



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ
ΚΛΗΣΕΩΝ ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗ ΖΕΥΞΗ ΜΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ WCDMA**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΟΥΜΠΑΡΔΙΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗΣ του ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ»

Επιβλέπων Καθηγητής: ΜΟΣΧΟΛΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	8
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ WCDMA	8
1.1 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης – Multiple Access Techniques.....	8
1.1.1 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας - Frequency Division Multiple Access (FDMA).....	8
1.1.2 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου - Time Division Multiple Access (TDMA)....	8
1.1.3 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα - Code Division Multiple Access (CDMA)....	8
1.2 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα Ευρείας Ζώνης - Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA).....	9
1.3 Έλεγχος Ισχύος – Power Control.....	10
1.3.1 Έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου - Outer Loop Power Control.....	10
1.3.2 Έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόχου - Inner Loop Power Control.....	10
1.4 Παρεμβολές στα συστήματα CDMA - Interferences in CDMA.....	11
1.5 Μεταγωγή – Handover.....	11
1.6 Παράγοντας φορτίου - Load factor.....	12
1.7 Συντελεστής δραστηριότητας - Activity factor.....	13
1.8 Αυξητικός θόρυβος - Noise Rise.....	13
1.9 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων στην ανερχόμενη ζεύξη – Call Admission Control.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	15
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	15
2.1 Μοντέλο.....	15
2.2 Έλεγχος αποδοχής στα συστήματα WCDMA - (Admission Control).....	15
2.2.1 Το μοντέλο των παρεμβολών.....	16
2.2.2 Πιθανότητες τοπικής απώλειας - Local Blocking Probabilities.....	19
2.3 Ακριβής υπολογισμός των τελικών πιθανοτήτων απώλειας.....	21
2.4 Προσέγγιση στις τελικές πιθανότητες απώλειας.....	23
2.4.1 Υπολογισμός της πιθανότητας της τελικής απώλειας για 2 κατηγορίες κίνησης.....	26
2.4.2 Η σειρά των υπολογισμών.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	33
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	33
3.1 Παράδειγμα.....	33
3.2 Παράδειγμα.....	40
3.3 Παράδειγμα.....	47
3.4 Παράδειγμα.....	54
3.5 Παράδειγμα.....	59
3.6 Παράδειγμα.....	66
3.7 Παράδειγμα.....	72
3.8 Παράδειγμα.....	78
3.9 Παράδειγμα.....	84
3.10 Παράδειγμα.....	87
Βιβλιογραφία	90

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Διάγραμμα κατάστασης μιας τροποποιημένης μονοδιάστατης αλυσίδας Markov.....	22
Σχήμα 2.2: Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων του μοντέλου Kaufman-Roberts ...	26
Σχήμα 2.3: Αναδρομικός υπολογισμός των απασχολημένων πηγών (Staehele - Mäder)[5].....	27
Σχήμα 3.1. 4 : Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.1 παράδειγμα).	35
Σχήμα 3.1.5: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.1 παράδειγμα).	35
Σχήμα 3.1.6: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.1 παράδειγμα).	36
Σχήμα 3.1.7: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.1 παράδειγμα).	36
Σχήμα 3.1.8: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.1 παράδειγμα).	37
Σχήμα 3.1.9: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.1 παράδειγμα).	37
Σχήμα 3.1.10: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.1 παράδειγμα).	38
Σχήμα 3.1.11: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.1 παράδειγμα).	38
Σχήμα 3.1.12: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.1 παράδειγμα).	39
Σχήμα 3.1.13: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.1 παράδειγμα).	39
Σχήμα 3.2.14: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.2 παράδειγμα).	42
Σχήμα 3.2.15: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.2 παράδειγμα).	42
Σχήμα 3.2.16: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.2 παράδειγμα).	43
Σχήμα 3.2.17: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.2 παράδειγμα).	43
Σχήμα 3.2.18: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.2 παράδειγμα).	44
Σχήμα 3.2.19: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.2 παράδειγμα).	44
Σχήμα 3.2.20: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.2 παράδειγμα).	45
Σχήμα 3.2.21: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.2 παράδειγμα).	45
Σχήμα 3.2.22: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.2 παράδειγμα).	46
Σχήμα 3.2.23: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.2 παράδειγμα).	46
Σχήμα 3.3.24: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.3 παράδειγμα).	49

Σχήμα 3.8.75: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.8 παράδειγμα).....	81
Σχήμα 3.8.76: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.8 παράδειγμα).....	82
Σχήμα 3.8.77: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.8 παράδειγμα).....	82
Σχήμα 3.8.78: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.8 παράδειγμα).....	83
Σχήμα 3.8.79: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.8 παράδειγμα).....	83
Σχήμα 3.8.80: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.8 παράδειγμα).....	84
Σχήμα 3.8.81: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.8 παράδειγμα).....	84
Σχήμα 3.9.82: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (3.9 παράδειγμα). Το σημείο 1 αντιστοιχεί στο traffic mix (0.45, 0.45, 0.1), το σημείο 2 στο (0.4, 0.4, 0.2) κ.τ.λ.	86
Σχήμα 3.9.83: Η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος (utilization) συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (9 ^ο παράδειγμα). Το σημείο 1 αντιστοιχεί στο traffic mix (0.45, 0.45, 0.1), το σημείο 2 στο (0.4, 0.4, 0.2) κ.τ.λ.	86
Σχήμα 3.10.84: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (3.10 παράδειγμα).....	88
Σχήμα 3.10.85: Η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος (utilization) συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (3.10 παράδειγμα). Το σημείο 1 αντιστοιχεί στο traffic mix (0.45, 0.45, 0.1), το σημείο 2 στο (0.4, 0.4, 0.2) κ.τ.λ.	89

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αναλυτικά αποτελέσματα του 3.1 παραδείγματος.....	34
Πίνακας 2: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.1 παραδείγματος	34
Πίνακας 3: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.2 παραδείγματος	41
Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.2 παραδείγματος	41
Πίνακας 5: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.3 παραδείγματος	48
Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.3 παραδείγματος	48
Πίνακας 7: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.4 παραδείγματος	54
Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.4 παραδείγματος	55
Πίνακας 9: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.5 παραδείγματος	60
Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.5 παραδείγματος	60
Πίνακας 11: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.6 παραδείγματος	66
Πίνακας 12: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.6 παραδείγματος	67
Πίνακας 13: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.7 παραδείγματος	73
Πίνακας 14: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.7 παραδείγματος	73
Πίνακας 15: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.8 παραδείγματος	79
Πίνακας 16: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.8 παραδείγματος	79
Πίνακας 17: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.9 παραδείγματος	85
Πίνακας 18: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.9 παραδείγματος	85
Πίνακας 19: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.10 παραδείγματος	87
Πίνακας 20: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.10 παραδείγματος	88

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελείται από 3 κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στη περιγραφή των γενικών χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος WCDMA το οποίο εξυπηρετεί διαφορετικές κατηγορίες κίνησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται το μοντέλο υπολογισμού της πιθανότητας απώλειας μιας νέας κλήσης (call blocking probability) στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink) μιας κυψέλης WCDMA. Αρχικά παρουσιάζουμε τον ακριβή υπολογισμό της πιθανότητας απώλειας κλήσης, ο οποίος όμως είναι πολύπλοκος και ως εκ τούτου ασύμφορος στην πράξη. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε έναν προσεγγιστικό τύπο υπολογισμού της πιθανότητας απώλειας κλήσης ο οποίος υλοποιείται εύκολα στον υπολογιστή λόγω του αναδρομικού χαρακτήρα του. Κύριο χαρακτηριστικό του τύπου είναι ότι αποτελεί επέκταση του κλασσικού αναδρομικού τύπου των Kaufman-Roberts. Ο τύπος των Kaufman-Roberts υπολογίζει με ακρίβεια την πιθανότητα απώλειας κλήσεως σε σύστημα απωλειών (δεν υπάρχει ουρά αναμονής) που εξυπηρετεί κλήσεις διαφορετικών κατηγοριών κίνησης των οποίων η άφιξη ακολουθεί μια διαδικασία Poisson.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αριθμητικά παραδείγματα υπολογισμού της πιθανότητας απώλειας κλήσης στην ανερχόμενη ζεύξη κυψέλης WCDMA ενώ παράλληλα μελετάται και η επίδραση, στην απώλεια των κλήσεων, διαφόρων παραμέτρων όπως π.χ. η μέση τιμή των διακυψελικών παρεμβολών, ο συντελεστής δραστηριότητας κλήσεων κτλ.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα» στο Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Επιβλέπων καθηγητής ήταν ο λέκτορας κ. Μοσχολιός Ιωάννης τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την βοήθεια του κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής καθώς επίσης και για τις γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το συμφοιτητή μου Νίκο Αδάμο Τζανή που ασχολήθηκε με την προσομοίωση του ίδιου θέματος, για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ WCDMA

1.1 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης – Multiple Access Techniques

Υπάρχουν τρεις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που καθορίζουν πως τα σήματα από διαφορετικούς πομπούς μπορούν να μοιραστούν το ίδιο επικοινωνιακό κανάλι (ενσύρματο ή ασύρματο) και είναι οι εξής [1]:

- Frequency Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας (FDMA)
- Time Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου (TDMA)
- Code Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα (CDMA)

Ο δέκτης παραλαμβάνοντας τα σήματα θα πρέπει να τα διαχωρίσει μεταξύ τους και αυτό επιτυγχάνεται με την ορθογωνιότητα των σημάτων. Δύο σήματα $\phi_1(t), \phi_2(t)$ ορισμένα σε ένα διάστημα $[a, b]$ ονομάζονται ορθογώνια μεταξύ τους όταν το εσωτερικό τους γινόμενο είναι 0.

$$\langle \phi_i, \phi_j \rangle = \int_a^b \phi_i(t)\phi_j(t)dt = 0$$

Οι τρεις παραπάνω τεχνικές έχουν διαφορετικό τρόπο που πετυχαίνουν την ορθογωνιότητα.

1.1.1 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας - Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Η ορθογωνιότητα σε αυτή τη τεχνική επιτυγχάνεται με τη χρήση σημάτων με διαφορετικές συχνότητες. Σήματα που καταλαμβάνουν διαφορετικό διάστημα συχνοτήτων είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε στα αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας 1^{ης} γενιάς (Advanced Mobile Phone Service-AMPS).

1.1.2 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου - Time Division Multiple Access (TDMA)

Η ορθογωνιότητα σε αυτή τη τεχνική επιτυγχάνεται με διαχωρισμό των σημάτων στο χρόνο. Χρησιμοποιείται μόνο σε ψηφιακά συστήματα και συνήθως σε συνδυασμό με την τεχνική FDMA (GSM/GPRS).

1.1.3 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα - Code Division Multiple Access (CDMA)

Επιτυγχάνεται με δύο τρόπους [1]:

- Το σήμα κατά τη μετάδοσή του μπορεί να μεταβάλλεται στη συχνότητα ανά χρονικά διαστήματα με τρόπο τέτοιο ώστε μόνο ο πομπός και ο δέκτης να γνωρίζουν (Frequency-Hopping Spread Spectrum, FH-SS).
- Το σήμα πολλαπλασιάζεται με μια ψευδοτυχαία ακολουθία ενός κώδικα από bits που είναι γνωστή μόνο στον πομπό και στο δέκτη (Direct Sequence Spread Spectrum, DS-SS). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Στην τεχνική DS-SS χρησιμοποιείται ένα σύνολο σημάτων που ονομάζονται ορθογωνικοί κώδικες ή απλά κώδικες και είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Πολλαπλασιάζοντας κάθε σήμα με ένα κώδικα, κωδικοποιείται σε ένα άλλο και η αποκωδικοποίηση αυτού μπορεί να γίνει μόνο από αυτόν που γνωρίζει το κώδικα. Στη τεχνική DS-SS (πιο σύντομα και CDMA) όλα τα σήματα εκπέμπουν σε ίδιο διάστημα συχνοτήτων και χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορθογωνικούς κώδικες. Νέα σήματα γίνονται δεκτά μόνο εφόσον υπάρχει ελεύθερος κώδικας για αυτό και αυτό συμβαίνει για αριθμό σημάτων τόσων όσων είναι και οι διαθέσιμοι ορθογωνικοί κώδικες. Όμως επειδή δεν είναι όλοι οι κώδικες ορθογώνιοι μεταξύ τους κάθε χρήστης επιβαρύνει τους υπόλοιπους με μια μικρή παρεμβολή. Επομένως κάθε νέος χρήστης γίνεται δεκτός αν το σύνολο των παρεμβολών δεν ξεπερνά ένα προκαθορισμένο όριο (Interference Limited) αλλιώς αποκλείεται από το σύστημα (Soft Blocking).

Το πρώτο δίκτυο στο οποίο εφαρμόστηκε η τεχνική CDMA ήταν το IS-95 ,2^{ης} γενιάς και από την 3^η γενιά τα συστήματα UMTS με αρκετά πιο αυξημένο εύρος ζώνης 5 MHz και έτσι μετονομάστηκε σε Wideband CDMA (W-CDMA). Τα UMTS συστήματα παρέχουν προηγμένες υπηρεσίες δεδομένων και εφαρμογές πολυμέσων.

1.2 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα Ευρείας Ζώνης - Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA)

Η τεχνική W-CDMA διαφέρει από τη τεχνική CDMA ως προς το εύρος ζώνης της που είναι 5MHz ενώ του δευτέρου είναι 1,25MHz.

Γενικότερα τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος WCDMA είναι [1]:

- 1) Το σύστημα WCDMA είναι ένα ευρείας ζώνης σύστημα Direct-Sequence Code Division Multiple Access (DS-SS). Η μετάδοση των bits πληροφορίας του χρήστη γίνεται σε ένα εύρος ζώνης των 5MHz αφού πολλαπλασιαστούν με κώδικες διάδοσης πριν τη μετάδοση και ανακτώνται με αποδικοποίηση στο δεκτή.
- 2) Ο ρυθμός διάδοσης των chips είναι 3,84Mchips/s με αποτέλεσμα να έχει φέρον με εύρος ζώνης 5MHz ενώ αντιθέτως το GSM έχει εύρος ζώνης φέροντος 200KHz. Το εύρος ζώνης των 5MHz υποστηρίζει υψηλές ταχύτητες δεδομένων χρήστη και καλύτερη απόδοση.
- 3) Το WCDMA υποστηρίζει υψηλούς μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων χρήστη, δηλαδή η αρχή του εύρους ζώνης κατά απαίτηση (Bandwidth on Demand-BoD) υποστηρίζεται επαρκώς. Σε κάθε χρήστη δίνονται πλαίσια διάρκειας 10 ms. Ο ρυθμός δεδομένων διατηρείται σταθερός όσο διαρκούν τα πλαίσια αυτά ενώ η χωρητικότητα των δεδομένων μπορεί να αλλάξει από πλαίσιο σε πλαίσιο. Η χωρητικότητα ρυθμίζεται από το δίκτυο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση στις υπηρεσίες με πακέτα δεδομένων.
- 4) Υποστηρίζει δυο βασικούς τρόπους λειτουργίας Frequency Division Duplex (FDD) και Time Division Duplex (TDD). Στην FDD, χρησιμοποιούνται

ξεχωριστοί φορείς των 5 MHz στην άνω και κάτω ζεύξη ενώ στη TDD χρησιμοποιείται μόνο ένας φορέας και στις δύο ζεύξεις.

- 5) Η τεχνική WCDMA έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιείται συνδυαστικά με το GSM όποτε υποστηρίζονται μεταπομπές μεταξύ GSM και WCDMA με αποτέλεσμα την καλύτερη κάλυψη και την εξισορρόπηση του φορτίου.
- 6) Η τεχνική WCDMA υποστηρίζει τη λειτουργία των ασύγχρονων σταθμών βάσης. Δεν υπάρχει ανάγκη για παγκόσμια χρονική αναφορά και έτσι διευκολύνεται η ανάπτυξη μικρών σταθμών βάσης [10].

1.3 Έλεγχος Ισχύος – Power Control

Ο έλεγχος ισχύος είναι πολύ σημαντικός σε ένα δίκτυο WCDMA γιατί στοχεύει στη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος στην άνω και κάτω ζεύξη διατηρώντας την ποιότητα επικοινωνίας σε ικανοποιητικά επίπεδα. Διατηρεί τη παρεμβολή σε χαμηλό επίπεδο και η ελαχιστοποίηση της παρεμβολής οδηγεί σε μεγιστοποίηση της χωρητικότητας (capacity) της κυψέλης. Εφαρμόζεται με δύο τεχνικές, έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου και έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόχου.

Οι τεχνικές αυτές διασφαλίζουν τον ελάχιστο λόγο $\left(\frac{S}{I}\right)_{\min}$ που συνδέεται με τον

ελάχιστο λόγο $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min}$ και το ρυθμό μετάδοσης λόγω της σχέσης [1]:

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{\min} = \frac{R_b}{W} \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min}$$

1.3.1 Έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου - Outer Loop Power Control

Η συμπεριφορά του καναλιού διάδοσης σε όλες τις συχνότητες μεταβάλλει το λόγο $\frac{E_b}{N_0}$ στην είσοδο του δέκτη CDMA. Είναι απαραίτητο η ελάχιστη τιμή του να

αποφασίζεται ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση διάδοσης ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος ρυθμός σφαλμάτων bit (Bit Error Rate, BER). Ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου πετυχαίνει να μεταβάλλει δυναμικά ανάλογα με τις συνθήκες που

επικρατούν κάθε φορά το λόγο $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min}$ ανάλογα με τη τιμή του BER.

1.3.2 Έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόχου - Inner Loop Power Control

Ο έλεγχος ισχύος εσωτερικού βρόχου εξασφαλίζει τον αναγκαίο λόγο σήματος προς θόρυβο $\left(\frac{S}{I}\right)_{\min}$ και επιτυγχάνεται με τους παρακάτω τρόπους [1].

α) Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου - Closed Loop Power Control

Αν η εκπεμπόμενη ισχύς μετρηθεί από το δέκτη και βρεθεί να είναι κάτω από την ελάχιστη τιμή του $\left(\frac{S}{I}\right)_{\min}$ στέλνεται εντολή στο πομπό να αυξήσει την εκπεμπόμενη ισχύ του κατά μια ποσότητα ανάλογη του αντίστροφου του λόγου $\left(\frac{S}{I}\right)$.

Στην αντίθετη περίπτωση μειώνεται η αρχική εκπεμπόμενη ισχύ. Οι εναλλαγές αυτές πραγματοποιούνται με συχνότητα 1,5KHz (1500 φορές το δευτερόλεπτο) για κάθε κινητό σταθμό και έτσι λειτουργούν γρηγορότερα από οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή των απωλειών καναλιού και διαλείψεων σε μικρές και μεσαίες ταχύτητες κινητών.

β) Έλεγχος ισχύος ανοιχτού βρόχου - Open Loop Power Control

Εδώ για να πραγματοποιηθεί ρύθμιση της ισχύος, μετρείται η ισχύς στην αντίθετη κατεύθυνση ζεύξης. Η εκπεμπόμενη ισχύς στην άνω ζεύξη καθορίζεται με βάση τις απώλειες μετάδοσης κατά την κάτω ζεύξη μετρώντας στο δέκτη τη λαμβανόμενη ισχύ ενός σήματος στη κάτω ζεύξη αφού η εκπεμπόμενη ισχύς είναι ήδη γνωστή. Η εκτίμηση των απωλειών διαδρομής μέσω αυτών των δύο ισχύων, οδηγεί σε ανακριβή αποτελέσματα γιατί οι γρήγορες διαλείψεις δεν είναι ίδιες στην άνω και κάτω ζεύξη, λόγω της μεγάλης απόστασης συχνοτήτων μεταξύ τους. Η αποτελεσματικότητα αυτής της στρατηγικής υπολογίζεται για μεταβολές που συμβαίνουν σε αραιά και μεγάλα χρονικά διαστήματα.

1.4 Παρεμβολές στα συστήματα CDMA - Interferences in CDMA

Στα συστήματα CDMA όλες οι κυψέλες μπορούν να λειτουργήσουν στην ίδια φέρουσα συχνότητα και για την μετάδοση χρησιμοποιούν διαφορετικούς κώδικες. Έχουμε δηλαδή επαναχρησιμοποίηση της ίδιας φέρουσας συχνότητας σε κάθε κυψέλη. Ο έλεγχος των παρεμβολών σε μια περιοχή μας δίνει την δυνατότητα να σχεδιάσουμε τις κυψέλες (cell planning). Ο σχεδιασμός των κωδίκων (code planning) επιβάλλεται για να διαλέξουμε το σωστό κώδικα για κάθε κυψέλη.

Οι χρήστες μιας κυψέλης αντιλαμβάνονται τις μεταδόσεις των χρηστών στις γειτονικές παρεμβολές και χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα σαν ευρυζωνική παρεμβολή που ονομάζεται διακυψελική παρεμβολή (inter-cell interference ή other-cell interference). Ωστόσο και οι χρήστες της κυψέλης δέχονται παρεμβολές από άλλους χρήστες της ίδιας κυψέλης λόγω μη ορθογωνιότητας των κωδίκων. Οι παρεμβολές αυτές ονομάζονται ομοκυψελικές (intracell interference ή own cell interference) [1].

Στο μεταδιδόμενο σήμα προστίθεται και ο θερμικός θόρυβος καθώς και παρεμβολές από εξωτερικούς παράγοντες.

1.5 Μεταγωγή – Handover

Η διαδικασία κατά την οποία μια σύνδεση μεταφέρεται από μια κυψέλη σε μια άλλη γιατί ο χρήστης βρίσκεται σε κίνηση ονομάζεται **μεταγωγή (Handover)**. Έχουμε δύο είδη μεταγωγής:

Hard Handover, όπου ο χρήστης σταματά πρώτα την επικοινωνία με το σταθμό βάσης και μετά συνδέεται με νέο σταθμό βάσης και

Soft Handover, όπου ο χρήστης πριν διακόψει την επικοινωνία με το τρέχον σταθμό βάσης, συνδέεται με το νέο σταθμό βάσης. Οι κυψέλες CDMA που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να είναι εγγεγραμμένος σε περισσότερες από μια κυψέλες (π.χ. κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς).

Επιπλέον αναφέρουμε και το **softer handover** όπου ο χρήστης είναι συνδεδεμένος με πολλές κυψέλες οι οποίες όμως ανήκουν στον ίδιο σταθμό βάσης.

Η μεταγωγή έχει ιδιαίτερη σημασία για κάθε κυψελοειδές σύστημα κινητής τηλεφωνίας αφού δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει την παροχή μιας υπηρεσίας χωρίς διακοπή ακόμα και όταν κινείται και αλλάζει την κυψέλη στην οποία είναι εγγεγραμμένος.

1.6 Παράγοντας φορτίου - Load factor

Θεωρούμε χρήστη που χρησιμοποιεί μια υπηρεσία k με ρυθμό R_k (bps) σε μια κυψέλη CDMA οπότε ισχύει ο τύπος:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{I/W} = \frac{W}{R} \cdot \frac{S}{I} \quad (1.1)$$

Θέτουμε την λαμβανόμενη ισχύ του σήματος του χρήστη στο σταθμό

$$S = P_k \quad (1.2)$$

Η ισχύς του θορύβου του σήματος του χρήστη στον σταθμό βάσης είναι ίση με τις παρεμβολές στο σταθμό μείον την ισχύ του δικού του σήματος:

$$I = P_{total} - P_k \quad (1.3)$$

Έτσι η ισότητα (1.1) γίνεται από την (1.2) και την (1.3)

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_k = \frac{W}{R_k} \cdot \frac{P_k}{P_{total} - P_k} \quad (1.4)$$

Όμως σε κάθε χρήστη αντιστοιχεί και ένας συντελεστής δραστηριότητας v_k ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του χρόνου που ο χρήστης είναι ενεργός στο σύστημα. Ο συντελεστής αυτός μειώνει το ρυθμό μετάδοσης οπότε

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_k = \frac{1}{v_k} \frac{W}{R_k} \cdot \frac{P_k}{P_{total} - P_k} = \frac{W}{v_k R_k} \frac{P_k}{P_{total} - P_k} \quad (1.5)$$

όπου λύνοντας την (1.5) ως προς P_k έχουμε

$$P_k = \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k} R_k \nu_k} P_{total} \quad (1.6)$$

Θέτω ως $\omega_k = \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k} R_k \nu_k}$ στην σχέση (1.6) και έχουμε:

$$\omega_k = \frac{P_k}{P_{total}} \quad (1.7)$$

Άρα ο παράγοντας φορτίου ενός χρήστη είναι ο λόγος της λαμβανόμενης ισχύος στο σταθμό βάσης από το χρήστη P_k , προς τη συνολική ισχύ του θορύβου που λαμβάνει ο σταθμός βάσης P_{total} .

1.7 Συντελεστής δραστηριότητας - Activity factor

Ο συντελεστής δραστηριότητας ν δηλώνει το ποσοστό του χρόνου της κλήσης που η πηγή παράγει δεδομένα προς μετάδοση ή πιο απλά το ποσοστό του χρόνου που ο χρήστης είναι ενεργός στο σύστημα [1].

1.8 Αυξητικός θόρυβος - Noise Rise

Για να μετρήσουμε τη συνολική ισχύ των παρεμβολών σε ένα σύστημα χρειάζεται να ορίσουμε τον αυξητικό θόρυβο ο οποίος εκφράζει πόσες φορές πάνω από το λευκό θόρυβο (N_0) είναι η συνολική ισχύς από τις παρεμβολές. Η ισχύς του λευκού θορύβου εκφράζει την λαμβανόμενη ισχύ στο σταθμό βάσης όταν το σύστημα είναι άδειο δηλαδή όταν οι χρήστες της κυψέλης δεν προσφέρουν φορτίο. Η ισχύς των παρεμβολών εκφράζει τη λαμβανόμενη ισχύ στο σταθμό βάσης όταν οι χρήστες προσφέρουν κάποιο φορτίο. Η ολική ισχύς παρεμβολής περιλαμβάνει την παρεμβολή των χρηστών που βρίσκονται στη συγκεκριμένη κυψέλη, την παρεμβολή των χρηστών των γειτονικών κυψελών και του θερμικού θορύβου. Ο αυξητικός θόρυβος (Noise Rise) ορίζεται ως εξής:

$$\text{Noise Rise} = \frac{I_{total}}{N_0} \quad (1.8)$$

όπου

$$I_{total} = I_{own} + I_{other} + N_0 \quad (1.9)$$

1.9 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων στην ανερχόμενη ζεύξη – Call Admission Control

Η άφιξη μιας νέας κλήσης στην άνω ζεύξη αυξάνει τη συνολική ισχύ που δέχεται ο σταθμός βάσης. Η αύξηση αυτή προκαλεί παρεμβολές στους χρήστες που είναι ενεργοί στη κυψέλη με αποτέλεσμα οι κλήσεις που οριακά ικανοποιούν το λόγο $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$, να έχουν έλλειψη ισχύος όταν γίνει αποδοχή της νέας κλήσης. Οι κλήσεις που

δεν ικανοποιούν το λόγο $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ παρουσιάζουν σφάλματα κατά την επικοινωνία και υποβιβασμό της ποιότητας της υπηρεσίας [1].

Ο έλεγχος της αποδοχής μιας νέας κλήσης εξασφαλίζει την ποιότητα επικοινωνίας όλων των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη. Περισσότερα για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων στην ανερχόμενη ζεύξη ενός συστήματος WCDMA παρουσιάζονται στο 2^ο κεφάλαιο (παράγραφος 2.2 σελίδα 15).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

2.1 Μοντέλο

Η κυψέλη σε ένα σύστημα WCDMA μοντελοποιείται σαν ένα σύστημα απωλειών μιας Μαρκοβιανής αλυσίδας K -διαστάσεων με K κατηγορίες κίνησης. Οι αφίξεις των κλήσεων μιας κατηγορίας κίνησης k ($k=1,\dots,K$) στο σύστημα ακολουθούν την κατανομή Poisson με ρυθμό άφιξης λ_k και οι χρόνοι εξυπηρέτησης των κλήσεων αυτών ακολουθούν εκθετική κατανομή με μέση τιμή $\frac{1}{\mu_k}$. Έτσι έχουμε

το προσφερόμενο φορτίο κίνησης $a_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}$ (σε erl). Η δραστηριότητα του χρήστη σε μια άφιξη μοντελοποιείται ως τυχαία μεταβλητή με συντελεστή δραστηριότητας v_k .

2.2 Έλεγχος αποδοχής στα συστήματα WCDMA - (Admission Control)

Το χαρακτηριστικό των συστημάτων WCDMA είναι ότι όλοι οι χρήστες εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα και τα σήματά τους είναι χωριστά χρησιμοποιώντας ορθογώνιους και ψευδοορθογώνιους κώδικες. Όταν χρησιμοποιείται ένας ορθογώνιος κώδικας και δεν υπάρχει πολλαπλή διάδοση, ένας χρήστης δέχεται από τους άλλους παρεμβολές. Όσοι περισσότεροι είναι οι χρήστες τόσο αυξάνουν και οι παρεμβολές αυτές και περιορίζουν την χωρητικότητα του συστήματος.

Για να πραγματοποιήσουμε έλεγχο αποδοχής μιας κλήσης μετρούμε τον αυξητικό θόρυβο (Noise Rise), ο οποίος δίνεται από το λόγο της ολικής ισχύος παρεμβολών I_{total} που δέχεται ένα κενό σύστημα προς την ισχύ θερμικού θορύβου N_0 . Η ολική ισχύς παρεμβολής περιλαμβάνει την παρεμβολή των χρηστών που βρίσκονται στη συγκεκριμένη κυψέλη, την παρεμβολή των χρηστών των γειτονικών κυψελών και του θερμικού θορύβου. Ο αυξητικός θόρυβος (Noise Rise) ορίζεται ως εξής:

$$\text{Noise Rise} = \frac{I_{total}}{N_0}$$

με

$$I_{total} = I_{own} + I_{other} + N_0.$$

Το I_{total} είναι εύκολο να μετρηθεί από τον σταθμό βάσης και το N_0 είναι γνωστό από πριν [9]. Όταν μια νέα κλήση φτάνει στο σύστημα η μέτρηση του αυξητικού θορύβου (noise rise) στο σταθμό βάσης δείχνει αν είναι μέσα στα όρια ή ξεπερνά το επιτρεπτό όριο έτσι ώστε να αποφασιστεί αν θα γίνει δεκτή η όχι η κλήση αυτή.

Μετασχηματίζοντας τον τύπο $\text{Noise Rise} = \frac{I_{total}}{N_0}$ με τη βοήθεια του τύπου

$I_{total} = I_{own} + I_{other} + N_0$ προκύπτει ένας νέος τύπος για τον αυξητικό θόρυβο ως εξής:

$$\text{Noise Rise} = \frac{I_{\text{total}}}{N_0} = \frac{I_{\text{own}} + I_{\text{other}} + N_0}{N_0} = \frac{1}{\frac{I_{\text{own}} + I_{\text{other}} + N_0}{N_0}} =$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{I_{\text{own}} + I_{\text{other}}}{I_{\text{own}} + I_{\text{other}} + N_0}} = \frac{1}{1 - n}$$

με

$$n = \frac{I_{\text{own}} + I_{\text{other}}}{I_{\text{own}} + I_{\text{other}} + N_0}$$

το φορτίο της κυψέλης στην άνω ζεύξη.

Ιδιότητες του φορτίου της κυψέλης

- Ένα φορτίο κυψέλης που είναι ίσο με 1 ορίζει τη θεωρητική μέγιστη χωρητικότητα (pole capacity) μιας κυψέλης WCDMA. Όταν το n πάρει την τιμή 1 τότε ο αντίστοιχος αυξητικός θόρυβος τείνει στο άπειρο και άρα έχουμε φτάσει στην μέγιστη χωρητικότητα της κυψέλης η οποία εκφράζει το μέγιστο αριθμό των χρηστών που μπορεί να υποστηρίξει μια κυψέλη αν δεν υπάρχει περιορισμός στη μέγιστη λαμβανόμενη ισχύ για διαφορετικούς χρήστες.
- Όταν ένα φορτίο κυψέλης τείνει στο 0 τότε ο αυξητικός θόρυβος τείνει στο 1 και άρα $I_{\text{total}} \rightarrow N_0$. Σε αυτή τη περίπτωση το σύστημα είναι δεν έχει φορτίο.

Ορίζουμε ως n_{max} το μέγιστο φορτίο της κυψέλης που αντιστοιχεί στην τιμή του αυξητικού θορύβου που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων.

Όταν μια νέα κλήση φθάσει με παράγοντα φορτίου ω_k , ο αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής κλήσεων συνεκτιμά αυτό μαζί με το φορτίο της άνω ζεύξης και φυσικά θα πρέπει:

$$n + \omega_k < n_{\text{max}} \Rightarrow \frac{I_{\text{own}} + I_{\text{other}}}{I_{\text{own}} + I_{\text{other}} + N_0} + \omega_k < n_{\text{max}} \quad (2.1)$$

όπου n_{max} το μέγιστο φορτίο κυψέλης που επιτρέπει την κλήση.

2.2.1 Το μοντέλο των παρεμβολών

Η ολική παρεμβολή που λαμβάνει ο σταθμός βάσης στην άνω ζεύξη καθορίζει την χωρητικότητα μιας κυψέλης σε ένα σύστημα WCDMA. Ο θερμικός θόρυβος είναι σταθερή τιμή και αρχικά θεωρούμε ότι γνωρίζουμε τις παρεμβολές των άλλων κυψελών. Θεωρώντας τέλει έλεγχο ισχύος, οι λαμβανόμενες ισχύς P_k πρέπει να ικανοποιούν την ισότητα του ελέγχου ισχύος [1]:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{\frac{P_k}{R_k}}{I_{own} + I_{other} + N_0 - \frac{P_k}{W}} \quad (2.2)$$

όπου W είναι το chip rate, P_k είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος στο σταθμό βάσης λόγω της εκπομπής από το χρήστη k , R_k είναι η απαίτηση σε bit rate του χρήστη της κατηγορίας κίνησης k . Λύνοντας την ισότητα (2.2) ως προς P_k έχουμε:

$$P_k = W \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k \cdot R_k}{W + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k \cdot R_k} \cdot (I_{own} + I_{other} + N_0) \quad (2.3)$$

Ο παράγοντας φορτίου για κάθε κατηγορία κίνησης δίνεται από το τύπο [1]:

$$\omega_k = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k R_k}{W + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k R_k}$$

οπότε ο τύπος (2.3) γίνεται:

$$P_k = W \cdot \omega_k \cdot (I_{own} + I_{other} + N_0) \quad (2.4)$$

Έχοντας τέλειο έλεγχο ισχύος όλοι οι σταθμοί κινητών μιας κατηγορίας κίνησης απαιτούν ίση λαμβανόμενη ισχύ. Η παρεμβολή της κυψέλης I_{own} αντιστοιχεί στο ποσό της λαμβανόμενης ισχύς P_k των $m=(m_1, m_2, m_3, \dots, m_k)$ ενεργών χρηστών κινητών, (αφού έχει γίνει έλεγχος ισχύος από τον σταθμό βάσης) διαιρούμενο από το εύρος ζώνης του συστήματος:

$$I_{own} = \sum_{k=1}^K \frac{m_k \cdot P_k}{W} \quad (2.5)$$

Από τις σχέσεις (2.4) και (2.5) έχουμε:

$$I_{own} = (I_{own} + I_{other} + N_0) \cdot \sum_{k=1}^K m_k \cdot \omega_k$$

και λύνοντας την ως προς I_{own} προκύπτει:

$$I_{own} = \frac{\sum_{k=1}^K m_k \omega_k}{1 - \sum_{k=1}^K m_k \omega_k} \cdot (I_{other} + N_0)$$

$$\eta \quad I_{own} = \frac{A(m)}{1 - A(m)} \cdot (I_{other} + N_0) \quad (2.6)$$

όπου

$$A(m) = \sum_{k=1}^K m_k \omega_k$$

είναι το άθροισμα όλων των παραγόντων φορτίων των ενεργών χρηστών στη κυψέλη. Χρησιμοποιώντας αυτό τον ορισμό μπορούμε να επαναπροσδιορίσουμε τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων (2.1) χρησιμοποιώντας την (2.6) και έτσι έχουμε:

$$\begin{aligned} & \frac{\frac{A(m)}{1 - A(m)} (I_{other} + N_0) + I_{other}}{1 - A(m)} + \omega_k < n_{max} \Rightarrow \\ & \frac{A(m)}{1 - A(m)} (I_{other} + N_0) + I_{other} + N_0 \\ & \frac{A(m)(I_{other} + N_0) + I_{other} - I_{other} A(m)}{A(m)(I_{other} + N_0) + I_{other} - I_{other} A(m) + N_0 - N_0 A(m)} + \omega_k < n_{max} \Rightarrow \\ & \frac{A(m)N_0 + I_{other}}{N_0 + I_{other}} + \omega_k < n_{max} \Rightarrow \frac{N_0}{N_0 + I_{other}} A(m) + \omega_k + \frac{I_{other}}{N_0 + I_{other}} < n_{max} \end{aligned}$$

αν θέσουμε ως $m^{k+} = (m_1, m_2, \dots, m_{k+1}, \dots, m_K)$ το διάνυσμα που δηλώνει την άφιξη μιας κλήσης στην κατηγορία k , τότε

$$A(m^{k+}) = \sum_{k=1}^K m_k \omega_k + \omega_k$$

και η προηγούμενη ισότητα μπορεί να γράφει ως

$$\frac{N_0}{N_0 + I_{other}} A(m^{k+}) + \frac{I_{other}}{N_0 + I_{other}} < n_{max} \Rightarrow A(m^{k+}) + (1 - n_{max}) \frac{I_{other}}{N_0} < n_{max} \quad (2.7)$$

$$\sum_{k=1}^K m_k \omega_k + \omega_k + (1 - n_{max}) \frac{I_{other}}{N_0} < n_{max} \cdot$$

Η ισότητα αυτή έχει την ενδιαφέρουσα ιδιότητα το φορτίο της ίδιας κυψέλης και το φορτίο των γειτονικών κυψελών να δίνονται χωριστά. Το φορτίο της ίδιας κυψέλης είναι ίσο με το $A(m) = \sum_{k=1}^K m_k \omega_k$ και η θεωρητική μέγιστη χωρητικότητα φτάνει για $A(m) = 1$ (πράγματι στην (2.7) αν βάλουμε $n_{max} = 1 \Rightarrow A(m^{k+}) = 1$ και γενικά $A(m) = 1$) εφόσον η παρεμβολή της ίδιας κυψέλης παραμεληθεί. Συνεπώς ορίζουμε ως φορτίο της ίδιας κυψέλης για m χρήστες τον όρο:

$$n_{own}(m) = A(m)$$

Αφού ένα ισοδύναμο φορτίο ίδιας κυψέλης μπορεί να συμβεί για διαφορετικούς χρήστες m γράφουμε n_{own} χωρίς να δηλώνουμε τον αριθμό των χρηστών. Το φορτίο των γειτονικών κυψελών δίνεται από το τύπο:

$$n_{other} = (1 - n_{max}) \cdot \frac{I_{other}}{N_0} \quad (2.8)$$

Βασιζόμενοι στη προηγούμενη ισότητα (2.7), ένα σύστημα WCDMA δέχεται μια νέα κλήση αν

$$n_{own} + \omega_k + n_{other} < n_{max} \quad (2.9)$$

αλλιώς η κλήση μπλοκάρεται.

2.2.2 Πιθανότητες τοπικής απώλειας - Local Blocking Probabilities

Σε αυτή τη παράγραφο θα βρούμε την πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης σε ένα σύστημα με φορτίο ίδιας κυψέλης n_{own} . Απώλεια κλήσης έχουμε όταν η ολική παρεμβολή ξεπερνά ένα καθορισμένο μέγιστο επίπεδο ή όταν το φορτίο της κυψέλης ξεπερνά το n_{max} . Σε αυτή τη περίπτωση στα συστήματα WCDMA ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων απορρίπτει την απαίτηση για μια σύνδεση. Η πιθανότητα $\beta_k(n_{own})$ για το γεγονός αυτό ονομάζεται πιθανότητα τοπικής απώλειας (local blocking probability) και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\beta_k(n_{own}) = P\left(n_{own} + \omega_k + (1 - n_{max}) \cdot \frac{I_{other}}{N_0} \geq n_{max}\right) \quad (2.10)$$

Σε αυτή την ισότητα όλες οι μεταβλητές εκτός από την ισχύ των παρεμβολών των άλλων κυψελών είναι γνωστές. Μοντελοποιούμε την ισχύ των άλλων κυψελών ως μια τυχαία μεταβλητή που είναι ανεξάρτητη στις συνεχείς αφίξεις. Γενικά η κατανομή των στιγμιαίων γειτονικών παρεμβολών μπορούν να εξαρτηθούν από το στιγμιαίο φορτίο της κυψέλης. Υποθέτουμε την παρεμβολή των γειτονικών κυψελών σαν μία λογοκανονική τυχαία μεταβλητή με παραμέτρους μ και σ που δεν εξαρτώνται από την ίδια κυψέλη. Η υπόθεση της λογοκανονικής κατανομής (lognormal distribution) δικαιολογείται στην εργασία [7]. Με αυτή τη παραδοχή απώλεια για ένα δεδομένο φορτίο της ίδιας κυψέλης συμβαίνει αν οι παρεμβολές των γειτονικών κυψελών υπερβαίνουν ένα σταθερό όριο. Ορίζουμε ως τυχαία μεταβλητή το φορτίο των γειτονικών κυψελών που δίνεται από την σχέση:

$$n_{other} = (1 - n_{max}) \cdot \frac{I_{other}}{N_0} \quad (2.11)$$

Η ισότητα (2.10) μέσω της (2.11) γράφεται ως :

$$\begin{aligned} \beta_k(n_{own}) &= P(n_{other} \geq n_{max} - n_{own} - \omega_k) \\ &\quad \text{ή} \\ \beta_k(n_{own}) &= 1 - P(n_{other} < n_{max} - n_{own} - \omega_k) \end{aligned}$$

όπου $P(n_{other} < n_{max} - n_{own} - \omega_k)$ είναι η συνάρτηση συσσωρευτικής κατανομής του n_{other} . Αφού η παρεμβολή των άλλων κυψελών μοντελοποιείται σαν μία λογοκανονική κατανομή με παραμέτρους μ και σ , το φορτίο των άλλων κυψελών επίσης μοντελοποιείται σαν μία λογοκανονική τυχαία μεταβλητή με συνάρτηση συσσωρευτικής κατανομής $\Gamma(x)$ και παραμέτρους $\mu_\Gamma = \mu + \log(1 - n_{max}) - \log(N_0)$ και $\sigma_\Gamma = \sigma$.

Έτσι:

$$\Gamma(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln x - \mu_\Gamma}{\sigma_\Gamma \sqrt{2}} \right]$$

όπου erf είναι η συνάρτηση σφάλματος $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$, για όλες τις νόμιμες

τιμές του x .

μ : η μέση τιμή των φυσικών λογάριθμων των μεταβλητών (κανονικά καταταμημένες)
 σ : η τυπική απόκλιση των φυσικών λογάριθμων των μεταβλητών (κανονικά καταταμημένες). Οπότε μπορούμε να γράψουμε:

$$P(n_{other} < n_{max} - n_{own} - \omega_k) = \Gamma(n_{max} - n_{own} - \omega_k) = \Gamma(x) \text{ και}$$

$$\beta_k(n_{own}) = \begin{cases} 1 - \Gamma(n_{max} - n_{own} - \omega_k) & \alpha\nu \cdot n_{max} - n_{own} - \omega_k > 0 \\ 1 & \alpha\lambda\lambda\omicron\upsilon \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\beta_k(n_{own}) = \begin{cases} 1 - \Gamma(x) & x > 0 \\ 1 & x \leq 0 \end{cases} \quad \mu\epsilon \quad x = n_{max} - n_{own} - \omega_k.$$

Η μέση τιμή και η απόκλιση της παρεμβολής των γειτονικών κυψελών ακολουθεί λογοκανονική κατανομή και δίνεται από τον τύπο:

$$E[I_{other}] = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}},$$

$$\operatorname{Var}[I_{other}] = (e^{\sigma^2} - 1) \cdot e^{2\mu + \sigma^2}$$

Το φορτίο των γειτονικών κυψελών ακολουθεί επίσης λογοκανονική κατανομή και έχουμε:

$$E[n_{other}] = e^{\mu_\Gamma + \frac{\sigma_\Gamma^2}{2}} = \frac{1 - n_{max}}{N_0} \cdot E[I_{other}]$$

$$\operatorname{Var}[n_{other}] = (e^{\sigma_\Gamma^2} - 1) \cdot e^{2\mu_\Gamma + \sigma_\Gamma^2} = \left(\frac{1 - n_{max}}{N_0} \right)^2 \cdot \operatorname{Var}[I_{other}]$$

Οι τιμές των μ και σ υπολογίζονται από τους τύπους $E[I_{other}]$ και $Var[I_{other}]$ ως εξής:

$$\mu = \ln(E[I_{other}]) - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2)$$

και

$$\sigma = \sqrt{\ln(1 + CV^2)}$$

όπου

$$CV = \frac{\sqrt{Var[I_{other}]}}{E[I_{other}]},$$

ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variance). Ομοίως οι τιμές των μ_{Γ} και σ_{Γ} δίνονται από τους τύπους:

$$\mu_{\Gamma} = \mu + \log(1 - n_{\max}) - \log(N_0) = \ln(E[I_{other}]) - \frac{1}{2} \cdot \ln(1 + CV^2) + \ln(1 - n_{\max}) - \ln(N_0)$$

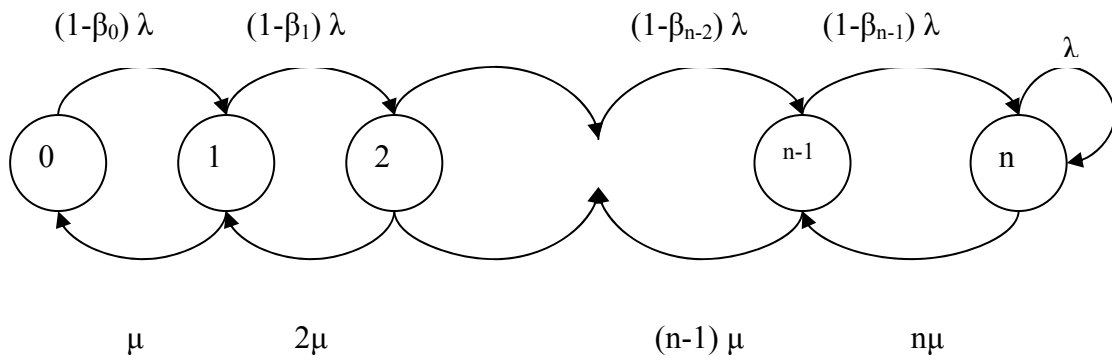
$$\sigma_{\Gamma} = \sigma = \sqrt{\ln(1 + CV^2)}$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Από την παραπάνω ανάλυση βλέπουμε ότι οι πιθανότητες τοπικής απώλειας εξαρτώνται από το φορτίο της ίδιας κυψέλης και αποφασίζονται σύμφωνα με την ισότητα (2.12). Στη συνέχεια υπολογίζουμε την κατανομή μόνιμης κατάστασης του φορτίου της ίδιας κυψέλης στο σύστημα, παίρνοντας τις τελικές πιθανότητες απώλειας χρησιμοποιώντας το θεώρημα των τελικών πιθανοτήτων. Για να επιτευχθεί αυτό οι Staehle- Mäder [4] προτείνουν ένα μοντέλο για τον ακριβή υπολογισμό της κατανομής των μονίμων καταστάσεων και στη συνέχεια προτείνουν μια προσέγγιση βασισμένη στον ακριβή αναδρομικό τύπο των Kaufman-Roberts [2],[3].

2.3 Ακριβής υπολογισμός των τελικών πιθανοτήτων απώλειας

Το μοντέλο βασίζεται σε μια Μαρκοβιανή αλυσίδα Κ-διαστάσεων που μπορεί να υπολογιστεί αν εξασφαλίσουμε ότι δεν συμβαίνει καμία τοπική απώλεια (όταν δεν συμβαίνει καμία τοπική απώλεια, το μοντέλο είναι ίδιο με το μοντέλο απωλειών πολυδιάστατης τυχαίας κίνησης (Erlang Multirate Loss Model, [2],[3]) Όταν συμβαίνει τοπική απώλεια, κανένα αποτέλεσμα της λύσης δεν είναι έγκυρο. Η εισαγωγή των πιθανοτήτων τοπικής απώλειας για κάθε μετάβαση από το $n \rightarrow n^{k+}$ όπου n ορίζει τον αριθμό των χρηστών στο σύστημα, οδηγεί σε ελαττωμένους ρυθμούς μετάβασης.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει το διάγραμμα κατάστασης μιας τροποποιημένης μονοδιάστατης Μαρκοβιανής αλυσίδας με πιθανότητες τοπικής απώλειας, αν θεωρήσουμε μια υπηρεσία.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα κατάστασης μιας τροποποιημένης μονοδιάστατης αλυσίδας Markov

Για να αναλύσουμε το σύστημα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το συντελεστή δραστηριότητας του χρήστη μαζί με την τοπική απώλεια. Αυτό θα περιγράψουμε στην περίπτωση πολλών κατηγοριών κίνησης.

Η περίπτωση πολλών κατηγοριών κίνησης

Σε κάθε κατάσταση $n=(n_1, n_2, \dots, n_k)$ όπου n_k είναι ο αριθμός των χρηστών της k κατηγορίας κίνησης στο σύστημα θέτουμε ως m_k τους ενεργούς χρήστες στην κατάσταση n , όπου $m_k \leq n_k$. Η πιθανότητα όπου m_k από τους n_k είναι ενεργοί χρήστες είναι διωνυμικά κατανομημένη και ισχύει

$$P(m_k / n_k) = \binom{n_k}{m_k} \cdot (1 - v_k)^{n_k - m_k} \cdot v_k^{m_k}$$

v_k : ο παράγοντας δραστηριότητας

$v_k^{m_k}$: η πιθανότητα ότι υπάρχουν m_k ταυτόχρονα ενεργοί χρήστες,

$(1 - v_k)^{n_k - m_k}$: η πιθανότητα ότι υπάρχουν $n_k - m_k$ ανενεργοί χρήστες,

$\binom{n_k}{m_k}$: όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί με $\binom{n_k}{m_k} = \frac{n_k!}{m_k! (n_k - m_k)!}$.

Επιπροσθέτως σημειώνουμε ότι: στη περίπτωση που έχουμε μια κατηγορία κίνησης στο σύστημα ισχύει:

$$P(0 / n_k) + P(1 / n_k) + P(2 / n_k) + \dots + P(m_k / n_k) + \dots + P(n_k / n_k) = \sum_{m \leq n} P(m / n) = 1$$

Σε περίπτωση που έχουμε πολλές κατηγορίες κίνησης ισχύει:

$$P(m / n) = P(m_1 / n_1) \cdot P(m_2 / n_2) \cdot \dots \cdot P(m_k / n_k) \cdot \dots \cdot P(m_K / n_K)$$

όπου $m=(m_1, m_2, \dots, m_k, \dots, m_K)$ και $n=(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K)$ και $\sum_{m \leq n} P(m / n) = 1$.

Οι πιθανότητες τοπικής απώλειας δίνονται από το τύπο:

$$\beta_k(n_{own}) = P\left(n_{own} + \omega_k + (1 - n_{max}) \cdot \frac{I_{other}}{N_0} \geq n_{max}\right)$$

όπου n_{own} είναι το φορτίο της ίδιας κυψέλης. Το φορτίο της ίδιας κυψέλης εξαρτάται από τον αριθμό των ενεργών χρηστών όλων των κατηγοριών κίνησης και άρα $n_{own} = n_{own}(m)$. Για να υπολογίσουμε τις πιθανότητες τοπικής απώλειας πρέπει να λάβουμε υπόψη όλα τα δυνατά αποτελέσματα των $m \leq n$ ταυτόχρονα ενεργών χρηστών στη κατάσταση n . Συνεπώς οι πιθανότητες τοπικής απώλειας $B_k(n)$ για μια νέα κλήση της κατηγορίας κίνησης k στη κατάσταση n δίνεται από το τύπο:

$$B_k(n) = \sum_{m \leq n} P(m/n) \cdot \beta(n_{own}(m))$$

Μια νέα κλήση της κατηγορίας κίνησης k στη κατάσταση (n) γίνεται δεκτή με πιθανότητα $1 - B_k(n)$. Άρα ο ρυθμός μετάβασης από το n στο n^{k+} αυξάνεται από το λ_k στο $(1 - B_k(n)) \cdot \lambda_k$. Ορίζουμε το πίνακα με τους ρυθμούς μετάβασης Q ως εξής:

$$Q(f(n), f(n^{k\pm})) = \begin{cases} (1 - B_k(n)) \cdot \lambda_k & n \rightarrow n^{k+} \\ n_k \cdot \mu_k & n \rightarrow n^{k-} \end{cases}$$

Η συνάρτηση f δείχνει το χώρο καταστάσεων Ω στο N με $\Omega = \{n : 0 \leq nb \leq C\}$ όπου b οι μονάδες εύρους ζώνης που καταλαμβάνει ο χρήστης στο σύστημα και C η μέγιστη χωρητικότητα του συστήματος. Το διάνυσμα της κατανομής του χώρου μονίμων καταστάσεων \bar{X} υπολογίζεται από τη λύση του συστήματος της ισότητας:

$$Q \cdot \bar{X}^T = 0 \text{ και } \sum_{n \in \Omega} \bar{X}(f(n)) = 1$$

και η τελική πιθανότητα απώλειας από τον τύπο:

$$P_{block}(k) = \sum_{n \in \Omega} \bar{X}(f(n)) \cdot B_k(n)$$

(σύμφωνα με αυτή την ισότητα απώλεια μπορεί να συμβεί σε όλες τις καταστάσεις $n \in \Omega$).

Αυτή η μέθοδος είναι αριθμητικά δύσκολη και καθόλου κατάλληλη για πολυδιάστατα σενάρια με μεγάλους χώρους καταστάσεων, αφού το μέγεθος Q αυξάνεται εκθετικά με το μέγεθος των κατηγοριών κίνησης.

2.4 Προσέγγιση στις τελικές πιθανότητες απώλειας

Ο αλγόριθμος Kaufman-Roberts ελαττώνει τη K -διάσταση του χώρου καταστάσεων σε μια διάσταση όπου εκείνο που ενδιαφέρει είναι η κατειλημμένη χωρητικότητα του συστήματος. Συγκεκριμένα, σε ένα σύστημα με χωρητικότητα C μονάδων εύρους ζώνης το οποίο εξυπηρετεί K κατηγορίες κίνησης μπορούμε να

υπολογίσουμε την πιθανότητα μόνιμης κατάστασης $q(j)$ όπου j από τις C μονάδες εύρους ζώνης είναι κατειλημμένες σύμφωνα με τον ακριβή αναδρομικό τύπο [2],[3]:

$$\tilde{q}(j) = \begin{cases} 0 & \text{για } j < 0 \\ 1 & \text{για } j = 0 \\ \sum_{k=1}^K a_k \frac{b_k}{j} \tilde{q}(j - b_k) & \text{αλλού} \end{cases}$$

$$\text{και} \quad q(j) = \frac{\tilde{q}(j)}{\sum_{c=0}^C \tilde{q}(c)} \quad (2.13)$$

όπου b_k και a_k είναι η απαίτηση σε μονάδες εύρους ζώνης και το προσφερόμενο φορτίο κίνησης (σε erl) των κλήσεων της κατηγορίας κίνησης k , αντίστοιχα. Η πιθανότητα απώλειας κλήσης δίνεται από τον τύπο:

$$P_k^{block} = \sum_{j=0}^{b_k-1} q(c - j) \quad (2.14)$$

Στα δίκτυα WCDMA μπορούμε να εξηγήσουμε το φορτίο n σαν τους πόρους που μοιράζονται και το συντελεστή φορτίου ω_k ως την απαίτηση μιας κλήσης της κατηγορίας κίνησης k . Εντούτοις η χρήση ενός αλγόριθμου με μορφή όμοια με εκείνη του αλγόριθμου των Kaufman-Roberts απαιτεί ακέραιες τιμές τόσο για την κατειλημμένη χωρητικότητα j (π.χ. $j=0,1,2,\dots,c$) όσο και για την απαίτηση σε εύρος ζώνης των κλήσεων (π.χ. $b_k = 1,2,\dots$). Από την άλλη το φορτίο της κυψέλης n μπορεί να πάρει συνεχείς τιμές αφού αυτό δίνεται από το λόγο των παρεμβολών:

$$n = \frac{I_{own} + I_{other}}{I_{own} + I_{other} + N_0}$$

Για να λύσουμε το πρόβλημα αυτό εισάγουμε μια μονάδα g (συντελεστής διακριτοποίησης). Ο συντελεστής αυτός κάνει το n_{max} διακριτή τιμή. Η χωρητικότητα και οι απαιτήσεις πόρων δίνονται από τους τύπους:

$$C = \frac{n_{max}}{g} \quad (2.15)$$

$$b_k = \text{round}\left(\frac{\omega_k}{g}\right) \quad (2.16)$$

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του g τόσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα καταστάσεων και καλύτερη η προσέγγιση.

Παράδειγμα:

Το φορτίο κυψέλης n παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$, αυτό σημαίνει ότι το $n \in [0,1]$, $n \in \mathfrak{R}^+$. Ας πάρουμε $n_{\max} = 0,8$ και $g = 0,005$. Τότε ο χώρος των καταστάσεων γίνεται διακριτός και οι τιμές του $n_{discrete}$ δίνονται από το τύπο: $n_{discrete} = [0, 0,005, 0,01, 0,015, 0,02, \dots, 0,795, 0,8, 0,805,]$. Αυτό το παράδειγμα δείχνει ότι όσο μικρότερο είναι το g τόσο καλύτερη είναι η ακρίβεια που εμείς παρουσιάζουμε το $[0,1]$. Επίσης δείχνει ότι η κατάσταση j μπορεί να εκφραστεί από το τύπο $j \cdot g = n_{discrete}$ όταν $j = \frac{n_{discrete}}{g}$ και $c = \frac{n_{\max}}{g} = \frac{0,8}{0,005} = 160$ και συνεπώς $j = [0, 1, 2, \dots, 160, 161]$.

Παράδειγμα:

Βασιζόμενοι στο παραπάνω παράδειγμα, ας πάρουμε $\omega_1 = 0,04$ που δίνει εύρος ζώνης $b_1 = \text{round}\left(\frac{\omega_1}{g}\right) = 8$. Αν υποθέσουμε μόνο μια κατηγορία κίνησης που οι κλήσεις απαιτούν $b_1 = 8$ b.u. τότε οι καταστάσεις που θα έχουμε στη υπηρεσία κλήσεων είναι $[8, 16, \dots, 152, 160, \dots]$.

Έχοντας προσδιορίσει τη διακριτοποίηση του φορτίου της κυψέλης n , και το παράγοντα φορτίου ω_k , πρέπει να γίνουν ακέραιοι αριθμοί οι πιθανότητες τοπικής απώλειας στον αναδρομικό τύπο Kaufman-Roberts. Να γίνει αυτό ευθέως δεν είναι δυνατόν. Σημειώνουμε ότι η κατάσταση j στον αναδρομικό τύπο Kaufman-Roberts δίνεται από τον τύπο

$$j = \sum_{k=1}^K n_k b_k$$

υποθέτοντας ότι όλες οι κλήσεις της κατηγορίας k ($k=1,2,\dots,K$) είναι όλοι ενεργοί χρήστες. Αυτό ισχύει στα δίκτυα WCDMA αν υποθέσουμε ότι ο συντελεστής δραστηριότητας είναι $v_k = 1$ όλη την ώρα για όλα τα $k=1,2,\dots,K$. Αν $v_k < 1$ τότε οι μονάδες εύρους ζώνης της απασχολημένης γραμμής είναι λιγότερες ή και ίσες από το j , $c \leq j$. Αυτό συμβαίνει γιατί $m \leq n$ (ενεργοί χρήστες είναι λιγότεροι ή και ίσοι των χρηστών που βρίσκονται στη υπηρεσία). Τέλος αντιστοιχούμε τους n στο j αφού $n=(n_1,n_2,\dots,n_k)$ και $j = \sum_{k=1}^K n_k b_k$ τους m στο c αφού $m=(m_1,m_2,\dots,m_k)$ και

$$c = \sum_{k=1}^K m_k b_k.$$

Οι Staehle-Mäder[5] εισάγουν την τυχαία μεταβλητή Λ για τον αριθμό των απασχολημένων πηγών. Επιπλέον με την υπόθεση ότι δεν συμβαίνει τοπική απώλεια, η πιθανότητα $\Lambda(c/j)$ όπου c πηγές απασχολούνται στη κατάσταση j υπολογίζεται αναδρομικά από το τύπο:

$$\Lambda(c/j) = \sum_{k=1}^K P_k(j) \cdot [v_k \Lambda(c - b_k / j - b_k) + (1 - v_k) \Lambda(c / j - b_k)] \quad (2.17)$$

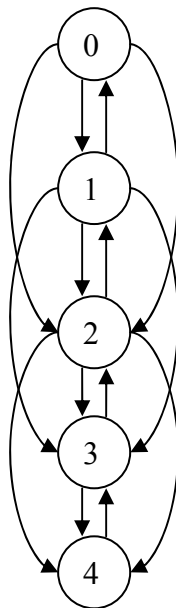
Η πιθανότητα $P_k(j)$ δίνει την πιθανότητα στη κατάσταση j να έρχεται μια νέα κλήση της κατηγορίας k και δίνεται από τον τύπο

$$P_k(j) = \frac{\tilde{q}(j - b_k) \alpha_k b_k}{j \tilde{q}(j)}$$

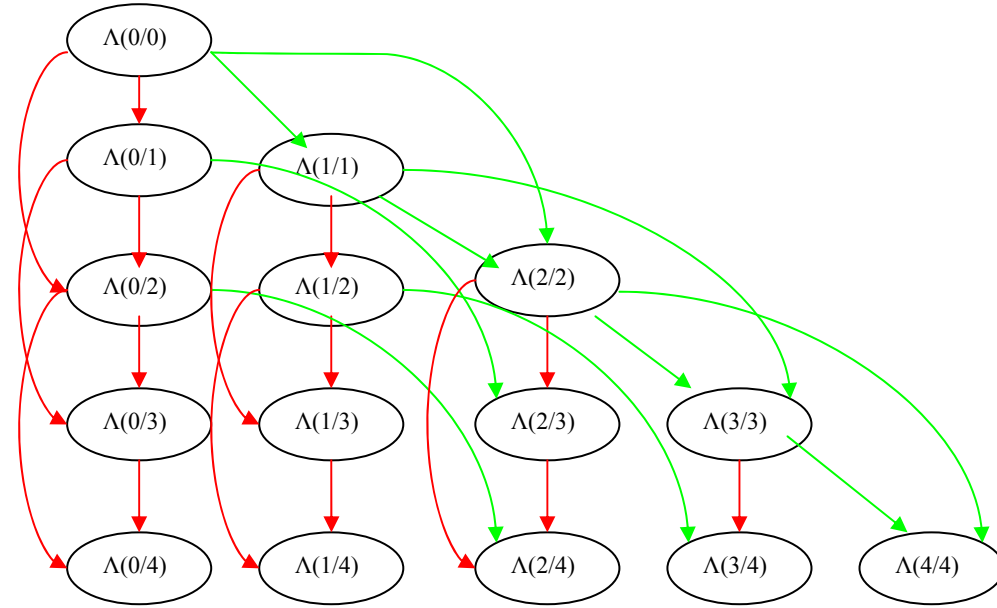
(είναι όμοια αλλά όχι ίδια με το βασικό τύπο για την απόδειξη του αναδρομικού τύπου Kaufman-Roberts). Γίνεται πιο κατανοητή η πιθανότητα $\Lambda(c/j)$ αν σημειώσουμε ότι η κατάσταση (c/j) προκύπτει είτε από τη κατάσταση $(c - b_k / j - b_k)$ αν ένας ενεργός χρήστης της κατηγορίας κίνησης k φθάνει στο σύστημα είτε από την κατάσταση $(c/j - b_k)$, αν φθάνει στο σύστημα ένας μη ενεργός χρήστης της κατηγορίας κίνησης k .

2.4.1 Υπολογισμός της πιθανότητας της τελικής απώλειας για 2 κατηγορίες κίνησης.

Στο παρακάτω διάγραμμα δείχνουμε το διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων (state transition diagram) του μοντέλου των Kaufman-Roberts και του μοντέλου των Staehle-Mäder [4][5].



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων του μοντέλου Kaufman-Roberts



Σχήμα 2.3: Αναδρομικός υπολογισμός των απασχολημένων πηγών (Stachle -Mäder)[5].

Σημείωση: Αν $c < 0$ ή αν $c > j$ τότε $\Lambda(c/j) = 0$

- Στη κατάσταση $j=0$ το σύστημα είναι άδειο π.χ $c=0$ και βάζουμε $\Lambda(0/0)=1$
- Στη κατάσταση $j=1$ μπορεί να μην έχουμε ενεργό χρήστη ($\Lambda(0/1)$) στη κατηγορία 1 ή να έχουμε ένα ενεργό χρήστη $\Lambda(1/1)$. Βασιζόμενοι στην (2.17) έχουμε $\Lambda(0/1) = P_1(1) \cdot [v_1 \Lambda(-1/0) + (1 - v_1) \Lambda(0/0)] = P_1(1) \cdot (1 - v_1) \Lambda(0/0) \Rightarrow \Lambda(0/1) = P_1(1) \cdot (1 - v_1)$

$$\Lambda(1/1) = P_1(1) \cdot [v_1 \Lambda(0/0) + (1 - v_1) \Lambda(1/0)] = P_1(1) \cdot v_1 \cdot \Lambda(0/0) \Rightarrow \Lambda(1/1) = P_1(1) \cdot v_1$$

όπου $\Lambda(1/0) = 0$.

- Στη κατάσταση $j=2$ μπορεί να έχουμε $c=0$ ($\Lambda(0/2)$) ή $c=1$ ($\Lambda(1/2)$) ή $c=2$ ($\Lambda(2/2)$). Βασιζόμενοι στην (2.17) έχουμε

$$\Lambda(0/2) = P_1(2) \cdot [v_1 \Lambda(-1/1) + (1 - v_1) \Lambda(0/1)] + P_2(2) \cdot [v_2 \Lambda(-2/0) + (1 - v_2) \Lambda(0/0)] =$$

$$P_1(2) \cdot (1 - v_1) \cdot \Lambda(0/1) + P_2(2) \cdot (1 - v_2) \Lambda(0/0) \Rightarrow$$

$$\Lambda(0/2) = P_1(2)(1 - v_1) \Lambda(0/1) + P_2(2)(1 - v_2) \Lambda(0/0)$$

$$\Lambda(1/2) = P_1(2) \cdot [v_1 \Lambda(0/1) + (1 - v_1) \Lambda(1/1)] + P_2(2) \cdot [v_2 \Lambda(-1/0) + (1 - v_2) \Lambda(1/0)] =$$

$$\Lambda(1/2) = P_1(2) [v_1 \Lambda(0/1) + (1 - v_1) \Lambda(1/1)] \quad \text{με} \quad \Lambda(-1/1) = 0 \quad \text{και} \quad \Lambda(-2/0) = 0$$

$$\Lambda(2/2) = P_1(2) \cdot [v_1 \Lambda(1/1) + (1 - v_1) \Lambda(2/1)] + P_2(2) \cdot [v_2 \Lambda(0/0) + (1 - v_2) \Lambda(2/0)] =$$

$$\Lambda(2/2) = P_1(2) v_1 \Lambda(1/1) + P_2(2) v_2 \Lambda(0/0) \quad \text{όπου} \quad \Lambda(0/0) = 0 \quad \text{και} \quad \Lambda(2/0) = 0$$

- Στη κατάσταση $j=3$ μπορεί να έχουμε $c=0$ ($\Lambda(0/3)$) ή $c=1$ ($\Lambda(1/3)$) ή $c=2$ ($\Lambda(2/3)$) ή $c=3$ ($\Lambda(3/3)$). Βασιζόμενοι στην (2.17) έχουμε

$$\Lambda(0/3) = P_1(3) \cdot [v_1 \Lambda(-1/2) + (1 - v_1) \Lambda(0/2)] + P_2(3) \cdot [v_2 \Lambda(-2/1) + (1 - v_2) \Lambda(0/1)] \Rightarrow$$

$$\Lambda(0/3) = P_1(3) \cdot (1 - v_1) \cdot \Lambda(0/2) + P_2(3) \cdot (1 - v_2) \Lambda(0/1) \quad \text{όπου} \quad \Lambda(0/2) = 0 \quad \text{και}$$

$$\Lambda(-2/1) = 0$$

$$\begin{aligned}
\Lambda(1/3) &= P_1(3) \cdot [v_1 \Lambda(0/2) + (1-v_1) \Lambda(1/2)] + P_2(3) \cdot [v_2 \Lambda(-1/1) + (1-v_2) \Lambda(1/1)] \Rightarrow \\
\Lambda(1/3) &= P_1(3) v_1 \Lambda(0/2) + P_1(3) (1-v_1) \Lambda(1/2) + P_2(3) (1-v_2) \Lambda(1/1) \quad \text{με} \quad \Lambda(-1/1) = 0 \\
\Lambda(2/3) &= P_1(3) \cdot [v_1 \Lambda(1/2) + (1-v_1) \Lambda(2/2)] + P_2(3) \cdot [v_2 \Lambda(0/1) + (1-v_2) \Lambda(2/1)] \Rightarrow \\
\Lambda(2/3) &= P_1(3) v_1 \Lambda(1/2) + P_1(3) (1-v_1) \Lambda(2/2) + P_2(3) v_2 \Lambda(0/1) \quad \text{όπου} \quad \Lambda(2/1) = 0 \\
\Lambda(3/3) &= P_1(3) \cdot [v_1 \Lambda(2/2) + (1-v_1) \Lambda(3/2)] + P_2(3) \cdot [v_2 \Lambda(1/1) + (1-v_2) \Lambda(3/1)] \Rightarrow \\
\Lambda(3/3) &= P_1(3) v_1 \Lambda(2/2) + P_2(3) v_2 \Lambda(1/1)
\end{aligned}$$

• Στη κατάσταση $j=4$ έχουμε $c=0$ ($\Lambda(0/4)$) ή $c=1$ ($\Lambda(1/4)$) ή $c=2$ ($\Lambda(2/4)$) ή $c=3$ ($\Lambda(3/4)$) ή $c=4$ ($\Lambda(4/4)$)

$$\begin{aligned}
\Lambda(0/4) &= P_1(4) \cdot [v_1 \Lambda(-1/3) + (1-v_1) \Lambda(0/3)] + P_2(4) \cdot [v_2 \Lambda(-2/2) + (1-v_2) \Lambda(0/2)] \Rightarrow \\
\Lambda(0/4) &= P_1(4) \cdot (1-v_1) \cdot \Lambda(0/3) + P_2(4) \cdot (1-v_2) \Lambda(0/2) \quad \text{με} \quad \Lambda(-1/3) = 0 \quad \text{και} \\
&\Lambda(-2/2) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda(1/4) &= P_1(4) \cdot [v_1 \Lambda(0/3) + (1-v_1) \Lambda(1/3)] + P_2(4) \cdot [v_2 \Lambda(-1/2) + (1-v_2) \Lambda(1/2)] \Rightarrow \\
\Lambda(1/4) &= P_1(4) \cdot v_1 \cdot \Lambda(0/3) + (1-v_1) \cdot \Lambda(1/3) \cdot P_1(4) + P_2(4) \cdot (1-v_2) \cdot \Lambda(1/2) \\
&\text{με} \quad \Lambda(-1/2) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda(2/4) &= P_1(4) \cdot [v_1 \Lambda(1/3) + (1-v_1) \Lambda(2/3)] + P_2(4) \cdot [v_2 \Lambda(0/2) + (1-v_2) \Lambda(2/2)] \Rightarrow \\
\Lambda(2/4) &= P_1(4) \cdot v_1 \cdot \Lambda(1/3) + (1-v_1) \cdot \Lambda(2/3) \cdot P_1(4) + P_2(4) \cdot v_2 \cdot \Lambda(0/2) + \\
&+ P_2(4) \cdot (1-v_2) \cdot \Lambda(2/2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda(3/4) &= P_1(4) \cdot [v_1 \Lambda(2/3) + (1-v_1) \Lambda(3/3)] + P_2(4) \cdot [v_2 \Lambda(1/2) + (1-v_2) \Lambda(3/2)] \Rightarrow \\
\Lambda(3/4) &= P_1(4) \cdot v_1 \cdot \Lambda(2/3) + (1-v_1) \cdot \Lambda(3/3) \cdot P_1(4) + P_2(4) \cdot v_2 \cdot \Lambda(1/2) \\
&\text{με} \quad \Lambda(3/2) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda(4/4) &= P_1(4) \cdot [v_1 \Lambda(3/3) + (1-v_1) \Lambda(4/3)] + P_2(4) \cdot [v_2 \Lambda(2/2) + (1-v_2) \Lambda(4/2)] \Rightarrow \\
\Lambda(4/4) &= P_1(4) \cdot v_1 \cdot \Lambda(3/3) + P_2(4) \cdot v_2 \cdot \Lambda(2/2) \quad \text{με} \quad \Lambda(4/2) = 0 \quad \text{και} \quad \Lambda(4/3) = 0
\end{aligned}$$

Αρχίζουμε με την κατάσταση $j=0$ σε ένα άδειο σύστημα. Σε αυτή την κατάσταση έχουμε $\tilde{q}(0)=1$, $\Lambda(0/0)=1$, $\Lambda(i/0)=0$ αν $i \neq 0$ και $B_k(0)=\beta_k(0)$. Αρχικοποιούμε $\tilde{q}(0)=0$ για $i < 0$. Οι μη κανονικοποιημένες πιθανότητες και οι πιθανότητες τοπικής απώλειας για την κατάσταση j υπολογίζονται αναδρομικά. Η πιθανότητα μη κανονικοποιημένης κατάστασης $\tilde{q}(j)$ από την (2.13) επεκτείνεται στην τοπική απώλεια:

$$\tilde{q}(j) = \sum_{k=1}^K \frac{a_k \cdot b_k}{j} \cdot (1 - B_k(j - b_k)) \cdot \tilde{q}(j - b_k) \quad (2.18)$$

Όπως παρατηρούμε από την παραπάνω ισότητα η πιθανότητα $\tilde{q}(j)$ εξαρτάται από την $\tilde{q}(j - b_k)$ και $B_k(j - b_k)$. Για να ορίσουμε τις πιθανότητες τοπικής απώλειας $B_k(j)$ χρειαζόμαστε τη πιθανότητα όπου η κατάσταση j φθάνει την κατάσταση $j - b_k$

$$P_k(j) = \sum_{k=1}^K \frac{\tilde{q}(j - b_k) \cdot (1 - B_k(j - b_k)) \cdot a_k \cdot b_k}{j \cdot \tilde{q}(j)} \quad (2.19)$$

Ο αναδρομικός τύπος της κατανομής απασχόλησης $\Lambda(c/j)$ υπολογίζεται τώρα σύμφωνα με την ισότητα (2.17) και οι πιθανότητες τοπικής απώλειας $B_k(j)$ υπολογίζονται από το θεώρημα της τελικής πιθανότητας:

$$B_k(j) = \sum_{c=0}^j \Lambda(c/j) \cdot \beta_k(c) \quad (2.20)$$

Ο επαναληπτικός υπολογισμός των πιθανοτήτων μη κανονικής κατάστασης (ισότητα 2.18) και των πιθανοτήτων τοπικής απώλειας (ισότητα 2.20) εκτελούνται μέχρις ότου οι πιθανότητες τοπικής απώλειας πλησιάσουν την τιμή 0,999 δηλαδή $B_1(j) \leq 0,999$. Οι υπολογισμοί σταματούν αν $B_1(j) = 0,999$. Σε αυτή τη περίπτωση έχουμε $j = j_{\max}$. Αφού προσδιορισθούν όλες οι πιθανότητες μη κανονικών καταστάσεων $\tilde{q}(j)$ από την ισότητα (2.18), οι πιθανότητες μόνιμης κατάστασης $q(j)$ κανονικοποιούνται χρησιμοποιώντας την ισότητα

$$q(j) = \frac{\tilde{q}(j)}{\sum_{j=0}^{j_{\max}} \tilde{q}(j)}$$

Η τελική πιθανότητα απώλειας για την υπηρεσία k είναι

$$P_{block}(k) = \sum_{j=0}^{j_{\max}} B_k(j) \cdot q(j) \quad (2.21)$$

2.4.2 Η σειρά των υπολογισμών

Δεδομένα

- K: αριθμός των κατηγοριών κίνησης (k=1,2,...K).
- ν_k : συντελεστής δραστηριότητας.
- R_k : ρυθμός bit ενός κινητού στην κατηγορία k.
- $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k$ λόγος δυφιακών σφαλμάτων k κατηγορίας κίνησης – Bit Error Rate.
- W : ρυθμός chip του συστήματος WCDMA.
- Προσφερόμενο φορτίο της κυψέλης.
- Traffic mix για την κατηγορία k.
- N_{\max} : μέγιστο φορτίο κυψέλης.
- g: παράγοντας διακριτοποίησης - Granularity.
- $CV = \frac{\sqrt{Var(I_{other})}}{E(I_{other})}$ συντελεστής μεταβλητότητας - coefficient of variance.
- $E[I_{other}]$ μέση τιμή της ισχύος των γειτονικών κυψελών.
- N_0 ισχύς θερμικού θορύβου ($N_0 = -174 \text{ dBm} = 3,98 \cdot 10^{-18} \text{ mW}$).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

1) Ο παράγοντας φορτίου της κατηγορίας κίνησης k, ω_k δίνεται από το τύπο:

$$\omega_k = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k R_k}{W + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_k R_k}$$

2) Το προσφερόμενο φορτίο της κυψέλης $\sum_{k=1}^K v_k \omega_k a_k$ (όπου $a_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}$) και το ω_k που είναι γνωστό από τον προηγούμενο τύπο είναι αναγκαία για να υπολογίσουμε το φορτίο κίνησης σαν ποσοστό από το ολικό προσφερόμενο φορτίο της κυψέλης διαιρούμενο με το γινόμενο $v_k \cdot \omega_k$ ως εξής :

$$a_k = \frac{\left(\sum_{k=1}^K v_k \omega_k a_k\right) \cdot (\text{traffic mix per service})}{v_k \cdot \omega_k}$$

3) Η χωρητικότητα της κυψέλης δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{n_{\max}}{g}$$

4) Οι απαιτήσεις σε πόρους για τη κατηγορία κίνησης k δίνονται από τη σχέση:

$$b_k = \frac{\omega_k}{g}$$

5) Υπολογίζουμε την τοπική απώλεια για κάθε κατηγορία κίνησης k από τη σχέση:

$$\beta_k(n_{\text{own}}) = \begin{cases} 1 - \Gamma(n_{\max} - n_{\text{own}} - \omega_k) & \text{αν } n_{\max} - n_{\text{own}} - \omega_k > 0 \\ 1 & \text{αλλιου} \end{cases}$$

Επίσης χρειαζόμαστε την μέση τιμή και την απόκλιση της παρεμβολής των γειτονικών κυψελών

$$\sigma = \sqrt{\ln(1 + CV^2)}$$

$$\mu = \ln(E[I_{\text{other}}]) - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2)$$

$$\sigma_{\Gamma} = \sigma$$

$$\mu_{\Gamma} = \mu + \ln(1 - n_{\max}) - \ln(N_0)$$

Αν θέσουμε όπου $\chi = n_{\max} - n_{\text{own}} - \omega_k$ η (2.12) γίνεται:

$$\beta_k(n_{own}) = \begin{cases} 1 - \Gamma(\chi) & \chi > 0 \\ 1 & \chi \leq 0 \end{cases}$$

Η τιμή του χ απαιτεί να γνωρίζουμε το n_{own} το οποίο δίνεται από τον τύπο:

$$n_{own} = n_{discrete} = j \cdot q$$

οπότε το χ είναι γνωστό αφού το n_{max} δίνεται από τα δεδομένα και το ω_k το έχουμε υπολογίσει. Αν το $\chi > 0$ τότε η συνάρτηση συσσωρευτικής κατανομής $\Gamma(\chi)$ δίνεται από το τύπο

$$\Gamma(\chi) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln x - \mu_\Gamma}{\sigma_\Gamma \sqrt{2}} \right]$$

όπου

$$\begin{aligned} \mu_\Gamma &= \mu + \ln(1 - n_{max}) - \ln(N_0) \\ \sigma_\Gamma &= \sigma \end{aligned}$$

με

$$\mu = \ln(E[I_{other}]) - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2)$$

και

$$\sigma_\Gamma = \sigma$$

οπότε υπολογίζουμε την επόμενη ισότητα:

$$\beta_k(n_{own}) = \begin{cases} 1 - \Gamma(\chi) & \chi > 0 \\ 1 & \chi \leq 0 \end{cases}$$

6) Πραγματοποιείται με τη βοήθεια προγράμματος ο υπολογισμός των $\tilde{q}(j)$, $P_k(j)$, $\Lambda(c/j)$ και $B_k(j)$ σε ένα βρόχο.

Με $j = 0$, αρχικοποιούμε θέτοντας $\tilde{q}(0) = 1$, $\Lambda(0/0) = 1$, $B_k(0) = \beta_k(0)$. Όσο $B_1(j) \leq 0,999$, θέτω $j = j + 1$ (υποθέτουμε ότι η κατηγορία κίνησης 1 έχει τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης). Τότε

✓ Υπολόγισε για όλες τις κατηγορίες κίνησης:

$$\tilde{q}(j) = \sum_{k=1}^K \frac{a_k \cdot b_k}{j} \cdot (1 - B_k(j - b_k)) \cdot \tilde{q}(j - b_k) \quad \text{με} \quad j - b_k \geq 0$$

✓ Υπολόγισε για όλες τις κατηγορίες κίνησης:

$$P_k(j) = \sum_{k=1}^K \frac{\tilde{q}(j - b_k) \cdot (1 - B_k(j - b_k)) \cdot a_k \cdot b_k}{j \cdot \tilde{q}(j)}$$

με $j - b_k \geq 0$ και $\tilde{q}(j) > 0$.

✓ Υπολόγισε για όλες τις κατηγορίες κίνησης:

$$\Lambda(c/j) = \sum_{k=1}^K P_k(j) \cdot [v_k \cdot \Lambda(c - b_k / j - b_k) + (1 - v_k) \cdot \Lambda(c / j - b_k)]$$

Σημειώνουμε ότι $c \leq j$, $j - b_k \geq 0$ και $c - b_k \geq 0$.

✓ Υπολόγισε για όλες τις κατηγορίες κίνησης:

$$B_k(j) = \sum_{c=0}^j \Lambda(c/j) \cdot \beta_k(c)$$

Αν $B_1(j) < 0.999$ τότε οι υπολογισμοί του βήματος 6 να επαναληφθούν. Αν

$B_1(j) = 0.999$ το πρόγραμμα αφήνει το βρόχο δίνοντας τη τελική τιμή του $j_{\max} = j$.

7) Υπολογισμός των κανονικοποιημένων $q(j)$:

$$q(j) = \frac{\tilde{q}(j)}{\sum_{j=0}^{j_{\max}} \tilde{q}(j)}$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Αν το $B_k(j) \rightarrow 1$ τότε το $\tilde{q}(j) \rightarrow 0$

8) Υπολογίζουμε τη τελική πιθανότητα της τοπικής απώλειας της κατηγορίας κίνησης k από το παρακάτω τύπο:

$$P_{block}(k) = \sum_{j=0}^{j_{\max}} B_k(j) \cdot q(j)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3⁰

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

3.1 Παράδειγμα

Θωρούμε ένα σύστημα WCDMA με chip rate 3,84 Mcps και θερμικό θόρυβο $N_0 = -174dBm$ ($3,98 \cdot 10^{-18} mW$) το οποίο εξυπηρετεί κλήσεις τριών κατηγοριών κίνησης με τα εξής χαρακτηριστικά 50% $R_1=12,2Kbps$, 25% $R_2=64Kbps$ και 25% $R_3=144Kbps$, $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_1 = 5dB$, $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_2 = 4dB$, $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_3 = 3dB$ αντίστοιχα. Το μέγιστο φορτίο της κυψέλης είναι $n_{max} = 0,8$ και ο συντελεστής διακριτοποίησης $g = 0,005$. Το προσφερόμενο φορτίο κυψέλης (offered own cell load), n_{own} ορίζεται ως $\sum_{k=1}^K v_k \alpha_k \omega_k$ και παίρνει τιμές από 0,1 έως 0,7 με βήμα 0,1. Οι κλήσεις των τριών κατηγοριών κίνησης έχουν παράγοντα δραστηριότητας $v_1 = 0,45$, $v_2 = 0,3$, $v_3 = 0,8$, παράγοντα φορτίου $\omega_1 = 0,00994695$, $\omega_2 = 0,0401827$ και $\omega_3 = 0,0696149$ αντίστοιχα. Οι τιμές του φορτίου κίνησης είναι οι εξής:

n_{own}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
α_1	11,17036	22,3407	33,5111	44,6815	55,8518	67,0222	78,1925
α_2	2,0738	4,1477	6,2215	8,2954	10,3642	12,4432	14,517
α_3	0,4489	0,8477	1,3466	1,7956	2,2444	2,6934	3,1423

Τέλος η μέση τιμή της παρεμβολής των γειτονικών κυψελών είναι $E[I_{other}] = 2 \cdot 10^{-18} mW$ με συντελεστή μεταβλητότητας (Coefficient of Variance-CV) της ισχύος των παρεμβολών από άλλες κυψέλες $CV = 1$.

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας (local blocking probability) των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 2 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος[8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.1.4 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 1. Στα σχήματα (3.1.5–3.1.11) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.1.4) σε 0,7 (σχήμα 3.1.11). Τέλος τα σχήματα 3.1.12 και 3.1.13 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής απώλειας κλήσεων όταν $n_{own}=0,1$ και 0,3 (σχήμα 3.1.12) και $n_{own}=0,4$ και 0,6 (σχήμα 3.1.13).

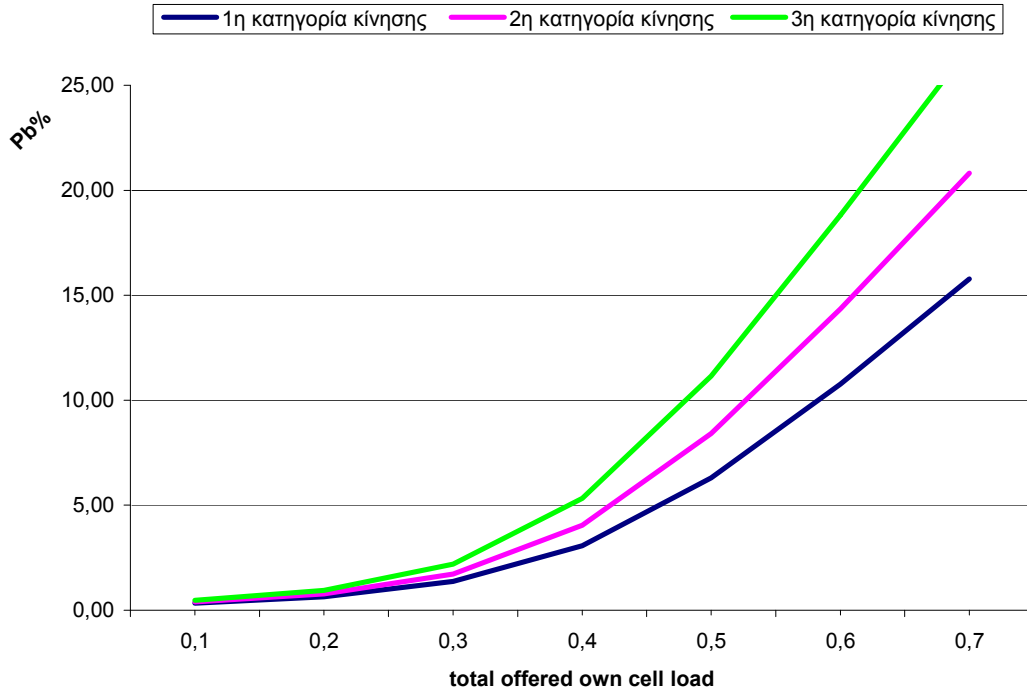
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,3364	0,3972	0,4693	0,1179	382
0,2	0,643	0,7794	0,9471	0,2211	406
0,3	1,3654	1,723	2,1855	0,3163	422
0,4	3,0756	4,0425	5,3184	0,403	432
0,5	6,2931	8,4131	11,1504	0,474	440
0,6	10,7663	14,3552	18,819	0,5280	446
0,7	15,7798	20,8164	26,8439	0,5686	450

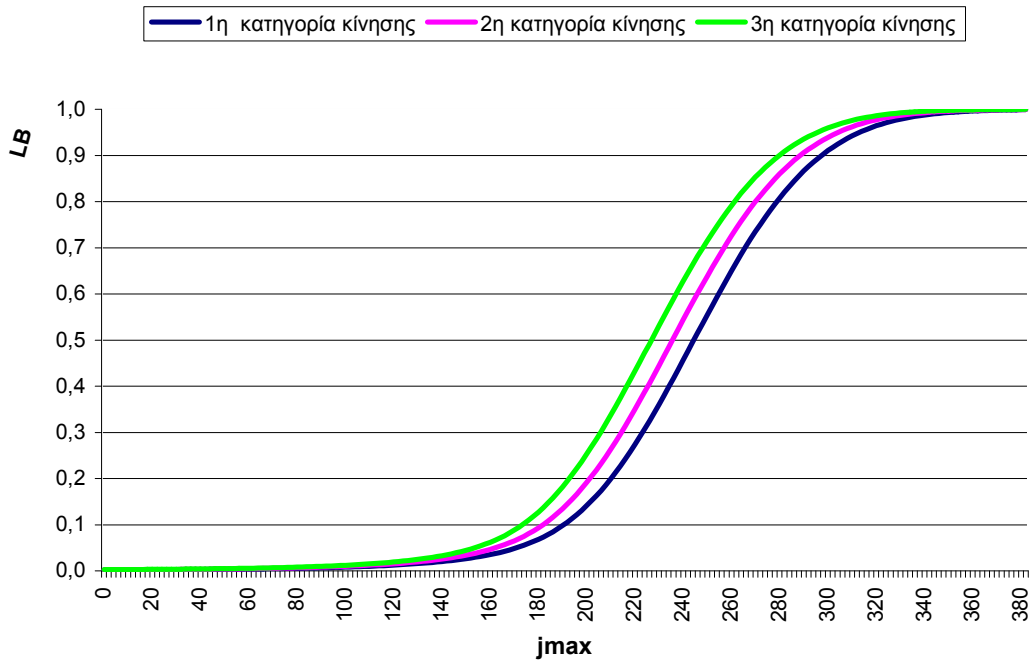
Πίνακας 1: Αναλυτικά αποτελέσματα του 3.1 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,3383	0,4017	0,4659	45,08	0,1180	382
0,2	0,6437	0,7792	0,9385	89,83	0,2213	406
0,3	1,3531	1,7058	2,1746	133,37	0,3160	422
0,4	3,0311	3,9843	5,2788	174,15	0,4031	432
0,5	6,2501	8,3768	11,0809	208,61	0,4741	440
0,6	10,7266	14,4232	18,9976	235,36	0,5277	446
0,7	15,8586	21,0417	27,3989	255,35	0,5675	450

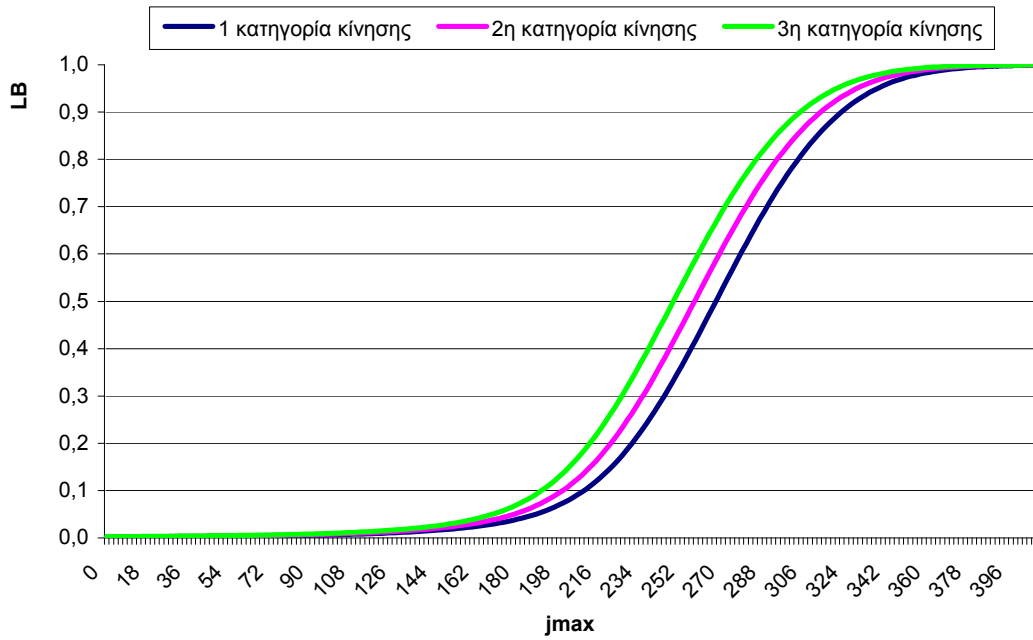
Πίνακας 2: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.1 παραδείγματος



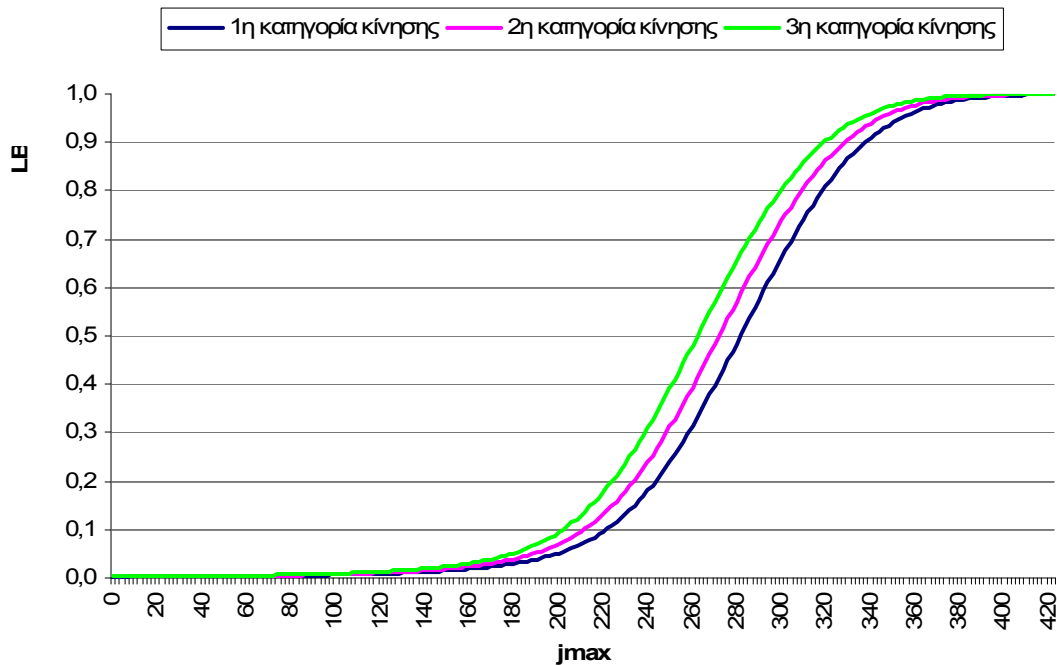
Σχήμα 3.1. 4 : Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.1 παράδειγμα).



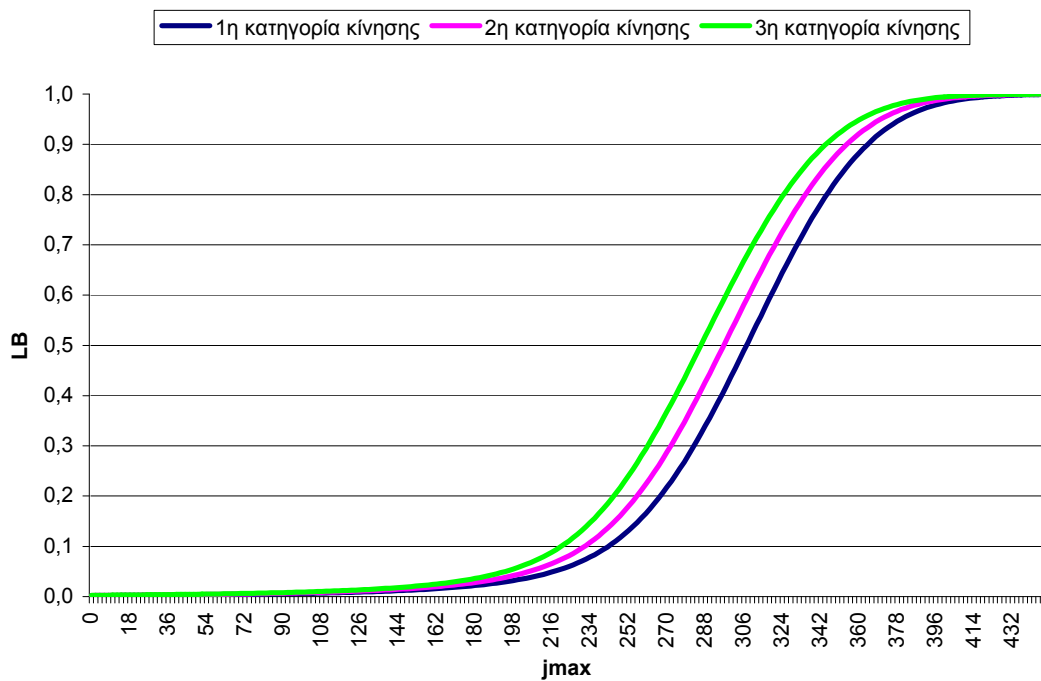
Σχήμα 3.1.5: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.1 παράδειγμα).



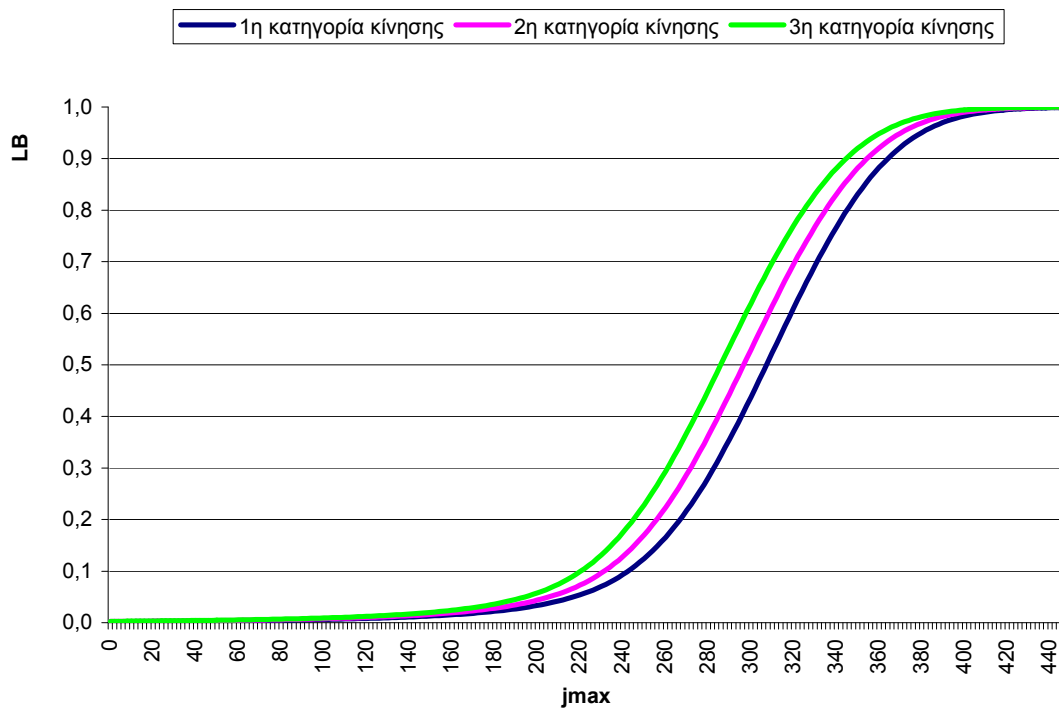
Σχήμα 3.1.6: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.1 παράδειγμα).



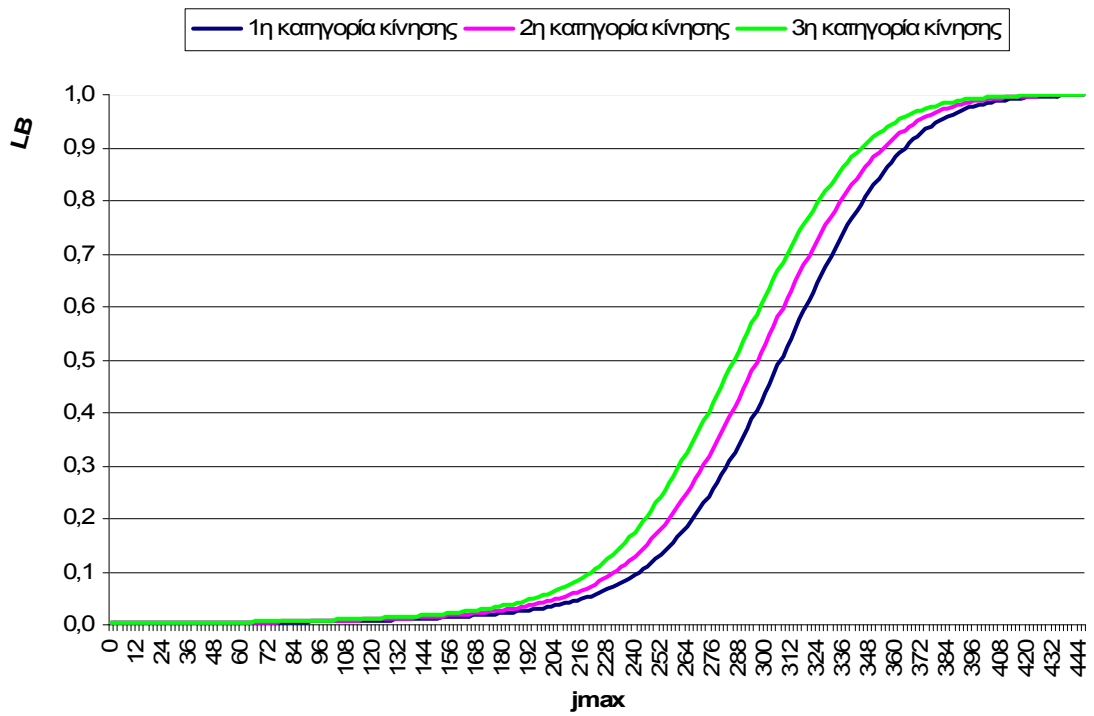
Σχήμα3.1.7: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.1 παράδειγμα).



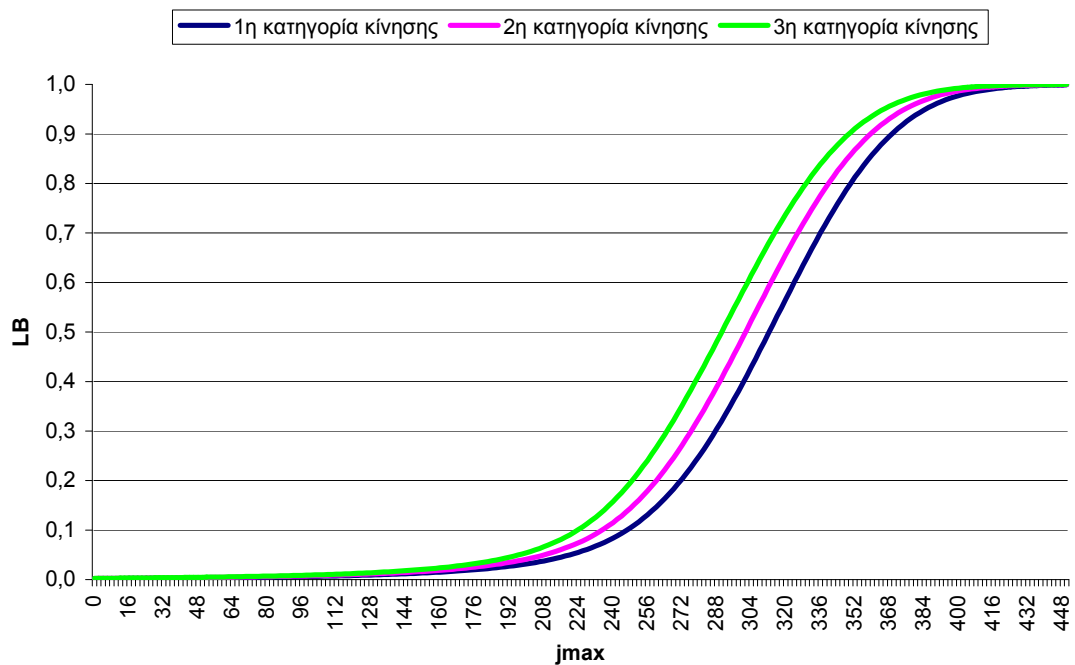
Σχήμα 3.1.8: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.1 παράδειγμα).



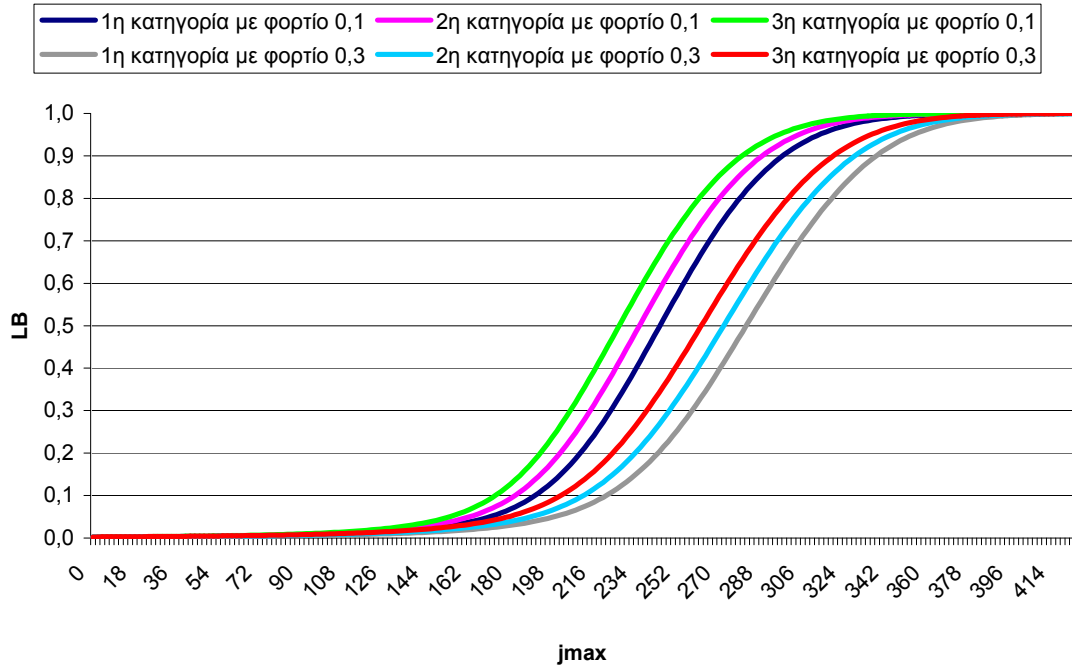
Σχήμα 3.1.9: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.1 παράδειγμα).



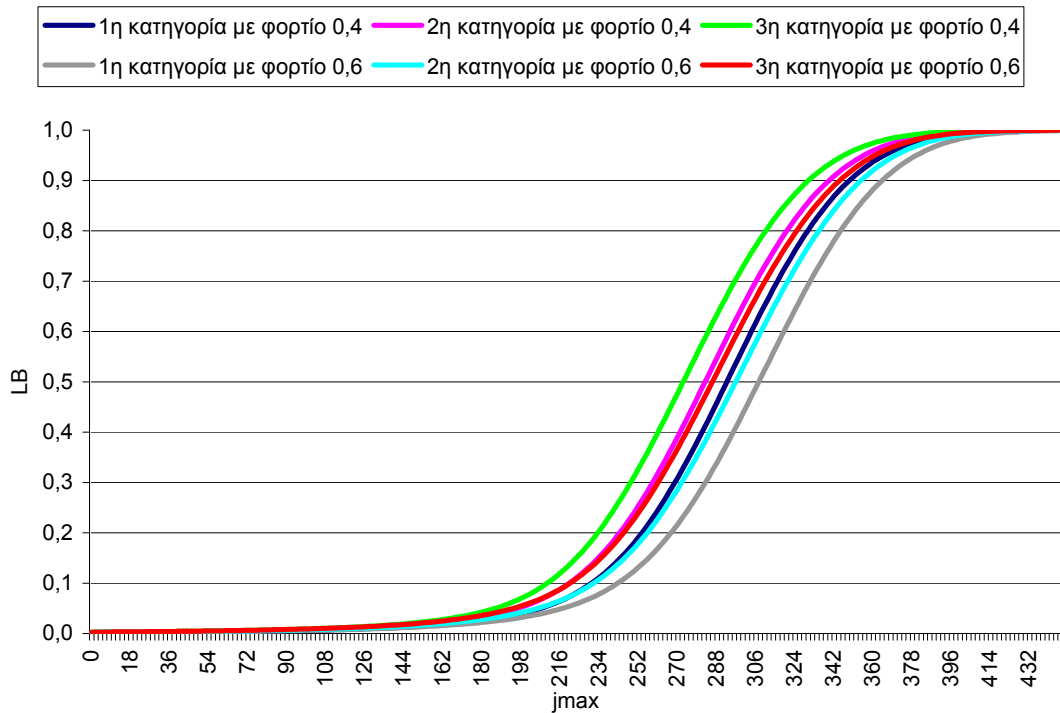
Σχήμα 3.1.10: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.1 παράδειγμα).



Σχήμα 3.1.11: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.1 παράδειγμα).



Σχήμα 3.1.12: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.1 παράδειγμα).



Σχήμα 3.1.13: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.1 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ –ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Η πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης, είναι αύξουσα συνάρτηση του προσφερόμενου φορτίου κίνησης (Πίνακας 1 και Σχήμα 3.1.4).
- ✓ Για το ίδιο προσφερόμενο φορτίο κίνησης η πιθανότητα απώλειας μιας κλήσης αυξάνει όταν αυξάνουν και οι απαιτήσεις της κλήσης σε εύρος ζώνης– (μεγαλύτερες απαιτήσεις, μεγαλύτερη πιθανότητα απώλειας κλήσης).
- ✓ Αυξάνοντας το προσφερόμενο φορτίο κίνησης αυξάνεται η κατειλημμένη χωρητικότητα του συστήματος και προφανώς αναμένουμε υψηλότερες τιμές στην πιθανότητα απώλειας κλήσεων (Πίνακας 1).
- ✓ Αυξάνοντας το προσφερόμενο φορτίο κίνησης η διαφορά μεταξύ της 3^{ης} κατηγορίας κίνησης (144Kbps) και της 2^{ης} (64Kbps) αυξάνει γρηγορότερα από ότι η διαφορά της 1^{ης} (12,2Kbps) με τη 2^η (64Kbps). Αυτό δείχνει ότι οι υψηλής ταχύτητας κατηγορίες κίνησης (με υψηλή απαίτηση ρυθμού μετάδοσης) είναι πιο ευαίσθητες σε μεγαλύτερα φορτία κυψελών από ότι οι κατηγορίες κίνησης χαμηλότερης ταχύτητας.

3.2 Παράδειγμα

Εκτελούμε το προηγούμενο παράδειγμα χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα αλλάζοντας μόνο το n_{\max} . Θέτουμε ως $n_{\max}=0,9$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και του φορτίου κίνησης και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι ίδιες με το παράδειγμα 3.1.

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 4 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.2.14 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 3. Στα σχήματα (3.2.15–3.2.21) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.2.15) σε 0,7 (σχήμα 3.2.21). Τέλος τα σχήματα 3.2.22 και 3.2.23 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής απώλειας κλήσεων όταν $n_{\text{own}}=0,1$ και 0,3 (σχήμα 3.2.22) και $n_{\text{own}}=0,4$ και 0,6 (σχήμα 3.2.23).

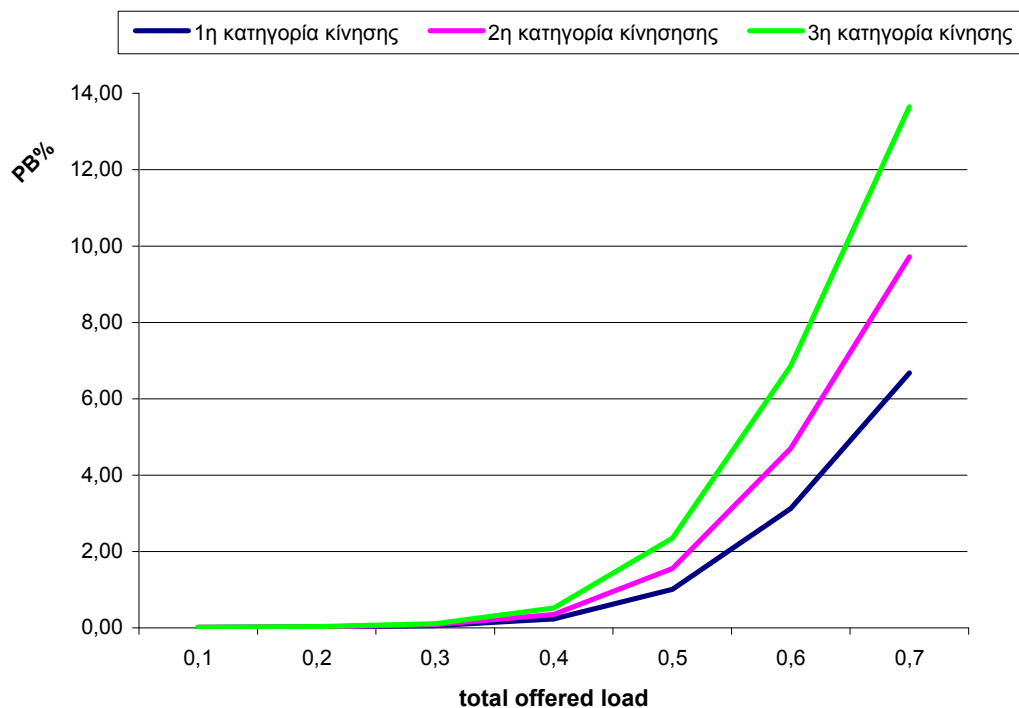
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,0106	0,0128	0,0155	0,1056	428
0,2	0,0228	0,0285	0,0357	0,1983	456
0,3	0,0602	0,0805	0,1092	0,2860	474
0,4	0,2334	0,3478	0,5206	0,3695	488
0,5	1,0115	1,5554	2,3477	0,4476	498
0,6	3,1289	4,7033	6,8585	0,5156	504
0,7	6,6777	9,7192	13,6486	0,5662	510

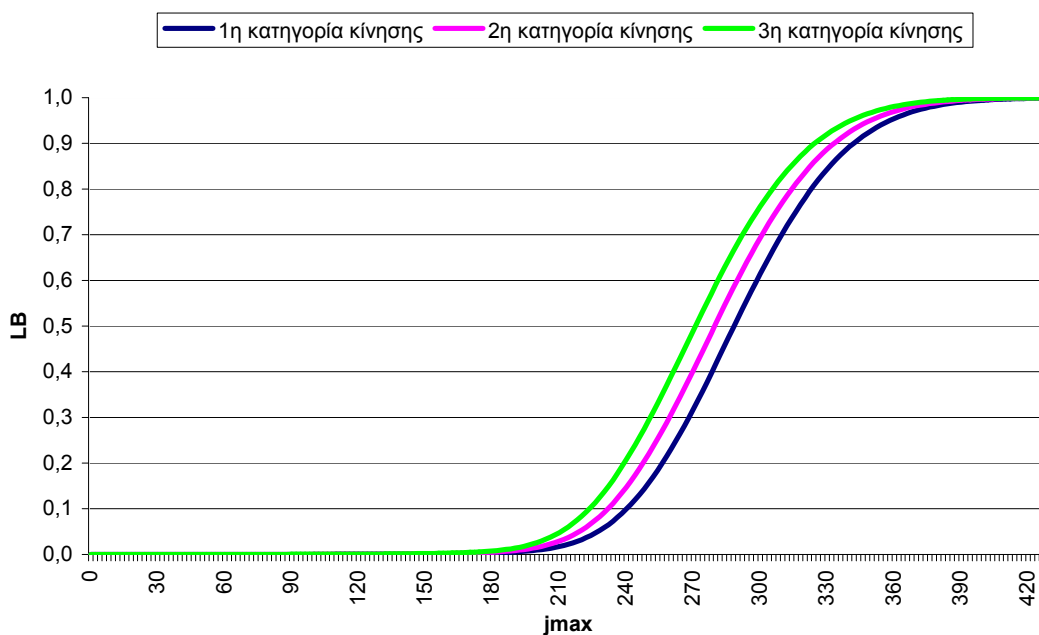
Πίνακας 3: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.2 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,0112	0,0123	0,0135	45,28	0,1058	428
0,2	0,0222	0,0289	0,0355	90,37	0,1982	456
0,3	0,0605	0,0808	0,1050	135,57	0,2860	474
0,4	0,2245	0,3362	0,5097	180,50	0,3699	488
0,5	0,9541	1,4758	2,2608	223,07	0,4479	498
0,6	2,9916	4,5684	6,8101	260,18	0,5162	504
0,7	6,5132	9,6070	13,8135	289,18	0,5670	510

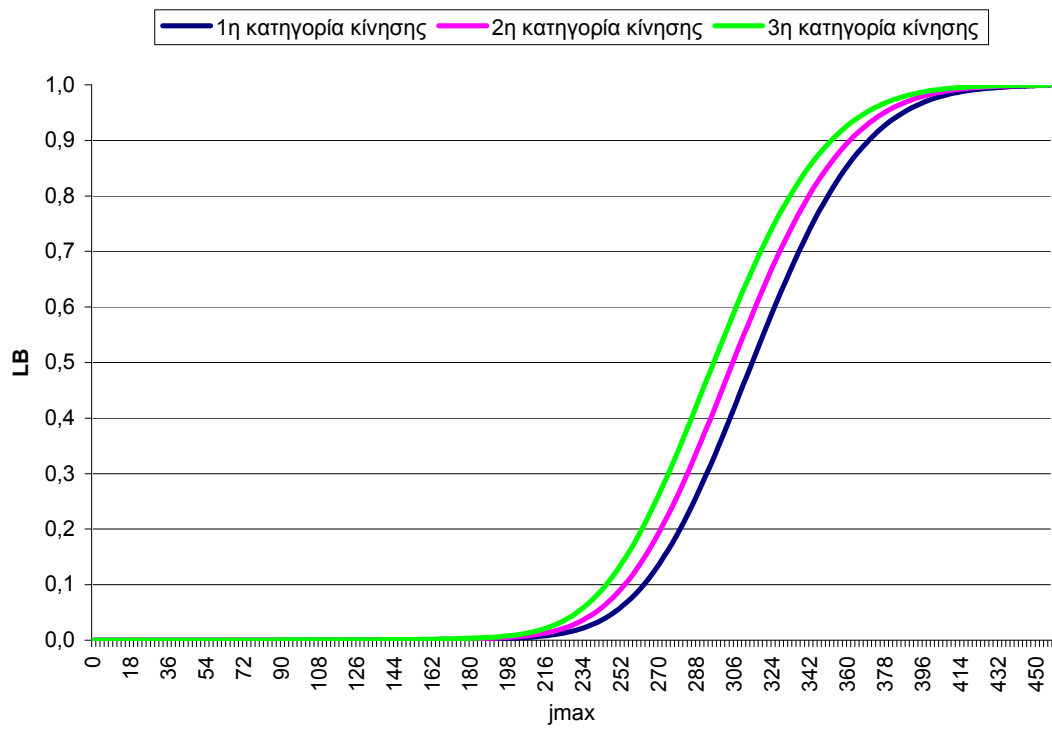
Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.2 παραδείγματος



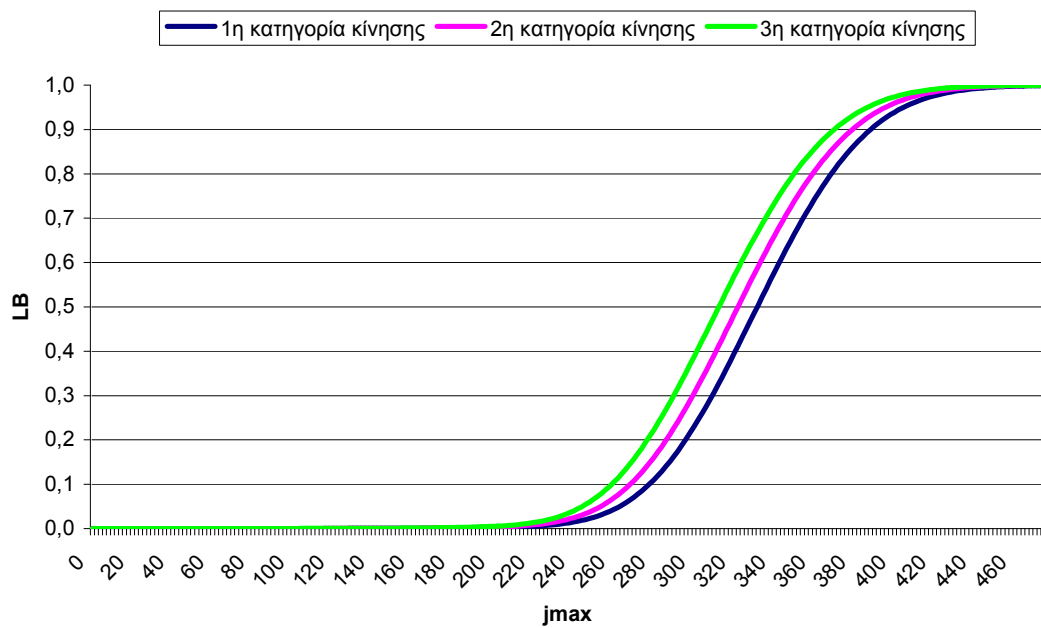
Σχήμα 3.2.14: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.2 παράδειγμα).



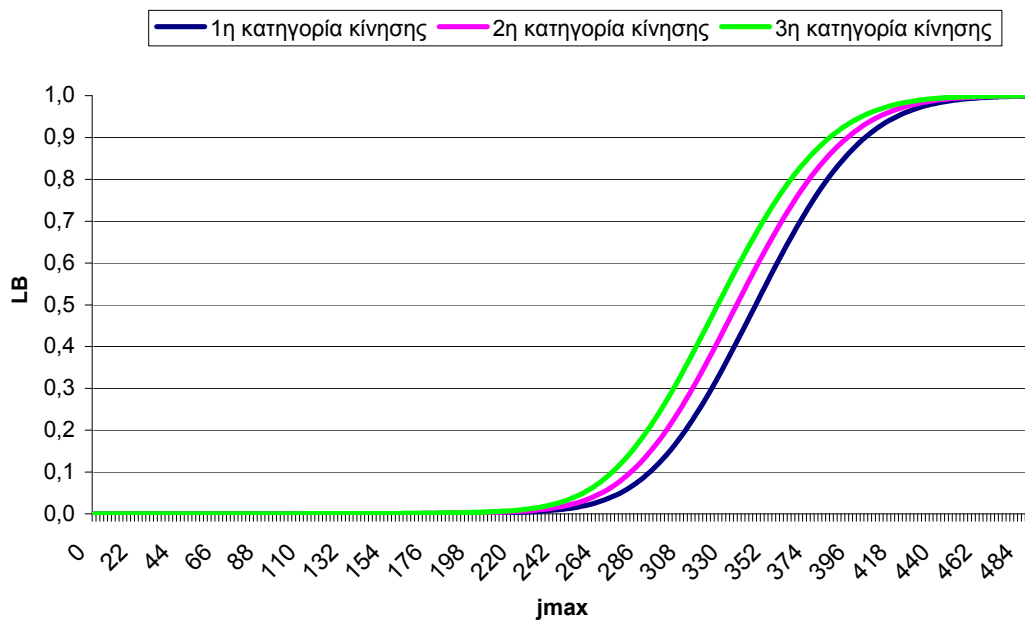
Σχήμα 3.2.15: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.2 παράδειγμα).



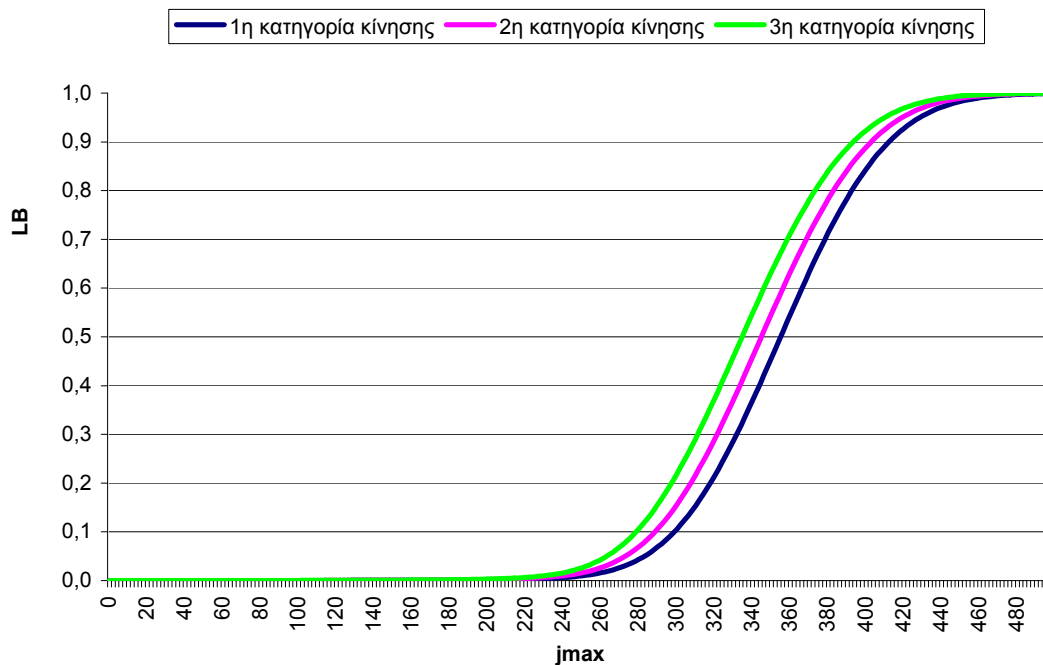
Σχήμα 3.2.16: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.2 παράδειγμα).



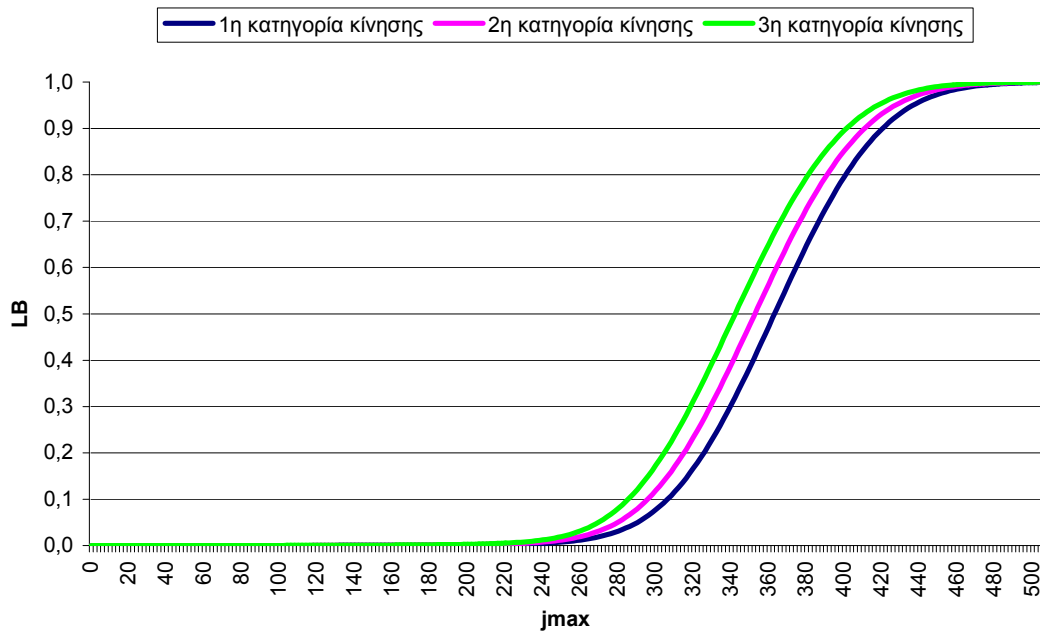
Σχήμα 3.2.17: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.2 παράδειγμα).



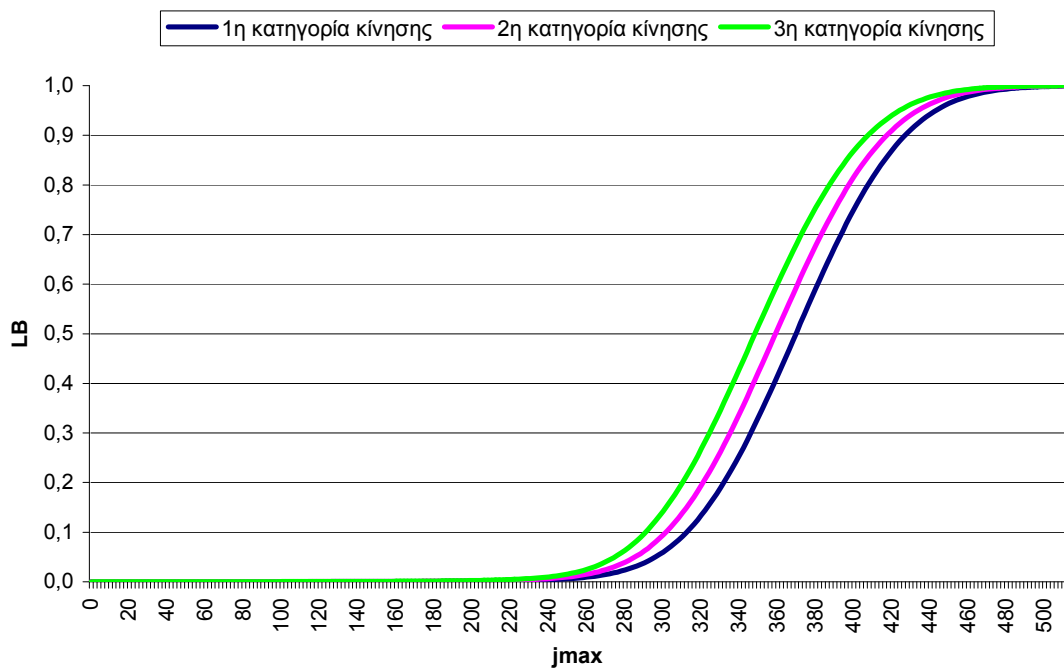
Σχήμα 3.2.18: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.2 παράδειγμα).



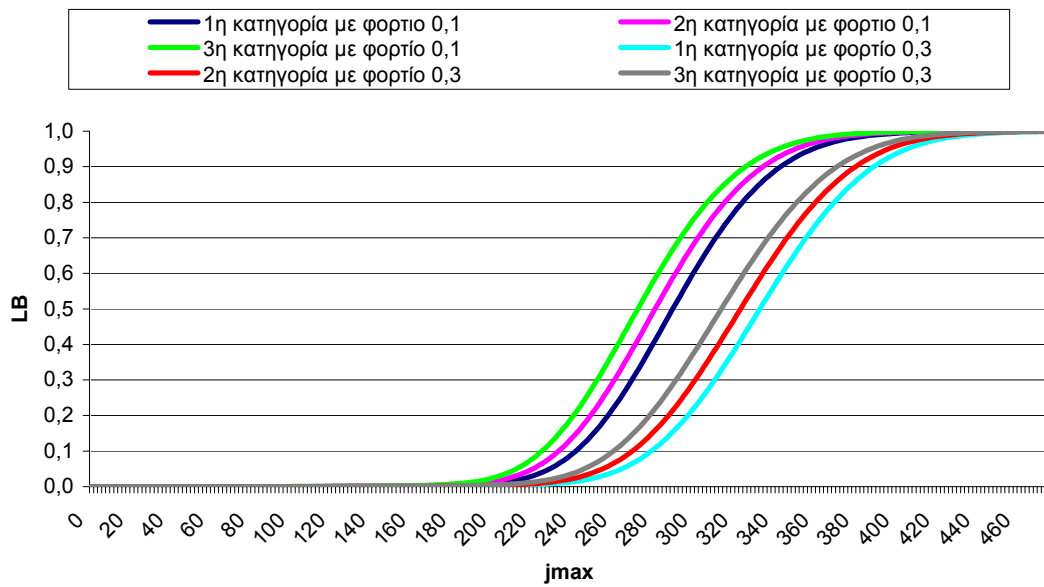
Σχήμα 3.2.19: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.2 παράδειγμα).



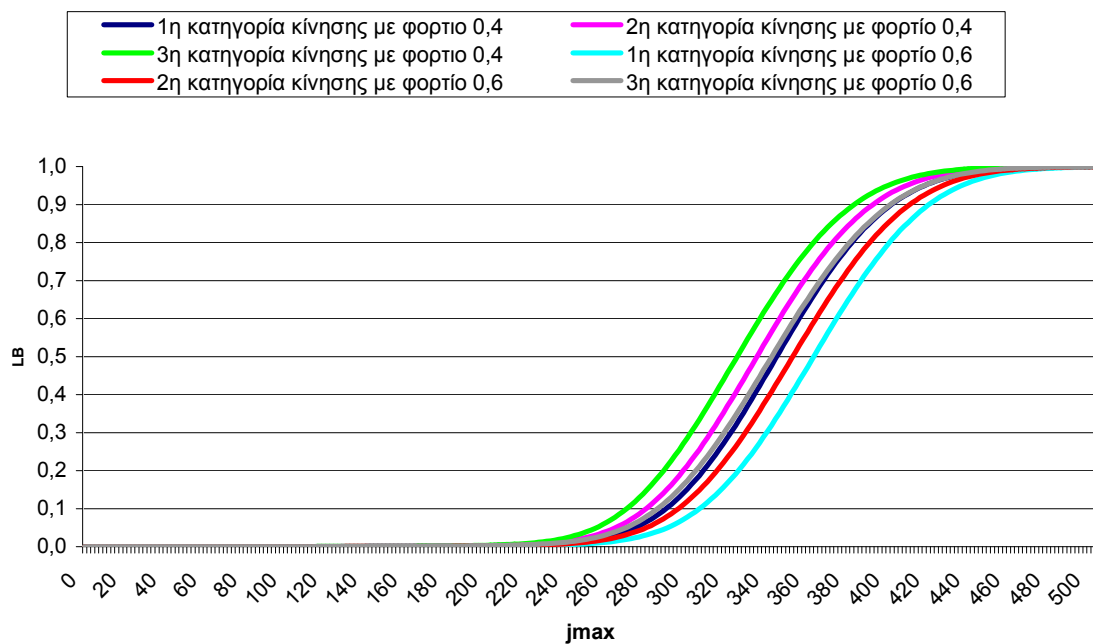
Σχήμα 3.2.20: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.2 παράδειγμα).



Σχήμα 3.2.21: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.2 παράδειγμα).



Σχήμα 3.2.22: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.2 παράδειγμα).



Σχήμα 3.2.23: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.2 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Αυξάνοντας το n_{\max} ενώ ταυτόχρονα διατηρούμε την ίδια μέση τιμή των παρεμβολών των γειτονικών κυψελών βλέπουμε, σε σχέση με τη πρώτη περίπτωση ότι ελαττώνονται αρκετά οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων και στις τρεις κατηγορίες κίνησης. Είναι μάλιστα σχεδόν μηδενικές όταν το προσφερόμενο φορτίο είναι 0,1-0,3. Αυτό συμβαίνει γιατί τώρα περισσότερες από τις νεοεισερχόμενες κλήσεις στο σύστημα ικανοποιούν τη σχέση $n_{\text{own}} + \omega_k + n_{\text{other}} < n_{\max}$ που περιγράψαμε στην ενότητα το μοντέλο των παρεμβολών και παραμένουν στο σύστημα. (Πίνακας 3 και Σχήμα 3.2.15)
- ✓ Ακόμα περισσότερο ελαττωμένες είναι οι πιθανότητες τοπικής απώλειας και αυτό συμβαίνει γιατί οι πιθανότητες αυτές υπολογίζονται από το τύπο
$$\beta_k(n_{\text{own}}) = \begin{cases} 1 - \Gamma(n_{\max} - n_{\text{own}} - \omega_k) & \text{αν } n_{\max} - n_{\text{own}} - \omega_k > 0 \\ 1 & \text{αλλιου} \end{cases}$$
 με αυξημένο σε αυτή τη περίπτωση το n_{\max}
- ✓ Οι δυο παραπάνω διαπιστώσεις έχουν ως αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση και στον αριθμό των μέγιστων κατειλημμένων γραμμών j_{\max} . (Πίνακας 3)

3.3 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε το παράδειγμα 3.1 διπλασιάζοντας τη μέση τιμή παρεμβολής των γειτονικών κυψελών δηλαδή $E[I_{\text{other}}] = 4 \cdot 10^{-18} \text{ mW}$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι: $\omega_1 = 9,9469$, $\omega_2 = 4,0183$, $\omega_3 = 6,9615$. Οι τιμές του φορτίου κίνησης είναι οι εξής:

n_{own}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
α_1	7,1809	14,4618	21,5428	28,7238	35,9047	43,0857	50,2666
α_2	2,0738	4,1477	6,2215	8,2954	10,3642	12,4432	14,517
α_3	0,4489	0,8477	1,3466	1,7956	2,2444	2,6934	3,1423

Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 6 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.3.24 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 5. Στα σχήματα (3.3.25–3.3.31) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.3.25) σε 0,7 (σχήμα 3.3.31). Τέλος τα σχήματα 3.3.32 και 3.3.33 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής απώλειας κλήσεων όταν $n_{\text{own}}=0,1$ και 0, 3 (σχήμα 3.3.32) και $n_{\text{own}}=0,4$ και 0,6 (σχήμα 3.3.33).

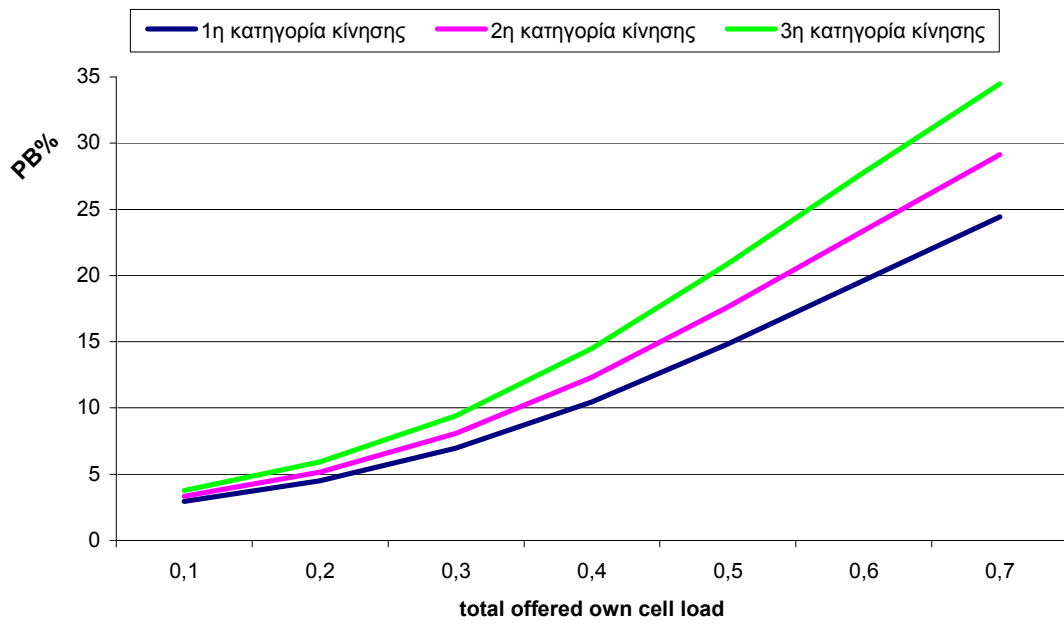
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	2,9472	3,3332	3,7687	0,1202	364
0,2	4,5159	5,1717	5,924	0,2227	386
0,3	6,966	8,0924	9,4064	0,3130	400
0,4	10,4676	12,3225	14,5063	0,3894	410
0,5	14,8373	17,6235	20,8913	0,4505	418
0,6	19,6301	23,4069	27,7777	0,5005	422
0,7	24,431	29,1341	34,4788	0,5382	426

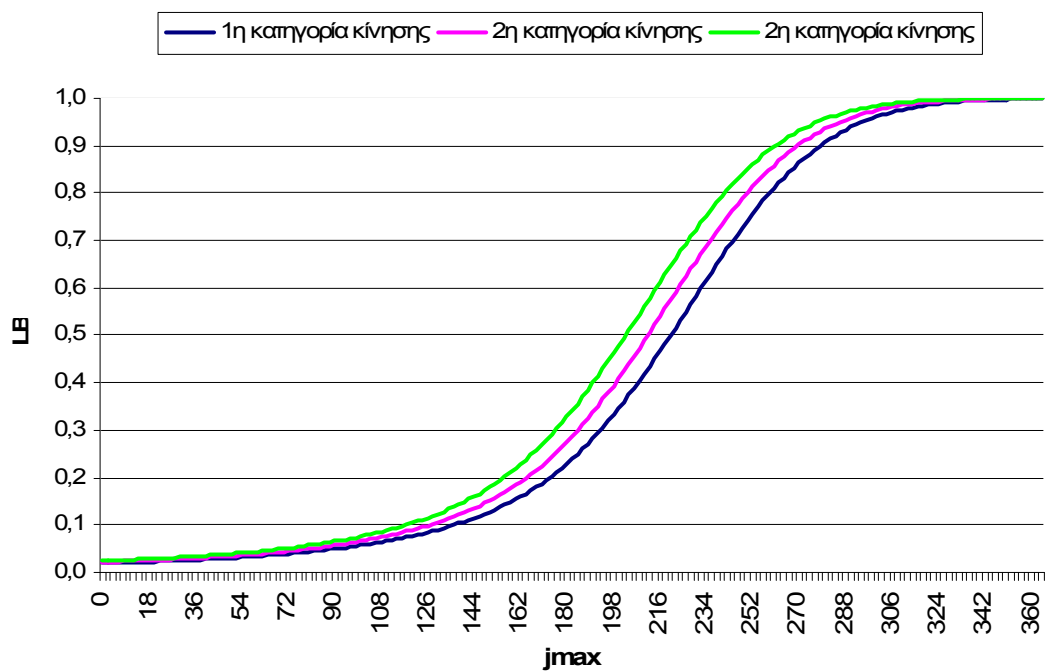
Πίνακας 5: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.3 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	2,9589	3,3493	3,7605	43,80	0,1203	364
0,2	4,5362	5,1934	5,9468	86,09	0,2230	386
0,3	6,9682	8,0615	9,4787	125,19	0,3130	400
0,4	10,4837	12,347	14,5112	159,78	0,3897	410
0,5	14,8656	17,6591	21,0221	188,14	0,4501	418
0,6	19,7514	23,5665	28,0473	210,91	0,4998	422
0,7	24,6531	29,4984	34,7745	228,60	0,5366	426

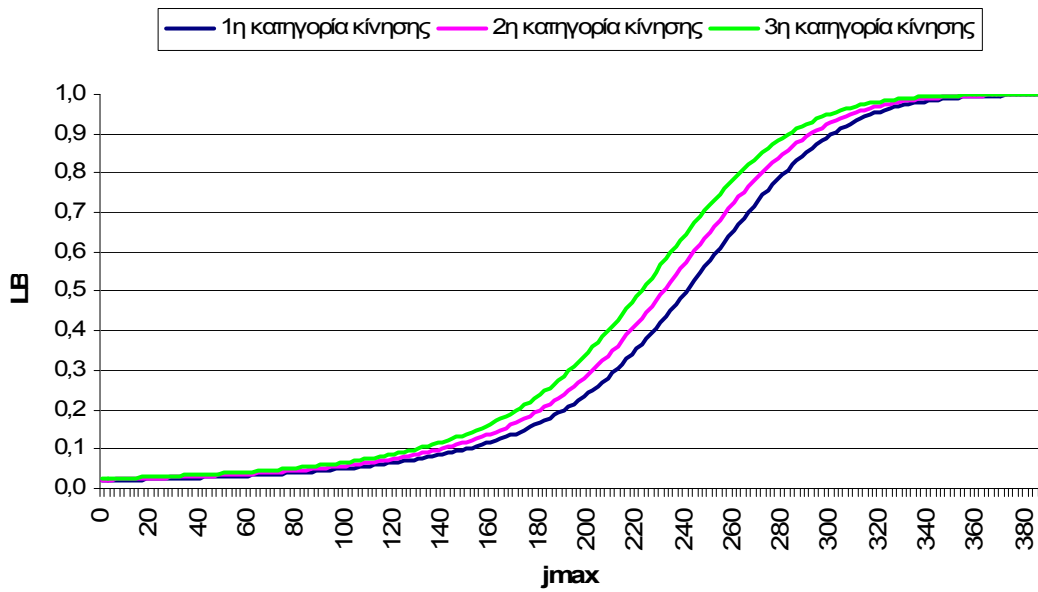
Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.3 παραδείγματος



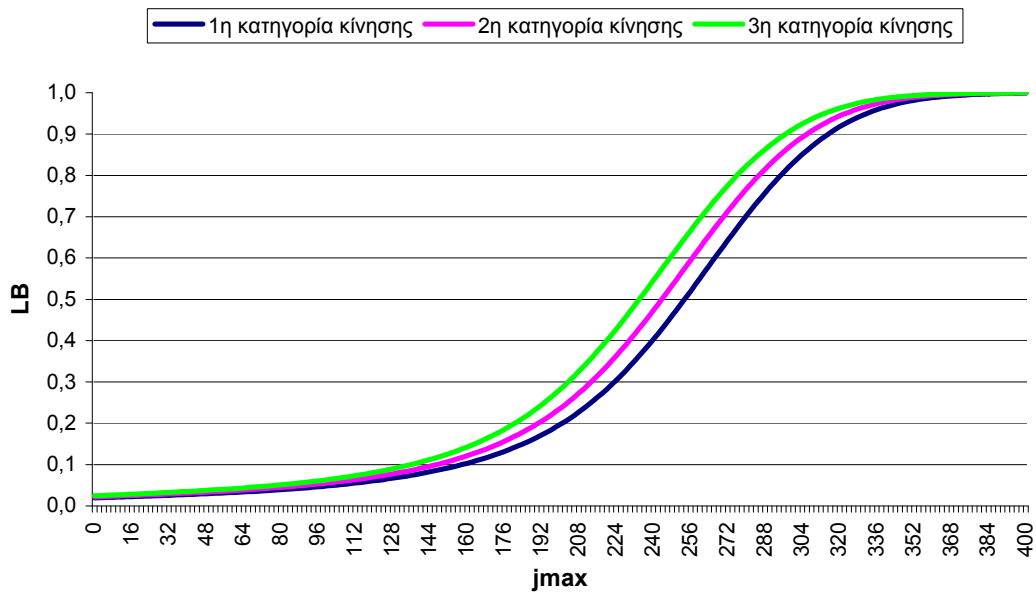
Σχήμα 3.3.24: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.3 παράδειγμα).



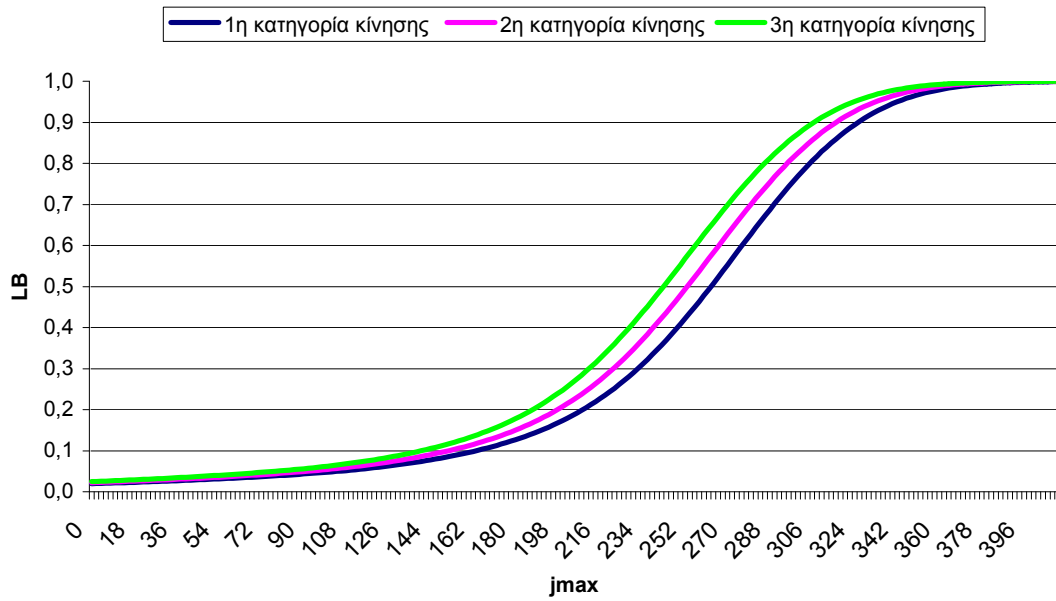
Σχήμα 3.3.25: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.3 παράδειγμα).



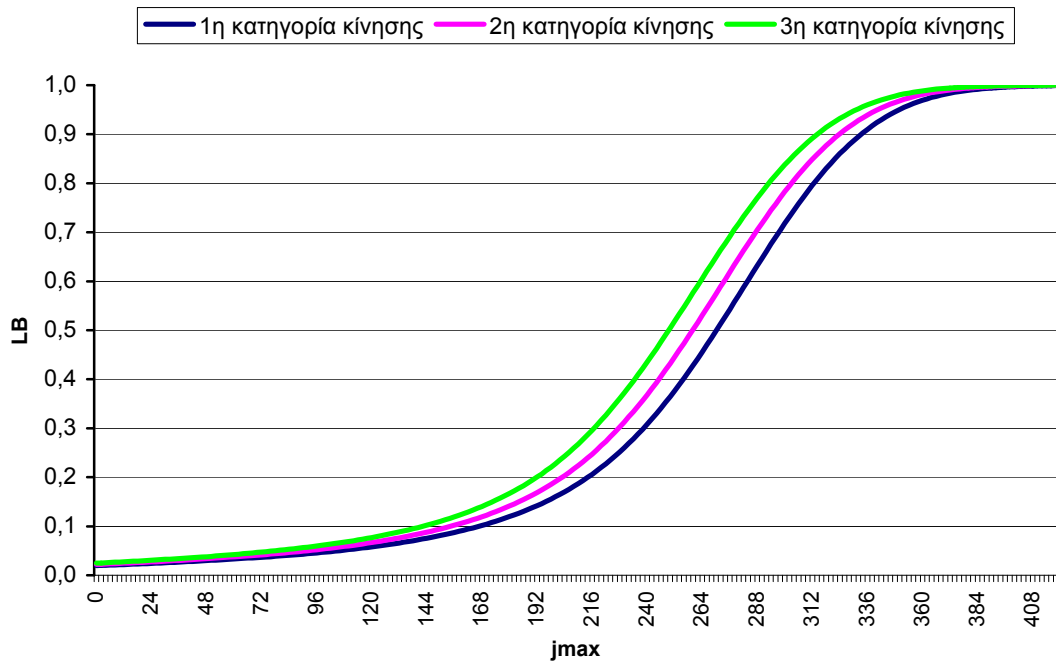
Σχήμα 3.3.26: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.3 παράδειγμα).



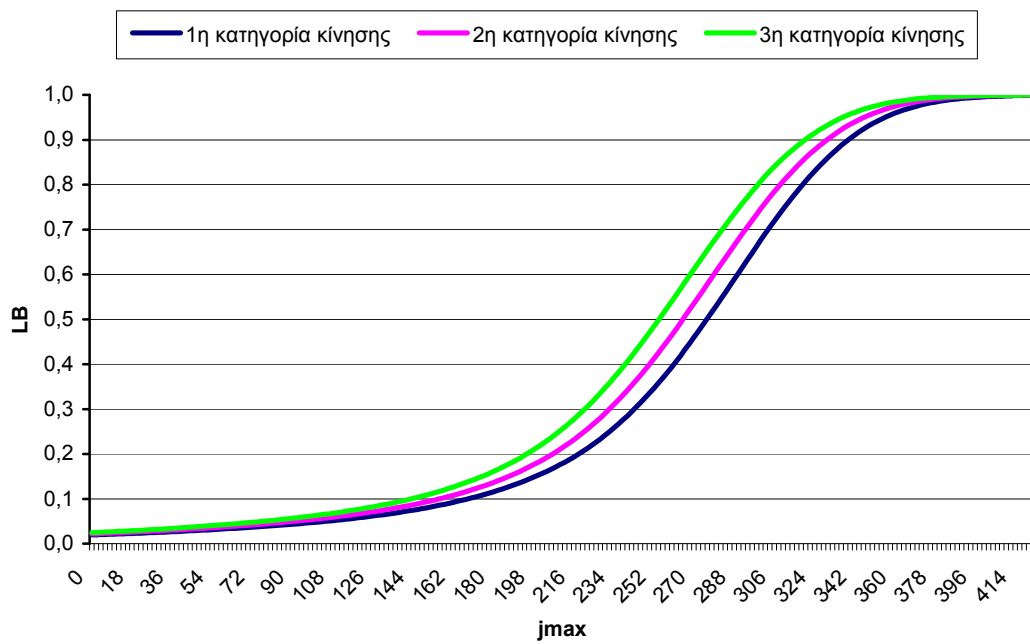
Σχήμα 3.3.27: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.3 παράδειγμα).



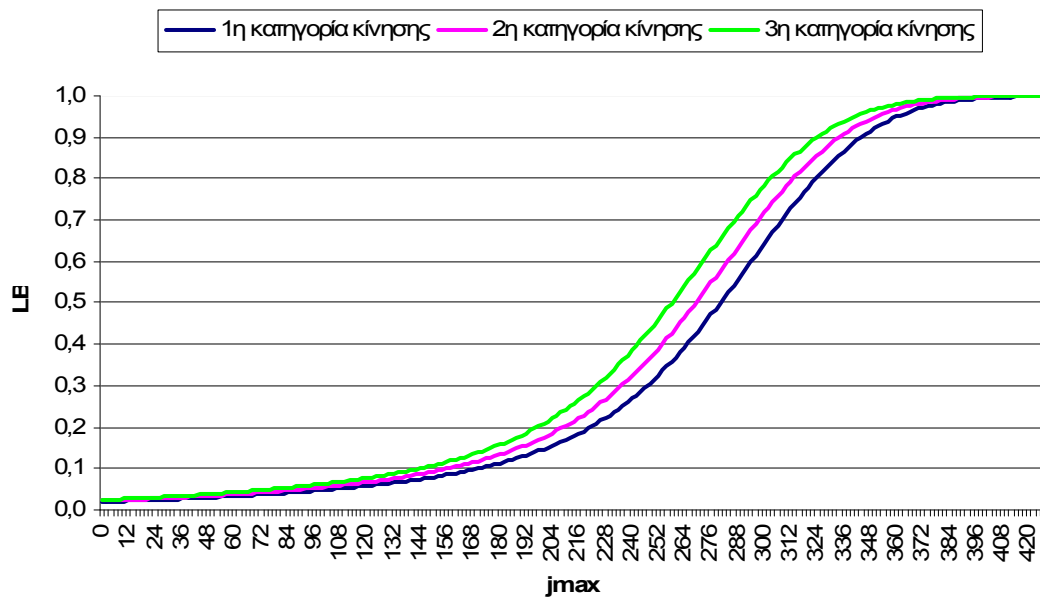
Σχήμα 3.3.28: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.3 παράδειγμα).



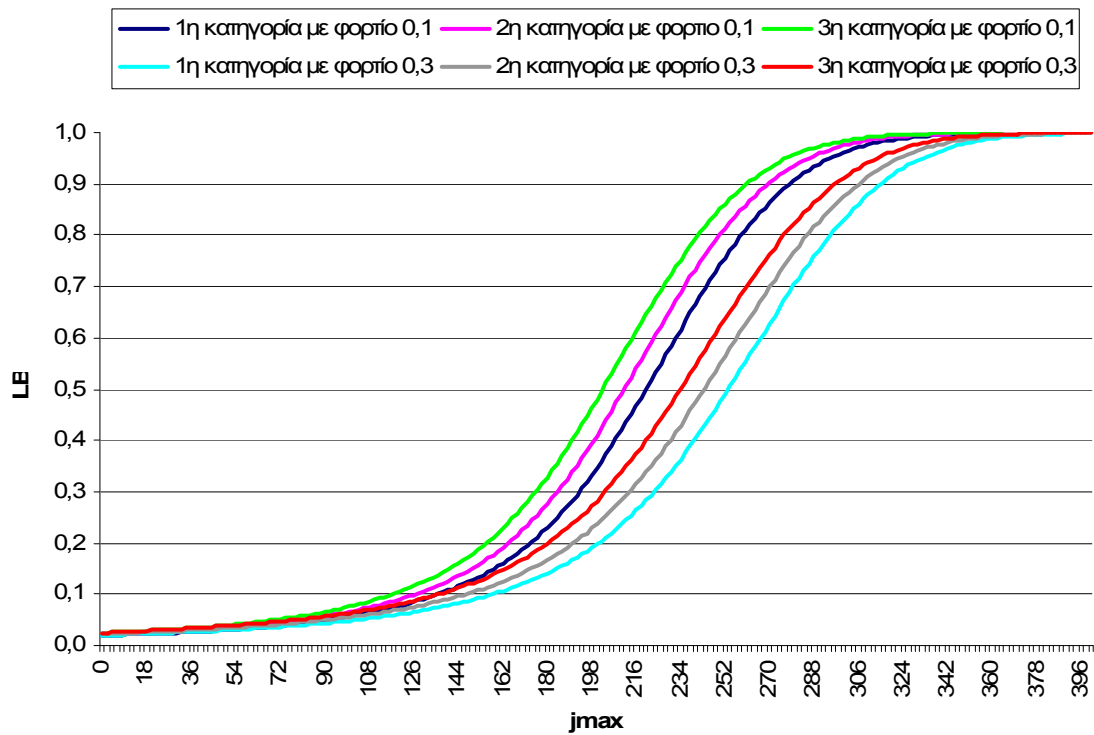
Σχήμα 3.3.29: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.3 παράδειγμα).



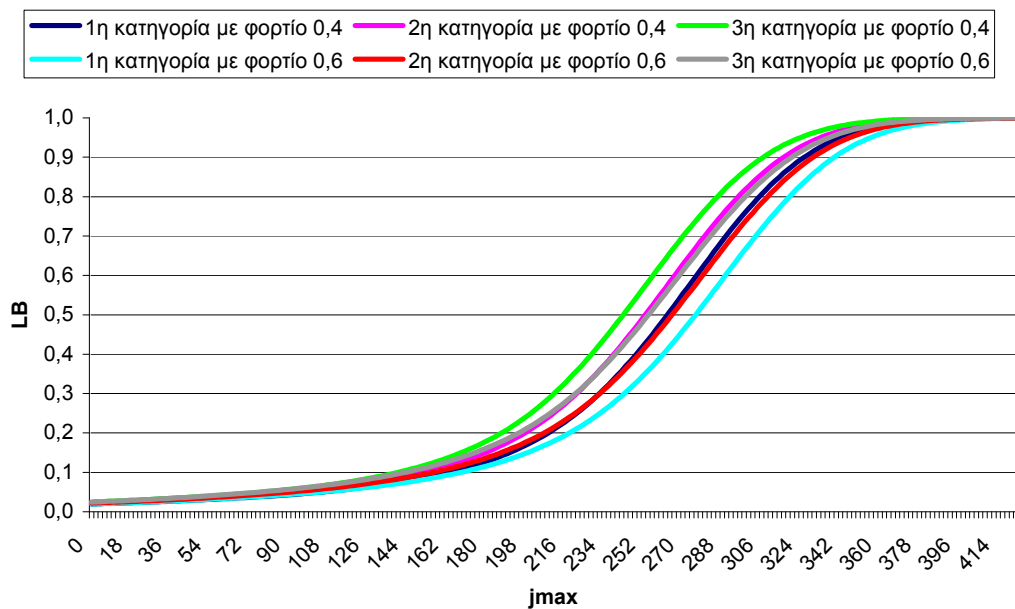
Σχήμα 3.3.30: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{owh}=0,6$ (3.3 παράδειγμα).



Σχήμα 3.3.31: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{owh}=0,7$ (3.3 παράδειγμα).



Σχήμα 3.3.32: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.3 παράδειγμα).



Σχήμα 3.3.33: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.3 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Σε σύγκριση με το πρώτο παράδειγμα βλέπουμε ότι ο διπλασιασμός της μέσης τιμής της παρεμβολής των άλλων κυψελών φέρνει πιθανότητες τοπικής απώλειας της τάξεως των 20% και πάνω, ακόμα και όταν το own-cell load είναι 0 [4].
- ✓ Επίσης η αύξηση αυτή φέρνει μεταβολές και στο διάγραμμα των πιθανοτήτων τοπικής απώλειας. Οι καμπύλες για παρεμβολή με $E[I_{other}] = 4 \times 10^{-18} mW$ είναι ψηλότερες από αυτές με $E[I_{other}] = 2 \times 10^{-18} mW$ δηλαδή έχουμε αυξημένα ποσοστά στις πιθανότητες τοπικής απώλειας. (Σχήμα 3.3.24)
- ✓ Ως συνέπεια αυτών βλέπουμε ότι έχουμε μια αισθητή πτώση του μέγιστου αριθμού κατειλημμένων γραμμών στο σύστημα. Αναμενόμενο γιατί κάθε δίκτυο WCDMA λόγω της τεχνικής CDMA που χρησιμοποιεί είναι ένα interference limited δίκτυο. Δηλαδή η χωρητικότητα περιορίζεται κυρίως από τη συνολική παρεμβολή πολλαπλής προσπέλασης που παράγεται από τους χρήστες του δικτύου. (Πίνακας 5)

3.4 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε το παράδειγμα 3.2 διπλασιάζοντας τη μέση τιμή παρεμβολής των γειτονικών κυψελών δηλαδή $E[I_{other}] = 4 \cdot 10^{-18} mW$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και του φορτίου κίνησης και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι ίδιες με το παράδειγμα 3.3.

Στον Πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 8 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.4.34 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 7. Στα σχήματα (3.4.35–3.4.41) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.4.35) σε 0,7 (σχήμα 3.4.41).

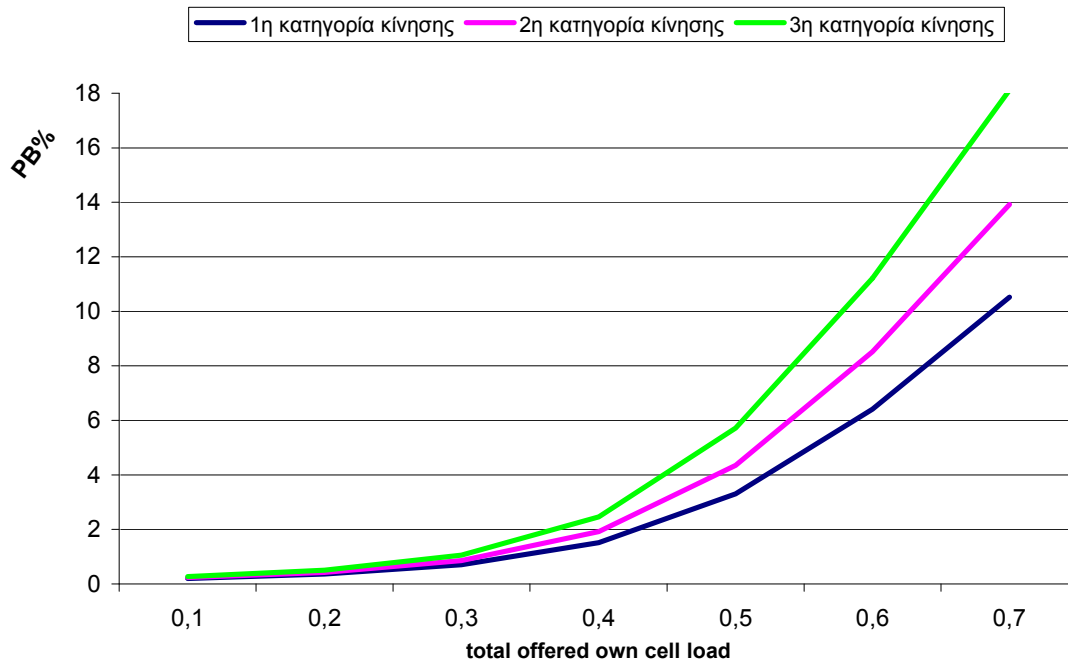
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,2010	0,2338	0,2719	0,1079	418
0,2	0,3591	0,4261	0,5061	0,2029	444
0,3	0,7005	0,8565	1,0509	0,2912	462
0,4	1,5095	1,9241	2,4631	0,3747	474
0,5	3,3061	4,3533	5,7214	0,4483	484
0,6	6,4100	8,5245	11,2186	0,5102	490
0,7	10,5220	13,9269	18,1193	0,5563	496

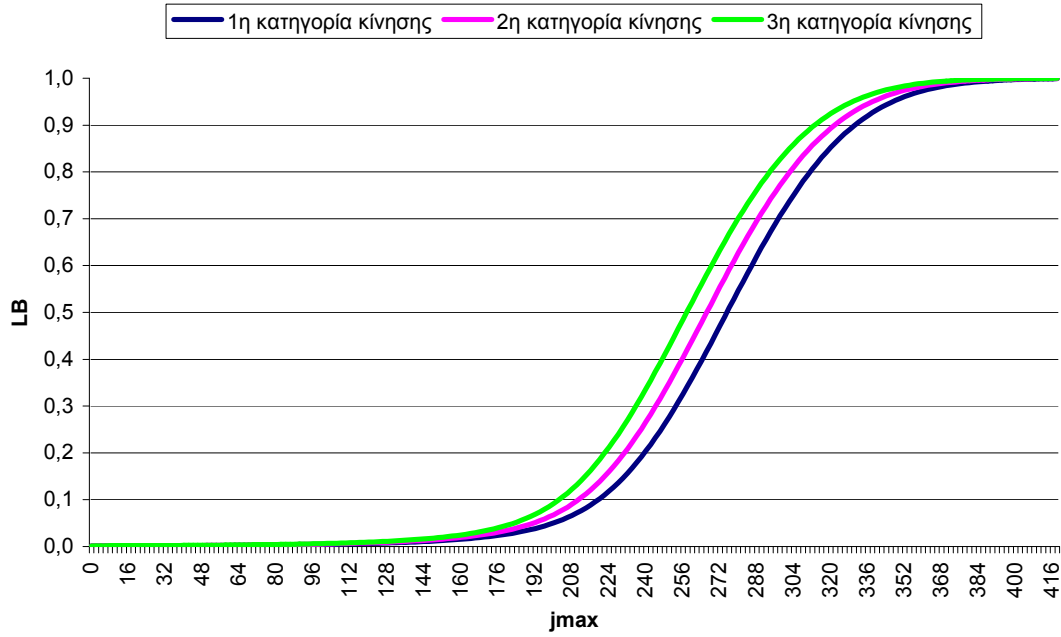
Πίνακας 7: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.4 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,2014	0,2282	0,2668	45,13	0,1080	418
0,2	0,3578	0,4218	0,4849	90,03	0,2028	444
0,3	0,6971	0,8560	1,0327	134,63	0,2914	462
0,4	1,4946	1,9090	2,4217	177,66	0,3748	474
0,5	3,2546	4,3022	5,7183	217,17	0,4487	484
0,6	6,3345	8,4632	11,2053	250,09	0,5104	490
0,7	10,4645	13,9568	18,2696	275,84	0,5561	496

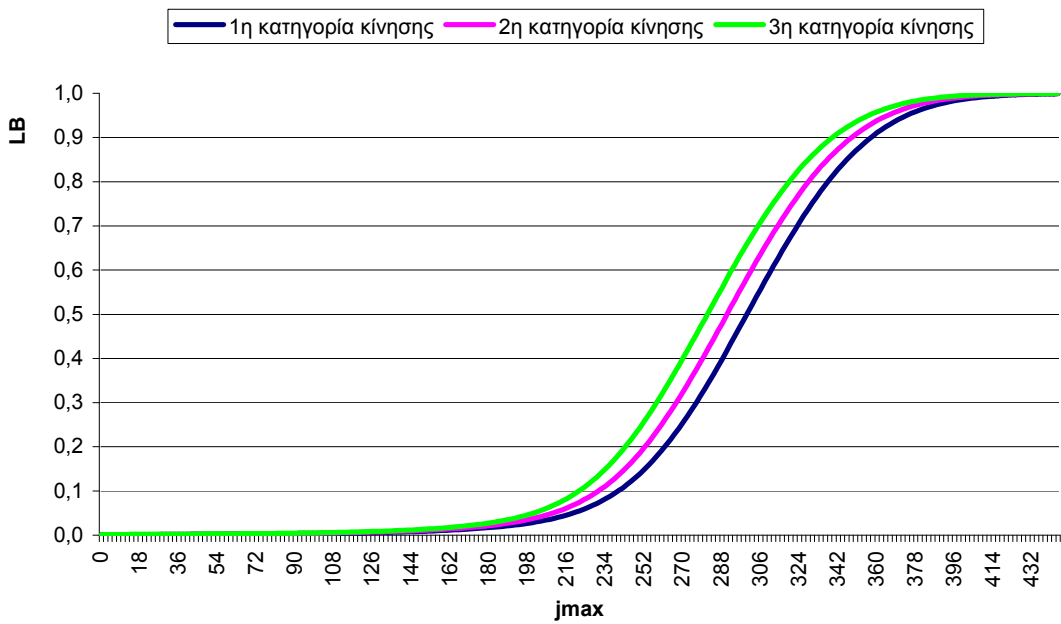
Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.4 παραδείγματος



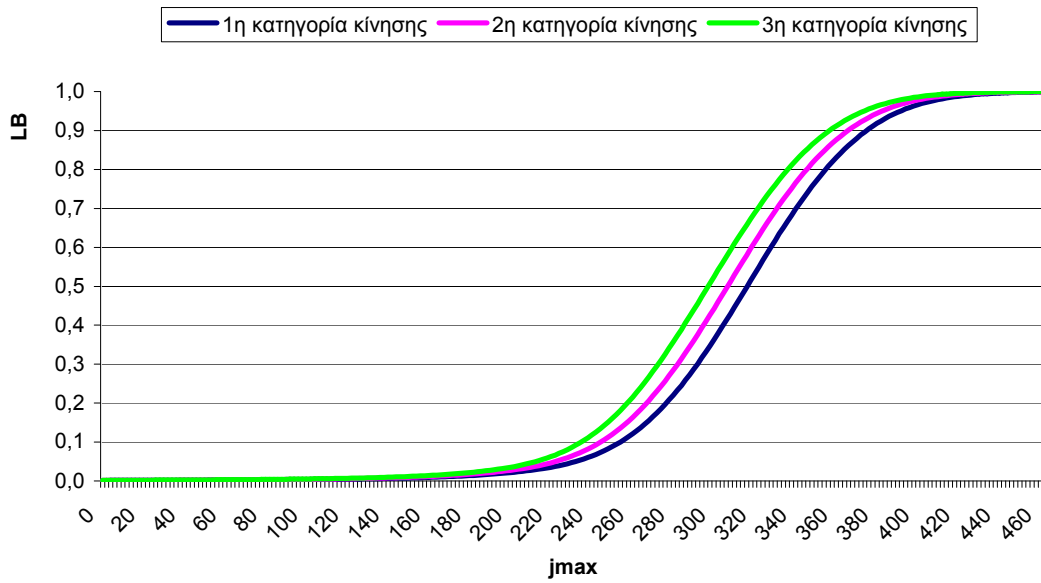
Σχήμα 3.4.34: Πιθανότητες απόλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.4 παράδειγμα).



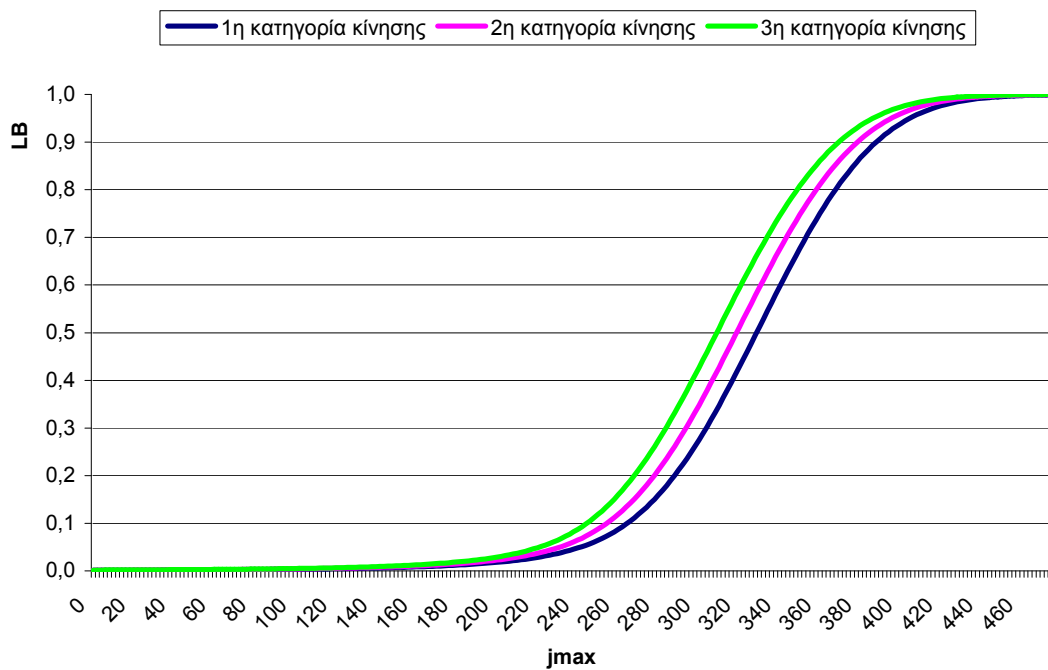
Σχήμα 3.4.35: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.4 παράδειγμα).



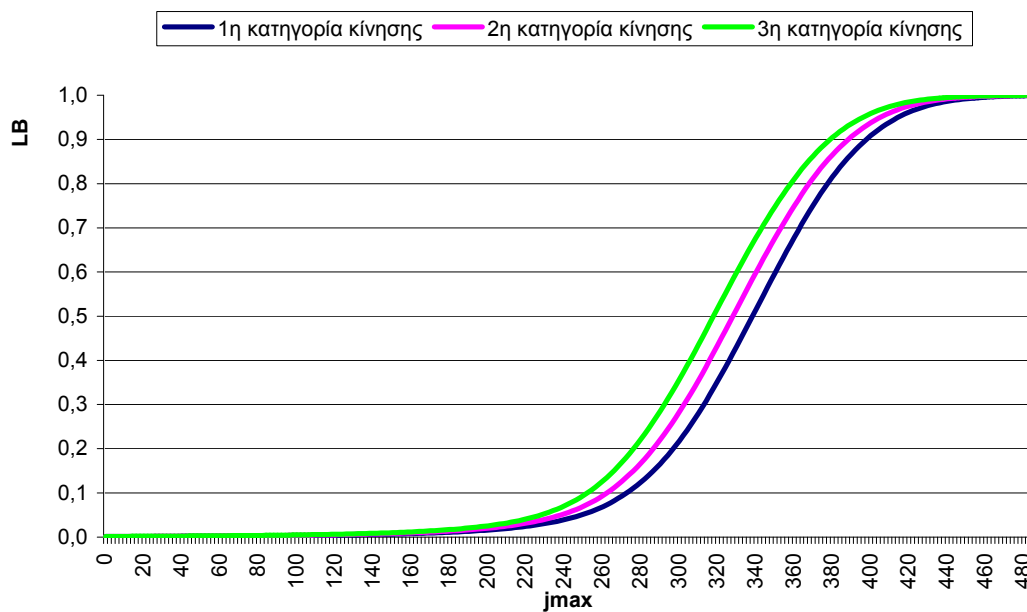
Σχήμα 3.4.36: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.4 παράδειγμα).



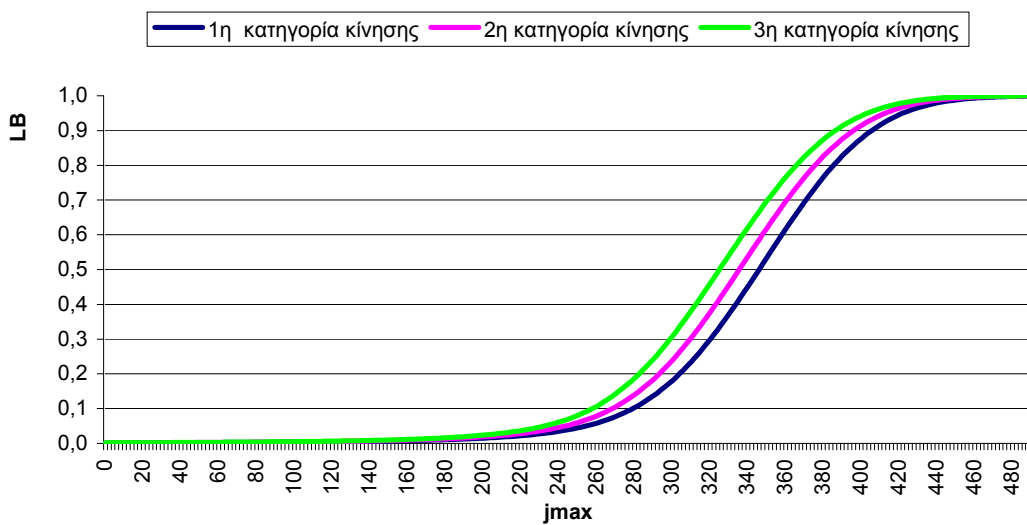
Σχήμα 3.4.37: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.4 παράδειγμα).



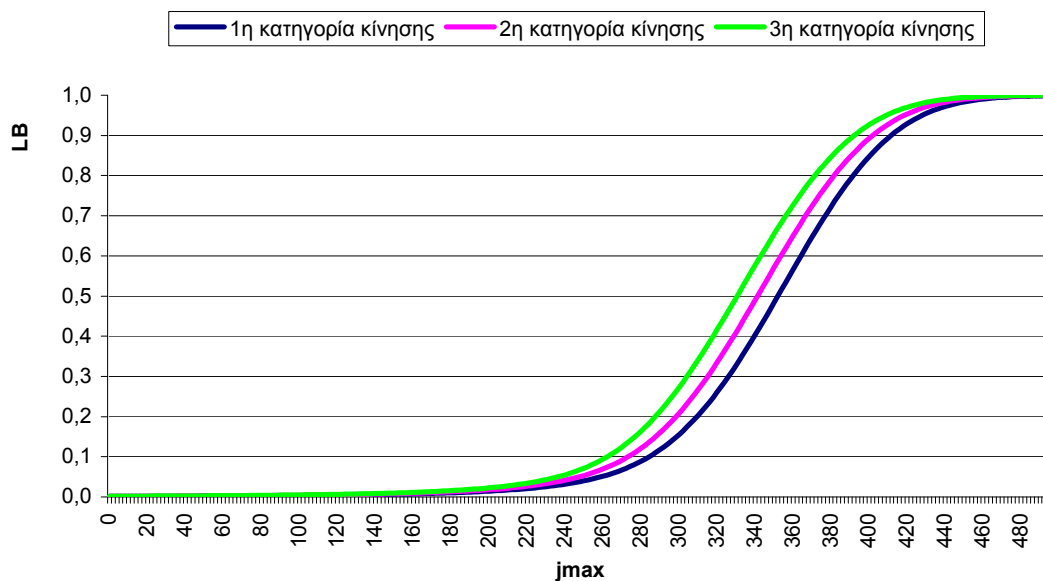
Σχήμα 3.4.38: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.4 παράδειγμα).



Σχήμα 3.4.39: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.4 παράδειγμα).



Σχήμα 3.4.40: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.4 παράδειγμα).



Σχήμα 3.4.41: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.4 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Εδώ παρατηρούμε πάλι την επίδραση που έχει η αύξηση του $E[I_{other}]$ στις πιθανότητες απώλειας η οποία όμως είναι λιγότερο έντονη από αυτή της περίπτωσης όταν το $n_{max}=0,8$. Βλέπουμε δηλαδή μια αύξηση στην πιθανότητα απώλειας της νέας κλήσης στο σύστημα η οποία μεγαλώνει περισσότερο με την αύξηση του προσφερόμενου φορτίου (Πίνακας 7)

3.5 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε πάλι το παράδειγμα 3.1 αλλάζοντας το παράγοντα δραστηριότητας της πρώτης κατηγορίας κίνησης σε $v_1=0,7$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και του φορτίου κίνησης και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι ίδιες με το παράδειγμα 3.3.

Υπενθυμίζουμε ότι ο παράγοντας δραστηριότητας (activity factor) ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου κλήσης που η πηγή παράγει δεδομένα προς μετάδοση[1].

Στον Πίνακα 9 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 10 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος[8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.5.42 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 9. Στα σχήματα (3.5.43–3.5.49) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.5.43) σε 0,7 (σχήμα 3.5.49). Τέλος τα σχήματα 3.5.50 και 3.5.51 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής

απώλειας κλήσεων όταν $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (σχήμα 3.5.50) και $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (σχήμα 3.5.51).

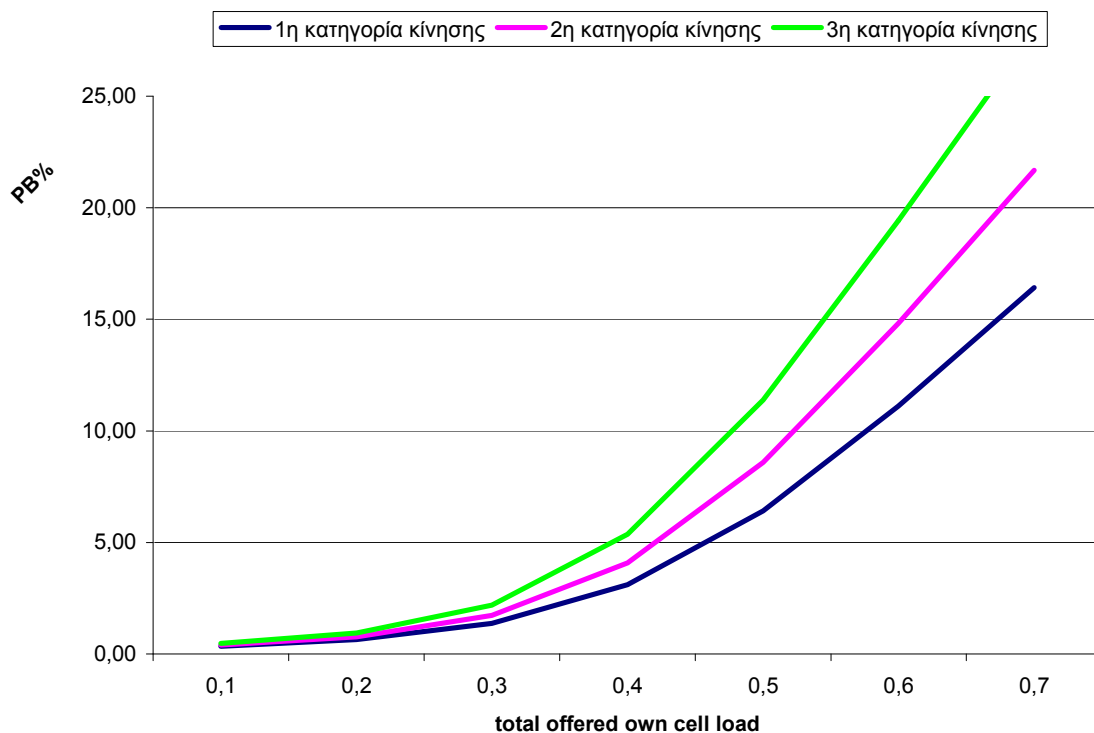
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,3365	0,3973	0,4694	0,1008	368
0,2	0,6435	0,7739	0,9476	0,1925	384
0,3	1,3690	1,7278	2,1921	0,2802	392
0,4	3,1031	4,0811	5,3721	0,3632	394
0,5	6,4186	8,5881	11,3883	0,4315	396
0,6	11,1060	14,8180	19,4256	0,4843	396
0,7	16,4253	21,6710	27,9230	0,5246	394

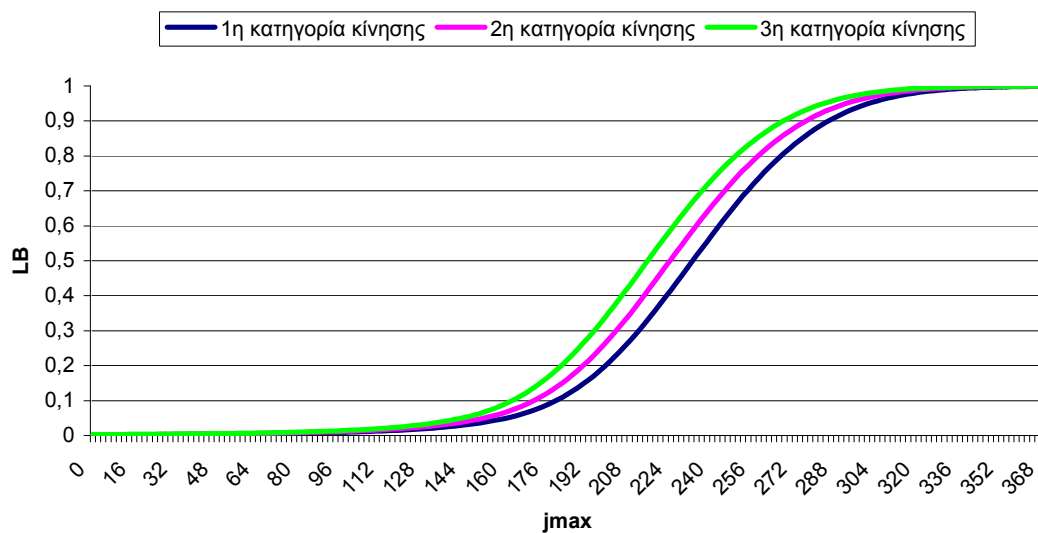
Πίνακας 9: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.5 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,3365	0,3968	0,4584	37,09	0,1001	368
0,2	0,6410	0,7762	0,9384	73,92	0,1925	384
0,3	1,3563	1,7036	2,1403	109,86	0,2803	392
0,4	3,0348	4,0000	5,2757	143,28	0,3636	394
0,5	6,1814	8,3085	11,1290	171,34	0,4327	396
0,6	10,6116	14,3090	18,8857	192,90	0,4871	396
0,7	15,7153	20,9359	27,1721	208,64	0,5296	394

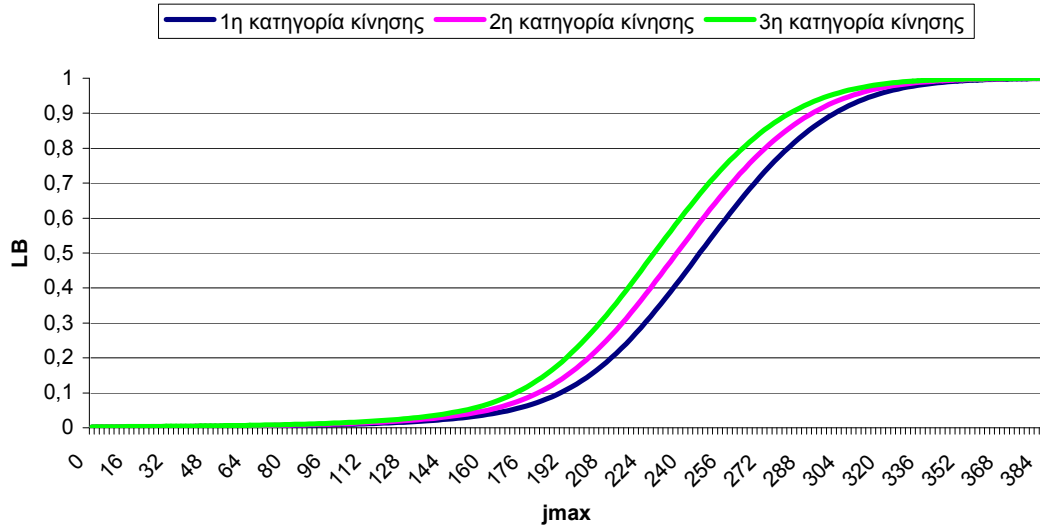
Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.5 παραδείγματος



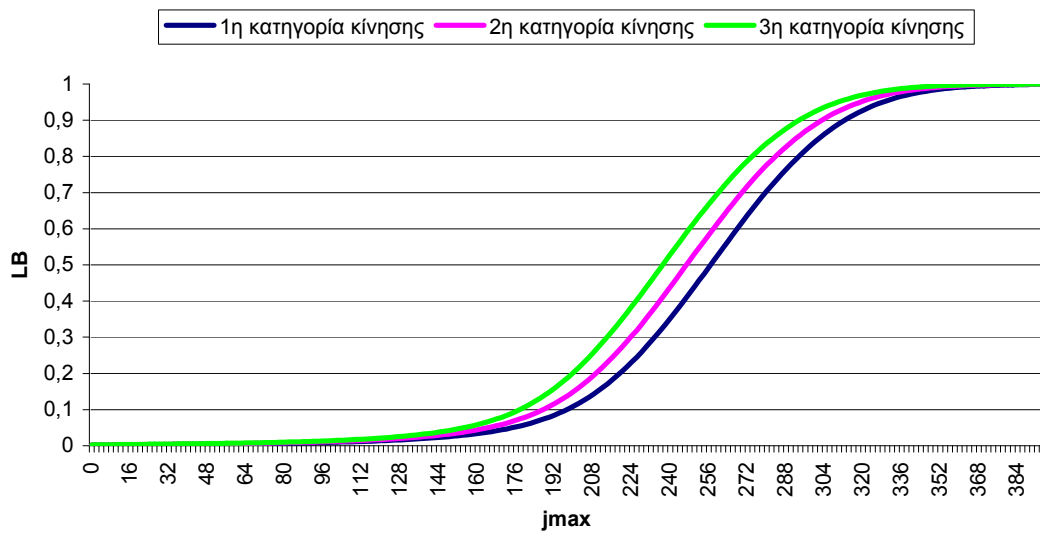
Σχήμα 3.5.42: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.5 παράδειγμα).



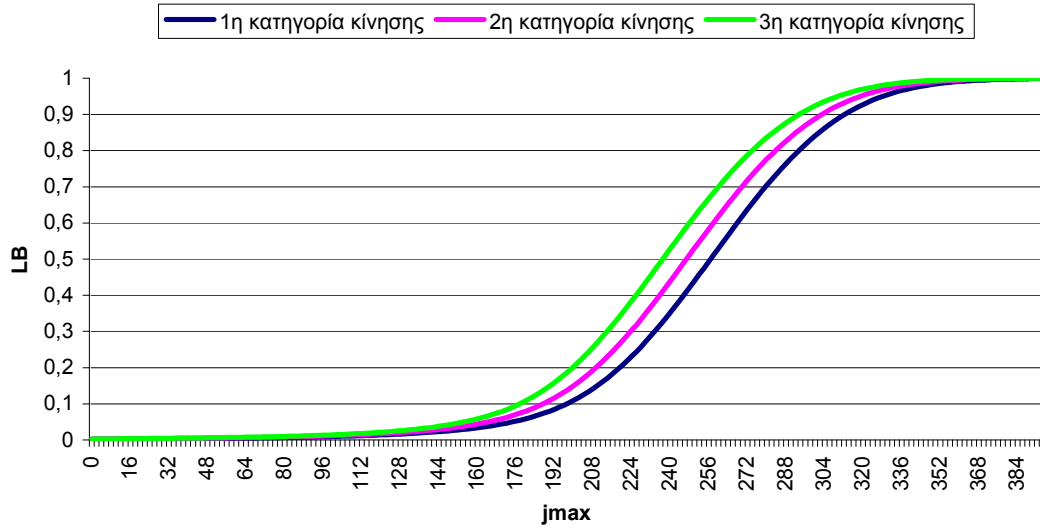
Σχήμα 3.5.43: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.5 παράδειγμα).



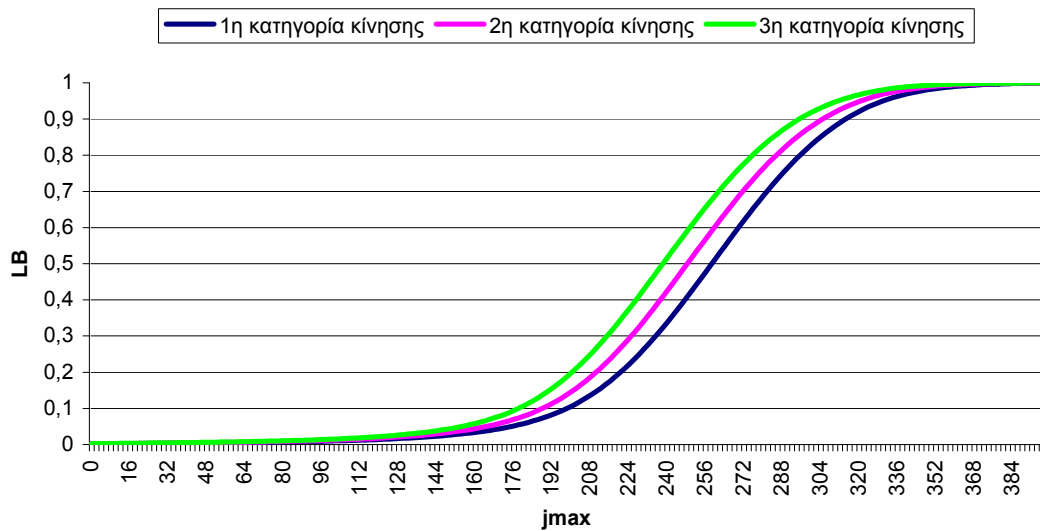
Σχήμα 3.5.44: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.5 παράδειγμα).



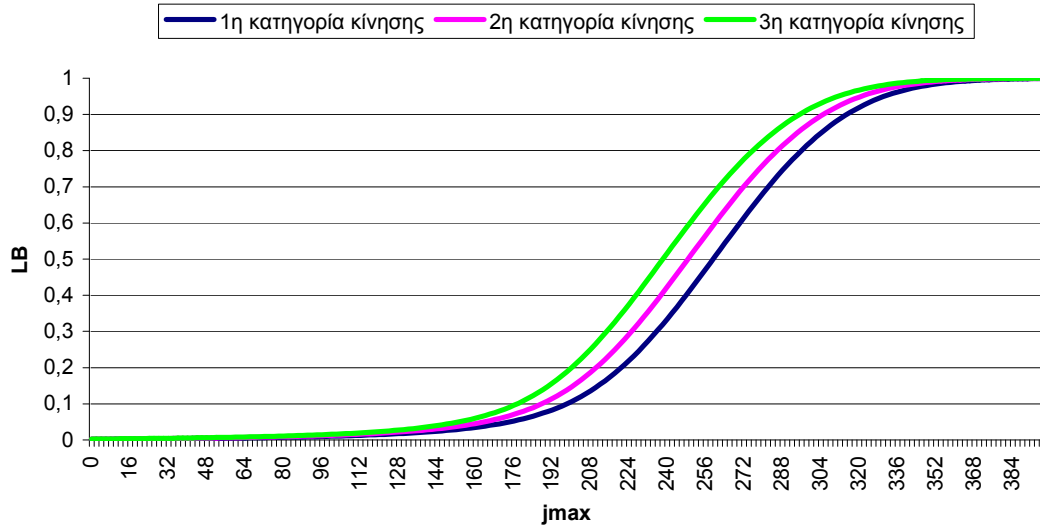
Σχήμα 3.5.45: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.5 παράδειγμα).



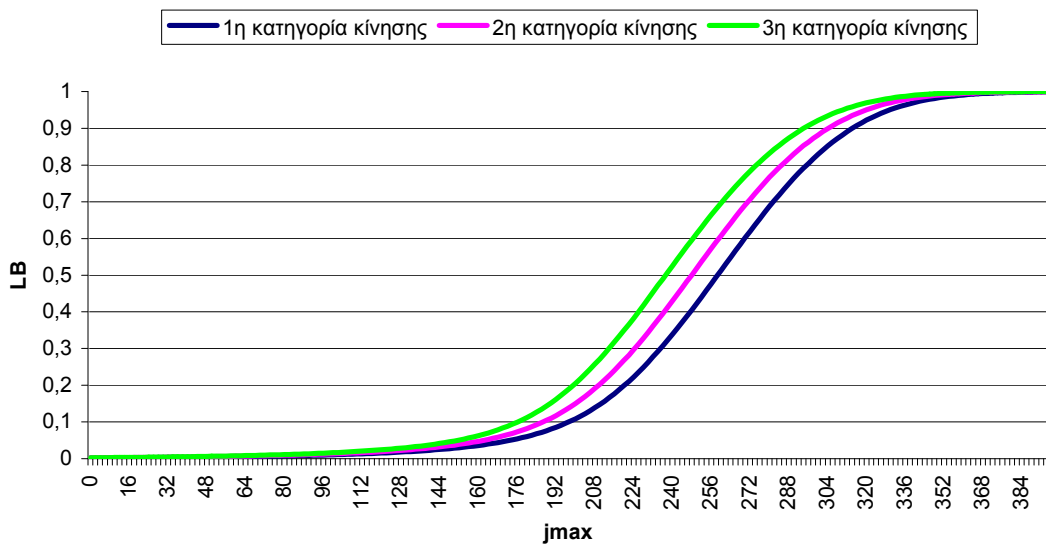
Σχήμα 3.5.46: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.5 παράδειγμα).



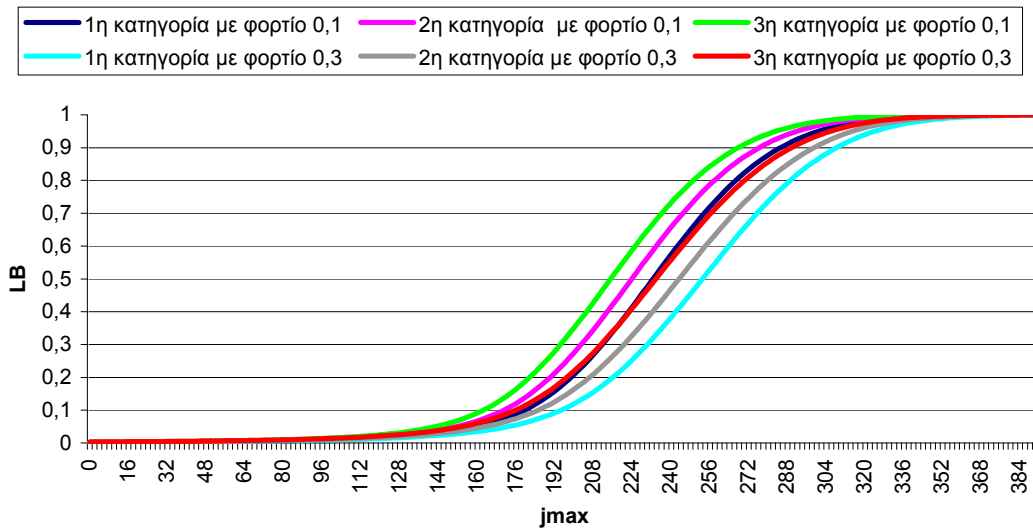
Σχήμα 3.5.47: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.5 παράδειγμα).



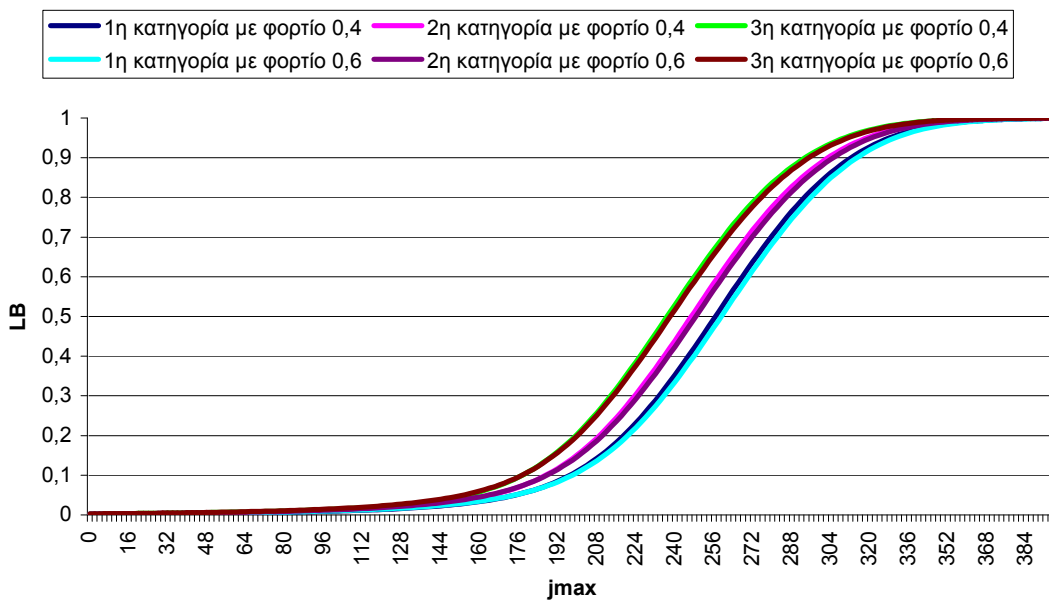
Σχήμα 3.5.48: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.5 παράδειγμα).



Σχήμα 3.5.49: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.5 παράδειγμα).



Σχήμα 3.5.50: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.5 παράδειγμα).



Σχήμα 3.5.51: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.5 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης στο σύστημα σε σχέση με το πρώτο παράδειγμα παραμένει η ίδια και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης με μια πολύ μικρή άνοδο όταν το n_{own} παίρνει τις δυο μεγαλύτερες τιμές του 0,6 και 0,7. (Πίνακας 1, Πίνακας 9 και σχήμα 3.1.4 σχήμα 3.5.42)
- ✓ Έχουμε όμως αισθητή πτώση της τιμής του j_{max} , της μέγιστης τιμής του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας

3.6 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε πάλι το παράδειγμα 3.2 αλλάζοντας το παράγοντα δραστηριότητας της πρώτης κατηγορίας κίνησης σε $v_1 = 0,7$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και του φορτίου κίνησης και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι ίδιες με το παράδειγμα 3.3.

Στον Πίνακα 11 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 12 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.6.52 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 11. Στα σχήματα (3.6.53–3.6.59) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.6.53) σε 0,7 (σχήμα 3.6.59). Τέλος τα σχήματα 3.6.60 και 3.6.61 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής απώλειας κλήσεων όταν $n_{own}=0,1$ και 0,3 (σχήμα 3.6.60) και $n_{own}=0,4$ και 0,6 (σχήμα 3.6.61).

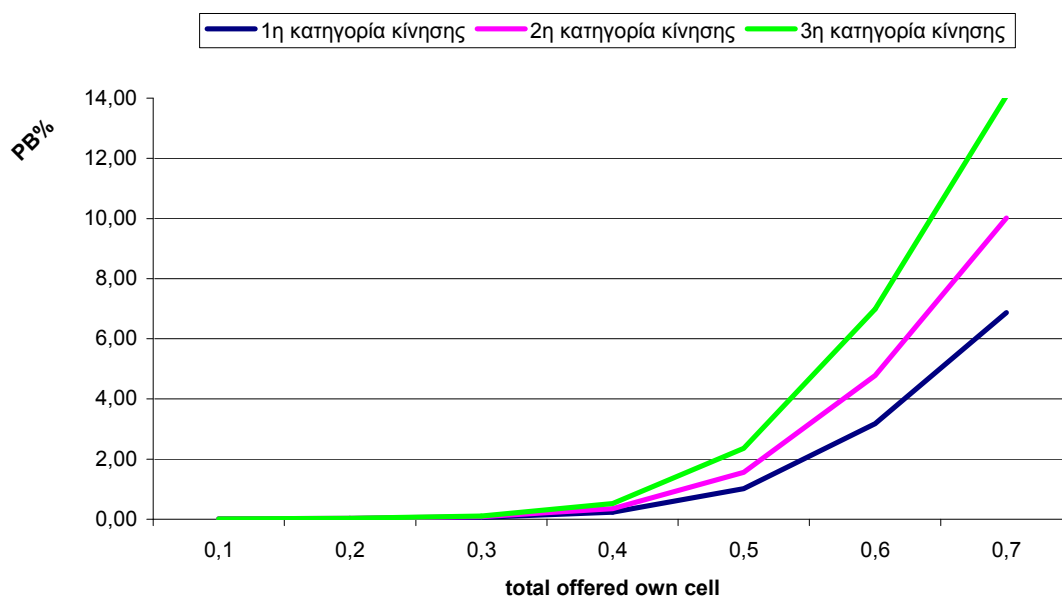
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,0106	0,0128	0,0155	0,0895	416
0,2	0,0228	0,0285	0,0357	0,1716	434
0,3	0,0601	0,0852	0,1092	0,2514	444
0,4	0,2332	0,3477	0,5208	0,3314	448
0,5	1,0150	1,5632	2,3625	0,4076	450
0,6	3,1765	4,7839	6,9841	0,4719	452
0,7	6,8714	10,0163	14,0722	0,5243	450

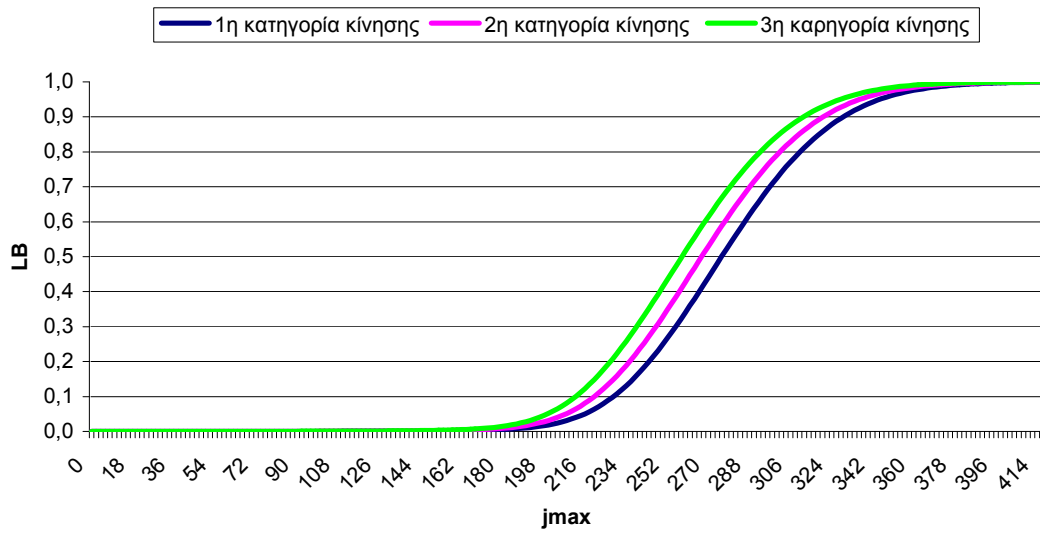
Πίνακας 11: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.6 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,0108	0,0127	0,0195	37,27	0,0896	416
0,2	0,0229	0,0292	0,0321	74,50	0,1717	434
0,3	0,0601	0,0843	0,1150	111,68	0,2515	444
0,4	0,2254	0,3444	0,5062	148,55	0,3316	448
0,5	0,9415	1,4646	2,2360	183,65	0,4081	450
0,6	2,9232	4,4936	6,6782	213,88	0,4732	452
0,7	6,3763	9,4945	13,6984	237,26	0,5272	450

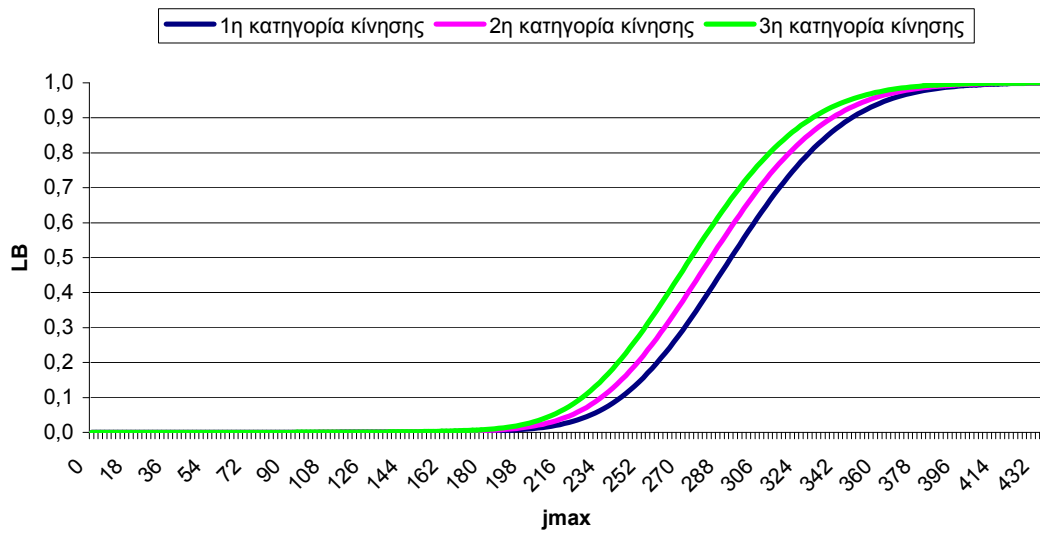
Πίνακας 12: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.6 παραδείγματος



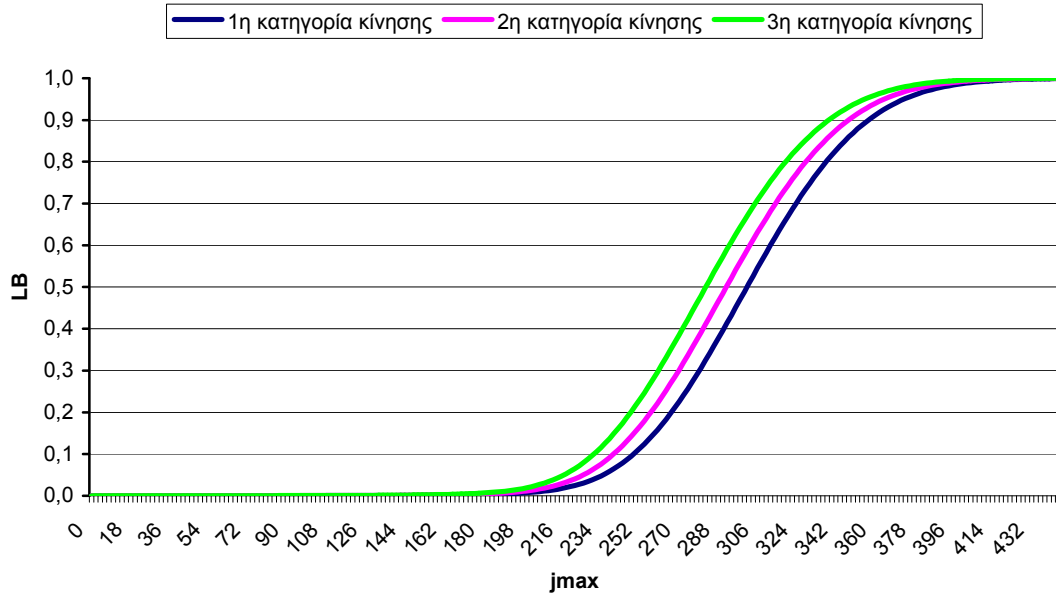
Σχήμα 3.6.52: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.6 παράδειγμα).



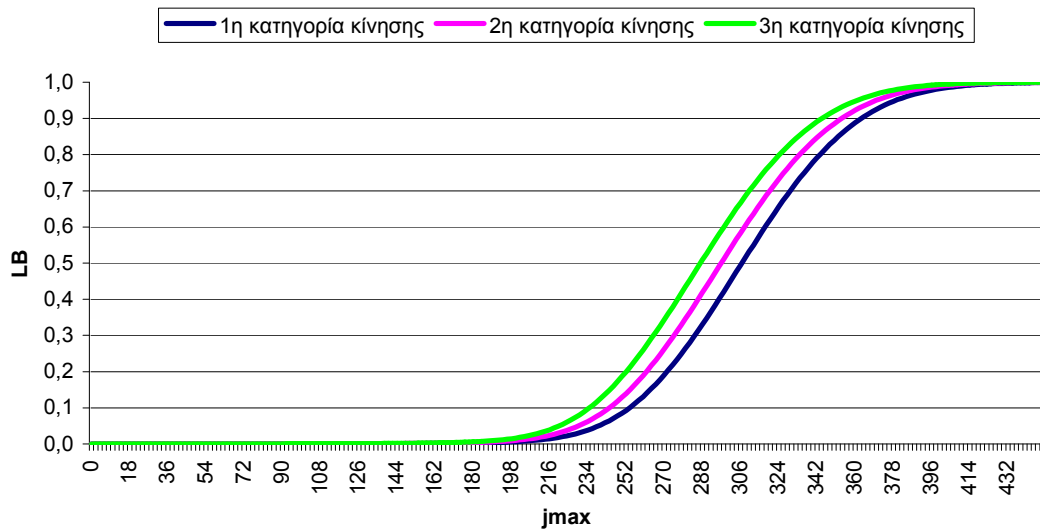
Σχήμα 3.6.53: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.6 παράδειγμα).



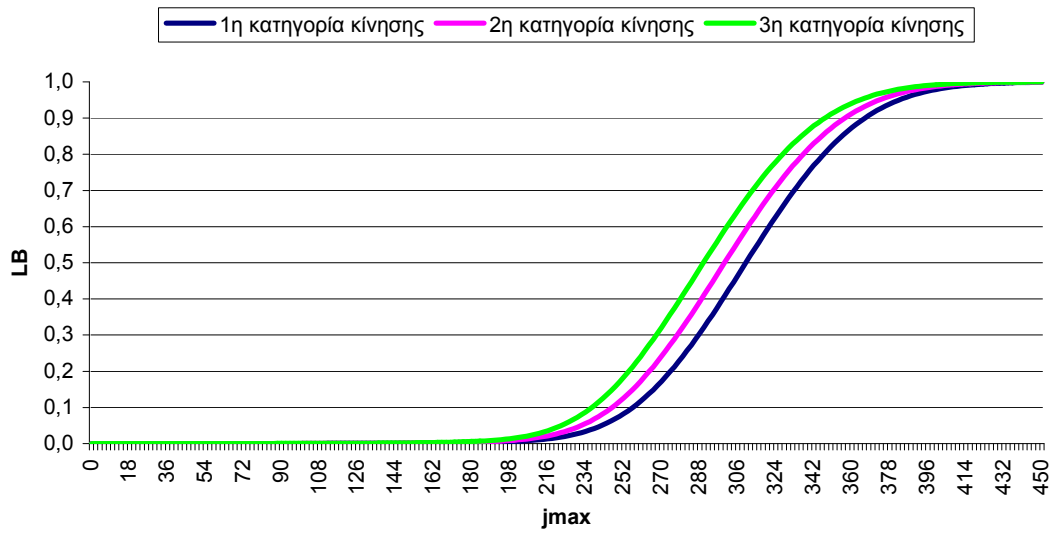
Σχήμα 3.6.54: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.6 παράδειγμα).



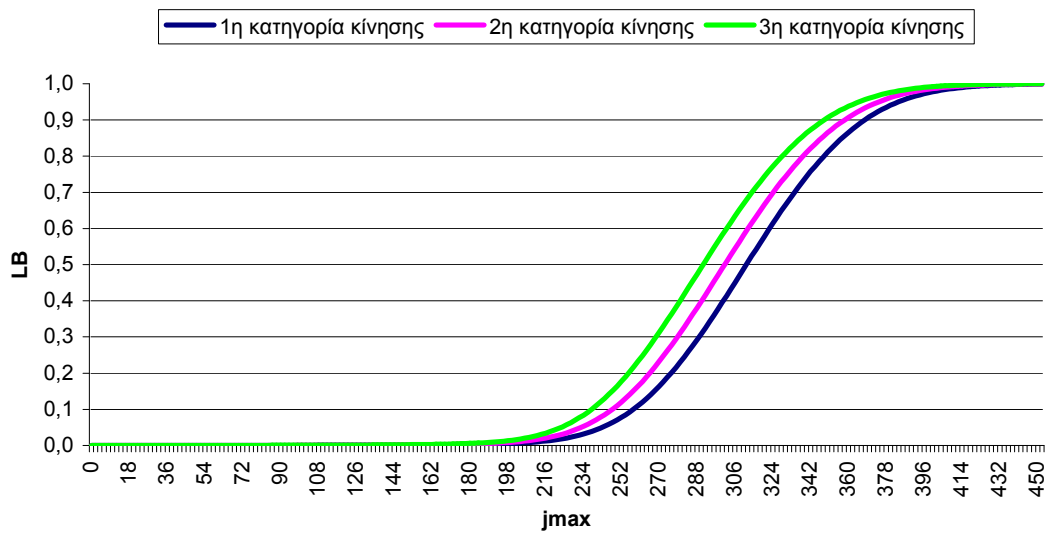
Σχήμα 3.6.55: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.6 παράδειγμα).



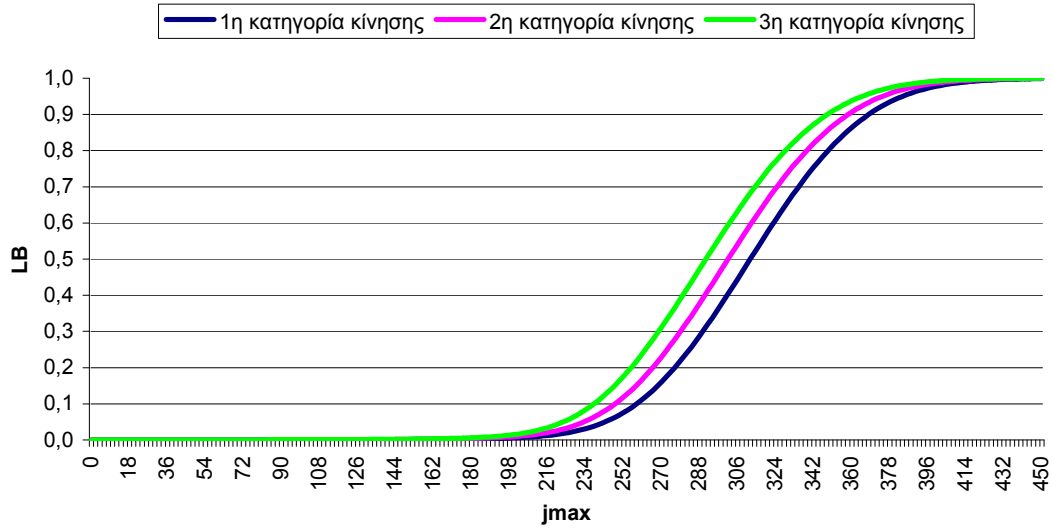
Σχήμα 3.6.56: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.6 παράδειγμα).



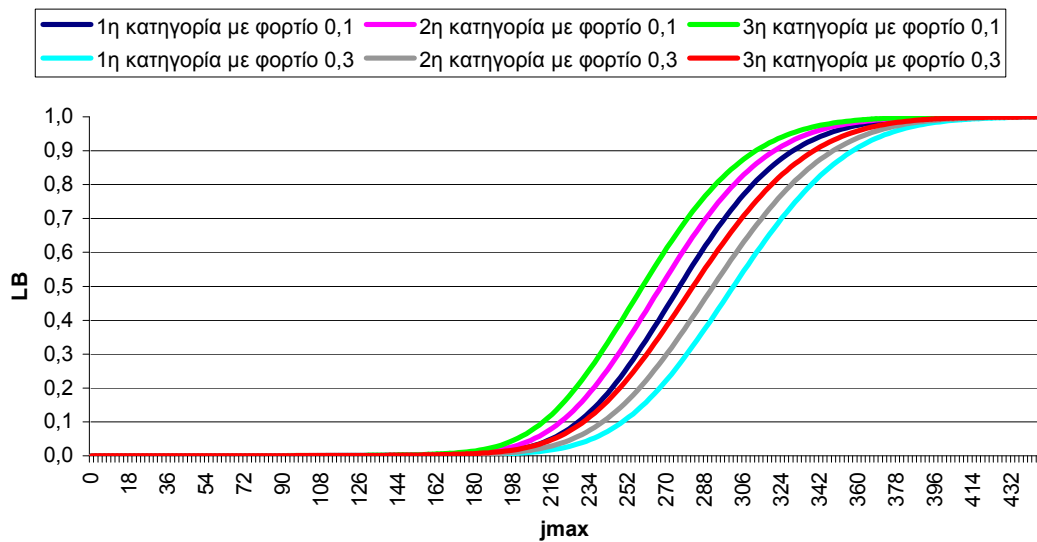
Σχήμα 3.6.57: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.6 παράδειγμα).



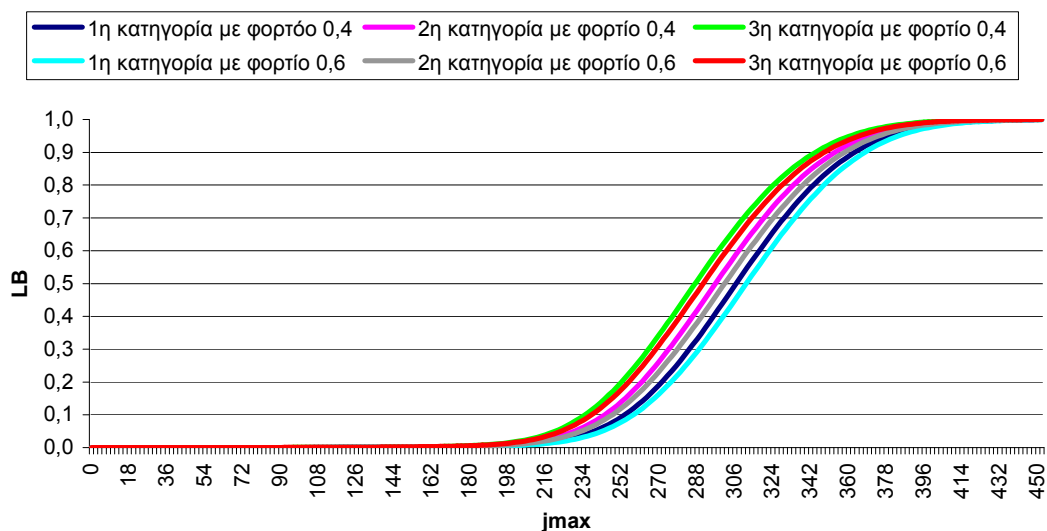
Σχήμα 3.6.58: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.6 παράδειγμα).



Σχήμα 3.6.59: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.6 παράδειγμα).



Σχήμα 3.6.60: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.6 παράδειγμα).



Σχήμα 3.6.61: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.6 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Συγκρίνοντας τις τιμές δεύτερου και έκτου παραδείγματος οι παρατηρήσεις μας είναι ίδιες με αυτές στο πέμπτο παράδειγμα, έχουμε δηλαδή αισθητή μείωση του j_{max} με την αύξηση της τιμής του v_1 (Πίνακας 11).

3.7 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε πάλι το τρίτο παράδειγμα αλλάζοντας το παράγοντα δραστηριότητας της πρώτης κατηγορίας κίνησης σε $v_1 = 0,7$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και του φορτίου κίνησης και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι ίδιες με το παράδειγμα 3.3.

Στον Πίνακα 13 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 14 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.7.62 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 13. Στα σχήματα (3.7.63–3.7.69) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.7.63) σε 0,7 (σχήμα 3.7.69). Τέλος τα σχήματα 3.7.70 και 3.7.71 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής απώλειας κλήσεων όταν $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (σχήμα 3.7.70) και $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (σχήμα 3.7.71).

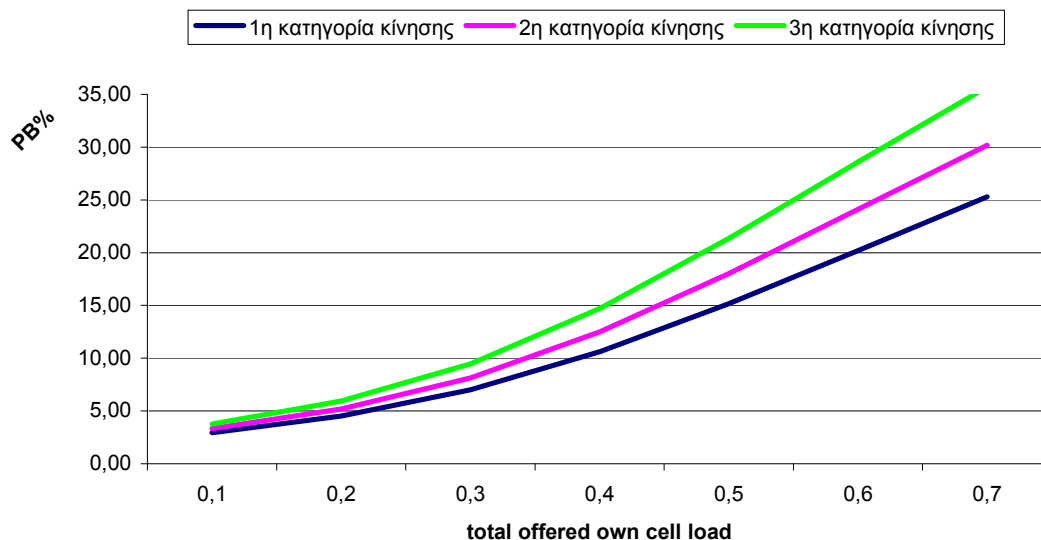
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	2,9482	3,3343	3,77	0,1023	352
0,2	4,5244	5,1817	5,9359	0,1932	366
0,3	7,007	8,1417	9,4656	0,2765	372
0,4	10,6019	12,4858	14,704	0,3481	376
0,5	15,1526	18,0075	21,3547	0,4087	376
0,6	20,2014	24,0989	28,6026	0,4554	376
0,7	25,2951	30,1699	35,6934	0,4907	376

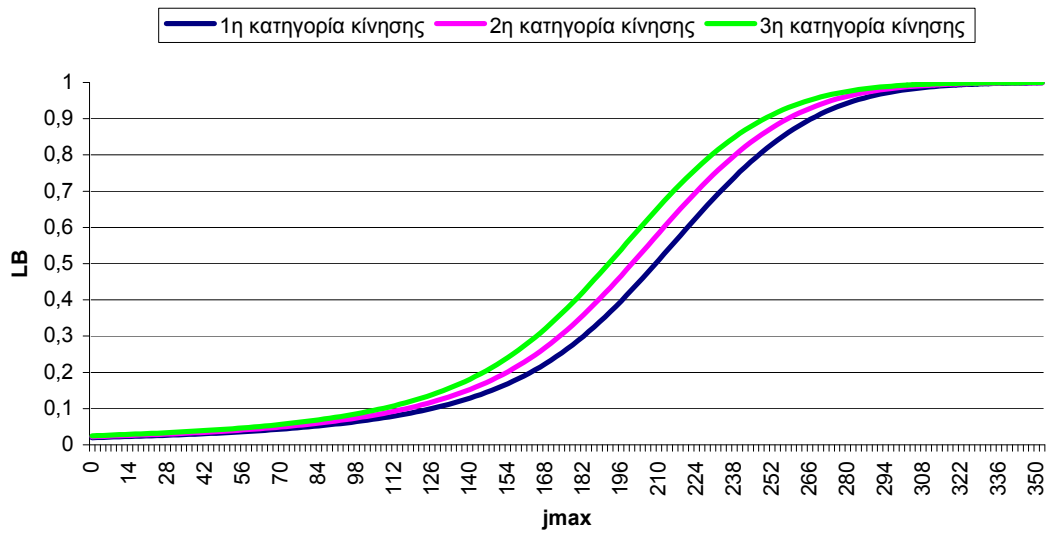
Πίνακας 13: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.7 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	2,9527	3,3551	3,8057	36,02	0,1024	352
0,2	4,5349	5,1978	5,9442	70,72	0,1932	366
0,3	6,9816	8,1124	9,4020	103,02	0,2769	372
0,4	10,4733	12,3432	14,5889	131,19	0,3489	376
0,5	14,8637	17,6539	21,0069	154,38	0,4106	376
0,6	19,6731	23,4693	27,9510	172,57	0,4590	376
0,7	24,5418	29,3103	34,8626	186,69	0,4965	376

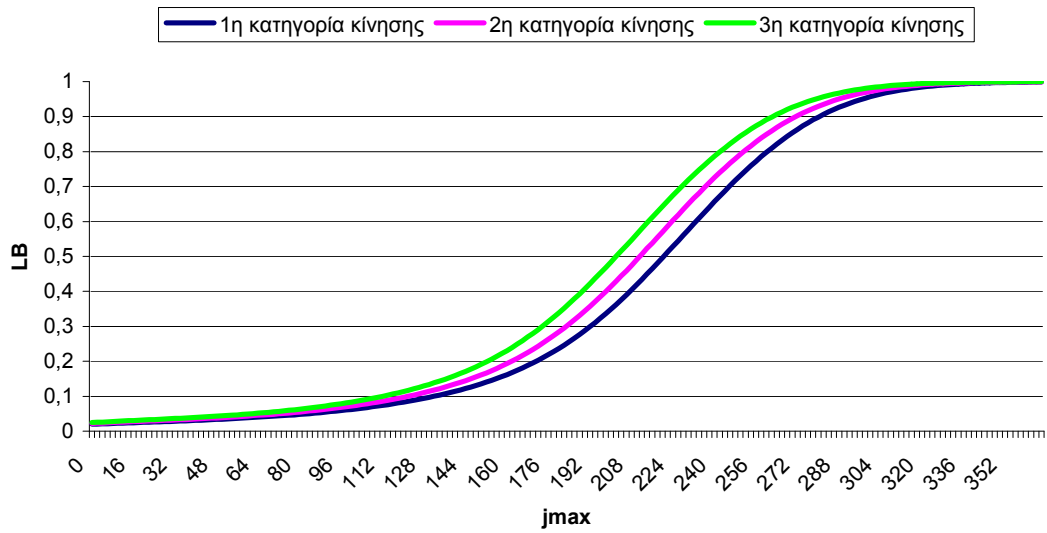
Πίνακας 14: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.7 παραδείγματος



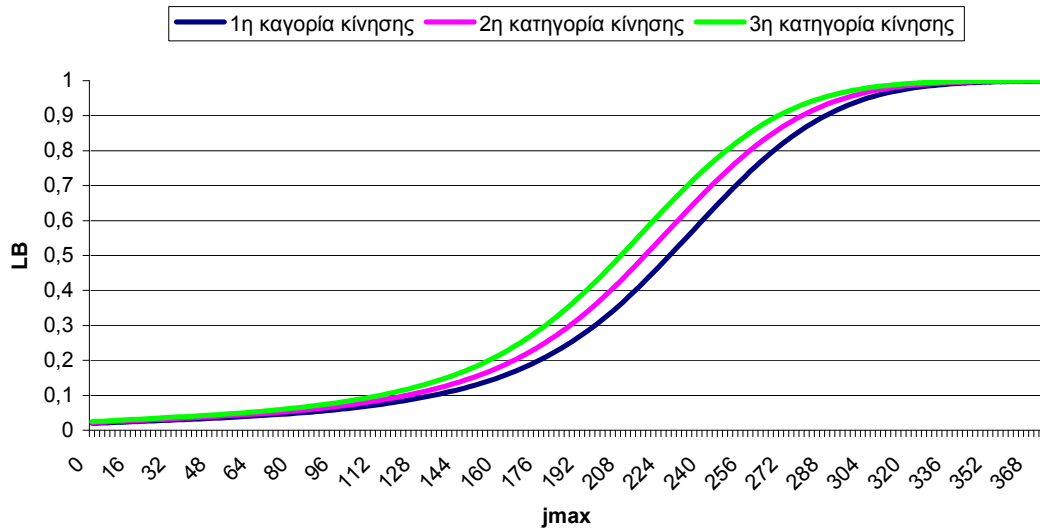
Σχήμα 3.7.62: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.7 παράδειγμα)



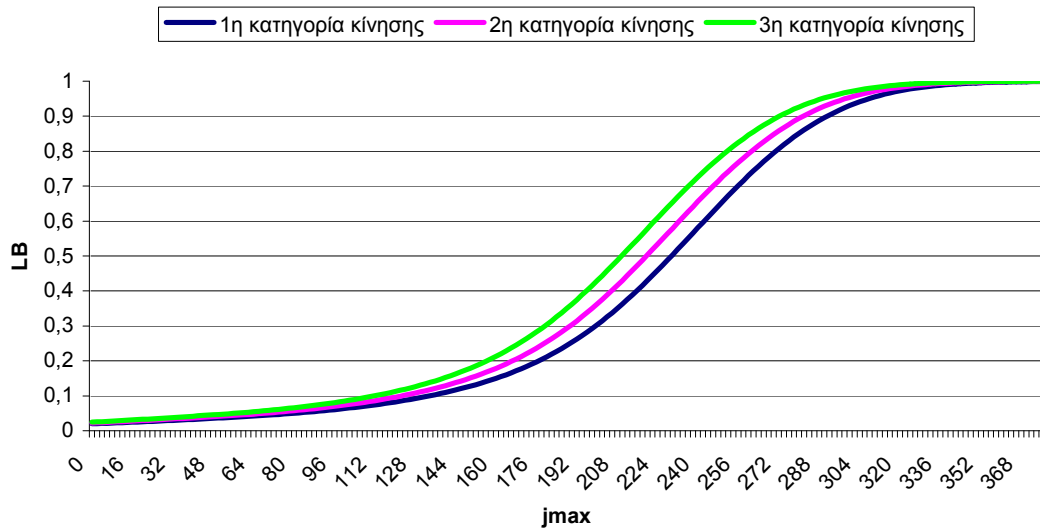
Σχήμα 3.7.63: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.7 παράδειγμα).



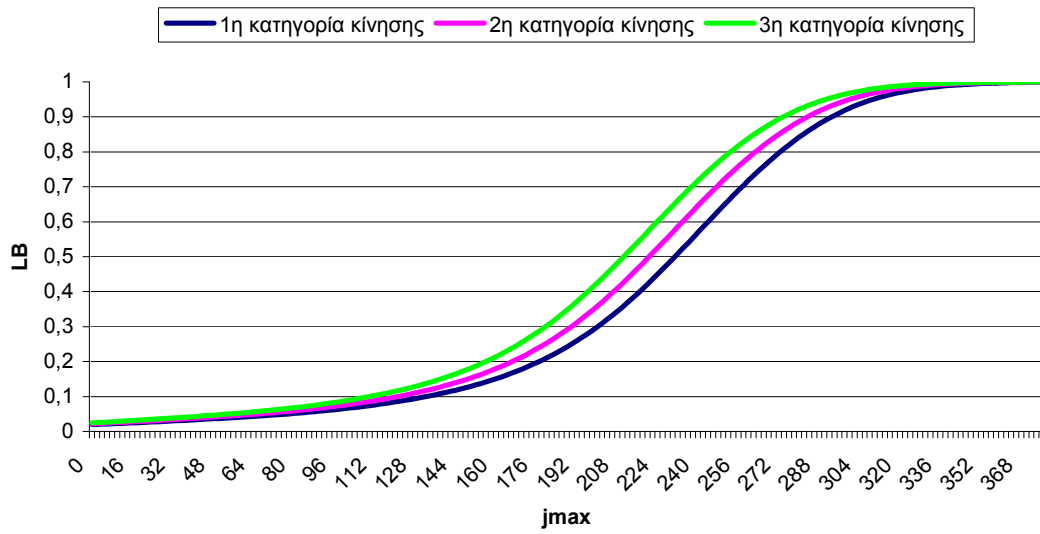
Σχήμα 3.7.64: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.7 παράδειγμα).



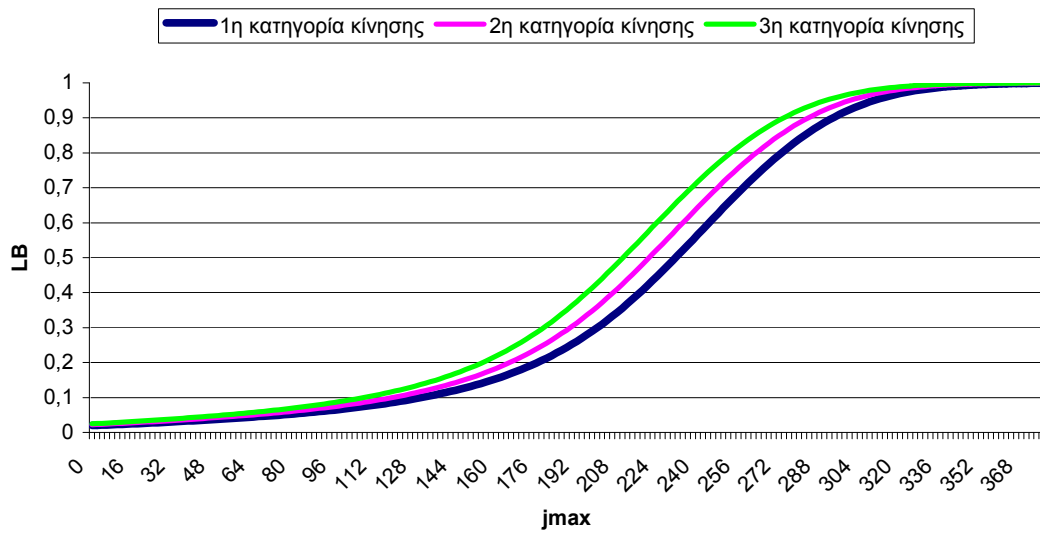
Σχήμα 3.7.65: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.7 παράδειγμα).



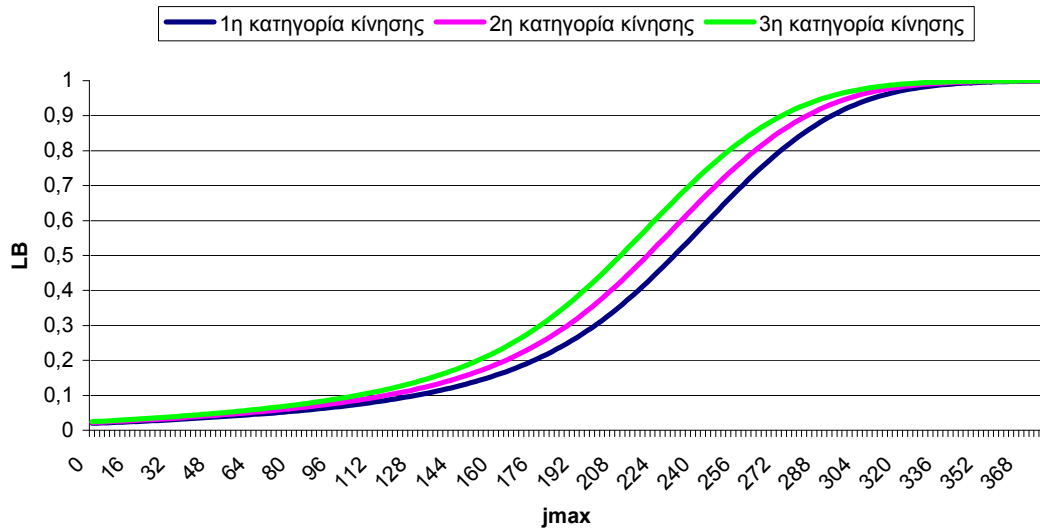
Σχήμα 3.7.66: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.7 παράδειγμα).



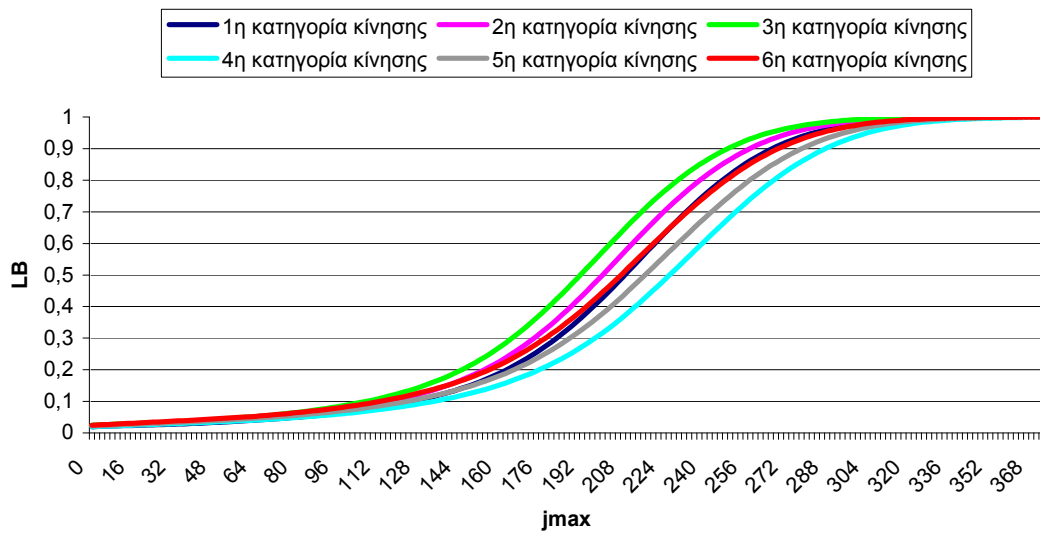
Σχήμα 3.7.67: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.7 παράδειγμα).



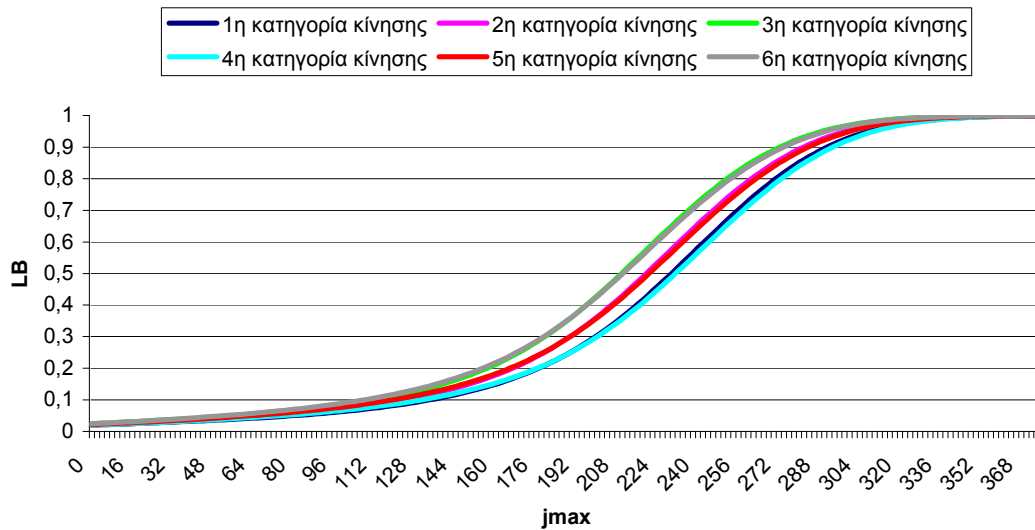
Σχήμα 3.7.68: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.7 παράδειγμα).



Σχήμα 3.7.69: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.7 παράδειγμα).



Σχήμα 3.7.70: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.7 παράδειγμα).



Σχήμα 3.7.71: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.7 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Επιπλέον εδώ παρατηρούμε ότι ο αριθμός των μέγιστων κατειλημμένων γραμμών παραμένει ο ίδιος όταν το n_{own} παίρνει τιμές 0,4-0,7 και αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση των παρεμβολών μειώνουν τη χωρητικότητα του συστήματος (Πίνακας 13).

3.8 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε πάλι το παράδειγμα 3.4 αλλάζοντας το παράγοντα δραστηριότητας της πρώτης κατηγορίας κίνησης σε $v_1 = 0,7$. Οι τιμές του παράγοντα φορτίου και του φορτίου κίνησης και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης είναι ίδιες με το παράδειγμα 3.3.

Στον Πίνακα 15 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης, η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος και η μέγιστη τιμή του j στην οποία η πιθανότητα τοπικής απώλειας των κλήσεων της 1^{ης} κατηγορίας κίνησης ισούται με 0,999. Στον πίνακα 16 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.8.72 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 15. Στα σχήματα (3.8.73–3.8.79) παρουσιάζονται οι τοπικές απώλειες των κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης όταν το φορτίο κυψέλης μεταβάλλεται από 0,1 (σχήμα 3.8.73) σε 0,7 (σχήμα 3.8.79). Τέλος τα σχήματα 3.8.80 και 3.8.81 δείχνουν συγκριτικά αποτελέσματα της τοπικής

απώλειας κλήσεων όταν $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (σχήμα 3.8.80) και $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (σχήμα 3.8.81).

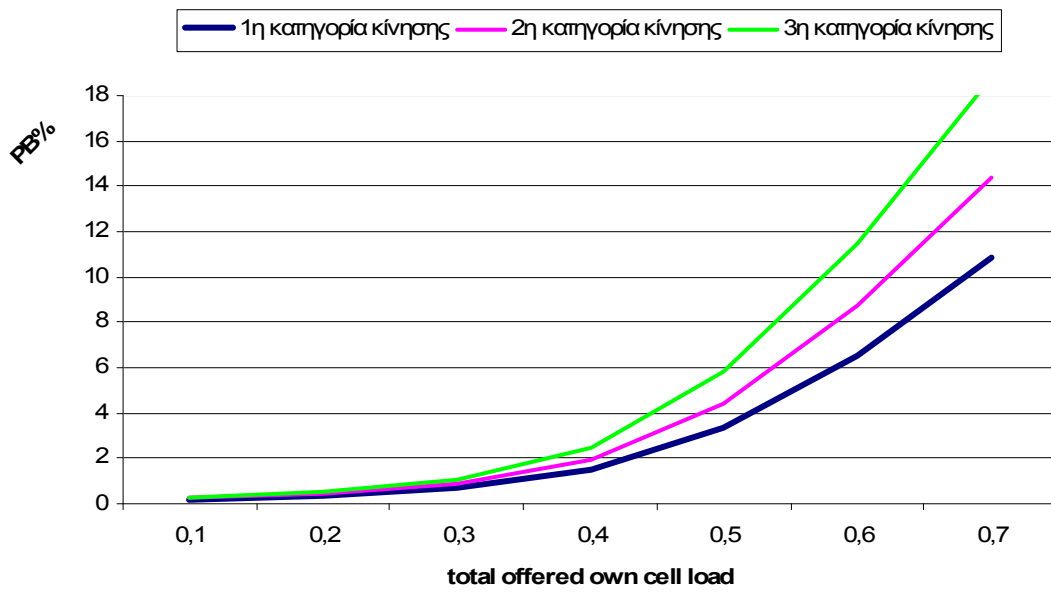
Αναλυτικά αποτελέσματα

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION	Jmax
	1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,2009	0,2338	0,2719	0,09196	404
0,2	0,3592	0,4262	0,5062	0,1757	422
0,3	0,7013	0,8575	1,0522	0,2564	432
0,4	1,5161	1,9329	2,4752	0,3353	436
0,5	3,3458	4,4088	5,7978	0,4071	438
0,6	6,5594	8,7309	11,4959	0,4675	438
0,7	10,8849	14,4163	18,7555	0,5131	438

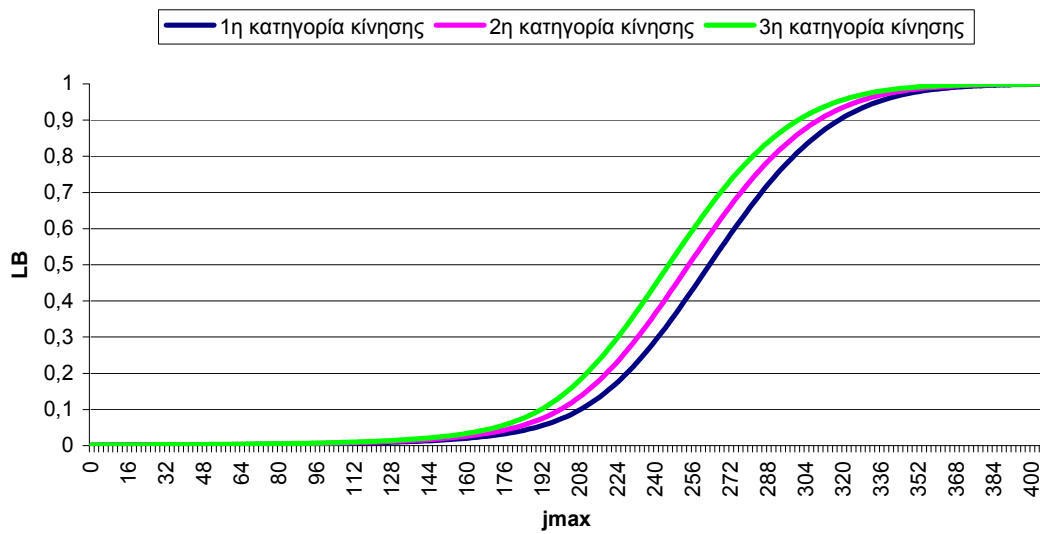
Πίνακας 15: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.8 παραδείγματος

total offered own cell load	PBLOCKING %			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
	1 ^η κατηγορία κίνησης	2 ^η κατηγορία κίνησης	3 ^η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,2006	0,2340	0,2657	37,17	0,0920	404
0,2	0,3586	0,4258	0,4916	74,23	0,1759	422
0,3	0,6971	0,8528	1,0650	110,82	0,2565	432
0,4	1,4986	1,8929	2,4141	146,28	0,3355	436
0,5	3,2416	4,2903	5,6541	178,50	0,4075	438
0,6	6,2786	8,4082	11,1495	205,39	0,4689	438
0,7	10,3770	13,9032	18,1475	226,15	0,5163	438

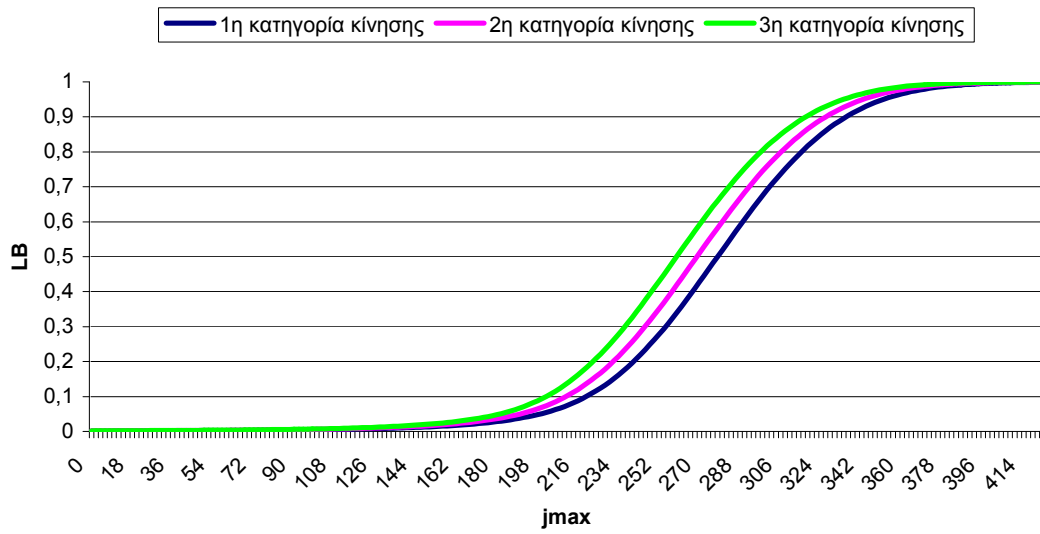
Πίνακας 16: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.8 παραδείγματος



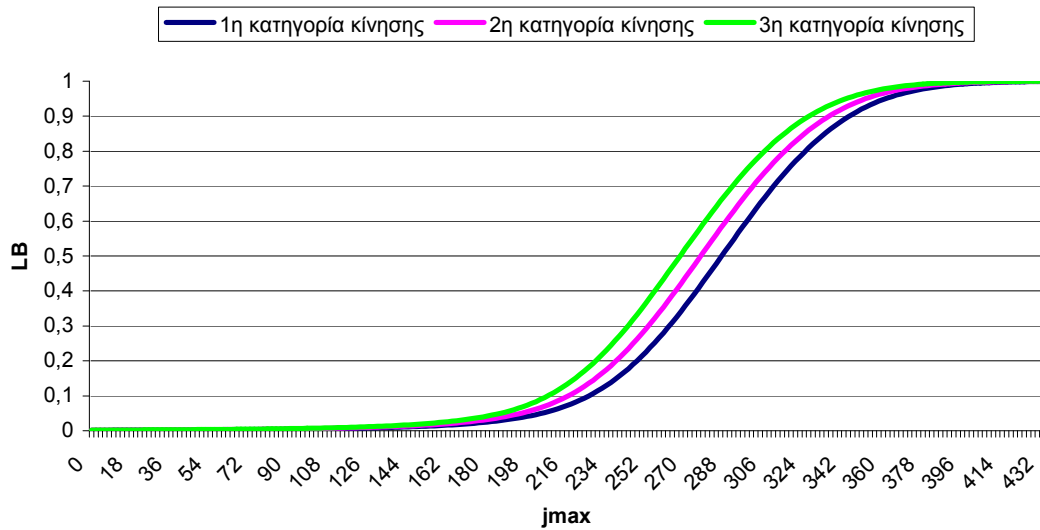
Σχήμα 3.8.72: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης (3.8 παράδειγμα).



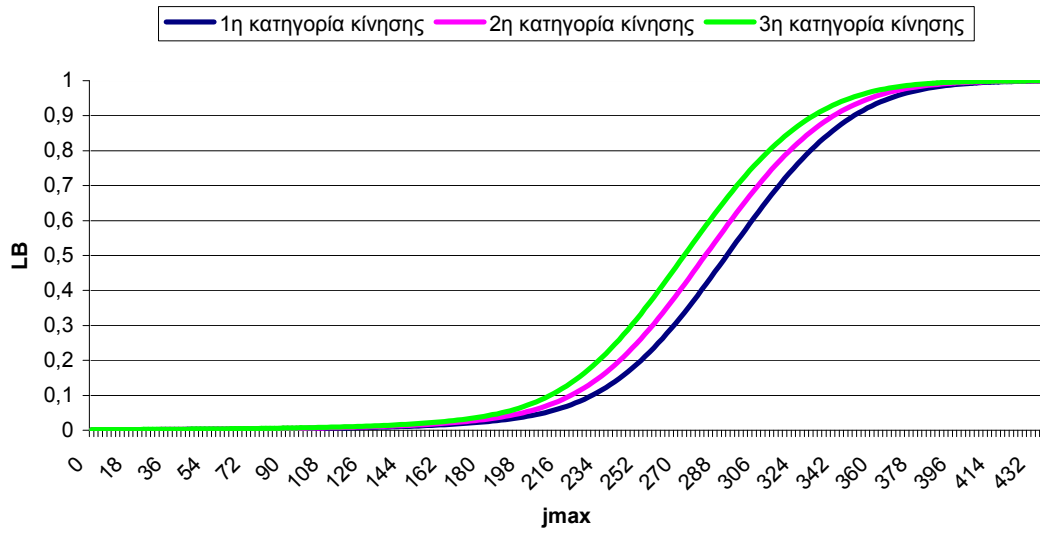
Σχήμα 3.8.73: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ (3.8 παράδειγμα).



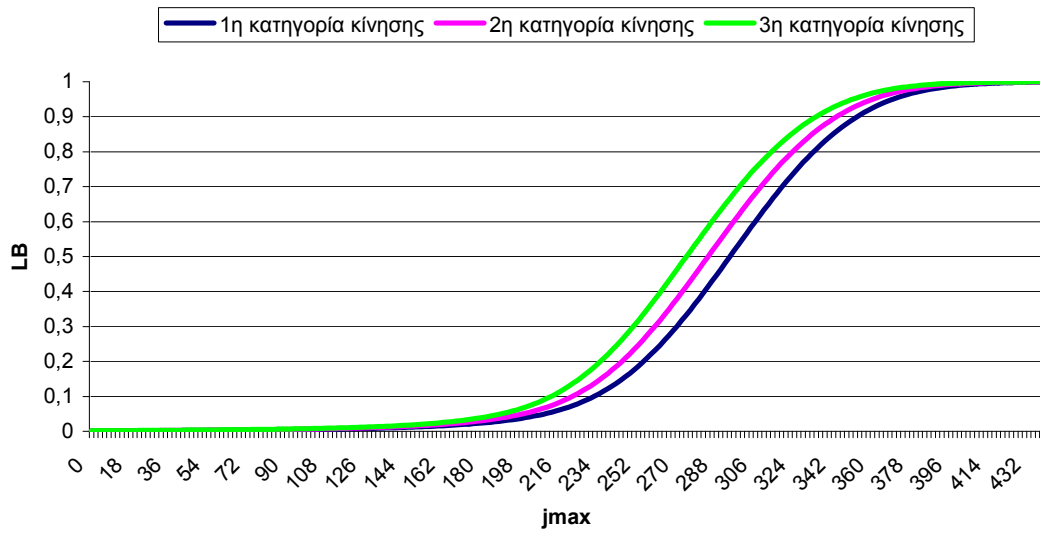
Σχήμα 3.8.74: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,2$ (3.8 παράδειγμα).



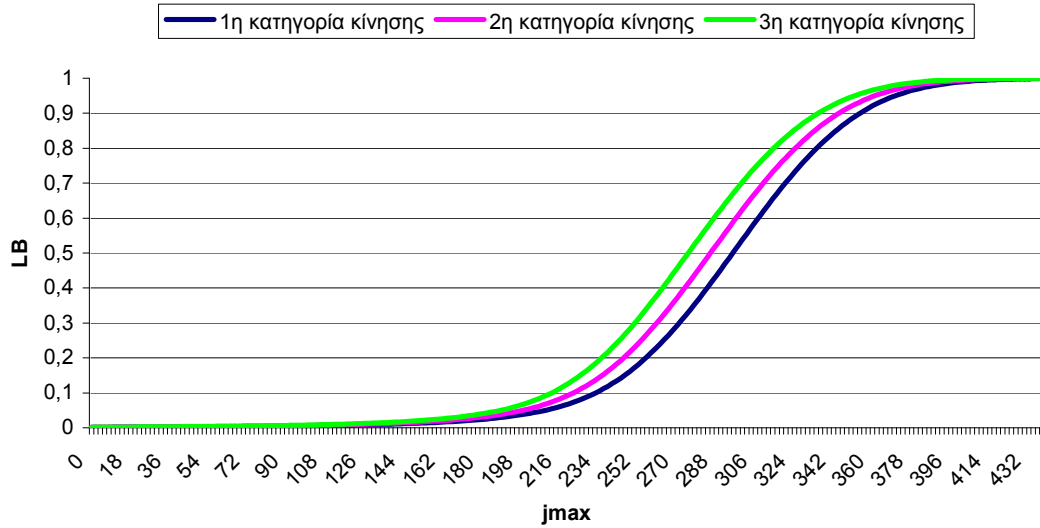
Σχήμα 3.8.75: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,3$ (3.8 παράδειγμα).



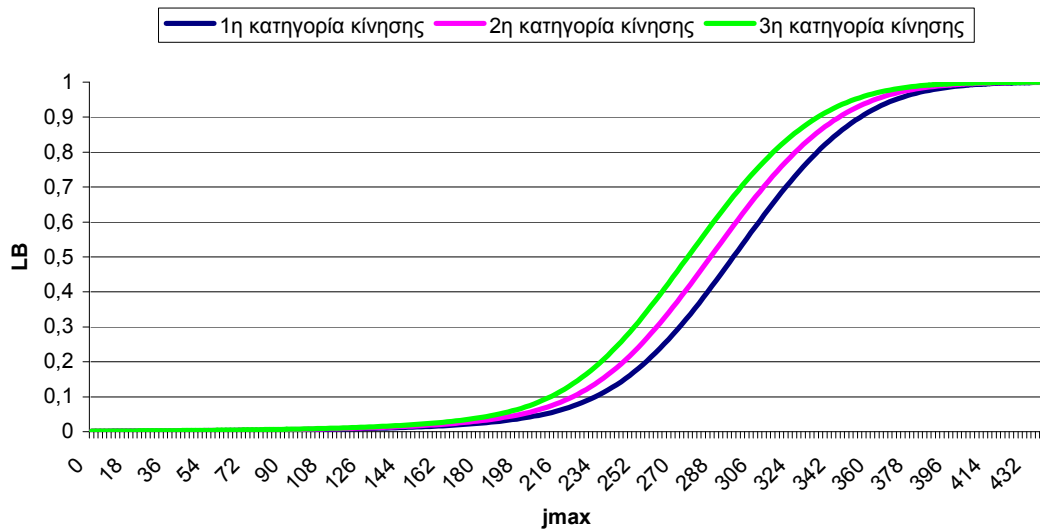
Σχήμα 3.8.76: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ (3.8 παράδειγμα).



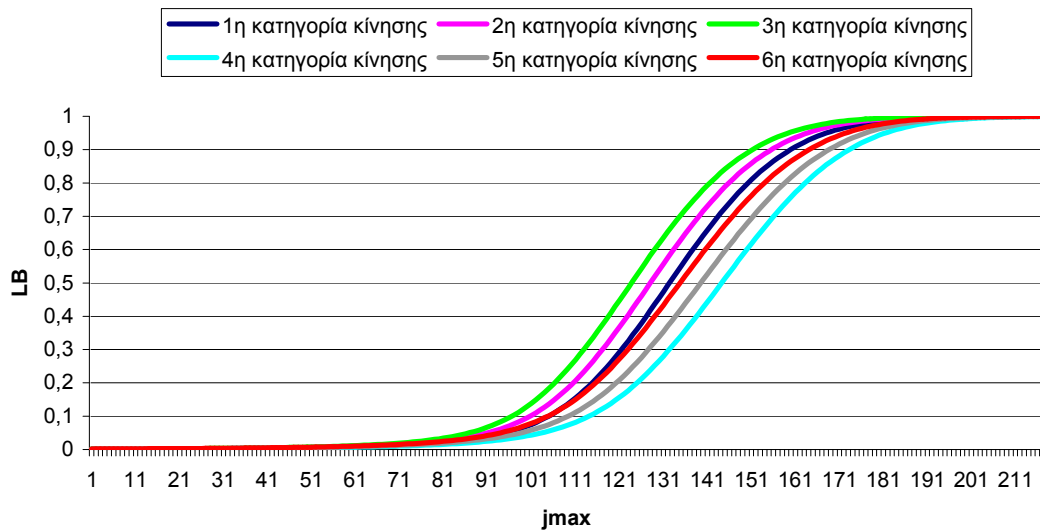
Σχήμα 3.8.77: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,5$ (3.8 παράδειγμα).



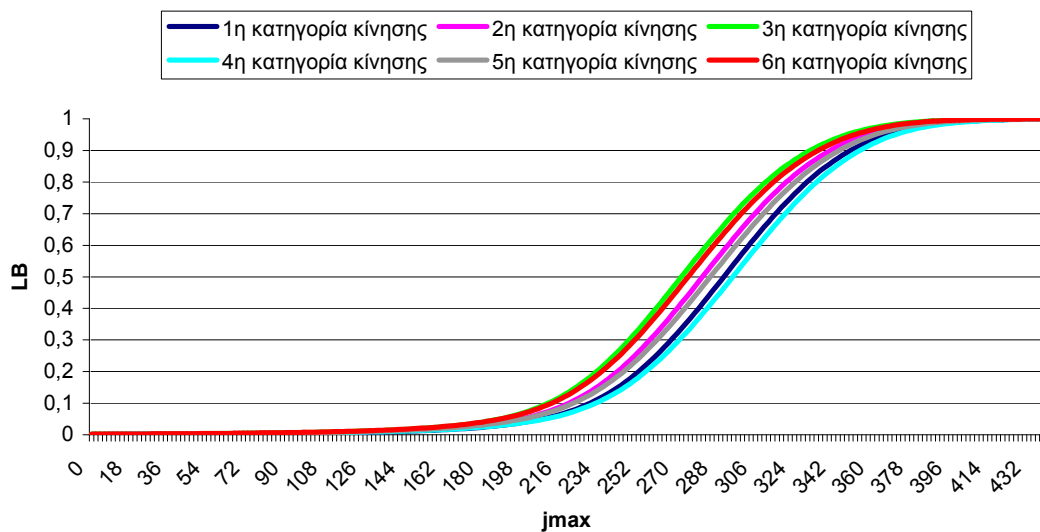
Σχήμα 3.8.78: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,6$ (3.8 παράδειγμα).



Σχήμα 3.8.79: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,7$ (3.8 παράδειγμα).



Σχήμα 3.8.80: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,1$ και $0,3$ (3.8 παράδειγμα).



Σχήμα 3.8.81: Πιθανότητες τοπικής απώλειας όλων των κατηγοριών κίνησης για $n_{own}=0,4$ και $0,6$ (3.8 παράδειγμα).

ΣΧΟΛΙΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Παρατηρούμε πτώση στην εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος σε σχέση με το παράδειγμα 4 γιατί αυξάνοντας το v_1 αυξάνεται το n_{own} .

3.9 Παράδειγμα

Πραγματοποιούμε πάλι το παράδειγμα 3.1 μόνο για $n_{own} = 0,4$ και αλλάζοντας το traffic mix των τριών κατηγοριών κίνησης. Συγκεκριμένα δίνουμε στο traffic mix τις τιμές που φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

Στον Πίνακα 17 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης και η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος. Στον πίνακα 18 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.9.82 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 17 σε συνάρτηση με το αντίστοιχο traffic mix. Στο σχήμα 3.9.83 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση για την εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος σε συνάρτηση πάλι με το traffic mix.

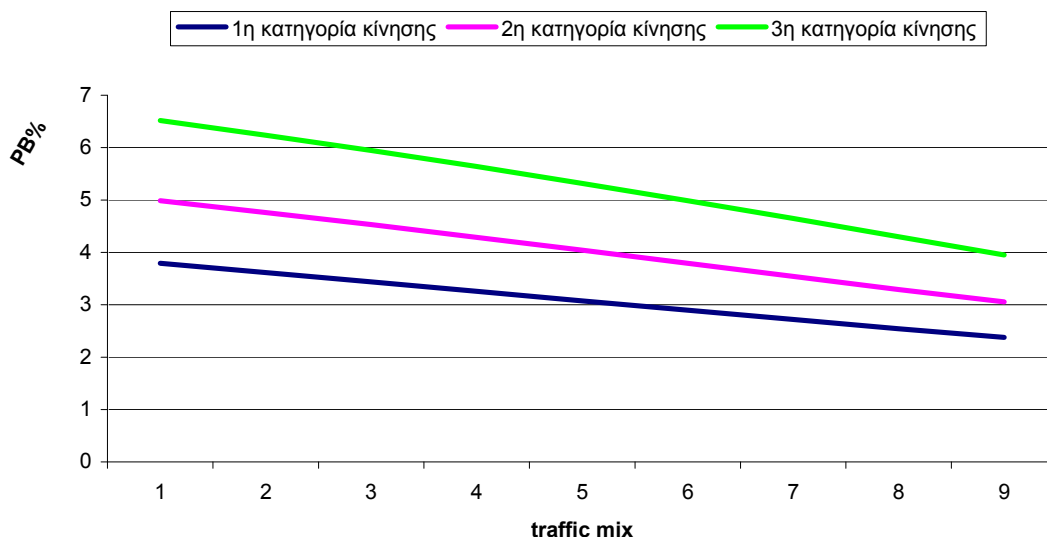
Αναλυτικά αποτελέσματα

traffic mix 1	traffic mix 2	traffic mix 3	PBLOCKING%			UTILIZATION	Jmax
			1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,45	0,45	3,7951	4,9886	6,5176	0,3827	452
0,2	0,4	0,4	3,6177	4,7614	6,2378	0,3885	446
0,3	0,35	0,35	3,4381	4,5276	5,9447	0,3927	442
0,4	0,3	0,3	3,2571	4,2877	5,6382	0,3987	436
0,5	0,25	0,25	3,0756	4,0425	5,3184	0,403	432
0,6	0,2	0,2	2,8949	3,7937	4,9866	0,4092	426
0,7	0,15	0,15	2,7167	3,5435	4,6449	0,4154	420
0,8	0,1	0,1	2,5433	3,2956	4,298	0,4218	414
0,9	0,05	0,05	2,3777	3,0553	3,9536	0,4304	406

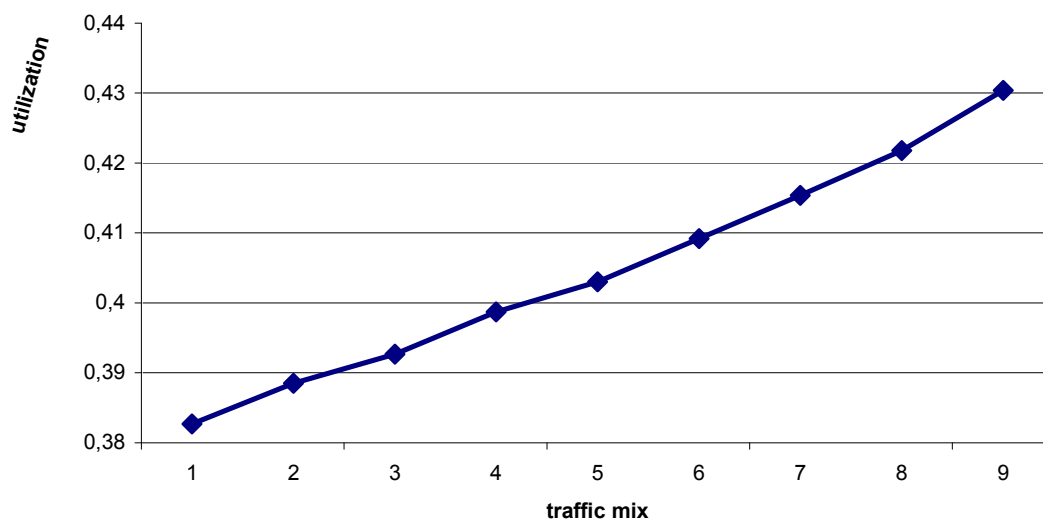
Πίνακας 17: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.9 παραδείγματος

traffic mix 1	traffic mix 2	traffic mix 3	PBLOCKING%			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
			1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,45	0,45	3,7338	4,9290	6,4888	173,07	0,3829	452
0,2	0,4	0,4	3,5718	4,7074	6,1901	173,47	0,3889	446
0,3	0,35	0,35	3,3889	4,4797	5,8541	173,65	0,3929	442
0,4	0,3	0,3	3,2097	4,2015	5,5326	173,86	0,3988	436
0,5	0,25	0,25	3,0311	3,9843	5,2788	174,15	0,4031	432
0,6	0,2	0,2	2,8601	3,7390	4,9346	174,38	0,4093	426
0,7	0,15	0,15	2,6821	3,5218	4,6202	174,48	0,4154	420
0,8	0,1	0,1	2,5156	3,2454	4,2563	174,63	0,4218	414
0,9	0,05	0,05	2,3564	3,0830	3,9156	174,76	0,4304	406

Πίνακας 18: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.9 παραδείγματος



Σχήμα 3.9.82: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (3.9 παράδειγμα). Το σημείο 1 αντιστοιχεί στο traffic mix (0.45, 0.45, 0.1), το σημείο 2 στο (0.4, 0.4, 0.2) κ.τ.λ.



Σχήμα 3.9.83: Η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος (utilization) συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (9^ο παράδειγμα). Το σημείο 1 αντιστοιχεί στο traffic mix (0.45, 0.45, 0.1), το σημείο 2 στο (0.4, 0.4, 0.2) κ.τ.λ.

ΣΧΟΛΙΑ –ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Παρατηρούμε ότι όσο ελαττώνεται το traffic mix στη δεύτερη και τρίτη κατηγορία κίνησης μειώνεται και η πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης στο σύστημα. Η μείωση είναι μεγαλύτερη στη τρίτη κατηγορία όπου ο συντελεστής δραστηριότητας και ο ρυθμός μετάδοσης παίρνουν αρκετά

- ✓ Η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος (utilization) αντιθέτως αυξάνεται καθώς οι τριάδες των traffic mix μεταβάλλονται, αυξάνοντας την τιμή της πρώτης κατηγορίας κίνησης και ελαττώνοντας των άλλων δύο. Αυτό συμβαίνει γιατί η πρώτη έχει το μικρότερο ρυθμό και σχετικά μικρό συντελεστή δραστηριότητας σε σχέση με τις άλλες δυο κατηγορίες κίνησης, (Πίνακας 17 και σχήμα 3.9.83).

3.10 Παράδειγμα

Επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο παράδειγμα αλλάζοντας τους συντελεστές δραστηριότητας των τριών κατηγοριών κίνησης. Οι νέες τιμές αυτών είναι $v_1 = 0,70$, $v_2 = 0,50$ και $v_3 = 0,85$.

Στον Πίνακα 19 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης και η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος. Στον πίνακα 20 που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα προσομοίωσης του ίδιου παραδείγματος [8]. Οι τιμές της προσομοίωσης είναι μέσες τιμές 7 επαναλήψεων. Η ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση είναι πολύ καλή. Στο σχήμα 3.10.84 δίνεται η γραφική παράσταση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων του Πίνακα 19 σε συνάρτηση με το αντίστοιχο traffic mix. Στα σχήματα 3.10.85 παρουσιάζεται μια γραφική παράσταση για την εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος σε συνάρτηση πάλι με το traffic mix.

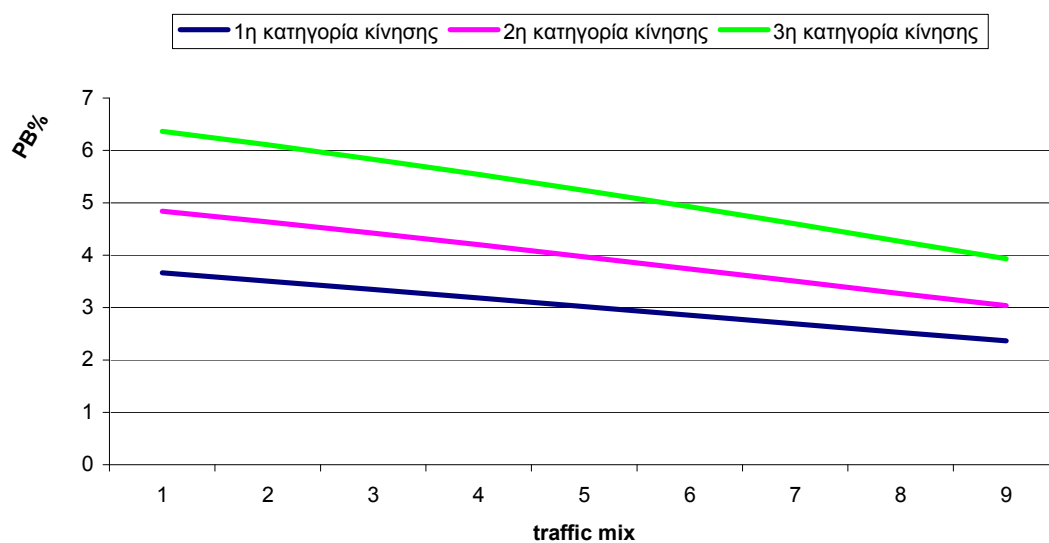
Αναλυτικά αποτελέσματα

traffic mix 1	traffic mix 2	traffic mix 3	PB%			UTILIZATION	Jmax
			1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης		
0,1	0,45	0,45	3,6637	4,8425	6,3684	0,3654	326
0,2	0,4	0,4	3,5062	4,6355	6,1071	0,3679	322
0,3	0,35	0,35	3,3458	4,4211	5,832	0,3704	318
0,4	0,3	0,3	3,1829	4,1999	5,5429	0,3729	314
0,5	0,25	0,25	3,0182	3,9725	5,2398	0,3754	310
0,6	0,2	0,2	2,8527	3,7402	4,9238	0,3804	304
0,7	0,15	0,15	2,6878	3,505	4,597	0,3829	300
0,8	0,1	0,1	2,5251	3,2699	4,2637	0,388	294
0,9	0,05	0,05	2,367	3,0396	3,931	0,3959	286

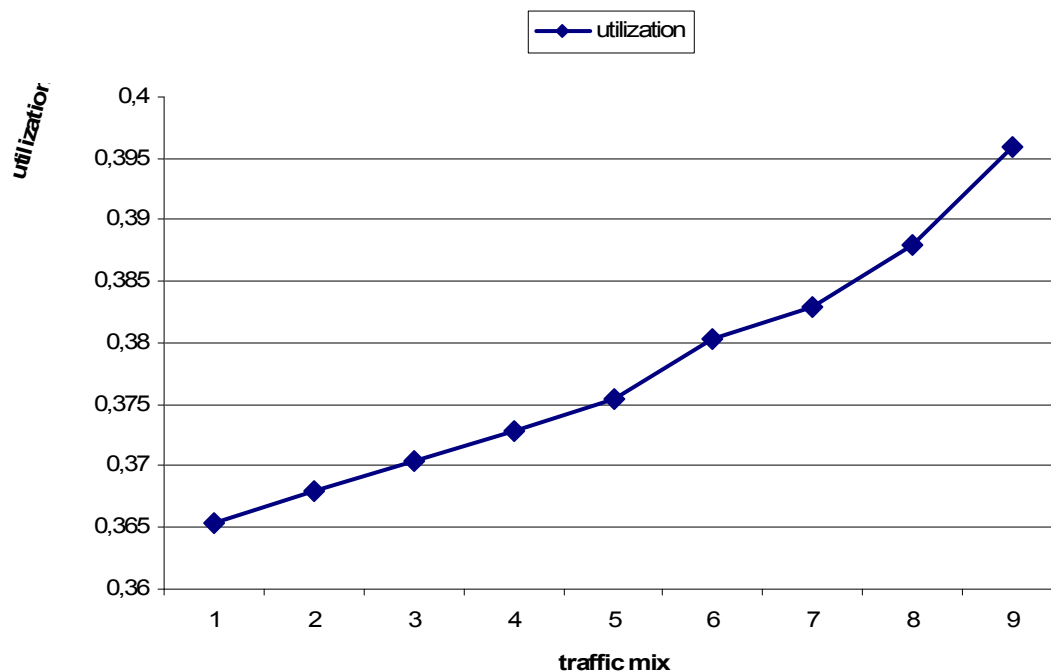
Πίνακας 19: Αριθμητικά αποτελέσματα του 3.10 παραδείγματος

traffic mix 1	traffic mix 2	traffic mix 3	PBLOCKING%			UTILIZATION (trunks/ποσοστό)		Jmax
			1η κατηγορία κίνησης	2η κατηγορία κίνησης	3η κατηγορία κίνησης			
0,1	0,45	0,45	3,6553	4,8218	6,3068	119,18	0,3656	326
0,2	0,4	0,4	3,4742	4,5892	6,0930	118,41	0,3677	322
0,3	0,35	0,35	3,3326	4,3942	5,8001	117,84	0,3706	318
0,4	0,3	0,3	3,1568	4,1873	5,4677	117,12	0,3730	314
0,5	0,25	0,25	2,9940	3,9311	5,1963	116,44	0,3756	310
0,6	0,2	0,2	2,8291	3,6922	4,9026	115,71	0,3806	304
0,7	0,15	0,15	2,6606	3,4771	4,5710	114,94	0,3831	300
0,8	0,1	0,1	2,5014	3,2224	4,2330	114,10	0,3881	294
0,9	0,05	0,05	2,3376	3,0130	3,8442	113,23	0,3959	286

Πίνακας 20: Αποτελέσματα προσομοίωσης του 3.10 παραδείγματος



Σχήμα 3.10.84: Πιθανότητες απώλειας κλήσεων όλων των κατηγοριών κίνησης συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (3.10 παράδειγμα).



Σχήμα 3.10.85: Η εκμετάλλευση της χωρητικότητας του συστήματος (utilization) συναρτήσει του traffic mix (άξονας χ) (3.10 παράδειγμα). Το σημείο 1 αντιστοιχεί στο traffic mix (0.45, 0.45, 0.1), το σημείο 2 στο (0.4, 0.4, 0.2) κ.τ.λ.

ΣΧΟΛΙΑ –ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- ✓ Παρατηρούμε αύξηση της εκμετάλλευσης της χωρητικότητας καθώς μειώνεται το traffic mix της 2^{ης} και 3^{ης} κατηγορίας κίνησης με τους μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, (Σχήμα 3.10.85).
- ✓ Ο αυξημένος συντελεστής δραστηριότητας στη 1^η κατηγορία κίνησης προκαλεί μείωση στην πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης στο σύστημα. Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες δύο κατηγορίες κίνησης. (Σχήμα 3.10.84).

Βιβλιογραφία

- [1] J. Pérez – Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. A. Diaz – Guerra, eds., Radio Resource Management in UMTS, John Wiley & Sons Ltd., 2005
- [2] J. Kaufman, “Blocking in a shared resource environment”, IEEE Trans. Commun. COM-29 (10) (1981) 1474–1481.
- [3] J. W. Roberts, “A service system with heterogeneous user requirements”, in: G. Pujolle (Ed.), Performance of Data Communications systems and their applications, North Holland, Amsterdam, pp.423-431, 1981.
- [4] D. Staehle and A. Mäder, “An analytic approximation of the uplink capacity in a UMTS network with heterogeneous traffic”, in proc. 18th International Teletraffic Congress (ITC18), (Berlin), Sep 2003.
- [5] D. Staehle and A. Mäder, “An analytic approximation of the uplink capacity in a UMTS network with heterogeneous traffic”, Technical Report No. 310, University of Wurzburg, May 2003.
- [6] D. Staehle, K. Leibnitz, K. Heck, B. Schröder, A. Weller, and P. Tran-Gia, “Approximating the othercell interference distribution in inhomogeneous UMTS networks,” in Proc. IEEE VTC Spring, (Birmingham, AL), May 2002.
- [7] D. Staehle, K. Leibnitz, and K. Heck, “A Fast Prediction of the Coverage Area in UMTS Networks”, in Proc. Of Globecom, (Taiwan), Nov 2002.
- [8] Νίκος Αδάμος Τζανής, “Προσομίωση της ανερχόμενης ζεύξης κυψέλης WCDMA με βάση την SIMSCRIPT II.5”, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, 2011.
- [9] Δασκαλόπουλος Ιωάννης, “Μελέτη των δικτύων WCDMA 3^{ης} γενιάς και υπολογισμός της χωρητικότητας μιας WCDMA κυψέλης στην κάτω ζεύξη”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2009.
- [10] Γκανιάτσος Παναγώτης, “Βελτιστοποίηση της παρεχόμενης υπηρεσίας (QoS) δικτύου κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3G), τεχνολογίας WCDMA”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2008.