πολιτική μίσθωσης δορυφορικής χωρητικότητας.

Το πρώτο στάδιο της μελέτης περιλάμβανε την καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων χρέωσης από την διεθνή αγορά παροχής δορυφορικών υπηρεσιών καθώς και την στατιστική επεξεργασία τους. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε Δορυφορικούς Παροχείς με βάση τη γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης, με άμεση δυνατότητα επέκτασης του μοντέλου σε οποιαδήποτε περιοχή του παγκόσμιου χάρτη. Έτσι για τον καθορισμό της τιμολογιακής και επιχειρησιακής πολιτικής ενός Δορυφορικού Παροχέα, έγινε αρχικά στατιστική επεξεργασία τιμολογιακών δεδομένων χρέωσης που ισχύουν τα τελευταία χρόνια σε διάφορους δορυφορικούς οργανισμούς.

Η πρώτη κατηγοριοποίηση έγινε με βάση τις δυνατές παρεχόμενες υπηρεσίες από έναν Δορυφορικό Παροχέα οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1

s	Υπηρεσία
1	VSAT
2	Telephony
3	IP Gateway
4	Corporate
5	Broadcast
6	Video Contribution
7	Media Company
8	Government

Πίνακας 2.1: Κατηγοριοποίηση Δορυφορικών Υπηρεσιών

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων περιλαμβάνει δύο ενότητες όπου ελήφθη και επεξεργάστηκε διαφορετικό δείγμα δεδομένων. Ο κύριος διαχωρισμός έγινε με βάση την ενεργό ιστροπική ισχύ (EIRP). Συγκεκριμένα στην πρώτη ενότητα (Ενότητα 1) περιελήφθησαν σετ δεδομένων για δορυφόρους με ενεργό ιστροπική ισχύ (EIRP) μεγαλύτερη από 48 dBW, που αποτελεί και την πλειονότητα των ενεργειών δορυφόρων, ενώ στη δεύτερη ενότητα (Ενότητα 2), επεξεργάστηκαν σετ δεδομένων δορυφόρων και με μικρότερη ενεργό ιστροπική ισχύ ώστε να αυξηθεί το στατιστικό πεδίο τιμών.

Και στις δύο φάσεις η μελέτη έγινε σε κάθε μία δυνατή παρεχόμενη υπηρεσία ξεχωριστά. Τα μεγέθη που μελετήθηκαν, για κάθε μία υπηρεσία, είναι η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 36MHz, ανά μήνα σε Δολάρια (US\$) και η διάρκεια μίσθωσης σε μήνες. Σε κάθε μία υπηρεσία προσδιορίστηκαν, η μέση τιμή μ , η τυπική απόκλιση σ , η επί της εκατό διαφορά της απόκλισης από τη μέση τιμή $\sigma/\mu*100\%$, καθώς και η συσχέτιση των δύο αυτών μεγεθών ρ . Προσδιορίστηκαν, για κάθε μία δυνατή υπηρεσία η μέση τιμή και το εύρος της τόσο σε πραγματικές τιμές όσο και σε ποσοστό. Τα όρια τιμών της χρέωσης της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά μήνα, είναι $\mu \pm \sigma$, ενώ το βάρος κάθε απόκλισης, είναι σ/μ . Ομοίως, έγινε η επεξεργασία για τη διάρκεια μίσθωσης και εξάχθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα αλλά και ιστογράμματα, της χρέωσης της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά μήνα και της διάρκειας μίσθωσης στην ίδια γραφική παράσταση, αλλά και τα ιστογράμματα ξεχωριστά για την χρέωση και την διάρκεια, που δίνουν τη δυνατότητα καλύτερης ποιοτικής εκτίμησης των μεγεθών.

Σε κάθε μία υπηρεσία προσδιορίστηκαν:

η μέση τιμή μ ,

η τυπική απόκλιση σ ,

η επί της εκατό διαφορά της απόκλισης από τη μέση τιμή $\sigma/\mu*100\%$,

καθώς και η συσχέτιση της χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα, με τη διάρκεια μίσθωσης ρ

όπου

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N(N-1)}}$$

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \text{ και}$$

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu_X)^2$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \mu_Y)^2$$

Εξ. 2.1

Τα συγκεντρωτικά στοιχεία χρεώσεων, για κάθε μία ενότητα, παρατίθενται ακολούθως, στους Πίνακες 2.2 και 2.3. Σημειώνεται ότι για τις υπηρεσίες Video Contribution, Media company και Government τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα δεν ήταν επαρκή για περαιτέρω στατιστική επεξεργασία.

Έτσι προσδιορίστηκαν οι βασικές παράμετροι χρέωσης, που θα χρησιμοποιηθούν κατά την υλοποίηση του μοντέλου αξιολόγησης αποφάσεων.

Ενότητα 1

Υπηρεσία	Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Τυπική απόκλιση (σ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Επί της εκατό διαφορά της απόκλισης από τη μέση τιμή (σ/μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Μέση τιμή (μ), διάρκειας	Τυπική απόκλιση (σ), διάρκειας	Συσχέτιση (ρ), χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα, με διάρκεια μίσθωσης
VSAT	183.611,4	67.211,8	36,6%	32,4	19,5	0,0060
Telephony	194.028,9	72.160,3	37,2%	22,6	17,8	-0,2013
IP Gateway	178.459,8	70.761,5	39,7%	20	16,5	-0,0928
Corporate	198.668,6	90.299,2	45,5%	20,7	16,2	-0,5485
Broadcast	195.635,3	92.909,0	47,5%	15,8	10,1	-0,1725
Video Contribution	125.100,0			12,0		
Media Company	295.833,6			12,0		
Government	72.916,56			12,0		

Πίνακας 2.2: Στατιστική επεξεργασία χρεώσεων Ενότητα 1.

Ενότητα 2

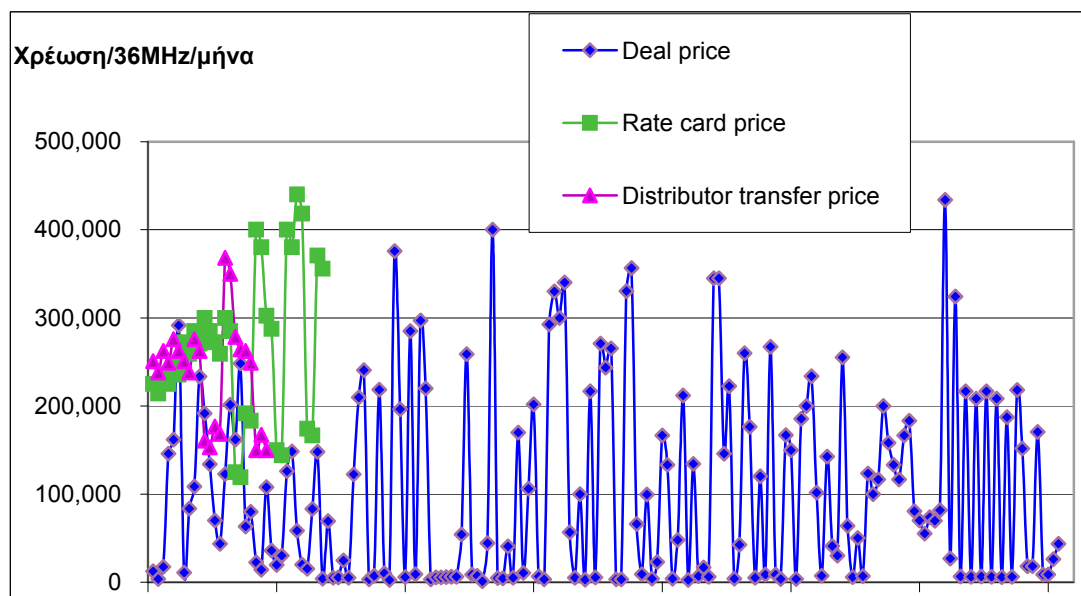
Υπηρεσία	Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Τυπική απόκλιση (σ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Επί της εκατό διαφορά της απόκλισης από τη μέση τιμή (σ/μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Μέση τιμή (μ), διάρκειας	Τυπική απόκλιση (σ), διάρκειας	Συσχέτιση (ρ), χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα, με διάρκεια μίσθωσης
VSAT	186.823,7	74.489,8	39,9%	28,3	19,6	-0,07
Telephony	178.587,9	76.948,5	43,1%	22,1	18,4	-0,15
IP Gateway	158.564,8	65.430,2	41,3%	20,7	17,5	0,08
Corporate	186.129,4	75.289,5	40,5%	22,3	17,9	-0,22
Broadcast	215.350,6	76.121,8	35,4%	20,4	13,5	-0,20
Video Contribution	125.100,0			12,0		
Media Company	295.833,6			12,0		
Government	126.847,9	40.514,3	31,9%	22,3	21,6	-0,39

Πίνακας 2.3: Στατιστική επεξεργασία χρεώσεων Ενότητα 2.

2.1 ΕΝΟΤΗΤΑ 1

Τα στοιχεία των δεδομένων χρέωσης που παρελήφθησαν από διεθνές μελετητικό οργανισμό και παρουσιάζουν δεδομένα χρέωσης από την παγκόσμια δορυφορική αγορά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος (Πίνακας Π.1). Το πλήθος των δεδομένων αποτελούν 234 εγγραφές και περιλαμβάνουν την ημερομηνία μίσθωσης, στοιχεία του Δορυφόρου όπως το όνομά του, το όνομα του Παροχέα και η ισχύς του, στοιχεία των ζητούμενων υπηρεσιών όπως τον τύπο της υπηρεσίας, την μπάντα συχνοτήτων, τις περιοχές δορυφορικής δέσμης κάλυψης της ζητούμενης υπηρεσίας αλλά και δεδομένα χρεώσεων όπως τιμές χρέωσης, διάρκεια μίσθωσης και επιπλέον χρεώσεις δορυφορικών υπηρεσιών.

Κατά την πρώτη φάση της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων, επιλέγησαν δεδομένα που αντιστοιχούσαν μόνο σε ‘deal prices’ (μπλε εγγραφές Πίνακας Π.1) και αποτελούν τις πραγματικές χρεώσεις. Αφαιρέθηκαν οι τιμές ‘rate card’ και ‘distributor transfer price’ (πράσινες και μωβ εγγραφές Πίνακας Π.1), που αποτελούν στοιχεία ενδιάμεσων χρεώσεων. Ο λόγος αφαίρεσης τους είναι ότι αυτές δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές τιμές μίσθωσης και όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.



Σχήμα 2.1

Ο Πίνακας 2.4 παρουσιάζει τη μέση τιμή χρέωσης μ , ανά 36MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month) και την αντίστοιχη τυπική απόκλιση σ της χρέωσης, για κάθε μία από τις κατηγορίες τιμών ‘deal’, ‘rate card’ και ‘distributor transfer price’.

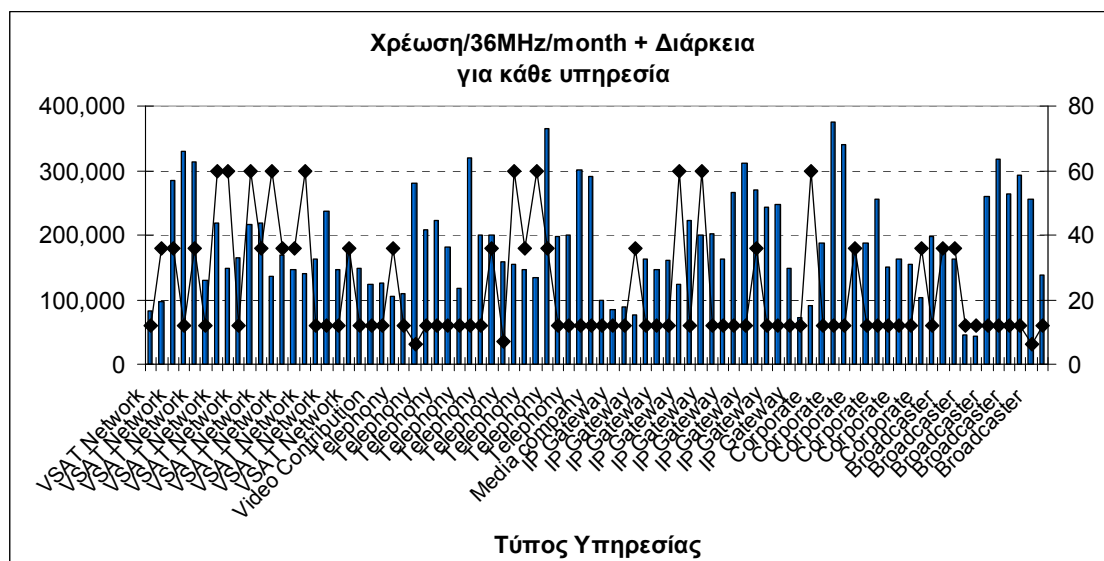
Κατόπιν αφαιρέθηκαν τα σετ τιμών, με στοιχεία δορυφόρων με ενεργό ιστροπική ισχύ (EIRP) μικρότερη από 48dBW, για την πρώτη ενότητα (Ενότητα 1), ώστε να εστιαστεί η μελέτη στους συνήθεις Δορυφόρους, με τις πλέον εμπορικές εφαρμογές

και υπηρεσίες. Ακόμη, αφαιρέθηκαν δεδομένα που αφορούσαν τον δορυφόρο Hot-Bird του operator Eutelsat μιας και προορίζεται για πολύ συγκεκριμένες εμπορικές εφαρμογές. Οπότε προέκυψαν 82 σετ τιμών για περαιτέρω επεξεργασία όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Πίνακας Π.1).

μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα (Price/36MHz/month)	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα		
106.231	107.695	xxxx	‘deal price’
269.485	86.687	xxxx	‘rate card price’
237.645	60.257	xxxx	‘distributor transfer price’

Πίνακας 2.4

Σημειώνεται ότι κατά την επεξεργασία των δεδομένων, έγινε διόρθωση των τιμών της ισοδύναμης χωρητικότητας, ανά MHz ανά μήνα, αφαιρώντας από την μέση τιμή χρέωσης ανά μήνα τα διάφορα κόστη βάση του συμβολαίου μίσθωσης, όπως μεταφοράς ή σύνδεσης (Cost component of Teleport (month) και Cost component of Fiber/ IP Access(month)) ώστε να προκύψει η καθαρή τιμή (μία τιμή το πλήθος). Επίσης, οι περιοχές του uplink είναι κατά βάση η Ευρώπη, που είναι και η γεωγραφική περιοχή του άμεσου ενδιαφέροντος. Παρατηρείται ότι η μπάνα συχνοτήτων είναι η Ku ως επί το πλείστον με την πλέον συνήθη εμπορική εφαρμογή. Η συνολική κατανομή της χρέωσης της ισοδύναμης χωρητικότητας καθώς και της αντίστοιχης διάρκειας μίσθωσης, φαίνονται στο Σχήμα 2.2.

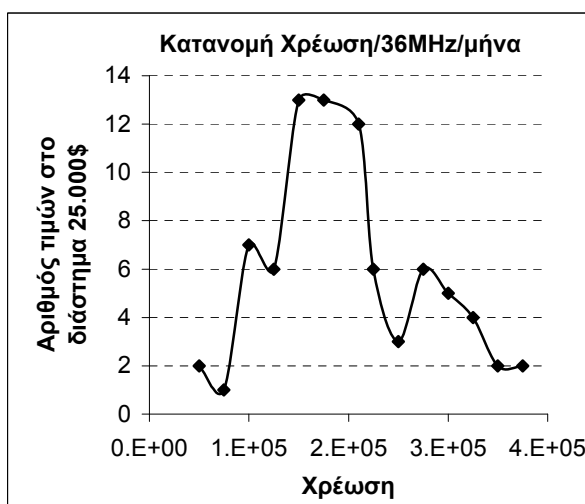


Σχήμα 2.2

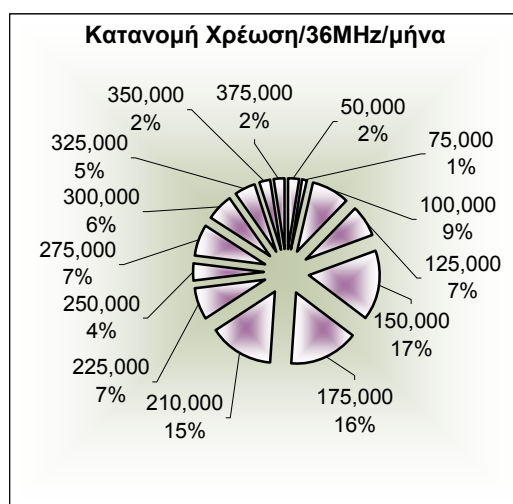
Η αντίστοιχη κατανομή των τιμών παρουσιάζεται στα Σχήματα 2.3 και 2.4, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.5.

Χρέωση/36MHz/month	Αριθμός σημείων τιμών στο εκάστοτε εύρος των 25.000\$
50.000	2
75.000	1
100.000	7
125.000	6
150.000	13
175.000	13
210.000	12
225.000	6
250.000	3
275.000	6
300.000	5
325.000	4
350.000	2
375.000	2

Πίνακας 2.5



Σχήμα 2.3



Σχήμα 2.4

Παρατηρούμε ότι οι τιμές της ισοδύναμης χωρητικότητας των υπηρεσιών, κυμαίνονται από 140-220 K\$.

Ακολουθώς εξετάζεται κάθε υπηρεσία χωριστά .

2.1.1 Υπηρεσίες VSAT

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα (Πίνακας Π.1) και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία VSAT.

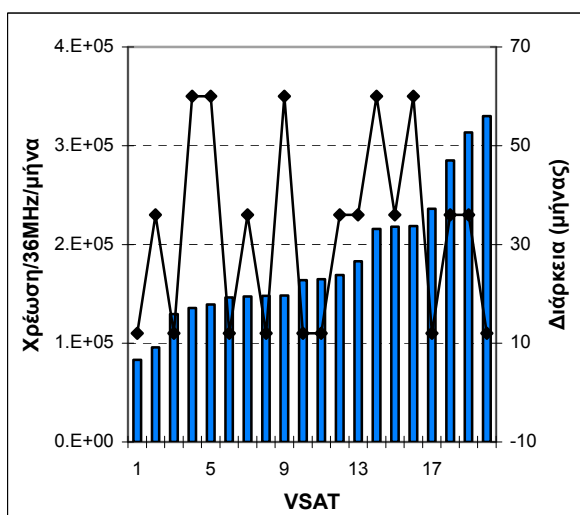
Ο Πίνακας 2.6, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
183.611,4	67.211,8	36,6%	32,4	19,5

Πίνακας 2.6

Ο υπολογιζόμενος συντελεστής συσχέτισης, μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκεια μίσθωσης, είναι: **0,0060**, όπου παρατηρείται ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.5 αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες VSAT. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.6.

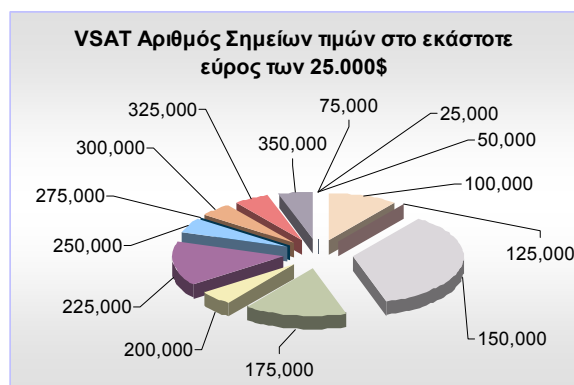


Σχήμα 2.5

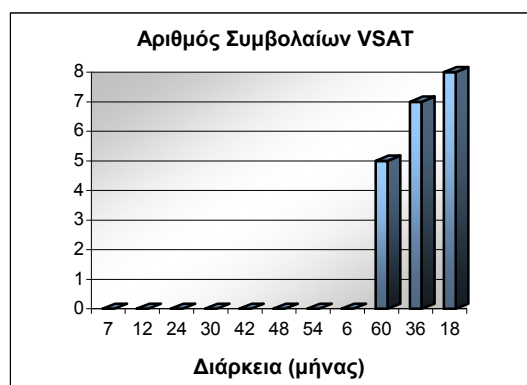


Σχήμα 2.6

Στο Σχήμα 2.7, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες VSAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.7



Σχήμα 2.8

2.1.2 Υπηρεσίες Telephony

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Telephony.

Ο Πίνακας 2.7, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

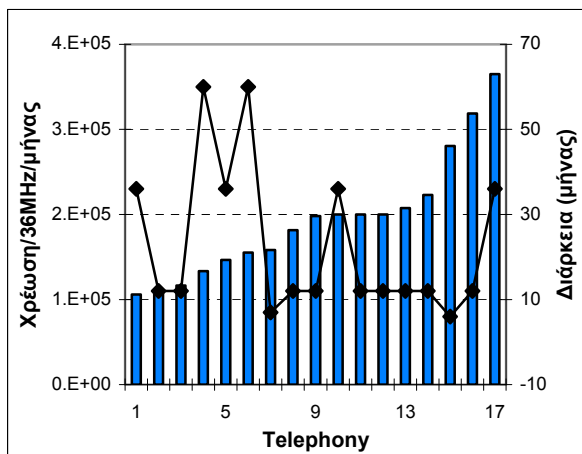
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
194.028,9	72.160,3	37,2%	22,6	17,8

Πίνακας 2.7

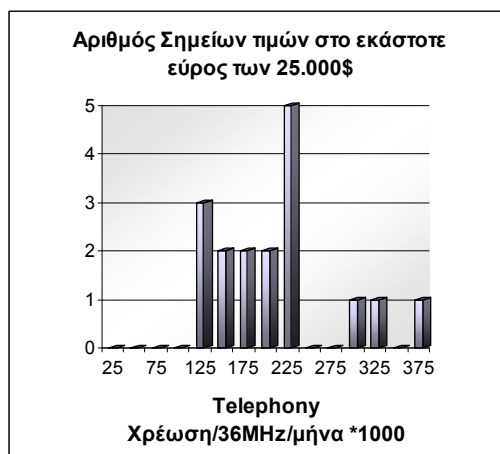
Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκεια μίσθωσης, είναι: **-0,2013**, όπου παρατηρείται ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.9 αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Telephony. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.10.

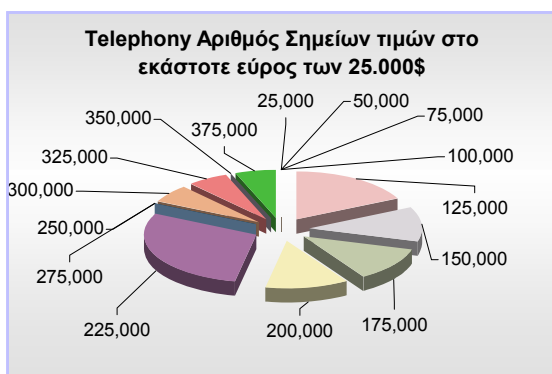
Στο Σχήμα 2.11, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες Telephony, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.12.



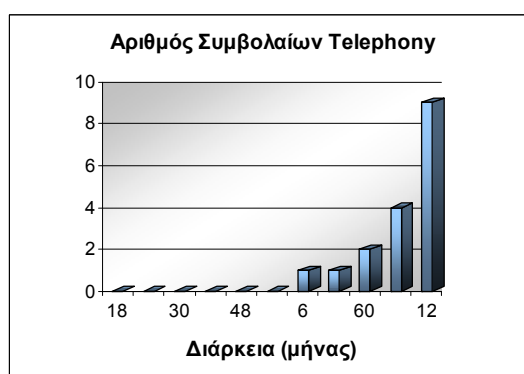
Σχήμα 2.9



Σχήμα 2.10



Σχήμα 2.11



Σχήμα 2.12

2.1.3 Υπηρεσίες IP Gateway

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα (Πίνακας Π.1) και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία IP Gateway.

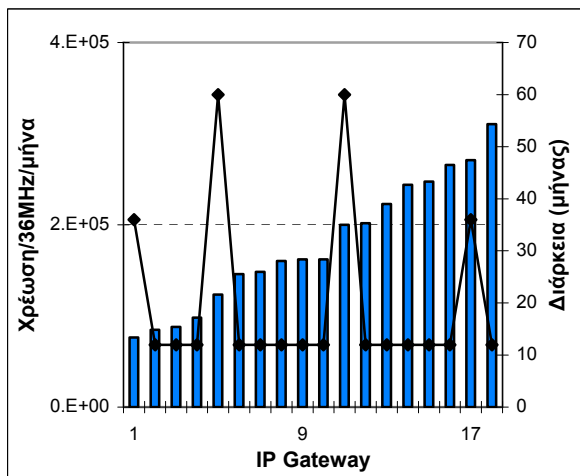
Ο Πίνακας 2.8, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
178.459,8	70.761,5	39,7%	20	16,46

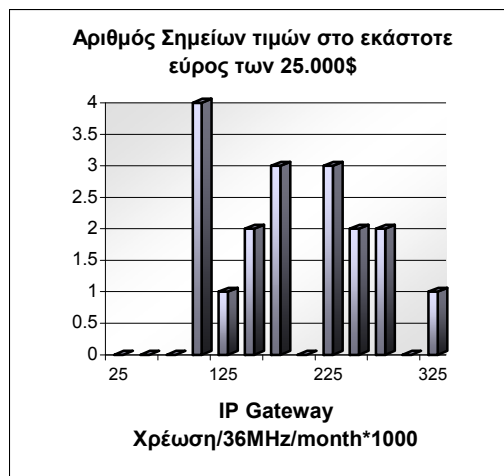
Πίνακας 2.8

Ο συντελεστής συσχέτισης (ρ) μεταξύ της χρέωσης της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκειας μίσθωσης, είναι: **-0,0928**, όπου παρατηρείται ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.13 αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες IP Gateway. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.14.

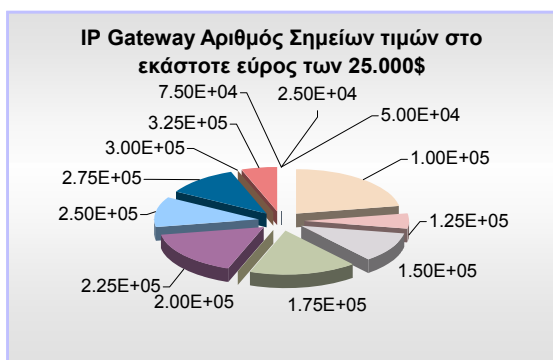


Σχήμα 2.13

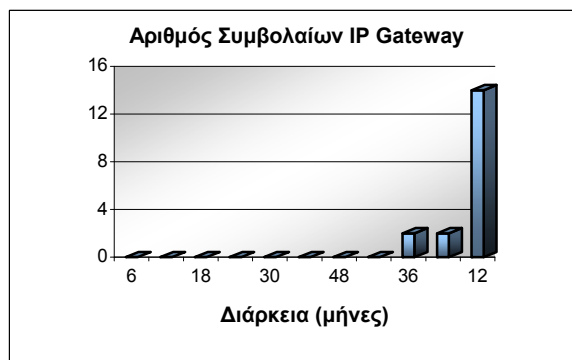


Σχήμα 2.14

Στο Σχήμα 2.15, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες IP Gateway, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.15



Σχήμα 2.16

2.1.4 Υπηρεσίες Corporate

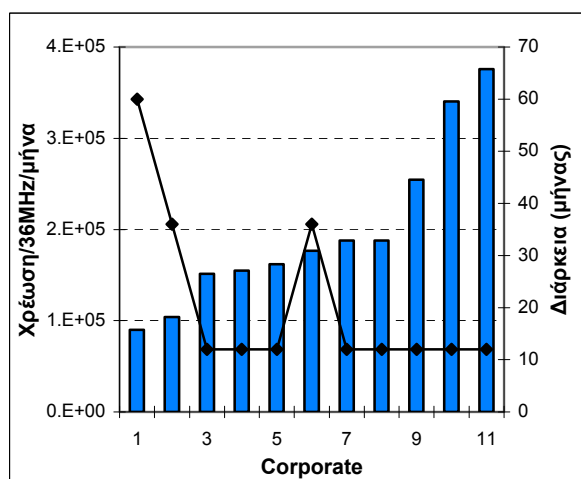
Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα (Πίνακας Π.1) και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Corporate.

Ο Πίνακας 2.9, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

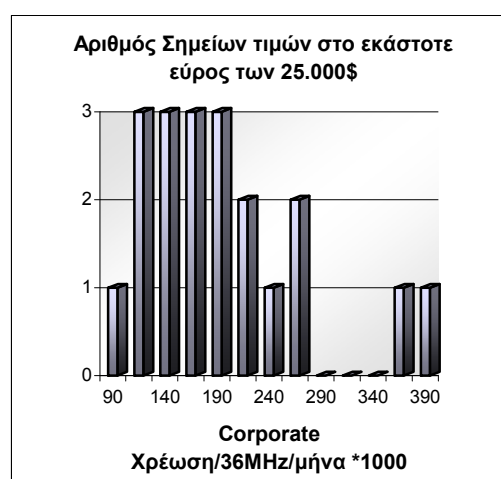
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
198.668,6	90.299,2	45,5%	20,727	16,181

Πίνακας 2.9

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκειας μίσθωσης, είναι: **-0,5485**, όπου είναι η μοναδική περίπτωση όπου εμφανίζεται μια μικρή συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.17, όπου αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα) όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Corporate. Φαίνεται ότι προτιμώνται συμβόλαια μίσθωσης 10 μηνών, αλλά λόγω του πολύ μικρού στατιστικού δείγματος (11 σημεία), δεν μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα.



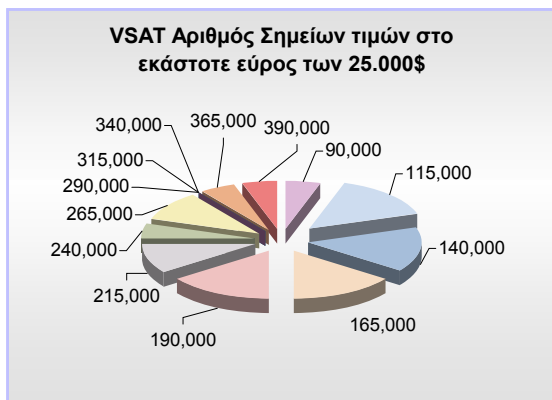
Σχήμα 2.17



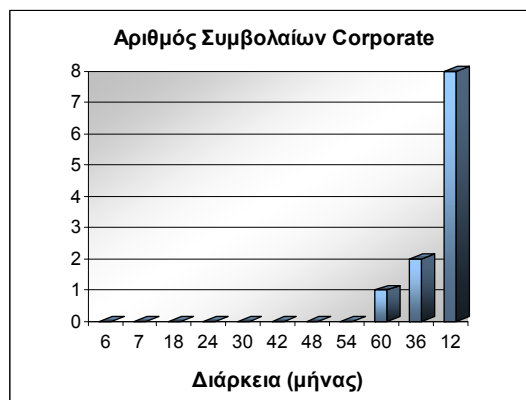
Σχήμα 2.18

Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.18.

Στο Σχήμα 2.19, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες Corporate, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.20.



Σχήμα 2.19



Σχήμα 2.20

2.1.5 Υπηρεσίες Broadcast

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα (Πίνακας Π.1) και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Broadcaster.

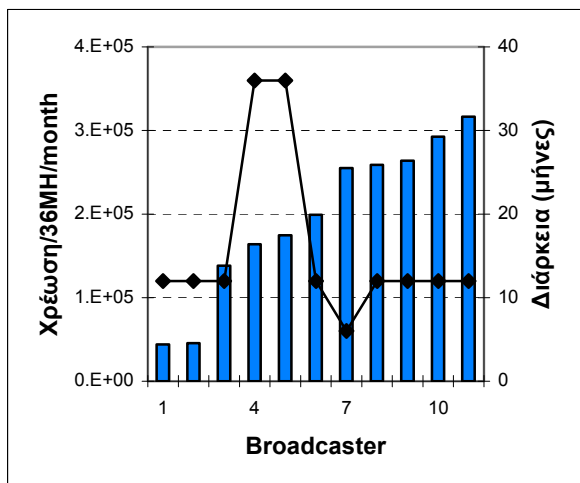
Ο Πίνακας 2.10, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
195.635,3	92.909,0	47,5%	15,818	10,137

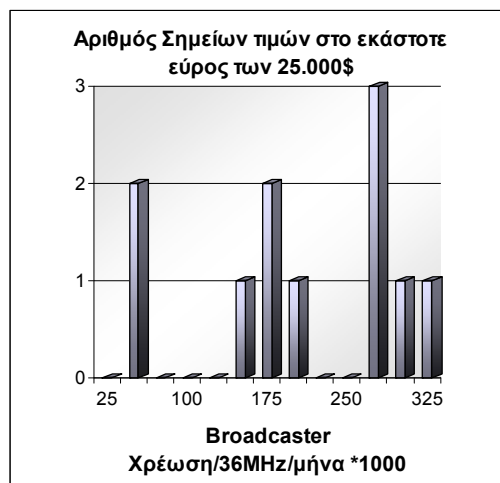
Πίνακας 2.10

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκεια μίσθωσης, είναι: $-0,1725$, όπου παρατηρείται ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.21 αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα) όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Broadcaster.



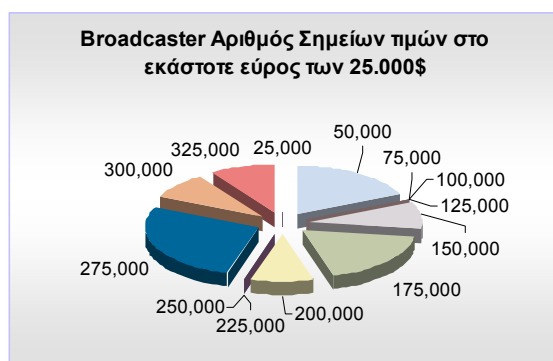
Σχήμα 2.21



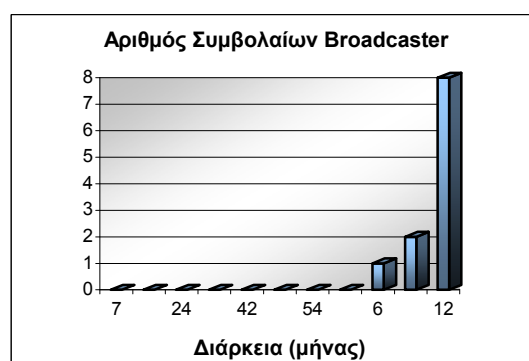
Σχήμα 2.22

Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.22.

Στο Σχήμα 2.23, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες Broadcaster, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.24.



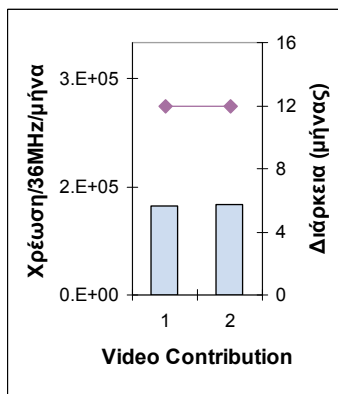
Σχήμα 2.23



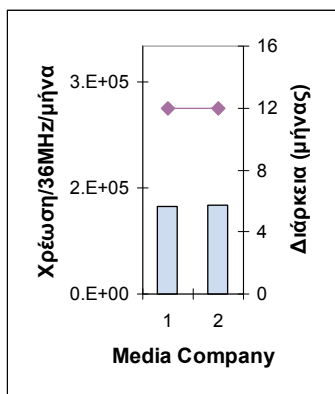
Σχήμα 2.24

2.1.6 Υπηρεσίες Video Contribution, Media Company, Government

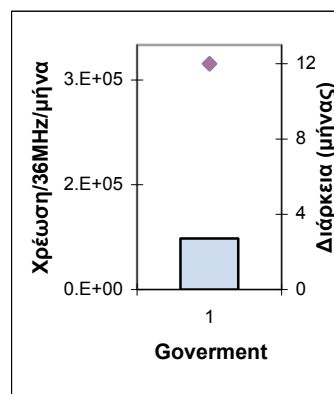
Τα δεδομένα ήταν ανεπαρκή για περαιτέρω στατιστική επεξεργασία και παρουσιάζονται ακολούθως για κάθε μία από τις υπηρεσίες Video Contribution, Media Company, Government, στα Σχήματα 2.25, 2.26, 2.27 αντίστοιχα



Σχήμα 2.25



Σχήμα 2.26



Σχήμα 2.27

2.2 ΕΝΟΤΗΤΑ 2

Στη συνέχεια εξετάστηκε μεγαλύτερο εύρος δεδομένων περιλαμβάνοντας και δορυφόρους με μικρότερη EIRP από 48 dBW αυξάνοντας τα σετ των δεδομένων ώστε να εξεταστεί αν μπορεί να εξαχθεί ένα πιο ασφαλές συμπέρασμα. Χρησιμοποιήθηκαν πάλι μόνο οι τιμές rate card. Έγινε διόρθωση των τιμών της ισοδύναμης χωρητικότητας, ανά MHz ανά μήνα, αφαιρώντας από την μέση τιμή χρέωσης ανά μήνα τα διάφορα κόστη βάση του συμβολαίου μίσθωσης, όπως μεταφοράς ή σύνδεσης (Cost component of Teleport (month) και Cost component of Fiber/ IP Access(month)) ώστε να προκύψει η καθαρή τιμή (10τιμές το πλήθος). Οπότε προέκυψαν 177 διαθέσιμα σετ δεδομένων όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Πίνακας Π.1).

Ακολουθως εξετάζεται κάθε υπηρεσία χωριστά.

2.2.1 Υπηρεσίες VSAT

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία VSAT.

Ο Πίνακας 2.11, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

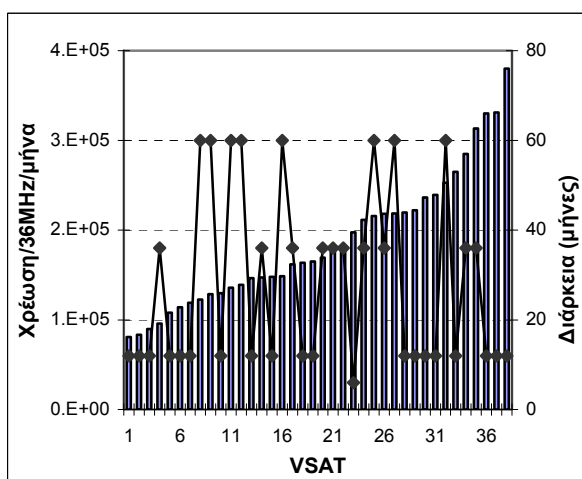
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
186.823,7	74.489,8	39,9%	28,3	19,6

Πίνακας 2.11

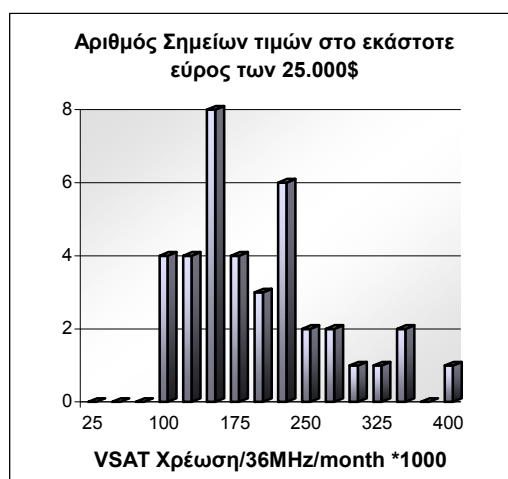
Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωσης της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκειας μίσθωσης, είναι: **-0,0747**, όπου βλέπουμε ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.28, αναπαρίστανται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες VSAT. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 Κ\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.29.

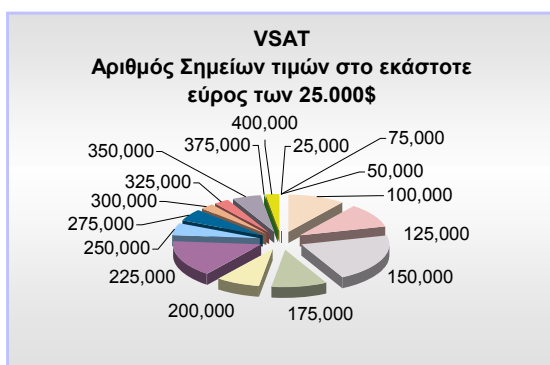
Στο Σχήμα 2.30, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 Κ\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες VSAT, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.31.



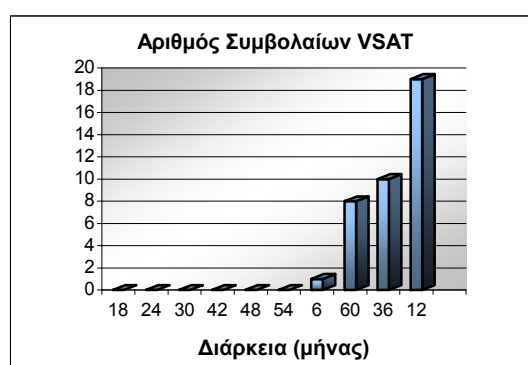
Σχήμα 2.28



Σχήμα 2.29



Σχήμα 2.30



Σχήμα 2.31

2.2.2 Υπηρεσίες Telephony

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Telephony.

Ο Πίνακας 2.12, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

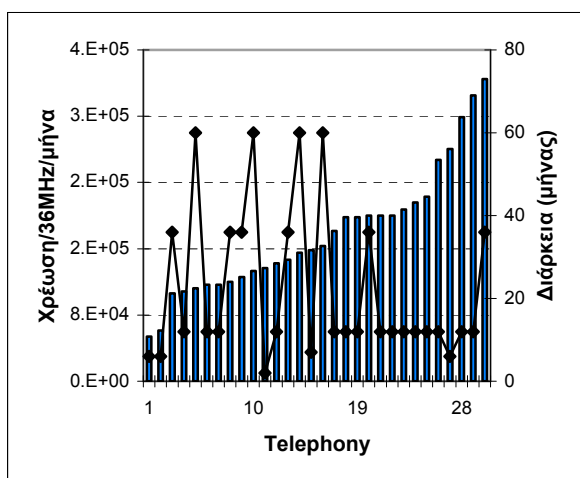
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
178.587,9	76.948,5	43,09%	22,10	18,42

Πίνακας 2.12

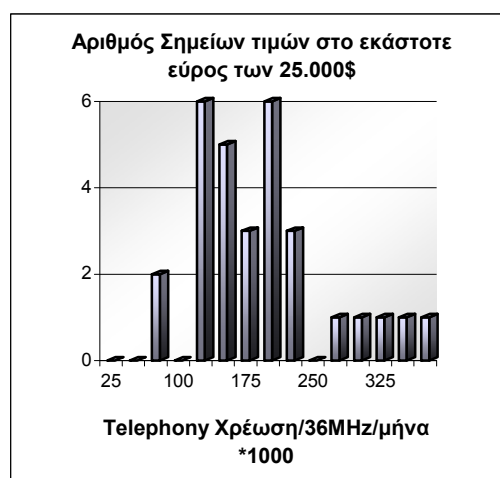
Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκεια μίσθωσης, είναι: **-0,1467**, όπου βλέπουμε ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.32, αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Telephony. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.33.

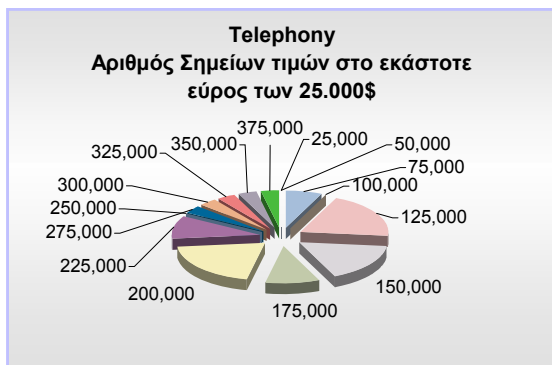
Στο Σχήμα 2.34, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες Telephony, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.35.



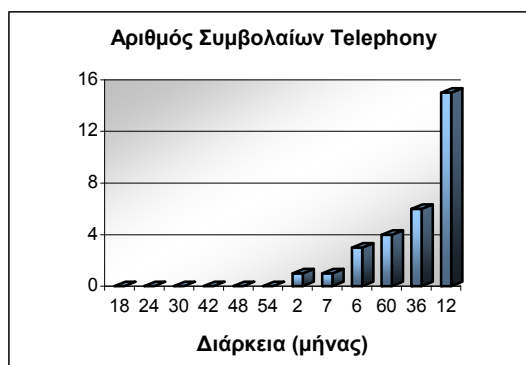
Σχήμα 2.32



Σχήμα 2.33



Σχήμα 2.34



Σχήμα 2.35

2.2.3 Υπηρεσίες IP Gateway

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία IP Gateway.

Ο Πίνακας 2.13, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

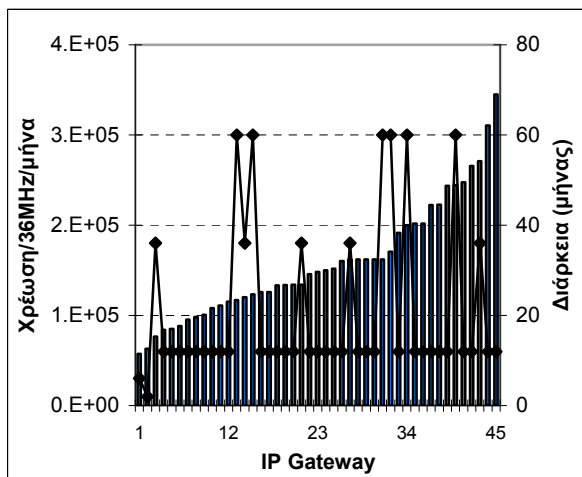
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
158.564,8	65.430,2	41,26%	20,71	17,47

Πίνακας 2.13

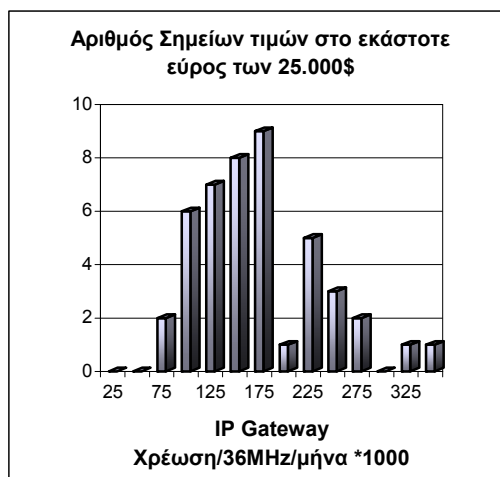
Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκεια μίσθωσης, είναι: **0,0805**, όπου παρατηρείται ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.36, αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες IP Gateway. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.37.

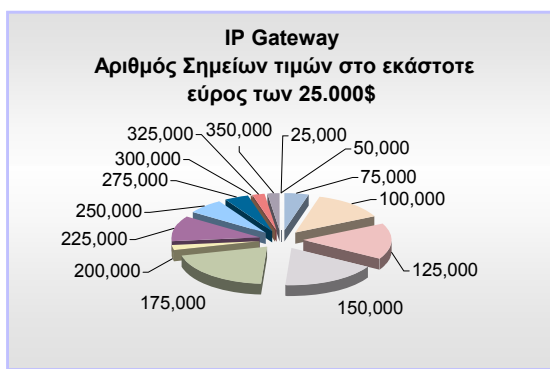
Στο Σχήμα 2.38, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες IP Gateway, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.39.



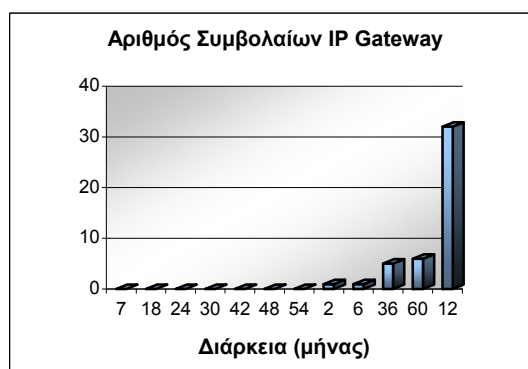
Σχήμα 2.36



Σχήμα 2.37



Σχήμα 2.38



Σχήμα 2.39

2.2.4 Υπηρεσίες Corporate

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Corporate.

Ο Πίνακας 2.14, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

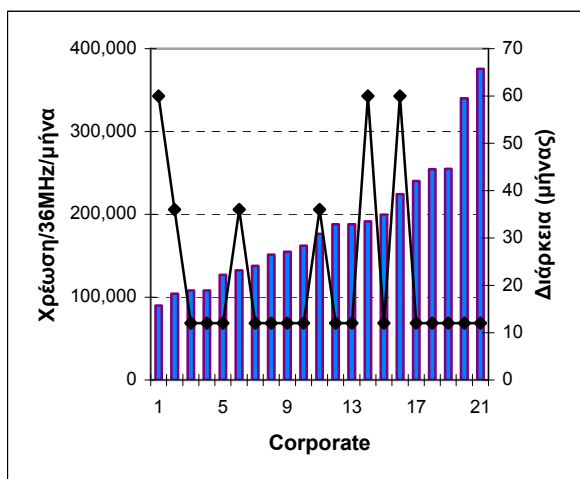
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
186.129,4	75.289,5	40,45%	22,29	17,91

Πίνακας 2.14

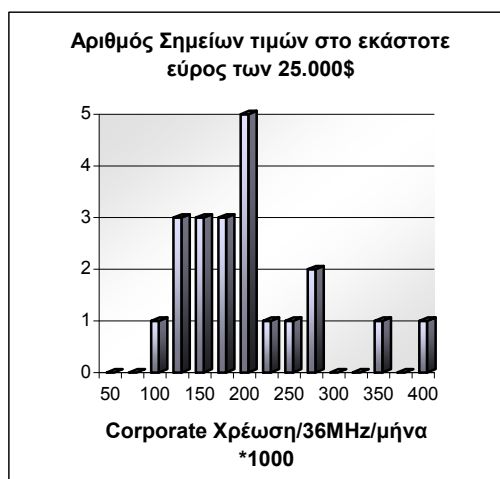
Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωσης της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκειας μίσθωσης, είναι: -0,2229, όπου η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών είναι πολύ μικρή.

Στο Σχήμα 2.40, αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Corporate. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 Κ\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.41.

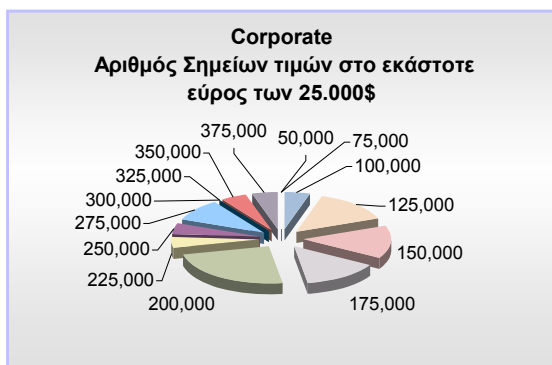
Στο Σχήμα 2.42, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 Κ\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες Corporate, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.43.



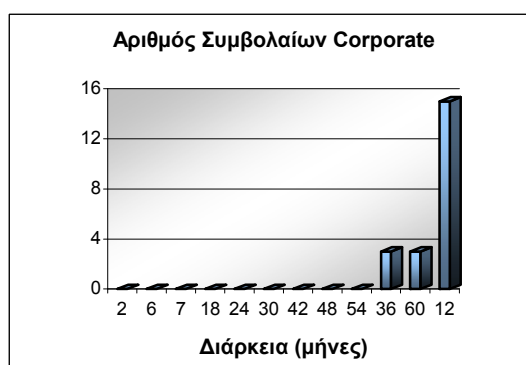
Σχήμα 2.40



Σχήμα 2.41



Σχήμα 2.42



Σχήμα 2.43

2.2.5 Υπηρεσίες Broadcast

Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Broadcast.

Ο Πίνακας 2.15, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

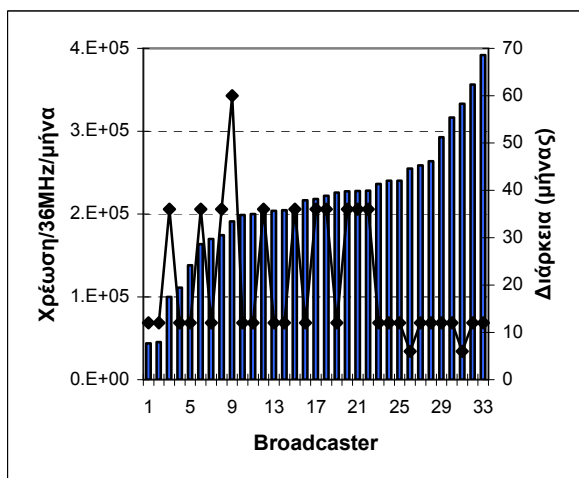
μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
215.350,6	76.121,8	35,35%	20,36	13,49

Πίνακας 2.15

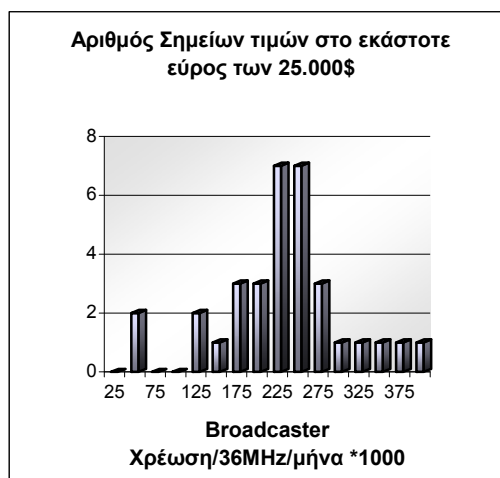
Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας και της διάρκειας μίσθωσης, είναι: $-0,1967$, όπου βλέπουμε ότι πρακτικά δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Στο Σχήμα 2.44, αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Broadcast. Το αντίστοιχο ιστόγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$, φαίνεται στο Σχήμα 2.45.

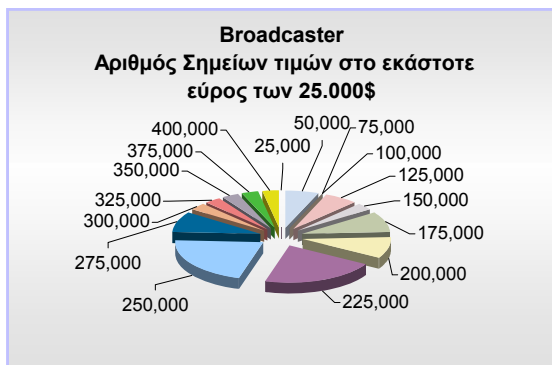
Στο Σχήμα 2.46, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα, για την χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας ανά 25 K\$ σε μορφή πίτας (pie), ενώ το ιστόγραμμα της διάρκειας μίσθωσης, για υπηρεσίες Broadcast, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.47.



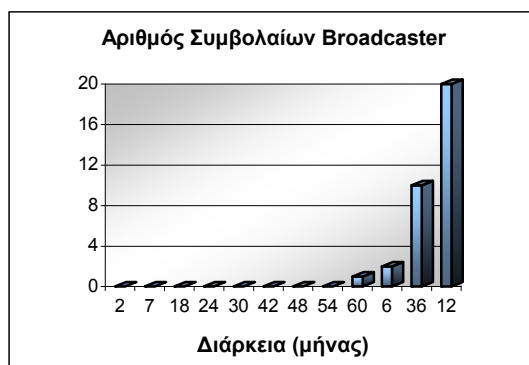
Σχήμα 2.44



Σχήμα 2.45



Σχήμα 2.46



Σχήμα 2.47

2.2.6 Υπηρεσίες Government

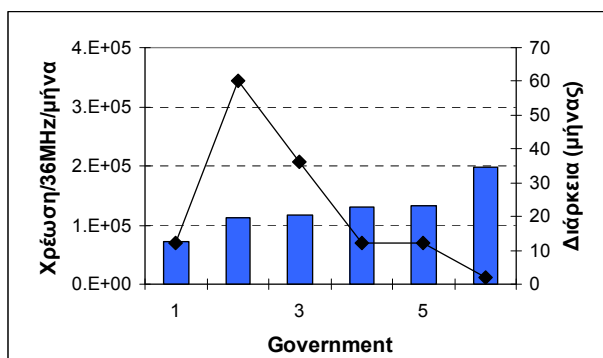
Τα δεδομένα προς επεξεργασία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα και αποτελούνται από δεδομένα χρέωσης ανά 36 MHz, ανά μήνα (Price/36MHz/month), διάρκεια μίσθωσης σε μήνες (Duration (months)) και ζητούμενο εύρος ζώνης βάση συμβολαίου μίσθωσης (BW, MHz), για την υπηρεσία Government.

Ο Πίνακας 2.16, παρουσιάζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση τόσο για τη χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας των 36 MHz, όσο και για τη διάρκεια μίσθωσης.

μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	σ/μ χρέωσης ανά 36 MHz ανά μήνα	μ διάρκειας	σ διάρκειας
126.847,9	40.514,3	31,94%	22,33	21,63

Πίνακας 2.16

Στο Σχήμα 2.48, αναπαρίσταται τόσο η χρέωση της ισοδύναμης χωρητικότητας (ραβδόγραμμα), όσο και η διάρκεια μίσθωσης (διάγραμμα διασποράς), για υπηρεσίες Government, από το περιορισμένο διαθέσιμο στατιστικό δείγμα.



Σχήμα 2.48

2.2.7 Υπηρεσίες Video Contribution, Media Company

Για Video Contribution και Media Company δεν υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες δηλαδή έχουμε τα ίδια σεντ τιμών (ίδιες γραφικές παραστάσεις).

2.3 Παρατηρήσεις

Από την επεξεργασία των συλλεγμένων δεδομένων στις Ενότητες 1 και 2, προέκυψαν οι ακόλουθες παρατηρήσεις.

- Για κάθε δυνατή υπηρεσία και στις δύο Ενότητες 1 και 2, παρατηρούνται μεγάλες τιμές της τυπικής απόκλισης (σ) των τιμών και άρα μεγάλο εύρος ζώνης τιμών χρέωσης ανά υπηρεσία ($\mu \pm \sigma$). Αυτό οφείλεται εν μέρη στον περιορισμένο αριθμό δεδομένων που ήταν διαθέσιμοι κατά την συλλογή των στοιχείων, αλλά και στη μεγάλη διασπορά τιμών που επηρεάζεται και από άλλους ετερογενείς παράγοντες για την ίδια υπηρεσία όπως το ζητούμενο εύρος ζώνης, η χρονική στιγμή της επισύναψης του συμβολαίου, η ζήτηση της αγοράς την εκάστοτε χρονική περίοδο κ.λ.π.
- Στην Ενότητα 1, η μέγιστη μέση τιμή χρέωσης παρατηρείται στην υπηρεσία Media Company και η μικρότερη μέση τιμή χρέωσης στην υπηρεσία Government.
- Στην Ενότητα 2, η μέγιστη μέση τιμή χρέωσης παρατηρείται στην υπηρεσία Media Company και η μικρότερη μέση τιμή χρέωσης στην υπηρεσία Video Contribution.
- Στην Ενότητα 1, η μικρότερη από τις διαθέσιμες τιμή της τυπικής απόκλισης χρέωσης παρατηρείται στην Υπηρεσία VSAT και η μεγαλύτερη στην Υπηρεσία Broadcast, ενώ στην Ενότητα 2, η μικρότερη τιμή της τυπικής απόκλισης χρέωσης παρατηρείται στην Υπηρεσία Government και η μεγαλύτερη στην Υπηρεσία Telephony.
- Η μέση τιμή της διάρκειας μίσθωσης κυμαίνεται από τους 12 μήνες έως περίπου τους 30 μήνες και στις δύο Ενότητες. Παρατηρείται όμως μεγάλη διασπορά των τιμών, με μεγέθη τυπικής απόκλισης της διάρκειας μίσθωσης να φτάνουν στο 97% (Ενότητα 2, Υπηρεσία Government), ξεκινώντας από ποσοστό 60% απόκλισης από την μέση τιμή (Ενότητα 1, Υπηρεσία VSAT), τιμές πολύ μεγαλύτερες της τυπικής απόκλισης που παρατηρείται στη χρέωση των υπηρεσιών.
- Η συσχέτιση (ρ) της χρέωσης ανά υπηρεσία και της διάρκειας μίσθωσης της, έχει πολύ χαμηλή τιμή και έτσι δεν συσχετίζονται τα δύο μεγέθη.
- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα πραγματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και προήλθαν από την διεθνή Δορυφορική αγορά ήταν περιορισμένα σε πλήθος, γεγονός που περιορίζει το πεδίο τιμών της στατιστικής επεξεργασίας. Η ακριβέστερη αριθμητική περιγραφή των μεγεθών, θα απαιτούσε την αύξηση του στατιστικού δείγματος, αλλά το πλήθος των δεδομένων κρίνεται ικανό να δώσει μια ευρεία εικόνα κίνησης των τιμών.

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής

3.1 Λογική υλοποίησης

Στο επόμενο στάδιο της μελέτης, γίνεται η υλοποίηση ενός Ευρετικού μοντέλου λήψης αποφάσεων, όπου γίνεται η σύγκριση διαφορετικών σεναρίων συνδυασμών πελατών, που ζητούν μίσθωση διαστημικής χωρητικότητας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στόχος αποτελεί ο προσδιορισμός του καλύτερου δυνατού σεναρίου, με χρήση Ευρετικών Τεχνικών, δηλαδή του σεναρίου που οδηγεί σε μεγιστοποίηση των εσόδων για τον Δορυφορικό Παροχέα. Κάθε σενάριο οδηγεί σε ένα δέντρο αποφάσεων με ζητούμενο τη μεγιστοποίηση των εσόδων και περιγράφεται με όρους πραγματικών και αναμενομένων εσόδων με την αντίστοιχη πιθανότητα αποκομιδής αυτών/ρίσκο, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις μέσες τιμές καθώς και τις τυπικές αποκλίσεις [35], [36].

Σε έναν Δορυφορικό Παροχέα εισρέουν πελάτες με διαφορετικές απαιτήσεις μίσθωσης. Κάθε πελάτης ζητά την μίσθωση δορυφορικής χωρητικότητας με συγκεκριμένο εύρος ζώνης, για δεδομένη χρονική περίοδο και με αντίστοιχο κόστος. Το μοντέλο παρέχει την απαραίτητη πληροφορία για τον καθορισμό του πιο προσοδοφόρου συνδυασμού πελατών, για το Δορυφορικό Παροχέα.

Η δομή του μοντέλου ξεκινά με τις παραμέτρους εισόδου. Ως είσοδος λαμβάνονται τα χαρακτηριστικά των πιθανών πελατών, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 και είναι οι ακόλουθοι:

Ορισμός 3.1

- \mathcal{S} : ο τύπος της ζητούμενης υπηρεσία,
- k : ο αύξων αριθμός πελάτη,
- w_k (MHz): η ζητούμενη χωρητικότητα σε MHz από το k -οστό πελάτη ($w_k \in [1,36] \subseteq \mathcal{R}$). Στην περίπτωση που η ζητούμενη χωρητικότητα είναι πάνω από 36 MHz, τότε ο συγκεκριμένος πελάτης μπορεί να ικανοποιηθεί από την πλήρη κατάληψη ενός ή περισσότερων πομποδεκτών. Σε αυτή την περίπτωση αντί της ζητούμενης χωρητικότητας w_k , υπολογίζεται η ποσότητα 'α_k' που είναι η χωρητικότητα που απομένει και δεν καταλαμβάνει ολόκληρο πομποδέκτη ως: $w_k = \beta \cdot 36 + a_k$, $\beta \in \mathbb{N}$,

- t_{start_k} : ο αρχικός χρόνος (μήνας), για τον οποίο ο k-οστός πελάτης ζητά τη μίσθωση της χωρητικότητας w_k , λαμβάνοντας ως χρονικό ορίζοντα τα πέντε χρόνια ($t_{start_k} \in [1, 60] \subseteq N$),
- t_{end_k} : ο τελικός χρόνος (μήνας), για τον οποίο ο k-οστός πελάτης ζητά τη μίσθωση της χωρητικότητας w_k , λαμβάνοντας ως χρονικό ορίζοντα τα πέντε χρόνια ($t_{end_k} \in [1, 60] \subseteq N$)

και

- C_k : το αντίστοιχο κόστος επιμίσθωσης της ζητούμενης χωρητικότητας του k-οστού πελάτη, σε Δολάρια (US\$), εξαρτώμενο από τον τύπο της ζητούμενης υπηρεσίας.

k	S	t_{start_k} (μήνας)	t_{end_k} (μήνας)	t_k (μήνας)	w_k (MHz)	C_k (K\$)
1	A	1	15	15	12	15
2	B	3	10	8	15	20
3	Γ	2	20	19	1	1
4	Δ	6	22	17	5	10
5	E	1	16	16	3	5
6	Z	1	18	18	5	5
7	H	3	10	8	18	30
8	Θ	11	15	5	19	20
9	I	4	30	27	8	9
10	K	3	23	21	4	3

Πίνακας 3.1: Παράμετροι Εισόδου μοντέλου

Η υλοποίηση του μοντέλου γίνεται με χρήση δύο διαφορετικών λογισμικών και ορίων.

Στην πρώτη υλοποίηση –**Μοντέλο 1**- χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Microsoft Office Excel, λαμβάνοντας υπ' όψιν την απαίτηση για παραγωγή εύχρηστης μορφής λογισμικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε τελικό χρήστη (end-user). Τα όρια του μοντέλου είναι η σύγκριση πιθανών συνδυασμών έως 6 πελατών (57 κατά το μέγιστο συνδυασμοί) με μέγιστη διάρκεια ζητούμενης μίσθωσης τα 5 χρόνια (60 μήνες), που κρίνεται ως χαρακτηριστικός ρυθμός εισροής πελατών ($k \in [1,6] \subseteq \mathbb{N}$).

Στην δεύτερη υλοποίηση –**Μοντέλο 2**- χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Microsoft .NET Framework, όπου και επεκτείνονται τα όρια του μοντέλου, σε σύγκριση πιθανών συνδυασμών έως 10 πελατών (1.048.555 κατά το μέγιστο συνδυασμοί), με μέγιστη διάρκεια ζητούμενης μίσθωσης τα 5 χρόνια και υπάρχει η απαίτηση για μεγάλη υπολογιστική ισχύ ($k \in [1,10] \subseteq \mathbb{N}$).

Στη δομή του μοντέλου έχει περιληφθεί η δυνατότητα έναρξης της μίσθωσης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (διαφορετικούς μήνες). Το ενδεικτικό κόστος χρέωσης της κάθε υπηρεσίας υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2. Δίνεται επίσης η δυνατότητα στο Δορυφορικό Παροχέα, διαφοροποίησης της χρέωσης των πελατών ακόμη κι όταν ζητούν τα ίδια χαρακτηριστικά μίσθωσης, όταν το κρίνει απαραίτητο.

Κατόπιν υπολογίζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί πελατών k ανά k . Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους περιορισμούς χωρητικότητας σε κάθε πομποδέκτη του Δορυφόρου (transponder), που δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 36 MHz μπορούμε να χαρακτηρίσουμε κάθε συνδυασμό πελατών ως *Εφικτός*, *Μη Εφικτός* ή *Διαπραγματεύσιμος Συνδυασμός*.

Ορισμός 3.2

- Ο *Διαπραγματεύσιμος Συνδυασμός*, είναι ο συνδυασμός πελατών που υπερβαίνει το πολύ κατά 1MHz τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα του πομποδέκτη και μπορεί πιθανά να αποτελέσει εστία διαπραγμάτευσης μεταξύ πελατών και Δορυφορικού Παροχέα,
- Ο *Εφικτός Συνδυασμός*, είναι ο πραγματοποιήσιμος συνδυασμός πελατών από την σκοπιά της χωρητικότητας του πομποδέκτη και
- ο *Μη Εφικτός Συνδυασμός*, είναι ο μη πραγματοποιήσιμος συνδυασμός.

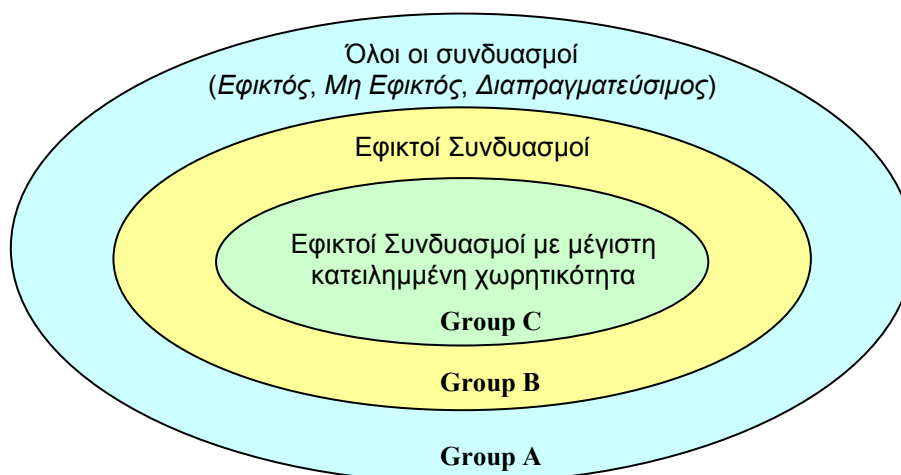
Το προτεινόμενο μοντέλο δίνει τη δυνατότητα αύξουσας διάταξης των συνδυασμών, ώστε να εμφανίζονται μόνο οι *Εφικτοί Συνδυασμοί* (Σχήμα 3.1, Group B).

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή ενός υποσυνόλου των *Εφικτών Συνδυασμών*, που θα θέλαμε να συγκρίνουμε και είναι οι επικρατέστεροι συνδυασμοί που θα δώσουν τα μεγαλύτερα έσοδα. Αυτοί είναι οι Εφικτοί Συνδυασμοί με την μέγιστη κατειλημμένη χωρητικότητα, δηλαδή με το μέγιστο άθροισμα ζητούμενης χωρητικότητας από κάθε πελάτη του συνδυασμού. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο τμήμα του πομποδέκτη του Δορυφόρου είναι κατειλημμένο τόσο περισσότερα έσοδα θα αποδίδονται στην επιχείρηση και ονομάζονται *Πραγματικά Έσοδα* (Σχήμα 3.1, Group C).

Η επιλογή του καλύτερου εξ' αυτών των Εφικτών Συνδυασμών με μέγιστη

κατειλημμένη χωρητικότητα, γίνεται με τα εξής 2 κριτήρια:

- α) Από τα *Πραγματικά Έσοδα*, που είναι το άθροισμα των εσόδων που προκύπτουν από την μίσθωση της χωρητικότητας στους πελάτες του κάθε συνδυασμού.
- β) Από τον υπολογισμό *Επιπλέον Αναμενόμενων Εσόδων*, λαμβάνοντας υπ όψιν την τυπική απόκλιση των τιμών και το αντίστοιχο ρίσκο.



Σχήμα 3.1: Όλοι οι συνδυασμοί Πελατών

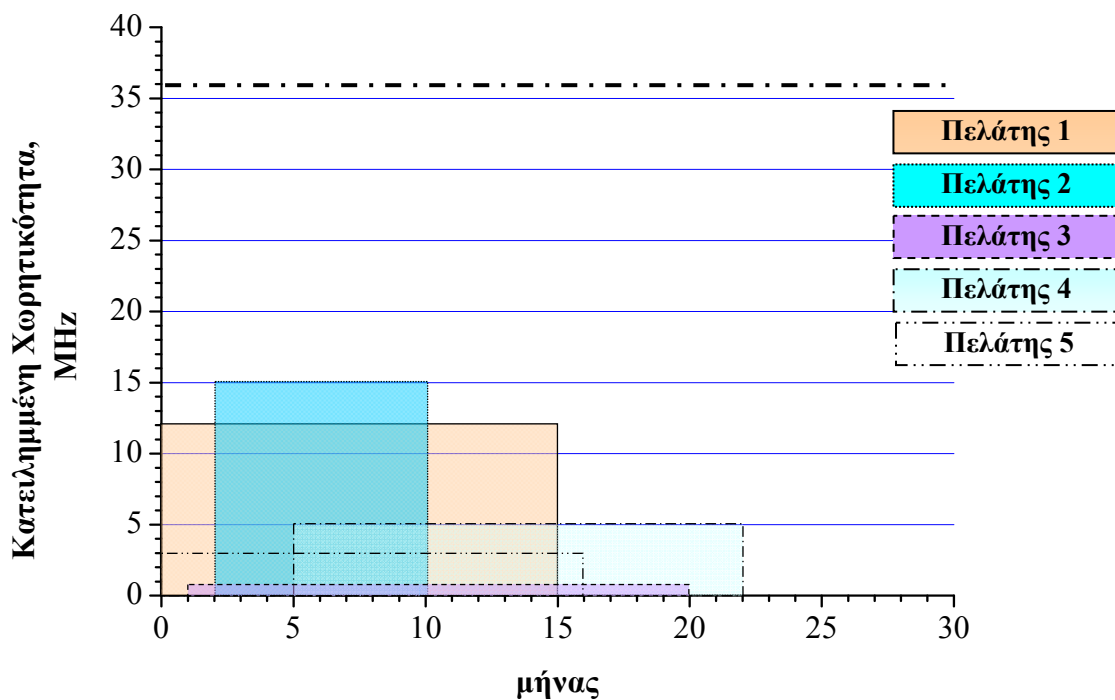
Τα *Επιπλέον Αναμενόμενα Έσοδα* αποτελούνται από πιθανά έσοδα από μίσθωση της *Εναπομένουσας* και της *Κενής Χωρητικότητας*, όπως ορίζονται ακολούθως.

Ορισμός 3.3

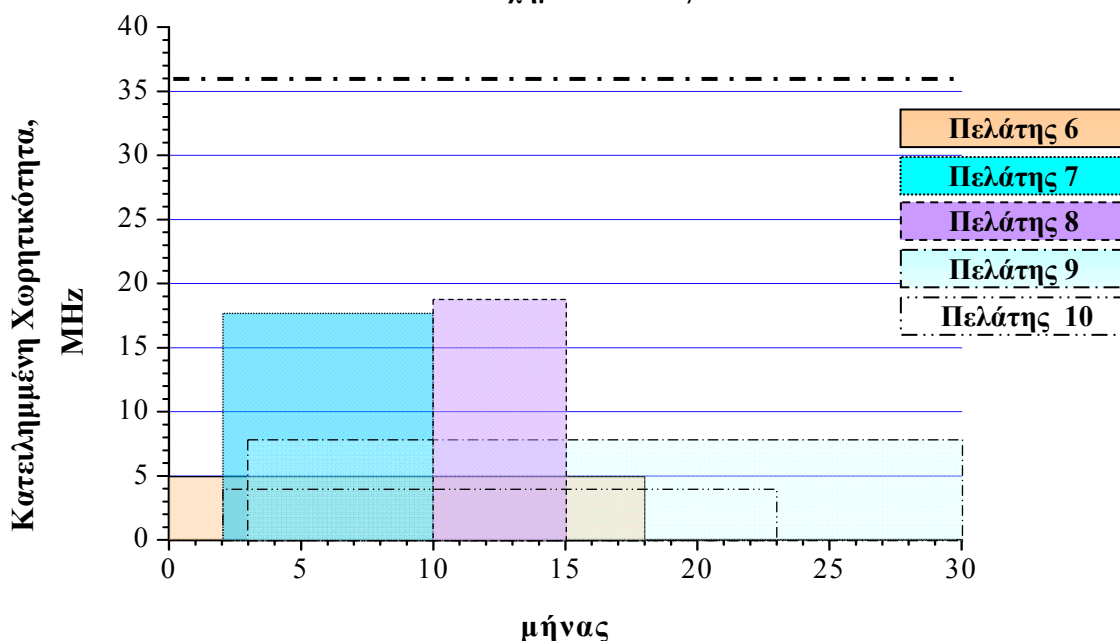
- Κάθε συνδυασμός έχει διαφορετική μέγιστη χρονική κάλυψη. Δηλαδή το μέγιστο t_{end_k} των πελατών ενός συνδυασμού, δεν ταυτίζεται απαραίτητα με το αντίστοιχο του συνδυασμό με τον οποίο συγκρίνεται. Οπότε για να είναι δυνατή η ορθή σύγκριση των διαφόρων σεναρίων, αυτά ανάγονται όλα στην ίδια χρονική διάρκεια. Έτσι υπολογίζονται τα δυνατά έσοδα που μπορούν να αποκομισθούν, από την μίσθωση της προκύπτουσας χωρητικότητας, από αυτό το Εναπομένον Χρονικό διάστημα και ονομάζεται '*Εναπομένουσα Χωρητικότητα*' (*C Εναπομένουσα*).
- Επίσης σε κάθε σενάριο είναι πιθανόν, σε κάποιους μήνες, να μην είναι κατειλημμένο το 100% της διαθέσιμης χωρητικότητας του πομποδέκτη. Αυτό οδηγεί στο μη επιθυμητό γεγονός, της μερικής κατάληψης του πομποδέκτη, σε κάποιους μήνες, από τους πελάτες του συνδυασμού. Έτσι είναι πιθανόν ο Δορυφορικός Παροχέας να ενοικιάσει αυτή τη διαθέσιμη χωρητικότητα σε μελλοντικούς πελάτες, που δεν περιλαμβάνονται στον συνδυασμό. Υπολογίζονται τα πιθανά έσοδα που μπορούν να προκύψουν από τη μίσθωση αυτής της χωρητικότητας, μέχρι τα 36 MHz, που είναι η μέγιστη χωρητικότητα ενός πομποδέκτη του Δορυφόρου, ανάλογα με το εύρος ζώνης που είναι κενό κατά τη διάρκεια της μίσθωσης. Αυτή η χωρητικότητα ονομάζεται '*Κενή Χωρητικότητα*' (*C Κενή*).

Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο παράδειγμα, έστω ότι υπάρχουν δύο επικρατέστερα σενάρια, που ο Δορυφορικός Παροχέας θέλει να συγκρίνει και να αποφασίσει ποιο από αυτά οδηγεί σε μεγιστοποίηση των εσόδων του, όπου τα χαρακτηριστικά μίσθωσης των πελατών, εμφανίζονται στον Πίνακα 3.1. Αυτά είναι:

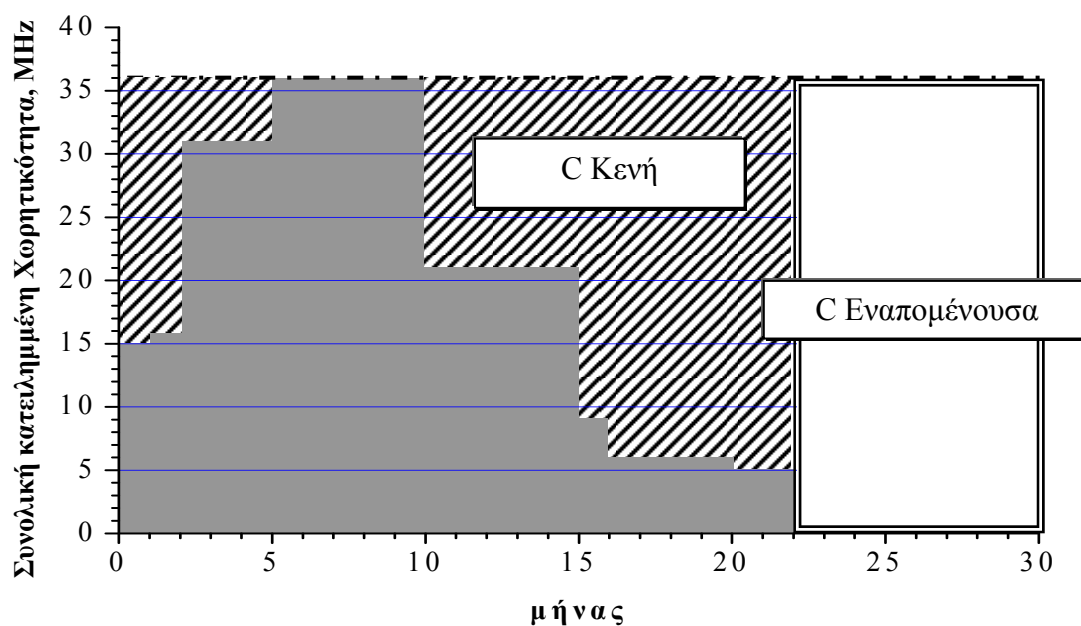
- Σενάριο 1, όπου περιλαμβάνει το συνδυασμό των πελατών με αύξων αριθμό (k): 1, 2, 3, 4 και 5 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2 και
- Σενάριο 2, όπου περιλαμβάνει το συνδυασμό των πελατών με αύξων αριθμό (k): 6, 7, 8, 9 και 10 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3.



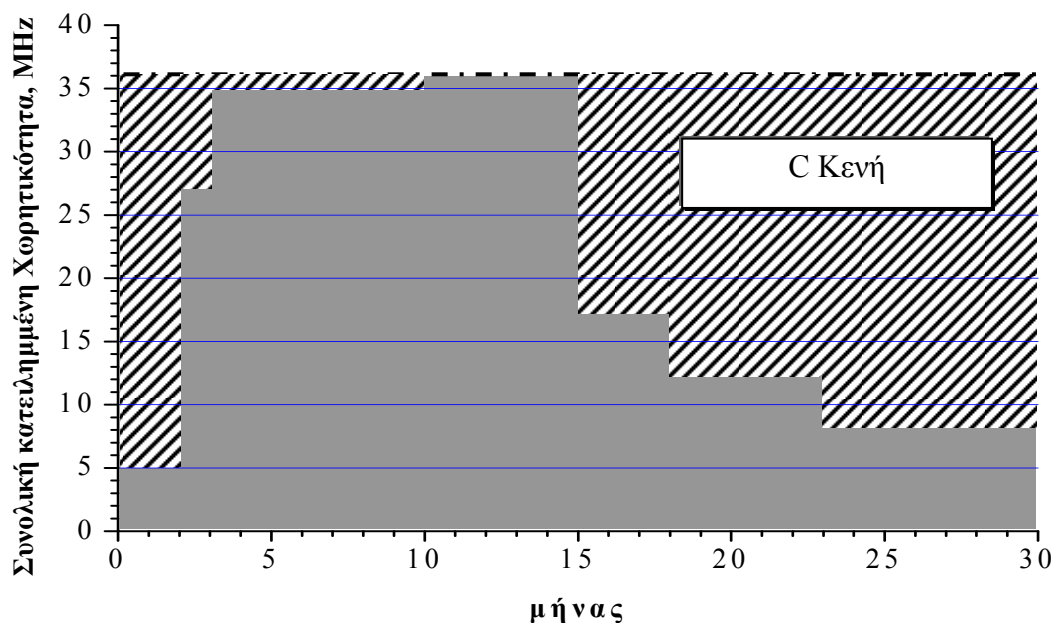
Σχήμα 3.2: Σενάριο 1



Σχήμα 3.3: Σενάριο 2



Σχήμα 3.4: Σενάριο 1



Σχήμα 3.5: Σενάριο 2

Το άθροισμα της κατελιγμένης χωρητικότητας του πομποδέκτη, από τους πελάτες των συνδυασμών του Σεναρίου 1 και Σεναρίου 2, παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.4 και 3.5, αντίστοιχα.

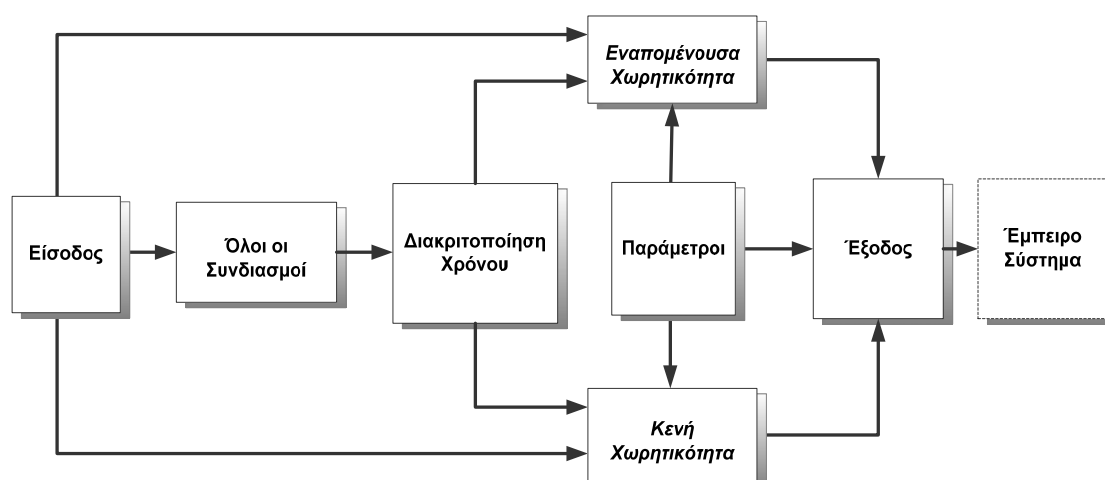
Στο Σενάριο 1, έχουμε μέγιστη χρονική διάρκεια τον 22ο μήνα, ενώ στο Σενάριο 2 τον 30ο μήνα. Οπότε για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα δύο σενάρια, υπολογίζονται τα δυνατά έσοδα για το Σενάριο 1, που μπορούν να αποκομισθούν από

την ελεύθερη χωρητικότητα των 36MHz, στους 8 μήνες. Αυτή είναι η ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’ και εμφανίζεται στην λευκή περιοχή του Σχήματος 3.4.

Παρατηρείται ακόμη και στα δύο Σενάρια, μη πλήρης κατάληψη των διαθέσιμων 36 MHz του πομποδέκτη του Δορυφόρου, σε όλους τους μήνες. Αυτή η ‘Κενή Χωρητικότητα’ εμφανίζεται στην διαγεγραμμένη περιοχή των Σχημάτων 3.4 και 3.5. Στο Σενάριο 1 για παράδειγμα, υπάρχουν 21 MHz διαθέσιμα κατά τη διάρκεια του 1^{ου} μήνα, 20 MHz διαθέσιμα κατά τη διάρκεια του 2^{ου} μήνα, 5 MHz διαθέσιμα από τον 3^ο μέχρι τον 5^ο μήνα, 0 MHz διαθέσιμα από τον 5^ο μέχρι τον 10^ο μήνα κ.ο.κ. Αυτά τα πιθανά έσοδα περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς.

Η γενική δομή του μοντέλου παρουσιάζεται στο λογικό διάγραμμα του Σχήματος 3.6. Το εργαλείο ξεκινά με την Κύρια Είσοδο, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1 και αποτελείται από τις απαιτήσεις των πελατών που εμφανίζονται στον Δορυφορικό Παροχέα. Ακολούθως, υπολογίζονται Όλοι οι Συνδυασμοί πελατών και λαμβάνονται υπ’ όψιν τα δυναμικά χαρακτηριστικά τους, δηλαδή η εξέλιξη στον χρόνο, κάνοντας Διακριτοποίηση Χρόνου. Όλα τα δυνατά έσοδα από τη μίσθωση της Κενής και Εναπομένουσας Χωρητικότητας υπολογίζονται, χρησιμοποιώντας Παραμέτρους χρέωσης και ζήτησης όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Η Έξοδος του μοντέλου αποτελεί ένα δέντρο αποφάσεων που θα καθορίσει τη βέλτιστη τιμολογιακή πολιτική του Δορυφορικού Παροχέα.

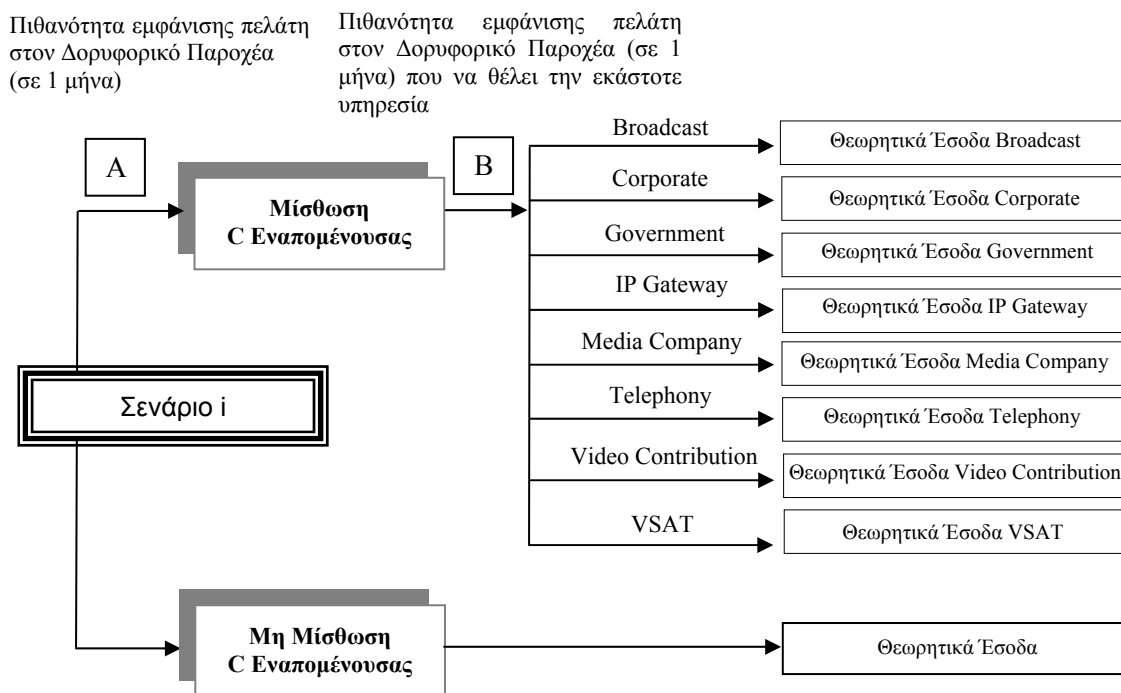
Η Έξοδος του μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος σε ένα Έμπειρο Σύστημα. Το σύστημα αυτό θα περιλαμβάνει περιορισμούς που θα διέπουν τις αποφάσεις για τον Δορυφορικό Παροχέα. Έτσι μέσω μιας βάσης γνώσεων θα μπορεί να περιοριστεί περισσότερο το σύνολο των αποφάσεων. Τα κριτήρια επιλογής μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία χαρακτηρισμού του πελάτη, όπως αν ζητείται κυβερνητική ή στρατιωτική υπηρεσία, όπου και θα πρέπει να ικανοποιηθεί υποχρεωτικά, στοιχεία όπως η φερεγγυότητα ή το οικονομικό μέγεθος του πελάτη κ.λ.π. Ο προσδιορισμός των στοιχείων αυτών της βάσης, που φιλτράρουν τις αποφάσεις θα αναπτυχθεί από τον ίδιο τον Δορυφορικό Παροχέα, μέσω της εμπειρίας που προκύπτει από την λειτουργία του και την επιλογή των αποφάσεων του.



Σχήμα 3.6: Λογικό Διάγραμμα δομής μοντέλου λήψης αποφάσεων

Υπολογισμός εσόδων από την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’

Για κάθε σενάριο, υπολογίζονται τα δυνατά έσοδα που μπορούν να αποκομισθούν από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’. Ο υπολογισμός κατηγοριοποιείται ανάλογα με την υπηρεσία που δυνητικά θα εξυπηρετήσει, καλύπτοντας τα εναπομένοντα 36 MHz. Οπότε για κάθε Σενάριο προκύπτει ένα δέντρο αποφάσεων, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7: Έσοδα από την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’

Οι **Αναμενόμενες Τιμές των Θεωρητικών Εσόδων** που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ (ExpValCrem), ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας υπολογίζονται ως:

$$\begin{aligned}
 & \text{Πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στον Δορυφορικό Παροχέα (σε 1 μήνα)} \\
 & \text{που να θέλει την εκάστοτε υπηρεσία*} \\
 & \text{Μέση τιμή } (\mu) \text{ χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα *} \\
 & \text{Πλήθος μηνών*} \\
 & \text{Πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στον Δορυφορικό}
 \end{aligned}$$

ενώ τα πιθανά **Θεωρητικά Έσοδα** που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ (ThRevCrem), ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας προκύπτουν από τον τύπο:

Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα *
Πλήθος μηνών

Οι **Αναμενόμενες Τιμές των Θεωρητικών Εσόδων**, είναι ένα ενδιάμεσο υπολογιζόμενο μέγεθος, που χρησιμοποιείται για την σύγκριση σεναρίων. Το μέγεθος αυτό ενσωματώνει το αντίστοιχο ρίσκο (πιθανότητες υλοποίησης κάθε κλάδου του δέντρου αποφάσεων) και μετράει την ποιότητα απόδοσης των Σεναρίων, ενώ τα **Θεωρητικά Έσοδα** είναι τα ποσά σε US\$ που μπορούν να αποκομισθούν ακολουθώντας κάθε κλάδο του δέντρου αποφάσεων.

Η ποσότητα, Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα, είναι η μέση τιμή χρέωσης κάθε υπηρεσίας, αναφερόμενη σε εύρος ζώνης 36MHz, όπως προέκυψε από τα δεδομένα της στατιστικής ανάλυσης και περιγράφεται στους Πίνακες 3.2 και 3.3.

Υπολογίζονται επίσης οι τυπικές αποκλίσεις τόσο των **Αναμενομένων Τιμών Θεωρητικών Εσόδων**, όσο και των **Θεωρητικών Εσόδων**, για κάθε υπηρεσία, ώστε να εκτιμηθεί το συσχετιζόμενο ρίσκο.

Όλες οι τιμές χρεώσεων αλλά και πιθανοτήτων εμφάνισης για την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από τη διεθνή δορυφορική αγορά και αποτελούν τμήμα των Παραμέτρων, στο λογικό διάγραμμα δομής του μοντέλου.

A/A	Service	Πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στον Δ.Π. (σε 1 μήνα) που να θέλει την εκάστοτε υπηρεσία	Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα	Τυπική απόκλιση (σ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα
1	Broadcast	0.077	215,350.60	76,121.80
2	Corporate	0.123	186,129.40	75,289.50
3	Government	0.031	126,847.90	40,514.30
4	IP Gateway	0.185	158,564.80	65,430.20
5	Media company	0.015	295,833.60	
6	Telephony	0.277	178,587.90	76,948.50
7	Video Contribution	0.031	125,100.00	
8	VSAT	0.262	186,823.70	74,489.80

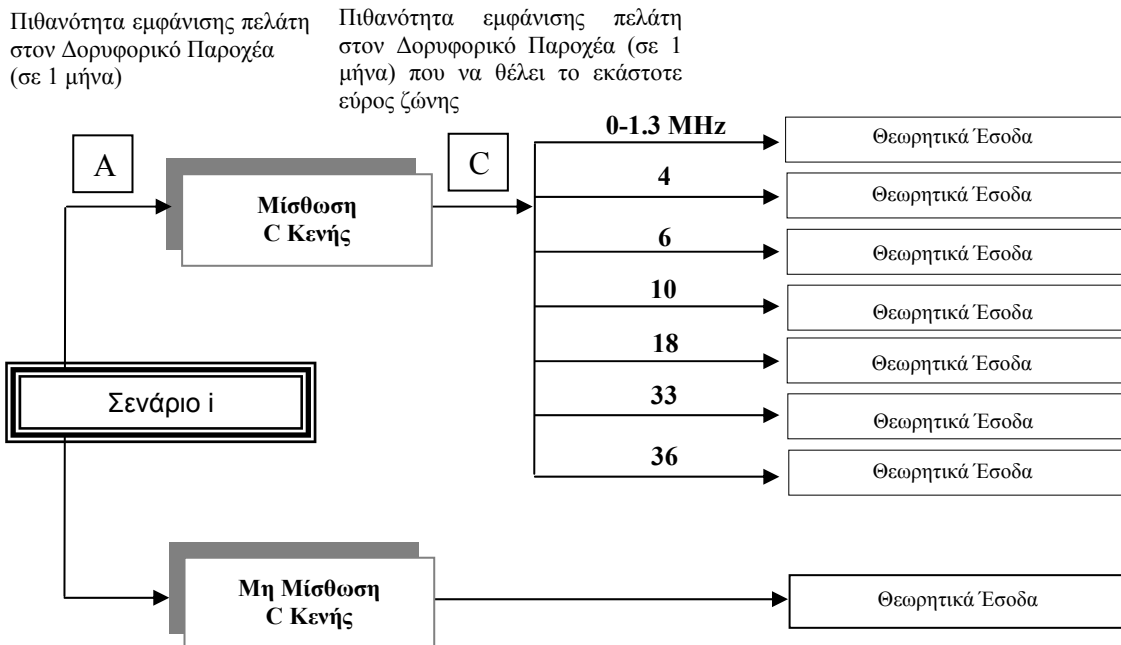
Πίνακας 3.2: Παράμετροι σχετιζόμενοι με την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’

Υπολογισμός εσόδων από την ‘Κενή Χωρητικότητα’

Για κάθε σενάριο, υπολογίζονται τα πιθανά έσοδα που μπορούν να προκύψουν από τη μίσθωση της υπολειπόμενης χωρητικότητας μέχρι τα 36 MHz, που είναι η μέγιστη χωρητικότητα ενός πομποδέκτη του δορυφόρου, ανάλογα με το εύρος ζώνης που είναι κενό, κατά τη διάρκεια της μίσθωσης.

Ομοίως, για κάθε σενάριο υπολογίζονται ανάλογα όλα τα δυνατά έσοδα (**Αναμενόμενες Τιμές Θεωρητικών Εσόδων** και **Θεωρητικά Έσοδα**), που μπορούν να αποκομισθούν από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’. Ο υπολογισμός κατηγοριοποιείται ανάλογα με το εύρος ζώνης που είναι κενό κατά τη διάρκεια της μίσθωσης, μέχρι τα 36MHz και δεν καλύπτεται από τους πελάτες του συνδυασμού.

Τα επιλεγμένα εύρη ζώνης κενής χωρητικότητας φαίνονται στο Σχήμα 3.8. Σε κάθε ένα από αυτά τα επιλεγμένα εύρη ζώνης αντιστοιχεί μια πιθανότητα εμφάνισης ενός νέου πελάτη στο Δορυφορικό Παροχέα, που να ζητά μίσθωση του εκάστοτε εύρους ζώνης. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία των συλλεγμένων δεδομένων. Προκύπτει έτσι ένα δέντρο αποφάσεων, για κάθε σενάριο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Έσοδα από την ‘Κενή Χωρητικότητα’

Οι **Αναμενόμενες Τιμές των Θεωρητικών Εσόδων** που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ (ExpValCempty), υπολογίζονται ως:

Πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στον Δορυφορικό Παροχέα (σε 1 μήνα)
που να θέλει το εκάστοτε εύρος ζώνης*
Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα *
Κενή Χωρητικότητα (MHz)*
Πλήθος μηνών*

ενώ τα πιθανά **Θεωρητικά Έσοδα** που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ (TheRevCempty), ανάλογα με το ζητούμενο εύρος ζώνης προκύπτουν από τον τύπο:

Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα *
Κενή Χωρητικότητα (MHz)*
Πλήθος μηνών

Η ποσότητα, Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα, προέκυψε από τις τιμές της Μέσης τιμής (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα διαιρεμένες με 36 και υπολογίστηκαν στην Ενότητα 2, του Κεφαλαίου 2.

Υπολογίζονται επίσης οι τυπικές αποκλίσεις τόσο των **Αναμενομένων Τιμών των Θεωρητικών Εσόδων** όσο και των **Θεωρητικών Εσόδων**, για κάθε υπηρεσία ώστε να εκτιμηθεί το συσχετιζόμενο ρίσκο.

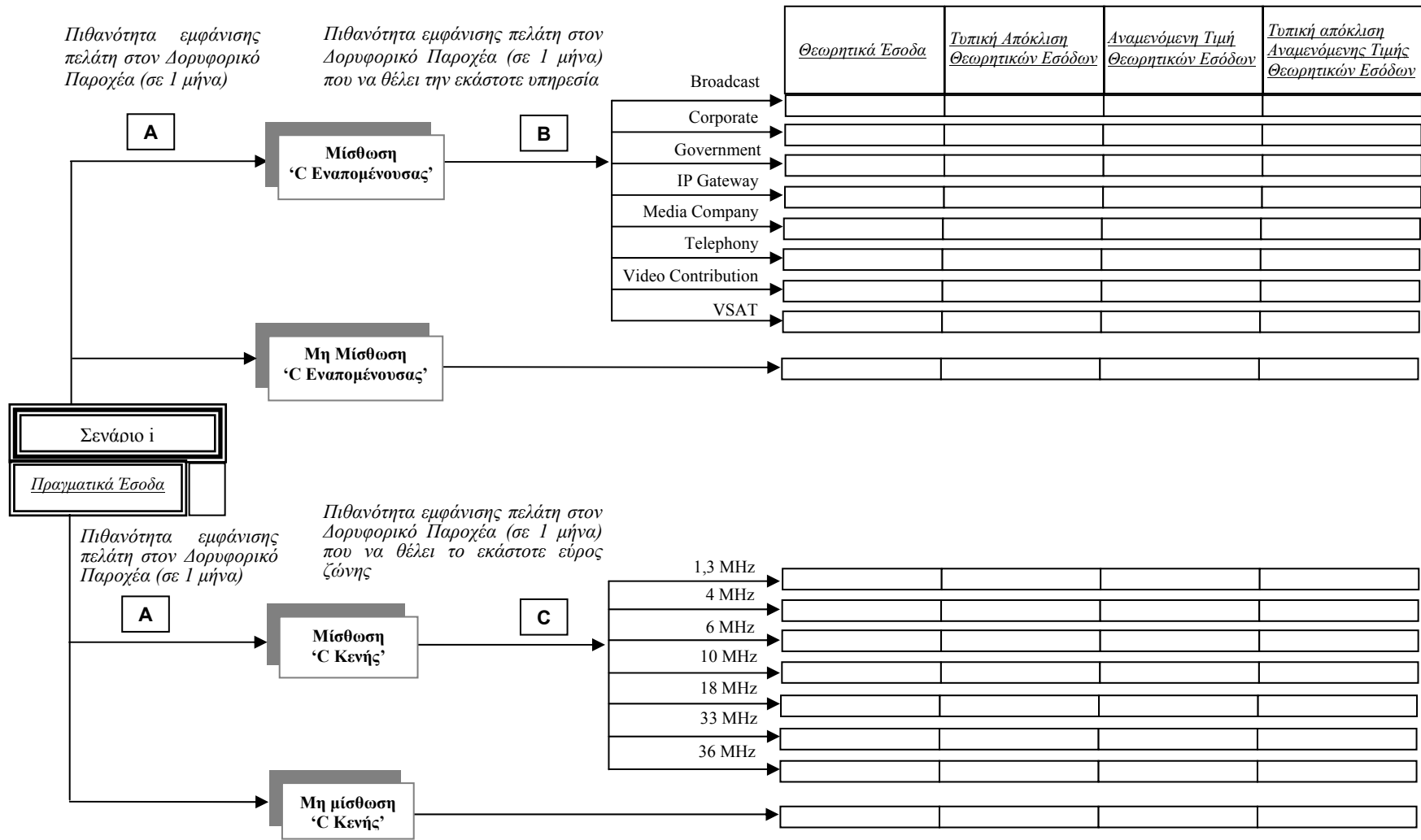
Όλες οι τιμές χρεώσεων αλλά και πιθανοτήτων εμφάνισης για την ‘Κενή Χωρητικότητα’, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3. Υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από τη διεθνή δορυφορική αγορά και αποτελούν τμήμα των Παραμέτρων στο λογικό διάγραμμα δομής του μοντέλου.

A/A	Εύρος Ζώνης, MHz	Πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στον Δ.Π. (σε 1 μήνα) που να θέλει το εκάστοτε εύρος ζώνης	Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα	Τυπική απόκλιση (σ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα
1	1.3	0.23	5,726.57	2,213.51
2	4	0.02	5,233.71	2,709.99
3	6	0.02	4,430.67	1,366.90
4	10	0.03	4,532.38	1,837.24
5	18	0.02	4,147.86	839.88
6	33	0.03	6,114.00	3,225.93
7	36	0.27	5,731.49	2,365.58

Πίνακας 3.3: Παράμετροι σχετιζόμενοι με την ‘Κενή Χωρητικότητα’

Αποτελέσματα: Δέντρο Αποφάσεων

Όλα τα δεδομένα ενσωματώνονται και παρουσιάζονται στην έξοδο του μοντέλου λήψης αποφάσεων, για το καλύτερο επιχειρηματικό σχέδιο ενός Δορυφορικού Παροχέα, στη μορφή ενός ενοποιημένου δέντρου αποφάσεων του Σχήματος 3.9.



Σχήμα 3.9: Εξοδος μοντέλου λήψης αποφάσεων

3.2 Μαθηματική περιγραφή Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής

Η Κύρια Είσοδος του ευρετικού μοντέλου αποτελείται από τις παραμέτρους εισόδου, όπως ορίστηκαν στην παράγραφο 3.1, Ορισμός 3.1. Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί k ανά k πελατών είναι:

$$\binom{k}{0} + \binom{k}{1} + \dots + \binom{k}{k} = 2^k \quad \text{Εξ. 3.1}$$

Όπου όλοι οι συνδυασμοί n ανά r αντικειμένων είναι:

$$\binom{n}{r} = \frac{n(n-1)\dots(n-r+1)}{1 \cdot 2 \dots (r-1)r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad \text{Εξ. 3.2}$$

Οπότε όλοι οι συνδυασμοί k ανά k πελατών, λαμβάνοντας μόνο τους συνδυασμούς ανά δύο και πάνω είναι:

$$2^k - \frac{k!}{0!(k-0)!} - \frac{k!}{1!(k-1)!} \quad \text{Εξ. 3.3}$$

Ο περιορισμός αυτός επιβάλλεται μιας και δεν έχει νόημα να εξετασθούν συνδυασμοί με ένα μόνον πελάτη, αφού αυτός θα οδηγήσει σε μικρή κατάληψη χωρητικότητας του Δορυφόρου και κατά συνέπεια χαμηλά έσοδα για τον Δορυφορικό Παροχέα.

Στην περίπτωση του **Μοντέλου 1** οι πιθανοί συνδυασμοί 6 ανά 6 πελατών είναι 57 το πλήθος, ενώ στην περίπτωση του **Μοντέλου 2** οι πιθανοί συνδυασμοί 10 ανά 10 πελατών είναι 1.048.555 το πλήθος.

3.2.1 Υπολογισμός όλων των δυνατών συνδυασμών k ανά k πελατών

Όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί πελατών k ανά k (PC_f), όπου το $f \in [1, 57] \subseteq \mathbb{N}$ στην περίπτωση του **Μοντέλου 1** και $f \in [1, 1.048.555] \subseteq \mathbb{N}$ στην περίπτωση του **Μοντέλου 2** είναι:

$$(PC_f): \left\{ \begin{array}{l} w_\alpha \text{ και } w_\beta \text{ και } w_\gamma \text{ και } w_\delta \text{ και } w_\epsilon \text{ και } w_\zeta, \alpha > \beta > \gamma > \delta > \epsilon > \zeta \\ 0 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{αλλιώς} \end{array} \right\}, \quad \text{Εξ. 3.4}$$

με $\beta \neq 0$ και $\{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta\} \in [1, 6] \subseteq \mathbb{N}$ στην περίπτωση του **Μοντέλου 1** και $\{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta\} \in [1, 10] \subseteq \mathbb{N}$ στην περίπτωση του **Μοντέλου 2**.

Τα $w_\alpha, w_\beta, w_\gamma, w_\delta, w_\epsilon$ και w_ζ είναι βοηθητικοί παράμετροι προσδιορισμού της ζητούμενης χωρητικότητας από κάθε πελάτη του εκάστοτε συνδυασμού. Εισάγεται ο περιορισμός για μη μηδενική τιμή του β , ώστε να εξαιρεθούν συνδυασμοί με έναν μόνο πελάτη.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι παράμετροι:

Ορισμός 3.4

- $d_{i,j}$: ο αύξων αριθμός του μήνα για τον οποίο ο i -οστός πελάτης ζητά τη μίσθωση της χωρητικότητας w_i , κατά τον j -οστό μήνα. Η παράμετρος αυτή κάνει Διακριτοποίηση Χρόνου, όπως παρουσιάζεται στο λογικό διάγραμμα δομής του μοντέλου. Έτσι ο χρόνος διαιρείται σε κομμάτια, μήκους ενός μήνα και αριθμείται το ζητούμενο χρονικό διάστημα μίσθωση κάθε πελάτη t_k ($d_{i,j} \in [1,60] \subseteq \mathbb{N}$, $i \in [1,k] \subseteq \mathbb{N}$)
- $d_{i,j}^{(PC_f)}$: ο αύξων αριθμός του μήνα, για τον οποίο ο i -οστός πελάτης που ανήκει στον συνδυασμού $(PC)_f$, ζητά τη μίσθωση της χωρητικότητας w_i , κατά τον j -οστό μήνα
- $\max \left\{ t_{\text{end}_k}^{(PC_f)} \right\}$: ο μέγιστος μήνας, που ζητείται μίσθωση χωρητικότητας από όλους τους πελάτες του συνδυασμού $(PC)_f$ και ταυτίζεται με τη μέγιστη τιμή του $d_{i,j}^{(PC_f)}$ δηλαδή με το $\max \left\{ d_{i,j}^{(PC_f)} \right\}$
- P_A : η πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στο Δορυφορικό Παροχέα, στη διάρκεια ενός μήνα.

3.2.2 Υπολογισμός εσόδων από ‘Κενή Χωρητικότητα’

Ακολούθως υπολογίζονται τα δυνατά έσοδα (Αναμενόμενες Τιμές και Θεωρητικά Έσοδα) που μπορούν να αποκομισθούν, από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ μέχρι τα 36MHz.

Ο υπολογισμός κατηγοριοποιείται ανάλογα με το εύρος ζώνης που είναι κενό κάθε μήνα, κατά τη διάρκεια της μίσθωσης, μέχρι τα 36MHz και δεν καλύπτεται από τους πελάτες του συνδυασμού. Η κατηγοριοποίηση στα δυνατά εύρη ζώνης ‘Κενής Χωρητικότητας’, προέκυψε από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4.

n	C _n (MHz)
1	1.3
2	4

3	6
4	10
5	18
6	33
7	36

Πίνακας 3.4: Εύρη ζώνης 'Κενής Χωρητικότητας'

Ως C_n , λαμβάνεται η κεντρική τιμή της χωρητικότητας, σε κάθε εύρος ζώνης που δεν χρησιμοποιείται. Έτσι κάθε επιλεγμένη κατηγορία n , έχει εύρος ζώνης σε MHz:

$$\left[C_{n-1} + \frac{C_n - C_{n-1}}{2}, C_n + \frac{C_{n+1} - C_n}{2} \right] \quad \text{Εξ. 3.5}$$

Η αρχική τιμή για $n=0$ αντιστοιχεί σε μηδενική χωρητικότητα, $C_0 = 0$ MHz, ενώ η τελική τιμή για $n=8$ αντιστοιχεί στη μέγιστη χωρητικότητα του δορυφορικού πομποδέκτη, $C_8 = 36$ MHz. Σε κάθε επιλεγμένο εύρος ζώνης C_n , αντιστοιχεί μια δεδομένη πιθανότητα P_{C_n} , μια μέση τιμή $\overline{m1_n}$ και μια τυπική απόκλιση $\sigma1_n$, όπως ορίζονται ακολούθως.

Οι παράμετροι υπολογισμού της 'Κενής Χωρητικότητας' είναι:

Ορισμός 3.5

- $w_{i,j}$: η χωρητικότητα σε MHz που ο i -οστός πελάτης ζητά μίσθωση, κατά τον j -οστό μήνα

$$w_{i,j} = \begin{cases} w_i & , j \in [t_{\text{start}_i}, t_{\text{end}_i}] \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases}$$

- $w_{i,j}^{(PC_f)}$: η χωρητικότητα σε MHz που ο i -οστός πελάτης που ανήκει στον f -οστό συνδυασμό $(PC)_f$, ζητά μίσθωση, κατά τον j -οστό μήνα
- $\overline{m1_n}$: η μέση τιμή χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα για το n -οστό εύρος ζώνης C_n
- $\sigma1_n$: η τυπική απόκλιση της τιμής χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα για το n -οστό εύρος ζώνης C_n

- P_{Cn} : η πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στο Δορυφορικό Παροχέα, στη διάρκεια ενός μήνα, που να ζητά το n-οστό εύρος ζώνης C_n .

Η ποσότητα της ‘Κενής Χωρητικότητας’ για τον f-οστό συνδυασμό πελατών (PC_f), κατά τον j-οστό μήνα είναι:

$$Cempty_{(PC_f),j} = \left\{ \begin{array}{ll} 36 - \sum_{i=a}^{t_{end_i}} w_{ij(PC_f)}, & t < \max \left\{ t_{end_k(PC_f)} \right\} \\ 0, & t > \max \left\{ t_{end_k(PC_f)} \right\} \end{array} \right\}, \quad \text{Eξ. 3.6}$$

με $i \in \{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta\}$ και $j \in [t_{start_i}, t_{end_i}]$

Η **Αναμενόμενη Τιμή** των **Θεωρητικών Εσόδων** για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ ($ExpValCempty_{(PC_f)}$), εξαρτώνται κάθε φορά από τη μη χρησιμοποιούμενη χωρητικότητα κάθε μήνα και υπολογίζεται ως:

$$ExpValCempty_{(PC_f)} = P_A \cdot \sum_{j=1}^{60} P_{Cn} \cdot Cempty_{(PC_f),j} \cdot \overline{m1_n} \quad \text{Eξ. 3.7}$$

ενώ η **Τυπική Απόκλιση** των **Αναμενόμενων Τιμών** των **Θεωρητικών Εσόδων** για κάθε συνδυασμό ($\sigma_{ExpValCempty_{(PC_f)}}$), που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ είναι:

$$\sigma_{ExpValCempty_{(PC_f)}} = P_A \cdot \sum_{j=1}^{60} P_{Cn} \cdot \overline{\sigma1_n} \cdot Cempty_{(PC_f),j} \quad \text{Eξ. 3.8}$$

Τα πιθανά **Θεωρητικά Έσοδα** ($TheRevCempty_{(PC_f)}$) για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ προκύπτουν από τον τύπο:

$$TheRevCempty_{(PC_f)} = \sum_{j=1}^{60} Cempty_{(PC_f),j} \cdot \overline{m1_n} \quad \text{Eξ. 3.9}$$

ενώ η **Τυπική Απόκλιση** των **Θεωρητικών Εσόδων** για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ ($\sigma_{TheRevCempty_{(PC_f)}}$) είναι:

$$\sigma_{TheRevCempty_{(PC_f)}} = \sum_{j=1}^{60} \overline{\sigma1_n} \cdot Cempty_{(PC_f),j} \quad \text{Eξ. 3.10}$$

3.2.3 Υπολογισμός εσόδων από την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’

Υπολογίζονται τα δυνατά έσοδα (Αναμενόμενες Τιμές και Θεωρητικά Έσοδα) που μπορούν να αποκομισθούν από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’. Ο υπολογισμός κατηγοριοποιείται ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας (Πίνακας 3.1) που δυνητικά θα εξυπηρετήσει, καλύπτοντας τα εναπομένοντα 36MHz και παρουσιάζονται στο άνω μέρος του Σχήματος 3.9. Οι παράμετροι υπολογισμού της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ είναι:

Ορισμός 3.6

- P_{Bs} : η πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στο Δορυφορικό Παροχέα στη διάρκεια ενός μήνα που να ζητά τη συγκεκριμένη υπηρεσία S
- $\overline{m2}_s$: η μέση τιμή χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα, για τη συγκεκριμένη υπηρεσία S
- $\sigma2_s$: η τυπική απόκλιση της τιμής χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα, για τη συγκεκριμένη υπηρεσία S.

Υπολογίζεται το Εναπομένον Χρονικό διάστημα $t_{left(PC_f)}$ για κάθε συνδυασμό, που είναι το πλήθος των μηνών για τους οποίους υφίσταται ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’. Ο υπολογισμός γίνεται ως η διαφορά μεταξύ του μέγιστου ζητούμενου χρόνου (μήνα) μίσθωσης όλων των πελατών και του μέγιστου ζητούμενου χρόνου (μήνα) μίσθωσης των πελατών του συνδυασμού.

$$t_{left(PC_f)} = \max \left\{ t_{end_k} \right\} - \max \left\{ d_{i,j(PC_f)} \right\} \quad \text{Εξ. 3.11}$$

Η **Αναμενόμενη Τιμή** των **Θεωρητικών Εσόδων** για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ ($ExpValCrem_{(PC_f),s}$), ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας και υπολογίζεται ως:

$$ExpValCrem_{(PC_f),s} = P_A \cdot P_{Bs} \cdot t_{left(PC_f)} \cdot \overline{m2}_s \quad \text{Εξ. 3.12}$$

ενώ η **Τυπική Απόκλιση** των **Αναμενόμενων Τιμών** των **Θεωρητικών Εσόδων** για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ ($\sigma_{ExpValCrem(PC_f),s}$), είναι:

$$\sigma_{ExpValCrem(PC_f),s} = P_A \cdot P_{Bs} \cdot \sigma2_s \cdot t_{left(PC_f)} \quad \text{Εξ. 3.13}$$

Τα πιθανά **Θεωρητικά Έσοδα** για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ ($TheRevCrem_{(PC_f),s}$), προκύπτουν από τον τύπο:

$$\text{The RevCrem}_{(PC_f),s} = t_{\text{left}(PC_f)} \cdot \overline{m^2_s} \quad \text{Εξ. 3.14}$$

ενώ η **Τυπική Απόκλιση** των **Θεωρητικών Εσόδων** για κάθε συνδυασμό, που προέρχονται από τη μίσθωση της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ ($\sigma_{\text{TheRevCrem}(PC_f),s}$) είναι:

$$\sigma_{\text{TheRevCrem}(PC_f),s} = \sigma^2_s \cdot t_{\text{left}(PC_f)} \quad \text{Εξ. 3.15}$$

3.2.4 Συνάρτηση εξόδου μοντέλου λήψης αποφάσεων

Όλα τα ανωτέρω υπολογιζόμενα δεδομένα συνδυάζονται και παρουσιάζονται στη μορφή ενός ομοιόμορφου δέντρου αποφάσεων του Σχήματος 3.9 και αποτελούν την έξοδο του μοντέλου λήψης αποφάσεων.

Το ποσό των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων** (ΣυνΑνΘεωρΕσ) για κάθε συνδυασμό, αποτελεί το άθροισμα όλων των δυνατών εσόδων και θα καθορίσει τη βέλτιστη πολιτική μίσθωσης για τον Δορυφορικό Παροχέα. Το άθροισμα αυτό αποτελείται από τα Πραγματικά Έσοδα και τα Επιπλέον Αναμενόμενα Θεωρητικά Έσοδα που θα προκύψουν από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ και της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’, συμπεριλαμβανομένων και των τυπικών αποκλίσεων τους.

ΣυνΑνΘεωρΕσ = Πραγματικά Έσοδα +

(Αναμενόμενη Τιμή των Θεωρητικών Εσόδων C Κενή ±

Τυπική Απόκλιση των Αναμενόμενων Τιμών των Θεωρητικών Εσόδων C Κενή) +

(Αναμενόμενη Τιμή των Θεωρητικών Εσόδων C Εναπομένουσα ±

Τυπική Απόκλιση των Αναμενόμενων Τιμών των Θεωρητικών Εσόδων C Εναπομένουσα)

Το ποσό των Πραγματικών Εσόδων (RealRev) υπολογίζεται ως:

$$\text{RealRev}_{(PC_f)} = \sum_{k=a}^{\zeta} (C_k)_{(PC_f)} \quad \text{Εξ. 3.16}$$

με $k \in \{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta\}$

όπου $(C_k)_{(PC_f)}$, είναι το αντίστοιχο κόστος επιμίσθωσης της ζητούμενης χωρητικότητας του k-οστού πελάτη, του f-οστού συνδυασμού, σε Euros.

Το ποσό των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων** (ΣυνΑνΘεωρΕσ) για κάθε συνδυασμό είναι:

$$\text{ΣυνΑνΘεωρΕσ} = \text{TotExpVal}_{(PC_f)} \pm \sigma_{\text{TotExpVal}(PC_f)} \quad \text{Εξ. 3.17}$$

όπου η τιμή $TotExpVal_{(PC_f)}$ όλων των Αναμενόμενων Θεωρητικών Εσόδων προκύπτει από τις Εξισώσεις 3.17, 3.7 και 3.12, ως:

$$\begin{aligned} TotExpVal_{(PC_f)} &= RealRev_{(PC_f)} + ExpValCempty_{(PC_f)} + ExpValCrem_{(PC_f),s} = \\ &= \sum_{k=a}^{\zeta} (C_k)_{(PC_f)} + P_A \cdot P_{Cn} \cdot \sum_{j=1}^{60} Cempty_{(PC_f),j} \cdot \overline{m1}_n + P_A \cdot P_{Bs} \cdot t_{left(PC_f)} \cdot \overline{m2}_s \end{aligned} \quad \text{Εξ. 3.18}$$

ενώ η Τυπική Απόκλιση όλων των Αναμενόμενων Θεωρητικών Εσόδων $\sigma_{TotExpVal(PC_f)}$ προκύπτει από τις Εξισώσεις 3.8 και 3.13, ως:

$$\sigma_{TotExpVal(PC_f)} = \sigma_{ExpValCempty(PC_f)} + \sigma_{ExpValCrem(PC_f),s} \quad \text{Εξ. 3.19}$$

Το πραγματικό χρηματικό ποσό που δυνητικά θα αποκομίσει ο Δορυφορικός Παροχέας ακολουθώντας κάθε κλάδο του δέντρου αποφάσεων είναι τα **Συνολικά Έσοδα (ΣυνΕσ)**. Αποτελούνται από τα Πραγματικά Έσοδα και τα Επιπλέον Θεωρητικά Έσοδα που θα προκύψουν από τη μίσθωση της ‘Κενής Χωρητικότητας’ και της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’, συμπεριλαμβανομένων και των τυπικών αποκλίσεων τους.

$$\begin{aligned} \text{ΣυνΕσ} &= \text{Πραγματικά Έσοδα} + \\ &\quad (\text{Θεωρητικά Έσοδα C Κενή} \pm \\ &\quad \quad \text{Τυπική Απόκλιση των Θεωρητικών Εσόδων C Κενή}) + \\ &\quad (\text{Θεωρητικά Έσοδα C Εναπομένουσα} \pm \\ &\quad \quad \text{Τυπική Απόκλιση των Θεωρητικών Εσόδων C Εναπομένουσα}) \end{aligned} \quad \text{Εξ. 3.20}$$

Οπότε το ποσό των **Συνολικών Εσόδων (ΣυνΕσ)** για κάθε συνδυασμό προκύπτει:

$$\text{ΣυνΕσ} = TotTheRev_{(PC_f)} \pm \sigma_{TotTheRev(PC_f)}$$

όπου η τιμή $TotTheRev_{(PC_f)}$ όλων των Θεωρητικών Εσόδων προκύπτει από τις Εξισώσεις 3.17, 3.9 και 3.14, ως:

$$\begin{aligned} TotTheRev_{(PC_f)} &= RealRev_{(PC_f)} + TheRevCempty_{(PC_f)} + TheRevCrem_{(PC_f),s} = \\ &= \sum_{k=a}^{\zeta} (C_k)_{(PC_f)} + \sum_{j=1}^{60} Cempty_{(PC_f),j} \cdot \overline{m1}_n + t_{left(PC_f)} \cdot \overline{m2}_s \end{aligned} \quad \text{Εξ. 3.21}$$

ενώ η Τυπική Απόκλιση όλων των Θεωρητικών Εσόδων $\sigma_{TotTheRev(PC_f)}$ προκύπτει από τις Εξισώσεις 3.10 και 3.15, ως:

$$\sigma_{TotTheRev(PC_f)} = \sigma_{TheRevCempty(PC_f)} + \sigma_{TheRevCrem(PC_f),s} \quad \text{Εξ. 3.22}$$

3.2.5 Λογική χρήσης μοντέλου λήψης αποφάσεων

Το ποσό των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων** (ΣυνΑνΘεωρΕσ) για κάθε συνδυασμό, δίδει ένα εύρος τιμών που προσδιορίζει το καλύτερο και το χειρότερο σενάριο (best / worst case scenario). Με βάση αυτό το μέγεθος ο Δορυφορικός Παροχέας, έχει τη δυνατότητα να καθορίσει, ποιός συνδυασμός πελατών είναι ο πλέον οικονομικά προσοδοφόρος, τώρα και στο μέλλον. Το μέγεθος των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων** δεν είναι τα πραγματικά έσοδα που θα αποκτήσει, αλλά ένα ενδιάμεσο μέγεθος με το οποίο θα λάβει απόφαση και προσδιορίζει την έκταση και την απόδοση του ρίσκου. Το πραγματικό ποσό των εσόδων είναι το ποσό των **Συνολικών Εσόδων** (ΣυνΕσ).

Η διαδικασία λήψης απόφασης ξεκινάει με την αναγνώριση των υψηλότερων Πραγματικών Εσόδων (Real Revenues), προσδιορίζοντας ένα μικρό υποσύνολο των Εφικτών Συνδυασμών. Ακολούθως, για κάθε ένα από αυτά τα σενάρια, εξετάζονται τα Επιπλέον Αναμενόμενα Έσοδα μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις τους που δίνουν ένα μέτρο του ρίσκου. Το αποτέλεσμα μορφοποιείται σε ένα εύρος τιμών, με

Κεντρική Τιμή: $\text{TotExpVal}_{(\text{PC}_f)}$

Άνω Όριο: $\text{TotExpVal}_{(\text{PC}_f)} + \sigma_{\text{TotExpVal}_{(\text{PC}_f)}}$

Και Κάτω Όριο: $\text{TotExpVal}_{(\text{PC}_f)} - \sigma_{\text{TotExpVal}_{(\text{PC}_f)}}$

Η τελική απόφαση, εξαρτάται από την έκταση του ρίσκου που είναι διατεθειμένος ο Δορυφορικός Παροχέας να αναλάβει και την συγκεκριμένη πολιτική που θέλει να ακολουθήσει. Ειδικότερα, ένας Δορυφορικός Παροχέας με θετική διάθεση απέναντι στο ρίσκο (risk loving), θα επιλέξει την πολιτική που οδηγεί στην υψηλότερη τιμή **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (άνω όριο)**. Ένας Δορυφορικός Παροχέας με ουδέτερη διάθεση απέναντι στο ρίσκο (risk neutral), θα επιλέξει την πολιτική που οδηγεί στην κεντρική τιμή **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων**, ενώ ένας Δορυφορικός Παροχέας με αρνητική διάθεση απέναντι στο ρίσκο (risk averse), θα επιλέξει την πολιτική που οδηγεί στην χαμηλότερη τιμή **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (κάτω όριο)**.

3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής

Η Ανάλυση Ευαισθησίας παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της αποδοτικότητας του Ευρετικού μοντέλου λήψης αποφάσεων, λόγω της αβεβαιότητας που ενέχουν οι παράμετροι εισόδου. Έτσι υπολογίζεται η διακύμανση στην έξοδο του μοντέλου που προκαλείται από μικρές διακυμάνσεις της εισόδου [24], [25]. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τη Διεθνή Δορυφορική αγορά, παρείχε τις Παραμέτρους εισόδου του μοντέλου. Αυτές περιελάμβαναν παραμέτρους

χρεώσεων αλλά και πιθανοτικές παραμέτρους, όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.2 και 3.3. Οι παράμετροι αυτές συγκαταλέγονταν στις εξής τρεις κατηγορίες:

1. Δεδομένα χρέωσης και πιθανότητας σχετικά με την 'Εναπομένουσα Χωρητικότητα'
2. Δεδομένα χρέωσης και πιθανότητας σχετικά με την 'Κενή Χωρητικότητα'
3. Πιθανότητα εμφάνισης εισερχόμενου πελάτη στον Δορυφορικό Παροχέα που να ζητά κάποια διαστημική υπηρεσία.

Η Ανάλυση Ευαισθησίας σε αυτές τις παραμέτρους, υλοποιήθηκε δημιουργώντας μια μικρή διαταραχή σε κάθε μία από αυτές και παρατήρηση της μεταβολής της εξόδου. Η τιμή κάθε παραμέτρου μεταβλήθηκε κατά 2% και παρατηρήθηκε η μεταβολή στο ποσό των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (ΣυνΑνΘεωρΕσ)**, που αποτελεί την έξοδο του μοντέλου.

Η εφαρμογή της μελέτης Ανάλυσης Ευαισθησίας έγινε με δύο τρόπους: πρώτα με θεωρητικό υπολογισμό των σκιωδών τιμών (shadow prices) των παραμέτρων εισόδου και δεύτερον χρησιμοποιώντας πειραματική προσέγγιση, υλοποιούμενη με απευθείας εφαρμογή των νέων τιμών των παραμέτρων εισόδου, μετά την επιβολή της διαταραχής και παρατήρηση της εξόδου του μοντέλου [37].

3.3.1 Θεωρητική προσέγγιση

Οι σκιάδεις τιμές (shadow prices) των παραμέτρων χρέωσης, **Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36MHz, ανά μήνα** και **Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα** για την 'Εναπομένουσα' και την 'Κενή Χωρητικότητα' αντίστοιχα, $\overline{m1_n}$ και $\overline{m2_s}$, υπολογίστηκαν ως παράγωγος της συνάρτησης εξόδου του μοντέλου **ΣυνΑνΘεωρΕσ** με την κλασική διατύπωση του μεγέθους: $S_k^{T(k)} = \frac{dT(k)}{dk}$, θεωρώντας ως T(k) την αντικειμενική συνάρτηση και k την παράμετρο που επιλέγεται κάθε φορά προς εξέταση.

Η Ευαισθησία των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (ΣΑΘΕ)** ως προς την παράμετρο $\overline{m2_s}$ είναι:

$$S_{\frac{\Sigma A \Theta E}{m2_s}} = \frac{d\Sigma A \Theta E(\overline{m2_s})}{d\overline{m2_s}} = P_A \cdot P_{Bs} \cdot t_{left(PC_F)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d\Sigma A \Theta E(\overline{m2_s}) = P_A \cdot P_{Bs} \cdot t_{left(PC_F)} \cdot d\overline{m2_s} \quad \text{Εξ. 3.23}$$

Η Ευαισθησία των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (ΣΑΘΕ)** ως προς την παράμετρο $\overline{m1_n}$ είναι:

$$S_{\frac{\Sigma\Lambda\Theta\Xi}{m1_n}} = \frac{d\Sigma\Lambda\Theta\Xi(\overline{m1_n})}{d\overline{m1_n}} = P_A \cdot P_{Cn} \cdot \sum_{j=1}^{60} CEmpty_{(PC_f),j} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d\Sigma\Lambda\Theta\Xi(\overline{m1_n}) = P_A \cdot P_{Cn} \cdot \sum_{j=1}^{60} CEmpty_{(PC_f),j} \cdot d\overline{m1_n} \quad \text{Εξ. 3.24}$$

Ακολούθως υπολογίζεται η συνάρτηση Ευαισθησίας Bode για τις παραμέτρους ζήτησης P_A , P_{Cn} και P_{Bs} . Η Ευαισθησία Bode της συνάρτησης $T(k)$ ως προς την παράμετρο k , υπολογίζεται ως $S_k^{T(k)} = \frac{d \ln T(k)}{d \ln k} = \frac{dT(k)}{dk} \cdot \frac{k}{T(k)}$. Αυτή η κανονικοποιημένη έκφραση της Ευαισθησίας είναι πιο δόκιμη για τους υπολογισμούς αναφορικά με τις μικρές τιμές παραμέτρους ζήτησης. Εκφράζει τη μεταβολή $dT(k)$ ως προς την ονομαστική τιμή του T , σε σχέση με τη μεταβολή dk ως προς την τιμή της παραμέτρου k .

Η Ευαισθησία των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (ΣΑΘΕ)** ως προς την παράμετρο P_A είναι:

$$S_{P_A}^{\Sigma\Lambda\Theta\Xi} = \frac{d \ln(\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_A))}{d \ln(P_A)} = \frac{d\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_A)}{d P_A} \frac{P_A}{\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_A)} \Rightarrow$$

$$S_{P_A}^{\Sigma\Lambda\Theta\Xi} = \left(\sum_{j=1}^{60} P_{Cn} \cdot CEmpty_{(PC_f),j} \cdot \overline{m1_n} + P_{Bs} \cdot t_{left(PC_f)} \cdot \overline{m2_s} \pm \right.$$

$$\left. \pm P_{Bs} \cdot \sigma2_s \cdot t_{left(PC_f)} + \sum_{j=1}^{60} P_{Cn} \cdot \overline{\sigma1_n} \cdot Cempty_{(PC_f),j} \right) \frac{P_A}{\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_A)} \Rightarrow$$

$$d \ln(\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_A)) = \left(\sum_{j=1}^{60} P_{Cn} \cdot CEmpty_{(PC_f),j} \cdot \overline{m1_n} + P_{Bs} \cdot t_{left(PC_f)} \cdot \overline{m2_s} \cdot d P_A \pm \right.$$

$$\left. \pm P_{Bs} \cdot \sigma2_s \cdot t_{left(PC_f)} + \sum_{j=1}^{60} P_{Cn} \cdot \overline{\sigma1_n} \cdot Cempty_{(PC_f),j} \right) \frac{P_A}{\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_A)} d \ln(P_A) \quad \text{Εξ. 3.25}$$

Η Ευαισθησία των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (ΣΑΘΕ)** ως προς την παράμετρο P_{Cn} είναι:

$$S_{P_{Cn}}^{\Sigma\Lambda\Theta\Xi} = \frac{d \ln(\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_{Cn}))}{d \ln(P_{Cn})} = \frac{d\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_{Cn})}{d P_{Cn}} \frac{P_{Cn}}{\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_{Cn})} \Rightarrow$$

$$S_{P_{Cn}}^{\Sigma\Lambda\Theta\Xi} = \left(P_A \cdot \overline{m1_n} \cdot \sum_{j=1}^{60} CEmpty_{(PC_f),j} \pm P_A \cdot \sum_{j=1}^{60} \overline{\sigma1_n} \cdot Cempty_{(PC_f),j} \right) \frac{P_{Cn}}{\Sigma\Lambda\Theta\Xi(P_{Cn})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d\ln(\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Cn})) = (P_A \cdot \overline{m1}_n \cdot \sum_{j=1}^{60} \text{CEmpty}_{(PC_f),j} \pm \pm P_A \cdot \sum_{j=1}^{60} \overline{\sigma1}_n \cdot \text{CEmpty}_{(PC_f),j}) \frac{P_{Cn}}{\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Cn})} d\ln(P_{Cn}) \quad \text{Εξ. 3.26}$$

Η Ευαισθησία των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων (ΣΑΘΕ)** ως προς την παράμετρο P_{Bs} είναι:

$$S_{P_{Bs}}^{\Sigma\text{ΑΘΕ}} = \frac{d\ln(\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Bs}))}{d \ln(P_{Bs})} = \frac{d\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Bs})}{d P_{Bs}} \frac{P_{Bs}}{\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Bs})} \Rightarrow$$

$$S_{P_{Bs}}^{\Sigma\text{ΑΘΕ}} = (P_A \cdot t_{\text{left}(PC_f)} \cdot \overline{m2}_s \pm P_A \cdot \sigma2_s \cdot t_{\text{left}(PC_f)}) \frac{P_{Bs}}{\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Bs})} \Rightarrow$$

$$d\ln(\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Bs})) = (P_A \cdot t_{\text{left}(PC_f)} \cdot \overline{m2}_s \pm P_A \cdot \sigma2_s \cdot t_{\text{left}(PC_f)}) \frac{P_{Bs}}{\Sigma\text{ΑΘΕ}(P_{Bs})} \cdot d \ln(P_{Bs})$$

Εξ. 3.27

Τα εύρη τιμών όλων των παραμέτρων ως προς τις οποίες γίνεται η Ανάλυση Ευαισθησίας, έχουν προκύψει από την πρώτη φάση υλοποίησης, μέσω της στατιστικής ανάλυσης, όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2 και παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 3.5. Σημειώνεται ότι θεωρείται χρονικός ορίζοντας 60 μηνών, όπου 30 μήνες αντιστοιχίζονται στην ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’ και 30 μήνες στην ‘Κενή Χωρητικότητα’. Υπολογίστηκε το ποσό της ‘Κενής Χωρητικότητα’ για κάθε συνδυασμό πελατών (PC_f), για όλο το χρονικό διάστημα, θεωρώντας μόνο το 1/8 της συνολικής χωρητικότητας του πομποδέκτη ως μη κατειλημμένη. Η θεώρηση αυτή είναι συμβατή με την απαίτηση επιλογής συνδυασμών πελατών με μέγιστη κατάληψη του πομποδέκτη, για το μέγιστο χρονικό διάστημα, που οδηγεί σε μεγιστοποίηση των εσόδων.

Μεταβλητή	P_A	P_{Cn}	P_{Bs}	$\overline{m1}_n$ (Κ€)	$\overline{m2}_s$ (Κ€)
Min	0.62	0.0164	0.015	4.148	125.100
max		0.270	0.277	6.114	295.834

Πίνακας 3.5: Εύρη Τιμών Παραμέτρων Ανάλυσης Ευαισθησίας.

Οι Πίνακες 3.6 και 3.7, συνοψίζουν τα αποτελέσματα της θεωρητικής Ανάλυσης Ευαισθησίας. Ο Πίνακας 3.6 συνοψίζει τα ανώτερα όρια ευαισθησίας για κάθε μία παράμετρο. Ο Πίνακας 3.7 παρουσιάζει τις αλλαγές στην έξοδο του μοντέλου, σε μέγιστο (max) και ελάχιστο (min) όριο τιμής, που εμφανίζονται από μεταβολή κατά 2% των παραμέτρων χρέωσης και ζήτησης της εισόδου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν πολύ μικρή ευαισθησία ως προς τις παραμέτρους ζήτησης (πιθανότητες εμφάνισης P_A , P_{Cn} και P_{Bs}). Όμως αυτός ο μαθηματικός υπολογισμός προσδιόρισε ένα πλατύ εύρος τιμών για τις παραμέτρους χρέωσης και ιδιαίτερα στην παράμετρο $m1_n$, όπου και παρουσιάζεται η μεγαλύτερη διακύμανση. Για τον προσδιορισμό ακριβέστερων ορίων μεταβολής, των εμπλεκομένων παραμέτρων εισόδου, ακολουθεί η πειραματική προσέγγιση υπολογισμού της Ευαισθησίας.

$S_{\frac{\Sigma\Delta\Theta E}{m2_s}}$	$S_{\frac{\Sigma\Delta\Theta E}{m1_n}}$	S_{P_A}	$S_{P_{Cn}}$	$S_{P_{Bs}}$
5.15	22.64	0.04	0.004	0.03

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα Θεωρητικής Προσέγγισης Ανάλυσης Ευαισθησίας.

	$d\Sigma\Delta\Theta E(\overline{m2_s})$	$d\Sigma\Delta\Theta E(\overline{m1_n})$	$d\Sigma\Delta\Theta E(P_A)$	$d\Sigma\Delta\Theta E(P_{Cn})$	$d\Sigma\Delta\Theta E(P_{Bs})$
Min	0.04%	0.02%	0.0001%	$2 \cdot 10^{-6}\%$	$10^{-4}\%$
Max	10.31%	45.28%	0.08%	0.01%	0.06%

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα Θεωρητικής Προσέγγισης Ανάλυσης Ευαισθησίας.

3.3.2 Πειραματική προσέγγιση

Η Ανάλυση Ευαισθησίας υλοποιείται ακολουθώντας με απευθείας εφαρμογή της μεταβολής κατά 2% κάθε παραμέτρου, στην είσοδο του μοντέλου και αντίστοιχη μέτρηση της εξόδου. Εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις. Η πρώτη ήταν το σενάριο εξελίξεων υπό βέλτιστες συνθήκες, όπου είναι η περίπτωση που οδηγεί στο μεγαλύτερο ποσό **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων**. Αυτή προσδιορίστηκε επιλέγοντας για τους υπολογισμούς της 'Εναπομένουσας Χωρητικότητας' αυτούς που προκύπτουν από την υπηρεσία Media Company, η οποία έχει και την μέγιστη τιμή χρέωσης. Η δεύτερη περίπτωση που εξετάστηκε ήταν το σενάριο εξελίξεων υπό χειρίστες συνθήκες. Αντίστοιχα, η περίπτωση αυτή

προσδιορίστηκε επιλέγοντας για τους υπολογισμούς των Αναμενομένων Εσόδων για την 'Εναπομένουσα Χωρητικότητα', αυτές της υπηρεσίας Broadcast, η οποία έχει και την χαμηλότερη τιμή χρέωσης.

Για κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις οι υπολογισμοί επεκτάθηκαν λαμβάνοντας υπ' όψιν το άνω και κάτω όριο των **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων**. Έτσι για αυτές τις τέσσερις περιπτώσεις έγινε Ανάλυση Ευαισθησίας.

Χρησιμοποιώντας μικρή διαταραχή τάξης 2%, σε κάθε μία από τις παραμέτρους εισόδου και για κάθε μία περίπτωση, υπολογίστηκαν 20 σημεία για την έξοδο του μοντέλου, αντιπροσωπεύοντας διαφορετικό ποσοστό αλλαγής της εισόδου, ανάμεσα στο εύρος απόκλισης $\pm 2\%$ από την κεντρική τιμή (Πίνακας 3.7).

<i>Αύξων Αριθμός σημείου</i>	<i>Ποσοστό μεταβολής</i>
1	2,00%
2	1,80%
3	1,60%
4	1,40%
5	1,20%
6	1,00%
7	0,80%
8	0,60%
9	0,40%
10	0,20%
11	0,00%
12	-0,20%
13	-0,40%
14	-0,60%
15	-0,80%
16	-1,00%
17	-1,20%
18	-1,40%
19	-1,60%
20	-1,80%
21	-2,00%

Πίνακας 3.8: Σημεία ποσοστιαίας μεταβολής παραμέτρων εισόδου.

Για κάθε μεταβολή της εισόδου, υπολογίστηκε η μεταβολή στην έξοδο. Η μεταβολή της εξόδου, παρουσιάζεται ως ποσοστό μεταβολής της τιμής της εξόδου όπως υπολογίζεται για κάθε ένα από τα 20 σημεία μεταβολής της εισόδου, μείον την

κεντρική τιμή της εξόδου (11^ο σημείο με μηδενική διαφοροποίηση), κανονικοποιημένο ως προς αυτή την κεντρική τιμή.

Οι γραφικές παραστάσεις σε μορφή ραβδογράμματος της Ανάλυσης Ευαισθησίας, παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.10 έως 3.29. Για κάθε ένα από τις 20 διαφορετικές σειρές εισόδου, υπολογίστηκαν τα τέσσερα πιο προσοδοφόρα σενάρια συνδυασμών πελατών. Το Σενάριο 1, είναι το σενάριο με το μεγαλύτερο ποσό **Συνολικών Αναμενομένων Θεωρητικών Εσόδων**, το Σενάριο 2, είναι το σενάριο με το δεύτερο μεγαλύτερο ποσό, κ.ο.κ.

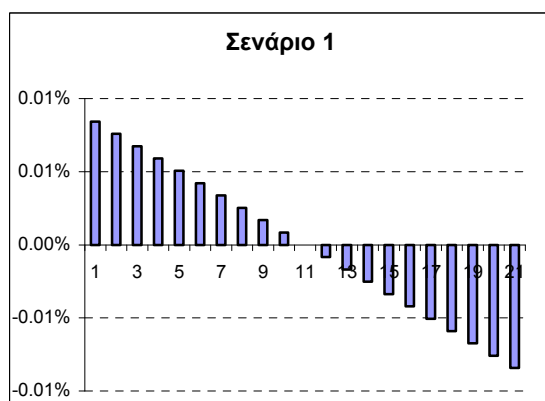
3.3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’

Η Ανάλυση Ευαισθησίας των παραμέτρων της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’ παρουσιάζεται για την περίπτωση σεναρίου εξελίξεων υπό βέλτιστες συνθήκες.

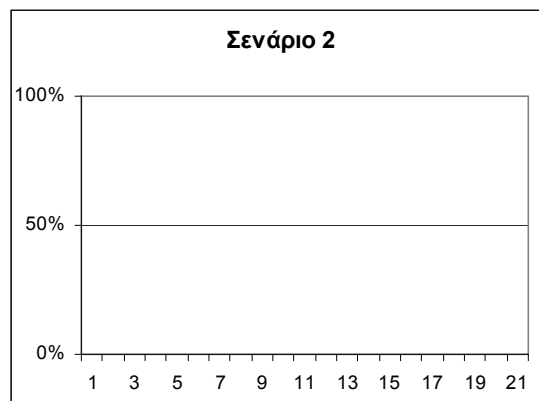
Το ποσοστό μεταβολής της εξόδου, για κάθε σημείο μεταβολής της παραμέτρου εισόδου P_{Bs} (πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στο Δορυφορικό Παροχέα στη διάρκεια ενός μήνα που να ζητά τη συγκεκριμένη υπηρεσία S) για την περίπτωση της υπηρεσίας Media Company, παρουσιάζεται στα Σχήματα 3.10 έως 3.13.

Στο Σχήμα 3.11, παρατηρείται μηδενική μεταβολή, μιας και στο Σενάριο 2 η ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’ είναι μηδενική και έτσι η μεταβολή στην αντίστοιχη πιθανότητα P_{Bs} δεν έχει επίδραση στην έξοδο.

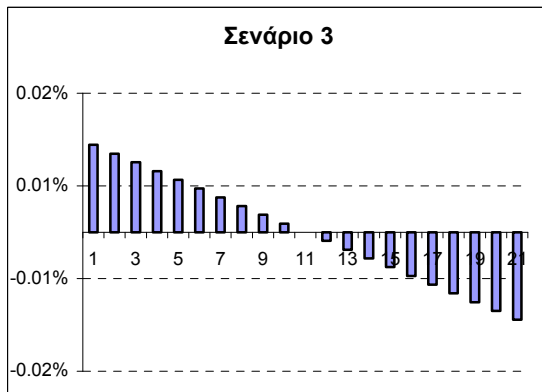
Σημειώνεται ότι η μεταβολή στην πιθανότητα P_{Bs} για την υπηρεσία Media Company υλοποιήθηκε με αντίστοιχη αλλαγή των πιθανοτήτων που αντιστοιχούν στις άλλες υπηρεσίες, ώστε να διατηρηθεί σταθερό το άθροισμα όλων των πιθανοτήτων όλων των υπηρεσιών.



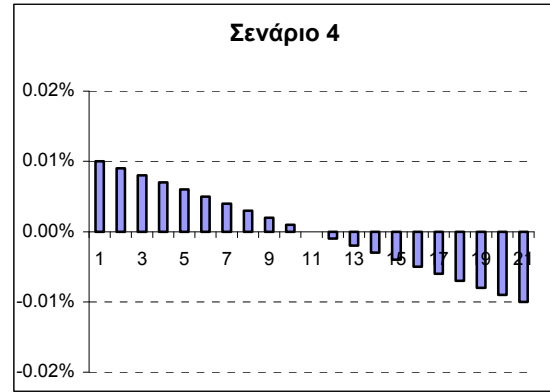
Σχήμα 3.10: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Bs} για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.11: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Bs} για το Σενάριο 2.

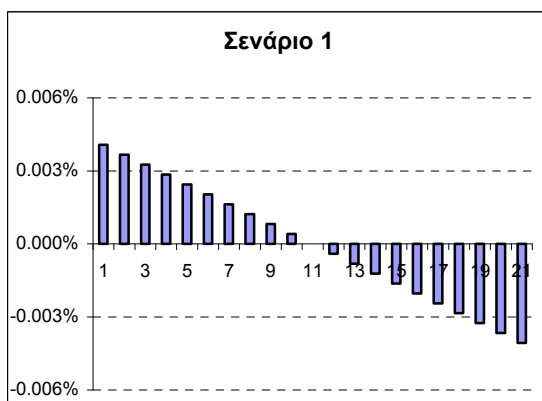


Σχήμα 3.12: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Bs} για το Σενάριο 3.

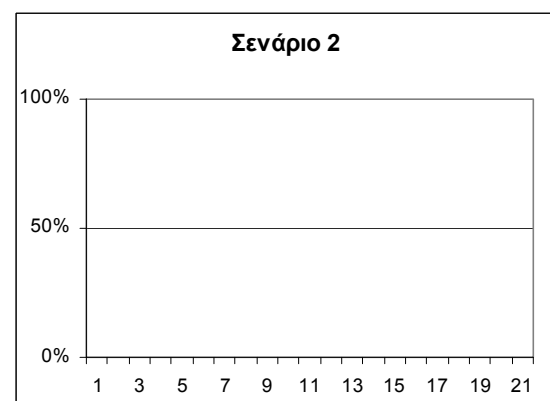


Σχήμα 3.13: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Bs} για το Σενάριο 4.

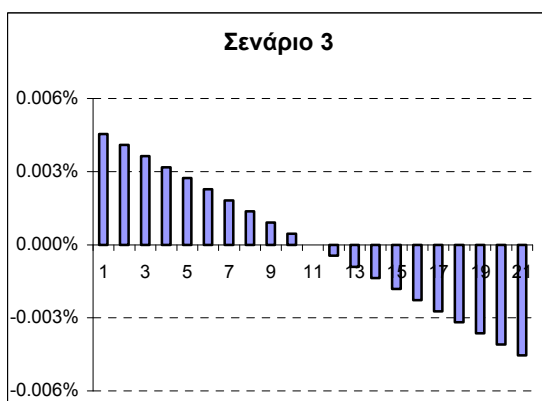
Το ποσοστό μεταβολής της εξόδου, για κάθε σημείο μεταβολής της παραμέτρου εισόδου **Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36MHz, ανά μήνα**, για την περίπτωση της υπηρεσίας Media Company, παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.14 - 4.17. Το Σενάριο 2 έχει μηδενικό Εναπομένον Χρονικό διάστημα και έτσι στο Σχήμα 3.15 παρουσιάζεται μηδενική μεταβολή.



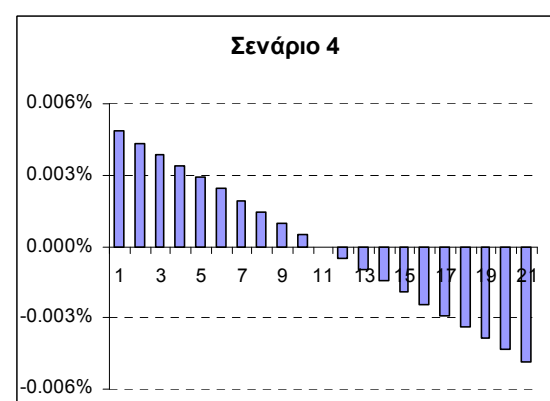
Σχήμα 3.14: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36MHz, ανά μήνα για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.15: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36MHz, ανά μήνα για το Σενάριο 2.



Σχήμα 3.16: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36MHz, ανά μήνα, για το Σενάριο 3.



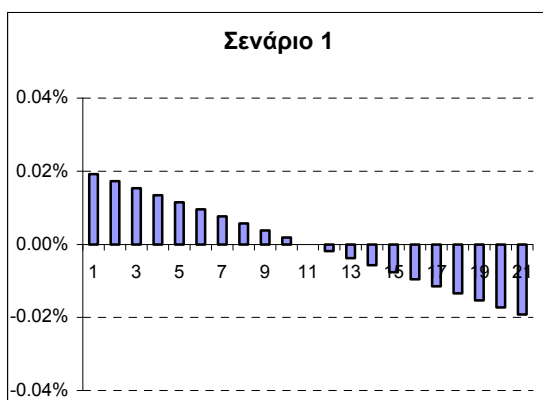
Σχήμα 3.17: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά 36MHz, ανά μήνα, για το Σενάριο 4.

3.3.4 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων ‘Κενής Χωρητικότητας’

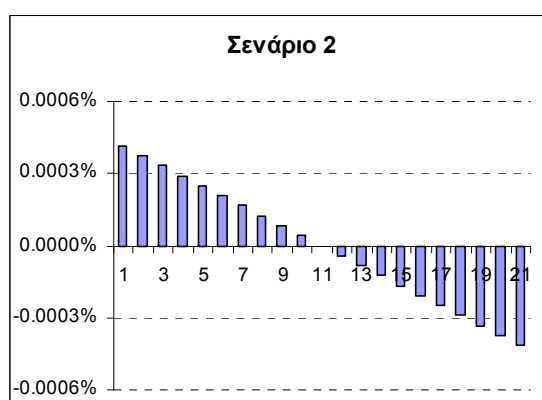
Η Ανάλυση Ευαισθησίας των παραμέτρων της ‘Κενής Χωρητικότητας’ παρουσιάζεται για την περίπτωση σεναρίου εξελίξεων υπό βέλτιστες συνθήκες.

Το ποσοστό μεταβολής της εξόδου, για κάθε σημείο μεταβολής της παραμέτρου εισόδου P_{Cn} (πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στο Δορυφορικό Παροχέα, στη διάρκεια ενός μήνα, που να ζητά το n-οστό εύρος ζώνης C_n) για την περίπτωση των 33MHz ‘Κενής Χωρητικότητας’, παρουσιάζεται στα Σχήματα 3.18 έως 3.21.

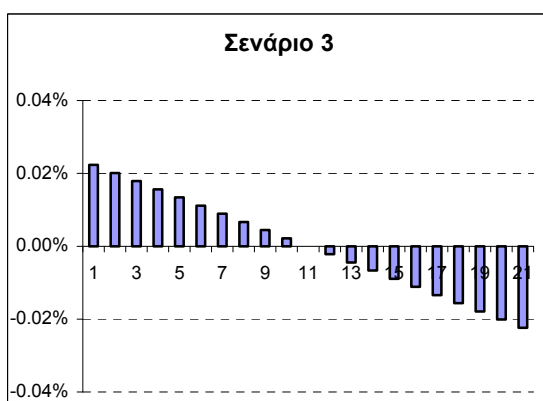
Σημειώνεται ότι η μεταβολή στην πιθανότητα P_{Cn} , για το ποσό των 33MHz ‘Κενής Χωρητικότητας’ υλοποιήθηκε με αντίστοιχη αλλαγή των πιθανοτήτων που αντιστοιχούν στις άλλες υπηρεσίες, ώστε να διατηρηθεί σταθερό το άθροισμα όλων των πιθανοτήτων όλων των υπηρεσιών.



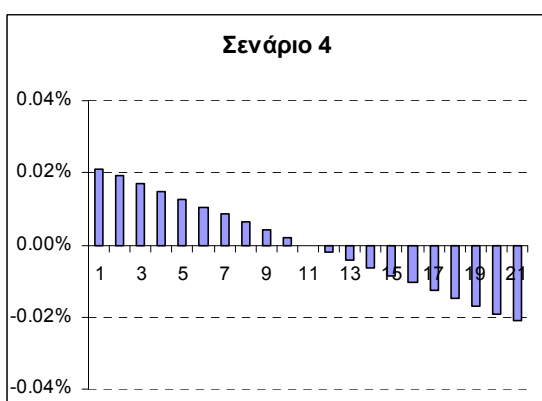
Σχήμα 3.18: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Cn} για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.19: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Cn} για το Σενάριο 2.



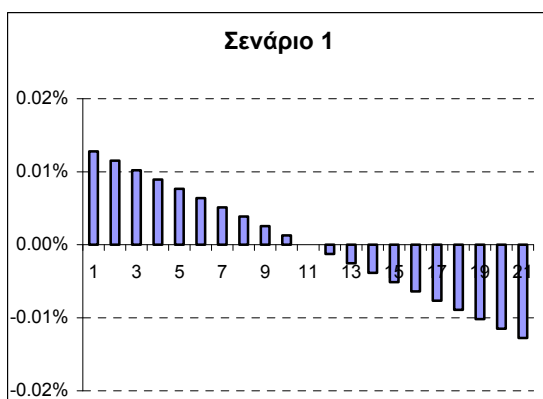
Σχήμα 3.20: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Cn} για το Σενάριο 3.



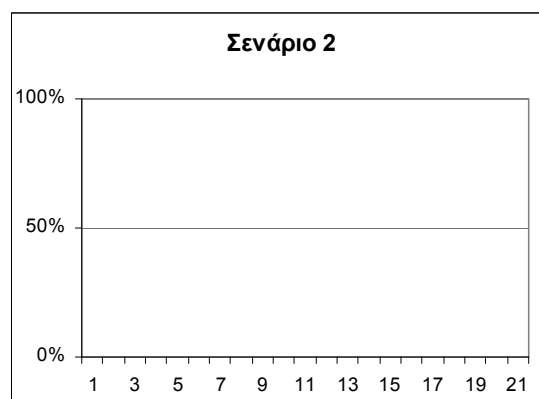
Σχήμα 3.21: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_{Cn} για το Σενάριο 4.

Το ποσοστό μεταβολής της εξόδου, για κάθε σημείο μεταβολής της παραμέτρου εισόδου **Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα**, παρουσιάζεται στα Σχήματα 3.22-3.25.

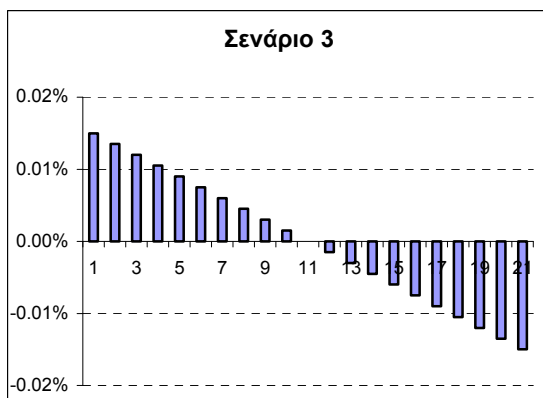
Στο Σχήμα 3.23, παρατηρείται μηδενική μεταβολή, διότι στο Σενάριο 2 η ‘Κενή Χωρητικότητα’ είναι μηδενική και έτσι η μεταβολή στην αντίστοιχη παράμετρο χρέωσης δεν έχει επίδραση στην έξοδο.



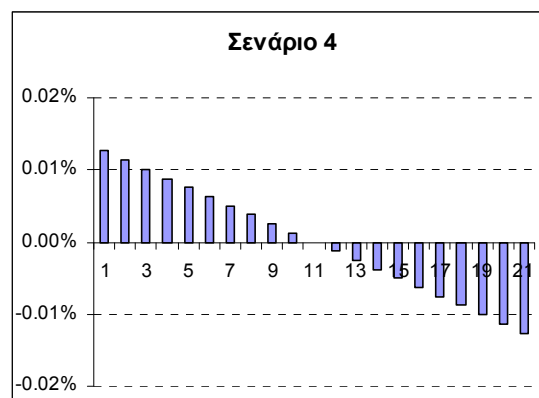
Σχήμα 3.22: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.23: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα για το Σενάριο 2.



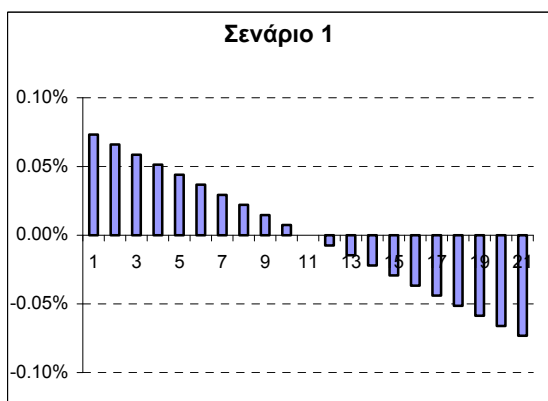
Σχήμα 3.24: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα για το Σενάριο 3.



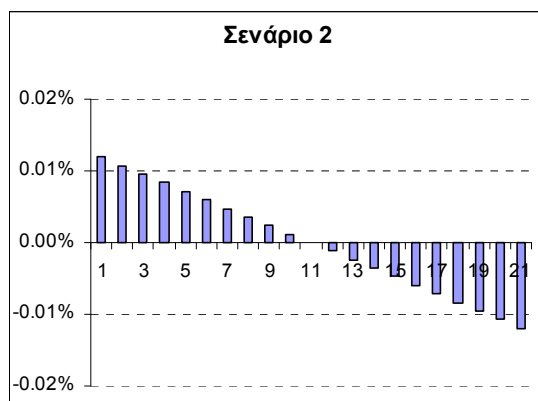
Σχήμα 3.25: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα για το Σενάριο 4.

3.3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρου P_A

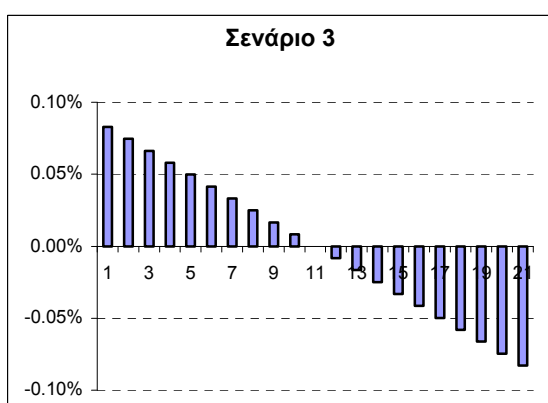
Η Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου Πιθανότητας εμφάνισης εισερχόμενου πελάτη στον Δορυφορικό Παροχέα που να ζητά κάποια διαστημική υπηρεσία (P_A), παρουσιάζεται στα Σχήματα 3.26 έως 3.29.



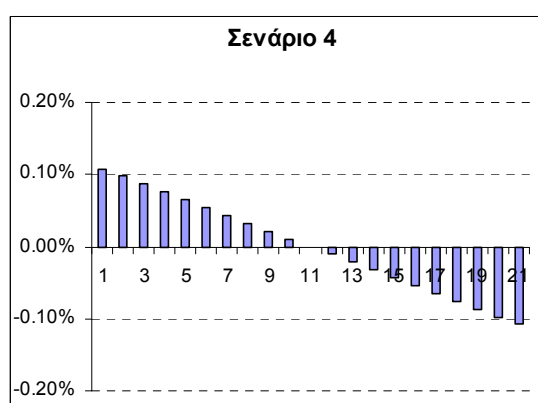
Σχήμα 3.26: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_A για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.27: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_A για το Σενάριο 2.



Σχήμα 3.28: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_A για το Σενάριο 3.



Σχήμα 3.29: Ανάλυση Ευαισθησίας της παραμέτρου P_A για το Σενάριο 4.

Η Ανάλυση Ευαισθησίας υλοποιήθηκε και για τις 46 παραμέτρους εισόδου όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.2 και 3.3 και επεκτάθηκε και στις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις. Υπολογίστηκαν μεταβολές σε όλες τις παραμέτρους εισόδου, πιθανότητας αλλά και χρέωσης, τόσο της ‘Κενής’ όσο και της ‘Εναπομένουσας Χωρητικότητας’. Τα αποτελέσματα της Ανάλυσης προέκυψαν παρόμοια και έτσι επιλέγησαν να παρουσιαστούν κάποιες αντιπροσωπευτικές καμπύλες Ευαισθησίας.

Η Ανάλυση Ευαισθησίας του Ευρετικού μοντέλου λήψης αποφάσεων ενός Δορυφορικού Παροχέα έδειξε πολύ μικρή ευαισθησία της εξόδου, σε μικρές αλλαγές της εισόδου. Αυτό δείχνει ότι μικρές αλλαγές στις παραμέτρους χρέωσης και ζήτησης του μοντέλου δεν θα αλλάξουν σημαντικά την έξοδο. Αυτό είναι ένα πολύ επιθυμητό χαρακτηριστικό, που αναφέρεται στην ισορροπημένη διάθρωση του μοντέλου. Έτσι ακόμα κι αν οι παράμετροι που προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση των συλλεγμένων δεδομένων δεν είναι ακριβείς, η τελική απόφαση δεν θα επηρεαστεί σημαντικά.

Κεφάλαιο 4

Περιγραφή Μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού

Στην επόμενη φάση της εργασίας, δημιουργήθηκε ένα καινούργιο μοντέλο βασισμένο στο Δυναμικό Προγραμματισμό, για την ίδια εφαρμογή, ακολουθώντας μια διαφορετική λογική υλοποίησης. Το δεύτερο αυτό μοντέλο εμπεριέχει μια πιο λεπτομερή περιγραφή του προβλήματος, με γενικότερη ισχύ. Στόχος αποτελεί η σύγκριση των δύο μοντέλων, ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με την εγκυρότητα του εξαγόμενου επιχειρηματικού πλάνου ενός Δορυφορικού Παροχέα. Αποτελεί κριτήριο αλληλοεπιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων, δίνοντας μέτρο σύγκρισης των διαφορετικών μεθοδολογιών, με σκοπό την τεκμηρίωση της μελέτης.

Έτσι δημιουργείται ένα δεύτερο μοντέλο αντιμετωπίζοντας το ίδιο πρόβλημα της τεχνο-οικονομικής αποτίμησης του επιχειρηματικού σχεδίου ενός Δορυφορικού Παροχέα, μέσω της σύγκρισης διαφορετικών σεναρίων συνδυασμών πελατών, που ζητούν μίσθωση διαστημικής χωρητικότητας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά, ως πρόβλημα Δυναμικού Προγραμματισμού με στοχαστικά στοιχεία. Ο Δυναμικός Προγραμματισμός, αποτελεί μια κατάλληλη μέθοδο επίλυσης του υπό εξέταση προβλήματος. Μελετάται η λήψη μιας σύνθετης απόφασης, με όρους κόστους ή ισοδύναμα κέρδους, η οποία προκύπτει από την σύνθεση επιμέρους αλληλοεξαρτώμενων αποφάσεων. Οι αποφάσεις λαμβάνονται σε στάδια που στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι χρονικά. Το αποτέλεσμα κάθε απόφασης δεν είναι πλήρως προσδιορίσιμο μέχρι να ληφθεί η επόμενη απόφαση. Ευρίσκονται οι ακραίες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης, δηλαδή γίνεται η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους ή αντίστοιχα η μεγιστοποίηση της συνάρτησης κέρδους. Επιθυμητή λογική, που εμπεριέχεται στο Δυναμικό Προγραμματισμό, είναι ότι οι αποφάσεις δεν πρέπει να αξιολογούνται μεμονωμένα, αλλά να λαμβάνεται υπ' όψιν η εξισορρόπηση μεταξύ της επιθυμίας για χαμηλό παρόν κόστος και του μη επιθυμητού γεγονότος υψηλών μελλοντικών κοστών. Λόγω του ότι οι αποφάσεις λαμβάνονται σε περιβάλλον αβεβαιότητας, η περιγραφή του προβλήματος περιέχει και στοχαστικά στοιχεία, περιγράφοντας το ενεχόμενο ρίσκο, γεγονός που εμπεριέχεται στη δομή του Αλγορίθμου του Δυναμικού Προγραμματισμού.

4.1 Μοντελοποίησης προβλήματος

Κατά την πρώτη φάση υλοποίησης του προβλήματος προσδιορισμού της βέλτιστης πολιτικής μίσθωσης της διαθέσιμης χωρητικότητας ενός Δορυφορικού Παροχέα, ως πρόβλημα Δυναμικού Προγραμματισμού, έγινε η μοντελοποίηση του συστήματος. Ένα σημαντικό σημείο, πέρα από την επίλυση, είναι και η σωστή μοντελοποίηση του υπό εξέταση προβλήματος, δημιουργώντας τις αρχικές εξισώσεις που περιγράφουν πλήρως το σύστημα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι που μπορούν να περιγράψουν το ίδιο σύστημα και πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος που θα αντιπροσωπεύει ορθά την οπτική γωνία εξέτασης του προβλήματος. Έτσι θα πρέπει αρχικά να επιλεγούν οι παράμετροι που θα περιγράφουν πλήρως το δυναμικό σύστημα διακριτού χρόνου αλλά και η συνάρτηση που θα τα συνδέει. Ακολούθως θα πρέπει να προσδιοριστεί η επαυξητική στο χρόνο συνάρτηση κόστους. Σημειώνεται εδώ ότι επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί στη υλοποίηση του αλγορίθμου η έννοια του κόστους και η αντίστοιχη ελαχιστοποίηση του, που προφανώς είναι ισοδύναμη με την έννοια της μεγιστοποίησης του κέρδους.

Κατάστροση εξίσωσης κατάστασης δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου

Προσδιορίζεται πλήρως η εξίσωση κατάστασης του υπό εξέταση δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου:

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 4.1}$$

Οι παράμετροι του συστήματος ορίζονται ακολούθως.

Ορισμός 4.1

Η διακριτοποίηση του δυναμικού συστήματος, γίνεται με βάση το χρόνο και συγκεκριμένα ως μονάδα χρόνου λαμβάνεται ο ένας μήνας. Έτσι ως k , ορίζεται ο αύξων αριθμός του μήνα κατάληψης χωρητικότητας στον πομποδέκτη του Δορυφόρου.

Ο χρονικός ορίζοντας N , που είναι και το πλήθος των επαναλήψεων που εφαρμόζεται ο αλγόριθμος του Δυναμικού Προγραμματισμού, είναι οι 60 μήνες, όπως και στο μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής.

Η θέση του συστήματος x_k , σε κάθε χρονική στιγμή k , ορίζεται για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, ως το συνολικό ποσό της κατειλημμένης χωρητικότητας του πομποδέκτη, το μήνα k , που προκύπτει ως το άθροισμα της ζητούμενης χωρητικότητας από όλους τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού, κατά τον μήνα k .

Ορίζεται ως $x_{k_{\text{left}}}$, σε κάθε χρονική στιγμή k , για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, το ποσό της χωρητικότητας του πομποδέκτη του Δορυφόρου, που δεν είναι κατειλημμένη, την χρονική στιγμή k , από τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού. Έτσι, η ποσότητα $x_{k_{\text{left}}}$, θα είναι είτε το ποσό της 'Κενής

Χωρητικότητας', σε αναλογία με το μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής (Ορισμός 3.3), όταν το k είναι μικρότερο ή ίσο του μέγιστου μήνα που ζητείται μίσθωση διαστημικής χωρητικότητας, από όλους τους πελάτες του συνδυασμού, είτε το ποσό της 'Εναπομένουσας Χωρητικότητας' (Ορισμός 3.3), όταν το k είναι μεγαλύτερο του μέγιστου μήνα που ζητείται μίσθωση διαστημικής χωρητικότητας, από όλους τους πελάτες του συνδυασμού, μέχρι τον τελικό μήνα $N-1$.

Το στοχαστικό στοιχείο του θορύβου w_k , σε κάθε χρονική στιγμή k , ορίζεται για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, ως το μέρος της μη κατειλημμένης χωρητικότητας από τους πελάτες του συνδυασμού, που ζητείται να μισθωθεί από πελάτες που μπορεί να εμφανιστούν στον Δορυφορικό Παροχέα και να ζητούν αυτό το ποσό της μη κατειλημμένης χωρητικότητας και δεν ανήκουν στον εκάστοτε συνδυασμό. Έτσι η ανεξάρτητη τυχαία παράμετρος w_k , είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την ποσότητα της μη κατειλημμένης χωρητικότητας x_{kleft} . Έτσι λαμβάνεται υπ' όψιν η περίπτωση όπου είναι πιο συμφέρον για τον Δορυφορικό Παροχέα να μην μισθώσει το όλον την χωρητικότητα που του απομένει μη κατειλημμένη από τους πελάτες ενός συνδυασμού, κάποιο μήνα k , αν για παράδειγμα υπάρχει πελάτης που ζητάει μίσθωση μικρότερης από αυτήν την μη κατειλημμένη χωρητικότητα για περισσότερους μήνες και θα του αποφέρει περισσότερα τελικά έσοδα.

Ο έλεγχος u_k , που εφαρμόζεται σύστημα τη χρονική στιγμή k , ορίζεται για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, ως η απόφαση κατά τη χρονική στιγμή k , της μίσθωσης ή όχι του μέρους της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, w_k . Οπότε η μεταβλητή απόφασης u_k , λαμβάνει διακριτές τιμές 0 ή 1.

Έτσι το μοντέλο του δυναμικού συστήματος παίρνει τη μορφή:

$$x_{k+1} = x_k + u_k w_k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 4.2}$$

με τον περιορισμό: $w_k \leq x_{kleft}$.

Κατάστρωση συνάρτησης κόστους δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου

Το κέρδος του συστήματος τη χρονική στιγμή k , που αντιπροσωπεύει το συνολικό κέρδος του Δορυφορικού Παροχέα, που προκύπτει από μίσθωση της διαθέσιμης διαστημικής χωρητικότητας απαρτίζεται από δύο όρους:

1) από τα έσοδα που προκύπτουν για τον Δορυφορικό Παροχέα από τη μίσθωση χωρητικότητας στους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού και είναι $x_k m1_k$. Ως $m1_k$, λαμβάνεται η μέση τιμή χρέωσης, ανά MHz των πελατών του συνδυασμού, την χρονική στιγμή k , όπως προκύπτει από τις χρεώσεις των εισερχόμενων πελατών. Οι χρεώσεις αυτές υπολογίζονται ως το κόστος επιμίσθωσης της ζητούμενης χωρητικότητας, από κάθε πελάτη του συνδυασμού, διαιρεμένο με το ποσό της ζητούμενης χωρητικότητας, όπως εμφανίζονται στον Πίνακα 3.1 των παραμέτρων εισόδου, ώστε να προκύψει η αντίστοιχη χρέωση ανά MHz.

2) από τα έσοδα $u_k w_k m2_k$ που προκύπτουν για τον Δορυφορικό Παροχέα από τη μίσθωση του τμήματος της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, από τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού, που επιλέγεται να μισθωθεί. Ως $m2_k$, λαμβάνεται η μέση τιμή χρέωσης ανά MHz, της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, την χρονική στιγμή k , η οποία εξαρτάται από το ποσό της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, το μήνα k και προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση. Το ποσό αυτό εσόδων, η αντίστοιχα το ποσό κόστους $-u_k w_k m2_k$ δίνει μία ανταμοιβή ή αντίστοιχα ποινή, για την επιμίσθωση ή όχι της χωρητικότητας που δεν καταλαμβάνεται από τους πελάτες τους συνδυασμού.

Η συνάρτηση κέρδους προκύπτει:

$$g_k(x_k, u_k, w_k) = x_k m1_k + u_k w_k m2_k \quad \text{Εξ. 4.3}$$

Οπότε το μοντέλου στοχαστικού Δυναμικού Προγραμματισμού, για την βέλτιστη κατανομή διαστημικής χωρητικότητας ενός Δορυφορικού Παροχέα, με στόχο την μεγιστοποίηση των εσόδων προκύπτει:

Το βέλτιστο κόστος

$$J^*(x_0) = J_{\pi^*}(x_0) = \min_{\pi \in \Pi} J_{\pi}(x_0) \quad \text{Εξ. 4.4}$$

$$\text{όπου } J_{\pi}(x_0) = \min E \left\{ g_N(x_N) + \sum_{k=0}^{N-1} g_k(x_k, \mu_k(x_k), w_k) \right\} \quad \text{Εξ. 4.5}$$

προκύπτει από το τελευταίο βήμα του Αλγορίθμου:

$$J_N(x_N) = g_N(x_N)$$

$$J_k(x_k) = \min_{u_k \in U_k, w_k} E \left\{ g_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(f_k(x_k, u_k, w_k)) \right\}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

$$\text{και } x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k) \quad \text{Εξ. 4.6}$$

ενώ η βέλτιστη πολιτική είναι η $\pi^* = (\mu_0^*, \dots, \mu_{N-1}^*)$, με $u_k^* = \mu_k^*(x_k)$, θεωρώντας:

$$x_{k+1} = -x_k - u_k w_k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 4.7}$$

$$g_k(x_k, u_k, w_k) = -x_k m1_k - u_k w_k m2_k \quad \text{Εξ. 4.8}$$

$$w_k \leq x_{k\text{left}} \quad \text{Εξ. 4.9}$$

με

$$x_k \in \mathbb{R} : x_k \geq 0, \quad w_k \in \mathbb{R} : w_k \geq 0, \quad m1_k \in \mathbb{R} : m1_k > 0, \quad m2_k \in \mathbb{R} : m2_k > 0$$

$$\text{και } u_k \in \{0, 1\} \subseteq \mathbb{N} \quad \text{Εξ. 4.10}$$

4.2 Επίλυση Προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού

Η επίλυση του αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού του υπό εξέταση προβλήματος, όπως περιγράφεται από τις Εξισώσεις 4.6-4.10, προκύπτει με αναλυτικό τρόπο. Αν και δεν είναι πάντα εφικτό να εξαχθεί η αναλυτική μορφή της λύσης, στο συγκεκριμένο πρόβλημα στάθηκε δυνατόν και έτσι απεφεύχθησαν οι αυξημένες υπολογιστικές απαιτήσεις.

Υπολογίζονται σταδιακά τα βέλτιστα κόστη όλων των υποπροβλημάτων ξεκινώντας από τα μικρότερου μήκους προς τα μεγαλύτερου προβλήματα.

Το τελικό κόστος λαμβάνεται 0, δηλαδή $g_N(x_N) = 0$ και έτσι

$$J_N(x_N) = 0 \quad \text{Eξ. 4.11}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 1 (Tail Subproblem of Length 1) - Στάδιο(N-1):

Το βέλτιστο κόστος κατά την τελευταία χρονική περίοδο είναι:

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{u_{N-1}, w_{N-1}} E \left\{ g_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + J_N(x_N) \right\} \quad \text{Eξ. 4.12}$$

όπου

$$g_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) = -x_{N-1} m1_{N-1} - u_{N-1} w_{N-1} m2_{N-1} \quad \text{Eξ. 4.13}$$

οπότε

$$\begin{aligned} J_{N-1}(x_{N-1}) &= \min_{u_{N-1}, w_{N-1}} E \left\{ (-x_{N-1} m1_{N-1} - u_{N-1} w_{N-1} m2_{N-1}) + J_N(x_N) \right\} = \\ &= \min_{u_{N-1}, w_{N-1}} E \left\{ (-x_{N-1} m1_{N-1} - u_{N-1} w_{N-1} m2_{N-1}) + 0 \right\} \end{aligned}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση u_{N-1} η οποία λαμβάνει δύο διακριτές τιμές 0 ή 1.

$$\text{Για } u_{N-1} = 0: J_{N-1}(x_{N-1}) = E \left\{ -x_{N-1} m1_{N-1} \right\}$$

$$\text{Για } u_{N-1} = 1: J_{N-1}(x_{N-1}) = E \left\{ -x_{N-1} m1_{N-1} - w_{N-1} m2_{N-1} \right\}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του u_{N-1} που δίνει τη μικρότερη τιμή, αφού όλες οι ποσότητες $x_i, m1_i, m2_i, w_i$ είναι θετικές, δηλαδή

$$\mu^*_{N-1}(x_{N-1}) = u^*_{N-1} = 1 \quad \text{Eξ. 4.14}$$

Έτσι

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = E \left\{ -x_{N-1} m1_{N-1} - w_{N-1} m2_{N-1} \right\} \Rightarrow$$

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = -x_{N-1}m1_{N-1} - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] \quad \text{Eξ. 4.15}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 2 (Tail Subproblem of Length 2) - Στάδιο (N-2):

Το βέλτιστο κόστος κατά την προτελευταία χρονική περίοδο είναι:

$$J_{N-2}(x_{N-2}) = \min_{u_{N-2}} E_{w_{N-2}} \{g_{N-2}(x_{N-2}, u_{N-2}, w_{N-2}) + J_{N-1}(x_{N-1})\} \quad \text{Eξ. 4.16}$$

όπου

$$g_{N-2}(x_{N-2}, u_{N-2}, w_{N-2}) = -x_{N-2}m1_{N-2} - u_{N-2}w_{N-2}m2_{N-2} \quad \text{Eξ. 4.17}$$

οπότε

$$J_{N-2}(x_{N-2}) = \min_{u_{N-2}} E_{w_{N-2}} \{(-x_{N-2}m1_{N-2} - u_{N-2}w_{N-2}m2_{N-2}) + J_{N-1}(x_{N-1})\}$$

και

$$x_{N-1} = x_{N-2} + u_{N-2}w_{N-2} \quad \text{Eξ. 4.18}$$

οπότε

$$J_{N-2}(x_{N-2}) = \min_{u_{N-2}} E_{w_{N-2}} \{(-x_{N-2}m1_{N-2} - u_{N-2}w_{N-2}m2_{N-2}) - (x_{N-2} + u_{N-2}w_{N-2})m1_{N-1} - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}]\}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση u_{N-2} η οποία λαμβάνει δύο διακριτές τιμές 0 ή 1.

$$\text{Για } u_{N-2} = 0: J_{N-2}(x_{N-2}) = E_{w_{N-2}} \left\{ -x_{N-2}m1_{N-2} - x_{N-2}m1_{N-1} - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] \right\}$$

$$\text{Για } u_{N-2} = 1: J_{N-2}(x_{N-2}) = E_{w_{N-2}} \{ -x_{N-2}m1_{N-2} - w_{N-2}m2_{N-2} - (x_{N-2} + w_{N-2})m1_{N-1} - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] \}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του u_{N-2} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\mu^*_{N-2}(x_{N-2}) = u^*_{N-2} = 1 \quad \text{Eξ. 4.19}$$

Έτσι

$$J_{N-2}(x_{N-2}) = E_{w_{N-2}} \{ -x_{N-2}m1_{N-2} - w_{N-2}m2_{N-2} - x_{N-2}m1_{N-1} - w_{N-2}m1_{N-1} - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] \} \Rightarrow$$

$$J_{N-2}(x_{N-2}) = -x_{N-2}m1_{N-2} - x_{N-2}m1_{N-1} -$$

$$- E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] \quad \text{Εξ. 4.20}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 3 (Tail Subproblem of Length 3) - Στάδιο (N-3):

Το βέλτιστο κόστος κατά την N-3 χρονική περίοδο είναι:

$$J_{N-3}(x_{N-3}) = \min_{u_{N-3}, w_{N-3}} E \left\{ g_{N-3}(x_{N-3}, u_{N-3}, w_{N-3}) + J_{N-2}(x_{N-2}) \right\} \quad \text{Εξ. 4.21}$$

όπου

$$g_{N-3}(x_{N-3}, u_{N-3}, w_{N-3}) = -x_{N-3} m1_{N-3} - u_{N-3} w_{N-3} m2_{N-3} \quad \text{Εξ. 4.22}$$

οπότε

$$J_{N-3}(x_{N-3}) = \min_{u_{N-3}, w_{N-3}} E \left\{ (-x_{N-3} m1_{N-3} - u_{N-3} w_{N-3} m2_{N-3}) + J_{N-2}(x_{N-2}) \right\}$$

και

$$x_{N-2} = x_{N-3} + u_{N-3} w_{N-3} \quad \text{Εξ. 4.23}$$

οπότε

$$J_{N-3}(x_{N-3}) = \min_{u_{N-3}, w_{N-3}} E \left\{ -x_{N-3} m1_{N-3} - u_{N-3} w_{N-3} m2_{N-3} - \right. \\ \left. -(x_{N-3} + u_{N-3} w_{N-3}) m1_{N-2} - (x_{N-3} + u_{N-3} w_{N-3}) m1_{N-1} - \right. \\ \left. - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] \right\} =$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση u_{N-3} η οποία λαμβάνει δύο διακριτές τιμές 0 ή 1.

$$\text{Για } u_{N-3} = 0: J_{N-3}(x_{N-3}) = E_{w_{N-3}} \left\{ -x_{N-3} m1_{N-3} - x_{N-3} m1_{N-2} - x_{N-3} m1_{N-1} - \right. \\ \left. - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] \right\}$$

$$\text{Για } u_{N-3} = 1: J_{N-3}(x_{N-3}) = E_{w_{N-3}} \left\{ -x_{N-3} m1_{N-3} - w_{N-3} m2_{N-3} - \right. \\ \left. -(x_{N-3} + w_{N-3}) m1_{N-2} - (x_{N-3} + w_{N-3}) m1_{N-1} - \right. \\ \left. - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] \right\}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του u_{N-3} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\mu_{N-3}^*(x_{N-3}) = u_{N-3}^* = 1 \quad \text{Εξ. 4.24}$$

Έτσι

$$J_{N-3}(x_{N-3}) = E_{w_{N-3}} \left\{ -x_{N-3} m1_{N-3} - w_{N-3} m2_{N-3} - \right.$$

$$\begin{aligned}
 & -x_{N-3}m1_{N-2} - w_{N-3}m1_{N-2} - x_{N-3}m1_{N-1} - w_{N-3}m1_{N-1} - \\
 & - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m2_{N-2}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m1_{N-1}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] \Rightarrow \\
 J_{N-3}(x_{N-3}) = & -x_{N-3}m1_{N-3} - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m2_{N-3}] - x_{N-3}m1_{N-2} - \\
 & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m1_{N-2}] - x_{N-3}m1_{N-1} - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m1_{N-1}] - \\
 & - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m2_{N-2}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m1_{N-1}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] \Rightarrow \\
 J_{N-3}(x_{N-3}) = & -x_{N-3}m1_{N-3} - x_{N-3}m1_{N-2} - x_{N-3}m1_{N-1} - \\
 & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m2_{N-3}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] - \\
 & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m1_{N-1}] \quad \text{Εξ. 4.25}
 \end{aligned}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 4 (Tail Subproblem of Length 4) - Στάδιο (N-4):

Το βέλτιστο κόστος κατά την N-4 χρονική περίοδο είναι:

$$J_{N-4}(x_{N-4}) = \min_{u_{N-4}} E_{w_{N-4}} \{g_{N-4}(x_{N-4}, u_{N-4}, w_{N-4}) + J_{N-3}(x_{N-3})\} \quad \text{Εξ. 4.26}$$

όπου

$$g_{N-4}(x_{N-4}, u_{N-4}, w_{N-4}) = -x_{N-4}m1_{N-4} - u_{N-4}w_{N-4}m2_{N-4} \quad \text{Εξ. 4.27}$$

οπότε

$$J_{N-4}(x_{N-4}) = \min_{u_{N-4}} E_{w_{N-4}} \{(-x_{N-4}m1_{N-4} - u_{N-4}w_{N-4}m2_{N-4}) + J_{N-3}(x_{N-3})\}$$

και

$$x_{N-3} = x_{N-4} + u_{N-4}w_{N-4} \quad \text{Εξ. 4.28}$$

οπότε

$$\begin{aligned}
 J_{N-4}(x_{N-4}) = \min_{u_{N-4}} E_{w_{N-4}} \{ & -x_{N-4}m1_{N-4} - u_{N-4}w_{N-4}m2_{N-4} - (x_{N-4} + u_{N-4}w_{N-4})m1_{N-3} - \\
 & - (x_{N-4} + u_{N-4}w_{N-4})m1_{N-2} - (x_{N-4} + u_{N-4}w_{N-4})m1_{N-1} - \\
 & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m2_{N-3}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1}m2_{N-1}] - \\
 & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3}m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2}m1_{N-1}] \}
 \end{aligned}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση u_{N-4} η οποία λαμβάνει δύο διακριτές τιμές 0 ή 1.

$$\begin{aligned} \text{Για } u_{N-4} = 0 : J_{N-4}(x_{N-4}) = & E_{w_{N-4}} \{ -x_{N-4} m1_{N-4} - x_{N-4} m1_{N-3} - x_{N-4} m1_{N-1} - \\ & -x_{N-4} m1_{N-2} - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m2_{N-3}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - \\ & - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Για } u_{N-4} = 1 : J_{N-4}(x_{N-4}) = & E_{w_{N-4}} \{ -x_{N-4} m1_{N-4} - w_{N-4} m2_{N-4} - (x_{N-4} + w_{N-4}) m1_{N-3} - \\ & - (x_{N-4} + w_{N-4}) m1_{N-1} - (x_{N-4} + w_{N-4}) m1_{N-2} - \\ & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m2_{N-3}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] - \\ & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] \} \end{aligned}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του u_{N-1} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\mu_{N-4}^*(x_{N-4}) = u_{N-4}^* = 1 \quad \text{Εξ. 4.29}$$

Έτσι

$$\begin{aligned} J_{N-4}(x_{N-4}) = & E_{w_{N-4}} \{ -x_{N-4} m1_{N-4} - w_{N-4} m2_{N-4} - x_{N-4} m1_{N-3} - w_{N-4} m1_{N-3} - \\ & -x_{N-4} m1_{N-1} - w_{N-4} m1_{N-1} - x_{N-4} m1_{N-2} - w_{N-4} m1_{N-2} - \\ & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m2_{N-3}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] - \\ & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] \} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{N-4}(x_{N-4}) = & -x_{N-4} m1_{N-4} - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m2_{N-4}] - x_{N-4} m1_{N-3} - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m1_{N-3}] - \\ & -x_{N-4} m1_{N-1} - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m1_{N-1}] - x_{N-4} m1_{N-2} - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m1_{N-2}] - \\ & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m2_{N-3}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] - \\ & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{N-4}(x_{N-4}) = & -x_{N-4} m1_{N-4} - x_{N-4} m1_{N-3} - x_{N-4} m1_{N-2} - x_{N-4} m1_{N-1} - \\ & - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m2_{N-4}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m2_{N-3}] - \\ & - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m2_{N-2}] - E_{w_{N-1}} [w_{N-1} m2_{N-1}] - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m1_{N-3}] - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m1_{N-2}] - E_{w_{N-4}} [w_{N-4} m1_{N-1}] - \\
 & - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-2}] - E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m1_{N-1}] - E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m1_{N-1}] \quad \text{Εξ. 4.30}
 \end{aligned}$$

Έτσι προκύπτει ο αναδρομικός τύπος του κόστους για το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής διαθέσιμου φάσματος ενός Δορυφορικού Παροχέα, για κάθε χρονική στιγμή k ,

$$J_N(x_N) = 0 \quad \text{Εξ. 4.31}$$

$$J_k(x_k) = -x_k \sum_{i=k}^{N-1} m1_i - \sum_{i=k}^{N-1} E_{w_i} w_i m2_i - \sum_{i=k}^{N-2} \sum_{j=1}^{N-1-i} E_{w_i} w_i m1_{i+j}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 4.32}$$

4.3 Υλοποίηση Μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού

Προσδιορισμός Μέσης Τιμής Θορύβου

Το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Microsoft .NET Framework, ικανοποιώντας την απαίτηση για αυξημένη υπολογιστική ισχύ. Οι τιμές των χρεώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατειλημμένη χωρητικότητα, από τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού $m1_i$, αλλά και των χρεώσεων για την μη κατειλημμένη χωρητικότητα, που πιθανόν να ζητηθεί και να μισθωθεί από πελάτες που δεν ανήκουν στον εκάστοτε συνδυασμό $m2_i$, προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την διεθνή δορυφορική αγορά. Οι τιμές των χρεώσεων $m1_i$ προκύπτουν από τους Πίνακες 3.2 και 3.3, ενώ οι τιμές των χρεώσεων $m2_i$ που κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το ποσό της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, από τον Πίνακα 3.3.

Η μέση τιμή του θορύβου όπως περιλαμβάνεται στην Εξίσωση 4.32, προσδιορίζεται ως εξής:

Για τη μέση τιμή του γινομένου $E_{w_i} w_i m2_i$ και για κάθε i ,

$$E_{w_i} w_i m2_i = \sum_{m=1}^{n-1} p_m c_m m2_m + p_a c_a m2_a \quad \text{Εξ. 4.33}$$

Έτσι ώστε το $n \in N$ προσδιορίζεται ως

$$n : c_n < w_i \quad \text{Εξ. 4.34}$$

$$\text{Και το } a \in \mathbb{N} : a = \begin{cases} n-1, & c_{n-1} < w_i \leq \frac{c_{n-1} + c_n}{2} \\ n, & \frac{c_{n-1} + c_n}{2} < w_i \leq c_n \end{cases} \quad \text{Eξ. 4.35}$$

Τα στοιχεία $c_m, p_m, m2_m$ που ορίζονται ως τα επιλεγμένα εύρη ζώνης ζητούμενης διαστημικής χωρητικότητας, η Πιθανότητα εμφάνισης πελάτη στον Δορυφορικό Παροχέα, σε 1 μήνα, που να θέλει το εκάστοτε εύρος ζώνης ζητούμενης χωρητικότητας και η Μέση τιμή (μ) χρέωσης, ανά MHz, ανά μήνα αντίστοιχα, προκύπτουν από τον Πίνακα 3.3. Όπου m , είναι ο αύξων αριθμός κατηγοριοποίησης, ανάλογα με το ζητούμενο εύρος ζώνης,

$$m \in [1,6] \in \mathbb{N} \quad \text{Eξ. 4.36}$$

Όταν $w_i = 36\text{MHz}$, δηλαδή

$$m=7 \quad \text{Eξ. 4.37}$$

τότε η μέση τιμή προκύπτει,

$$E_{w_i} w_i m2_i = \sum_{m=1}^6 p_m c_m m2_m + p_7 c_7 m_7 \quad \text{Eξ. 4.38}$$

με $c_7 = 36\text{MHz}$ και m_7 είναι η μέση τιμή χρέωσης ανά MHz, των 36 MHz. Το γινόμενο $c_7 m_7$, είναι η μέση τιμή χρέωση ανά 36MHz, ανά μήνα και λαμβάνεται από τον Πίνακα 3.2.

Έτσι

$$E_{w_i} w_i m2_i = \begin{cases} \sum_{m=1}^{n-1} p_m c_m m2_m + p_a c_a m2_a, & w_i < 36\text{MHz}, m \in [1,6] \\ \sum_{m=1}^6 p_m c_m m2_m + p_7 c_7 m_7, & w_i = 36\text{MHz}, m = 7 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Eξ. 4.39} \\ \text{Eξ. 4.40} \end{matrix}$$

όπου οι παράμετροι n, a προσδιορίζονται από τις Εξισώσεις 4.34 και 4.35.

Η μέση τιμή ως προς την παράμετρο διαταραχής w_i , του γινομένου $E_{w_i} w_i m1_i$, στην οποία το $m1_i$ δεν εξαρτάται από τον θόρυβο w_i προκύπτει,

$$E_{w_i} w_i m1_i = m1_i E_{w_i} w_i$$

και η μέση τιμή του θορύβου υπολογίζεται όπως και πριν,

$$E_{w_i} w_i m1_i = m1_i E_{w_i} w_i = \begin{cases} m1_i \sum_{m=1}^{n-1} p_m c_m + p_a c_a, & w_i < 36 \\ m1_i \sum_{m=1}^6 p_m c_m + p_7 c_7, & w_i = 36 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Eξ. 4.41} \\ \text{Eξ. 4.42} \end{matrix}$$

όπου οι παράμετροι n , a προσδιορίζονται από τις Εξισώσεις 4.34 και 4.35.

Αλγόριθμος Εύρεσης Πιθανών Συνδυασμών

Ως είσοδος του μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού, λαμβάνονται οι απαιτήσεις των πελατών, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Τα όρια του μοντέλου είναι η σύγκριση πιθανών συνδυασμών έως 10 πελατών, με μέγιστη διάρκεια ζητούμενης μίσθωσης τους 60 μήνες, δηλαδή $N=60$, ξεκινώντας από το μήνα 0, που μπορεί να επεκταθεί εύκολα, σε περισσότερους πελάτες εισόδου και σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Για κάθε έναν από τους πιθανούς συνδυασμούς (1.048.55 κατά το μέγιστο) υπολογίζεται η συνάρτηση κόστους για κάθε χρονική στιγμή k , $k=0,1,\dots,59$. Λόγω του αυξημένου πλήθους των δυνατών συνδυασμών που πρέπει να εξεταστούν αλλά και του μεγάλου χρονικού διαστήματος, που για κάθε ένα στάδιο πρέπει να υπολογιστούν όλοι οι όροι της Εξίσωσης 4.32, για να συντεθούν στην τελική συνάρτηση κόστους για κάθε χρονική στιγμή k , υλοποιείται ένας πιο αποδοτικός αλγόριθμος εύρεσης πιθανών συνδυασμών. Αποφεύγεται η εξαντλητική αναζήτηση όλων των λύσεων, ώστε να μειωθούν οι υπολογιστικές απαιτήσεις και το μοντέλο να είναι άμεσα επεκτάσιμο, με πλήρη παραμετροποίηση όλων των μεταβλητών που υπεισέρχονται στο υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης.

Ακολούθως παρατίθεται ο αλγόριθμος του ψευδοκώδικα για την εύρεση των πιθανών συνδυασμών πελατών.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ

ΓΙΑ $i = n1$ /* Πλήθος Πελατών */ ΕΩΣ 1 ΒΗΜΑ -1 ΕΚΤΕΛΕΣΕ

accepted=0 /* Αρχικοποίηση */

ΓΙΑ $t = 0$ ΕΩΣ 59 /* Όλο το χρονικό διάστημα */

ΕΑΝ $w(i, t)$ /* Χωρητικότητα πελάτη i , κατά το μήνα t */ > 0 ΤΟΤΕ accepted = 1

ΕΑΝ accepted ≠ 0 ΤΟΤΕ ΕΚΤΕΛΕΣΕ

ΓΙΑ $j = i - 1$ ΕΩΣ 1 ΒΗΜΑ -1

/* Λαμβάνονται οι συνδυασμοί ανά δύο πελάτες και πάνω, ξεκινώντας αντίστροφα, από τον τελευταίο πελάτη και όταν δεν είναι μηδενικός προχωράω στον επόμενο προς τον πρώτο */

Αρχικοποιώ accepted=1

ΓΙΑ $t = 0$ ΕΩΣ 59

ΕΑΝ $w(i, t) + w(j, t) > 36$ ΤΟΤΕ accepted=0

ΕΑΝ accepted=1 ΤΟΤΕ

$uk = j - 1$

ΕΑΝ $uk < 0$ ΤΟΤΕ $uk = 0$ /* ορίζεται η επόμενη τιμή δείκτη αύξων αριθμού πελάτη */

/* Αποδεκτός είναι ο συνδυασμός με άθροισμα χωρητικότητας πελατών κάτω από 36MHz, για ολόκληρο το χρονικό διάστημα. Αν υπερβαίνει το όριο αυτό, τότε σταματάει η αναζήτηση σε επόμενο πελάτη αφού σίγουρα ο συνδυασμός των 3 πελατών θα υπερβαίνει το όριο. */

$\alpha() = \{k, l, m, n, o, p, q, r\}$, $\beta() = \{uk, ul, um, un, uo, up, uq, ur\}$

ΓΙΑ $\delta=1$ ΕΩΣ 8 ΕΚΤΕΛΕΣΕ

ΓΙΑ $\alpha(\delta)=\beta(\delta)$ ΕΩΣ 0, Βήμα -1

Αρχικοποιώ $accepted=1$

ΓΙΑ $iz = 0$ ΕΩΣ 59

ΕΑΝ $w(i, t)+w(j, t)+ \sum_{p=\alpha(1)}^{\alpha(\delta)} w_{i_j}(p, t) > 36$ TOTE $accepted=0$

ΕΑΝ $accepted=1$ TOTE $\beta(\delta+1) = \alpha(\delta) - 1$

ΕΑΝ $\beta(\delta+1)<0$ TOTE $\beta(\delta+1)=0$

/* Στο τελικό στάδιο, $\alpha(8)=r$ η μεταβλητή $accepted$ τίθεται 0 για να σταματήσει η αναζήτηση

/* Υπολογίζονται όλοι οι υπόλοιποι συνδυασμοί πελατών ανά 2 και πάνω, χαρακτηριζόμενοι ως αποδεκτοί βάση του αθροίσματος της χωρητικότητάς τους, σε κάθε χρονική στιγμή */

Ορίζω $min_c=7$

ΓΙΑ $\delta=1$ ΕΩΣ 8 ΕΚΤΕΛΕΣΕ

ΓΙΑ $iz=0$ Το 59

ΕΑΝ $w(i, t)+w(j, t)+ \sum_{p=\alpha(1)}^{\alpha(\delta)} w(p, t) \geq min_c$ TOTE $accepted = 1$

/* Οι συνδιασμοί με άθροισμα χωρητικότητας, σε κάθε χρονική στιγμή, μικρότερη των 7MHz, απορρίπτονται, μιας και θα λόγω της χαμηλής κατάληψης της διαθέσιμης χωρητικότητας του πομποδέκτη των 36MHz, θα αποφέρουν και μικρό ποσό εσόδων.

/* Ακολούθως, ορίζονται για κάθε έναν πιθανό αποδεκτό συνδιασμό, οι χωρητικότητες κάθε μη μηδενικού πελάτη, για το ζητούμενο χρονικό διάστημα μίσθωσης του καθενός.

Κριτήριο Επιλογής Βέλτιστης Απόφασης

Ως έξοδος του μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού, λαμβάνεται η συνάρτηση κόστους, για κάθε πιθανό επιτρεπτό συνδυασμό και σε κάθε χρονική στιγμή k . Το κριτήριο επιλογής βέλτιστης απόφασης, αποτελεί το κόστος κατά την τελική χρονική στιγμή. Ως τελική χρονική στιγμή, λαμβάνεται ο χρόνος $k=0$, αφού στην λογική υλοποίηση του αλγορίθμου του Δυναμικού Προγραμματισμού, προχωράμε προς τα πίσω στο χρόνο. Ο καλύτερος συνδυασμός πελατών, είναι αυτός με το μικρότερο

τελικό $J_k(x_k)$, την τελική χρονική στιγμή $k=0$, που προφανώς αντιστοιχεί στο σενάριο με το μέγιστο αριθμό εσόδων για το Δορυφορικό Παροχέα.

Το πραγματικό ποσό των εσόδων που αναμένει ο Δορυφορικός Παροχέας να αποκομίσει, είναι το άθροισμα των εσόδων για κάθε χρονικό στάδιο k , του χρονικού ορίζοντα. Σε κάθε χρονική στιγμή k , το πραγματικό ποσό που αποκομίζει ο Δορυφορικός Παροχέας και προκύπτει από το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού είναι,

$$-(J_k(x_k) - J_{k+1}(x_{k+1}))$$

οπότε το συνολικό ποσό είναι,

$$\sum_{k=0}^{N-1} -(J_k(x_k) - J_{k+1}(x_{k+1})) = -J_0(x_0) + J_N(x_N)$$

που επειδή στην συγκεκριμένη υλοποίηση έχει ληφθεί $J_N(x_N) = 0$, θα ισούται με το κέρδος στην αρχική κατάσταση δηλαδή $-J_0(x_0)$.

Κεφάλαιο 5

Εναλλακτικός Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού

Ακολουθως παρατίθεται ένας εναλλακτικός αλγόριθμος για το πρόβλημα του προσδιορισμού της βέλτιστης πολιτικής μίσθωσης της διαθέσιμης χωρητικότητας ενός Δορυφορικού Παροχέα ως εφαρμογή στοχαστικού Δυναμικού Προγραμματισμού. Σε αυτόν τον αλγόριθμο, γίνεται διαφορετική περιγραφή του ίδιου προβλήματος, μέσω της διαφορετικής μοντελοποίησης. Ορίζεται διαφοροποιημένη εξίσωση κατάστασης αλλά και κόστους, όπου περιγράφονται ως διανυσματικά μεγέθη.

Η διαφορετική λογική μοντελοποίησης έγκειται στην θεώρηση της κατάστασης σε κάθε χρονική στιγμή, ως διάνυσμα που περιλαμβάνει όλες τις καταστάσεις από την αρχική μέχρι την υπό εξέταση χρονική στιγμή. Η σύγκριση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων των προτεινόμενων μεθοδολογιών, που ακολουθούν διαφορετική λογική υλοποίησης και μοντελοποίησης, αποτελεί κριτήριο επιβεβαίωσης της ορθότητας της μελέτης.

5.1 Μοντελοποίησης προβλήματος

Προσδιορίζονται οι παράμετροι του προβλήματος και οι εξισώσεις κατάστασης και κόστους.

Κατάσρωση εξίσωσης κατάστασης δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου

Προσδιορίζεται πλήρως η εξίσωση κατάστασης του υπό εξέταση δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου, $x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k)$, $k=0,1,\dots,N-1$, όπου οι παράμετροι του συστήματος ορίζονται ακολούθως.

Ορισμός 5.1

Ως k , ορίζεται ο αύξων αριθμός του μήνα κατάληψης χωρητικότητας στον πομποδέκτη του Δορυφόρου.

Ο χρονικός ορίζοντας N , που είναι και το πλήθος των επαναλήψεων που εφαρμόζεται ο αλγόριθμος, είναι οι 60 μήνες, όπως και στο μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής αλλά και στην πρώτη υλοποίηση ως πρόβλημα Δυναμικού Προγραμματισμού.

Ως \bar{x}_k , σε κάθε χρονική στιγμή k , ορίζεται το διάνυσμα της θέσης του συστήματος, διάστασης N , που αντιπροσωπεύει το προφίλ της κατειλημμένης χωρητικότητας κάθε χρονική στιγμή μέχρι την k , για κάθε συνδυασμό πελατών. Κάθε θέση του διανύσματος, αντιστοιχεί στην συνολική χωρητικότητα x_j που είναι κατειλημμένη από τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού κάθε χρονική στιγμή j , από την αρχική, μέχρι την τελική, $j = 0, 1, \dots, N-1$. Το διάνυσμα της θέσης του συστήματος, θα έχει μη μηδενικά στοιχεία καθ' όλο το ζητούμενο διάστημα μίσθωσης, από τους πελάτες του συνδυασμού και μηδενικά στοιχεία, από τον επόμενο μήνα, από τον μέγιστο μήνα που ζητείται μίσθωση χωρητικότητας από όλους τους πελάτες του συνδυασμού $t_{\text{end}_{\text{max}}}$, μέχρι την τελική χρονική στιγμή $N-1$.

$$\bar{x}_k = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{t_{\text{end}_{\text{max}}}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Εξ. 5.1}$$

Ορίζεται ως $x_{k_{\text{left}}}$, σε κάθε χρονική στιγμή k , για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, το ποσό της χωρητικότητας του πομποδέκτη του Δορυφόρου, που δεν είναι κατειλημμένο, την χρονική στιγμή k , από τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού, σε αντιστοιχία με την πρώτη υλοποίηση προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού.

Το στοχαστικό στοιχείο του θορύβου \bar{w}_k , σε κάθε χρονική στιγμή k , ορίζεται για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, ως το προφίλ της μη κατειλημμένης χωρητικότητας από τους πελάτες του συνδυασμού, που ζητείται να μισθωθεί από πελάτες, που μπορεί να εμφανιστούν στον Δορυφορικό Παροχέα και να ζητούν αυτό το ποσό της μη κατειλημμένης χωρητικότητας και δεν ανήκουν στον εκάστοτε συνδυασμό. Κάθε θέση του διανύσματος, διάστασης N , αντιστοιχεί στο ποσό της μη κατειλημμένης χωρητικότητας που επιλέγεται να μισθωθεί, κάθε χρονική στιγμή j , ξεκινώντας από την αρχική, μέχρι την k , όταν

$$\bar{w}_k = \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ \vdots \\ w_k \\ w_{k+1} \\ \vdots \\ w_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ \vdots \\ w_k \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Εξ. 5.2}$$

Κάθε στοιχείο w_j του διανύσματος της θέσης του συστήματος θα πρέπει να είναι μικρότερο ή το πολύ ίσο της $x_{j_{\text{left}}}$, κάθε χρονική στιγμή j , όταν $j = 0, 1, \dots, k$. Για τις επόμενες χρονικές στιγμές μέχρι την $N-1$, τα w_j είναι 0, οπότε πάλι ισχύει η ανισότητα περιορισμού. Έτσι

$$w_j \leq x_{j_{\text{left}}}, \quad \forall j = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 5.3}$$

Ορίζεται ως $\bar{\mathbf{u}}_k$, το διάνυσμα του ελέγχου, που εφαρμόζεται σύστημα τη χρονική στιγμή k , για κάθε συνδυασμό εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, ως η απόφαση μέχρι τη χρονική στιγμή k , της μίσθωσης ή όχι του μέρους της μη κατειλημμένης χωρητικότητας \bar{w}_k . Κάθε θέση u_i του διανύσματος διάστασης N , λαμβάνει διακριτές τιμές 1 ή 0, που αντιστοιχούν στην απόφαση κάθε χρονική στιγμή i , της μίσθωσης ή όχι, της μη κατειλημμένης χωρητικότητας μέχρι τη k , όταν $j = 0, 1, \dots, k$ και είναι μηδέν αλλού. Έτσι

$$\bar{\mathbf{u}}_k = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_k \\ u_{k+1} \\ \vdots \\ u_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_k \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Εξ. 5.4}$$

Το μοντέλο του δυναμικού συστήματος παίρνει τη μορφή:

$$\bar{\mathbf{x}}_{k+1} = \bar{\mathbf{x}}_k \Phi(k) + \bar{\mathbf{u}}_k \bar{w}_k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 5.5}$$

όπου τα $\bar{\mathbf{x}}_k$, $\bar{\mathbf{u}}_k$, \bar{w}_k περιγράφονται από τις Εξισώσεις 6.1-6.4, και

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} \Phi_0 \\ \Phi_1 \\ \vdots \\ \Phi_k \\ \Phi_{k+1} \\ \vdots \\ \Phi_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Εξ. 5.6}$$

με τον περιορισμό $w_j \leq x_{j_{\text{left}}}, \quad \forall j = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 5.7}$

Το διάνυσμα Φ_k , αντιστοιχεί στην βηματική συνάρτηση με αρνητικό όρισμα και ουσιαστικά απομονώνει από το συνολικό προφίλ της κατειλημμένης χωρητικότητας, το τμήμα του προφίλ που αντιστοιχεί από την αρχή του χρόνου, μέχρι την υπό εξέταση χρονική στιγμή k .

Κατάστροφωση συνάρτησης κόστους δυναμικού συστήματος διακριτού χρόνου

Το κέρδος του συστήματος κάθε χρονική στιγμή k , που αντιπροσωπεύει το συνολικό κέρδος του Δορυφορικού Παροχέα, που προκύπτει από μίσθωση της διαθέσιμης διαστημικής χωρητικότητας, προκύπτει σε αναλογία με την πρώτη υλοποίηση ως προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού και απαρτίζεται από δύο όρους:

1) από όλα τα έσοδα που προκύπτουν για τον Δορυφορικό Παροχέα, μέχρι και τη χρονική στιγμή k , από τη μίσθωση χωρητικότητας στους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού και είναι $\bar{x}_k \Phi(k) \bar{m1}_k$. Ως $\bar{m1}_k$, λαμβάνεται το διάνυσμα της χρέωσης, όπου κάθε στοιχείο του $\bar{m1}_i$, αποτελεί τη μέση τιμή χρέωσης ανά MHz των πελατών του συνδυασμού, κάθε χρονική στιγμή j , όπως προκύπτει από τις χρεώσεις των εισερχόμενων πελατών, για όλο το ζητούμενο χρονικό διάστημα μίσθωσης.

Το διάνυσμα $\bar{m1}_k$, θα έχει μη μηδενικές τιμές καθ' όλο το ζητούμενο διάστημα μίσθωσης, από τους πελάτες του συνδυασμού και μηδενικές τιμές, από τον επόμενο μήνα, από τον μέγιστο μήνα που ζητείται μίσθωση χωρητικότητας από όλους τους πελάτες του συνδυασμού, μέχρι την τελική χρονική στιγμή $N-1$.

$$\bar{m1}_k = \begin{bmatrix} m1_0 \\ m2_1 \\ \vdots \\ m1_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m1_0 \\ m1_1 \\ \vdots \\ m1_{t_{\text{end}_{\text{max}}}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Εξ. 5.8}$$

Οι χρεώσεις $m1_j$, προκύπτουν ως η μέση τιμή του κόστους επιμίσθωσης της ζητούμενης χωρητικότητας, από κάθε πελάτη του συνδυασμού, διαιρεμένο με το ποσό της ζητούμενης χωρητικότητας, όπως εμφανίζονται στον Πίνακα 3.1 των παραμέτρων εισόδου, ώστε να προκύψει η αντίστοιχη μέση τιμή χρέωσης ανά MHz.

2) από όλα τα έσοδα $\bar{u}_k \bar{w}_k \bar{m2}_k$ που προκύπτουν για τον Δορυφορικό Παροχέα από τη μίσθωση της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, από τους πελάτες του εκάστοτε συνδυασμού, μέχρι τη χρονική στιγμή k . Ως $\bar{m2}_k$, λαμβάνεται το διάνυσμα της χρέωσης, όπου κάθε στοιχείο του $\bar{m2}_j$, αποτελεί τη μέση τιμή χρέωσης ανά MHz, της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, την χρονική στιγμή j , η οποία εξαρτάται από το ποσό της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, το μήνα j και προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση. Το ποσό αυτό εσόδων, η αντίστοιχα το ποσό κόστους $\bar{u}_k \bar{w}_k \bar{m2}_k$ δίνει μία ανταμοιβή ή αντίστοιχα ποινή, για την επιμίσθωση ή όχι της χωρητικότητας που δεν καταλαμβάνεται από τους πελάτες τους συνδυασμού.

$$\vec{m2}_k = \begin{bmatrix} m2_0 \\ m2_1 \\ \vdots \\ m2_k \\ m2_{k+1} \\ \vdots \\ m2_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m2_0 \\ m2_1 \\ \vdots \\ m2_k \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Εξ. 5.9}$$

Η συνάρτηση κόστους προκύπτει:

$$\vec{g}_k(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k) = -\vec{x}_k \Phi(k) \vec{m1}_k - \vec{u}_k \vec{w}_k \vec{m2}_k \quad \text{Εξ. 5.10}$$

Το μοντέλου στοχαστικού Δυναμικού Προγραμματισμού για την βέλτιστη κατανομή διαστημικής χωρητικότητας ενός Δορυφορικού Παροχέα, με στόχο την μεγιστοποίηση των εσόδων προκύπτει από το τελευταίο βήμα του αλγορίθμου:

$$\vec{J}_N(\vec{x}_N) = 0$$

$$\vec{J}_k(\vec{x}_k) = \min_{\vec{u}_k \in U_k, \vec{w}_k} E \{ \vec{g}_k(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k) + \vec{J}_{k+1}(\vec{f}_k(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k)) \}, k = 0, 1, \dots, N-1$$

$$\text{και } \vec{x}_{k+1} = \vec{f}_k(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k) \quad \text{Εξ. 5.11}$$

με

$$\vec{x}_{k+1} = -\vec{x}_k \Phi(k) - \vec{u}_k \vec{w}_k, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{Εξ. 5.12}$$

$$\vec{g}_k(\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k) = -\vec{x}_k \Phi(k) \vec{m1}_k - \vec{u}_k \vec{w}_k \vec{m2}_k \quad \text{Εξ. 5.13}$$

όπου όλα τα στοιχεία $\vec{x}_k, \vec{u}_k, \vec{w}_k, \Phi_k, \vec{m1}_k, \vec{m2}_k$ ορίστηκαν από τις Εξισώσεις 5.1, 5.4, 5.2, 5.6, 5.8, 5.9 αντίστοιχα, υπό τον περιορισμό της Εξίσωσης 5.3.

5.2 Επίλυση Προβλήματος Δυναμικού Προγραμματισμού

Η επίλυση του αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού του υπό εξέταση προβλήματος, όπως περιγράφηκε ανωτέρω, προκύπτει με αναλυτικό τρόπο.

Υπολογίζονται σταδιακά τα βέλτιστα κόστη όλων των υποπροβλημάτων ξεκινώντας από τα μικρότερου μήκους προς τα μεγαλύτερου προβλήματα.

Το τελικό κόστος λαμβάνεται 0, δηλαδή $\vec{g}_N(\vec{x}_N) = \vec{0}$ και έτσι

$$\vec{J}_N(\vec{x}_N) = \vec{0} \quad \text{Εξ. 5.14}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 1 (Tail Subproblem of Length 1) - Στάδιο(N-1):

Το βέλτιστο κόστος κατά την τελευταία χρονική περίοδο είναι:

$$\bar{J}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}) = \min_{\bar{u}_{N-1}, \bar{w}_{N-1}} E \left\{ \bar{g}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}, \bar{u}_{N-1}, \bar{w}_{N-1}) + \bar{J}_N(\bar{x}_N) \right\} \quad \text{Εξ. 5.15}$$

όπου

$$\bar{g}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}, \bar{u}_{N-1}, \bar{w}_{N-1}) = -\bar{x}_{N-1} \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - \bar{u}_{N-1} \bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \quad \text{Εξ. 5.16}$$

οπότε

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}) &= \min_{\bar{u}_{N-1}, \bar{w}_{N-1}} E \left\{ (-\bar{x}_{N-1} \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - \bar{u}_{N-1} \bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}) + \bar{J}_N(\bar{x}_N) \right\} = \\ &= \min_{\bar{u}_{N-1}, \bar{w}_{N-1}} E \left\{ (-\bar{x}_{N-1} \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - \bar{u}_{N-1} \bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}) + 0 \right\} \end{aligned}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση \bar{u}_{N-1} . Η ελάχιστη τιμή του κόστους κατά την χρονική στιγμή N-1, προκύπτει όταν όλα τα μη μηδενικά στοιχεία του διανύσματος \bar{u}_{N-1} που μπορούν να λάβουν τις τιμές 0 και 1, γίνουν 1, δηλαδή $u_i = 1$,

$$\text{όταν } i = \{0, 1, \dots, N-1\} \text{ και } \bar{u}_{N-1} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του \bar{u}_{N-1} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\bar{u}_{N-1}^* (\bar{x}_{N-1}) = \bar{u}_{N-1}^* = \bar{u}_{N-1} \quad \text{Εξ. 5.17}$$

$$\text{Για } \bar{u}_{N-1} = \bar{u}_{N-1}^* : \bar{J}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}) = E_{\bar{w}_{N-1}} \left\{ -\bar{x}_{N-1} \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - \bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right\}$$

Έτσι

$$\bar{J}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}) = -\bar{x}_{N-1} \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - E_{\bar{w}_{N-1}} \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \quad \text{Εξ. 5.18}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 2 (Tail Subproblem of Length 2) - Στάδιο (N-2):

Το βέλτιστο κόστος κατά την προτελευταία χρονική περίοδο είναι:

$$\bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = \min_{\bar{u}_{N-2}, \bar{w}_{N-2}} E \left\{ \bar{g}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}, \bar{u}_{N-2}, \bar{w}_{N-2}) + \bar{J}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}) \right\} \quad \text{Εξ. 5.19}$$

όπου

$$\bar{g}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}, \bar{u}_{N-2}, \bar{w}_{N-2}) = -\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - \bar{u}_{N-2} \bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \quad \text{Εξ. 5.20}$$

οπότε

$$\bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = \min_{\bar{u}_{N-2}, \bar{w}_{N-2}} E \left\{ (-\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - \bar{u}_{N-2} \bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}) + \bar{J}_{N-1}(\bar{x}_{N-1}) \right\}$$

και

$$\bar{x}_{N-1} = \bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} + \bar{u}_{N-2} \bar{w}_{N-2} \quad \text{Εξ. 5.21}$$

οπότε

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = \min_{\bar{u}_{N-2}, \bar{w}_{N-2}} E \{ & (-\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - \bar{u}_{N-2} \bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}) - \\ & - (\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} + \bar{u}_{N-2} \bar{w}_{N-2}) \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \} \end{aligned}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση \bar{u}_{N-2} . Η ελάχιστη τιμή του κόστους κατά την χρονική στιγμή N-2, προκύπτει όταν όλα τα μη μηδενικά στοιχεία του διανύσματος \bar{u}_{N-2} που μπορούν να λάβουν τις τιμές 0 και 1, γίνουν 1, δηλαδή $u_i = 1$,

$$\text{όταν } i = \{0, 1, \dots, N-2\} \text{ και } \bar{u}_{N-2} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του \bar{u}_{N-2} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\bar{u}_{N-2}^* = \bar{u}_{N-2}^* = \bar{u}_{N-2}^* \quad \text{Eξ. 5.22}$$

$$\begin{aligned} \text{Για } \bar{u}_{N-2} = \bar{u}_{N-2}^* : \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = E_{\bar{w}_{N-2}} \{ & (-\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - \bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}) - \\ & - (\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} + \bar{w}_{N-2}) \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1} - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \} \end{aligned}$$

Έτσι

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = & -\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}] - \\ & -\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-1} - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \Phi_{N-1} \bar{m1}_{N-1}] - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = & -\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} (\bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}] - \\ & - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-1}] - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) = & -\bar{x}_{N-2} \Phi_{N-2} (\bar{m1}_{N-2} - \bar{m1}_{N-1}) - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}] - \\ & - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2}] - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \quad \text{Eξ. 5.23} \end{aligned}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 3 (Tail Subproblem of Length 3) - Στάδιο (N-3):

Το βέλτιστο κόστος κατά την N-3 χρονική περίοδο είναι:

$$\bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) = \min_{\bar{u}_{N-3}, \bar{w}_{N-3}} E \{ \bar{g}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}, \bar{u}_{N-3}, \bar{w}_{N-3}) + \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) \} \quad \text{Eξ. 5.24}$$

όπου

$$\bar{g}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}, \bar{u}_{N-3}, \bar{w}_{N-3}) = -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \bar{m1}_{N-3} - \bar{u}_{N-3} \bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \quad \text{Εξ. 5.25}$$

οπότε

$$\bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) = \min_{\bar{u}_{N-3}, \bar{w}_{N-3}} E \left\{ (-\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \bar{m1}_{N-3} - \bar{u}_{N-3} \bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3}) + \bar{J}_{N-2}(\bar{x}_{N-2}) \right\}$$

και

$$\bar{x}_{N-2} = \bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} + \bar{u}_{N-3} \bar{w}_{N-3} \quad \text{Εξ. 5.26}$$

οπότε

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) = \min_{\bar{u}_{N-3}, \bar{w}_{N-3}} E \{ & -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \bar{m1}_{N-3} - \bar{u}_{N-3} \bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} - \\ & -(\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} + \bar{u}_{N-3} \bar{w}_{N-3}) \Phi_{N-2} (\bar{m1}_{N-2} - \bar{m1}_{N-1}) - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}] - \\ & - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2}] - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \} \end{aligned}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση \bar{u}_{N-3} . Η ελάχιστη τιμή του κόστους κατά την χρονική στιγμή N-3, προκύπτει όταν όλα τα μη μηδενικά στοιχεία του διανύσματος \bar{u}_{N-3} που μπορούν να λάβουν τις τιμές 0 και 1, γίνουν 1, δηλαδή $u_i = 1$,

$$\text{όταν } i = \{0, 1, \dots, N-3\} \text{ και } \bar{u}_{N-3,1} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του \bar{u}_{N-3} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\bar{\mu}_{N-3}^*(\bar{x}_{N-3}) = \bar{u}_{N-3}^* = \bar{u}_{N-3,1} \quad \text{Εξ. 5.27}$$

$$\begin{aligned} \text{Για } \bar{u}_{N-3} = \bar{u}_{N-3}^* : \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) = E_{\bar{w}_{N-3}} \{ & -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \bar{m1}_{N-3} - \bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} - \\ & -(\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} + \bar{w}_{N-3}) \Phi_{N-2} (\bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}] - \\ & - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2}] - E_{\bar{w}_{N-1}} [\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1}] \} \end{aligned}$$

Έτσι

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) = E_{\bar{w}_{N-3}} \{ & -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \bar{m1}_{N-3} - \bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} - \bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - \\ & -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-1} - \bar{w}_{N-3} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-2} - \\ & -\bar{w}_{N-3} \Phi_{N-2} \bar{m1}_{N-1} - E_{\bar{w}_{N-2}} [\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2}] - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \} \Rightarrow \\
 \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) &= -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} (\bar{m1}_{N-3} + \bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - \\
 & - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-2} \right] \\
 & - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \Rightarrow \\
 \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) &= -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} (\bar{m1}_{N-3} + \bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - \\
 & - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \\
 & - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \Rightarrow \\
 \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) &= -\bar{x}_{N-3} \Phi_{N-3} (\bar{m1}_{N-3} + \bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - \\
 & - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \right] - 2 \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \right] - \\
 & - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \tag{Eξ. 5.28}
 \end{aligned}$$

Ουραίο υποπρόβλημα Μήκους 4 (Tail Subproblem of Length 4) - Στάδιο (N-4):

Το βέλτιστο κόστος κατά την N-4 χρονική περίοδο είναι:

$$\bar{J}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}) = \min_{\bar{u}_{N-4}, \bar{w}_{N-4}} E \left\{ \bar{g}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}, \bar{u}_{N-4}, \bar{w}_{N-4}) + \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) \right\} \tag{Eξ. 5.29}$$

όπου

$$\bar{g}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}, \bar{u}_{N-4}, \bar{w}_{N-4}) = -\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m1}_{N-4} - \bar{u}_{N-4} \bar{w}_{N-4} \bar{m2}_{N-4} \tag{Eξ. 5.30}$$

οπότε

$$\bar{J}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}) = \min_{\bar{u}_{N-4}, \bar{w}_{N-4}} E \left\{ (-\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m1}_{N-4} - \bar{u}_{N-4} \bar{w}_{N-4} \bar{m2}_{N-4}) + \bar{J}_{N-3}(\bar{x}_{N-3}) \right\}$$

και

$$\bar{x}_{N-3} = \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} + \bar{u}_{N-4} \bar{w}_{N-4} \tag{Eξ. 5.31}$$

οπότε

$$\begin{aligned}
 \bar{J}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}) &= \min_{\bar{u}_{N-4}, \bar{w}_{N-4}} E \left\{ (-\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m1}_{N-4} - \bar{u}_{N-4} \bar{w}_{N-4} \bar{m2}_{N-4}) - \right. \\
 & \left. - (\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} + \bar{u}_{N-4} \bar{w}_{N-4}) \Phi_{N-3} (\bar{m1}_{N-3} + \bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - \right. \\
 & \left. - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \right] - 2 \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \right.
 \end{aligned}$$

$$- \bar{w}_{N-2} E [\bar{w}_{N-2} \bar{m}2_{N-2}] - \bar{w}_{N-2} E [\bar{w}_{N-2} \bar{m}1_{N-2}] - \bar{w}_{N-1} E [\bar{w}_{N-1} \bar{m}2_{N-1}] \}$$

Η ελαχιστοποίηση γίνεται ως προς την απόφαση \bar{u}_{N-4} . Η ελάχιστη τιμή του κόστους κατά την χρονική στιγμή N-4, προκύπτει όταν όλα τα μη μηδενικά στοιχεία του διανύσματος \bar{u}_{N-4} που μπορούν να λάβουν τις τιμές 0 και 1, γίνουν 1, δηλαδή $u_i = 1$,

$$\text{όταν } i = \{0, 1, \dots, N-4\} \text{ και } \bar{u}_{N-4, i} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Οπότε επιλέγεται η τιμή του \bar{u}_{N-4} που δίνει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή

$$\bar{\mu}_{N-4}^* (\bar{x}_{N-4}) = \bar{u}_{N-4}^* = \bar{u}_{N-4, i} \quad \text{Εξ. 5.32}$$

$$\begin{aligned} \text{Για } u_{N-4} = \bar{u}_{N-4}^* : \bar{J}_{N-4} (\bar{x}_{N-4}) &= E \{ (-\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m}1_{N-4} - \bar{w}_{N-4} \bar{m}2_{N-4}) - \\ & - (\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} + \bar{w}_{N-4}) \Phi_{N-3} (\bar{m}1_{N-3} + \bar{m}1_{N-2} + \bar{m}1_{N-1}) - \\ & - \bar{w}_{N-3} E [\bar{w}_{N-3} \bar{m}2_{N-3}] - 2 \bar{w}_{N-3} E [\bar{w}_{N-3} \bar{m}1_{N-3}] - \\ & - \bar{w}_{N-2} E [\bar{w}_{N-2} \bar{m}2_{N-2}] - \bar{w}_{N-2} E [\bar{w}_{N-2} \bar{m}1_{N-2}] - \bar{w}_{N-1} E [\bar{w}_{N-1} \bar{m}2_{N-1}] \} \end{aligned}$$

Έτσι

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-4} (\bar{x}_{N-4}) &= E \{ -\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m}1_{N-4} - \bar{w}_{N-4} \bar{m}2_{N-4} - \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \Phi_{N-3} \bar{m}1_{N-3} \\ & - \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \Phi_{N-3} \bar{m}1_{N-2} - \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \Phi_{N-3} \bar{m}1_{N-1} - \\ & - \bar{w}_{N-4} \Phi_{N-3} \bar{m}1_{N-3} - \bar{w}_{N-4} \Phi_{N-3} \bar{m}1_{N-2} - \bar{w}_{N-4} \Phi_{N-3} \bar{m}1_{N-1} - \\ & - \bar{w}_{N-3} E [\bar{w}_{N-3} \bar{m}2_{N-3}] - 2 \bar{w}_{N-3} E [\bar{w}_{N-3} \bar{m}1_{N-3}] - \\ & - \bar{w}_{N-2} E [\bar{w}_{N-2} \bar{m}2_{N-2}] - \bar{w}_{N-2} E [\bar{w}_{N-2} \bar{m}1_{N-2}] - \bar{w}_{N-1} E [\bar{w}_{N-1} \bar{m}2_{N-1}] \} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{J}_{N-4} (\bar{x}_{N-4}) &= -\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m}1_{N-4} - \bar{w}_{N-4} E [\bar{w}_{N-4} \bar{m}2_{N-4}] - \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m}1_{N-3} - \\ & - \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m}1_{N-2} - \bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} \bar{m}1_{N-1} - \bar{w}_{N-4} E [\bar{w}_{N-4} \bar{m}1_{N-3}] \\ & - \bar{w}_{N-4} E [\bar{w}_{N-4} \bar{m}1_{N-2}] - \bar{w}_{N-4} E [\bar{w}_{N-4} \bar{m}1_{N-1}] - \bar{w}_{N-3} E [\bar{w}_{N-3} \bar{m}2_{N-3}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -2 \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \right] \\
 & - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \Rightarrow \\
 \bar{J}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}) &= -\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} (\bar{m1}_{N-4} + \bar{m1}_{N-3} + \bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - \bar{w}_{N-4} E \left[\bar{w}_{N-4} \bar{m2}_{N-4} \right] \\
 & - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \\
 & - \bar{w}_{N-4} E \left[\bar{w}_{N-4} \bar{m1}_{N-4} \right] - \bar{w}_{N-4} E \left[\bar{w}_{N-4} \bar{m1}_{N-4} \right] - 2 \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \\
 & - \bar{w}_{N-4} E \left[\bar{w}_{N-4} \bar{m1}_{N-4} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] \Rightarrow \\
 \bar{J}_{N-4}(\bar{x}_{N-4}) &= -\bar{x}_{N-4} \Phi_{N-4} (\bar{m1}_{N-4} + \bar{m1}_{N-3} + \bar{m1}_{N-2} + \bar{m1}_{N-1}) - \\
 & - \bar{w}_{N-4} E \left[\bar{w}_{N-4} \bar{m2}_{N-4} \right] - \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m2}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m2}_{N-2} \right] - \bar{w}_{N-1} E \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] \\
 & - 3 \bar{w}_{N-4} E \left[\bar{w}_{N-4} \bar{m1}_{N-4} \right] - 2 \bar{w}_{N-3} E \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m1}_{N-3} \right] - \bar{w}_{N-2} E \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m1}_{N-2} \right] \quad \text{Εξ. 5.33}
 \end{aligned}$$

Έτσι προκύπτει ο αναδρομικός τύπος του κόστους για το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής διαθέσιμου φάσματος ενός Δορυφορικού Παροχέα, για κάθε χρονική στιγμή k ,

$$\bar{J}_N(\bar{x}_N) = 0 \quad \text{Εξ. 5.34}$$

$$\bar{J}_k(\bar{x}_k) = -\bar{x}_k \Phi_k \sum_{i=k}^{N-1} \bar{m1}_i - \sum_{i=k}^{N-1} E_{\bar{w}_i} \left[\bar{w}_i \bar{m2}_i \right] - \sum_{i=2}^{N-k} (i-1) E_{\bar{w}_{N-i}} \left[\bar{w}_{N-i} \bar{m1}_{N-i} \right] \quad \text{Εξ. 5.35}$$

Ανάλυση Όρων Αλγορίθμου

Ο πρώτος όρος του δεξιού μέλους της Εξίσωσης 5.35, μπορεί να απλοποιηθεί ως,

$$\bar{x}_k \Phi_k \sum_{i=k}^{N-1} \bar{m1}_i = \bar{x}_k \Phi_k \bar{m1}_k \quad \text{Εξ. 5.36}$$

Ο δεύτερος όρος του δεξιού μέλους της Εξίσωσης 5.35, προσδιορίζει την μέση τιμή του γινομένου του θορύβου επί την χρέωση της μη κατειλημμένης χωρητικότητας, προσδιορίζεται ως εξής,

$$\sum_{i=k}^{N-1} E_{\bar{w}_i} \left[\bar{w}_i \bar{m2}_i \right] = E_{\bar{w}_k} \left[\bar{w}_k \bar{m2}_k \right] + E_{\bar{w}_{k+1}} \left[\bar{w}_{k+1} \bar{m2}_{k+1} \right] + \dots + E_{\bar{w}_{N-1}} \left[\bar{w}_{N-1} \bar{m2}_{N-1} \right] =$$

$$\begin{aligned}
 &= \begin{bmatrix} E[w_0 m_2] \\ w_0 \\ E[w_1 m_2] \\ w_1 \\ \vdots \\ E[w_k m_2] \\ w_k \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E[w_0 m_2] \\ w_0 \\ E[w_1 m_2] \\ w_1 \\ \vdots \\ E[w_k m_2] \\ w_k \\ E[w_{k+1} m_2] \\ w_{k+1} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} E[w_0 m_2] \\ w_0 \\ E[w_1 m_2] \\ w_1 \\ \vdots \\ E[w_k m_2] \\ w_k \\ E[w_{k+1} m_2] \\ w_{k+1} \\ E[w_{k+2} m_2] \\ w_{k+2} \\ \vdots \\ E[w_{N-1} m_2] \\ w_{N-1} \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} A_0 \\ \vdots \\ A_k \\ B_1 \\ \vdots \\ B_{N-k-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{(k+1) \times 1} \\ \dots \\ B_{(N-k-1) \times 1} \end{bmatrix} \tag{Eξ. 5.37}
 \end{aligned}$$

Οι όροι A_0 έως A_k , του πίνακα A_m , με $m = \{0, 1, \dots, k\}$, διάστασης $(k+1) \times 1$, προκύπτουν ως,

$$A_m = (N-k) E_{w_m} [w_m m_2] \text{ ή}$$

$$A_m = (N-k) = (N-k)a_m \text{ με } a_m = E_{w_m} [w_m m_2] \tag{Eξ. 5.38}$$

ενώ οι όροι B_1 έως B_{N-k-1} , του πίνακα B_n , με $n = \{1, 2, \dots, N-k-1\}$, διάστασης $(N-k-1) \times 1$, προκύπτουν ως,

$$B_n = (N-k-n) E_{w_{k+n}} [w_{k+n} m_2] \text{ ή}$$

$$B_n = (N-k-n)b_{k+n} \text{ με } b_{k+n} = E_{w_{k+n}} [w_{k+n} m_2] \tag{Eξ. 5.39}$$

Κάθε στοιχείο a_m και b_{k+n} , των πινάκων A_m και B_n , υπολογίζεται από τις Εξισώσεις 4.39 και 4.40, θέτοντας $i \equiv m$ ή $k+n$ αντίστοιχα.

Κατ' αναλογία προσδιορίζεται ο τρίτος όρος του δεξιού μέλους της Εξίσωσης 5.35, ως εξής,

$$\sum_{i=2}^{N-k} (i-1) E_{\vec{w}_{N-i}} [\vec{w}_{N-i} \vec{m}_{N-i}] =$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \cdot E_{\bar{w}_{N-2}} \left[\bar{w}_{N-2} \bar{m}_{N-2} \right] + 2 \cdot E_{\bar{w}_{N-3}} \left[\bar{w}_{N-3} \bar{m}_{N-3} \right] + \dots + (N-k-1) \cdot E_{\bar{w}_{k+1}} \left[\bar{w}_{k+1} \bar{m}_{k+1} \right] = \\
 &= \begin{bmatrix} E_{w_0} [w_0 m_0] \\ E_{w_1} [w_1 m_1] \\ \vdots \\ E_{w_k} [w_k m_k] \\ \vdots \\ E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m_{N-3}] \\ E_{w_{N-2}} [w_{N-2} m_{N-2}] \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 E_{w_0} [w_0 m_0] \\ 2 E_{w_1} [w_1 m_1] \\ \vdots \\ 2 E_{w_k} [w_k m_k] \\ \vdots \\ 2 E_{w_{N-3}} [w_{N-3} m_{N-3}] \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} (N-k-1) E_{w_0} [w_0 m_0] \\ (N-k-1) E_{w_1} [w_1 m_1] \\ \vdots \\ (N-k-1) E_{w_k} [w_k m_k] \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} C_0 \\ \vdots \\ C_k \\ D_1 \\ \vdots \\ D_{N-k-2} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{(k+1) \times 1} \\ \dots \\ D_{(N-k-2) \times 1} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \tag{Eξ. 5.40}
 \end{aligned}$$

Οι όροι C_0 έως C_k , του πίνακα C_p , με $p = \{0, 1, \dots, k\}$, διάστασης $(k+1) \times 1$, με $k \leq N-2$, προκύπτουν ως,

$$\begin{aligned}
 C_p &= \frac{(N-k)}{2} (N-k-1) E_{w_p} [w_p m_p] \quad \eta \tag{Eξ. 5.41} \\
 C_p &= \frac{(N-k)}{2} (N-k-1) c_p \quad \text{με } c_p = E_{w_p} [w_p m_p]
 \end{aligned}$$

ενώ οι όροι D_1 έως D_{N-k-2} , του πίνακα D_q , με $q = \{1, 2, \dots, N-k-2\}$, διάστασης $(N-k-2) \times 1$, προκύπτουν ως,

$$\begin{aligned}
 D_n &= \frac{N-q-k}{2} (N-q-k-1) E_{w_{k+q}} [w_{k+q} m_{k+q}] \quad \eta \\
 D_n &= \frac{N-q-k}{2} (N-q-k-1) d_{k+q} \quad \text{με } d_{k+q} = E_{w_{k+q}} [w_{k+q} m_{k+q}] \tag{Eξ. 5.42}
 \end{aligned}$$

Το τελευταίο στοιχείο του πίνακα του τρίτου όρου, στη θέση $N-1$, είναι μηδέν.

Κάθε στοιχείο c_p και d_{k+q} , των πινάκων C_m και D_n , υπολογίζεται από τις Εξισώσεις 4.41 και 4.42, θέτοντας $i \equiv p$ ή $k+q$ αντίστοιχα.

Κριτήριο Επιλογής Βέλτιστης Απόφασης

Ως έξοδος του μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού, λαμβάνεται η συνάρτηση κόστους της Εξίσωσης 5.35, για κάθε πιθανό επιτρεπτό συνδυασμό και σε κάθε χρονική στιγμή k . Το κριτήριο επιλογής βέλτιστης απόφασης αποτελεί το κόστος κατά την τελική χρονική στιγμή και ο καλύτερος συνδυασμός πελατών, είναι αυτός με το μικρότερο τελικό κόστος, την τελική χρονική στιγμή $k=0$, που αντιστοιχεί στο σενάριο με το μέγιστο αριθμό εσόδων για το Δορυφορικό Παροχέα.

Ως κόστος λαμβάνεται σε κάθε χρονική στιγμή, το άθροισμα των συνιστωσών του διανύσματος του κέρδους $\bar{J}_k(x_k)$, που αποτελεί το συνολικό κόστος από την αρχική χρονική στιγμή 0 μέχρι και την k . Έτσι, στην δεύτερη υλοποίηση του προβλήματος ως αλγόριθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, το κόστος λαμβάνεται επαυξητικά στο χρόνο και το κριτήριο αποτελεί το ελάχιστο $J_0(x_0)$. Σε αυτήν την περίπτωση υλοποίησης και λόγω της δεδομένης δόμησης της αρχικής συνάρτησης κατάστασης και κόστους του συστήματος, το $-J_0(x_0)$ δεν αντιστοιχεί στο πραγματικό ποσό Εσόδων για τον Δορυφορικό Παροχέα, αφού υπάρχει πολλαπλή θεώρηση των επιμέρους κερδών των χρονικών σταδίων.

Ο αναλυτικός τύπος του κόστους, για κάθε χρονικό στάδιο, προκύπτει ως:

$$J_k(x_k) = -x_k \Phi_k m1_k - (N-k) \sum_{i=0}^k E_{\bar{w}_i} [w_i m2_i] - \sum_{i=1}^{N-k-1} (N-k-i) E_{\bar{w}_{k+i}} [w_{k+i} m2_{k+i}] -$$

$$-\frac{N-k}{2} (N-k-1) \sum_{i=0}^k m1_i E_{\bar{w}_i} [w_i] - \sum_{i=k+1}^{N-2} \frac{N-i}{2} (N-i-1) m1_i E_{\bar{w}_i} [w_i] \quad \text{Εξ. 5.43}$$

Κεφάλαιο 6

Εφαρμογή και Σύγκριση Μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής και Μοντέλων Δυναμικού Προγραμματισμού

Ακολούθως γίνεται η σύγκριση του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής και του μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού καθώς και του μοντέλου Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού. Στόχος αποτελεί η σύγκριση των αποφάσεων των μοντέλων, για επιλογή βέλτιστου συνδυασμού πελατών, αλλά και δευτερευόντως των προκύπτόντων εσόδων που υπολογίζει κάθε μοντέλο. Ο σκοπός είναι η εύρεση του βαθμού ομοιότητας των Εσόδων των μοντέλων, που ακολουθούν διαφορετική λογική υλοποίησης, ώστε να επιβεβαιωθεί η ορθότητά τους.

6.1 Πλαίσιο Πειραματικής Συγκριτικής Αξιολόγησης

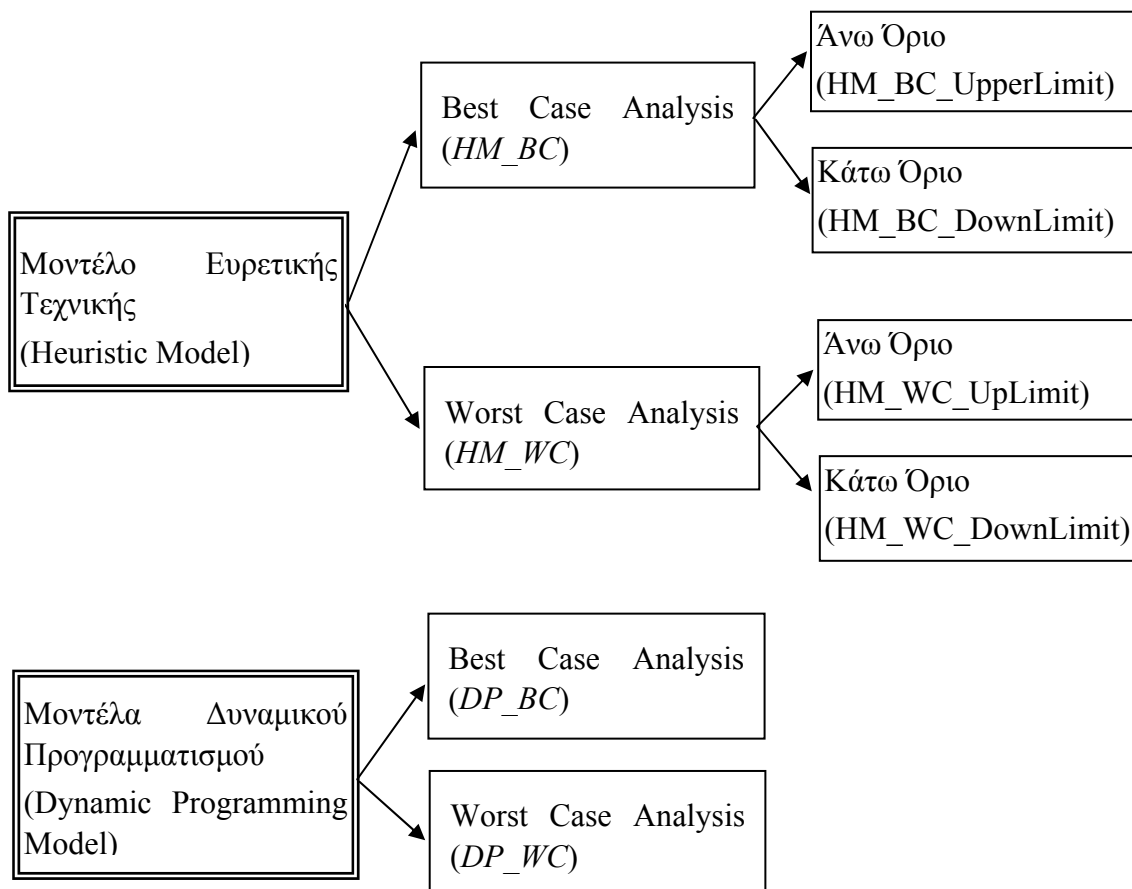
Για την αξιολόγηση των μοντέλων, αρχικά δημιουργήθηκαν τυχαία δεδομένα εισόδου. Έτσι δημιουργήθηκαν τυχαία σύνολα εισερχομένων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα, διάστασης το πολύ μέχρι 10 αντικειμένων. Οι αρχικοί πελάτες θεωρήθηκε ότι ακολουθούν την κατανομή Poisson, που κρίθηκε η κατάλληλη για τη δημιουργία αφίξεων πελατών στον Δορυφορικό Παροχέα. Έτσι θεωρήθηκαν n το πλήθος επιτυχίες, με $n \in S_n = \{1,2,3,\dots\}$, σε N δοκιμές και λ η αναμενόμενη τιμή

επιτυχιών, οπότε η πιθανότητα να συμβούν οι n αφίξεις είναι $P_\lambda(n) = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$.

Για κάθε ένας από τους δημιουργούμενους πελάτες, δημιουργήθηκαν αντίστοιχα οι απαιτήσεις τους για χωρητικότητα, διάρκεια μίσθωσης, ζητούμενη υπηρεσία και αντίστοιχη χρέωση. Έτσι καθορίστηκε η είσοδος, δημιουργώντας τυχαία τις παραμέτρους εισόδου των μοντέλων, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Δημιουργήθηκαν 1000 το πλήθος σύνολα παραμέτρων εισόδου. Τα ίδια σύνολα παραμέτρων εισόδου, εφαρμόστηκαν σε όλα τα μοντέλα όπου και υπολογίστηκε η έξοδος τους.

Σημειώνεται ότι για την ορθή σύγκριση των μοντέλων διαχωρίστηκαν οι περιπτώσεις σεναρίων εξελίξεων υπό βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis) και σεναρίων εξελίξεων υπό χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis) για κάθε ένα από αυτά. Έτσι

διακρίνονται οι ακόλουθες διαφορετικές περιπτώσεις, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 6.1:



Σχήμα 6.1: Ανάλυση Μεθόδου Σύγκρισης Μοντέλων

Ο καθορισμός σεναρίων εξελίξεων υπό βέλτιστες ή χειρίστες συνθήκες, γίνεται στο μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής, μέσω της επιλογής για τον υπολογισμό των Συνολικών Εσόδων της μέγιστης ή ελάχιστης μέσης τιμής (μ) χρέωσης, ανά 36 MHz, ανά μήνα, που αντιστοιχεί στην υπηρεσία Media Company ή Video Contribution (Πίνακας 2.3), κατά τον υπολογισμό των Εσόδων από την ‘Εναπομένουσα Χωρητικότητα’, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπ’ όψιν το ρίσκο, για κάθε μία περίπτωση (Best-Worst Case), προκύπτουν δύο τιμές εσόδων, το άνω όριο (Upper Limit) και το κάτω όριο (Down Limit). Ομοίως για τα μοντέλα Δυναμικού Προγραμματισμού, γίνεται ο διαχωρισμός σεναρίων εξελίξεων υπό βέλτιστες ή χειρίστες συνθήκες, κατά τον υπολογισμό της μέσης τιμής του θορύβου. Έτσι κατά τον υπολογισμό της Εξίσωσης 4.40, ως c_7m_7 , λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στην υπηρεσία Media Company ή Video Contribution, για τον υπολογισμό των σεναρίων εξελίξεων υπό βέλτιστες ή χειρίστες συνθήκες αντίστοιχα.

Τελικά προκύπτουν τέσσερις περιπτώσεις σύγκρισης των μοντέλων, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα:

A/A Περιπτώσεων Σύγκρισης	Μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model)	Μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού (Dynamic Programming Model)
Π.1	HM_BC_UpperLimit	DP_BC
Π.2	HM_BC_DownLimit	DP_BC
Π.3	HM_WC_UpLimit	DP_WC
Π.4	HM_WC_DownLimit	DP_WC

Πίνακας 6.1: Εναλλακτικές Περιπτώσεις Σύγκρισης Μοντέλων

6.2 Αποτελέσματα Πειραματικής Συγκριτικής Αξιολόγησης μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού

Για την αξιολόγηση των μοντέλων, εκτελέστηκαν 1000 επαναλήψεις, δημιουργώντας 1000 σύνολα παραμέτρων εισόδου για το μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής. Τα ίδια σύνολα παραμέτρων εισόδου, χρησιμοποιήθηκαν και στο μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού. Για κάθε μία από τις τέσσερις περιπτώσεις όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1, υπολογίστηκε η έξοδος των μοντέλων.

Το κριτήριο σύγκρισης των δύο μοντέλων αποτελεί το προτεινόμενο επιχειρηματικό σχέδιο για τον Δορυφορικό Παροχέα, καθενός από αυτά. Το κριτήριο λοιπόν, είναι το σύνολο των αποφάσεων για τον Δορυφορικό Παροχέα, δηλαδή η επιλογή των βέλτιστων σεναρίων συνδυασμών πελατών, που οδηγούν στη μεγιστοποίηση των Εσόδων. Επιπρόσθετο κριτήριο, αποτελεί το ποσό των Πραγματικών Εσόδων που υπολογίζεται από την εφαρμογή κάθε μοντέλου, για τις ίδιες αποφάσεις.

Σημειώνεται ότι κατά τη διαδικασία των πειραμάτων η αρίθμηση των αποφάσεων, ήτοι των συνδυασμών των πελατών είναι η ίδια και στα δύο μοντέλα, ώστε να είναι εφικτή η σύγκρισή τους.

Υπολογίζονται για κάθε ένα σύνολο παραμέτρων εισόδου, για τα δύο μοντέλα και για κάθε μία από τις τέσσερις περιπτώσεις, τα έξι καλύτερα σεναρία, οι έξι δηλαδή βέλτιστες αποφάσεις, με κριτήριο τη μεγιστοποίηση των Εσόδων. Ακολούθως, υπολογίζεται το ποσοστό συνάφειας των αποφάσεων που προκύπτουν από τα δύο μοντέλα, σαν ποσοστό ομοιότητας, κανονικοποιημένο ως προς το έξι, που το επιλεγμένο πλήθος των υπό εξέταση καλύτερων αποφάσεων. Επίσης υπολογίζεται η ποσοστιαία απόκλιση των Εσόδων για κάθε μία από τις κοινές αποφάσεις. Η σύγκλιση των αποτελεσμάτων επιτυγχάνεται κυρίως όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό κοινών βελτίστων αποφάσεων και στα δύο μοντέλα και δευτερευόντως όσο μικρότερη είναι η ποσοστιαία απόκλιση των Εσόδων που αντιστοιχούν σε αυτές τις βέλτιστες αποφάσεις.

Από τις 1000 επαναλήψεις που εκτελέστηκαν 120 απορρίφθηκαν ως *Μη Εφικτοί Συνδυασμοί*, σύμφωνα με τον Ορισμό 3.2, αφού σε κάποιον μήνα το άθροισμα της ζητούμενης χωρητικότητας των πελατών όλων των συνδυασμών που προκύπτουν από αυτές τις παραμέτρους εισόδου, υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπτή χωρητικότητα του πομποδέκτη. Προκύπτουν 880 το πλήθος συνδυασμοί προς εξέταση.

Ενδεικτικά, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.2, η μορφή 25 αποτελεσμάτων, όπως προκύπτουν από τα δύο μοντέλα, καθώς και η σύγκριση τους, για την Περίπτωση 1. Για κάθε ένα μοντέλο παρουσιάζεται ο αύξων αριθμός της επανάληψης, ο αύξων αριθμός του σεναρίου (για κάθε επανάληψη επιλέγονται οι έξι πιο προσοδοφόροι συνδυασμοί πελατών, όταν υπάρχουν), και το ποσό των Εσόδων που υπολογίζονται από κάθε σενάριο. Για κάθε μία επανάληψη, υπολογίζεται το ποσοστό επιτυχίας των προκυπτόντων αποφάσεων και η ποσοστιαία απόκλιση του ποσού των Εσόδων, για τις κοινές αποφάσεις, σε κάθε επανάληψη. Το ποσό των εσόδων που προκύπτουν με την εφαρμογή του μοντέλου Δυναμικού Προγραμματισμού λαμβάνεται με αντίθετο πρόσημο, αφού η ελαχιστοποίηση έγινε με βάση το κόστος, που αντιστοιχεί σε μεγιστοποίηση του αρνητικού κόστους, δηλαδή του κέρδους.

Μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής			Μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού			Αποτελέσματα Σύγκρισης	
# Επανάληψης	# Σεναρίου	Συνολικά Έσοδα (ΣυνΕσ)	# Επανάληψης	# Σεναρίου	$J_0(x_0)$	Ποσοστιαία Απόκλιση Εσόδων	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη
1	29	18,203,415.89	1	31	-11,914,782.20		
1	35	16,256,478.34	1	32	-12,435,667.38		
1	27	16,024,179.63	1	16	-12,439,850.84		
1	31	15,907,172.64	1	25	-12,656,037.05	34%	
1	36	15,302,532.53	1	30	-13,088,415.94		
1	28	15,110,052.83	1	5	-13,534,726.67		1/6
2	13	14,280,011.07	2	7	-7,348,825.08	60%	
2	11	14,237,007.16	2	3	-7,599,845.18		
2	25	14,212,698.17	2	16	-8,842,379.15		
2	9	13,756,555.40	2	13	-8,898,186.19		
2	22	13,111,283.90	2	23	-10,378,231.06		
2	5	13,107,641.13	2	19	-11,615,051.52		1/6
3	21	16,353,738.44	3	2	-11,263,710.68		
3	9	15,256,397.96	3	16	-12,644,136.01	17%	
3	8	15,119,987.41	3	9	-13,041,025.02		
3	10	14,919,242.81	3	6	-13,370,960.67		
3	16	14,300,193.73	3	4	-21,631,104.17	13%	
3	15	14,167,311.18	3	19	-23,587,634.79		1/3
4	0	7,582,619.61	4	0	-11,554,925.41	34%	1
7	0	7,681,612.05	7	0	-9,980,848.76	23%	1

Κεφάλαιο 6. Σύγκριση Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού

8	0	9,143,809.20	8	0	-12,281,369.68	26%	1
9	0	9,143,809.20	9	0	-12,281,369.68	26%	1
10	0	8,060,843.10	10	0	-13,438,207.94	40%	1
11	1	12,453,768.47	11	4	-17,885,205.18	44%	
11	4	11,364,332.45	11	2	-18,080,269.79	36%	
11	0	10,423,300.25	11	3	-18,261,221.23	55%	
11	3	9,916,105.21	11	1	-22,271,379.84	46%	
11	2	8,955,381.43	11	0	-23,068,833.97	50%	1
12	3	14,580,216.78	12	3	-11,823,165.44	23%	
12	5	10,391,194.09	12	1	-12,144,354.39	49%	
12	1	10,222,483.43	12	0	-12,842,459.41	16%	
12	0	10,153,556.57	12	2	-18,442,613.11	21%	
12	4	10,072,435.23	12	4	-18,909,686.80	47%	
12	2	8,947,813.88	12	5	-20,294,642.26	51%	1
16	1	10,693,687.41	16	0	-10,220,843.40	36%	
16	0	8,221,986.42	16	2	-14,072,024.22	20%	
16	2	7,639,793.26	16	1	-16,745,130.34	46%	1
17	0	16,106,283.90	17	4	-12,840,290.72	28%	
17	6	14,196,037.28	17	3	-17,431,887.70	20%	
17	5	14,149,674.23	17	6	-17,703,440.61		
17	2	13,861,809.31	17	7	-20,561,511.62	39%	
17	3	13,810,330.81	17	0	-22,242,499.43	21%	
17	4	13,464,118.12	17	2	-22,694,490.41	5%	5/6
18	4	12,914,565.23	18	4	-8,959,863.94	44%	
18	2	10,751,828.57	18	6	-9,967,669.70	49%	
18	0	10,746,571.58	18	3	-10,467,629.45		
18	5	10,663,206.27	18	1	-12,543,928.16	49%	
18	3	10,426,806.34	18	5	-20,779,088.43	0%	
18	1	10,396,304.35	18	2	-20,929,171.49	17%	5/6
22	0	7,215,135.69	22	2	-11,319,515.65	44%	
22	1	6,289,556.59	22	1	-11,532,101.37	45%	
22	2	5,358,257.28	22	0	-12,835,091.92	53%	1
23	0	7,215,135.69	23	2	-11,319,515.65	44%	
23	1	6,289,556.59	23	1	-11,532,101.37	45%	
23	2	5,358,257.28	23	0	-12,835,091.92	53%	1
25	5	17,187,190.91	25	25	-9,437,651.65		
25	3	16,977,778.27	25	18	-11,029,305.88		
25	4	16,972,567.55	25	11	-14,750,607.22		
25	21	16,856,818.81	25	22	-14,981,241.95		
25	14	16,773,076.22	25	23	-15,180,073.23		
25	25	16,755,457.48	25	16	-15,440,742.13	78%	1/6
30	0	8,124,273.39	30	0	-12,913,994.69	37%	1
34	0	12,210,013.51	34	0	-15,470,108.96	21%	1
44	34	13,805,760.84	44	30	-10,303,474.42	33%	

44	37	13,753,595.21	44	36	-10,373,507.02	22%	
44	18	10,661,475.17	44	34	-10,398,371.91		
44	6	10,656,964.18	44	25	-10,464,457.43		
44	44	10,572,632.71	44	37	-11,275,293.20		
44	32	10,570,135.72	44	20	-12,644,304.03		1/3
45	0	17,766,376.82	45	0	-11,850,376.61	50%	
45	1	11,165,665.60	45	2	-13,835,447.77	41%	
45	2	10,726,949.10	45	1	-18,861,892.97	22%	1
47	0	10,610,678.08	47	0	-20,463,488.85	48%	1
48	0	10,610,678.08	48	0	-20,463,488.85	48%	1
50	0	11,829,230.20	50	0	-11,184,625.94	6%	1
51	0	11,829,230.20	51	0	-11,184,625.94	6%	1
53	4	17,612,930.23	53	9	-11,754,169.08	9%	
53	5	15,582,909.94	53	10	-14,566,126.83	6%	
53	0	15,214,755.00	53	12	-14,785,819.32		
53	9	14,753,773.03	53	4	-16,142,413.83	26%	
53	8	13,196,741.39	53	5	-16,631,144.88	32%	
53	12	13,058,054.28	53	8	-19,378,380.54	12%	5/6

Πίνακας 6.2: Μορφή Αποτελεσμάτων Σύγκρισης Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού.

6.2.1 Αποτελέσματα Περίπτωση 1

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνική και Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.1 (*HM_BC_UpperLimit-DP_BC*), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis), λαμβάνοντας το Άνω όριο (Upper Limit), με το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.3. Ο χαρακτηρισμός των αποφάσεων προκύπτει από τον Ορισμό 6.1.

Ορισμός 6.1

- Ως **Ικανοποιητικές**, χαρακτηρίζονται οι Αποφάσεις που ταυτίζονται είτε κατά το 100% (1), είτε κατά 83% (5/6), σε κάθε μία επανάληψη
- Ως **Μη Ικανοποιητικές**, χαρακτηρίζονται οι Αποφάσεις με μικρότερο ποσοστό ταύτισης.

Έτσι παρουσιάζεται το πλήθος των αποφάσεων, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, καθώς και το ποσοστό, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων (880 το πλήθος). Υπολογίζεται και η μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων που προκύπτουν από κάθε μοντέλο, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	684	78%	29%
	5/6	90	10%	26%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1/3	47	5%	30%
	1/6	46	5%	41%
	0	13	1%	100%

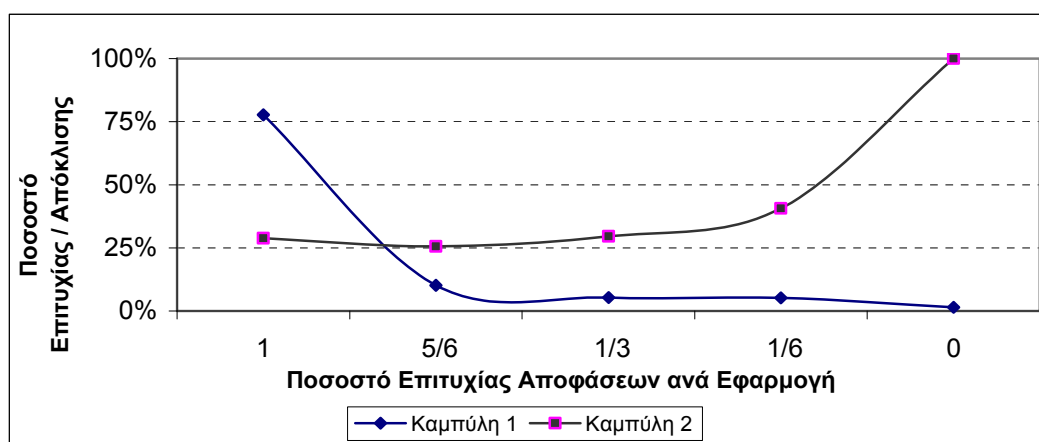
Πίνακας 6.3: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.1 / Σύγκριση HM_BC_UpperLimit-DP_BC

Ο Πίνακας 6.4, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, καθώς και τη συνολική μέση τιμή απόκλισης των εσόδων, για τις δύο κατηγορίες αποφάσεων και για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή απόκλισης Εσόδων	Συνολική Μέση Τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	774	88%	28.17%	28.48%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	106	12%	33.22%	

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα Π.1 / Σύγκριση HM_BC_UpperLimit-DP_BC

Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος (Καμπύλη 1), καθώς και η αντίστοιχη μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων (Καμπύλη 2).



Σχήμα 6.2: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.1, Βέλτιστων Αποφάσεων και Συνολικών Εσόδων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού

6.2.2 Αποτελέσματα Περίπτωση 2

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνική και Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.2 (*HM_BC_DownLimit-DP_BC*), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis), λαμβάνοντας το Κάτω όριο (Down Limit), με το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.5. Παρουσιάζεται το πλήθος των αποφάσεων, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, καθώς και το ποσοστό, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων (880 το πλήθος). Υπολογίζεται η μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων, που προκύπτουν από κάθε μοντέλο, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	683	78%	42%
	5/6	65	7%	34%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	2/3	43	5%	35%
	1/2	49	6%	35%
	1/3	19	2%	32%
	1/6	19	2%	26%

Πίνακας 6.5: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.2 / Σύγκριση *HM_BC_DownLimit-DP_BC*

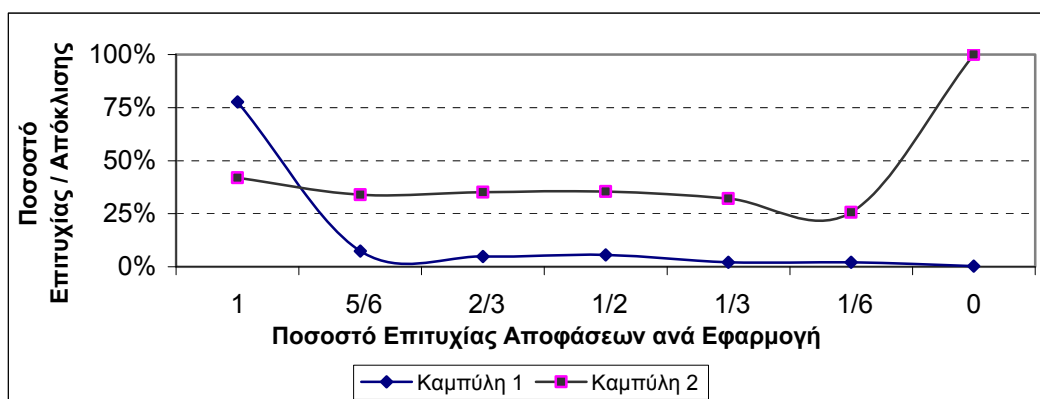
Ο Πίνακας 6.6, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, καθώς και τη συνολική μέση τιμή απόκλισης των εσόδων, για τις δύο κατηγορίες αποφάσεων και για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή απόκλισης Εσόδων	Συνολική Μέση Τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	748	85%	41.89%	39.68%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	132	15%	34.47%	

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα Π.2 / Σύγκριση *HM_BC_DownLimit-DP_BC*

Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το

αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος (Καμπύλη 1), καθώς και η αντίστοιχη μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων (Καμπύλη 2).



Σχήμα 6.3: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.2, Βέλτιστων Αποφάσεων και Συνολικών Εσόδων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού

6.2.3 Αποτελέσματα Περίπτωση 3

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.3 ($HM_WC_UpLimit - DP_WC$), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis), λαμβάνοντας το Άνω όριο (Up Limit), με το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.7. Παρουσιάζεται το πλήθος των αποφάσεων, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, καθώς και το ποσοστό, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων (880 το πλήθος). Υπολογίζεται η μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων, που προκύπτουν από κάθε μοντέλο, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	677	77%	34%
	5/6	55	6%	34%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	2/3	18	2%	25%
	1/2	12	1%	29%
	1/3	21	2%	27%
	1/6	39	4%	23%

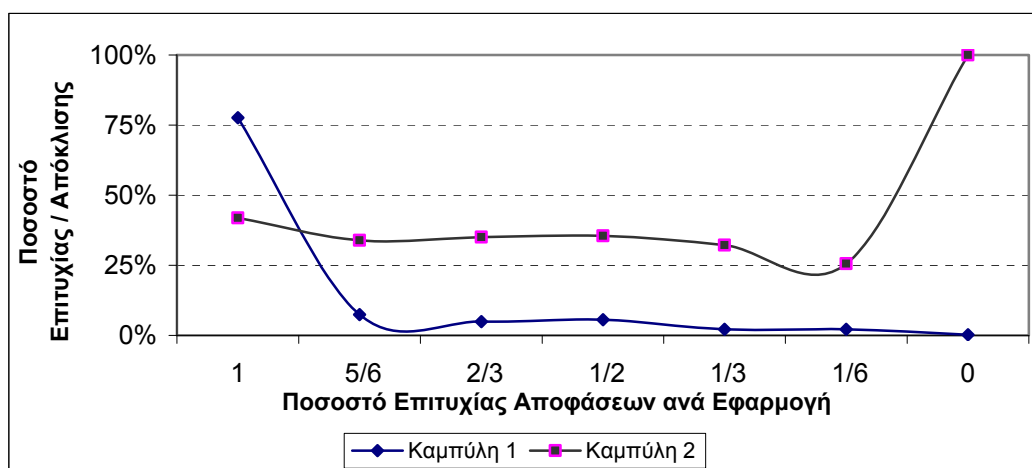
Πίνακας 6.7: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.3 / Σύγκριση $HM_WC_UpLimit - DP_WC$

Ο Πίνακας 6.8, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, καθώς και τη συνολική μέση τιμή απόκλισης των εσόδων, για τις δύο κατηγορίες αποφάσεων και για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή απόκλισης Εσόδων	Συνολική Μέση Τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	732	83%	33.78%	33.08%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	148	17%	25.78%	

Πίνακας 6.8: Αποτελέσματα Π.3 / Σύγκριση $HM_WC_UpLimit - DP_WC$

Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος (Καμπύλη 1), καθώς και η αντίστοιχη μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων (Καμπύλη 2).



Σχήμα 6.4: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.3, Βέλτιστων Αποφάσεων και Συνολικών Εσόδων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού

6.2.4 Αποτελέσματα Περίπτωση 4

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.4 ($HM_WC_DownLimit - DP_WC$), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis), λαμβάνοντας το Κάτω όριο (Down Limit), με το μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.9. Παρουσιάζεται το πλήθος των αποφάσεων, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, καθώς και το ποσοστό, σε σχέση με το σύνολο των

πραγματικών επαναλήψεων (880 το πλήθος). Υπολογίζεται η μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων, που προκύπτουν από κάθε μοντέλο, για κάθε ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	676	77%	50%
	5/6	44	5%	52%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	2/3	18	2%	52%
	1/2	21	2%	51%
	1/3	33	4%	50%
	1/6	21	2%	45%

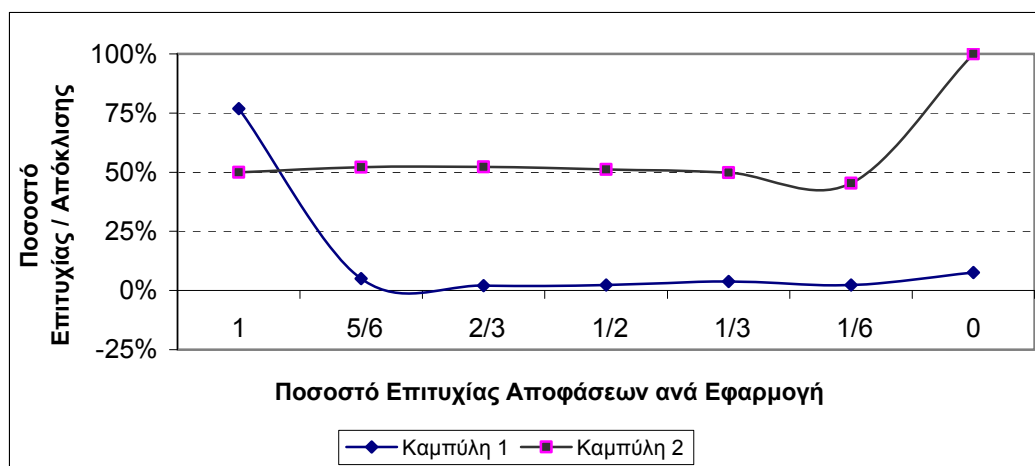
Πίνακας 6.9: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.4 / Σύγκριση $HM_WC_DownLimit - DP_WC$

Ο Πίνακας 6.10, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, καθώς και τη συνολική μέση τιμή απόκλισης των εσόδων, για τις δύο κατηγορίες αποφάσεων και για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων	Μέση τιμή απόκλισης Εσόδων	Συνολική Μέση Τιμή Απόκλισης Εσόδων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	720	82%	50.23%	50.27%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	160	18%	50.61%	

Πίνακας 6.10: Αποτελέσματα Π.4 / Σύγκριση $HM_WC_DownLimit - DP_WC$

Στο Σχήμα 6.5, παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος (Καμπύλη 1), καθώς και η αντίστοιχη μέση τιμή των αποκλίσεων των Εσόδων (Καμπύλη 2).



Σχήμα 6.5: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.4, Βέλτιστων Αποφάσεων και Συνολικών Εσόδων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού

6.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Πειραματικής Συγκριτικής Αξιολόγησης

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά, τόσο ως προς τις εξαγόμενες αποφάσεις, όσο και ως προς το ποσό των Εσόδων, για τον Δορυφορικό Παροχέα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους, για όλες τις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα παρατηρούνται υψηλά ποσοστά ταύτισης, της τάξης του 85%, των αποφάσεων που εξάγονται από τα δύο μοντέλα. Έτσι με υψηλό βαθμό ομοιότητας, η προτεινόμενη πολιτική μίσθωσης για τον Δορυφορικό Παροχέα, της διαθέσιμης διαστημικής χωρητικότητάς του, ταυτίζεται στα δύο μοντέλα. Δεδομένης της διαφορετικής λογικής υλοποίησης των μοντέλων, είτε με τη χρήση Ευρετικών Τεχνικών είτε με χρήση Αλγορίθμου Στοχαστικού Δυναμικού Προγραμματισμού, η υψηλή σύγκλιση των εξαγόμενων επιχειρηματικών σχεδίων για τον Δορυφορικό Παροχέα, αποτελεί ισχυρό επιχείρημα αναφορικά με την ορθότητα της μελέτης. Επίσης, το χαμηλό ποσοστό απόκλισης των υπολογιζόμενων εσόδων που θα αποκομίσει ο Δορυφορικός Παροχέας από την εφαρμογή αυτών των πολιτικών μίσθωσης, της τάξης του 38%, αποτελεί επιπρόσθετα πολύ ικανοποιητικό χαρακτηριστικό.

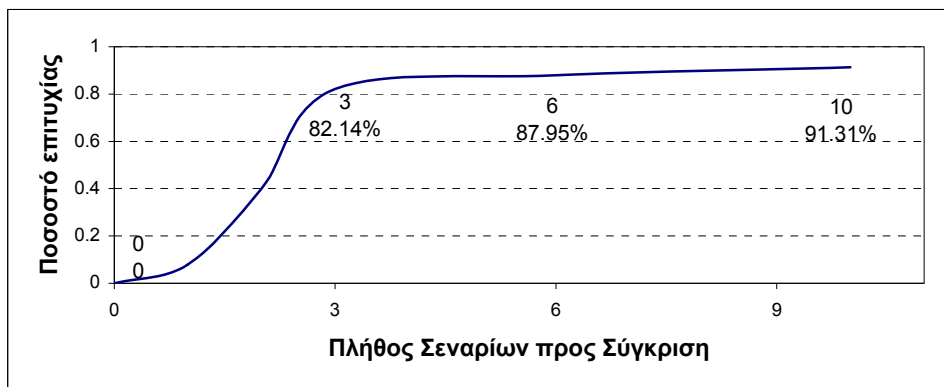
Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται τόσο στις αποφάσεις, όσο και στα ποσά των Εσόδων που προκύπτουν από την υιοθέτηση αυτών των αποφάσεων, οφείλονται στην διαφορετική δόμηση των δύο μοντέλων. Συγκεκριμένα, το μοντέλο του Δυναμικού Προγραμματισμού, λαμβάνει υπ' όψιν του τη δυνατότητα μίσθωσης μέρους της 'Κενής Χωρητικότητας' του Πομποδέκτη του Δορυφόρου κάθε μήνα και όχι απαραίτητα του όλου αυτής. Σε αντιδιαστολή με το μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής, όπου θεωρείται δεδομένη η επιλογή μίσθωσης του συνόλου της 'Κενής Χωρητικότητας', στην περίπτωση που εμφανιστεί πελάτης που να ζητάει το

συγκεκριμένο ποσό χωρητικότητας. Η λογική δυνατότητας μίσθωσης κλάσματος της ‘Κενής Χωρητικότητας’ κάθε μήνα, που ενσωματώνεται στον αλγόριθμο του Δυναμικού Προγραμματισμού, επιτρέπει στον Δορυφορικό Παροχέα να επιλέξει το πιο συμφέρον για αυτόν κομμάτι προς επιμίσθωση. Περιλαμβάνει έτσι την περίπτωση να είναι πιο συμφέρουσα η μίσθωση μέρους της ‘Κενής Χωρητικότητας’, τον συγκεκριμένο μήνα, αν υπάρχει πελάτης που ζητά συνολικά περισσότερα MHz, με έναρξη τον συγκεκριμένο μήνα, αλλά για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, αποφέροντας περισσότερα κέρδη.

Έτσι, οι διαφορές στις επιλογές των αποφάσεων στα δύο μοντέλα, εμφανίζονται πιο έντονα στις ακραίες περιπτώσεις, όπου υπάρχουν πελάτες που ζητούν μίσθωση πολύ μικρού ποσού διαστημικής χωρητικότητας και η συνολική κατειλημμένη χωρητικότητα του πομποδέκτη σε κάποιους μήνες είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα η ‘Κενή Χωρητικότητα’ να είναι μεγάλη. Σε αυτές τις περιπτώσεις στο μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, υπάρχει η διακύμανση του λαμβανομένου ποσού ‘Κενής Χωρητικότητας’ (από 0 έως 100% ‘Κενή Χωρητικότητα’), σε σύγκριση με το σταθερό λαμβανόμενο ποσό του 100% της ‘Κενής Χωρητικότητας’ του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής. Σαν αποτέλεσμα έχουμε διαφοροποίηση στο ποσό των υπολογιζόμενων Αναμενομένων Εσόδων από την ‘Κενή Χωρητικότητα’, για τα δύο μοντέλα και έτσι διαφορά στην επιλογή των καλύτερων σεναρίων συνδυασμών πελατών, δηλαδή στις αποφάσεις. Επιπλέον, η διαφορά αυτή στο ποσό των υπολογιζόμενων Αναμενομένων Εσόδων από την ‘Κενή Χωρητικότητα’, που συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό των τελικών Εσόδων, δημιουργεί και την απόκλιση των υπολογιζόμενων εσόδων, όπως παρουσιάζεται από την σύγκριση των δύο μοντέλων.

Σημειώνεται επίσης ότι επιλέχθηκε να εξεταστούν τα έξι καλύτερα σενάρια που προκύπτουν από κάθε επανάληψη. Για να καθοριστεί το πόσο επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα το πλήθος των σεναρίων που εξετάζονται, επαναλήφθηκε η διαδικασία για μικρότερο και μεγαλύτερο αριθμό υπό εξέταση σεναρίων. Όσο αυξάνεται το πλήθος των υπό εξέταση σεναρίων, για κάθε επανάληψη, προφανώς θα βελτιώνεται και το ποσοστό ταύτισης των αποφάσεων, με όριο την πλήρη ταύτιση αν εξεταστεί το σύνολο των δυνατών συνδυασμών πελατών. Έτσι επαναλήφθηκε η διαδικασία, ενδεικτικά για την Περίπτωση 1, εξετάζοντας τα τρία και δέκα καλύτερα σενάρια. Τα αποτελέσματα του ποσοστού επιτυχίας αποφάσεων, σε σχέση με το πλήθος των καλύτερων υπό εξέταση σεναρίων, ανά επανάληψη, παρουσιάζονται στην καμπύλη του Σχήματος 6.6.

Παρατηρείται μικρό ποσοστό βελτίωσης ή επιβάρυνσης, με αύξηση ή μείωση περί το 50% του πλήθους των καλύτερων σεναρίων προς σύγκριση, σε 10 ή 3 αντίστοιχα. Η καμπύλη τείνει πολύ γρήγορα ασυμπτωτικά στο 1, που αντιστοιχεί σε πλήρη ταύτιση αποτελεσμάτων, σε σχέση με το δυνατό πλήθος των υπό εξέταση σεναρίων, που είναι της τάξης του 10^6 .



Σχήμα 6.6: Καμπύλη επίδρασης πλήθους υπό εξέταση σεναρίων

6.4 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού

Για την πειραματική αξιολόγηση του εναλλακτικού αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού ακολουθήθηκε το ίδιο πειραματικό πλαίσιο, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 6.1. Εξετάστηκαν και οι τέσσερις περιπτώσεις, όπως περιγράφονται στον Πίνακα 6.1 και τα αποτελέσματα παρατίθενται ακολούθως.

6.4.1 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 1

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνική και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.1 (*HM_BC_UpperLimit-DP_BC*), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis), λαμβάνοντας το Άνω όριο (Upper Limit), με το μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.11.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	676	77%
	5/6	48	5%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1/3	17	2%
	1/6	20	2%
	0	23	3%

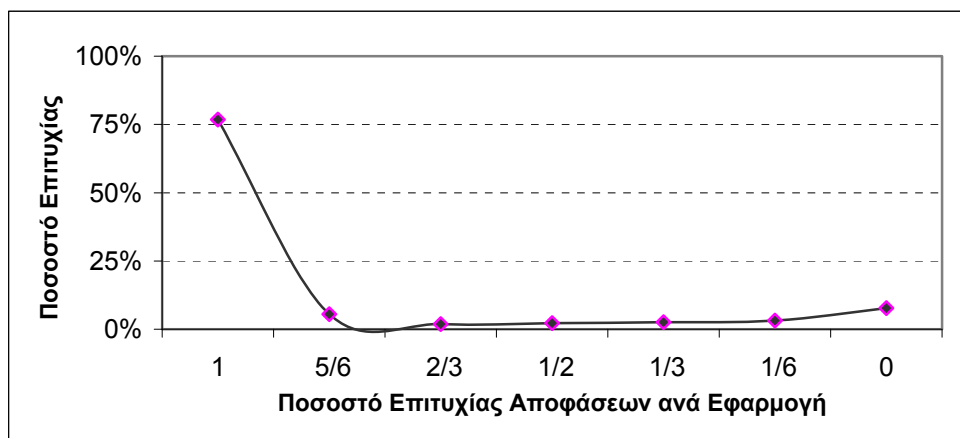
Πίνακας 6.11: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.1 / Σύγκριση *HM_BC_UpperLimit-DP_BC*

Ο Πίνακας 6.12, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	724	82%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	156	18%

Πίνακας 6.12: Αποτελέσματα Π.1 / Σύγκριση $HM_BC_UpperLimit-DP_BC$

Στο Σχήμα 6.7 παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος .



Σχήμα 6.7: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.1, Βέλτιστων Αποφάσεων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού

6.4.2 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 2

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνική και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.2 ($HM_BC_DownLimit-DP_BC$), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis), λαμβάνοντας το Κάτω όριο (Down Limit) με το μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από βέλτιστες συνθήκες (Best Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.13.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	682	78%
	5/6	50	6%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	2/3	28	3%
	1/2	33	4%
	1/3	25	3%
	1/6	33	4%

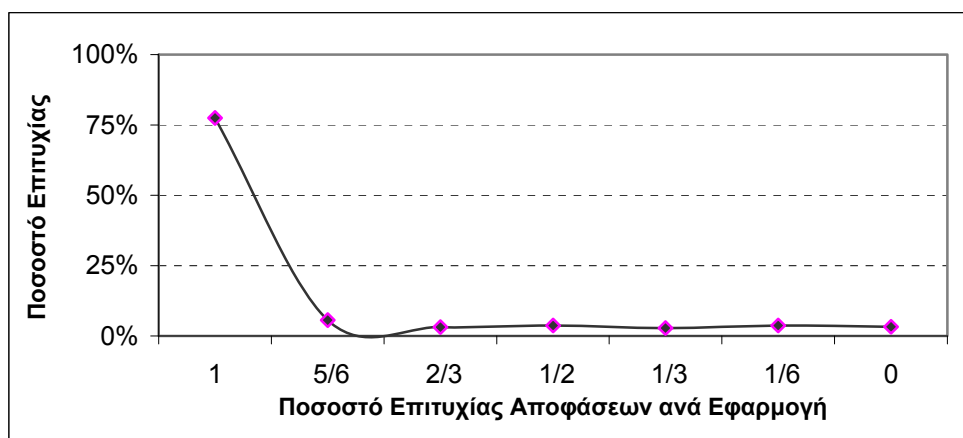
Πίνακας 6.13: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.2 / Σύγκριση HM_BC_DownLimit-DP_BC

Ο Πίνακας 6.14, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	732	83%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	148	17%

Πίνακας 6.14: Αποτελέσματα Π.2 / Σύγκριση HM_BC_UpperLimit-DP_BC

Στο Σχήμα 6.8, παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος.



Σχήμα 6.8: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.2, Βέλτιστων Αποφάσεων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού

6.4.3 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 3

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.3 (*HM_WC_UpLimit - DP_WC*), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis), λαμβάνοντας το Άνω όριο (Up Limit), με το μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.15.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	682	78%
	5/6	50	6%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	2/3	28	3%
	1/2	33	4%
	1/3	25	3%
	1/6	33	4%

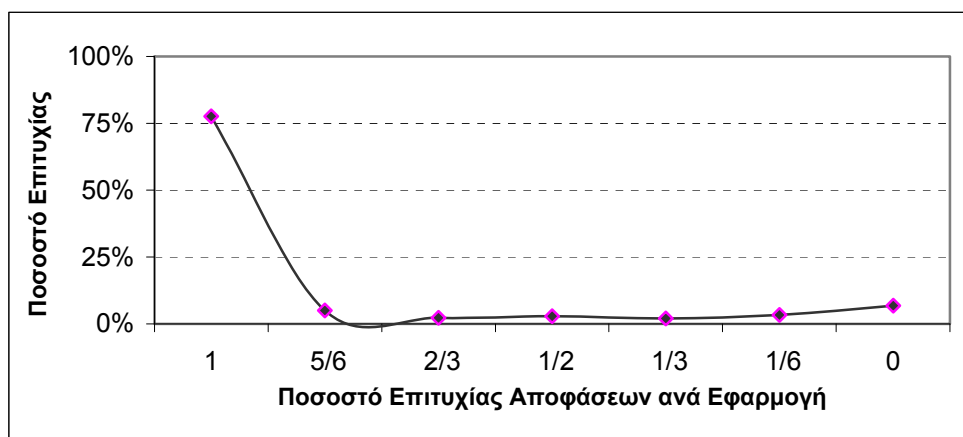
Πίνακας 6.15: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.3 / Σύγκριση *HM_BC_DownLimit - DP_BC*

Ο Πίνακας 6.16, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	727	83%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	153	17%

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα Π.3 / Σύγκριση *HM_BC_UpperLimit - DP_BC*

Στο Σχήμα 6.9, παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος.



Σχήμα 6.9: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.3, Βέλτιστων Αποφάσεων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού

6.4.4 Αποτελέσματα Εναλλακτικού Αλγορίθμου Περίπτωση 4

Γίνεται πειραματική αξιολόγηση της συνάφειας των αποτελεσμάτων των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού για την Π.4 (*HM_WC_DownLimit* - *DP_WC*), σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής (Heuristic Model), υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis), λαμβάνοντας το Κάτω όριο (Down Limit), με το μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, υπό σενάρια εξελίξεων κάτω από χειρίστες συνθήκες (Worst Case Analysis). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 6.17.

	Ποσοστό Επιτυχίας Αποφάσεων ανά Επανάληψη	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	1	691	79%
	5/6	53	6%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	2/3	42	5%
	1/2	40	5%
	1/3	22	3%
	1/6	19	2%

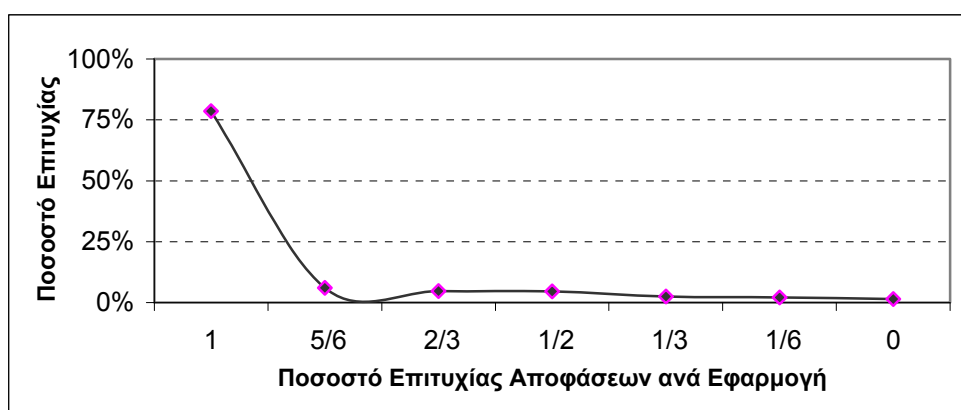
Πίνακας 6.17: Αναλυτικά Αποτελέσματα Π.4 / Σύγκριση *HM_BC_DownLimit* - *DP_BC*

Ο Πίνακας 6.18, παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των Ικανοποιητικών και Μη αποφάσεων, για το σύνολο των επαναλήψεων.

	Πλήθος Αποφάσεων	Ποσοστό Αποφάσεων
Ικανοποιητικές Αποφάσεις	744	85%
Μη Ικανοποιητικές Αποφάσεις	136	15%

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα Π.4 / Σύγκριση HM_BC_UpperLimit-DP_BC

Στο Σχήμα 6.10, παρουσιάζονται, για κάθε ένα ποσοστό επιτυχίας αποφάσεων, το αντίστοιχο ποσοστό επιτυχίας, σε σχέση με το σύνολο των πραγματικών επαναλήψεων, 880 το πλήθος.



Σχήμα 6.10: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Π.4, Βέλτιστων Αποφάσεων Μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού

6.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, χαρακτηρίζονται επίσης ιδιαίτερα ικανοποιητικά, από την πλευρά των αποφάσεων που πρέπει να λάβει ο δορυφορικός Παροχέας, ώστε να μεγιστοποιήσει τα Έσοδά του. Συγκεκριμένα παρατηρούνται υψηλά ποσοστά ταύτισης, της τάξης του 83%, των αποφάσεων που εξάγονται από τα δύο μοντέλα. Έτσι με υψηλό βαθμό ομοιότητας, η προτεινόμενη πολιτική μίσθωσης για τον Δορυφορικό Παροχέα, της διαθέσιμης διαστημικής χωρητικότητάς του, ταυτίζεται στα δύο μοντέλα. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται οφείλονται στους παράγοντες που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 6.3. Στο ποσό των εσόδων που υπολογίζεται από τα δύο μοντέλα, παρατηρείται σημαντική διαφορά της τάξης του 85%, με μεγαλύτερο προφανώς αυτό που προκύπτει από τον Εναλλακτικό Αλγόριθμο Δυναμικού Προγραμματισμού. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα αναμενόμενο, αφού λόγω της συγκεκριμένης μοντελοποίησης που ακολουθείται στον

αλγόριθμο αυτό, το κόστος κάθε σταδίου, υπολογίζεται πολλαπλές φορές, όσο ο αλγόριθμος τρέχει προς τα πίσω στον χρόνο. Έτσι με βαθμό πολλαπλότητας ανάλογο του πλήθους των χρονικών σταδίων, τα επιμέρους κόστη επαναυπολογίζονται, αυξάνοντας την συνάρτηση κόστους στην τελική χρονική στιγμή. Το βασικό κριτήριο, στην κατάστρωση του επιχειρηματικού σχεδίου του Δορυφορικού Παροχέα, είναι η επιλογή των βέλτιστων σεναρίων συνδυασμών πελατών, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον Εναλλακτικό Αλγόριθμο Δυναμικού Προγραμματισμού.

Κεφάλαιο 7

Επίλογος

Στην παρούσα διατριβή εξετάστηκε το θέμα της τεχνο-οικονομικής αποτίμησης νέων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Ειδικότερα, έγινε τεχνο-οικονομική μελέτη ασύρματων δορυφορικών υπηρεσιών. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους τεχνολογικούς παράγοντες και περιορισμούς της συγκεκριμένης τηλεπικοινωνιακής εφαρμογής, έγινε εκτίμηση των οικονομικών ωφελειών για έναν Δορυφορικό Παροχέα της διάθεσης της διαστημικής χωρητικότητας. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν διαφορετικά μοντέλα βελτιστοποίησης, ακολουθώντας διαφορετική λογική προσέγγισης κάθε φορά. Στόχο αποτέλεσε ο καθορισμός του βέλτιστου επιχειρηματικού σχεδίου του Δορυφορικού Παροχέα, μέσω της μεγιστοποίησης των Εσόδων που θα προκύψουν από την μίσθωση της διαθέσιμης χωρητικότητας. Κατά την αρχική φάση της μελέτης έγινε συλλογή και στατιστική επεξεργασία πραγματικών δεδομένων χρεώσεων που ισχύουν στην διεθνή δορυφορική αγορά. Τα δεδομένα αυτά εξήγαγαν παραμέτρους ζήτησης και χρέωσης δορυφορικών υπηρεσιών, που χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση των μοντέλων. Επίσης έγινε Ανάλυση Ευαισθησίας για αυτές τις παραμέτρους, ώστε να καθοριστεί το κατά πόσο θα υπάρχει μεταβολή στα αποτελέσματα, με μικρή διαταραχή αυτών των παραμέτρων, σημαντικό δεδομένο σε προβλήματα που δεν είναι δυνατή η συλλογή άπειρων δεδομένων, για την περιγραφή των τιμών των παραμέτρων που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Δημιουργήθηκαν μοντέλα με χρήση Ευρετικής Τεχνικής αλλά και με χρήση αλγορίθμων Δυναμικού Προγραμματισμού, εφαρμόζοντας διαφορετικούς τρόπους μοντελοποίησης. Η επιλογή του Δυναμικού Προγραμματισμού ως μεθόδου βελτιστοποίησης, σε σύγκριση με άλλες μεθοδολογίες που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν (π.χ. χρήση γενετικών αλγορίθμων), θεωρήθηκε η πλέον κατάλληλη για και το υπό εξέταση πρόβλημα, όπου έχουμε λήψη σύνθετων αλληλοεξαρτώμενων αποφάσεων που λαμβάνονται σε διακριτά στάδια, δηλαδή δυναμικό χαρακτήρα.

Έτσι δημιουργήθηκε ένα μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής, ένα μοντέλο με χρήση Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού και ένα μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού. Αναλύθηκαν τα εξαγόμενα αποτελέσματα των μοντέλων, εφαρμοσμένα σε πολλαπλές επαναλήψεις. Βασικό κριτήριο αποτέλεσαν, οι προκύπτουσες από τα μοντέλα βέλτιστες αποφάσεις επιλογής σεναρίων, που πρέπει να λάβει ο Δορυφορικός Παροχέας, ώστε να μεγιστοποιήσει τα Έσοδά του. Επιπρόσθετο κριτήριο, αποτελεί το ποσό των Εσόδων που υπολογίζεται από κάθε μοντέλο, από την υιοθέτηση αυτών των αποφάσεων. Σκοπό αποτέλεσε η

επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και η κατακύρωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Λόγω του περιορισμένου εύρους σχετικής βιβλιογραφίας αναφορικά σε Δορυφορικούς Παροχείς, η προκύπτουσα σε υψηλό βαθμό ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων, μοντέλων με διαφοροποιημένη υλοποίηση και μοντελοποίηση, αποτελεί ισχυρό επιχείρημα για την ορθότητα της μελέτης.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά, τόσο ως προς τις εξαγόμενες αποφάσεις, όσο και ως προς το ποσό των Εσόδων, για τον Δορυφορικό Παροχέα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους, για όλες τις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα παρατηρούνται υψηλά ποσοστά ταύτισης, της τάξης του 85%, των αποφάσεων που εξάγονται από τα δύο μοντέλα. Έτσι με υψηλό βαθμό ομοιότητας, η προτεινόμενη πολιτική μίσθωσης για τον Δορυφορικό Παροχέα, της διαθέσιμης διαστημικής χωρητικότητάς του, ταυτίζεται στα δύο μοντέλα. Επίσης, το χαμηλό ποσοστό απόκλισης των υπολογιζόμενων εσόδων που θα αποκομίσει ο Δορυφορικός Παροχέας από την εφαρμογή αυτών των πολιτικών μίσθωσης, της τάξης του 38%, αποτελεί επιπρόσθετα πολύ ικανοποιητικό χαρακτηριστικό.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, χαρακτηρίζονται επίσης ιδιαίτερα ικανοποιητικά από την πλευρά των αποφάσεων που πρέπει να λάβει ο Δορυφορικός Παροχέας, ώστε να μεγιστοποιήσει τα Έσοδά του. Συγκεκριμένα παρατηρούνται υψηλά ποσοστά ταύτισης, της τάξης του 83%, των αποφάσεων που εξάγονται από τα δύο μοντέλα. Παρατηρούνται επίσης υψηλές αποκλίσεις στο υπολογιζόμενο ποσό Εσόδων από τα δύο μοντέλα. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα αναμενόμενο, αφού λόγω της συγκεκριμένης μοντελοποίησης που ακολουθείται στον αλγόριθμο αυτό, το κόστος κάθε σταδίου, υπολογίζεται πολλαπλές φορές, όσο ο αλγόριθμος τρέχει προς τα πίσω στον χρόνο, με βαθμό πολλαπλότητας ανάλογο του πλήθους των χρονικών σταδίων.

Και στις δύο περιπτώσεις σύγκρισης του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής με είτε το μοντέλο Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, είτε με το μοντέλο Εναλλακτικού Αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού, παρατηρείται μικρή απόκλιση στις βέλτιστες αποφάσεις. Ο λόγος της μη πλήρους ταυτοποίησης, είναι η διαφορετική δόμηση των δύο μοντέλων. Συγκεκριμένα, το μοντέλο του Δυναμικού Προγραμματισμού, λαμβάνει υπ' όψιν του τη δυνατότητα μίσθωσης μέρους της 'Κενής Χωρητικότητας' του Πομποδέκτη του Δορυφόρου κάθε μήνα και όχι απαραίτητα του όλου αυτής. Σε αντιδιαστολή με το μοντέλο Ευρετικής Τεχνικής, όπου θεωρείται δεδομένη η επιλογή μίσθωσης του συνόλου της 'Κενής Χωρητικότητας', στην περίπτωση που εμφανιστεί πελάτης που να ζητάει το συγκεκριμένο ποσό χωρητικότητας. Η λογική δυνατότητας μίσθωσης κλάσματος της 'Κενής Χωρητικότητας' κάθε μήνα, που ενσωματώνεται στον αλγόριθμο του Δυναμικού Προγραμματισμού, επιτρέπει στον Δορυφορικό Παροχέα να επιλέξει το πιο συμφέρον προς αυτόν κομμάτι προς επιμίσθωση. Περιλαμβάνει έτσι την περίπτωση να είναι πιο συμφέρουσα η μίσθωση μέρους της 'Κενής Χωρητικότητας', τον συγκεκριμένο μήνα, αν υπάρχει πελάτης που ζητά συνολικά περισσότερα MHz,

με έναρξη τον συγκεκριμένο μήνα, αλλά για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, αποφέροντας περισσότερα κέρδη.

Έτσι, οι διαφορές στις επιλογές των αποφάσεων στα δύο μοντέλα, εμφανίζονται πιο έντονα στις ακραίες περιπτώσεις, όπου υπάρχουν πελάτες που ζητούν μίσθωση πολύ μικρού ποσού διαστημικής χωρητικότητας και η συνολική κατειλημμένη χωρητικότητα του πομποδέκτη σε κάποιους μήνες είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα η 'Κενή Χωρητικότητα' να είναι μεγάλη. Σε αυτές τις περιπτώσεις στο μοντέλο Δυναμικού Προγραμματισμού, υπάρχει η διακύμανση του λαμβανομένου ποσού 'Κενής Χωρητικότητας' (από 0 έως 100% 'Κενή Χωρητικότητα'), σε σύγκριση με το σταθερό λαμβανόμενο ποσό του 100% της 'Κενής Χωρητικότητας' του μοντέλου Ευρετικής Τεχνικής. Σαν αποτέλεσμα έχουμε διαφοροποίηση στο ποσό των υπολογιζόμενων Αναμενομένων Εσόδων από την 'Κενή Χωρητικότητα', για τα δύο μοντέλα και έτσι διαφορά στην επιλογή των καλύτερων σεναρίων συνδυασμών πελατών, δηλαδή στις αποφάσεις. Επιπλέον, η διαφορά αυτή στο ποσό των υπολογιζόμενων Αναμενομένων Εσόδων από την 'Κενή Χωρητικότητα', που συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό των τελικών Εσόδων, δημιουργεί και την μικρή απόκλιση των υπολογιζόμενων εσόδων, κατά την σύγκριση των μοντέλων Ευρετικής Τεχνικής και Δυναμικού Προγραμματισμού.

Η παρούσα μελέτη, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο, για τη λήψη αποφάσεων ενός Παρόχου, ώστε να καταρτίσει το βέλτιστο επιχειρηματικό σχεδιασμό, λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες ρίσκου και αβεβαιότητας.

Τα σημαντικά σημεία συνεισφοράς της διατριβής αποτελούνται συνοπτικά από

- μοντελοποίηση του προβλήματος βέλτιστης κατανομής διαστημικού φάσματος
- δημιουργία μοντέλου λήψης αποφάσεων για ένα Δορυφορικό Παροχέα, με στόχο την μεγιστοποίηση των Εσόδων αλλά και τον συνυπολογισμό του ρίσκου
- εξαγωγή παραμέτρων ζήτησης και χρέωσης βασικών δορυφορικών υπηρεσιών
- κάλυψη της πραγματικής ανάγκης της τηλεπικοινωνιακής αγοράς για δημιουργία εργαλείου λήψης αποφάσεων με βάση τεχνολογικούς και οικονομικούς όρους
- ανάπτυξη της μεθοδολογίας τόσο με χρήση Ευρετικών Τεχνικών, όσο και με χρήση τεχνικών στοχαστικής βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα διακριτού Δυναμικού Προγραμματισμού
- επιβεβαίωση μέσω πειραματικής αξιολόγησης της εγκυρότητας της προτεινόμενης μοντελοποίησης, και ανάπτυξη αντίστοιχου λογισμικού
- καινοτόμα αντιμετώπιση του προβλήματος της τεχνο-οικονομικής αποτίμησης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, με χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα του πλέον κατάλληλου αλγορίθμου Δυναμικού Προγραμματισμού.

Η παρούσα μοντελοποίηση τεχνο-οικονομικής αποτίμησης δορυφορικών υπηρεσιών μπορεί εύκολα να επεκταθεί και σε άλλους τομείς τηλεπικοινωνιακής

δραστηριότητας, όπου οι αποφάσεις λαμβάνονται διαδοχικά στον ορίζοντα του χρόνου. Έτσι με αλλαγή των τεχνολογικών περιορισμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Ακόμη, είναι δυνατόν να επεκταθεί και σε άλλους τομείς της επιχειρηματικής δραστηριότητας όπου γίνεται μίσθωση συγκεκριμένου όγκου αγαθών, σε διαφορετικούς καταναλωτές.

Περαιτέρω, ενδιαφέρον θέμα μελλοντικής επέκτασης της παρούσας μελέτης αποτελεί η εισαγωγή θεωρίας παιγνίων, αντιμετωπίζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ή και περισσότερων παρόχων δορυφορικών υπηρεσιών. Ο ανταγωνισμός μεταξύ Παρόχων μπορεί να επεκταθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν το παιχνίδι και μεταξύ των πελατών, οδηγώντας σε διαφορετικές ισορροπίες (Nash - Ιεραρχική). Το παίγνιο μεταξύ Παρόχων και πελατών θα καθορίσει διαφορετικά τιμολόγια χρεώσεων, όπου μπορούν να θεωρηθούν και έννοιες δημοπράτησης διαθέσιμης χωρητικότητας, με την αντίστοιχη μελέτη των επιδράσεων αυτής της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παικτών.

Βιβλιογραφία

- [1]. B. T. Olsen, et al, “Techno-Economic Evaluation of Narrowband and Broadband Access Network Alternatives and Evolution Scenario Assessment”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Volume. 14, No. 6. August 1996, pp. 1184-1203
- [2]. S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, D. J. Morrice, “Optimization of a Telecommunications Billing System, Mark Schouwenaar, Eleazer Martin”, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1843-1847
- [3]. A. Dutta, D. V. Rama, “An Optimization Model of Communications Satellite Planning”, *IEEE Transactions on Communications*, Volume. 40, No 9, September 1992, pp. 1463-1473
- [4]. R. Sharma, “VSAT Network Economics: A Comparative Analysis”, *IEEE Communications Magazine*, Volume: 27, Issue: 2, February 1989, pp. 31-35
- [5]. N.J. Keon, G. Anandalingam, “Optimal pricing for multiple services in telecommunications networks offering quality-of-service guarantees”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Volume: 11, Issue: 1, February 2003, pp. 66-80
- [6]. J. McNaul, “Potential Demand Shift and Its Impact on Technological Implementation in International Telecommunications”, *IEEE Transactions on Communications*, Volume 15, Issue 2, April 1967, pp. 183-184
- [7]. M. Chiang, “Geometric programming for communication systems”, *Short monograph in Foundations and Trends in Communications and Information Theory*, Volume. 2, No 1-2, August 2005, pp. 1-154

- [8]. M. Bonatti et al, “B-ISDN economical evaluation in metropolitan areas”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Volume: 10, Issue: 9, December 1992, pp. 1489-1502
- [9]. M.E. Anagnostou, L. Cuthbert, T.D. Lyrtatzis, J.M. Pitts, “Economic evaluation of a mature ATM network”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Volume: 10, Issue: 9, December 1992, pp. 1503 – 1509
- [10]. L.G. Mason, J.P. Combot, “Optimal Modernization Policies for Telecommunications Facilities”, *IEEE Transactions on Communications*, VOL. COM-28, No. 3, March 1980, pp. 317-324
- [11]. L. P. Seidman, “Satellites for Wideband Access”, *IEEE Communications Magazine*, Volume: 34, Issue: 10, October 1996, pp. 108-111
- [12]. Y. Masuda, “The Conceptual Framework of information Economics”, *IEEE Transactions on Communications*, Volume: 23, Issue: 10, October 1975, pp. 1028 – 1040
- [13]. M. J. Eric, “The Economics and Performance of Satellite Packet Switching”, *IEEE Transactions on Communications*, Volume: 23, Issue: 7, July 1975, pp. 732 - 741
- [14]. S. V. de Boer, R. Freling, N. Piersma, “Stochastic Programming for Multiple-Leg Network Revenue Management”, *Tech. Rep. EI-9935/A, ORTEC Consultants*, Gouda, Netherlands, 1999
- [15]. P. Goldman, R. Freling, K. Pak, N. Piersma, “Models and Techniques for Hotel Revenue Management using a Rolling Horizon”, *Econometric Institute Report EI 2001-46*
- [16]. K. Pak, R. Dekker, G. Kindervater, “Airline Revenue Management with Shifting Capacity”, *Econometric Institute, ERIM Report Series Research in Management*, ERS-2003-091-LIS, December 2003, p.25
- [17]. H. Rasku, J. Rantala, H. Koivisto, “MODEL REFERENCE CONTROL IN INVENTORY AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT The implementation

- of a more suitable cost function”, *INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS I*, Springer Netherlands, 2006, pp. 111-116
- [18]. B. Van Roy, D. P. Bertsekas, Y. Lee, J. N. Tsitsiklis, “A Neuro_Dynamic Programming Approach to Retailer Inventory Management”, *Lab. for Information and Decision Systems Report*, November 1996
- [19]. D.P. Bertsekas, “Dynamic Programming and Optimal Control”, *Athena Scientific*, Belmont, MA, Vol. I, 3rd Edition 2005 and Vol. II, 2nd Edition 2001
- [20]. S.D. Guikema, M.E. Pate'-Cornell, “Component choice for managing risk in engineered systems with generalized risk/cost functions” *ELSEVIER Reliability Engineering and System Safety*, pp. 227–238, 2002.
- [21]. S.M. Ross, “Introduction to Stochastic Dynamic Programming” *Academic Press*, 1983
- [22]. D. Bertsimas, R. Freund, “Data, Models, and Decisions: The Fundamentals of Management Science”, *Southwestern College Publishing*, 2000
- [23]. H.W. Sorenson, “Parameter Estimation: Principles and Problems”, Volume 9, Marcel Dekker, 1980.
- [24]. Choi, Kyung K., Kim, Nam-Ho, ‘Structural Sensitivity Analysis and Optimization 1’, *Southwestern College Publishing*, 2000
- [25]. A. Saltelli, K. Chan, E. M. Scott, “Sensitivity Analysis”, *Wiley Series in Probability and Statistics*, 2001
- [26]. G. Maral, M. Bousquet, “Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology”, 3rd edition, *John Wiley & Sons Ltd*, 1998
- [27]. J.N. Pelton, “Satellite communications 2010”, Military Communications Conference, 2001, MILCOM 2001, Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force, IEEE, Volume: 1, pp. 670–675, October 2001

- [28]. C. E. Fossa Jr., T. G. Macdonald, “Dynamic resource allocation for satellite communications,” *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, March 2004.
- [29]. A. Narula-Tam, T. Macdonald, E. Modiano, L. Servi, “A dynamic resource allocation strategy for satellite communications”, *Military Communications Conference, 2004, MILCOM 2004, IEEE*, Volume: 3, pp. 1415- 1421, October 2004
- [30]. L. Chisci, R. Fantacci, T. Pecorella, “Predictive bandwidth control for GEO satellite networks”, *IEEE International Conference on Communications 2004*, pp. 3958–3962, Volume 7
- [31]. G. Isiklar, A.B. Bener, F. Alagoz, “A New Bandwidth Allocation Strategy in GEO Satellite Networks and Pricing the Differentiated Services”, *IEEE International Conference on Communications 2006*, pp. 1855-1860, Volume 7
- [32]. J. Sun, E. Modiano, “Channel Allocation Using Pricing in Satellite Networks”, *40th Annual Conference on Information Sciences and Systems*, 2006, pp. 182-187, March 2006
- [33]. P. Cramton, “Lessons learned from the UK 3G spectrum auction”, *National Audit Office, The Auction of Radio Spectrum for the Third Generation of Mobile Telephones, London: NAO*, 2001
- [34]. H. Gruber, “An investment view of mobile telecommunications in the European Union”, *Telecommunications Policy*, pp. 521-538, Volume 23, August 1999
- [35]. E. Sarri, G.P. Papavassilopoulos, “A decision making tool for assessment of leasing policies of a satellite operator”, *20th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2006*, Bonn Germany
- [36]. E. Sarri, G.P. Papavassilopoulos, “Leasing policies of a satellite operator: comparison of two methodologies”, *5th International Conference on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, CSNDSP 2006*, Patra Greece

- [37]. E. Sarri, G.P. Papavassilopoulos, “A decision making tool and sensitivity analysis for leasing satellite services”, *International Journal of SIMULATION Special Issue on: Simulation in Industry, Business, and Services*, Vol. 7 No 7, 2006 pp. 66-76

Παράρτημα

Πίνακας Π.1

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
1.	1/4/2003	Intelsat	Intelsat 901	Data	IP Gateway	Ku	53,7	48,7	36	5.600	201.600	12	201.600	2.419.200	NO	NO	NO	Europe	Africa
2.	1/4/2003	Intelsat	Intelsat 901	Data	IP Gateway	Ku	53,7	48,7	36	4.500	162.000	12	162.000	1.944.000	NO	NO	NO	Europe	Africa
3.	30/3/2003	Eutelsat	AB-3	Video Contribution	Video Contribution	Ku	48	40	72	3.450	248.400	12	124.200	1.490.400	NO	NO	NO	Europe Africa North America	Europe Africa North America
4.	30/3/2003	Eutelsat	Telecom 2A	Data	IP Gateway	Ku	47	40	36	1.750	63.000	2	63.000	756.000	NO	NO	NO	Africa, Middle East, Europe & Asia	Europe & Africa & Middle East & Asia
5.	30/3/2003	Eutelsat	Telecom 2A	Data	IP Gateway	C	47	40	50	1.600	80.000	6	57.600	691.200	NO	NO	NO	Africa, Middle East, Europe & Asia	Europe & Africa & Middle East & Asia
6.	30/3/2003	Eutelsat	Telecom 2C	Data	VSAT Network	C	47	40	9	2.500	22.500	12	90.000	1.080.000	NO	NO	NO	Africa, Middle East, Europe & Asia	Europe & Africa & Middle East & Asia
7.	1/3/2003	Eutelsat	AB-2	Video Contribution	Video Contribution	Ku	53	40	4	3.500	14.000	12	126.000	1.512.000	NO	NO	NO	Europe, North America	Europe, North America
8.	1/3/2003	ISRO	INSAT-2DT	Data	IP Gateway		n.a.	n.a.	36	3.000	108.000	12	108.000	1.296.000	NO	NO	NO	Indiansubcontinent	Indiansubcontinent
9.	1/3/2003	New Skies Satellites	NSS-7	Data	Telephony	C	38	32	6	6.000	36.000	12	216.000	2.592.000	NO	NO	NO	Africa, Europe & Americas	Africa, Europe & Americas

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
10.	1/3/2003	New Skies Satellites	NSS-7	Data	Broadcaster	C	38	32	3,5	5.600	19.600	36	201.600	2.419.200	NO	NO	NO	Africa, Europe & Americas	Africa, Europe & Americas
11.	1/3/2003	Eutelsat	Sesat	Data	Corporate	Ku	47	40	10	3.000	30.000	12	108.000	1.296.000	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
12.	28/2/2003	Intelsat	Intelsat 605	Data	IP Gateway	C	38	28	36	3.500	126.000	12	126.000	1.512.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
13.	28/2/2003	NSAB	Sirius 2	Data	IP Gateway	Ku	54	42	33	4.500	148.500	12	162.000	1.944.000	NO	NO	NO	Northern Europe	Northern Europe
14.	1/2/2003	Intelsat	Intelsat 705	Data	IP Gateway	C	n.a.	n.a.	13	4.500	58.500	12	162.000	1.944.000	NO	NO	NO	Africa, Europe & Americas	Africa, Europe & Americas
15.	1/2/2003	Intelsat	Intelsat 901	Data	Corporate	Ku	53,7	48,7	4,4	4.500	19.800	12	162.000	1.944.000	NO	NO	NO	Europe	Africa
16.	1/1/2003	New Skies Satellites	NSS-703	Data	Corporate	Ku	50,1	41,4	3,6	4.200	15.120	12	151.200	1.814.400	NO	NO	NO	Middle East	Central Asia
17.	30/11/2002	Eutelsat	W5	Data	VSAT Network	Ku	53	40	36	2.315	83.333	12	83.333	999.994	NO	NO	NO	Europe	Middle East
18.	28/11/2002	Eutelsat	AB-1	Data	IP Gateway	Ku	49	40	36	4.120	148.320	12	148.320	1.779.840	NO	NO	NO	Africa	Middle East
19.	28/11/2002	Eutelsat	AB-1	Data	VSAT Network	Ku	49	40	1	4.109	4.109	12	147.924	1.775.088	NO	NO	NO	Europe	Europe
20.	28/11/2002	Eutelsat	AB-2	Data	Broadcaster	Ku	53	40	18	3.843	69.174	12	138.348	1.660.176	NO	NO	NO	Africa	Europe
21.	28/11/2002	Eutelsat	AB-3	Data	VSAT Network	Ku	48	40	1	5.084	5.084	36	183.024	2.196.288	NO	NO	NO	Africa	Africa
22.	28/11/2002	Europe Star	Europe*Star 1	Data	Telephony	Ku	54	50,5	1	5.559	5.559	12	200.124	2.401.488	NO	NO	NO	Europe	Afganistan
23.	28/11/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	VSAT Network	C	38	31	4	6.167	24.667	12	222.001	2.664.014	NO	NO	NO	Middle East	Central Asia
24.	28/11/2002	PanAmSat	PAS-1R	Data	VSAT Network	C	40	32	1	5.084	5.084	36	183.024	2.196.288	NO	NO	NO	Asia	South East Asia
25.	28/11/2002	Eutelsat	Eutelsat II-F1	Data	IP Gateway	Ku	46	38	36	2.800	122.400	12	100.800	1.209.600	YES	15.900	5.700	Africa Middle East Europe	Africa, Middle East & Europe

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
26.	28/11/2002	Eutelsat	Eutelsat-II-F2	Data	IP Gateway	Ku	46	38	72	2.650	210.000	12	95.400	1.144.800	YES	13.000	6.200	Europe	Middle East
27.	27/11/2002	Eutelsat	Sesat	Data	IP Gateway	Ku	47	40	72	3.341	240.570	36	120.285	1.443.420	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
28.	27/11/2002	Eutelsat	Sesat	Data	VSAT Network	Ku	47	40	1	3.403	3.403	60	122.512	1.470.139	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
29.	27/11/2002	Eutelsat	W1	Data	Telephony	Ku	47	40	0,97	7.425	7.202	12	267.300	3.207.600	NO	NO	NO	Europe	Europe
30.	27/11/2002	Eutelsat	W2	Data	VSAT Network	Ku	50	40	36	6.075	218.700	60	218.700	2.624.400	NO	NO	NO	Europe	Europe
31.	27/11/2002	Eutelsat	W3	Data	Telephony	Ku	48	40	1,3	7.792	10.129	6	280.498	3.365.971	NO	NO	NO	Europe	Middle East
32.	26/11/2002	Eutelsat	W5	Data	VSAT Network	Ku	53	40	1	2.667	2.667	36	96.012	1.152.144	NO	NO	NO	Europe	Middle East
33.	25/11/2002	Eutelsat	W3	Data	Corporate	Ku	48	40	72	5.220	375.840	12	187.920	2.255.040	NO	NO	NO	Europe	Middle East
34.	25/11/2002	Eutelsat	W5	Data/Voice	IP Gateway	Ku	53	40	72	2.729	196.495	12	98.248	1.178.971	NO	NO	NO	Europe	Middle East
35.	25/11/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	VSAT Network	Ku	52	43	1	5.990	5.990	60	215.640	2.587.680	NO	NO	NO	Europe	Europe
36.	23/11/2002	Eutelsat	W3	Data	VSAT Network	Ku	48	40	36	7.914	284.893	36	284.893	3.418.718	NO	NO	NO	Europe	Middle East
37.	22/11/2002	Eutelsat	W3	Voice	VSAT Network	Ku	48	40	1	9.167	9.167	12	329.994	3.959.928	NO	NO	NO	Europe	Middle East
38.	22/11/2002	Eutelsat	W2	Data	VSAT Network	Ku	50	40	72	4.125	297.000	60	148.500	1.782.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
39.	22/11/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	Telephony	Ku	50	41	54	4.074	219.996	36	146.664	1.759.968	NO	NO	NO	Europe	Americas
40.	22/11/2002	Eutelsat	W1	Data	VSAT Network	Ku	47	40	1	3.167	3.167	12	114.012	1.368.144	NO	NO	NO	Europe	Middle East
41.	22/11/2002	Eutelsat	W2	Data	Telephony	Ku	50	40	1	5.559	5.559	12	200.124	2.401.488	NO	NO	NO	Europe	Middle East
42.	21/11/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data/Voice	VSAT Network	C	38	31	0,5	10.560	5.280	12	380.160	4.561.920	NO	NO	NO	Middle East	Central Asia
43.	19/11/2002	Eutelsat	W3	Data/Voice	Telephony	Ku	48	40	1	5.760	5.760	12	207.360	2.488.320	NO	NO	NO	Europe	Middle East
44.	19/11/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	VSAT Network	C	51	42	1	6.058	6.058	36	218.099	2.617.186	NO	NO	NO	Africa & Europe	North America

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
45.	17/11/2002	Eutelsat	W3	Voice	Telephony	Ku	48	40	1	6.188	6.188	12	222.750	2.673.000	NO	NO	NO	Europe	Middle East
46.	17/11/2002	Eutelsat	W4	Data	Telephony	Ku	52	42	18	3.010	54.180	12	108.360	1.300.320	NO	NO	NO	Europe	Middle East
47.	16/11/2002	Europe Star	Europe*star 1	Video Contribution	Broadcaster	Ku	54	50,5	36	7.188	258.768	12	258.768	3.105.216	NO	NO	NO	Europe	Middle East
48.	16/11/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	Broadcaster	Ku	54	50,5	1	8.792	8.792	12	316.500	3.798.001	NO	NO	NO	Europe	Asia
49.	16/11/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	Broadcaster	Ku	54	50,5	1	7.326	7.326	12	263.736	3.164.832	NO	NO	NO	Europe	Asia
50.	16/11/2002	Europe Star	Europe*star B	Data	Broadcaster	Ku	54	29	1	1.269	1.269	12	45.667	548.001	NO	NO	NO	Europe	Europe
51.	16/11/2002	Europe Star	Europe*star B	Data	Broadcaster	Ku	54	29	36	1.227	44.167	12	44.167	529.999	NO	NO	NO	Europe	Europe
52.	16/11/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	C	38	31	72	5.324	400.200	12	191.664	2.299.968	YES	10.952	5.920	Europe	Africa, Middle East & Asia
53.	15/11/2002	Intelsat	Intelsat 901	Data	VSAT Network	Ku	53,7	48,7	1	4.700	4.700	36	169.200	2.030.400	NO	NO	NO	Europe	Europe
54.	15/11/2002	Intelsat	Intelsat 902	Data	VSAT Network	Ku	41	35	1	4.500	4.500	36	162.000	1.944.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
55.	15/11/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Voice	Telephony	Ku	51	42	4	10.137	40.548	36	364.932	4.379.184	NO	NO	NO	M East	North America
56.	10/11/2002	Eutelsat	W3	Data	Telephony	Ku	48	40	1	5.042	5.042	12	181.501	2.178.014	NO	NO	NO	Europe	Middle East
57.	10/11/2002	Eutelsat	W5	Data	IP Gateway	Ku	52	40	72	2.362	170.064	12	85.032	1.020.384	NO	NO	NO	Europe	Middle East
58.	8/11/2002	Eutelsat	W3	Data	Corporate	Ku	48	40	1	10.439	10.439	12	375.815	4.509.778	NO	NO	NO	Europe	Middle East
59.	8/11/2002	Eutelsat	W5	Data	Telephony	Ku	52	40	36	2.946	106.056	36	106.056	1.272.672	NO	NO	NO	Europe	Middle East
60.	4/11/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	C	38	31	36	5.604	201.744	12	201.744	2.420.928	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
61.	4/11/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	VSAT Network	C	41,5	32,5	1	6.640	6.640	12	239.040	2.868.480	NO	NO	NO	Africa	Africa
62.	3/11/2002	Eutelsat	W1	Voice	Telephony	Ku	47	40	1	3.334	3.334	36	120.024	1.440.288	NO	NO	NO	Europe	Middle East

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
63.	2/11/2002	Europe Star	Europe*star 1	Video Contribution	Broadcaster	Ku	53	39	36	8.125	292.500	12	292.500	3.510.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
64.	2/11/2002	Eutelsat	W2	Data	VSAT Network	Ku	50	40	72	4.583	329.998	12	164.999	1.979.986	NO	NO	NO	Europe	Europe
65.	2/11/2002	Eutelsat	W3	Data	Media company	Ku	48	40	36	8.333	300.002	12	300.002	3.600.029	NO	NO	NO	Europe	Middle East
66.	2/11/2002	Eutelsat	W3	Data	Corporate	Ku	48	40	36	9.450	340.200	12	340.200	4.082.400	NO	NO	NO	Europe	Middle East
67.	2/11/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	Broadcaster	C	38	31	9	6.276	56.484	12	225.936	2.711.232	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
68.	1/11/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	Corporate	Ku	50	41	1	5.222	5.222	12	187.992	2.255.904	NO	NO	NO	Europe	North America
69.	30/10/2002	Intelsat	Intelsat 902	Data	Corporate	C	34	31	15	6.667	100.001	12	240.001	2.880.014	NO	NO	NO	Africa, Europe, M East, Asia	Africa, Middle East & Europe
70.	30/10/2002	Eutelsat	Sesat	Data	VSAT Network	Ku	47	40	1	3.002	3.002	12	108.072	1.296.864	NO	NO	NO	Central Asia	Europe
71.	29/10/2002	Eutelsat	Sesat	Data	Corporate	Ku	47	40	72	3.008	216.598	12	108.299	1.299.586	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
72.	28/10/2002	Eutelsat	W1	Data	Telephony	Ku	47	40	1,2	4.538	5.445	60	163.350	1.960.200	NO	NO	NO	Europe	Europe
73.	28/10/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	IP Gateway	Ku	53	39	36	7.524	270.864	36	270.864	3.250.368	NO	NO	NO	Europe	Asia
74.	28/10/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	IP Gateway	Ku	53	39	36	6.771	243.756	12	243.756	2.925.072	NO	NO	NO	Europe	Asia
75.	28/10/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	IP Gateway	Ku	54	50,5	36	7.375	265.500	12	265.500	3.186.000	NO	NO	NO	Europe	Asia
76.	28/10/2002	Eutelsat	W1	Data	Telephony	Ku	47	40	1	3.125	3.125	60	112.500	1.350.000	NO	NO	NO	Europe	Middle East
77.	28/10/2002	Eutelsat	Sesat	Data	VSAT Network	Ku	47	40	1	3.304	3.304	12	118.950	1.427.401	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
78.	28/10/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	IP Gateway	Ku	54	50,5	36	8.625	330.500	12	310.500	3.726.000	YES	27.384	3.552	Europe	Asia

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
79.	27/10/2002	Eutelsat	Hotbird-4	Video Broadcast	Broadcaster	Ku	53	42	36	9.900	356.393	12	356.393	4.276.714	NO	NO	NO	Europe	Europe
80.	27/10/2002	SES Americom	GE-1E	Data	Telephony	Ku	50	40	12	5.500	66.000	12	198.000	2.376.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
81.	27/10/2002	Eutelsat	Hotbird-4	Data	Broadcaster	Ku	53	42	1	9.256	9.256	6	333.212	3.998.549	NO	NO	NO	Europe	Europe
82.	25/10/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	Broadcaster	Ku	52	43	18	5.525	99.450	12	198.900	2.386.800	NO	NO	NO	Europe	Europe
83.	23/10/2002	Eutelsat	W1	Data	Corporate	Ku	47	40	1	3.827	3.827	12	137.772	1.653.264	NO	NO	NO	Europe	Middle East
84.	22/10/2002	Eutelsat	Sesat	Voice	Telephony	Ku	47	40	6	3.792	22.752	2	136.512	1.638.144	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Asia
85.	19/10/2002	APT Satellite Co, LTD	Apstar-5	Data	IP Gateway	Ku	n.a.	n.a.	54	3.087	166.672	12	111.115	1.333.377	NO	NO	NO	China	China
86.	19/10/2002	APT Satellite Co, LTD	Apstar-5	Data	IP Gateway	C	n.a.	n.a.	36	3.704	133.333	12	133.333	1.599.998	NO	NO	NO	China	China
87.	19/10/2002	APT Satellite Co, LTD	Apstar-5	Data	IP Gateway	C	n.a.	n.a.	1	4.167	4.167	12	150.000	1.800.001	NO	NO	NO	China	China
88.	18/10/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	Broadcaster	C	38	31	9	5.311	47.799	60	191.196	2.294.352	NO	NO	NO	Middle East	Central Asia
89.	16/10/2002	Intelsat	Intelsat 702	Data	Corporate	Ku	40	32	60	3.533	211.998	12	127.199	1.526.386	NO	NO	NO	Asia	Asia
90.	15/10/2002	Eutelsat	W5	Data	Corporate	Ku	52	40	1	2.500	2.500	60	90.000	1.080.000	NO	NO	NO	Europe	Middle East
91.	15/10/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	IP Gateway	C	41,5	32,5	36	3.727	134.172	36	134.172	1.610.064	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa & Middle east&europ e
92.	15/10/2002	PanAmSat	PAS 4	Data	VSAT Network	C	39	27	1	7.026	7.026	60	252.936	3.035.232	NO	NO	NO	Europe	Africa
93.	14/10/2002	Intelsat	Intelsat 802	Data	VSAT Network	C	40	35	7,4	2.252	16.667	12	81.083	972.994	NO	NO	NO	Asia	Americas

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
94.	14/10/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	Corporate	C	38	31	1	6.226	6.226	60	224.136	2.689.632	NO	NO	NO	Europe	Africa & Middle East & Asia
95.	12/10/2002	PanAmSat	PAS-10	Data	IP Gateway	C	41	34	36	9.583	344.999	12	344.999	4.139.986	NO	NO	NO	Europe	India
96.	12/10/2002	PanAmSat	PAS-10	Data	Telephony	C	41	34	36	9.583	344.999	12	344.999	4.139.986	NO	NO	NO	Europe	India
97.	12/10/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	Ku	50,1	41,4	36	4.051	145.836	12	145.836	1.750.032	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
98.	7/10/2002	Eutelsat	Sesat	Video Broadcast	Government	Ku	47	40	72	3.094	222.746	60	111.373	1.336.478	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa Middle east Europe
99.	6/10/2002	Eutelsat	W1	Data	Telephony	Ku	47	40	1	3.959	3.959	12	142.524	1.710.288	NO	NO	NO	Europe	Middle East
100.	4/10/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	Broadcaster	C	41	32,5	9	4.719	42.471	12	169.884	2.038.608	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa & Middle east&europ e
101.	4/10/2002	Eutelsat	Sesat	Voice	Government	Ku	47	40	72	3.609	259.848	12	129.924	1.559.088	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa Middle east Europe
102.	3/10/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	Corporate	Ku	52	43	36	4.906	176.616	36	176.616	2.119.392	NO	NO	NO	Europe	Europe
103.	28/9/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data/Voice	Telephony	Ku	52	43	1,2	4.308	5.170	60	155.088	1.861.056	NO	NO	NO	Europe	Europe
104.	28/9/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	Ku	50,1	41,4	27	4.456	120.312	12	160.416	1.924.992	NO	NO	NO	Middle East	Central Asia
105.	27/9/2002	Eutelsat	W3	Data	VSAT Network	Ku	48	40	1	8.708	8.708	36	313.499	3.761.986	NO	NO	NO	Europe	Middle East
106.	27/9/2002	Eutelsat	Sesat	Data	IP Gateway	Ku	47	40	72	3.713	267.300	12	133.650	1.603.800	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa Middle east Europe

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
107.	21/9/2002	Hispasat	Hispasat 1C	Data	Corporate	Ku	54	45	2	4.300	8.600	12	154.800	1.857.600	NO	NO	NO	Europe	Europe
108.	21/9/2002	Eutelsat	Sesat	Video Contribution	Corporate	Ku	47	40	1	3.675	3.675	36	132.314	1.587.773	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa Middle esat Europe
109.	21/9/2002	Intersputnik	LMI-1	Data	IP Gateway	Ku	48	43	27	6.185	167.000	12	222.667	2.672.006	NO	NO	NO	Europe & Asia	Europe & Asia
110.	21/9/2002	Intersputnik	LMI-1	Data	IP Gateway	Ku	48	43	27	5.556	150.001	60	200.002	2.400.019	NO	NO	NO	Europe & Asia	Europe & Asia
111.	21/9/2002	Eutelsat	Sesat	Data	VSAT Network	Ku	47	40	1	3.573	3.573	60	128.624	1.543.493	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa Middle esat Europe
112.	19/9/2002	Europe Star	Europe*star 1	Data	IP Gateway	Ku	52	49	27	6.875	185.625	12	247.500	2.970.000	NO	NO	NO	Europe	Middle east
113.	15/9/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data/Voice	Telephony	Ku	49	40	54	3.703	199.962	60	133.308	1.599.696	NO	NO	NO	Europe	Americas
114.	15/9/2002	Eutelsat	Sesat	Data	IP Gateway	Ku	47	40	72	3.249	233.921	60	116.960	1.403.525	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa Middle esat Europe
115.	11/9/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	VSAT Network	Ku	50,1	41,4	27	3.770	101.790	60	135.720	1.628.640	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
116.	11/9/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	VSAT Network	C	38	31	1	7.358	7.358	12	264.899	3.178.786	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
117.	10/9/2002	Eutelsat	Sesat	Data	IP Gateway	Ku	47	40	36	3.496	142.576	12	125.856	1.510.272	YES	16.720	2.720	Central Asia	Europe
118.	9/9/2002	Intelsat	Intelsat 601	Data	Corporate	C	37	28	7,4	5.541	41.000	12	199.458	2.393.496	NO	NO	NO	Africa, Europe	Africa, Europe
119.	7/9/2002	PanAmSat	PAS-10	Data	Telephony	Ku	47	43,2	5	5.502	30.000	12	198.072	2.376.864	YES	2.490	n/a	Europe	Africa

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
120.	28/8/2002	Eutelsat	Eutelsat II-F1	Data	IP Gateway	Ku	46	38	72	3.200	255.200	12	115.200	1.382.400	YES	18.860	5.940	Africa Middle East Europe	Africa, Middle East & Europe
121.	27/8/2002	Eutelsat	AB-3	Video Contribution	Broadcaster	Ku	48	40	9	7.083	63.751	6	255.002	3.060.029	NO	NO	NO	Africa	USA
122.	25/8/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	VSAT Network	C	41,5	32,5	1	5.870	5.870	36	211.320	2.535.840	NO	NO	NO	Africa	Africa
123.	24/8/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	Broadcaster	C	36,5	31	9	5.552	49.968	12	199.872	2.398.464	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
124.	13/8/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	Corporate	Ku	50,5	41	1	7.075	7.075	12	254.700	3.056.400	NO	NO	NO	Europe	Asia
125.	3/8/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	Ku	50,1	41,4	36	3.428	123.408	60	123.408	1.480.896	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
126.	25/7/2002	Loral Skynet	Telstar 10	Data	Broadcaster	C	40	30	36	2.778	100.001	36	100.001	1.200.010	NO	NO	NO	Africa, Middle East, Europe & Asia	Europe & Africa & Middle East & Asia
127.	19/7/2002	Eutelsat	W3	Data/Voice	Telephony	Ku	48	40	36	3.240	116.640	12	116.640	1.399.680	NO	NO	NO	Europe	Middle East
128.	16/7/2002	Eurasiasat	Turksat 2A	Data	Telephony	Ku	51	40	36	5.556	200.002	36	200.002	2.400.019	NO	NO	NO	Europe	Europe
129.	16/7/2002	Eurasiasat	Turksat 2A	Data	Telephony	Ku	51	40	36	4.398	158.335	7	158.335	1.900.022	NO	NO	NO	Europe	Europe
130.	30/6/2002	RSCC	Express-6A	Data	Government	Ku	36,5	29	36	3.704	133.333	12	133.333	1.599.998	NO	NO	NO	Europe, Africa, Middle East & Asia	Europe, Africa, Middle East & Asia
131.	28/6/2002	Intersputnik	LMI-1	Data	Telephony	C	39	34	36	3.241	116.665	12	116.665	1.399.982	NO	NO	NO	Europe & Asia	Europe & Asia

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
132.	28/6/2002	Intersputnik	LMI-1	Data/Voice	IP Gateway	Ku	47	41	27	6.172	166.644	12	222.192	2.666.304	NO	NO	NO	Middle East & Asia	Middle East & Asia
133.	28/6/2002	Intersputnik	LMI-1	Data	IP Gateway	Ku	47	41	27	6.790	183.330	60	244.440	2.933.280	NO	NO	NO	Middle East & Asia	Middle East & Asia
134.	27/6/2002	Telenor	Thor III	Data	IP Gateway	Ku	50	43	33	2.448	80.784	12	88.128	1.057.536	NO	NO	NO	Europe	Europe
135.	27/6/2002	Telenor	Thor III	Data	IP Gateway	Ku	50	43	33	2.125	70.125	36	76.500	918.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
136.	21/6/2002	RSCC	Express-6A	Data	Government	C	40	32	17	3.241	55.092	36	116.665	1.399.982	NO	NO	NO	Eastern Europe	Central Asia
137.	21/6/2002	Intelsat	Intelsat 707	Data	VSAT Network	Ku	52	43	18	4.094	73.690	36	147.380	1.768.565	NO	NO	NO	Europe	Europe
138.	21/6/2002	Intelsat	Intelsat 707	Data	VSAT Network	Ku	52	43	18	3.867	69.597	60	139.194	1.670.328	NO	NO	NO	Europe	Europe
139.	21/6/2002	Intelsat	Intelsat 707	Data	VSAT Network	Ku	52	43	18	4.549	81.878	12	163.755	1.965.060	NO	NO	NO	Europe	Europe
140.	20/6/2002	Kalitel	Anatolia	Data	Corporate	Ku	52	40	150	2.892	433.800	36	104.112	1.249.344	NO	NO	NO	Europe	Eastern Europe
141.	14/6/2002	Eutelsat	Sesat	Data	Telephony	Ku	47	40	6	3.500	27.000	36	126.000	1.512.000	YES	6.000	n/a	Africa, Middle East & Europe	Asia
142.	13/6/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data/Voice	IP Gateway	C	38	31	72	4.505	324.360	60	162.180	1.946.160	NO	NO	NO	Africa & Europe	Asia
143.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	1	6.667	6.667	12	240.000	2.880.001	NO	NO	NO	Europe	Europe
144.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	36	6.019	216.667	12	216.667	2.600.001	NO	NO	NO	Europe	Europe
145.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	1	6.333	6.333	36	228.000	2.735.999	NO	NO	NO	Europe	Europe
146.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	36	5.787	208.333	36	208.333	2.500.001	NO	NO	NO	Europe	Europe
147.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	1	6.667	6.667	12	240.001	2.880.014	NO	NO	NO	Africa Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
148.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	33	6.566	216.668	12	236.365	2.836.382	NO	NO	NO	Africa Middle East	Africa, Middle East & Europe

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
																		Europe	
149.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	1	6.333	6.333	36	227.988	2.735.856	NO	NO	NO	Africa Middle East Europe	Africa, Middle East & Europe
150.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	33	6.313	208.329	36	227.268	2.727.216	NO	NO	NO	Africa Middle East Europe	Africa, Middle East & Europe
151.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	1	5.667	5.667	12	204.001	2.448.014	NO	NO	NO	Africa Middle East Europe	Africa, Middle East & Europe
152.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	33	5.682	187.499	12	204.545	2.454.538	NO	NO	NO	Africa Middle East Europe	Africa, Middle East & Europe
153.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	1	6.167	6.167	36	222.000	2.664.001	NO	NO	NO	Europe & Middle East	Europe & Middle East
154.	12/6/2002	Asiasat	Asiasat 1	Data	Broadcaster	C	37,2	31	36	6.061	218.182	36	218.182	2.618.184	NO	NO	NO	Europe & Middle East	Europe & Middle East
155.	12/6/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	IP Gateway	C	41,5	32,5	36	4.213	151.668	12	151.668	1.820.016	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa, Middle East & Europe
156.	24/5/2002	Eutelsat	Eutelsat II-F2	Data/Voice	Telephony	Ku	46	38	9	1.500	18.100	6	54.000	648.000	YES	4.000	600	Europe	Middle East
157.	24/5/2002	Eutelsat	Eutelsat-II-F1	Data/Voice	Telephony	Ku	46	38	4	1.700	18.200	6	61.200	734.400	YES	9.665	1.735	Europe	Middle East
158.	21/5/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	C	38	31	36	4.742	170.712	60	170.712	2.048.544	NO	NO	NO	Asia	Asia
159.	18/5/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	VSAT Network	Ku/C	41,5	32,5	1,6	5.490	8.784	6	197.640	2.371.680	NO	NO	NO	Africa, Middle East & Europe	Africa & Middle East & Europe

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
160.	18/5/2002	Eutelsat	W3	Voice	Telephony	Ku	48	40	1	8.854	8.854	12	318.750	3.825.001	NO	NO	NO	Europe	Middle East
161.	13/5/2002	Intelsat	Intelsat 605	Data	VSAT Network	Ku	52,7	41,7	4	6.563	26.250	12	236.250	2.835.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
162.	13/5/2002	Intelsat	Intelsat 704	Data	Government	C	35	26	8	5.469	43.750	2	196.875	2.362.500	NO	NO	NO	Europe	Middle East & Asia
163.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	6.250	225.000	12	225.000	2.700.000	NO	NO	NO	Europe, America	America
164.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	5.949	214.167	36	214.167	2.570.000	NO	NO	NO	Europe, America	America
165.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	54	4.383	236.667	12	157.778	1.893.333	NO	NO	NO	Europe, America	America
166.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	54	4.167	225.000	36	150.000	1.800.000	NO	NO	NO	Europe, America	America
167.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	72	3.438	247.500	12	123.750	1.485.000	NO	NO	NO	Europe, America	America
168.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	72	3.275	235.833	36	117.917	1.415.000	NO	NO	NO	Europe, America	America
169.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	7.569	272.500	12	272.500	3.270.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
170.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	7.199	259.167	36	259.167	3.110.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
171.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	54	5.278	285.000	12	190.000	2.280.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
172.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	54	5.015	270.833	36	180.556	2.166.667	NO	NO	NO	Europe	Europe
173.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	72	4.167	300.000	12	150.000	1.800.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
174.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	72	3.958	285.000	36	142.500	1.710.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
175.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	36	7.569	272.500	12	272.500	3.270.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
176.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	36	7.199	259.167	36	259.167	3.110.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
177.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	72	4.167	300.000	12	150.000	1.800.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
178.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	72	3.958	285.000	36	142.500	1.710.000	NO	NO	NO	Europe	Europe

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
179.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	36	3.472	125.000	12	125.000	1.500.000	NO	NO	NO	Africa	Africa
180.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	36	3.310	119.167	36	119.167	1.430.000	NO	NO	NO	Africa	Africa
181.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	54	3.549	191.667	12	127.778	1.533.333	NO	NO	NO	Africa	Africa
182.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	54	3.395	183.333	36	122.222	1.466.667	NO	NO	NO	Africa	Africa
183.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	11.111	400.000	12	400.000	4.800.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
184.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	10.556	380.000	36	380.000	4.560.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
185.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ka	n.a.	n.a.	72	4.201	302.500	12	151.250	1.815.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
186.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ka	n.a.	n.a.	72	3.993	287.500	36	143.750	1.725.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
187.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ku	n.a.	n.a.	33	4.545	150.000	12	163.636	1.963.636	NO	NO	NO	Africa	Africa
188.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ku	n.a.	n.a.	33	4.369	144.167	36	157.273	1.887.273	NO	NO	NO	Africa	Africa
189.	22/4/2002	Eutelsat	EuroBird			Ku	n.a.	n.a.	33	12.121	400.000	12	436.364	5.236.364	NO	NO	NO	Europe	Europe
190.	22/4/2002	Eutelsat	EuroBird			Ku	n.a.	n.a.	33	11.515	380.000	36	414.545	4.974.545	NO	NO	NO	Europe	Europe
191.	22/4/2002	Eutelsat	EuroBird			Ku	n.a.	n.a.	72	6.111	440.000	12	220.000	2.640.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
192.	22/4/2002	Eutelsat	EuroBird			Ku	n.a.	n.a.	72	5.810	418.333	36	209.167	2.510.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
193.	22/4/2002	Eutelsat	e-Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	4.838	174.167	12	174.167	2.090.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
194.	22/4/2002	Eutelsat	e-Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	4.630	166.667	36	166.667	2.000.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
195.	22/4/2002	Eutelsat	e-Bird			Ku	n.a.	n.a.	108	3.434	370.833	12	123.611	1.483.333	NO	NO	NO	Europe	Europe
196.	22/4/2002	Eutelsat	e-Bird			Ku	n.a.	n.a.	108	3.295	355.833	36	118.611	1.423.333	NO	NO	NO	Europe	Europe
197.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	6.968	250.833	12	250.833	3.010.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
198.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	6.620	238.333	36	238.333	2.860.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
199.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	54	4.861	262.500	12	175.000	2.100.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
200.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	54	4.614	249.167	36	166.111	1.993.333	NO	NO	NO	Europe	Europe
201.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	72	3.831	275.833	12	137.917	1.655.000	NO	NO	NO	Europe	Europe

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
202.	22/4/2002	Eutelsat	Atlantic Bird			Ku	n.a.	n.a.	72	3.646	262.500	36	131.250	1.575.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
203.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	36	6.968	250.833	12	250.833	3.010.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
204.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	36	6.620	238.333	36	238.333	2.860.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
205.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	72	3.831	275.833	12	137.917	1.655.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
206.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	72	3.646	262.500	36	131.250	1.575.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
207.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	40	4.021	160.833	12	144.750	1.737.000	NO	NO	NO	Africa	Africa
208.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	40	3.833	153.333	36	138.000	1.656.000	NO	NO	NO	Africa	Africa
209.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	54	3.272	176.667	12	117.778	1.413.333	NO	NO	NO	Africa	Africa
210.	22/4/2002	Eutelsat	W & SESAT			Ku	n.a.	n.a.	54	3.117	168.333	36	112.222	1.346.667	NO	NO	NO	Africa	Africa
211.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	10.231	368.333	12	368.333	4.420.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
212.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ku	n.a.	n.a.	36	9.722	350.000	36	350.000	4.200.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
213.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ka	n.a.	n.a.	72	3.866	278.333	12	139.167	1.670.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
214.	22/4/2002	Eutelsat	Hot Bird			Ka	n.a.	n.a.	72	3.669	264.167	36	132.083	1.585.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
215.	22/4/2002	Eutelsat	Telstar 12			Ku	n.a.	n.a.	54	4.861	262.500	12	175.000	2.100.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
216.	22/4/2002	Eutelsat	Telstar 12			Ku	n.a.	n.a.	54	4.614	249.167	36	166.111	1.993.333	NO	NO	NO	Europe	Europe
217.	22/4/2002	Eutelsat	Telecom 2			Ku	n.a.	n.a.	36	4.167	150.000	12	150.000	1.800.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
218.	22/4/2002	Eutelsat	Express A3			Ku	n.a.	n.a.	36	4.653	167.500	12	167.500	2.010.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
219.	22/4/2002	Eutelsat	Express A3			Ku	n.a.	n.a.	36	4.167	150.000	36	150.000	1.800.000	NO	NO	NO	Europe	Europe
220.	21/4/2002	New Skies Satellites	NSS-803	Data	VSAT Network	C	41,5	32,5	2	6.100	12.200	12	219.600	2.635.200	NO	NO	NO	Africa & Europe	N. Americas
221.	20/4/2002	Eutelsat	W3	Data	VSAT Network	Ku	48	40	1	3.600	3.600	12	129.600	1.555.200	NO	NO	NO	Europe	Eastern

A/A	Date	Satellite Operator	Satellite name	Service Application	Purchaser type	Frequency Band	Power (Max e.i.r.p. dBw)	Power (Min e.i.r.p. dBw)	Total BW (in MHz) Contract Information	Price / MHz (per month) Contract Information	Price (per month) Contract Information	Duration (months)	Price / 36 MHz (month)	Price/ 36MHz (year)	Contract Price Includes Additional/ Bundled Services	Cost component of Teleport (month)	Cost component of Fibre/ IP Access (month)	Uplink Regions	Downlink Regions
																			Mediterranean
222.	19/4/2002	Intelsat	Intelsat 605	Data	VSAT Network	Ku	52,7	41,7	4,3	4.070	17.500	12	146.513	1.758.154	NO	NO	NO	Europe	Europe
223.	13/4/2002	Kalitel	Anatolia	Data	Government	Ku	52	40	72	2.025	145.833	12	72.917	874.999	NO	NO	NO	Africa Middle East Europe	Europe, Middle East & Africa
224.	9/4/2002	Loral Skynet	Telstar 10 (Apstar IIR)	Data	IP Gateway	C	40	30	36	4.500	162.000	36	162.000	1.944.000	NO	NO	NO	Africa, Middle East, Europe & Asia	Europe, Africa, Middle East & Asia
225.	5/4/2002	Shin Satellite	Thaicom 3	Data	Media company	Ku	56,7	48	36	8.102	291.665	12	291.665	3.499.978	NO	NO	NO	Asia	Asia
226.	2/4/2002	Eutelsat	Hotbird-4	Data	Broadcaster	Ku	53	42	1	10.890	10.890	12	392.026	4.704.307	NO	NO	NO	Europe	Europe
227.	27/3/2002	Loral Skynet	Telstar10 (or Apstar IIR)	Data	Broadcaster	C	40	36	27	3.086	83.333	12	111.111	1.333.333	NO	NO	NO	China	China
228.	27/3/2002	Intelsat	Intelsat 704	Data	VSAT Network	C	35	26	11,8	9.200	108.560	12	331.200	3.974.400	NO	NO	NO	Africa, Europe, M East, Asia	Europe, Africa, Middle East & Asia
229.	27/3/2002	Intelsat	Intelsat-902	Data	Corporate	Ku	n.a.	n.a.	33	7.070	233.310	12	254.520	3.054.240	NO	NO	NO	Europe	Asia
230.	19/3/2002	PanAmSat	PAS-1R	Data	Corporate	C	40	32	36	5.324	191.664	60	191.664	2.299.968	NO	NO	NO	Europe	Africa
231.	16/3/2002	New Skies Satellites	NSS-703	Data	IP Gateway	C	n.a.	n.a.	36	3.727	134.168	12	134.168	1.610.021	NO	NO	NO	Africa & Europe	Africa & Europe
232.	9/3/2002	Intelsat	Intelsat 901	Data	IP Gateway	C	42	35	30	2.333	69.999	12	83.999	1.007.986	NO	NO	NO	Europe	Middle East & Asia
233.	2/3/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	Broadcaster	Ku	52	43	9	4.850	43.650	36	174.600	2.095.200	NO	NO	NO	Europe	Europe
234.	2/3/2002	Loral Skynet	Telstar 12	Data	Broadcaster	Ku	52	43	27	4.550	122.850	36	163.800	1.965.600	NO	NO	NO	Europe	Europe

<i>Λίστα Εγγραφών Παραρτήματος</i>	
Εγγραφές Πίνακα Π.1	Αύξων Αριθμός Εγγραφής
μπλε εγγραφές	1-162, 220-234
πράσινες εγγραφές	163-196
μωβ εγγραφές	197-219

