



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΝΙΑΤΗ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ του ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

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

Επιβλέπων Καθηγητής: ΜΟΣΧΟΛΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων.....	I
Λίστα πινάκων	IV
Λίστα διαγραμμάτων	VIII
Περίληψη	XIV
1. Εισαγωγή	1
2. Βασικές έννοιες.....	3
2.1. Συστήματα εξυπηρέτησης.....	3
2.2. Βαθμός εξυπηρέτησης σε σύστημα απωλειών	3
2.3. Ορισμός φορτίου κίνησης.....	4
3. Το μοντέλο απωλειών του Erlang.....	5
3.1. Η Erlang B formula.....	5
3.2. Αναδρομικός τύπος υπολογισμού της Erlang-B formula	5
4. Το μοντέλο απωλειών πολυδιάστατης κίνησης	6
4.1. Πολιτική πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης	6
4.2. Δέσμευση εύρους ζώνης (trunk reservation)	7
4.3. Ελαστική Δέσμευση Εύρους Ζώνης	8
4.4. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία κλήσεων [6]	11
4.5. Απόδειξη του τύπου 4.20	16
5. Προσομοίωση μηχανισμών διάθεσης εύρους ζώνης	21
5.1. Μεταβλητός προγράμματος	21
5.2. Σύστημα πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης	21
5.2.1. Πιθανότητες απώλειας κλήσης	22
5.2.2. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών.....	24
5.2.3. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων.....	27
5.3. Δέσμευση εύρους ζώνης	29
5.3.1. Πιθανότητες απώλειας κλήσης	29
5.3.2. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών.....	33
5.3.3. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων.....	35
5.3.4. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών	37
5.4. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης	40
5.4.1. Αναλυτικός υπολογισμός και σύγκριση με το πρόγραμμα προσομοίωσης. Αναλυτικό μοντέλο:	41
Προσεγγιστική μέθοδος του Roberts	48
Προσομοίωση με το πρόγραμμα Matlab.	49
5.4.2. Εφαρμογή της ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης στο παράδειγμα 5.2.1	51
5.4.3. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών.....	53
5.4.4. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων.....	56
5.4.5. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών	58

5.4.6.	Μεταβολή της πιθανότητας για την δέσμευση καναλιών.....	61
5.5.	Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία κλήσεων	63
5.5.1.	Αναλυτικός υπολογισμός και σύγκριση με το πρόγραμμα προσομοίωσης.64	
	Αναλυτικό μοντέλο:	64
	Αποτελέσματα με βάση τον τύπο 4.20.	72
	Προσομοίωση με το πρόγραμμα Matlab.	73
	Σύγκριση τιμών.....	74
5.5.2.	Εφαρμογή του μοντέλου στις παραμέτρους του συστήματος 5.2.1	75
5.5.3.	Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών.....	77
5.5.4.	Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων.....	79
5.5.5.	Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών	81
5.5.6.	Μεταβολή της πιθανότητας για την δέσμευση των καναλιών.....	84
6.	Η έννοια της κινητικότητας	87
6.1.	Εισαγωγή	87
6.2.	Ανάλυση του συστήματος.....	89
6.3.	Απλοποίηση του συστήματος	93
7.	Μεταβολή της πιθανότητας απώλειας για μεταβολές της κινητικότητας.....	95
7.1.	Πολιτική πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης	95
7.1.1.	Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων	95
7.1.2.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων	99
7.2.	Δέσμευση εύρους ζώνης (trunk reservation)	102
7.2.1.	Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων	102
7.2.2.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής	105
7.2.3.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων	109
7.2.4.	Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών	112
7.3.	Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης	114
7.3.1.	Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων	114
7.3.2.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής.....	117
7.3.3.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων	119
7.3.4.	Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών	122
7.3.5.	Μεταβολή της πιθανότητας δέσμευσης καναλιών	124
7.4.	Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων	127
7.4.1.	Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων	127
7.4.2.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής.....	130
7.4.3.	Μεταβλητός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων	133
7.4.4.	Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών	135
7.4.5.	Μεταβολή της πιθανότητας δέσμευσης καναλιών	138
8.	Υπάρχει κάποια πολιτική διάθεσης που υπερτερεί;.....	140
8.1.	Σύγκριση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων	140
8.2.	Άλλα χαρακτηριστικά των πολιτικών διάθεσης	142

8.3.	Ανάγκη για περαιτέρω μελέτη	144
9.	Παράρτημα.....	145
I.	Παράρτημα 1: κώδικας Matlab για τον θεωρητικό υπολογισμό των πολιτικών διάθεσης που περιγράφονται στα κεφάλαια 4.1, 4.2 και 4.3	145
II.	Παράρτημα 2: κώδικας Matlab για τον θεωρητικό υπολογισμό της πολιτικής διάθεσης που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.4	149
III.	Παράρτημα 3: κώδικας Matlab για τον πειραματικό υπολογισμό των μοντέλων που περιγράφονται στις παραγράφους 4.1 , 4.2 και 4.3.....	155
IV.	Παράρτημα 4: κώδικας Matlab για τον πειραματικό υπολογισμό των πολιτικών που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.4.....	164
V.	Παράρτημα 5: κώδικας Matlab για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων	170
VI.	Παράρτημα 6: παράδειγμα κλήσεως των παραπάνω συναρτήσεων.....	172
VII.	παράρτημα 7: παράδειγμα επίλυσης γραμμικού συστήματος με το Matlab	173
VIII.	παράρτημα 8: ο θεωρητικός τύπος που προτείνεται από την δημοσίευση του Mitchell και Sohraby [6] για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το μοντέλο που περιγράφεται στην παράγραφο 4.4.....	174
IX.	Αναφορές	177

Λίστα πινάκων

Πίνακας 5.1 Μεταβλητές εισόδου του προγράμματος προσομοίωσης	21
Πίνακας 5.2 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.2.1	22
Πίνακας 5.3 Πιθανότητα απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.2.1	23
Πίνακας 5.4 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.2.1	24
Πίνακας 5.5 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.2.2.....	25
Πίνακας 5.6 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.2.2.....	26
Πίνακας 5.7 Απόλυτο σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.2.2)	27
Πίνακας 5.8 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.2.3	27
Πίνακας 5.9 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.2.3.....	29
Πίνακας 5.10 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.2.3)	29
Πίνακας 5.11 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.1	30
Πίνακας 5.12 Πιθανότητα απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.3.1	31
Πίνακας 5.13 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.3.1	32
Πίνακας 5.14 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.2.....	33
Πίνακας 5.15 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.3.2.....	34
Πίνακας 5.16 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.3.2)	35
Πίνακας 5.17 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.3.....	35
Πίνακας 5.18 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.3.3.....	37
Πίνακας 5.19 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.3.3)	37
Πίνακας 5.20 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.4.....	37
Πίνακας 5.21 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.3.4	39
Πίνακας 5.22 Σχετικό σφάλμα της πιθανότητας απώλειας (παράδειγμα 5.3.4).....	40
Πίνακας 5.23 Μεταβλητές εισόδου του παραδείγματος 5.4.1.....	40
Πίνακας 5.24 Σχέση μεταξύ κατάστασης (n_1, n_2) και αριθμού κατειλημμένων καναλιών j . (παράδειγμα 5.4.1)	42
Πίνακας 5.25 Ποσοστό των κατειλημμένων καναλιών του προγράμματος προσομοίωσης (παράδειγμα 5.4.1)	50
Πίνακας 5.26: Πιθανότητες απώλειας κλήσης παραδείγματος 5.4.1.	50
Πίνακας 5.27 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τιμές προσομοίωσης για το $Q(j)$	50

Πίνακας 5.28 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τιμές προσομοίωσης της πιθανότητας απώλειας κλήσης.....	50
Πίνακας 5.29 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.2.....	51
Πίνακας 5.30 τιμές και τιμές προσομοίωσης της πιθανότητας απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.4.2.....	52
Πίνακας 5.31 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.4.2.....	53
Πίνακας 5.32 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.3.....	54
Πίνακας 5.33 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 5.4.3.....	55
Πίνακας 5.34 Σχετικό σφάλμα της πιθανότητας απώλειας συναρτήσει του C (παράδειγμα 5.4.3).....	56
Πίνακας 5.35 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.4.....	56
Πίνακας 5.36 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.4.4.....	58
Πίνακας 5.37 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.4.4).....	58
Πίνακας 5.38 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.5.....	58
Πίνακας 5.39 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.4.5.....	60
Πίνακας 5.40 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.4.5).....	60
Πίνακας 5.41 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.6.....	61
Πίνακας 5.42 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 5.4.6.....	63
Πίνακας 5.43 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.4.6).....	63
Πίνακας 5.44 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.1.....	64
Πίνακας 5.45 Αριθμός των κατειλημμένων καναλιών (παράδειγμα 5.5.1).....	64
Πίνακας 5.46 Ποσοστό των κατειλημμένων καναλιών(παράδειγμα 5.5.1).....	73
Πίνακας 5.47 Πιθανότητες απώλειας κλήσης μέσω προσομοίωσης. (παράδειγμα 5.5.1).....	74
Πίνακας 5.48 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τις αντίστοιχες της προσομοίωσης για το $Q(j)$. (παράδειγμα 5.5.1).....	74
Πίνακας 5.49 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τις αντίστοιχες της προσομοίωσης για την πιθανότητα απώλειας κλήσης (παράδειγμα 5.5.1).....	74
Πίνακας 5.50 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.2.....	75
Πίνακας 5.51 Πειραματικές απώλειες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.5.2.....	75
Πίνακας 5.52 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.5.2.....	77
Πίνακας 5.53 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.3.....	77
Πίνακας 5.54 Πιθανότητες απώλειας κλήσεως για το παράδειγμα 5.5.3.....	78
Πίνακας 5.55 Απόλυτο σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.5.3).....	79
Πίνακας 5.56 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.4.....	79
Πίνακας 5.57 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 5.5.4.....	81
Πίνακας 5.58 Απόλυτο σφάλμα για τις τιμές του παραδείγματος 5.5.4.....	81
Πίνακας 5.59 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.5.....	81

Πίνακας 5.60	Πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.5.5.....	83
Πίνακας 5.61	Απόλυτο σφάλμα για τις τιμές του παραδείγματος 5.5.5.....	83
Πίνακας 5.62	Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.6.....	84
Πίνακας 5.63	Θεωρητικές τιμές για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων του παραδείγματος 5.5.6	86
Πίνακας 5.64	Απόλυτη τιμή του σφάλματος για το παράδειγμα 5.5.6.....	86
Πίνακας 6.1	Οι 4 υπο-κατηγορίες κλήσεων για την μελέτη της μεταπομπής (παράδειγμα 6.2).....	91
Πίνακας 6.2	Οι ρυθμοί άφιξης και τερματισμού για τις 4 υπο-κατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.2).....	91
Πίνακας 6.3	Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 6.2.....	92
Πίνακας 6.4	Πιθανότητες απώλειας κλήσης για τις διάφορες υπο-κατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.2).....	93
Πίνακας 6.5	Οι 2 υπο-κατηγορίες κλήσεων για την μελέτη της μεταπομπής.....	94
Πίνακας 6.6	Ρυθμοί άφιξης και τερματισμού για τις 2 υπο-κατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.3).....	94
Πίνακας 6.7	Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 6.3.....	94
Πίνακας 6.8	Πιθανότητες απώλειας κλήσης για τις 2 υποκατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.3).....	94
Πίνακας 7.1	Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.1.1.....	95
Πίνακας 7.2	Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.1.1.....	97
Πίνακας 7.3	Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.1.1).....	98
Πίνακας 7.4	Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.1.2.....	99
Πίνακας 7.5	Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.1.2.....	101
Πίνακας 7.6	Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.1.2).....	101
Πίνακας 7.7	Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.2.1.....	102
Πίνακας 7.8	Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.1.....	104
Πίνακας 7.9	Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.1).....	105
Πίνακας 7.10	Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.2.2.....	106
Πίνακας 7.11	Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.2.....	108
Πίνακας 7.12	Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.2).....	108
Πίνακας 7.13	Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.2.3.....	109
Πίνακας 7.14	Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.3.....	111
Πίνακας 7.15	Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.3).....	111
Πίνακας 7.16	Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.4.....	113
Πίνακας 7.17	Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.4).....	114

Πίνακας 7.18 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.1.....	116
Πίνακας 7.19 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.1).....	116
Πίνακας 7.20 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.2.....	118
Πίνακας 7.21 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.2).....	119
Πίνακας 7.22 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.3.....	121
Πίνακας 7.23 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.3).....	121
Πίνακας 7.24 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.4.....	123
Πίνακας 7.25 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.4).....	124
Πίνακας 7.26 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.5.....	126
Πίνακας 7.27 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.5).....	126
Πίνακας 7.28 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.1.....	129
Πίνακας 7.29 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.4.1).....	129
Πίνακας 7.30 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.2.....	132
Πίνακας 7.31 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.4.2).....	132
Πίνακας 7.32 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.3.....	134
Πίνακας 7.33 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων(παράδειγμα 7.4.3).....	135
Πίνακας 7.34 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.4.....	137
Πίνακας 7.35 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων(παράδειγμα 7.4.4).....	137
Πίνακας 7.36 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.5.....	139
Πίνακας 7.37 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων(παράδειγμα 7.4.5).....	140
Πίνακας 8.1 Πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 8.1 (απλή δέσμευση εύρους ζώνης).....	140
Πίνακας 8.2 Πιθανότητες απώλειας για τις 3 πολιτικές δέσμευσης εύρους ζώνης...	141
Πίνακας 99.1 Πιθανότητες δέσμευσης καναλιών και απώλειας κλήσεων που προκύπτουν από τους τύπους VIII.1, 4.20 και από το πρόγραμμα προσομοίωσης...	176

Λίστα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα Markov για δύο συνεχόμενες καταστάσεις του μοντέλου 4.3.....	10
Διάγραμμα 4.2 Τυχαία κατανομή καναλιών για 3 κατηγορίες κλήσεων.....	12
Διάγραμμα 4.3 Τυχαία κατανομή καναλιών εφαρμόζοντας την πολιτική της παραγράφου 4.4	13
Διάγραμμα 4.4 Η πολιτική πλήρους διαμελισμού ως υποσύνολο της πολιτικής απλής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων	13
Διάγραμμα 4.5 Διάγραμμα Markov για την πολιτική της παραγράφου 4.4	14
Διάγραμμα 4.6 Διάγραμμα Markov για δύο συνεχόμενες καταστάσεις του μοντέλου 4.4.....	17
Διάγραμμα 4.7 Ισοδύναμο διάγραμμα Markov με το διάγραμμα 4.6	18
Διάγραμμα 5.1 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.2.1	22
Διάγραμμα 5.2 Ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.2.1	23
Διάγραμμα 5.3 Ενδεικτική σύγκριση τιμών για το ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.2.1	24
Διάγραμμα 5.4 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.2.2)	25
Διάγραμμα 5.5 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.2.2)	25
Διάγραμμα 5.6 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.2.2)	26
Διάγραμμα 5.7 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.2.3)	28
Διάγραμμα 5.8 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.2.3)	28
Διάγραμμα 5.9 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.2.3)	28
Διάγραμμα 5.10 Πιθανότητα απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.3.1	30
Διάγραμμα 5.11 Ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.3.1	31
Διάγραμμα 5.12 Θεωρητικό και πειραματικό ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.3.1	32
Διάγραμμα 5.13 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.3.2)	33
Διάγραμμα 5.14 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.3.2)	34
Διάγραμμα 5.15 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.3.2)	34

Διάγραμμα 5.16 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.3.3).....	36
Διάγραμμα 5.17 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.3.3).....	36
Διάγραμμα 5.18 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.3.3).....	36
Διάγραμμα 5.19 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων για της κλήσεις κατηγορίας 1 συναρτήσει του $t(1)$ (παράδειγμα 5.3.4).....	38
Διάγραμμα 5.20 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων για τις κλήσεις κατηγορίας 2 συναρτήσει του $t(1)$ (παράδειγμα 5.3.4).....	38
Διάγραμμα 5.21 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων για τις κλήσεις κατηγορίας 3 συναρτήσει του $t(1)$ (παράδειγμα 5.3.4).....	39
Διάγραμμα 5.22 Διάγραμμα Markov του συστήματος (παράδειγμα 5.4.1)	41
Διάγραμμα 5.23 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,0) (παράδειγμα 5.4.1) ...	42
Διάγραμμα 5.24 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,1) (παράδειγμα 5.4.1) ...	42
Διάγραμμα 5.25 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,2) (παράδειγμα 5.4.1) ...	43
Διάγραμμα 5.26 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,0) (παράδειγμα 5.4.1) ...	43
Διάγραμμα 5.27 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,1) (παράδειγμα 5.4.1) ...	44
Διάγραμμα 5.28 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,2) (παράδειγμα 5.4.1) ...	44
Διάγραμμα 5.29 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,0) (παράδειγμα 5.4.1) ...	45
Διάγραμμα 5.30 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,1) (παράδειγμα 5.4.1) ...	45
Διάγραμμα 5.31 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (3,0) (παράδειγμα 5.4.1) ...	46
Διάγραμμα 5.32 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση $n(3,1)$ (παράδειγμα 5.4.1) .	46
Διάγραμμα 5.33 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (4,0) (παράδειγμα 5.4.1) ...	47
Διάγραμμα 5.34 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.4.2.....	51
Διάγραμμα 5.35 Ποσοστό κατελημμένων καναλιών για το παράδειγμα 5.4.2.....	52
Διάγραμμα 5.36 θεωρητικό και πειραματικό ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.4.2.....	53
Διάγραμμα 5.37 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.4.3)	54
Διάγραμμα 5.38 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.4.3)	55
Διάγραμμα 5.39 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.4.3)	55
Διάγραμμα 5.40 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.4.4).....	57
Διάγραμμα 5.41 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.4.4).....	57
Διάγραμμα 5.42 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.4.4).....	57
Διάγραμμα 5.43 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του $t(1)$ (παράδειγμα 5.4.5).....	59

Διάγραμμα 5.44 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του t(1) (παράδειγμα 5.4.5)	59
Διάγραμμα 5.45 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του t(1) (παράδειγμα 5.4.5)	59
Διάγραμμα 5.46 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w ₁ (παράδειγμα 5.4.6)	61
Διάγραμμα 5.47 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w ₁ (παράδειγμα 5.4.6)	62
Διάγραμμα 5.48 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w ₁ (παράδειγμα 5.4.6)	62
Διάγραμμα 5.49 Διάγραμμα Markov του συστήματος(παράδειγμα 5.5.1)	65
Διάγραμμα 5.50 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,0) (παράδειγμα 5.5.1) ...	65
Διάγραμμα 5.51 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,1) (παράδειγμα 5.5.1) ...	66
Διάγραμμα 5.52 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,2) (παράδειγμα 5.5.1) ...	66
Διάγραμμα 5.53 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,0) (παράδειγμα 5.5.1) ...	67
Διάγραμμα 5.54 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,1) (παράδειγμα 5.5.1) ...	67
Διάγραμμα 5.55 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,2) (παράδειγμα 5.5.1) ...	68
Διάγραμμα 5.56 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,0) (παράδειγμα 5.5.1) ...	68
Διάγραμμα 5.57 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,1) (παράδειγμα 5.5.1) ...	69
Διάγραμμα 5.58 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (3,0) (παράδειγμα 5.5.1) ...	69
Διάγραμμα 5.59 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (3,1) (παράδειγμα 5.5.1) ...	70
Διάγραμμα 5.60 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (4,0) (παράδειγμα 5.5.1) ...	70
Διάγραμμα 5.61 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.5.2	75
Διάγραμμα 5.62 Ποσοστό κατελημμένων καναλιών για το παράδειγμα 5.5.2	76
Διάγραμμα 5.63 Θεωρητικές τιμές και τιμές προσομοίωσης του Q(j) για το παράδειγμα 5.5.2	76
Διάγραμμα 5.64 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του C (παράδειγμα 5.5.3)	77
Διάγραμμα 5.65 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του C(παράδειγμα 5.5.3)	78
Διάγραμμα 5.66 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του C (παράδειγμα 5.5.3)	78
Διάγραμμα 5.67 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ ₁ (παράδειγμα 5.5.4)	80
Διάγραμμα 5.68 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ ₁ (παράδειγμα 5.5.4)	80
Διάγραμμα 5.69 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ ₁ (παράδειγμα 5.5.4)	80
Διάγραμμα 5.70 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του T(1) (παράδειγμα 5.5.5)	82
Διάγραμμα 5.71 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του T(1) (παράδειγμα 5.5.5)	82

Διάγραμμα 5.72 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του T(1) (παράδειγμα 5.5.5)	82
Διάγραμμα 5.73 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w ₁ (παράδειγμα 5.5.6)	84
Διάγραμμα 5.74 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w ₁ (παράδειγμα 5.5.6).....	85
Διάγραμμα 5.75 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w ₁ (παράδειγμα 5.5.6)	85
Διάγραμμα 6.1 Ένταση σήματος κατά την διάρκεια του Handoff [5]	88
Διάγραμμα 6.2 Ρυθμοί άφιξης, τερματισμού και μεταπομπής	90
Διάγραμμα 7.1 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.1)..	96
Διάγραμμα 7.2 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.1)..	96
Διάγραμμα 7.3 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.1)..	97
Διάγραμμα 7.4 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.2)	100
Διάγραμμα 7.5 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.2)	100
Διάγραμμα 7.6 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.2)	100
Διάγραμμα 7.7 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.1)	103
Διάγραμμα 7.8 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.1)	103
Διάγραμμα 7.9 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.1)	104
Διάγραμμα 7.10 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.2)	106
Διάγραμμα 7.11 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.2)	107
Διάγραμμα 7.12 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.2)	107
Διάγραμμα 7.13 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.3)	110
Διάγραμμα 7.14 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.3)	110
Διάγραμμα 7.15 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.3)	110
Διάγραμμα 7.16 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.4)	112
Διάγραμμα 7.17 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.4)	112
Διάγραμμα 7.18 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.4)	113
Διάγραμμα 7.19 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.1)	115
Διάγραμμα 7.20 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.1)	115

Διάγραμμα 7.42 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.3)	134
Διάγραμμα 7.43 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.4)	136
Διάγραμμα 7.44 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.4)	136
Διάγραμμα 7.45 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.4)	136
Διάγραμμα 7.46 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.5)	138
Διάγραμμα 7.47 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.5)	138
Διάγραμμα 7.48 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3 ^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.5)	139
Διάγραμμα 8.1 Πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 8.1)	142
Διάγραμμα VIII.1 Ποσοστό κατάληψης καναλιών σύμφωνα με τον τύπο VIII.1 (Mitchell - Sohraby) και 4.20. Οι τιμές είναι χωρίς κανονικοποίηση.	175

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση της επίδοσης (GOS) των πολιτικών διάθεσης εύρους ζώνης σε συστήματα τηλεπικοινωνιών.

Αρχικά μελετώνται 4 βασικές πολιτικές διάθεσης εύρους ζώνης σε συστήματα μίας κυψέλης, τα οποία εξυπηρετούν πολυδιάστατη κίνηση. Οι πολιτικές που μελετούνται είναι οι: πλήρους διάθεσης εύρους ζώνης, απλής δέσμευσης εύρους ζώνης, ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης και ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων

Αναπτύσσονται 2 νέοι μαθηματικοί τύποι και γίνεται αναφορά σε άλλους δύο για τον θεωρητικό υπολογισμό των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων. Τα αποτελέσματα των τύπων ελέγχονται για τη ορθότητα τους με ένα πρόγραμμα προσομοίωσης που έχει γραφεί για τον σκοπό αυτό. Ένας πρόσθετος έλεγχος ορθότητας των δύο νέων τύπων γίνεται με την χρήση αναλυτικού υπολογισμού σε δύο παραδείγματα.

Στην συνέχεια εισάγεται η έννοια της κινητότητας σε ένα σύστημα δύο κυψελών. Μελετώνται οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων και παρουσιάζονται τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα της κάθε πολιτικής διάθεσης για το σύστημα αυτό. Στο τέλος προκύπτει η βέλτιστη πολιτική διάθεσης με γνώμονα τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων.

1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας, ως φοιτητής του ΠΜΣ «Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα» της Σχολής Επιστημών και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, αποφάσισα να ασχοληθώ με την μελέτη των πολιτικών διάθεσης εύρους ζώνης σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

Οι βασικές αιτίες που με οδήγησαν στην επιλογή του θέματος αυτού, είναι, αφενός η συνεχόμενη ανάπτυξη των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας και αφετέρου η προηγούμενη μου εμπειρία σε τεχνικές προσομοίωσης συστημάτων στατιστικής φύσεως.

Στην παρούσα εργασία μελετώνται τέσσερις βασικές πολιτικές διάθεσης εύρους ζώνης σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Γίνεται ανάλυση των πολιτικών αυτών και παρέχεται τρόπος πειραματικού (μέσω προσομοίωσης) και θεωρητικού υπολογισμού της ποιότητας υπηρεσίας μέσω της παραμέτρου Grade of Service (GOS). Μέσα από την διεργασία αυτή αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε πολιτικής.

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι γενικές αρχές για τα συστήματα τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το μοντέλο απωλειών του Erlang για μονοδιάστατη κίνηση (Erlang B formula).

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται γενίκευση του μοντέλου απωλειών του Erlang για συστήματα πολυδιάστατης τηλεπικοινωνιακής κίνησης και παρουσιάζονται οι τέσσερις πολιτικές διάθεσης εύρους ζώνης:

1. Η πολιτική πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης [1],
2. Η πολιτική απλής δέσμευσης εύρους ζώνης (γνωστής ως trunk reservation policy[1] ή cutoff priority scheme[13])
- 3.η πολιτική ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης (Limited Fractional Guard Channel Scheme) [13]
4. Η πολιτική ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων (γνωστής ως Cut-off with partial blocking [6]).

Για κάθε μία από τις παραπάνω πολιτικές δίνεται ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων.

Στο κεφάλαιο 5 επιλέγεται ένα παράδειγμα από την εργασία των Mitchell –Sohraby [6], το οποίο προσαρμόζεται στις παραπάνω πολιτικές διάθεσης. Για κάθε πολιτική διάθεσης μελετώνται οι μεταβολές στις πιθανότητες απώλειας κλήσεων καθώς αλλάζουν οι μεταβλητές παραμετροποίησης των πολιτικών. Τέτοιες μεταβλητές, ανάλογα με την πολιτική, μπορεί να είναι ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων, ο αριθμός

των καναλιών του συστήματος (δηλαδή η χωρητικότητα του συστήματος), και οι μεταβλητές δέσμησης καναλιών.

Οι υπολογισμοί για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων γίνονται με δύο τρόπους: α) με χρήση μαθηματικών τύπων όπως αυτοί παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4, και β) με ένα πρόγραμμα προσομοίωσης που έχει γραφεί σε γλώσσα Matlab ειδικά για τον σκοπό αυτό.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται και αναλύεται συνοπτικά ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα 2 κυψελών.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται επανάληψη των μετρήσεων του κεφαλαίου 5 εισάγοντας την έννοια της κινητότητας (mobility).

Τέλος στο κεφάλαιο 8 γίνεται ανασκόπηση στα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των παραπάνω πολιτικών διάθεσης εύρους ζώνης.

Κλείνοντας θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ανιδιοτελή και αδιάκοπη υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου Δρα Ιωάννη Μοσχολιό για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσης εργασίας. Ήταν αυτός που με βοήθησε να επιλέξω το θέμα της εργασίας, και αυτός που διέθεσε αρκετές ώρες για να υλοποιηθεί η παρούσα εργασία. Τον ευχαριστώ πολύ.

2. Βασικές έννοιες

2.1. Συστήματα εξυπηρέτησης

Ένα σύστημα εξυπηρέτησης αποτελείται από τους εξυπηρετητές (servers) και τους «πελάτες» οι οποίοι φθάνουν σε αυτό, με έναν ρυθμό λ , και ζητούν να εξυπηρετηθούν. Ο αριθμός των εξυπηρετητών εκφράζει την χωρητικότητα του συστήματος. Ο όρος «πελάτης» είναι γενικός και δεν αναφέρεται απαραίτητα σε άνθρωπο – πελάτη. Για παράδειγμα ένας «πελάτης» θα μπορούσε να είναι ένα αυτοκίνητο που περιμένει στα διόδια σε μία εθνική οδό ή ένα πακέτο δεδομένων που εισέρχεται σε ένα επικοινωνιακό σύνδεσμο για μετάδοση ή μία κλήση φωνής που περιμένει να εξυπηρετηθεί από ένα τηλεφωνικό κέντρο. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα αναφερθούμε σε κλήσεις φωνής. Όταν μια κλήση φτάσει στο σύστημα εξυπηρέτησης θα δεσμεύσει έναν ή περισσότερους εξυπηρετητές για κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να εξυπηρετηθεί οπότε και θα φύγει από το σύστημα. Σε αυτό το χρονικό διάστημα καμία άλλη κλήση δεν θα μπορέσει να εξυπηρετηθεί από τους ίδιους εξυπηρετητές. Έτσι οι επόμενες κλήσεις θα πρέπει να περιμένουν να ελευθερωθούν εξυπηρετητές αν το σύστημα διαθέτει ουρά αναμονής (delay system) ή να παραιτηθούν από την προσπάθεια εξυπηρέτησης αν όλοι οι εξυπηρετητές είναι κατειλημμένοι και δεν υπάρχει ουρά αναμονής. Στην τελευταία αυτή περίπτωση αναφερόμαστε σε απώλεια κλήσεως και συμφόρηση του συστήματος. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα θεωρήσουμε συστήματα εξυπηρέτησης χωρίς ουρά αναμονής. Ένα τέτοιο σύστημα αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως σύστημα απωλειών (loss system) [1].

Σημαντικό ρόλο στην συμφόρηση των κλήσεων κατέχει ο ρυθμός εξυπηρέτησής τους που συμβολίζεται ως μ . Είναι φανερό, για παράδειγμα, ότι σ' έναν σταθμό διοδίων με τεχνολογία ασύρματης χρέωσης (e-pass) ο χρόνος εξυπηρέτησης κάθε πελάτη είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο χρόνο σε ένα συμβατικό σταθμό χρέωσης.

2.2. Βαθμός εξυπηρέτησης σε σύστημα απωλειών

Το ποσοστό των κλήσεων που χάνονται σε ένα σύστημα απωλειών λόγω έλλειψης εξυπηρετητών είναι ένας δείκτης της ποιότητας εξυπηρέτησης του συστήματος και ονομάζεται βαθμός εξυπηρέτησης.

Για ένα σύστημα απωλειών ο βαθμός εξυπηρέτησης ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού αριθμού χαμένων κλήσεων προς τον συνολικό αριθμό των κλήσεων [1]:

$$B = \frac{\text{Συνολικός αριθμός χαμένων κλήσεων}}{\text{Συνολικός αριθμός προσφερθεισών κλήσεων}} \quad (2.1)$$

Ο βαθμός εξυπηρέτησης αναφέρεται συνήθως στην ώρα αιχμής (busy hour), δηλαδή στην χρονική εκείνη περίοδο όπου υπάρχει μεγάλη κίνηση.

2.3. Ορισμός φορτίου κίνησης

Ορίζουμε ως φορτίο κίνησης α την συνολική διάρκεια όλων των κλήσεων εντός ενός χρονικού διαστήματος που λαμβάνεται ως μονάδα. Παρόλο που το φορτίο κίνησης είναι αδιάστατο μέγεθος, χρησιμοποιούμε ως μονάδα του φορτίου κίνησης το Erlang. Για παράδειγμα εάν μια τηλεφωνική κλήση καταλάβει ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι για μία ώρα τότε δημιουργεί κίνηση 1 Erlang.

Το φορτίο κίνησης, που συχνά αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως ένταση κίνησης, έχει τις ακόλουθες ιδιότητες [1]:

α) Αν c είναι ο αριθμός των κλήσεων που φθάνουν σε ένα σύστημα και h είναι η μέση διάρκειά τους, τότε το φορτίο κίνησης α δίδεται από την σχέση:

$$\alpha = c \cdot h \text{ [erl]} \quad (2.2)$$

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θεωρούμε ότι η άφιξη των κλήσεων ακολουθεί την διαδικασία Poisson με σταθερό ρυθμό λ , ενώ ο χρόνος εξυπηρέτησης των κλήσεων είναι εκθετικά κατανομημένος με μέση τιμή μ^{-1} . Επομένως, η σχέση (2.2) γράφεται ως:

$$\alpha = \lambda \cdot \frac{1}{\mu} \quad (2.3)$$

β) Το φορτίο κίνησης ισούται προς τον αριθμό των κλήσεων που φθάνουν σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα σε χρόνο τόσο, όσο και η μέση τιμή της διάρκειας των κλήσεων.

γ) Το φορτίο κίνησης που εξυπηρετείται από μία γραμμή είναι ίσο με την πιθανότητα η γραμμή να είναι κατειλημμένη.

δ) Το φορτίο κίνησης που διεκπεραιώνεται από μια ομάδα γραμμών είναι ίσο με τον μέσο αριθμό κατειλημμένων γραμμών της ομάδας.

3. Το μοντέλο απωλειών του Erlang

3.1. Η Erlang B formula

Το μοντέλο απωλειών του Erlang (Erlang loss model) είναι το απλούστερο από όλα τα μοντέλα απωλειών. Αποτελείται από μια ζεύξη με C εξυπηρετητές στην οποία φτάνουν οι κλήσεις μιας κατηγορίας κίνησης, ακολουθώντας μια διαδικασία Poisson, με ρυθμό λ ενώ ο χρόνος εξυπηρέτησης των κλήσεων είναι εκθετικά κατανομημένος με μέση τιμή μ^{-1} . Επειδή το σύστημα αυτό εξυπηρετεί μόνο μια κατηγορία κίνησης, αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως μονοδιάστατο σύστημα απωλειών. Κάθε κλήση απαιτεί μία μονάδα εύρους ζώνης (ή αλλιώς έναν μόνο εξυπηρετητή). Απώλεια κλήσης έχουμε μόνο στην περίπτωση που κατά την άφιξη της όλοι οι εξυπηρετητές του συστήματος είναι κατειλημμένοι. Η πιθανότητα απώλειας κλήσεως (call blocking probability) δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$B = \frac{\frac{a^C}{C!}}{\sum_{i=0}^C \frac{a^i}{i!}} \quad (3.1)$$

η οποία είναι γνωστή στην βιβλιογραφία ως Erlang-B Formula.

3.2. Αναδρομικός τύπος υπολογισμού της Erlang-B formula

Η σχέση (3.1) περιέχει παραγοντικά με αποτέλεσμα να είναι δύσχρηστη, ιδιαίτερα όταν η τιμή του C γίνει μεγάλη. Για τον λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί ένας απλός αναδρομικός τύπος της μορφής [1]:

$$E_C(a) = \frac{aE_{C-1}(a)}{C + aE_{C-1}(a)}, \quad E_0(a) = 1 \quad (3.2)$$

όπου $a = \lambda/\mu$ είναι το προσφερόμενο φορτίο κίνησης στο σύστημα των C εξυπηρετητών.

4. Το μοντέλο απωλειών πολυδιάστατης κίνησης

4.1. Πολιτική πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης

Το μοντέλο που εξετάζεται στην παράγραφο αυτή αποτελεί γενίκευση του μοντέλου απωλειών του Erlang. Εδώ η προσφερόμενη κίνηση προέρχεται όχι από μία, αλλά από περισσότερες κατηγορίες κίνησης, οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (ή εξυπηρετητές). Το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην ανάλυση της απόδοσης τηλεπικοινωνιακών δικτύων, τα οποία εξυπηρετούν διαφορετικούς τύπους κίνησης, είναι δε γνωστό στην βιβλιογραφία ως μοντέλο απωλειών πολυδιάστατης κίνησης, ή ως Erlang Multirate Loss Model [2].

Θεωρούμε μια ζεύξη χωρητικότητας C μονάδων εύρους ζώνης, η οποία εξυπηρετεί κλήσεις από K κατηγορίες κίνησης. Οι κλήσεις της κατηγορίας κίνησης k ($k=1, \dots, K$) φτάνουν στο σύστημα ακολουθώντας μια διαδικασία Poisson, προσφέρουν στο σύστημα φορτίο κίνησης a_k ενώ απαιτούν b_k μονάδες εύρους ζώνης προκειμένου να εξυπηρετηθούν. Η διάθεση του εύρους ζώνης της ζεύξης γίνεται με βάση την πολιτική πλήρους διάθεσης (complete sharing policy). Σύμφωνα με την πολιτική αυτή αν κατά την άφιξη μιας κλήσης της κατηγορίας κίνησης k υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης b_k τότε η κλήση γίνεται δεκτή στο σύστημα και παραμένει σε αυτό για χρόνο ίσο με μ_k^{-1} . Διαφορετικά, η κλήση μπλοκάρεται και χάνεται [1].

Αν ορίσουμε ως j τον συνολικό αριθμό των κατειλημμένων μονάδων εύρους ζώνης του συστήματος, όπου $j = 0, 1, \dots, C$ τότε η μη κανονικοποιημένη πιθανότητα $q(j)$, η οποία δηλώνει το σύστημα να βρεθεί στην κατάσταση j , δίνεται από τον παρακάτω ακριβή αναδρομικό τύπο, γνωστό στην βιβλιογραφία ως τύπο των Kaufman-Roberts [3],[4]:

$$q(j) = \begin{cases} 1 & \text{για } j = 0 \\ \frac{1}{j} \sum_{k=1}^K a_k b_k (j - b_k) q(j - b_k) & \text{για } j = 1, 2, \dots, C \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (4.1)$$

Η πιθανότητα απώλειας κλήσης δίνεται από το άθροισμα όλων των καταστάσεων για τις οποίες οι ελεύθεροι εξυπηρετητές είναι λιγότεροι από b_k για την k κατηγορία κλήσης [3]:

$$P_{b_k} = \sum_{j=C-b_k+1}^C G^{-1} q(j) \quad (4.2)$$

όπου G είναι σταθερά κανονικοποίησης:

$$G = \sum_{j=0}^C q(j) \quad (4.3)$$

4.2. Δέσμευση εύρους ζώνης (*trunk reservation*)

Η πολιτική δέσμευσης εύρους ζώνης της ζεύξης χρησιμοποιείται προκειμένου να ωφεληθούν κλήσεις μιας κατηγορίας κίνησης με υψηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης (ή υψηλές απαιτήσεις ποιότητας εξυπηρέτησης) έναντι κλήσεων άλλων κατηγοριών κίνησης με μικρότερες απαιτήσεις εύρους ζώνης (ή μικρότερες απαιτήσεις ποιότητας εξυπηρέτησης). Για παράδειγμα, έστω ότι σε ένα κυψελωτό σύστημα υπάρχουν δύο κατηγορίες κίνησης. Οι κλήσεις που εγκαθίστανται για πρώτη φορά και οι κλήσεις οι οποίες προέρχονται από μεταπομπή (*handover*). Για λόγους πολιτικής, αν το σύστημα δεν έχει αρκετούς πόρους ώστε να εξυπηρετήσει όλες τις κλήσεις, είναι προτιμότερο να απορριφθούν οι κλήσεις που προσπαθούν να εγκατασταθούν για πρώτη φορά σε αντίθεση με τις κλήσεις μεταπομπής, όπου ο συνδρομητής έχει ήδη ξεκινήσει την συνομιλία του και η απώλεια της κλήσης θα του προκαλούσε μεγάλη δυσχέρεια.

Αν για την κατηγορία κίνησης k συμβολίσουμε με $t(k)$ τον αριθμό των μονάδων εύρους ζώνης που δεσμεύονται προς όφελος των κλήσεων άλλων κατηγοριών κίνησης εκτός της k , τότε ο υπολογισμός της μη κανονικοποιημένης πιθανότητας $q(j)$ μπορεί να γίνει με προσεγγιστικό τρόπο από τον ακόλουθο αναδρομικό τύπο (τύπος Roberts) [5]:

$$q(j) = \begin{cases} 1 & \text{για } j = 0 \\ \frac{1}{j} \sum_{k=1}^K a_k D_k(j - b_k) q(j - b_k) & \text{για } j = 1, 2, \dots, C \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (4.4)$$

όπου η παράμετρος D_k εκφράζει το γεγονός ότι οι κλήσεις της κατηγορίας k δεν έχουν πρόσβαση στο σύστημα (δηλαδή μπλοκάρονται και χάνονται) όταν $j > C - t(k)$ και δίνεται από την σχέση [5]:

$$D_k(j - b_k) = \begin{cases} b_k \text{ για } & j \leq C - t(k) \\ 0 \text{ για } & j > C - t(k) \end{cases} \quad (4.5)$$

Η πιθανότητα απώλειας κλήσεως δίνεται από την σχέση:

$$P_{b_k} = \sum_{j=C-b_k-t(k)+1}^C G^{-1} q(j) \quad (4.6)$$

όπου G είναι σταθερά κανονικοποίησης:

$$G = \sum_{j=0}^C q(j) \quad (4.7)$$

4.3. Ελαστική Δέσμευση Εύρους Ζώνης

Με την τεχνική απλής δέσμευσης εύρους ζώνης όταν το σύστημα είναι υπερφορτωμένο, κάποιες από τις κατηγορίες κλήσεων θα απορρίπτονται συνεχώς. Κατά συνέπεια, αυτό μπορεί να προκαλεί προβλήματα σε κάποιους χρήστες. Για παράδειγμα εάν σε ένα τηλεφωνικό κέντρο δοθεί προτεραιότητα στις αστικές κλήσεις, τότε σε μια περίπτωση ανάγκης, π.χ. σεισμού κανείς δεν θα μπορέσει να κάνει υπεραστικές κλήσεις.

Για να δώσουμε λύση σε αυτό το πρόβλημα τροποποιούμε το σύστημα έτσι ώστε όλοι οι συνδρομητές να έχουν πιθανότητα να κάνουν μια επιτυχή κλήση. Δεσμεύουμε εύρος ζώνης για την κάθε κατηγορία κλήσης και το διαθέτουμε με κάποια προκαθορισμένη πιθανότητα στους συνδρομητές. Έτσι ακόμα και αν το κέντρο υπερφορτωθεί, δηλαδή έχει πολύ λίγους ελεύθερους εξυπηρετητές, όλες οι κατηγορίες κλήσεων έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν κλήσεις.

Με αυτές τις συνθήκες η κάθε κατηγορία κίνησης k περιγράφεται από τις ακόλουθες μεταβλητές:

$$a_k \text{ η προσφερόμενη κίνηση } a_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k} \text{ (σε erl)}$$

b_k το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την κλήση κατηγορίας κίνησης k
 $t(k)$ τα κανάλια που θα δεσμευθούν προς όφελος των άλλων κατηγοριών κλήσεων
 w_k η πιθανότητα μια κλήση να εξυπηρετηθεί όταν τα ελεύθερα κανάλια είναι λιγότερα από $t(k)$

Για παράδειγμα έστω ότι σε μια κατηγορία κίνησης οι παραπάνω μεταβλητές έχουν την τιμή:

$$b=2$$

$$t=4$$

$$w=0.5$$

με διαθέσιμους πόρους $C=12$.

Τότε μια νέα κλήση που θα φτάσει στο σύστημα θα γίνει ή όχι δεκτή σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ελεύθερα κανάλια	0 – 1	2 – 5	6-12
Συμπεριφορά κλήσης	Απώλεια (λόγω της τιμής $b=2$)	Γίνεται δεκτή με πιθανότητα 50%	Γίνεται δεκτή
Κατάσταση	A	B	Γ

Πίνακας 2.1 Παράδειγμα δέσμευσης εύρους ζώνης με πιθανότητα διάθεσης

Στην βιβλιογραφία η πολιτική δέσμευσης εύρους ζώνης με πιθανότητα διάθεσης συχνά αναφέρεται με την ορολογία Limited Fractional Guard Channel Scheme [12].

Για τον θεωρητικό υπολογισμό των $q(j)$ θα βασιστούμε στον τύπο του Roberts:

$$q(j) = \begin{cases} 1 & \text{για } j = 0 \\ \frac{1}{j} \sum_{k=1}^K a_k D_k(j - b_k) q(j - b_k) & \text{για } j = 1, 2, \dots, C \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (4.8)$$

Στην περίπτωση όπου $j > C - t(k)$ ο αριθμός των καναλιών που καταλαμβάνουν οι κλήσεις είναι b_k με πιθανότητα w_k , ενώ στην περίπτωση που $j \leq C - t(k)$ ο αριθμός των καναλιών που καταλαμβάνει μια κλήση είναι b_k

Έτσι ο υπολογισμός του D_k γίνεται με τον παρακάτω τύπο:

$$D_k(j - b_k) = \begin{cases} b_k \text{ για } j \leq C - t(k) \\ w_k b_k \text{ για } j > C - t(k) \end{cases} \quad (4.9)$$

Η πιθανότητα απώλειας δίνεται από την σχέση:

$$P_{b_k} = \sum_{j=C-b_k+1-t(k)}^{C-b_k} Q(j)(1-w_k) + \sum_{j=C-b_k+1}^C Q(j) \quad (4.10)$$

όπου το $Q(j)$ είναι η κανονικοποιημένη τιμή των πιθανοτήτων $q(j)$

$$Q(j) = \frac{q(j)}{\sum_{j=0}^C q(j)} \quad (4.11)$$

Ο όρος $\sum_{j=C-b_k+1}^C Q(j)$ δηλώνει τις πιθανότητες το σύστημα να βρεθεί στην κατάσταση

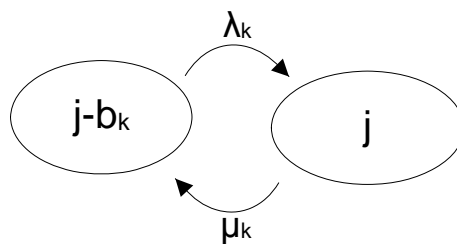
(A) δηλαδή να μην υπάρχει καθόλου δυνατότητα έτσι ώστε η κλήση να εξυπηρετηθεί.

Ο όρος $\sum_{j=C-b_k+1-t(k)}^{C-b_k} Q(j)(1-w_k)$ φανερώνει την κατάσταση (B) κατά την οποία

υπάρχουν ελεύθεροι εξυπηρετητές, αλλά είναι λιγότεροι από $t(k)$. Έτσι οι κλήσεις σε αυτήν την κατάσταση θα αποκλειστούν με πιθανότητα $(1-w_k)$.

Ακολουθεί η απόδειξη του τύπου 4.8:

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει δύο συνεχόμενες καταστάσεις του j



Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα Markov για δύο συνεχόμενες καταστάσεις του μοντέλου 4.3

Εάν το $q_k(j)$ συμβολίζει την συμβολή της κατηγορίας κίνησης k στην ολική πιθανότητα $q(j)$ τότε ισχύει [8]:

$$q(j) = \sum_{k=1}^K q_k(j) \quad (4.12)$$

Στην περίπτωση όπου ισχύει $j \leq C-t(k)$ τότε η εξίσωση τοπικής ισορροπίας του διαγράμματος 4.1 δίνει:

$$\lambda_k q(j-b_k) = \frac{j}{b_k} q_k(j) \mu_k$$

$$\rightarrow q_k(j) = \frac{1}{j} \frac{\lambda_k}{\mu_k} b_k q(j-b_k) = \frac{1}{j} a_k b_k q(j-b_k) \text{ για } j \leq C-t(k) \quad (4.13)$$

Διαφορετικά εάν $j > C-t(k)$ το σύστημα διαθέτει τα κανάλια με πιθανότητα w_k . Έτσι η πιθανότητα διάθεσης θα είναι $w_k q(j-b_k)$

$$\lambda_k w_k q(j-b_k) = \frac{j}{b_k} q_k(j) \mu_k$$

$$\rightarrow q_k(j) = \frac{1}{j} \frac{\lambda_k}{\mu_k} w_k b_k q(j-b_k) = \frac{1}{j} a_k w_k b_k q(j-b_k) \text{ για } j > C-t(k) \quad (4.14)$$

Έχοντας ορίσει την μεταβλητή $D_k(j-b_k)$ (σχέση 4.9) οι τύποι 4.13 και 4.14 παίρνουν μια ενοποιημένη μορφή:

$$q_k(j) = \frac{1}{j} a_k D_k(j-b_k) q(j-b_k) \quad (4.15)$$

Αθροίζοντας και τα δύο μέλη της 4.15 ως προς όλες τις κατηγορίες κίνησης και βασιζόμενοι στην σχέση 4.12, προκύπτει ότι:

$$q(j) = \sum_{k=1}^K \frac{1}{j} a_k D_k(j-b_k) q(j-b_k) \quad (4.16)$$

Για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων θεωρούμε την τιμή $q(0)=1$. Οι τιμές που προκύπτουν για το $q(j)$ από την 4.16 χρειάζονται κανονικοποίηση. Από την 4.16 προκύπτει η 4.8.

4.4. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία κλήσεων [6]

Μια παραλλαγή της ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης είναι αυτή που μελέτησαν οι K. Mitchell και K. Sohraby [6]. Η πολιτική διάθεσης είναι ίδια με αυτήν που μελετήσαμε στην παράγραφο 4.3 με την διαφορά να έγκειται στον τρόπο εφαρμογής του κατωφλίου σύγκρισης.

Έστω ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα 6 καναλιών το οποίο εξυπηρετεί 3 κατηγορίες (κλάσεις) κίνησης. Για ευκολία θεωρούμε ότι κάθε κατηγορία κλήσεων καταλαμβάνει 1 κανάλι. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τα κανάλια που καταλαμβάνουν οι κλήσεις τρεις τυχαίες χρονικές στιγμές, την α , β και γ .

α	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 2	κλήση κλάσης 3	ελεύθερο κανάλι
β	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 2	ελεύθερο κανάλι	ελεύθερο κανάλι
γ	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	κλήση κλάσης 1	ελεύθερο κανάλι

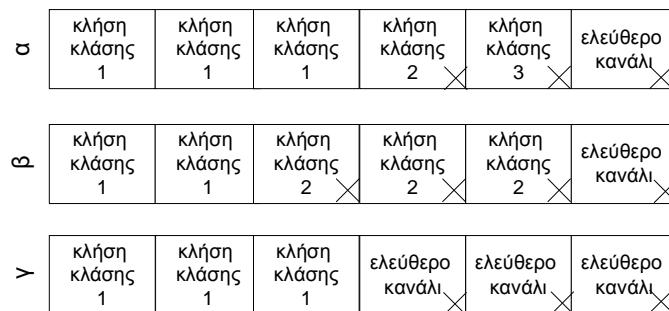
Διάγραμμα 4.2 Τυχαία κατανομή καναλιών για 3 κατηγορίες κλήσεων

Στο διάγραμμα 4.2α οι κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας καταλαμβάνουν 3 κανάλια, έτσι υπάρχουν 3 κανάλια για τις κλήσεις άλλων κατηγοριών ή ελεύθερα (τα κανάλια τα οποία είτε είναι ελεύθερα είτε δεν καταλαμβάνονται από κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας είναι μαρκαρισμένα με το σύμβολο X). Για να περιοριστούν τα κανάλια που καταλαμβάνει η 1^η κατηγορία κλήσεων, θα μπορούσε να εφαρμοστεί η πολιτική **απλής δέσμευσης εύρους ζώνης** για 1 κανάλι $t(1)=1$. Πράγματι για την κατάσταση του σχήματος 4.2α εάν αφιχθεί μια κλήση της 1^{ης} κατηγορίας δεν θα γίνει δεκτή στο σύστημα. Όμως εάν τερματιστεί μια κλήση της 3^{ης} κατηγορίας, θα ελευθερωθεί ένα κανάλι, (σχήμα 4.2β) και θα υπάρχει η δυνατότητα να γίνει ακόμα μια κλήση της 1^{ης} κατηγορίας δεκτή στο σύστημα. Πιθανή είναι και η περίπτωση το σύστημα να περιέχει 5 κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας αφήνοντας μόνο 1 κανάλι ελεύθερο για τις υπόλοιπες κατηγορίες κλήσεων (διάγραμμα 4.2γ).

Στόχος της πολιτικής **ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων** είναι να εμποδίζει την κάθε κατηγορία κίνησης να καταλάβει πάρα πολλά κανάλια του συστήματος. Εάν τα κανάλια του συστήματος, τα οποία **στερούνται** κλήσεων κατηγορίας k (δεν καταλαμβάνονται από κλήσεις της κατηγορίας k), είναι λιγότερα ή ίσα από το κατώφλι $T(k)$ τότε το σύστημα περιορίζει την διάθεση καναλιών στις κλήσεις κατηγορίας k . Υπενθυμίζεται ότι στην πολιτική της παραγράφου 4.3 το σύστημα περιορίζει την διάθεση καναλιών στις κλήσεις κατηγορίας k εάν τα κανάλια που στερούνται κλήσεων (δεν καταλαμβάνονται από κλήσεις) οποιασδήποτε κατηγορίας είναι λιγότερα ή ίσα από το κατώφλι $t(k)$.

Εφαρμόζοντας την πολιτική αυτή στο παραπάνω παράδειγμα μπορεί να περιοριστεί η κατάληψη καναλιών στις κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας. Επιλέγοντας τις μεταβλητές

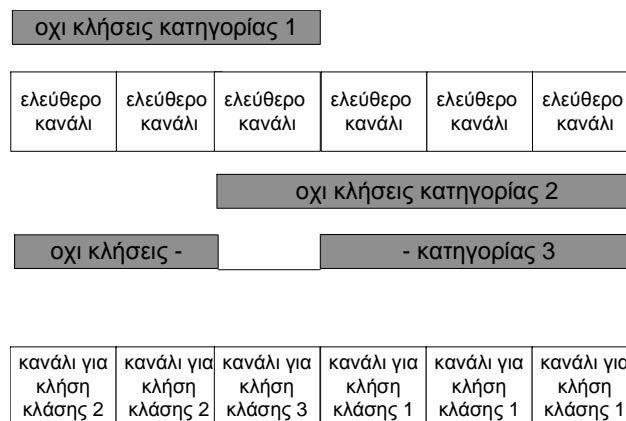
$T(1)=3$ και $w_1=0$ οι κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας θα αφήσουν 3 κανάλια για τις κλήσεις των άλλων κατηγοριών (διάγραμμα 4.3α).



Διάγραμμα 4.3 Τυχαία κατανομή καναλιών εφαρμόζοντας την πολιτική της παραγράφου 4.4

Η δέσμευση καναλιών δεν θα έχει ισχύ όταν οι κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας είναι πολύ λίγες. Στο διάγραμμα 4.3β εάν αφιχθεί μια κλήση της 1^{ης} κατηγορίας θα γίνει δεκτή στο σύστημα παρόλο που υπάρχει μόνο ένα ελεύθερο κανάλι. Επίσης $T(1)=3$ κανάλια δεν θα παρέχονται σε κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας ακόμα και αν η κίνηση των άλλων κατηγοριών είναι πολύ μικρή. Στο σχήμα 4.3γ τα 3 ελεύθερα κανάλια δεν παρέχονται σε κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας, αλλά περιμένουν την άφιξη κλήσεων των άλλων δύο κατηγοριών κίνησης.

Εάν στο παραπάνω παράδειγμα επιλέξουμε τις παραμέτρους $T(1)=3$, $T(2)=4$ και $T(3)=5$ με τα αντίστοιχα $w_1=w_2=w_3=0$ τότε η πολιτική διάθεσης καναλιών που χρησιμοποιούμε ονομάζεται πολιτική πλήρους διαμελισμού - Complete Partitioning Policy[1][13].



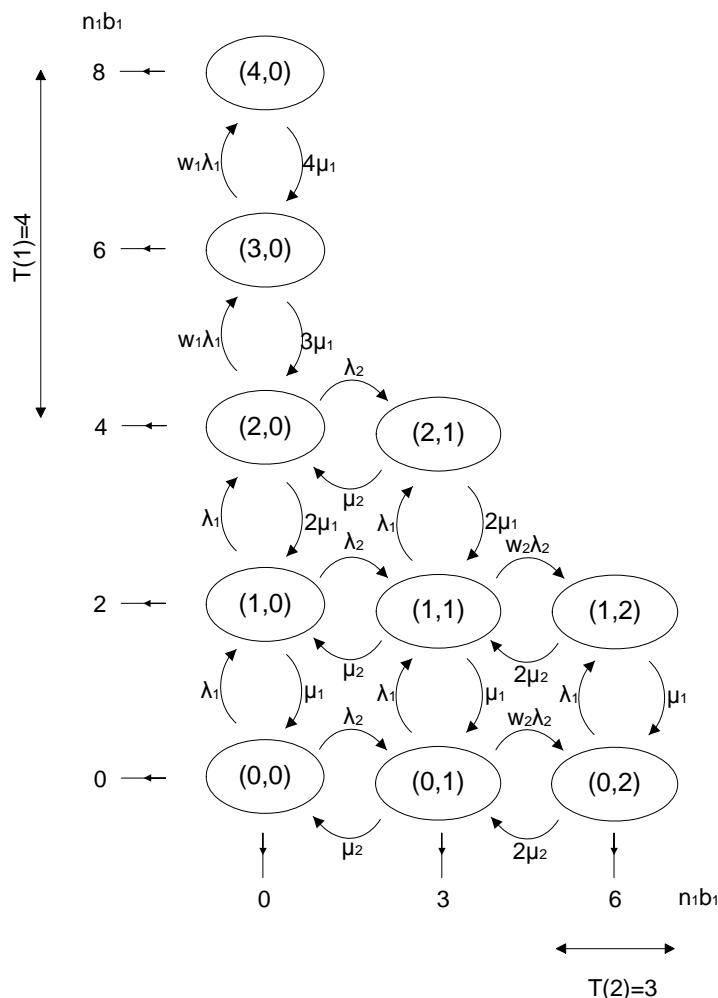
Διάγραμμα 4.4 Η πολιτική πλήρους διαμελισμού ως υποσύνολο της πολιτικής απλής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων

Το διάγραμμα 4.4 δείχνει ότι, με αυτές τις παραμέτρους, οι κλήσεις 1^{ης} κατηγορίας έχουν 3 αποκλειστικά κανάλια για την εξυπηρέτησή τους, οι κλήσεις 2^{ης} κατηγορίας 2 αποκλειστικά κανάλια και οι κλήσεις 3^{ης} κατηγορίας 1 αποκλειστικό κανάλι για την εξυπηρέτησή τους. Έτσι η πολιτική δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων, επιλέγοντας κατάλληλες παραμέτρους

μπορεί να πάρει την μορφή πολιτικής πλήρους διαμερισμού. (Για να έχουμε πολιτική πλήρους διαμερισμού πρέπει να ισχύει η σχέση $C_1+C_2+\dots+C_k \leq C$ [1] όπου C_k τα κανάλια που διαθέτονται κλήσεις κατηγορίας k , που στην περίπτωση μας είναι $C_k=C-T(k)$)

Στις περιπτώσεις που η μεταβλητή w έχει την τιμή 0, και δεν υπάρχει διαμερισμός στην χρήση καναλιών η πολιτική διάθεσης καναλιών καλείται πολιτική κατωφλίου (Threshold Policy) [1].

Στην γενικότερη μορφή της πολιτικής διάθεσης η μεταβλητή w μπορεί να περιέχει τιμές μεταξύ 0 και 1, και έτσι, η παραπάνω δέσμευση να μην είναι ολική, αλλά μερική σύμφωνα με την πιθανότητα w . Η πολιτική αυτή είναι αυτή που θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία ως μια διευρυμένη πολιτική διάθεσης καναλιών (ή εύρους ζώνης). Στην βιβλιογραφία συναντάται με την ονομασία Cut-off with partial blocking[6]. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει ένα διάγραμμα Markov για 2 κατηγορίες κίνησης με τιμές $C=8$, $T(1)=4$, $T(2)=3$, $b_1=2$ και $b_2 = 3$.



Διάγραμμα 4.5 Διάγραμμα Markov για την πολιτική της παραγράφου 4.4

Ο αλγόριθμος της πολιτικής μπορεί να περιγραφεί σε δύο στάδια:

- Όταν μια νέα κλήση κατηγορίας k θέλει να καταλάβει b_k κανάλια του συστήματος, μετρώνται τα κανάλια του συστήματος που δεν είναι κατειλημμένα από κλήσεις κατηγορίας k και συγκρίνονται με την παράμετρο $T(k)$, (τα κανάλια είναι μαρκαρισμένα με το σύμβολο X για τις κλήσεις κατηγορίας 1 στα διαγράμματα 4.2 και 4.3).
- Εάν τα κανάλια που δεν καταλαμβάνονται από κλήσεις κατηγορίας k είναι περισσότερα από την παράμετρο $T(k)$ και υπάρχουν αρκετά κανάλια για την εξυπηρέτηση της κλήσης κατηγορίας k τότε η κλήση γίνεται δεκτή στο σύστημα.
- Εάν δεν υπάρχουν αρκετά ελεύθερα κανάλια για να εξυπηρετηθεί η κλήση τότε η κλήση μπλοκάρεται και χάνεται. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα βρίσκεται στις καταστάσεις θ_k

$$\theta_k = \{n \mid (n_k + 1)b_k + \sum_{l \neq k} n_l b_l > C\} \text{ και } n \in \Omega \quad (4.17)$$

- Εάν τα κανάλια που δεν καταλαμβάνονται από κλήσεις της κατηγορίας k είναι λιγότερα ή ίσα από την παράμετρο $T(k)$ και υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια για την εξυπηρέτηση της κλήσης, τότε η κλήση γίνεται δεκτή με πιθανότητα w_k . Τα κανάλια που δεν καταλαμβάνονται από κλήσεις κατηγορίας k υπολογίζονται από την διαφορά $C - n_k b_k$. Η σύγκριση έχει την μορφή

$$C - n_k b_k \leq T(k) \rightarrow C - n_k b_k - b_k < T(k) \rightarrow C - b_k - T(k) < n_k b_k \quad (4.18)$$

Υπενθυμίζεται ότι στην πολιτική του κεφαλαίου 4.3 η αντίστοιχη σύγκριση ήταν της μορφής $C - b_k - t(k) < j$.

Στην σχέση 4.18 ο όρος $C - n_k b_k$ δηλώνει τα κανάλια που στερούνται κλήσεων κατηγορίας k . Η αμέσως μικρότερη τιμή τους, είναι η $C - n_k b_k - b_k$ (τα κανάλια από την k κατηγορία κίνησης μεταβάλλονται με βήμα b_k)

Το σύνολο των καταστάσεων που περιγράφει την κατάσταση αυτή ορίζεται ως θ_k^+ :

$$\theta_k^+ = \{n \mid C - T(k) < (n_k + 1)b_k \leq C, n \in \Omega\} \text{ και } n \notin \theta_k \quad (4.19)$$

όπου Ω το σύνολο όλων των δυνατών καταστάσεων του συστήματος και n ο πίνακας των ενεργών κλήσεων n_k ($n = [n_1 \ n_2 \ \dots \ n_k]$)

Ο τύπος που υπολογίζει την πιθανότητα απώλειας για την πολιτική αυτή είναι:

$$P_{bk} = \frac{1}{G} \sum_{n \in \theta_k} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n)}{n_k!} + \frac{1}{G} \sum_{n \in \theta_k^+} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n)}{n_k!} (1 - w_k) \quad (4.20)$$

όπου

$$\phi_k(n) = \begin{cases} a_k^{n_k} w_k^{n_k - \left\lfloor \frac{C-T(k)}{b_k} \right\rfloor} & \text{εαν } n_k b_k > C - T(k) \\ a_k^{n_k} & \text{αλλιως} \end{cases} \quad (4.21)$$

και

$$G = \sum_{n \in \Omega} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k}{n_k!} \quad (4.22)$$

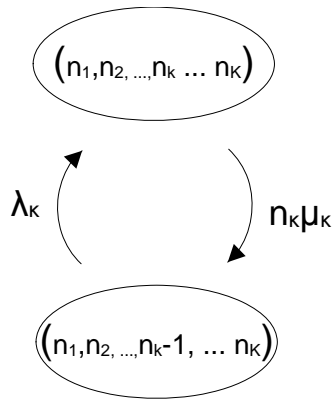
Η συνθήκη για τον υπολογισμό του ϕ_k για τον τύπο 4.21 δηλώνει την τωρινή κατάσταση του συστήματος και δεν πρέπει να συγχέεται με τις συνθήκες των θ_k και θ_k^+ που δηλώνουν την επόμενη κατάσταση του συστήματος.

Αρκετές φορές στην βιβλιογραφία ορίζεται ως κατώφλι η μεταβλητή $Th(k)$ [6]. (Το κατώφλι $Th(k)$ της εργασίας [6] σχετίζεται με την μεταβλητή $T(k)$ σύμφωνα με την σχέση $Th=C-T(k)$. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση του $T(k)$ έτσι ώστε να μοντέλα των παραγράφων 4.3 και 4.4 να έχουν ενοποιημένη μορφή.)

Εκτός από τον τύπο 4.20, θα μπορούσε να γίνει μια εκτίμηση για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο της εργασίας [6]. Όμως στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιείται, γιατί δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα (βλ παράρτημα VIII).

4.5. Απόδειξη του τύπου 4.20

Το διάγραμμα Markov για δύο διαδοχικές καταστάσεις του συστήματος είναι:



Διάγραμμα 4.6 Διάγραμμα Markov για δύο συνεχόμενες καταστάσεις του μοντέλου 4.4

Από το παραπάνω διάγραμμα διακρίνονται δύο δυνατές περιπτώσεις:

A. Εάν το σύστημα βρίσκεται στην κατάσταση $n = (n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K)$ και δεν έχει ξεπεράσει την στάθμη κατωφλίου ($C-T(k)$), τότε ισχύει:

$$P(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, \dots, n_K) \cdot \lambda_k = P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) \cdot n_k \cdot \mu_k \quad (4.23)$$

όπου το σύμβολο $P(n)$ δηλώνει την πιθανότητα το σύστημα να βρίσκεται στην κατάσταση n , το λ_k δηλώνει τον ρυθμό άφιξης κλήσεων της κατηγορίας κίνησης k , το n_k δηλώνει το πλήθος των κλήσεων της κατηγορίας κίνησης k που εξυπηρετούνται στο σύστημα, και τέλος το μ_k δηλώνει τον ρυθμό εξυπηρέτησης των κλήσεων της κατηγορίας κίνησης k .

B. Διαφορετικά, εάν το σύστημα βρίσκεται στην κατάσταση $n = (n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K)$ και έχει ξεπεράσει την στάθμη κατωφλίου ($C-T(k)$) δηλαδή οι κλήσεις κατηγορίας k καταλαμβάνουν περισσότερους εξυπηρετητές από $C-T(k)-b_k$ (με άλλα λόγια ισχύει ότι $n_k \cdot b_k > C-T(k)-b_k$) τότε η κλήση κατηγορίας k θα γίνει δεκτή με πιθανότητα w_k .

Για αυτήν την περίπτωση ο τύπος που προκύπτει από το διάγραμμα κατάστασης είναι:

$$w_k \cdot P(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, \dots, n_K) \cdot \lambda_k = P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) \cdot n_k \cdot \mu_k \quad (4.24)$$

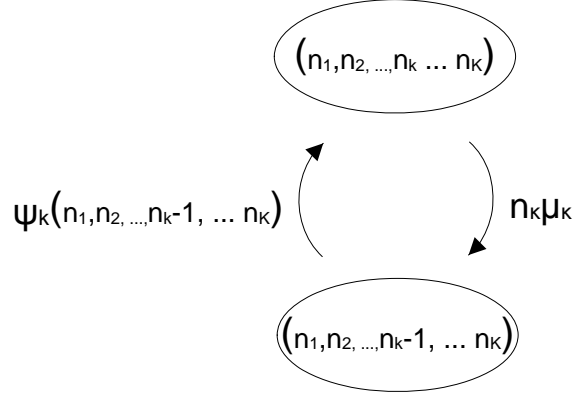
Ορίζοντας την βοηθητική μεταβλητή $\psi_k(n)$ ως

$$\psi_k(n) = \begin{cases} \lambda_k w_k & \text{εαν } n_k b_k > C - T(k) \\ \lambda_k & \text{αλλιως} \end{cases} \quad (4.25)$$

οι σχέσεις 4.23 και 4.24 παίρνουν μια ενοποιημένη μορφή ως ακολούθως:

$$P(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, \dots, n_K) \cdot \psi_k(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, \dots, n_K) = P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) \cdot n_k \cdot \mu_k \quad (4.26)$$

Γραφικά σε ένα διάγραμμα Markov η σχέση 4.26 θα μπορούσε να απεικονιστεί ως



Διάγραμμα 4.7 Ισοδύναμο διάγραμμα Markov με το διάγραμμα 4.6

Η ανάλυση της σχέσης 4.26 δίνει

$$P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) = \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 1), \dots, n_K)}{n_k \mu_k} P(n_1, n_2, \dots, (n_k - 1), \dots, n_K) \quad (4.27)$$

Η σχέση 4.27 ισχύει για όλες τις καταστάσεις του συστήματος, ανεξάρτητα από το εάν η κατάσταση $(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, \dots, n_K)$ έχει ξεπεράσει το κατώφλι $(C-T(k))$. Μας δίνει την τιμή της τωρινής κατάστασης του συστήματος εάν γνωρίζουμε μία προηγούμενη.

Εφαρμόζουμε την σχέση 4.27 ως προς τις προηγούμενες καταστάσεις μέχρι να εκφράσουμε την $P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K)$ ως συνάρτηση της πιθανότητας $P(0, 0, \dots, 0)$ έχουμε:

$$\begin{aligned} P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) &= \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 1), \dots, n_K)}{n_k \mu_k} P(n_1, n_2, \dots, (n_k - 1), \dots, n_K) = \\ &= \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 1), \dots, n_K)}{n_k \mu_k} \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 2), \dots, n_K)}{(n_k - 1) \mu_k} P(n_1, n_2, \dots, (n_k - 2), \dots, n_K) = \\ &= \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 1), \dots, n_K)}{n_k \mu_k} \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 2), \dots, n_K)}{(n_k - 1) \mu_k} \frac{\psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - 3), \dots, n_K)}{(n_k - 2) \mu_k} \bullet \\ &= \dots \bullet P(n_1, n_2, \dots, (n_k - 3), \dots, n_K) = \\ &= \dots \\ &= \frac{\prod_{x=1}^{n_k} \psi_k(n_1, n_2, \dots, (n_k - x), \dots, n_K)}{n_k! \cdot \mu_k^{n_k}} P(n_1, n_2, \dots, 0, \dots, n_K) \quad (4.28) \end{aligned}$$

Σε περίπτωση που ισχύει ότι $n_k b_k \leq C - T(k)$ τότε σύμφωνα με τον τύπο 4.25 η τιμή του $\psi_k(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}, \dots, n_k)$ έχει την τιμή λ_k για όλες τις n_k καταστάσεις και το γινόμενο του τύπου 4.28 για τα n_k στοιχεία γίνεται:

$$\frac{\prod_{x=1}^{n_k} \psi_k(n_1, n_2, \dots, n_x, \dots, n_K)}{\mu_k^{n_k}} = \frac{\lambda_k^{n_k}}{\mu_k^{n_k}} = a_k^{n_k} \text{ για } n_k b_k \leq C - T(k) \quad (4.29)$$

διαφορετικά η τιμή του γινομένου περιέχει τις τιμές $\lambda_k w_k$ και λ_k . Επιλύοντας την 4.17 ως προς n_k έχουμε

$$C - n_k b_k \leq T(k) \rightarrow n_k \geq \frac{C - T(k)}{b_k} \quad (4.30)$$

Στα πρώτα $\left\lfloor \frac{C - T(k)}{b_k} \right\rfloor$ κανάλια δεν υπάρχει παρακράτηση, έτσι η τιμή του $\psi_k(n)$ έχει την τιμή $\psi_k(n) = a_k$ ενώ για τα υπόλοιπα $n_k - \left\lfloor \frac{C - T(k)}{b_k} \right\rfloor$ κανάλια υπάρχει παρακράτηση, και η τιμή του $\psi_k(n)$ είναι $\psi_k(n) = \lambda_k w_k$. Δηλαδή ισχύει:

$$\frac{\prod_{x=1}^{n_k} \psi_k(n_1, n_2, \dots, n_x, \dots, n_K)}{\mu_k^{n_k}} = \frac{\lambda_k^{\left\lfloor \frac{C - T(k)}{b_k} \right\rfloor} \cdot (\lambda_k w_k)^{n_k - \left\lfloor \frac{C - T(k)}{b_k} \right\rfloor}}{\mu_k^{n_k}} = a_k^{n_k} w_k^{C - \left\lfloor \frac{C - T(k)}{b_k} \right\rfloor} \quad (4.31)$$

για $n_k b_k > C - T(k)$.

Συνοψίζοντας τους τύπους 4.29 και 4.31 σύμφωνα και με τον συμβολισμό της μεταβλητής ϕ (σχέση 4.21) ισχύει

$$\frac{\prod_{x=1}^{n_k} \psi(n_1, n_2, \dots, n_x, \dots, n_K)_k}{\mu_k^{n_k}} = \phi_k(n) \quad (4.32)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση 4.32 η σχέση 4.28 γίνεται:

$$P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) = \frac{\phi_k(n)}{n_k!} P(n_1, n_2, \dots, 0, \dots, n_K) \quad (4.33)$$

Συνεχίζοντας να αναλύουμε με τον ίδιο τρόπο την σχέση 4.33 και για τις υπόλοιπες κατηγορίες κίνησης εκτός της k έχουμε

$$\begin{aligned}
P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) &= \frac{\phi_1(n)}{n_1!} \frac{\phi_k(n)}{n_k!} P(0, n_2, \dots, n_{k-1}, 0, n_{k+1}, \dots, n_K) = \\
&= \frac{\phi_1(n)}{n_1!} \frac{\phi_2(n)}{n_2!} \dots \frac{\phi_k(n)}{n_k!} P(0, 0, \dots, 0, n_{k+1}, \dots, n_K) = \dots = \\
&= \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n)}{n_k!} P(0, 0, \dots, 0, \dots, 0)
\end{aligned} \tag{4.34}$$

Το σύνολο όλων των πιθανοτήτων P(n) είναι ίσο με 1:

$$\sum_{n \in \Omega} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n)}{n_k!} P(0, 0, \dots, 0, \dots, 0) = 1 \Rightarrow P(0, 0, \dots, 0, \dots, 0) = \frac{1}{\sum_{n \in \Omega} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n)}{n_k!}} =_{\text{ορίζω}} \frac{1}{G} \tag{4.35}$$

Από τις 4.34 και 4.35 \rightarrow

$$P(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_K) = \frac{1}{G} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n)}{n_k!} \tag{4.36}$$

Μια κλήση κατηγορίας k θα έχει πιθανότητα απώλειας το σύνολο των πιθανοτήτων $\Sigma P(\theta_k)$ για το οποίο δεν υπάρχουν διαθέσιμοι εξυπηρετητές να εξυπηρετήσουν την κλήση και το ποσοστό $(1-w_k)$ των πιθανοτήτων για τις καταστάσεις που το σύνολο των κλήσεων έχει υπερβεί το κατώφλι C-T(k) το οποίο είναι $(1-w_k) \Sigma P(\theta_k^+)$

$$P_{bk} = \sum_{n \in \theta_k} \frac{1}{G} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n_k)}{n_k!} + \sum_{n \in \theta_k^+} \frac{1}{G} \prod_{k=1}^K \frac{\phi_k(n_k)}{n_k!} (1 - w_k) \tag{4.37}$$

που είναι ο τύπος 4.20.

5. Προσομοίωση μηχανισμών διάθεσης εύρους ζώνης

5.1. Μεταβλητές προγράμματος

Για την μελέτη των παραπάνω μοντέλων έχει αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Matlab το οποίο προσομοιώνει τα προαναφερθέντα συστήματα. Οι πολιτικές διάθεσης καναλιών των παραγράφων 4.1, 4.2 4.3 και 4.4 προσομοιώνονται στις παραγράφους 5.1, 5.2, 5.3 και 5.4 και υπολογίζονται οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων. Για την τεκμηρίωση της ορθότητας των αποτελεσμάτων, συγκρίνονται οι τιμές της προσομοίωσης με τις θεωρητικές τιμές οι οποίες υπολογίζονται από τους τύπους 4.2, 4.6, 4.10 και 4.20 αντίστοιχα.

Οι μεταβλητές προσομοίωσης για τα παραπάνω μοντέλα, έτσι όπως περιγράφονται στο πρόγραμμα είναι:

Όνομα μεταβλητής	Συμβολισμός
Lambda	Η παράμετρος λ
Mesoxronokliseis	Ο μέσος χρόνος κλήσης ($1/\mu$)
Bandpc	Ο αριθμός των καναλιών που χρειάζεται μια κλήση κατηγορίας κίνησης k , b_k
Bwtoreserve	Το κατώφλι $t(k)$
Propreserve	Η πιθανότητα διάθεσης των καναλιών w_k
Noofservers	Ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών C

Πίνακας 5.1 Μεταβλητές εισόδου του προγράμματος προσομοίωσης

Στην συνέχεια ακολουθεί μια σειρά μετρήσεων στην οποία μεταβάλλονται σταδιακά οι παράμετροι C , λ , $t(k)$ και w_k για τα μοντέλα στα οποία ορίζονται. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα γίνει γραφικά για τις θεωρητικές τιμές, και με πίνακες για τις τιμές προσομοίωσης, έτσι ώστε να είναι εύκολη η παρατήρηση της μεταβολής των μοντέλων.

5.2. Σύστημα πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης

Στην πολιτική πλήρους διάθεσης καναλιών οι κλήσεις εμφανίζονται στο σύστημα με μέσο ρυθμό άφιξης λ , και τερματίζονται με μέσο ρυθμό μ . Επίσης για να εξυπηρετηθούν χρειάζονται b_k κανάλια επικοινωνίας. Εάν κατά την άφιξη κάποιας

κλήσης υπάρχουν b_k ελεύθερα κανάλια η κλήση γίνεται δεκτή στο σύστημα, διαφορετικά μπλοκάρεται και χάνεται.

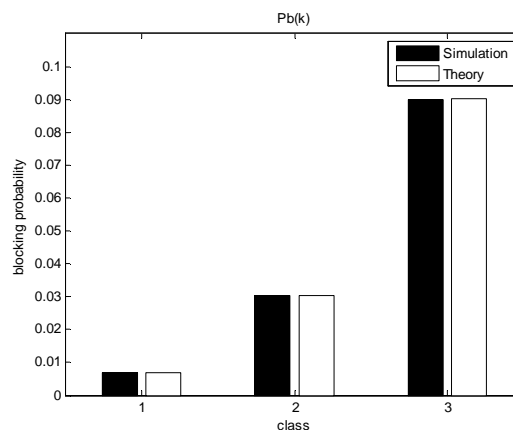
5.2.1. Πιθανότητες απώλειας κλήσης

Στην συνέχεια θα προσομοιώσουμε ένα σύστημα με 3 κατηγορίες κλήσεων. Η πρώτη κατηγορία κλήσεων εκφράζει απλές κλήσεις φωνής, σε σύστημα PCM με ταχύτητα 64 Kbps, οι οποίες για να εξυπηρετηθούν χρειάζονται ένα κανάλι (ή αλλιώς μία μονάδα εύρους ζώνης) [6]. Η δεύτερη κατηγορία κλήσεων αποτελείται από κλήσεις εφαρμογών διαδικτύου μεσαίας απαίτησης εύρους ζώνης, και τέλος η τρίτη κατηγορία αποτελείται από εφαρμογές βίντεο – κλήσεων οι οποίες απαιτούν 10 κανάλια για την εξυπηρέτησή τους.

Οι μεταβλητές προσομοίωσης για τα παραπάνω μοντέλα, έτσι όπως περιγράφονται στο πρόγραμμα είναι:

λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
C	120

Πίνακας 5.2 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.2.1



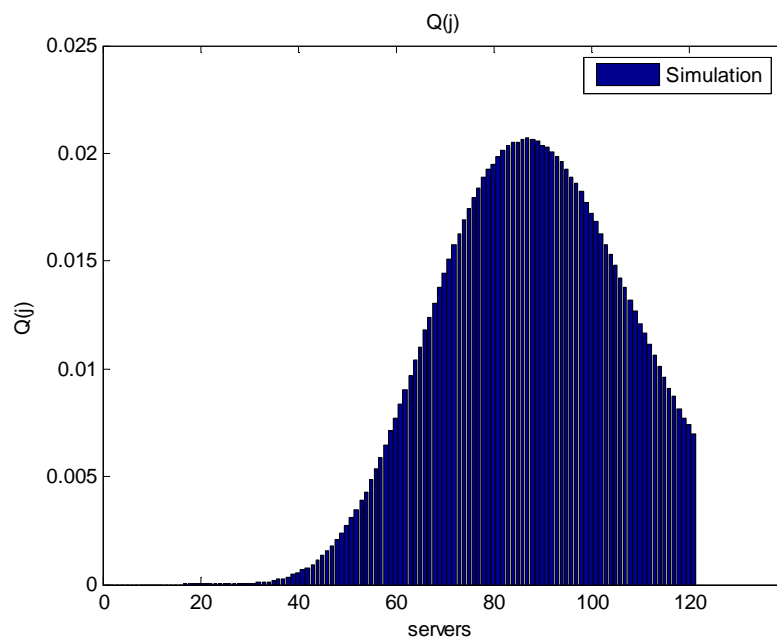
Διάγραμμα 5.1 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.2.1

Το διάγραμμα 5.1 δείχνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε σύγκριση με το θεωρητικό μοντέλο του τύπου Kaufman – Roberts (4.1) για την περίπτωση πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης. Το σφάλμα είναι πολύ μικρό, αφού ο αναδρομικός τύπος 4.1 είναι ακριβής. Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι τιμές του μαθηματικού μοντέλου των Kaufman-Roberts και οι αντίστοιχες τιμές της προσομοίωσης.

Κατηγορία κλήσης k	Πιθανότητα απώλειας κλήσης (θεωρητική τιμή)	Πιθανότητα απώλειας κλήσης (προσομοίωση)
1	0.006954	0.006936
2	0.030398	0.030350
3	0.090064	0.090142

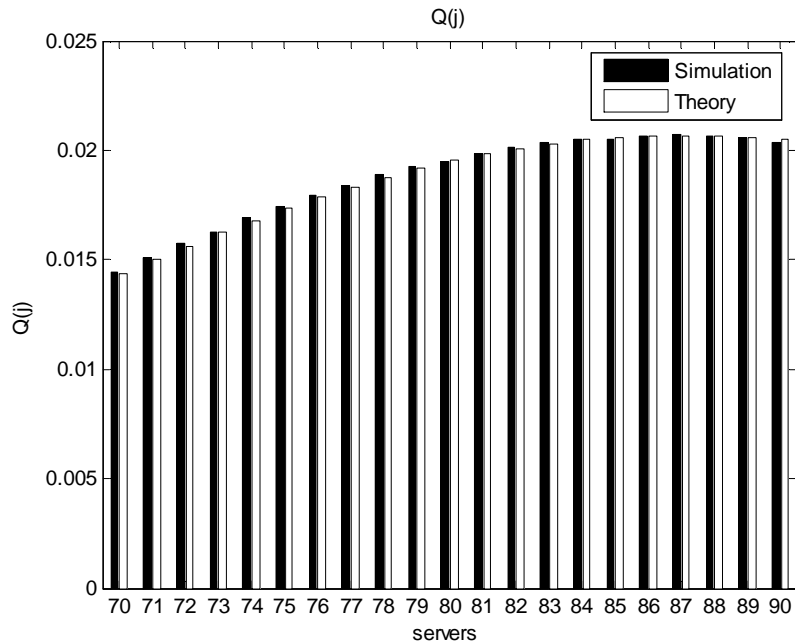
Πίνακας 5.3 Πιθανότητα απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.2.1

Στο επόμενο διάγραμμα εμφανίζεται η κατανομή των $Q(j)$ που είναι η κανονικοποιημένη τιμή των πιθανοτήτων $q(j)$.



Διάγραμμα 5.2 Ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.2.1

Οι θεωρητικές τιμές των αποτελεσμάτων για το $Q(j)$ είναι πάρα πολύ κοντά στις πειραματικές. Ενδεικτικά, το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την σύγκριση των τιμών αυτών για τιμές του j από 70 έως 90.



Διάγραμμα 5.3 Ενδεικτική σύγκριση τιμών για το ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.2.1

Το σύστημα είναι αρκετά σταθερό αφού για 20 διαφορετικές προσομοιώσεις τα αποτελέσματα για την απώλεια κλήσης έχουν διακύμανση μικρότερη από $s=0,8 \cdot 10^{-4}$ (βλ. Πίνακας 5.4).

Κατηγορία κλήσης k	Διακύμανση
1	0.000086
2	0.000240
3	0.000843

Πίνακας 5.4 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.2.1

Σημειώνεται ότι διακύμανση δίνεται από τον θεωρητικό τύπο:

$$s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \tag{5.1}$$

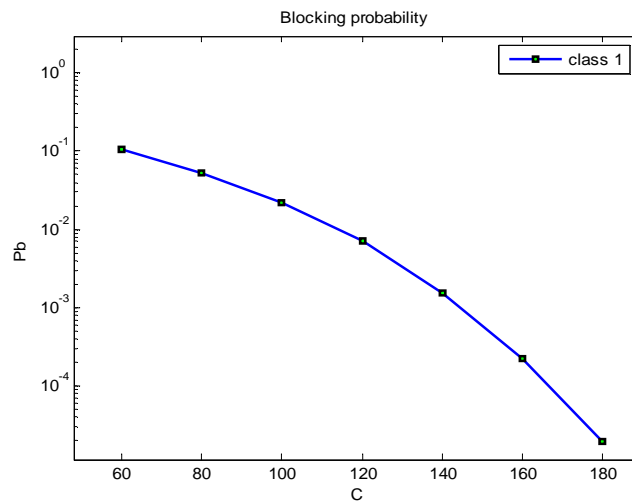
5.2.2. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών

Στο επόμενο παράδειγμα θα διατηρήσουμε τις ίδιες παραμέτρους του συστήματος όπως στο παράδειγμα 5.2.1, μεταβάλλοντας σταδιακά την χωρητικότητα του συστήματος από C=60 σε C=180 με βήμα 20.

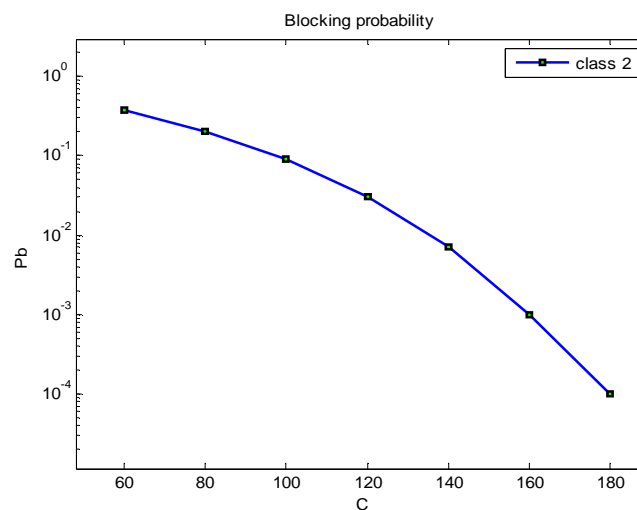
λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
C	60 80 ... 180

Πίνακας 5.5 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.2.2

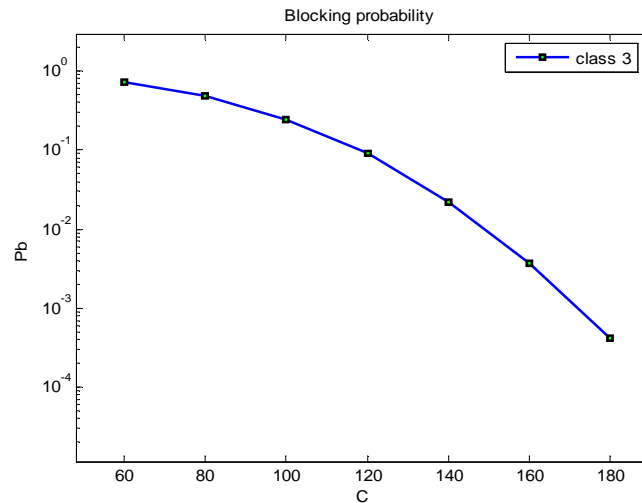
Τα παρακάτω διαγράμματα (5.4 έως 5.6) δείχνουν την μεταβολή της πιθανότητας απώλειας για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων σε συνάρτηση με την χωρητικότητα του συστήματος.



Διάγραμμα 5.4 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.2.2)



Διάγραμμα 5.5 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.2.2)



Διάγραμμα 5.6 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.2.2)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης με βάση τον τύπο των Kaufman-Roberts (4.1) δίνονται στον Πίνακα 5.6:

C	Pb (1)	Pb (2)	Pb (3)
60	0.1068	0.3791	0.7356
80	0.0525	0.2048	0.4758
100	0.0220	0.0914	0.2430
120	0.0070	0.0304	0.0901
140	0.0015	0.0069	0.0225
160	0.0002	0.0011	0.0037
180	$0.23 \cdot 10^{-4}$	$1.13 \cdot 10^{-4}$	0.0004

Πίνακας 5.6 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.2.2

Αν ορίσουμε ως απόλυτο σφάλμα ($Error(i)$) την τιμή

$$Error(i) = \frac{|P_b^{simulation} - P_b^{theoretical}|}{P_b^{theoretical}} \quad (5.2)$$

τότε η τιμή $Error$ για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων δίνεται στον Πίνακα 5.7:

C	Error (1)	Error (2)	Error (3)
60	0.0014	0.0009	0.0014
80	0.0030	0.0000	0.0002
100	0.0024	0.0005	0.0009
120	0.0013	0.0014	0.0059
140	0.0052	0.0013	0.0090
160	0.0253	0.0736	0.0577
180	0.0210	0.0478	0.0667

Πίνακας 5.7 Απόλυτο σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.2.2)

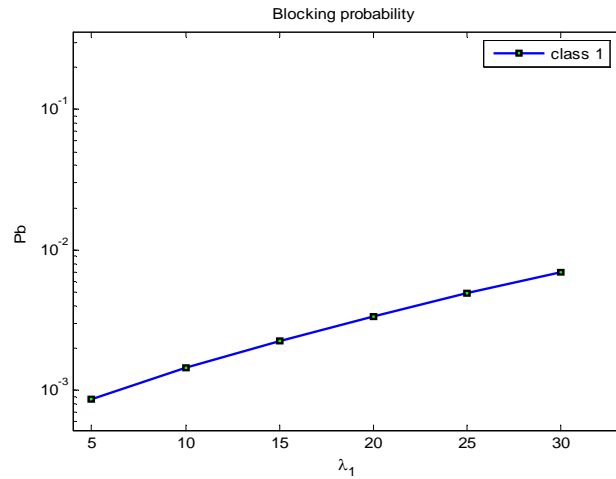
5.2.3. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων

Στο επόμενο παράδειγμα οι παράμετροι του συστήματος θα μείνουν ίδιες, όπως στο παράδειγμα 5.2.1, μεταβάλλοντας τον μέσο ρυθμό άφιξης της πρώτης κατηγορίας κλήσεων.

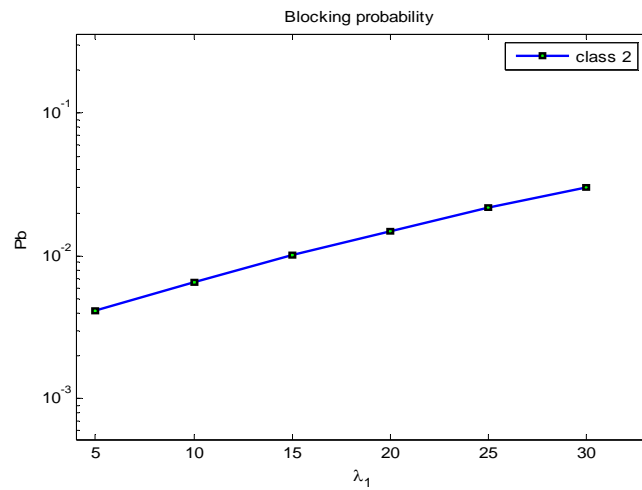
λ	5	7,5	3
	10	7,5	3
	15	7,5	3
	...		
	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
b	1	4	10
C	120		

Πίνακας 5.8 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.2.3

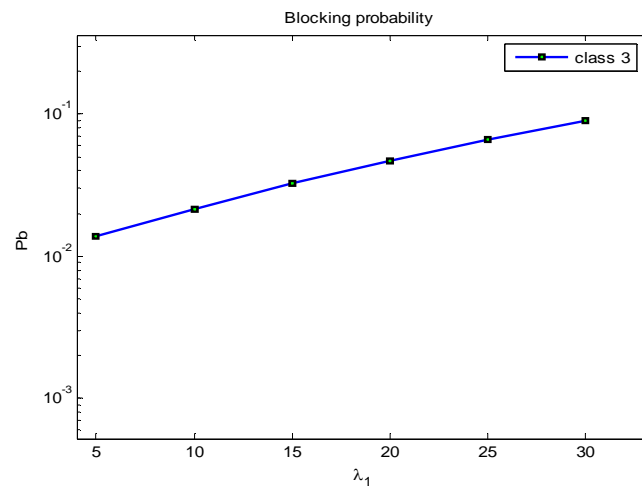
Τα παρακάτω διαγράμματα (5.7 έως 5.9) δείχνουν την μεταβολή της πιθανότητας απώλειας κλήσεως για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων σε συνάρτηση με την μεταβολή του μέσου ρυθμού άφιξης κλήσεων της πρώτης κατηγορίας.



Διάγραμμα 5.7 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.2.3)



Διάγραμμα 5.8 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.2.3)



Διάγραμμα 5.9 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.2.3)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης με βάση τον τύπο 4.2 δίνονται στον Πίνακα 5.9:

λ_1	Pb (1)	Pb (2)	Pb (3)
5	0.0009	0.0041	0.0138
10	0.0014	0.0065	0.0213
15	0.0022	0.0100	0.0320
20	0.0033	0.0150	0.0466
25	0.0049	0.0216	0.0658
30	0.0070	0.0304	0.0901

Πίνακας 5.9 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.2.3

Το απόλυτο σφάλμα για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.10:

λ_1	Error (1)	Error (2)	Error (3)
5	0.0436	0.0116	0.0063
10	0.0112	0.0061	0.0084
15	0.0075	0.0051	0.0088
20	0.0063	0.0120	0.0002
25	0.0127	0.0071	0.0065
30	0.0075	0.0075	0.0053

Πίνακας 5.10 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.2.3)

5.3. Δέσμευση εύρους ζώνης

Στην συνέχεια θα γίνει προσομοίωση συστημάτων με δέσμευση εύρους ζώνης. Ο αριθμός των καναλιών που δεσμεύονται θα συμβολίζεται με $t(k)$ και για να γίνει δεκτή μια νέα κλήση της κατηγορίας κίνησης k θα πρέπει το σύστημα να διαθέτει $t(k)+b_k$ ελεύθερα κανάλια.

5.3.1. Πιθανότητες απώλειας κλήσης

Όπως και στο παράδειγμα (5.2.1) θα θεωρήσουμε σύστημα που εξυπηρετεί 3 κατηγορίες κίνησης. Η πρώτη κατηγορία έχει μέσο ρυθμό άφιξης κλήσεων 30, η δεύτερη 7,5 και η τρίτη 3. Η απαίτηση σε μονάδες εύρους ζώνης για την εξυπηρέτηση της κάθε κατηγορίας είναι 1, 4, και 10 αντίστοιχα. Οι τιμές του t επιλέγονται έτσι

ώστε να γίνει εξισορρόπηση της πιθανότητας απώλειας κλήσεων σύμφωνα με τον παρακάτω κανόνα:

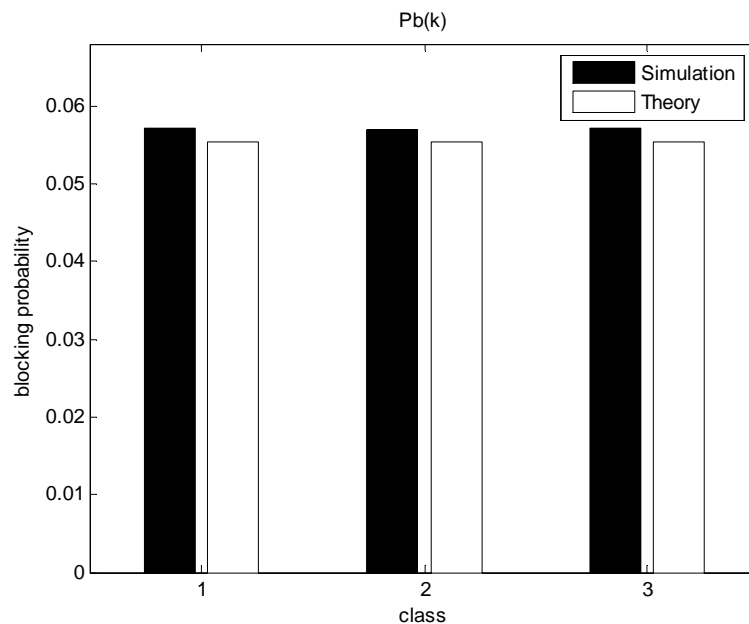
$$b_1 + t(1) = b_2 + t(2) = b_3 + t(3) \quad (5.3)$$

Οι μεταβλητές για την τιμή του t επιλέγονται ως $t(1) = 9$, $t(2)=6$ και $t(3) = 0$. Έτσι εάν το σύστημα διαθέτει λιγότερα από $b_1 + t(1) = 10$ κανάλια, καμία κλήση από τις τρεις κατηγορίες δεν θα γίνεται δεκτή στο σύστημα, οδηγώντας σε ίσο ποσοστό απώλειας κλήσεων. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι μεταβλητές εισόδου για το πρόγραμμα προσομοίωσης δίνονται στον Πίνακα 5.11:

λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
t	9 6 0
C	120

Πίνακας 5.11 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.1

Στο διάγραμμα 5.10 παρουσιάζεται η πιθανότητα απώλειας κλήσης για τις τρεις κατηγορίες κλήσης.



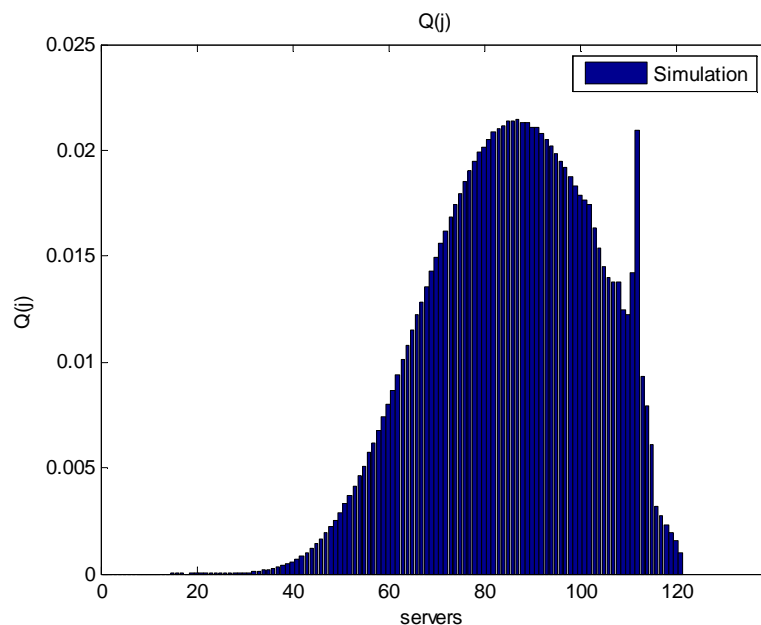
Διάγραμμα 5.10 Πιθανότητα απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.3.1

Το διάγραμμα 5.10 συγκρίνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το θεωρητικό μοντέλο του τύπου 4.6 για την περίπτωση της δέσμευσης εύρους ζώνης. Το σφάλμα είναι πολύ μικρό (αν και ο αναδρομικός τύπος 4.5 είναι προσεγγιστικός) όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.12:

Κατηγορία κλήσης k	Πιθανότητα απώλειας κλήσης (θεωρητική τιμή)	Πιθανότητα απώλειας κλήσης (προσομοίωση)
1	0.055275	0.057027
2	0.055275	0.057035
3	0.055275	0.057031

Πίνακας 5.12 Πιθανότητα απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.3.1

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανομή των $Q(j)$.



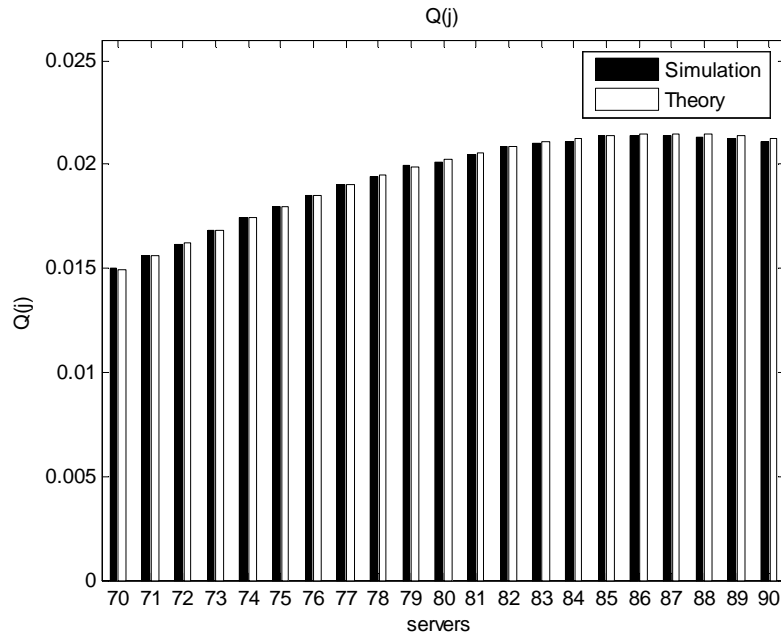
Διάγραμμα 5.11 Ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.3.1

Στο σημείο $j=111$ υπάρχει τοπικό μέγιστο. Πιθανή εξήγηση είναι η εξής: Στην περίπτωση που το σύστημα έχει 9 ελεύθερα κανάλια, δεν κάνει αποδεκτές τις νέες κλήσεις, αφού για τις 3 κατηγορίες κλήσεων ισχύει $(b_1+t(1)=10)$, $b_2+t(2)=10$ και $b_3+t(3)=10$. Έτσι σε αυτήν την κατάσταση, το σύστημα παραμένει περισσότερο χρόνο από τις γειτονικές καταστάσεις, παρουσιάζοντας έτσι μια ραγδαία αύξηση της πιθανότητας το σύστημα να βρίσκεται στην κατάσταση $Q(111)$.

Η πιθανότητα αυτή μειώνεται στα σημεία 111 -114 ομοιόμορφα, και διαφορετικά από ότι από 114 – 120. Πιθανή εξήγηση είναι η εξής: Μετά το σημείο 111 παρατηρούνται δύο διαφορετικοί τρόποι μείωσης του $Q(j)$. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν το είδος των κλήσεων που επιδρούν για να φτάσει το σύστημα στις καταστάσεις αυτές. Το σύστημα θα βρεθεί στα σημεία 111-114 εάν καταφτάσουν νέες κλήσεις κατηγορίας 2 και 3, ή τερματίσουν κλήσεις κατηγορίας 1, 2 και έτσι, στα σημεία 112, 113 και 114 παρατηρείται ομοιόμορφη μείωση του $Q(j)$. Επιπροσθέτως, το σύστημα θα βρεθεί με 5 ή λιγότερα ελεύθερα κανάλια μόνο εάν καταφτάσουν νέες κλήσεις κατηγορίας 3, ή τερματίσουν κλήσεις κατηγορίας 1 και 2.

Έτσι στα σημεία 115 – 120 παρατηρείται νέα ομοιόμορφη μείωση διαφορετική από αυτήν του 111-114.

Τέλος, στα σημεία $j=101$ $j=107$ και $j=110$ παρατηρούνται αυξημένες τιμές, σχηματίζοντας ασυνέχειες στην κατανομή: Τα σημεία αυτά επηρεάζονται από την μεγάλη τιμή του $Q(111)$. Η μόνη διαφυγή του συστήματος από την κατάσταση $j=111$ είναι τα σημεία 101, 107 και 110 στα οποία μεταπίπτει από τον τερματισμό μιας κλήσης κατηγορίας 1, 2 ή 3. Αφού η πιθανότητα $Q(111)$ είναι αυξημένη συμπαρασύρει και τις πιθανότητες $Q(101)$, $Q(107)$ και $Q(110)$.



Διάγραμμα 5.12 Θεωρητικό και πειραματικό ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.3.1

Η διακύμανση για 20 διαφορετικές προσομοιώσεις παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.13.

Κατηγορία κλήσης k	Διακύμανση
1	0.000215
2	0.000217
3	0.000321

Πίνακας 5.13 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.3.1

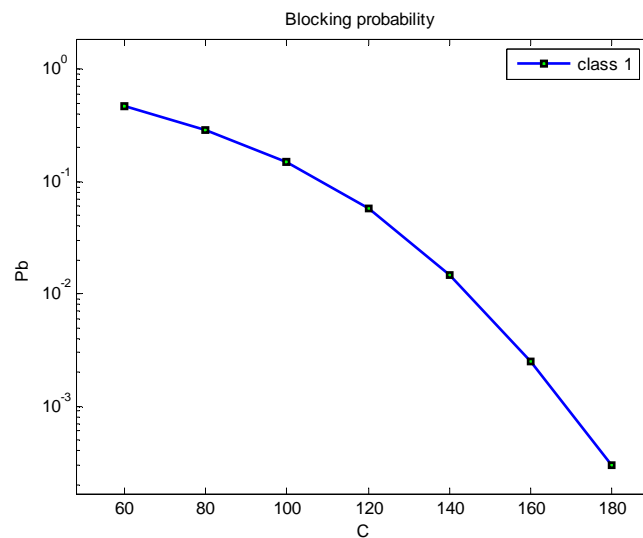
5.3.2. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών

Στην συνέχεια θα μεταβληθεί η χωρητικότητα του συστήματος από $C = 60$ σε $C = 180$ με βήμα 20:

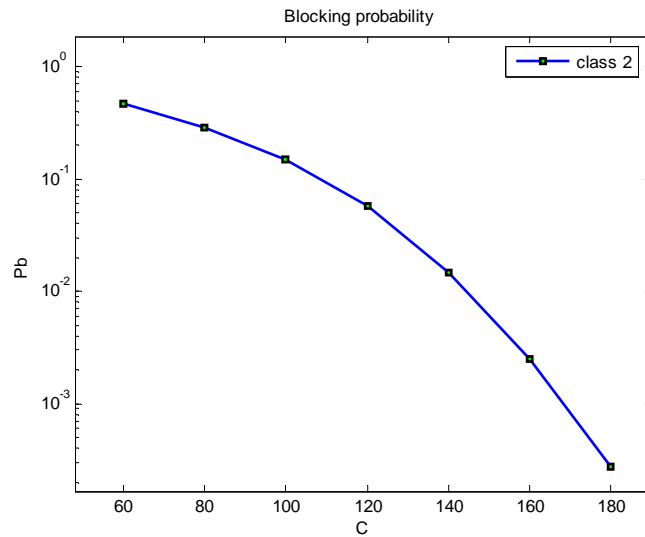
λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
t	9 6 0
C	60 80 ... 180

Πίνακας 5.14 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.2

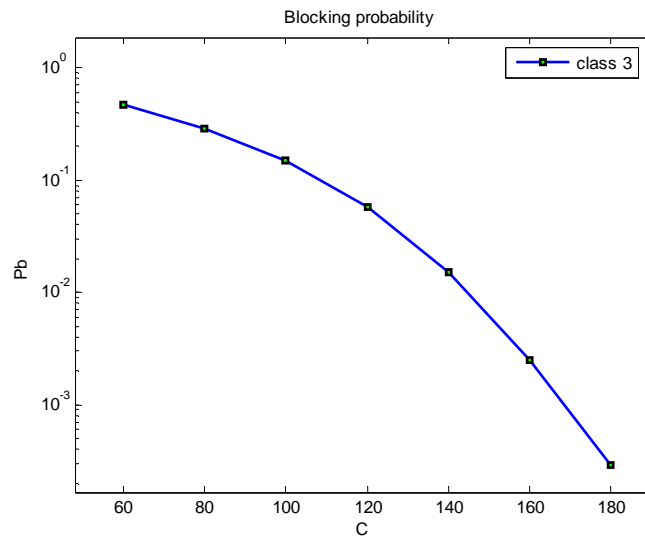
Τα παρακάτω διαγράμματα (5.13 έως 5.15) δείχνουν την μεταβολή της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις τρεις κατηγορίες κίνησης σε συνάρτηση με την χωρητικότητα C του συστήματος.



Διάγραμμα 5.13 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.3.2)



Διάγραμμα 5.14 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.3.2)



Διάγραμμα 5.15 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.3.2)

Οι θεωρητικές τιμές με βάση τον τύπο 4.6 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.15:

C	Pb (1)	Pb (2)	Pb (3)
60	0.4506	0.4506	0.4506
80	0.2803	0.2803	0.2803
100	0.1438	0.1438	0.1438
120	0.0553	0.0553	0.0553
140	0.0146	0.0146	0.0146
160	0.0025	0.0025	0.0025
180	0.0003	0.0003	0.0003

Πίνακας 5.15 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.3.2

Επίσης το απόλυτο σφάλμα (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων δίνεται στον Πίνακα 5.16:

C	Error (1)	Error (2)	Error (3)
60	0.0298	0.0289	0.0303
80	0.0332	0.0303	0.0347
100	0.0323	0.0305	0.0320
120	0.0355	0.0388	0.0382
140	0.0372	0.0343	0.0040
160	0.0262	0.0143	0.0207
180	0.0311	0.0109	0.0067

Πίνακας 5.16 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.3.2)

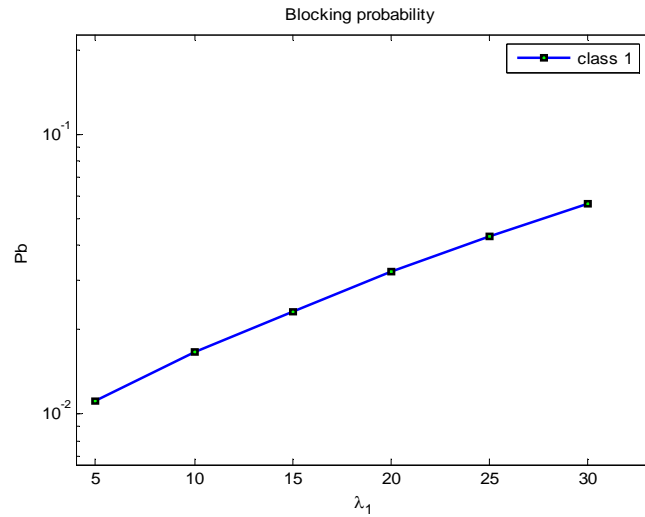
5.3.3. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων

Αυξάνοντας τον μέσο ρυθμό άφιξης της πρώτης κατηγορίας κλήσεων, η πιθανότητα απώλειας για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων αναμένεται να αυξηθεί. Στο παρακάτω παράδειγμα μεταβάλλεται ο μέσος ρυθμός άφιξης για τις κλήσεις της πρώτης κλάσης, από 5 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σε 30 σύμφωνα με τον Πίνακα 5.17.

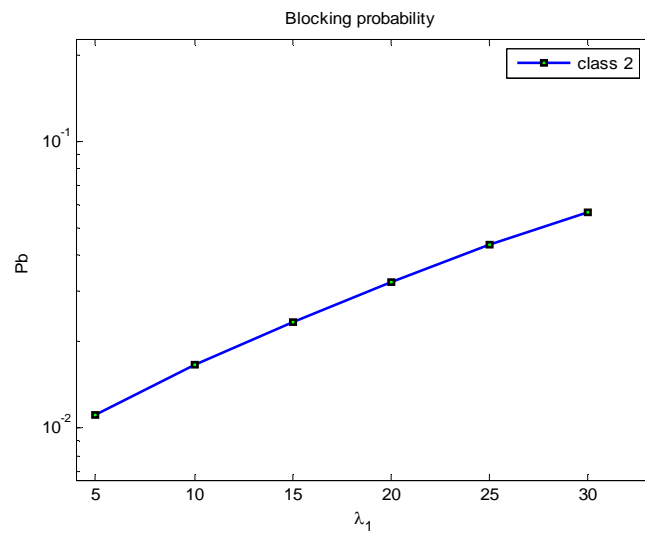
λ	5	7,5	3
	10	7,5	3
	15	7,5	3
	...		
	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
b	1	4	10
t	9	6	0
C	120		

Πίνακας 5.17 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.3

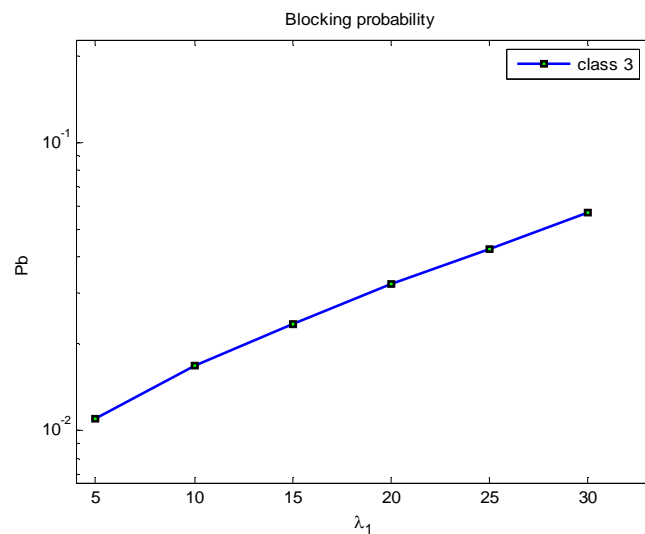
Οι μεταβολές που προκύπτουν από την προσομοίωση παρουσιάζονται στα διαγράμματα (5.16 έως 5.18).



Διάγραμμα 5.16 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.3.3)



Διάγραμμα 5.17 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.3.3)



Διάγραμμα 5.18 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του ρυθμού λ_1 (παράδειγμα 5.3.3)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης πλησιάζουν τις τιμές της προσομοίωσης. Ο Πίνακας 5.18 παρουσιάζει τις θεωρητικές τιμές όπως προκύπτουν από τον τύπο 4.6.

λ_1	Pb (1)	Pb (2)	Pb (3)
5	0.0108	0.0108	0.0108
10	0.0159	0.0159	0.0159
15	0.0228	0.0228	0.0228
20	0.0315	0.0315	0.0315
25	0.0424	0.0424	0.0424
30	0.0553	0.0553	0.0553

Πίνακας 5.18 Θεωρητικές τιμές της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.3.3

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων δίνεται στον Πίνακα 5.19.

λ_1	Error (1)	Error (2)	Error (3)
5	0.0280	0.0399	0.0278
10	0.0371	0.0423	0.0382
15	0.0392	0.0390	0.0343
20	0.0351	0.0306	0.0365
25	0.0343	0.0359	0.0396
30	0.0295	0.0253	0.0313

Πίνακας 5.19 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.3.3)

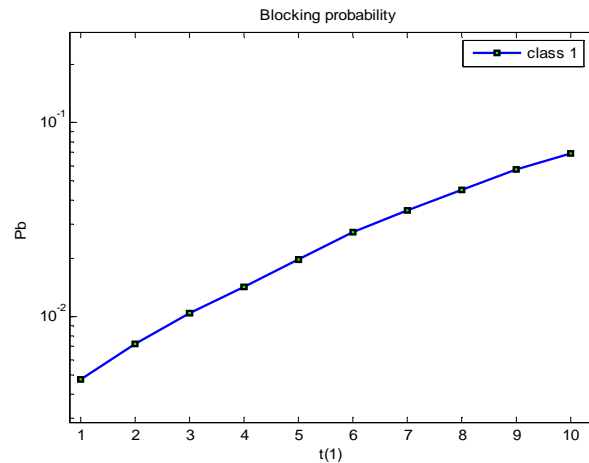
5.3.4. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών

Στο επόμενο παράδειγμα οι παράμετροι εισόδου του συστήματος θα διατηρηθούν σταθερές όπως στο παράδειγμα 5.2.1, μεταβάλλοντας τον αριθμό των δεσμευμένων καναλιών της πρώτης κατηγορίας κλήσεων.

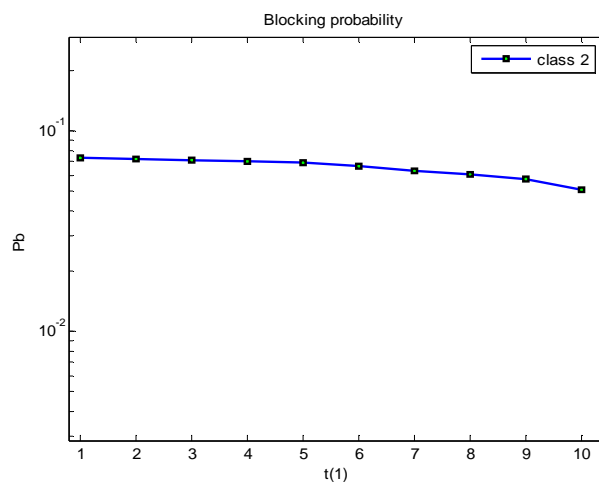
λ	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
b	1	4	10
t	1	6	0
	2	6	0
	...		
	10	6	0
C	120		

Πίνακας 5.20 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.3.4

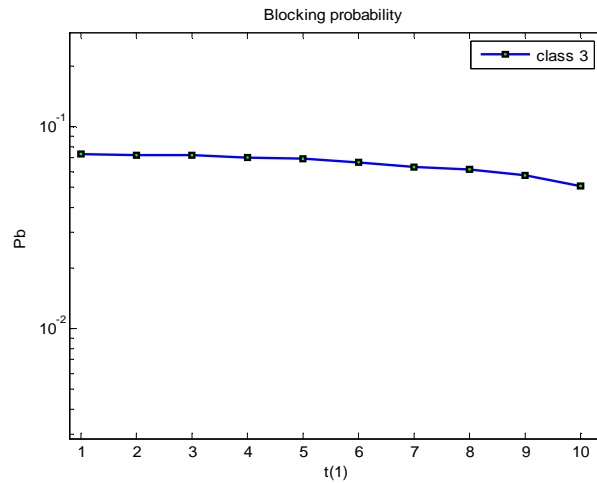
Τα διαγράμματα (5.19 – 5.21) παρουσιάζουν την επίπτωση που έχει η δέσμευση εύρους ζώνης στις πιθανότητες απώλειας κλήσεων. Η τεχνική αυτή έχει το παρακάτω μειονέκτημα: Για να πετύχουμε μικρή μείωση της πιθανότητας απώλειας σε μια ή περισσότερες κατηγορίες κίνησης με υψηλή απαίτηση σε εύρος ζώνης, αυξάνουμε πολύ τις πιθανότητες απώλειας στις υπόλοιπες κατηγορίες.



Διάγραμμα 5.19 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων για της κλήσεις κατηγορίας 1 συναρτήσει του $t(1)$ (παράδειγμα 5.3.4)



Διάγραμμα 5.20 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων για τις κλήσεις κατηγορίας 2 συναρτήσει του $t(1)$ (παράδειγμα 5.3.4)



Διάγραμμα 5.21 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων για τις κλήσεις κατηγορίας 3 συναρτήσει του t(1) (παράδειγμα 5.3.4)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης με βάση τον τύπο 4.4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.21.

t(1)	Pb (1)	Pb (2)	Pb (3)
1	0.0073	0.0710	0.0710
2	0.0107	0.0700	0.0700
3	0.0143	0.0688	0.0688
4	0.0183	0.0675	0.0675
5	0.0231	0.0660	0.0660
6	0.0306	0.0636	0.0636
7	0.0384	0.0610	0.0610
8	0.0466	0.0582	0.0582
9	0.0553	0.0553	0.0553
10	0.0644	0.0522	0.0522

Πίνακας 5.21 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.3.4

Το σχετικό σφάλμα για τις 3 κατηγορίες κλήσεων δίνεται στον Πίνακα 5.22.

t(1)	Error (1)	Error (2)	Error (3)
1	0.3527	0.0268	0.0178
2	0.3318	0.0284	0.0362
3	0.2885	0.0334	0.0304
4	0.2297	0.0372	0.0390
5	0.1537	0.0432	0.0460
6	0.1117	0.0487	0.0515
7	0.0780	0.0431	0.0491
8	0.0228	0.0443	0.0523
9	0.0337	0.0370	0.0309
10	0.0878	0.0148	0.0138

Πίνακας 5.22 Σχετικό σφάλμα της πιθανότητας απώλειας (παράδειγμα 5.3.4)

5.4. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης

5.4.1. Αναλυτικός υπολογισμός και σύγκριση με το πρόγραμμα προσομοίωσης

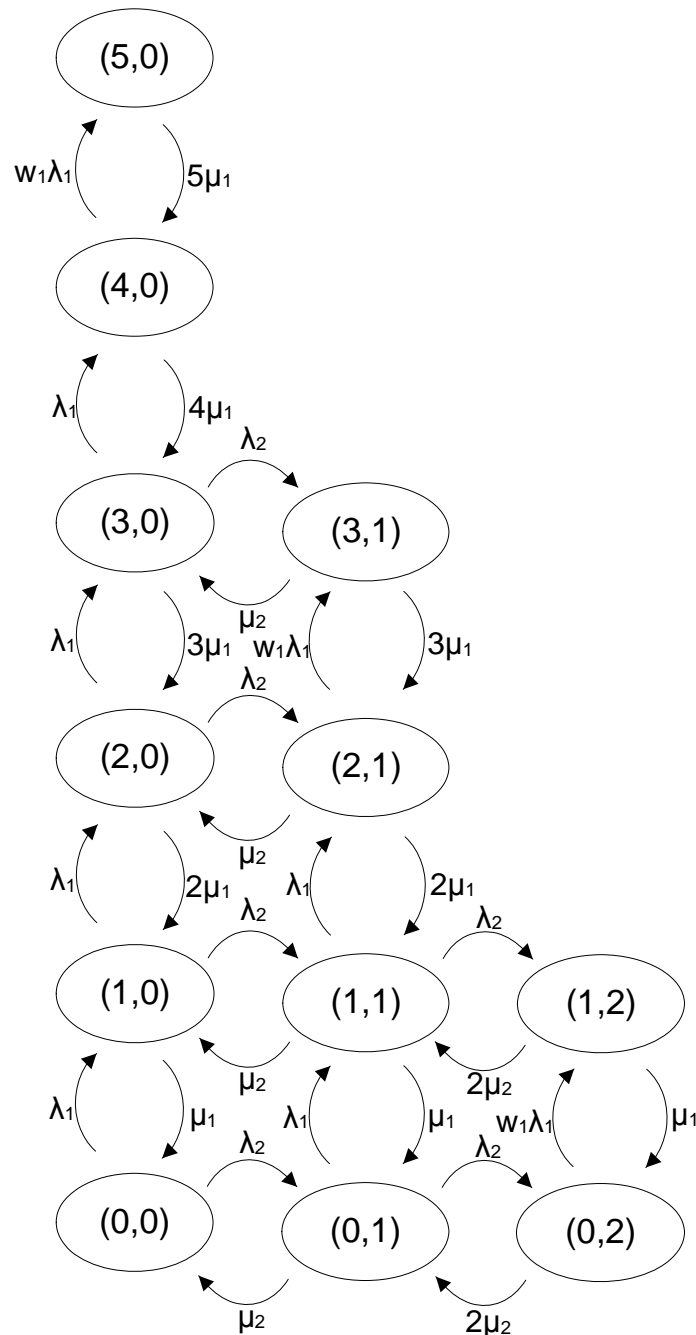
Στο παρακάτω παράδειγμα υπολογίζεται αναλυτικά η πιθανότητα απώλειας για την πολιτική διάθεσης που μελετήσαμε στο κεφάλαιο 4.3. Θεωρούμε ένα σύστημα που διαθέτει πέντε κανάλια (εξυπηρετητές) και εξυπηρετεί δύο κατηγορίες κλήσεων. Η πρώτη κατηγορία καταλαμβάνει ένα κανάλι ενώ η δεύτερη δύο. Ο μέσος ρυθμός άφιξης και τερματισμού κλήσεων είναι ίσος με 1. Το σύστημα δεσμεύει ένα κανάλι από την πρώτη κατηγορία κλήσεων με πιθανότητα 60% για να δοθεί προτεραιότητα στην δεύτερη κατηγορία κλήσεων. Επομένως εάν το σύστημα διαθέτει ένα μόνο ελεύθερο κανάλι και εμφανιστεί μια κλήση της πρώτης κατηγορίας θα εξυπηρετηθεί με πιθανότητα 40% ($1 - 60\%$). Η θεωρητική πιθανότητα απώλειας θα συγκριθεί με εκείνη του μοντέλου προσομοίωσης.

λ	1	1
$1/\mu$	1	1
b	1	2
t	1	0
w	0.4	1
C	5	

Πίνακας 5.23 Μεταβλητές εισόδου του παραδείγματος 5.4.1.

Αναλυτικό μοντέλο:

Το διάγραμμα Markov για το σύστημα αυτό παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.22.



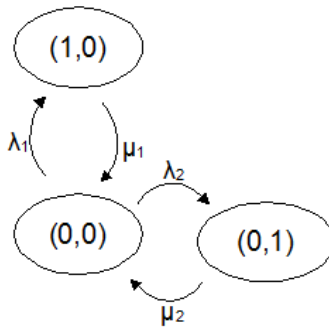
Διάγραμμα 5.22 Διάγραμμα Markov του συστήματος (παράδειγμα 5.4.1)

Οι τιμές σε κάθε κατάσταση είναι της μορφής (n_1, n_2) όπου n_1, n_2 είναι ο αριθμός των κλήσεων της πρώτης και δεύτερης κατηγορίας κλήσεων που εξυπηρετούνται, αντίστοιχα. Επίσης, ο αριθμός των κατειλημμένων καναλιών είναι $j = n_1 b_1 + n_2 b_2$. Ο πίνακας 5.24 παρουσιάζει όλες τις δυνατές τιμές των (n_1, n_2) και την αντίστοιχη τιμή του j .

n_1	n_2	j
0	0	0
0	1	2
0	2	4
1	0	1
1	1	3
1	2	5
2	0	2
2	1	4
3	0	3
3	1	5
4	0	4
5	0	5

Πίνακας 5.24 Σχέση μεταξύ κατάστασης (n_1, n_2) και αριθμού κατειλημμένων καναλιών j .
(παράδειγμα 5.4.1)

Από το διάγραμμα Markov εξάγουμε τις εξισώσεις των πιθανοτήτων.

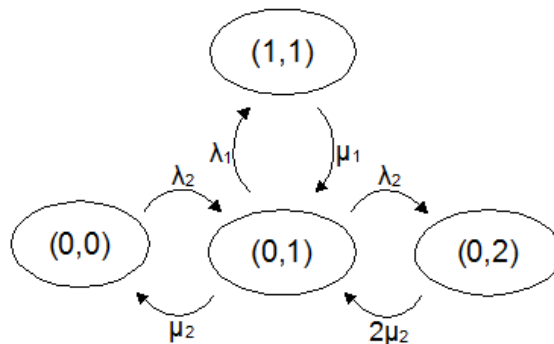


Διάγραμμα 5.23 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση $(0,0)$ (παράδειγμα 5.4.1)

$$\lambda_1 \cdot P(0,0) + \lambda_2 \cdot P(0,0) = \mu_1 \cdot P(1,0) + \mu_2 \cdot P(0,1)$$

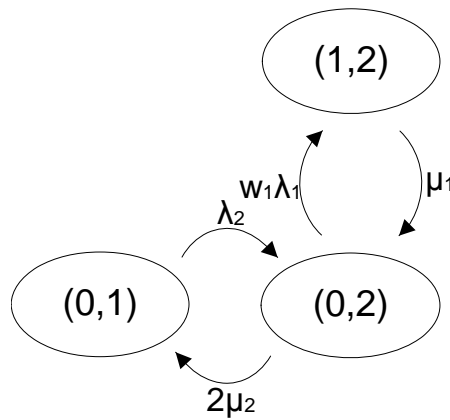
$$P(1,0) + P(0,1) - 2 \cdot P(0,0) = 0$$

(5.4)



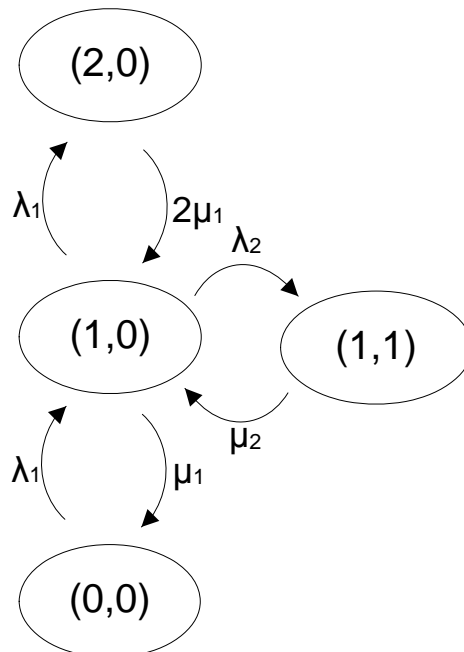
Διάγραμμα 5.24 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση $(0,1)$ (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \lambda_2 \cdot P(0,0) + \mu_1 \cdot P(1,1) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(0,2) &= \lambda_1 \cdot P(0,1) + \lambda_2 \cdot P(0,1) + \mu_2 \cdot P(0,1) \\ P(0,0) + P(1,1) + 2 \cdot P(0,2) - 3 \cdot P(0,1) &= 0 \end{aligned} \quad (5.5)$$



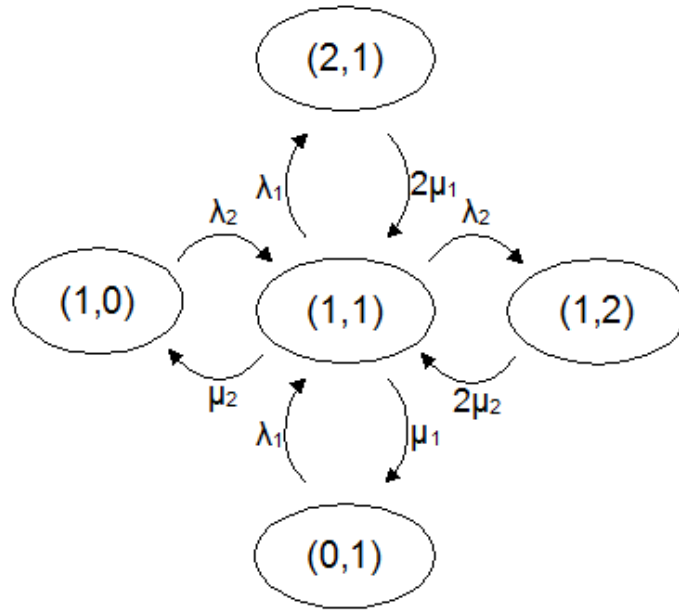
Διάγραμμα 5.25 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,2) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \mu_1 \cdot P(1,2) + \lambda_2 \cdot P(0,1) &= \lambda_1 \cdot w_1 \cdot P(0,2) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(0,2) \\ P(1,2) + P(0,1) - 2,4 \cdot P(0,2) &= 0 \end{aligned} \quad (5.6)$$



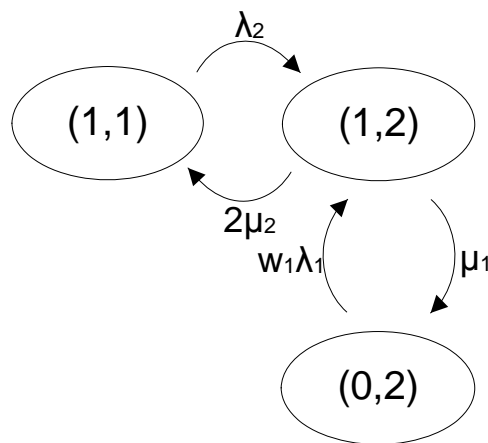
Διάγραμμα 5.26 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,0) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(0,0) + 2 \cdot \mu_1 \cdot P(2,0) + \mu_2 \cdot P(1,1) &= \mu_1 \cdot P(1,0) + \lambda_2 \cdot P(1,0) + \lambda_1 \cdot P(1,0) \\ P(0,0) + 2 \cdot P(2,0) + P(1,1) - 3 \cdot P(1,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.7)$$



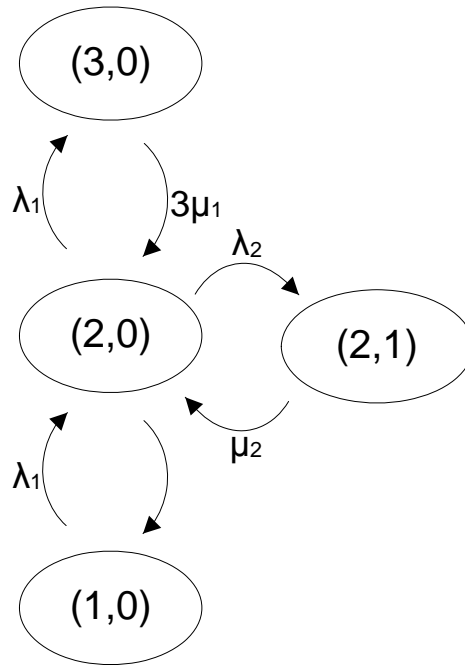
Διάγραμμα 5.27 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,1) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(0,1) + 2 \cdot \mu_1 \cdot P(2,1) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(1,2) + \lambda_2 \cdot P(1,0) &= (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \cdot P(1,1) \\ P(0,1) + 2 \cdot P(2,1) + 2 \cdot P(1,2) + P(1,0) - 4 \cdot P(1,1) &= 0 \end{aligned} \quad (5.8)$$



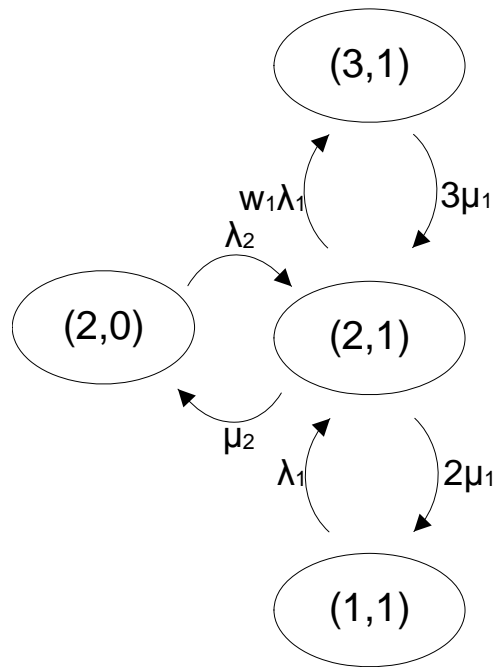
Διάγραμμα 5.28 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,2) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \lambda_2 \cdot P(1,1) + \lambda_1 \cdot w_1 \cdot P(0,2) &= \mu_1 \cdot P(1,2) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(1,2) \\ P(1,1) + 0,4 \cdot P(0,2) &= 3 \cdot P(1,2) \end{aligned} \quad (5.9)$$



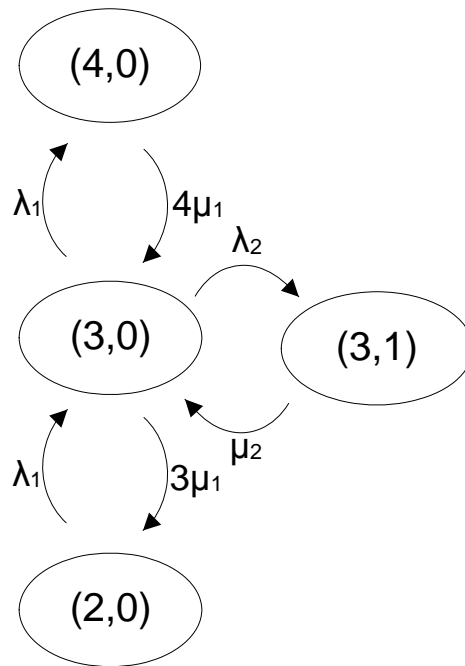
Διάγραμμα 5.29 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,0) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(1,0) + 3 \cdot \mu_1 \cdot P(3,0) + \mu_2 \cdot P(2,1) &= (\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \mu_1) \cdot P(2,0) \\ P(1,0) + 3 \cdot P(3,0) + P(2,1) - 4 \cdot P(2,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.10)$$



Διάγραμμα 5.30 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,1) (παράδειγμα 5.4.1)

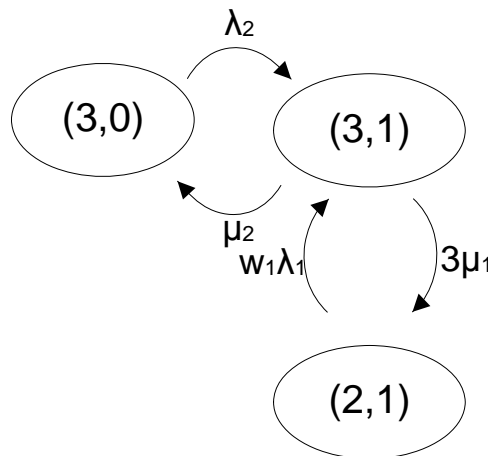
$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(1,1) + 3 \cdot \mu_1 \cdot P(3,1) + \lambda_2 \cdot P(2,0) &= (\lambda_1 \cdot w_1 + 2 \cdot \mu_1 + \mu_2) \cdot P(2,1) \\ P(1,1) + 3 \cdot P(3,1) + P(2,0) &= 3,4 \cdot P(2,1) \end{aligned} \quad (5.11)$$



Διάγραμμα 5.31 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση (3,0) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\lambda_1 \cdot P(2,0) + 4 \cdot \mu_1 \cdot P(4,0) + \mu_2 \cdot P(3,1) = (\lambda_1 + \lambda_2 + 3 \cdot \mu_1) \cdot P(3,0)$$

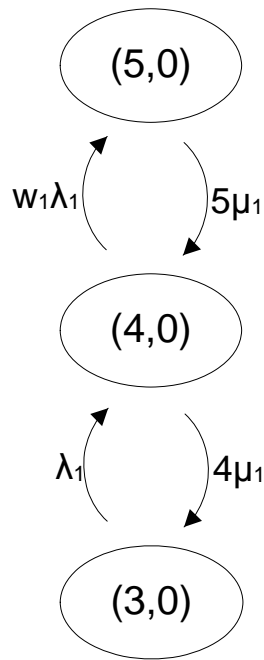
$$P(2,0) + 4 \cdot P(4,0) + P(3,1) - 5 \cdot P(3,0) = 0 \quad (5.12)$$



Διάγραμμα 5.32 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση n(3,1) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\lambda_1 \cdot w_1 \cdot P(2,1) + \lambda_2 \cdot P(3,0) = (3 \cdot \mu_1 + \mu_2) \cdot P(3,1)$$

$$0,4 \cdot P(2,1) + P(3,0) - 4 \cdot P(3,1) = 0 \quad (5.13)$$



Διάγραμμα 5.33 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (4,0) (παράδειγμα 5.4.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(3,0) + 5 \cdot \mu_1 \cdot P(5,0) &= (4 \cdot \mu_1 + w_1 \cdot \lambda_1) \cdot P(4,0) \\ P(3,0) + 5 \cdot \mu_1 \cdot P(5,0) - 4 \cdot P(4,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Το άθροισμα όλων των πιθανοτήτων ισούται με 1:

$$P(0,0)+P(0,1)+P(0,2)+P(1,0)+P(1,1)+P(1,2)+P(2,0)+P(2,1)+P(3,0)+P(3,1)+P(4,0)+P(5,0)=1 \quad (5.15)$$

Οι εξισώσεις (5.3) έως (5.14) οδηγούν σε ένα σύστημα με 12 αγνώστους:

$$\begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -3 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2.4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -3 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0 & 1 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -4 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -3.4 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -5 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 1 & -4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -4.4 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x} = \begin{bmatrix} P(0,0) \\ P(0,1) \\ P(0,2) \\ P(1,0) \\ P(1,1) \\ P(1,2) \\ P(2,0) \\ P(2,1) \\ P(3,0) \\ P(3,1) \\ P(4,0) \\ P(5,0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

Με την βοήθεια H/Y βρίσκουμε την λύση:

$$\begin{bmatrix} P(0,0) \\ P(0,1) \\ P(0,2) \\ P(1,0) \\ P(1,1) \\ P(1,2) \\ P(2,0) \\ P(2,1) \\ P(3,0) \\ P(3,1) \\ P(4,0) \\ P(5,0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,163057 \\ 0,170544 \\ 0,097751 \\ 0,155570 \\ 0,153074 \\ 0,064058 \\ 0,075289 \\ 0,079033 \\ 0,022185 \\ 0,013449 \\ 0,005549 \\ 0,000444 \end{bmatrix}$$

(5.17)

Η πιθανότητα $Q(j)$ το σύστημα να έχει j κανάλια κατειλημμένα είναι:

$$Q(0)=P(0,0) = 0.163057$$

$$Q(1)=P(1,0) = 0.15557$$

$$Q(2)=P(1,1) + P(2,0) = 0.245883$$

$$Q(3)=P(1,1)+P(3,0) = 0.175259$$

$$Q(4)=P(0,2)+P(2,1)+P(4,0) = 0.18233$$

$$Q(5)=P(1,2)+P(3,1)+P(5,0) = 0.077951 \quad (5.18)$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές παίρνουμε τις ακόλουθες ακριβείς πιθανότητες απώλειας κλήσεων:

$$P_{b1} = Q(5) + (1 - w_1) \cdot Q(4) = 0.187349$$

$$P_{b2} = Q(5) + Q(4) = 0.260281 \quad (5.19)$$

Προσεγγιστική μέθοδος του Roberts

Η θεωρητική τιμή για τις πιθανότητες απώλειας κλήσης δίνεται από τον τύπο 4.8. Το $D_k(j-b_k)$ της σχέσης 4.9 για την περίπτωση μας έχει την τιμή:

$$D_k(j-b_k) = \begin{cases} b_k \text{ για } j \leq 4 \\ w_k b_k \text{ για } j > 4 \end{cases} \quad (5.20)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση 4.8 προκύπτει:

$$q(1)=q(0)=1$$

$$2 \cdot q(2) = \alpha_1 \cdot b_1 \cdot q(1) + \alpha_2 \cdot b_2 \cdot q(0) = q(1) + 2 \cdot q(0) = 3q(0) \rightarrow q(2)=1,5$$

$$\begin{aligned}
3 \cdot q(3) &= \alpha_1 \cdot b_1 \cdot q(2) + \alpha_2 \cdot b_2 \cdot q(1) = q(2) + 2q(1) = 1,5q(0) + 2q(0) = 3,5q(0) \rightarrow \\
q(3) &= 1,66666 \\
4q(4) &= \alpha_1 \cdot b_1 \cdot q(3) + \alpha_2 \cdot b_2 \cdot q(2) = 1,66666 + 2 \cdot 1 \cdot 5 \rightarrow q(4) = 1,041666 \\
5q(5) &= \alpha_1 \cdot w_1 \cdot b_1 \cdot q(4) + \alpha_2 \cdot b_2 \cdot q(3) = 0,4 \cdot 1,041666 + 2 \cdot 1,66666 \rightarrow q(5) = 0,55
\end{aligned}
\tag{5.21}$$

Η κανονικοποίηση των τιμών $q(j)$ δίνει το $Q(j)$ σύμφωνα με τον τύπο 4.11

$$Q(1) = \frac{q(1)}{\sum_{i=0}^c q(i)} = \frac{1}{6,258333} = 0,159787
\tag{5.22}$$

$$Q(2) = \frac{q(2)}{\sum_{i=0}^c q(i)} = \frac{1}{6,258333} = 0,159787
\tag{5.23}$$

$$Q(3) = \frac{q(3)}{\sum_{i=0}^c q(i)} = \frac{1,666663}{6,258333} = 0,186418
\tag{5.24}$$

$$Q(4) = \frac{q(4)}{\sum_{i=0}^c q(i)} = \frac{1,041666}{6,258333} = 0,166445
\tag{5.25}$$

$$Q(5) = \frac{q(5)}{\sum_{i=0}^c q(i)} = \frac{0,55000}{6,258333} = 0,087883
\tag{5.26}$$

Από τα $Q(j)$ υπολογίζουμε (με προσεγγιστικό τρόπο) τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.10:

$$\begin{aligned}
Pb1 &= Q(5) + (1 - w_1) \cdot Q(4) = 0,187750 \\
Pb2 &= Q(5) + Q(4) = 0,254328
\end{aligned}
\tag{5.27}$$

Προσομοίωση με το πρόγραμμα Matlab.

Η προσομοίωση στο πρόγραμμα Matlab δίνει τις παρακάτω τιμές:

j	Q(j)
0	0,163094
1	0,155456
2	0,245867
3	0,175218
4	0,182365
5	0,077999

Πίνακας 5.25 Ποσοστό των κατειλημμένων καναλιών του προγράμματος προσομοίωσης (παράδειγμα 5.4.1)

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης (ακριβείς τιμές) παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.26.

k	Pb _k
1	0.187503
2	0.260140

Πίνακας 5.26: Πιθανότητες απώλειας κλήσης παραδείγματος 5.4.1.

Ο πίνακας 5.27 παρουσιάζει τις πιθανότητες το σύστημα να έχει j κανάλια κατειλημμένα.

j	Q(j) (Προσεγγιστικός υπολογισμός)	Q(j) (Ακριβής υπολογισμός)	Q(j) (Υπολογισμός μέσω προσομοίωσης)
0	0,159787	0,1630570	0,163094
1	0,159787	0,1555697	0,155456
2	0,239680	0,2458334	0,245867
3	0,186418	0,1752586	0,175218
4	0,166445	0,1823299	0,182365
5	0,087883	0,0779512	0,077999

Πίνακας 5.27 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τιμές προσομοίωσης για το Q(j).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι πιθανότητες απώλειας κλήσης:

	Προσεγγιστικός υπολογισμός	Ακριβής υπολογισμός	Υπολογισμός μέσω προσομοίωσης
Pb ₁	0.187750	0,187349	0.187503
Pb ₂	0.254328	0,260281	0.260140

Πίνακας 5.28 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τιμές προσομοίωσης της πιθανότητας απώλειας κλήσης.

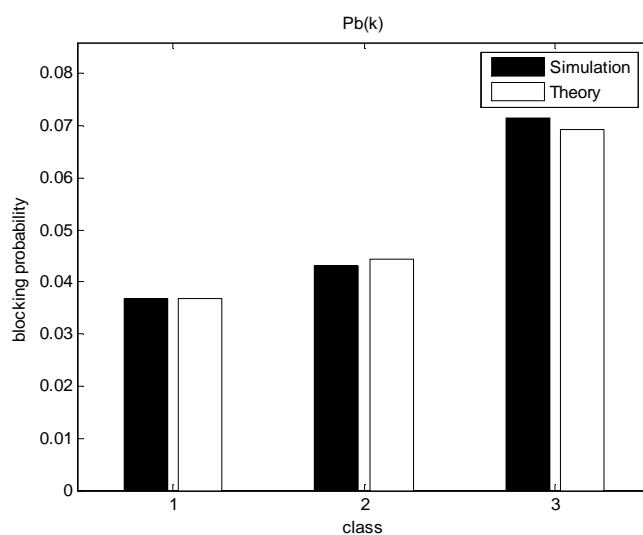
Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, το πρόγραμμα προσομοίωσης δίνει πολύ κοντινές τιμές σε σχέση με τον θεωρητικό υπολογισμό του αναλυτικού μοντέλου. Ο προσεγγιστικός τύπος του Roberts δίνει καλή εκτίμηση των τιμών αυτών.

5.4.2. Εφαρμογή της ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης στο παράδειγμα 5.2.1

Στην συνέχεια θα μελετηθεί η συμπεριφορά της ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης, καθώς αλλάζουν οι παράμετροι του συστήματος. Η σειρά και οι τιμές των παραδειγμάτων είναι ίδιες με αυτές του κεφαλαίου 5.3, εκτός από την τιμή της πιθανότητας δέσμευσης w , όπου εδώ τίθεται 0.5, για όλες τις κατηγορίες κίνησης. Οι μεταβλητές εισόδου για αυτό το παράδειγμα δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
t	9 6 0
w	0.5 0.5 0
C	120

Πίνακας 5.29 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.2

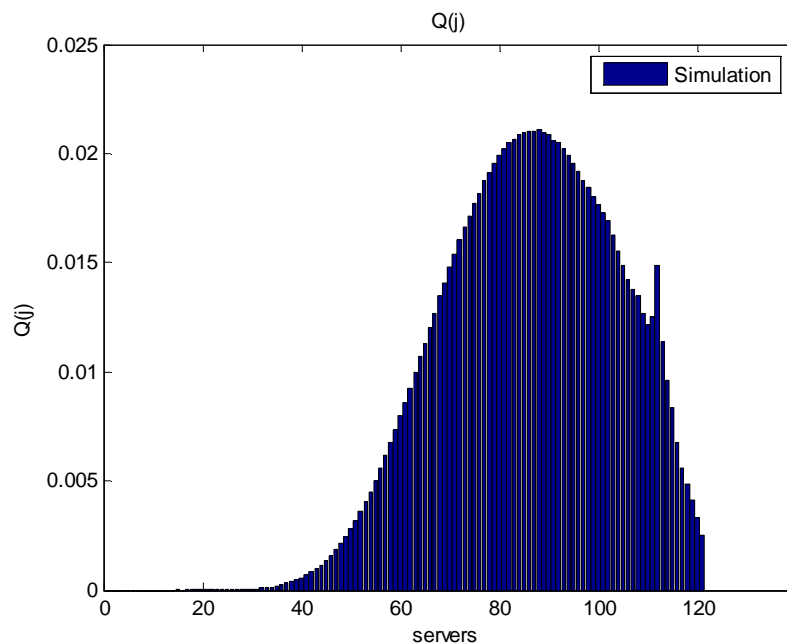


Διάγραμμα 5.34 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.4.2

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι τιμές της προσομοίωσης είναι πολύ κοντά στις θεωρητικές τιμές.

Κατηγορία κλήσης k	Πιθανότητα απώλειας κλήσης (θεωρητική τιμή)	Πιθανότητα απώλειας κλήσης (προσομοίωση).
1	0.036810	0.037169
2	0.044314	0.043433
3	0.069334	0.071762

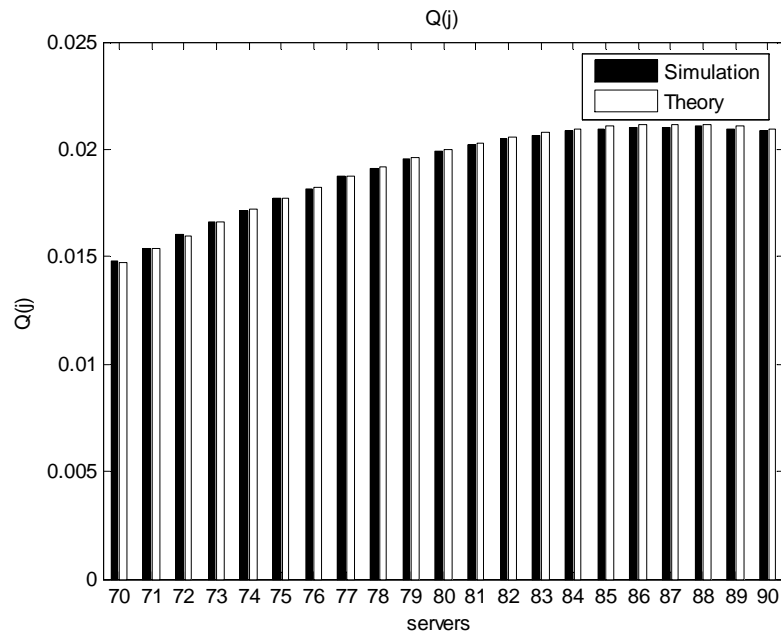
Πίνακας 5.30 τιμές και τιμές προσομοίωσης της πιθανότητας απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.4.2



Διάγραμμα 5.35 Ποσοστό κατειλημμένων καναλιών για το παράδειγμα 5.4.2

Το ποσοστό κατειλημμένων καναλιών εμφανίζει τα ίδια χαρακτηριστικά ασυνέχειας με το διάγραμμα 5.12. Η εξήγηση στο φαινόμενο αυτό δίνεται στην παράγραφο 5.3.1. Στο διάγραμμα 5.34 η παρακράτηση καναλιών γίνεται με πιθανότητα $w = 0.5$, και έτσι το σχήμα του διαγράμματος 5.34 περιέχει στοιχεία του διαγράμματος 5.2 όπου η πιθανότητα είναι $w = 1$ και του διαγράμματος 5.11 όπου η πιθανότητα είναι $w = 0$.

Οι θεωρητικές τιμές των αποτελεσμάτων για το $Q(j)$ είναι πάρα πολύ κοντά στις τιμές προσομοίωσης του παραπάνω διαγράμματος. Ενδεικτικά παραθέτουμε κάποιες από τις τιμές αυτές στο διάγραμμα 5.35.



Διάγραμμα 5.36 θεωρητικό και πειραματικό ποσοστό κατάληψης καναλιών για το παράδειγμα 5.4.2

Η διακύμανση για 20 διαφορετικές προσομοιώσεις παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία κλήσης k	διακύμανση
1	0.000223
2	0.000256
3	0.000300

Πίνακας 5.31 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.4.2

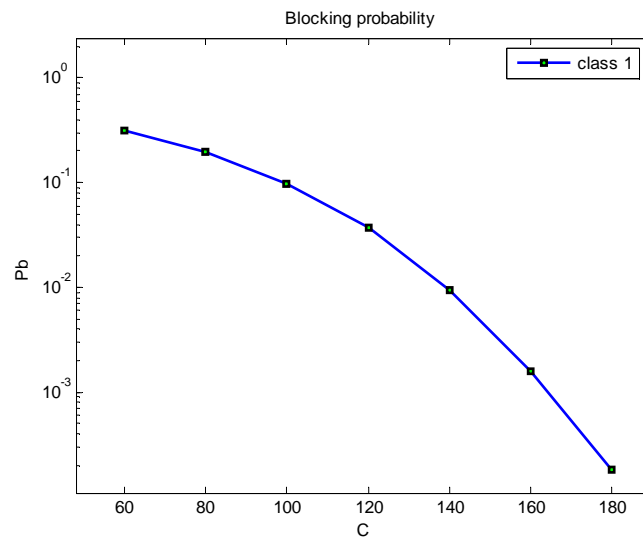
5.4.3. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών

Διατηρώντας την ίδια σειρά των παραδειγμάτων όπως στα προηγούμενα παραδείγματα, η πρώτη παράμετρος που θα μεταβληθεί είναι η χωρητικότητα του συστήματος.

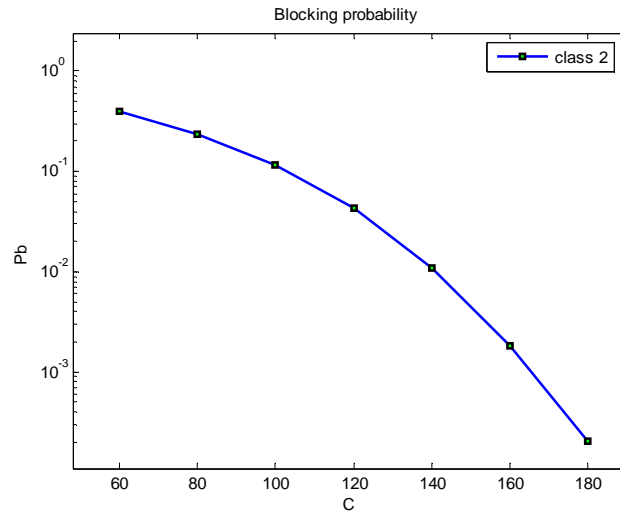
λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
t	9 6 0
w	0.5 0.5 0
C	60 80 ... 120

Πίνακας 5.32 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.3

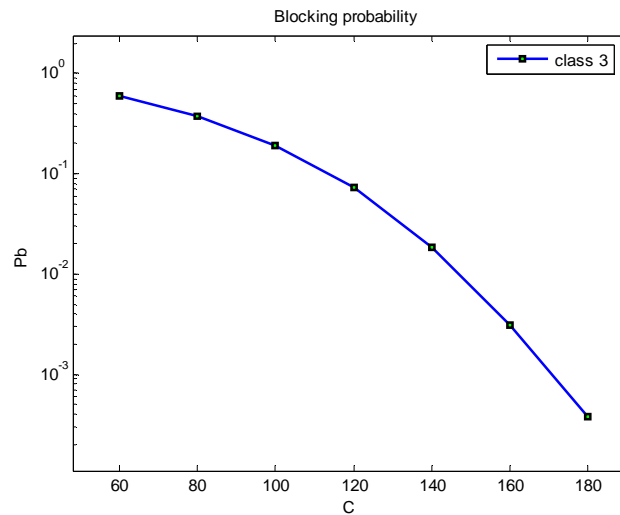
Η πιθανότητα απώλειας κλήσης μειώνεται και για τις τρεις κατηγορίες κίνησης καθώς ο αριθμός των καναλιών αυξάνεται. Τα παρακάτω διαγράμματα (5.37 έως 5.39) δείχνουν την πιθανότητα αυτή.



Διάγραμμα 5.37 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.4.3)



Διάγραμμα 5.38 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.4.3)



Διάγραμμα 5.39 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει της χωρητικότητας C (παράδειγμα 5.4.3)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης με βάση τον τύπο (4.10) είναι:

C	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃
60	0.3186	0.3996	0.5796
80	0.1954	0.2411	0.3614
100	0.0983	0.1197	0.1837
120	0.0368	0.0443	0.0693
140	0.0094	0.0112	0.0178
160	0.0016	0.0019	0.0030
180	0.0002	0.0002	0.0004

Πίνακας 5.33 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 5.4.3

Επίσης, το απόλυτο σφάλμα (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων είναι:

C	Error (1)	Error (2)	Error (3)
60	0.0006	0.0203	0.0327
80	0.0049	0.0241	0.0368
100	0.0140	0.0189	0.0385
120	0.0113	0.0224	0.0422
140	0.0113	0.0343	0.0318
160	0.0253	0.0202	0.0285
180	0.0013	0.0506	0.0118

Πίνακας 5.34 Σχετικό σφάλμα της πιθανότητας απώλειας συναρτήσει του C (παράδειγμα 5.4.3)

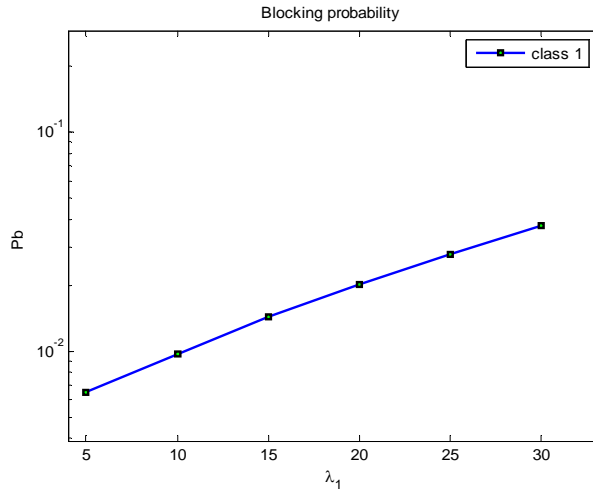
5.4.4. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων

Η επόμενη παράμετρος που θα μεταβληθεί είναι ο μέσος ρυθμός άφιξης κλήσεων για την πρώτη κατηγορία κλήσεων.

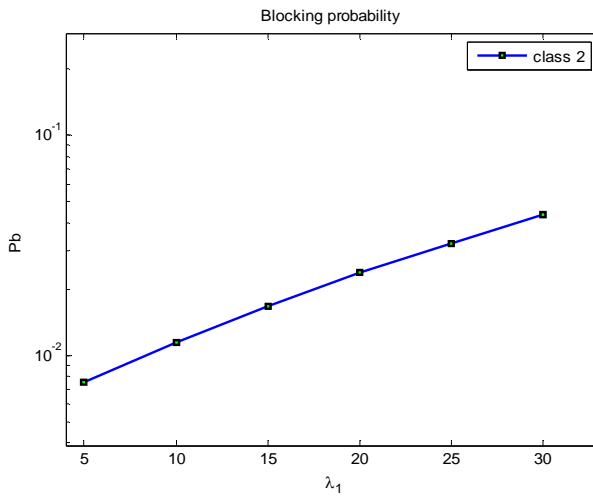
λ	5	7,5	3
	10	7,5	3
	15	7,5	3
	...		
	30	7,5	3
1/μ	1	1	1
b	1	4	10
t	9	6	0
w	0.5	0.5	0
C	120		

Πίνακας 5.35 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.4

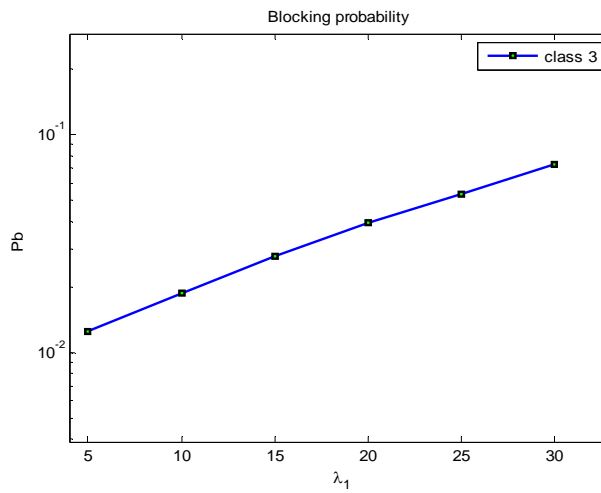
Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (5.40 έως 5.42).



Διάγραμμα 5.40 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.4.4)



Διάγραμμα 5.41 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.4.4)



Διάγραμμα 5.42 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.4.4)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης με βάση τον τύπο 4.10 είναι:

λ_1	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃
5	0.0064	0.0077	0.0122
10	0.0097	0.0116	0.0184
15	0.0142	0.0170	0.0268
20	0.0201	0.0241	0.0380
25	0.0276	0.0332	0.0521
30	0.0368	0.0443	0.0693

Πίνακας 5.36 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.4.4

Και το σχετικό σφάλμα για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων είναι:

λ_1	Error (1)	Error (2)	Error (3)
55	0.0162	0.0055	0.0394
100	0.0125	0.0081	0.0281
155	0.0152	0.0132	0.0314
200	0.0057	0.0284	0.0213
255	0.0113	0.0128	0.0369
330	0.0025	0.0277	0.0346

Πίνακας 5.37 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.4.4)

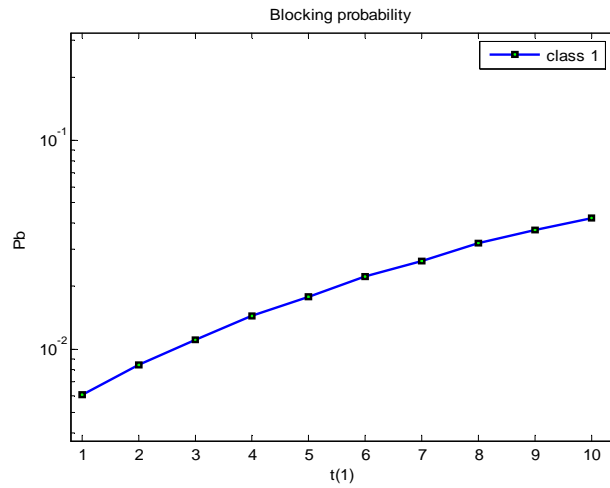
5.4.5. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών

Στην συνέχεια μεταβάλλεται ο αριθμός των καναλιών που δεσμεύονται t για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 1 έως 10.

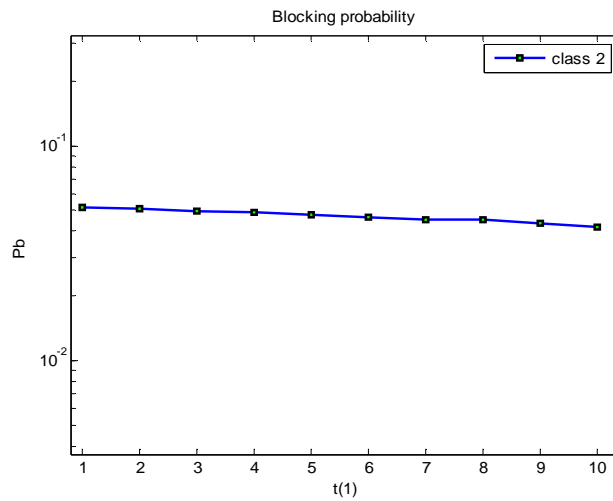
λ	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
b	1	4	10
t	1	6	0
	2	6	0
	...		
	10	6	0
w	0.5	0.5	0
C	120		

Πίνακας 5.38 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.5

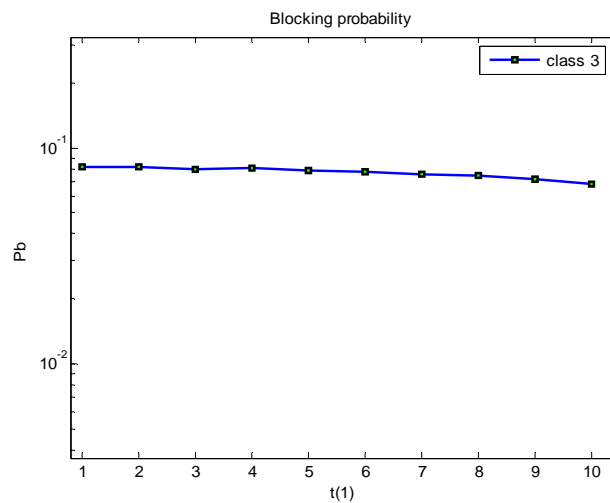
Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης για την κάθε κατηγορία κλήσης παρουσιάζονται στα διαγράμματα (5.43 έως 5.45).



Διάγραμμα 5.43 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του t(1) (παράδειγμα 5.4.5)



Διάγραμμα 5.44 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του t(1) (παράδειγμα 5.4.5)



Διάγραμμα 5.45 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του t(1) (παράδειγμα 5.4.5)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης πλησιάζουν τις τιμές της προσομοίωσης. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις θεωρητικές τιμές όπως προκύπτουν από τον τύπο 4.10

t(1)	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃
1	0.0074	0.0515	0.0801
2	0.0100	0.0507	0.0793
3	0.0128	0.0498	0.0784
4	0.0158	0.0488	0.0774
5	0.0191	0.0481	0.0762
6	0.0232	0.0472	0.0747
7	0.0275	0.0463	0.0730
8	0.0321	0.0453	0.0712
9	0.0368	0.0443	0.0693
10	0.0418	0.0433	0.0673

Πίνακας 5.39 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.4.5

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

t(1)	Error (1)	Error (2)	Error (3)
1	0.1679	0.0007	0.0191
2	0.1693	0.0017	0.0250
3	0.1352	0.0039	0.0215
4	0.0868	0.0023	0.0338
5	0.0590	0.0147	0.0268
6	0.0438	0.0190	0.0407
7	0.0275	0.0090	0.0427
8	0.0036	0.0087	0.0509
9	0.0042	0.0215	0.0292
10	0.0301	0.0204	0.0282

Πίνακας 5.40 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.4.5)

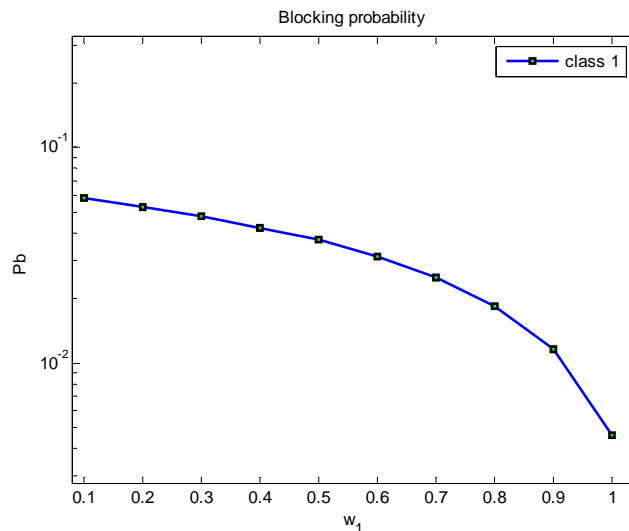
5.4.6. Μεταβολή της πιθανότητας για την δέσμευση καναλιών

Οι μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα αυτό είναι:

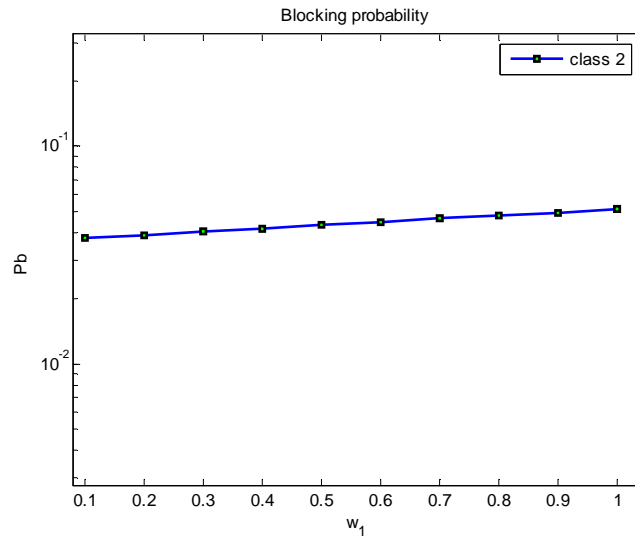
λ	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
c	1	4	10
t	9	6	0
w	0.1	0.5	0
	0.2	0.5	0
	...		
	1.0	0.5	0
C	120		

Πίνακας 5.41 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.4.6

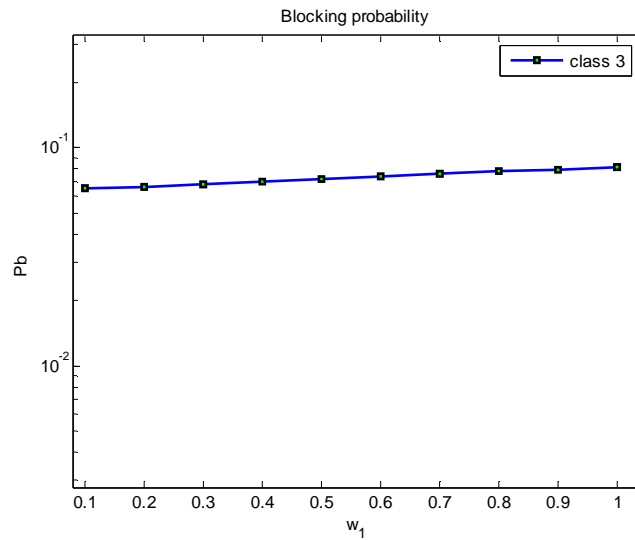
Οι πιθανότητες απώλειας για τις 3 κατηγορίες των κλήσεων παρουσιάζονται στα επόμενα τρία διαγράμματα (5.46 -5.48).



Διάγραμμα 5.46 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w_1 (παράδειγμα 5.4.6)



Διάγραμμα 5.47 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w_1 (παράδειγμα 5.4.6)



Διάγραμμα 5.48 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w_1 (παράδειγμα 5.4.6)

Οι αντίστοιχες πιθανότητες που προκύπτουν από τον τύπο 4.10 είναι:

w_1	Pb_1	Pb_2	Pb_3
0.1	0.0564	0.0395	0.0622
0.2	0.0519	0.0406	0.0639
0.3	0.0471	0.0418	0.0656
0.4	0.0421	0.0430	0.0674
0.5	0.0368	0.0443	0.0693
0.6	0.0312	0.0457	0.0714
0.7	0.0253	0.0472	0.0735
0.8	0.0190	0.0487	0.0758
0.9	0.0123	0.0504	0.0782
1.0	0.0053	0.0522	0.0807

Πίνακας 5.42 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 5.4.6

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

w_1	Error (1)	Error (2)	Error (3)
0.1	0.0354	0.0339	0.0459
0.2	0.0391	0.0275	0.0473
0.3	0.0195	0.0323	0.0236
0.4	0.0175	0.0279	0.0416
0.5	0.0042	0.0270	0.0269
0.6	0.0003	0.0199	0.0331
0.7	0.0088	0.0099	0.0341
0.8	0.0277	0.0081	0.0198
0.9	0.0589	0.0116	0.0127
1.0	0.0971	0.0044	0.0183

Πίνακας 5.43 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.4.6)

5.5. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία κλήσεων

Στην συνέχεια ακολουθεί παρόμοια ανάλυση για το μοντέλο που περιγράφεται στην παράγραφο 4.4. Υπενθυμίζουμε ότι σε αυτό το μοντέλο, η μεταβλητή των δεσμευμένων καναλιών t έχει αντικατασταθεί με την μεταβλητή T διότι αλλάζει ο τρόπος με τον οποίο μετρούνται τα δεσμευμένα κανάλια. Η πρώτη μεταβλητή (t) χρησιμοποιεί ως κατώφλι τα συνολικά δεσμευμένα κανάλια, ενώ η δεύτερη (T) χρησιμοποιεί μόνο τα δεσμευμένα κανάλια από κλήσεις της ίδιας κατηγορίας με την εισερχόμενη.

5.5.1. Αναλυτικός υπολογισμός και σύγκριση με το πρόγραμμα προσομοίωσης

Σε αυτό το παράδειγμα θα υπολογιστεί η θεωρητική πιθανότητα απώλειας κλήσεων, και θα συγκριθεί με εκείνη της προσομοίωσης. Οι παράμετροι του συστήματος είναι ίδιες με αυτές του παραδείγματος 5.4.1 και δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

λ	1	1
$1/\mu$	1	1
b	1	2
T	1	0
w	0.4	0
C	5	

Πίνακας 5.44 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.1

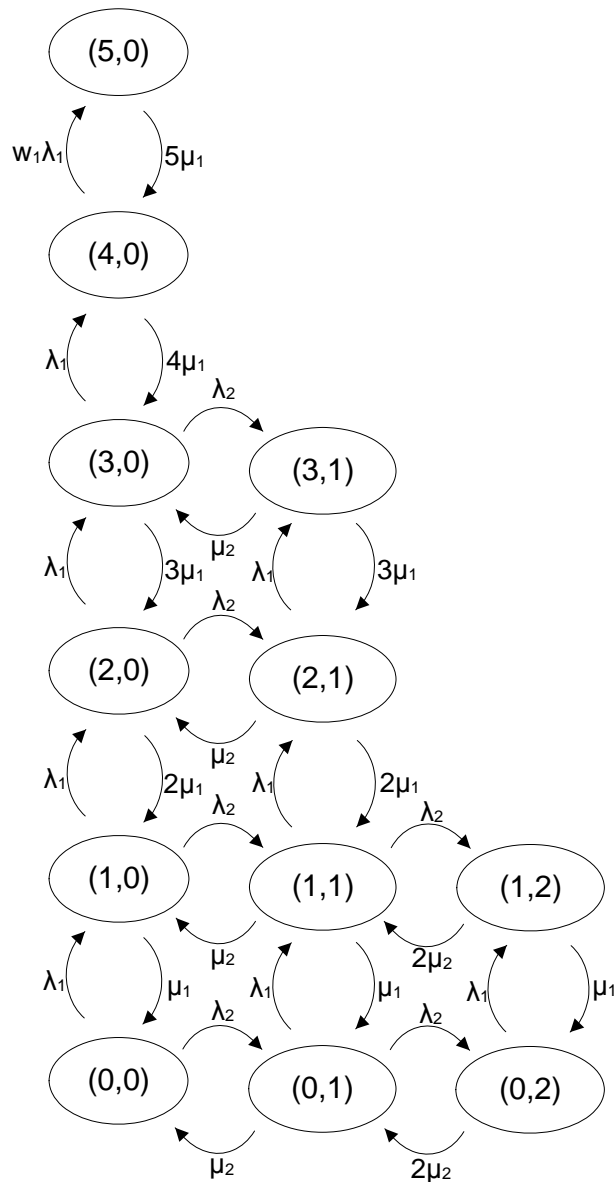
Αναλυτικό μοντέλο:

Το γινόμενο του αριθμού των κλήσεων στο σύστημα n_1 και n_2 επί τις αντίστοιχες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης b_1, b_2 δηλώνει τον αριθμό των κατειλημμένων καναλιών j .

n_1	n_2	j
0	0	0
0	1	2
0	2	4
1	0	1
1	1	3
1	2	5
2	0	2
2	1	4
3	0	3
3	1	5
4	0	4
5	0	5

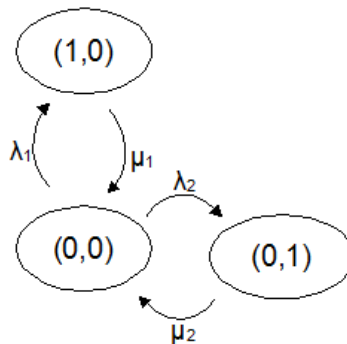
Πίνακας 5.45 Αριθμός των κατειλημμένων καναλιών (παράδειγμα 5.5.1)

Το διάγραμμα Markov για το σύστημα αυτό είναι:



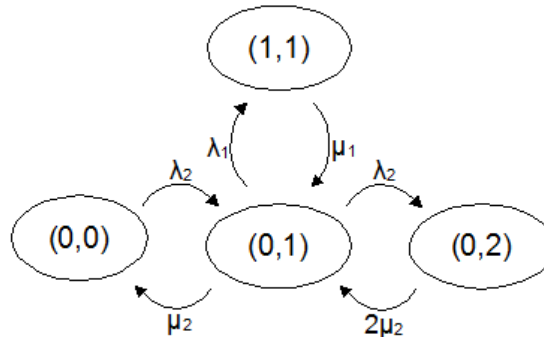
Διάγραμμα 5.49 Διάγραμμα Μαρκοβ του συστήματος(παράδειγμα 5.5.1)

Από το διάγραμμα Μαρκοβ που ακολουθεί θα εξαχθούν οι εξισώσεις των πιθανοτήτων.



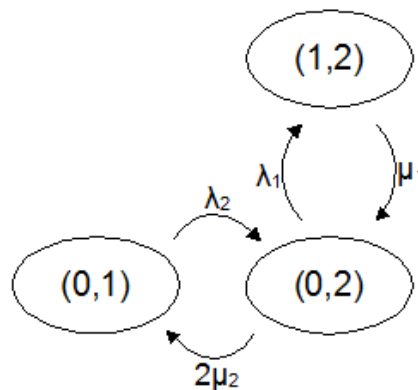
Διάγραμμα 5.50 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση $(0,0)$ (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(0,0) + \lambda_2 \cdot P(0,0) &= \mu_1 \cdot P(1,0) + \mu_2 \cdot P(0,1) \\ P(1,0) + P(0,1) - 2 \cdot P(0,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.28)$$



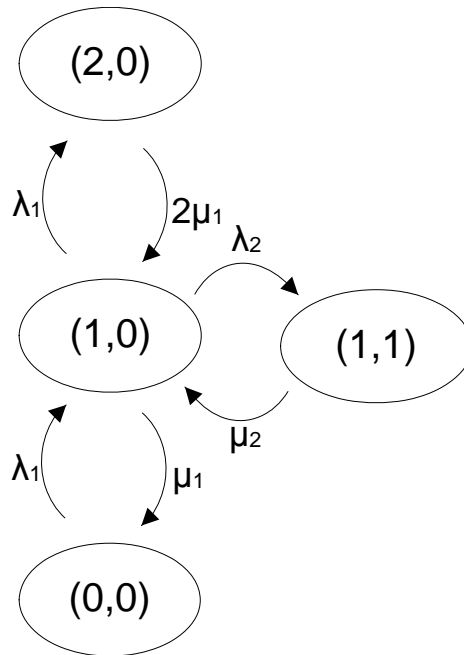
Διάγραμμα 5.51 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,1) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_2 \cdot P(0,0) + \mu_1 \cdot P(1,1) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(0,2) &= \lambda_1 \cdot P(0,1) + \lambda_2 \cdot P(0,1) + \mu_2 \cdot P(0,1) \\ P(0,0) + P(1,1) + 2 \cdot P(0,2) - 3 \cdot P(0,1) &= 0 \end{aligned} \quad (5.29)$$



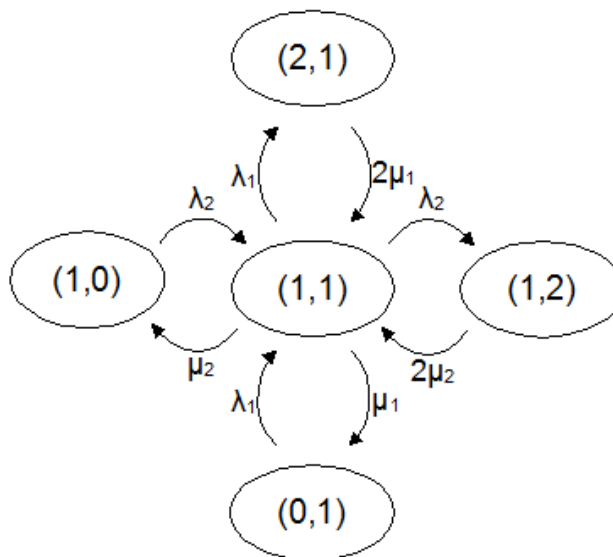
Διάγραμμα 5.52 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (0,2) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \mu_1 \cdot P(1,2) + \lambda_2 \cdot P(0,1) &= \lambda_1 \cdot P(0,2) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(0,2) \\ P(1,2) + P(0,1) - 3 \cdot P(0,2) &= 0 \end{aligned} \quad (5.30)$$



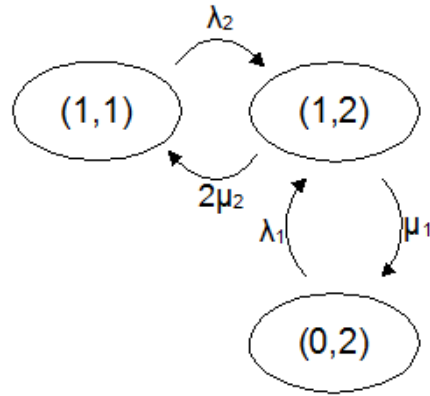
Διάγραμμα 5.53 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση (1,0) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(0,0) + 2 \cdot \mu_1 \cdot P(2,0) + \mu_2 \cdot P(1,1) &= \mu_1 \cdot P(1,0) + \lambda_2 \cdot P(1,0) + \lambda_1 \cdot P(1,0) \\ P(0,0) + 2 \cdot P(2,0) + P(1,1) - 3 \cdot P(1,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.31)$$



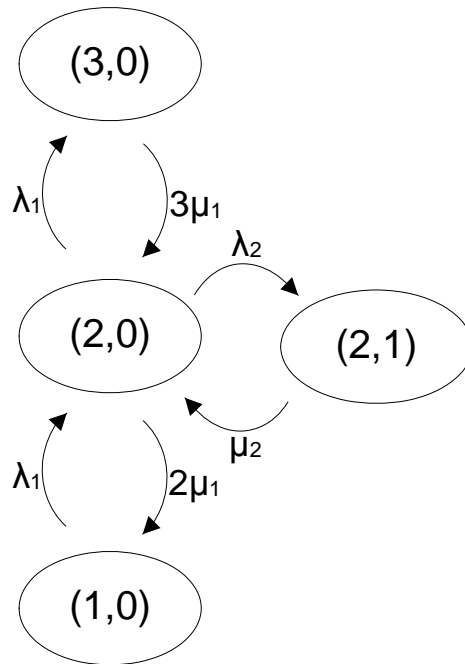
Διάγραμμα 5.54 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση (1,1) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(0,1) + 2 \cdot \mu_1 \cdot P(2,1) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(1,2) + \lambda_2 \cdot P(1,0) &= (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \cdot P(1,1) \\ P(0,1) + 2 \cdot P(2,1) + 2 \cdot P(1,2) + P(1,0) - 4 \cdot P(1,1) &= 0 \end{aligned} \quad (5.32)$$



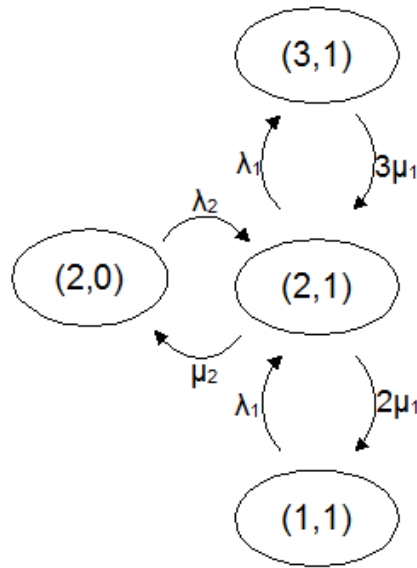
Διάγραμμα 5.55 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (1,2) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_2 \cdot P(1,1) + \lambda_1 \cdot P(0,2) &= \mu_1 \cdot P(1,2) + 2 \cdot \mu_2 \cdot P(1,2) \\ P(1,1) + P(0,2) - 3 \cdot P(1,2) &= 0 \end{aligned} \quad (5.33)$$



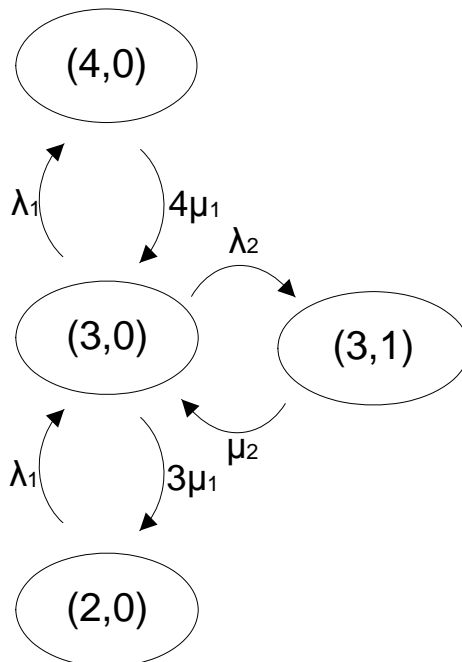
Διάγραμμα 5.56 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (2,0) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(1,0) + 3 \cdot \mu_1 \cdot P(3,0) + \mu_2 \cdot P(2,1) &= (\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \mu_1) \cdot P(2,0) \\ P(1,0) + 3 \cdot P(3,0) + P(2,1) - 4 \cdot P(2,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.34)$$



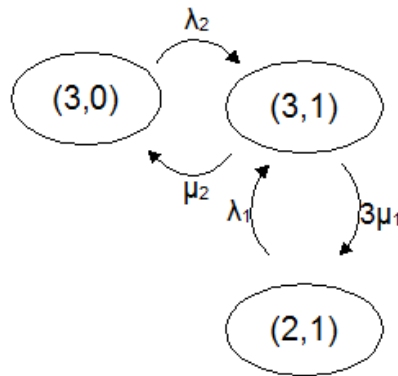
Διάγραμμα 5.57 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση (2,1) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(1,1) + 3 \cdot \mu_1 \cdot P(3,1) + \lambda_2 \cdot P(2,0) &= (\lambda_1 + 2 \cdot \mu_1 + \mu_2) \cdot P(2,1) \\ P(1,1) + 3 \cdot P(3,1) + P(2,0) - 4 \cdot P(2,1) &= 0 \end{aligned} \quad (5.35)$$



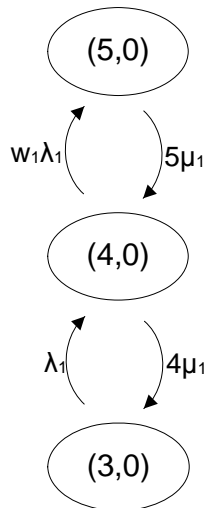
Διάγραμμα 5.58 Διάγραμμα Μαρκοβ για την κατάσταση (3,0) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(2,0) + 4 \cdot \mu_1 \cdot P(4,0) + \mu_2 \cdot P(3,1) &= (\lambda_1 + \lambda_2 + 3 \cdot \mu_1) \cdot P(3,0) \\ P(2,0) + 4 \cdot P(4,0) + P(3,1) - 5 \cdot P(3,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.36)$$



Διάγραμμα 5.59 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (3,1) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(2,1) + \lambda_2 \cdot P(3,0) &= (3 \cdot \mu_1 + \mu_2) \cdot P(3,1) \\ P(2,1) + P(3,0) - 4 \cdot P(3,1) &= 0 \end{aligned} \quad (5.37)$$



Διάγραμμα 5.60 Διάγραμμα Markov για την κατάσταση (4,0) (παράδειγμα 5.5.1)

$$\begin{aligned} \lambda_1 \cdot P(3,0) + 5 \cdot \mu_1 \cdot P(5,0) &= (4 \cdot \mu_1 + w_1 \cdot \lambda_1) \cdot P(4,0) \\ P(3,0) + 5 \cdot P(5,0) - 4 \cdot P(4,0) &= 0 \end{aligned} \quad (5.38)$$

Το άθροισμα όλων των πιθανοτήτων ισούται με 1:

$$P(0,0)+P(0,1)+P(0,2)+P(1,0)+P(1,1)+P(1,2)+P(2,0)+P(2,1)+P(3,0)+P(3,1)+P(4,0)+P(5,0)=1 \quad (5.39)$$

Οι εξισώσεις (5.28, 5.29, 5.30 ... 5.39) οδηγούν σε ένα σύστημα εξισώσεων με 12 αγνώστους:

$$\begin{bmatrix}
-2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & -3 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & -3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 0 & -3 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -4 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 0 & 3 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -5 & 1 & 4 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -4 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -4.4 & 5 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1
\end{bmatrix}
\mathbf{x}
=
\begin{bmatrix}
P(0,0) \\
P(0,1) \\
P(0,2) \\
P(1,0) \\
P(1,1) \\
P(1,2) \\
P(2,0) \\
P(2,1) \\
P(3,0) \\
P(3,1) \\
P(4,0) \\
P(5,0)
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
1
\end{bmatrix}
\tag{5.40}$$

Με την βοήθεια H/Y υπολογίζεται η λύση:

$$\begin{bmatrix}
P(0,0) \\
P(0,1) \\
P(0,2) \\
P(1,0) \\
P(1,1) \\
P(1,2) \\
P(2,0) \\
P(2,1) \\
P(3,0) \\
P(3,1) \\
P(4,0) \\
P(5,0)
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0,156781 \\
0,156781 \\
0,078390 \\
0,156781 \\
0,156781 \\
0,078390 \\
0,078390 \\
0,078390 \\
0,026130 \\
0,026130 \\
0,006533 \\
0,000523
\end{bmatrix}
\tag{5.41}$$

Η πιθανότητα Q(j) το σύστημα να έχει j κανάλια καταλυμένα είναι:

$$\begin{aligned}
Q(0) &= P(0,0) = 0,156781 \\
Q(1) &= P(1,0) = 0,156781 \\
Q(2) &= P(1,1) + P(2,0) = 0,235171 \\
Q(3) &= P(1,1) + P(3,0) = 0,182911 \\
Q(4) &= P(0,2) + P(2,1) + P(4,0) = 0,163313 \\
Q(5) &= P(1,2) + P(3,1) + P(5,0) = 0,105043
\end{aligned}
\tag{5.42}$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές παίρνουμε τις ακόλουθες πιθανότητες απώλειας κλήσεων:

$$\begin{aligned}
P(b1) &= P(5,0) + P(3,1) + P(1,2) + (1-w_1) \cdot P(4,0) = 0,108963 \\
P(b2) &= Q(5) + Q(4) = 0,268356
\end{aligned}
\tag{5.43}$$

Αποτελέσματα με βάση τον τύπο 4.20.

Ορίζουμε την βοηθητική μεταβλητή π ως

$$\pi_n = \prod_{k=1}^K \frac{\rho_i^{n_k}}{n_k!} \quad (5.44)$$

Η τιμή αυτή για όλες τις καταστάσεις i του συστήματος είναι:

$$\pi_{0,0} = \frac{1^0 1^0}{0! 0!} = 1 \quad (5.45)$$

$$\pi_{1,0} = \frac{1^1 1^0}{1! 0!} = 1 \quad (5.46)$$

$$\pi_{2,0} = \frac{1^2 1^0}{2! 0!} = 0.5 \quad (5.47)$$

$$\pi_{3,0} = \frac{1^3 1^0}{3! 0!} = 0.166667 \quad (5.48)$$

$$\pi_{4,0} = \frac{1^4 1^0}{4! 0!} = 0.041667 \quad (5.49)$$

$$\pi_{5,0} = \frac{0.4^5 1^0}{5! 0!} = 8.533 \cdot 10^{-5} \quad (5.50)$$

$$\pi_{0,1} = \frac{1^0 1^1}{0! 1!} = 1 \quad (5.51)$$

$$\pi_{1,1} = \frac{1^1 1^1}{1! 1!} = 1 \quad (5.52)$$

$$\pi_{2,1} = \frac{1^2 1^1}{2! 1!} = 0.5 \quad (5.53)$$

$$\pi_{3,1} = \frac{1^3 1^1}{3! 1!} = 0.166667 \quad (5.54)$$

$$\pi_{0,2} = \frac{1^0 1^2}{0! 2!} = 0.5 \quad (5.55)$$

$$\pi_{1,2} = \frac{1^1 1^2}{1! 2!} = 0.5 \quad (5.56)$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές του π των 5.45 -5.56 στην σχέση 4.22 βρίσκουμε την παράμετρο G :

$$G = \sum \pi = 6.375086 \quad (5.57)$$

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων για τις κλήσεις 1^{ης} κατηγορίας σύμφωνα με τον τύπο 4.20 είναι:

$$P_{b1} = \frac{1}{G} (\pi_{1,2} + \pi_{3,1} + \pi_{5,0} + \pi_{4,0} (1 - w_1)) \text{ όπου } w_1 = 0.4 \quad (5.58)$$

Και αντικαθιστώντας τις τιμές του π από τις 5.44 – 5.56 έχουμε

$$P_{b1} = 0.108509 \quad (5.59)$$

Όμοια για τις κλήσεις 2^{ης} κατηγορίας έχουμε:

$$P_{b2} = \frac{1}{G} (\pi_{5,0} + \pi_{4,0} + \pi_{3,1} + \pi_{2,1} + \pi_{1,2} + \pi_{0,2})$$

$$\Rightarrow P_{b2} = 0.267984 \quad (5.60)$$

Προσομοίωση με το πρόγραμμα Matlab.

Η προσομοίωση στο πρόγραμμα Matlab δίνει τις παρακάτω τιμές:

j	Q(j)
0	0.156745
1	0.156727
2	0.235042
3	0.182918
4	0.163390
5	0.105178

Πίνακας 5.46 Ποσοστό των κατειλημμένων καναλιών(παράδειγμα 5.5.1)

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

k	Pb_k
1	0.108993
2	0.268622

Πίνακας 5.47 Πιθανότητες απώλειας κλήσης μέσω προσομοίωσης. (παράδειγμα 5.5.1)

Σύγκριση τιμών

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις πιθανότητες το σύστημα μια τυχαία στιγμή να έχει j κανάλια κατειλημμένα.

j	Q(j) Ακριβής υπολογισμός 5.42	Q(j) Μέσω του τύπου 4.36	Q(j) Υπολογισμός μέσω προσομοίωσης
0	0.156781	0.156781	0.156745
1	0.156781	0.156781	0.156727
2	0.235171	0.235171	0.235042
3	0.182911	0.182911	0.182918
4	0.163313	0.163313	0.163390
5	0.105043	0.105043	0.105178

Πίνακας 5.48 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τις αντίστοιχες της προσομοίωσης για το Q(j). (παράδειγμα 5.5.1)

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι πιθανότητες απώλειας κλήσης.

	Ακριβής υπολογισμός 5.43	Μέσω του τύπου 4.20	Προσομοίωση
P(b1)	0.108963	0.108963	0.108993
P(b2)	0.268356	0.268356	0.268622

Πίνακας 5.49 Σύγκριση θεωρητικών τιμών με τις αντίστοιχες της προσομοίωσης για την πιθανότητα απώλειας κλήσης (παράδειγμα 5.5.1)

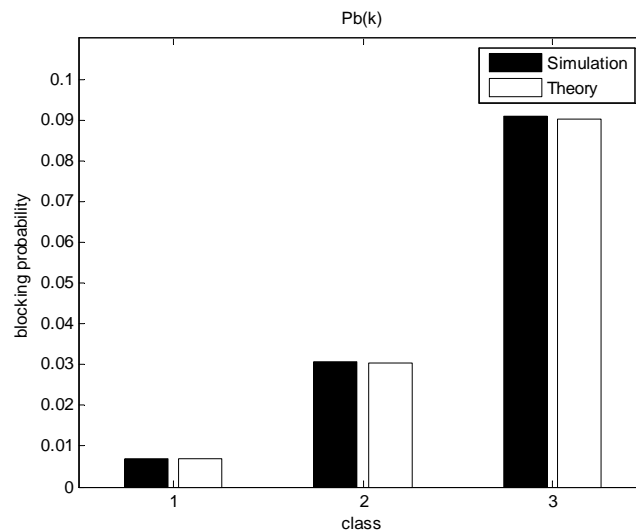
Ο τύπος 4.20 δίνει ακριβώς τις ίδιες τιμές με αυτές του ακριβή υπολογισμού (5.43) για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων.

5.5.2.Εφαρμογή του μοντέλου στις παραμέτρους του συστήματος 5.2.1

Στην συνέχεια θα εφαρμοστεί το παραπάνω μοντέλο στις παραμέτρους του συστήματος που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5.2.1. Θα δεσμευτούν 9 κανάλια από την κλήση κατηγορίας 1, και 6 κανάλια για τις κλήσεις κατηγορίας 2. Ο πίνακας μεταβλητών εισόδου για το παράδειγμα είναι:

λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
T	9 6 0
w	0.5 0.5 0
C	120

Πίνακας 5.50 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.2



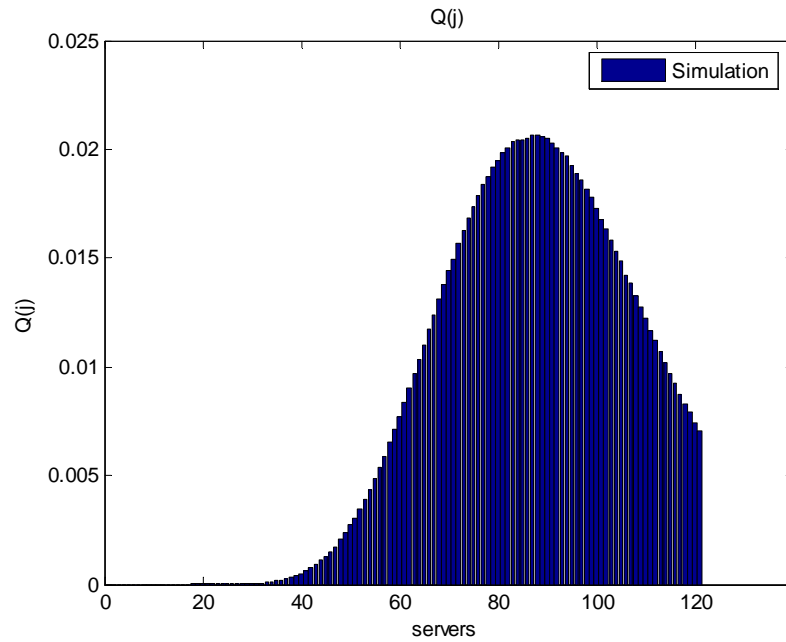
Διάγραμμα 5.61 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.5.2

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης παρουσιάζονται σχηματικά στο διάγραμμα 5.61 και αριθμητικά στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία κλήσης k	Θεωρητικό blocking probability	Πειραματικό block. Probab.
1	0.006954	0.006955
2	0.030398	0.030395
3	0.090064	0.090054

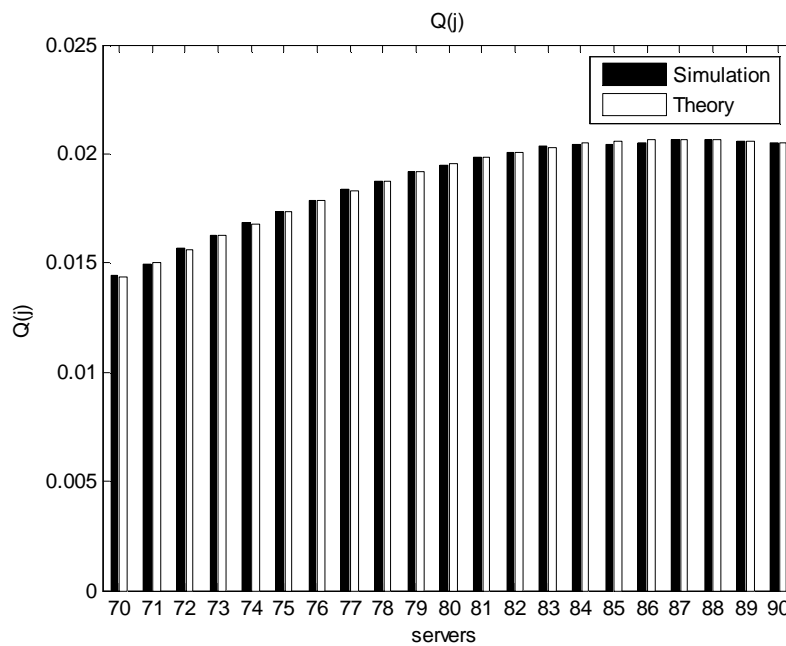
Πίνακας 5.51 Πειραματικές απώλειες απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.5.2

Η πιθανότητα $Q(j)$ συναρτήσει του j παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.62 Ποσοστό κατειλημμένων καναλιών για το παράδειγμα 5.5.2

Οι θεωρητικές τιμές των αποτελεσμάτων για το $Q(j)$ είναι πάρα πολύ κοντά στις τιμές της προσομοίωσης. Ενδεικτικά παραθέτουμε κάποιες από αυτές τις τιμές:



Διάγραμμα 5.63 Θεωρητικές τιμές και τιμές προσομοίωσης του $Q(j)$ για το παράδειγμα 5.5.2

Η διακύμανση για 20 διαφορετικές προσομοιώσεις παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία κλήσης k	Διακύμανση
1	0.000076
2	0.000243
3	0.000573

Πίνακας 5.52 Διακύμανση πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για το παράδειγμα 5.5.2

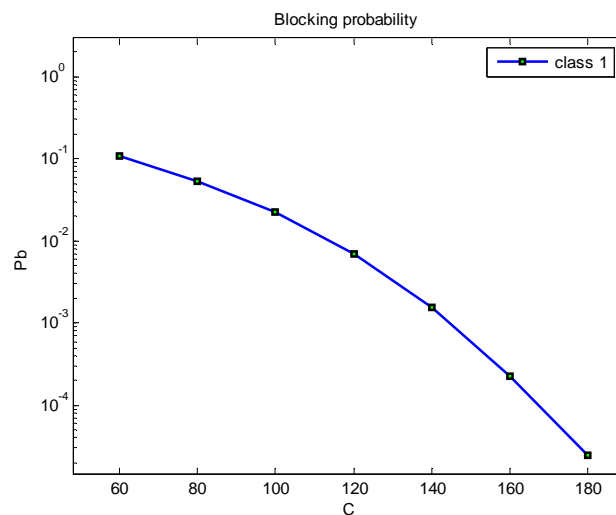
5.5.3. Μεταβολή των διαθέσιμων καναλιών

Τα διαθέσιμα κανάλια του συστήματος θα μεταβληθούν από 60 σε 120. Οι παράμετροι εισόδου είναι

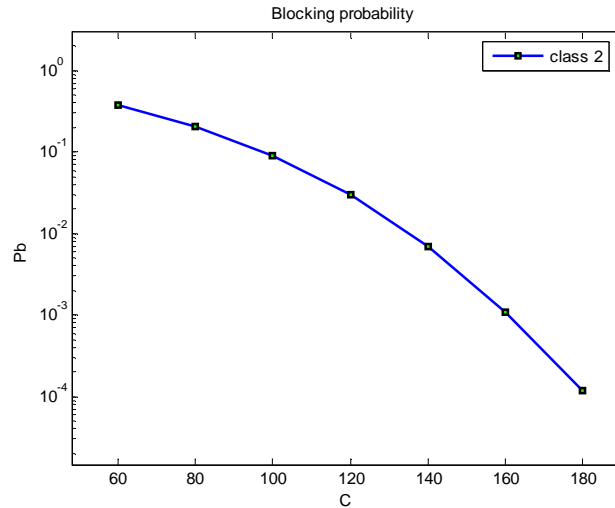
λ	30 7,5 3
$1/\mu$	1 1 1
b	1 4 10
T	9 6 0
w	0.5 0.5 0
C	60 80 ... 120

Πίνακας 5.53 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.3

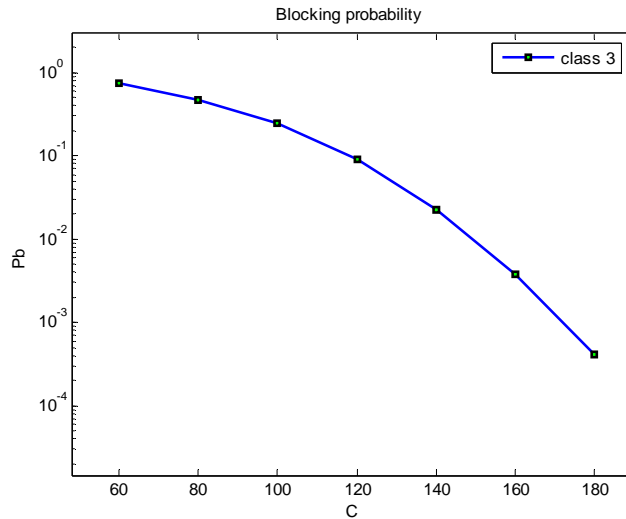
Οι πιθανότητες για την απώλεια κλήσεων είναι (διαγράμματα 5.64 -5.66)



Διάγραμμα 5.64 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του C (παράδειγμα 5.5.3)



Διάγραμμα 5.65 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του C(παράδειγμα 5.5.3)



Διάγραμμα 5.66 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του C (παράδειγμα 5.5.3)

Οι τιμές της προσομοίωσης για την πιθανότητα απώλειας κλήσης δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

C	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃
60	0.1068	0.3791	0.7356
80	0.0525	0.2048	0.4758
100	0.0220	0.0914	0.2430
120	0.0070	0.0304	0.0901
140	0.0015	0.0069	0.0225
160	0.0002	0.0011	0.0037
180	2.3 * 10 ⁻⁵	0.0001	0.0004

Πίνακας 5.54 Πιθανότητες απώλειας κλήσεως για το παράδειγμα 5.5.3

Το απόλυτο σφάλμα όπως ορίστηκε στην σχέση 5.2 παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

C	Error (1)	Error (2)	Error (3)
60	0.0021	0.0025	0.0006
80	0.0004	0.0007	0.0017
100	0.0007	0.0023	0.0018
120	0.0044	0.0011	0.0069
140	0.0059	0.0033	0.0047
160	0.0293	0.0036	0.0014
180	0.0316	0.0133	0.0401

Πίνακας 5.55 Απόλυτο σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 5.5.3)

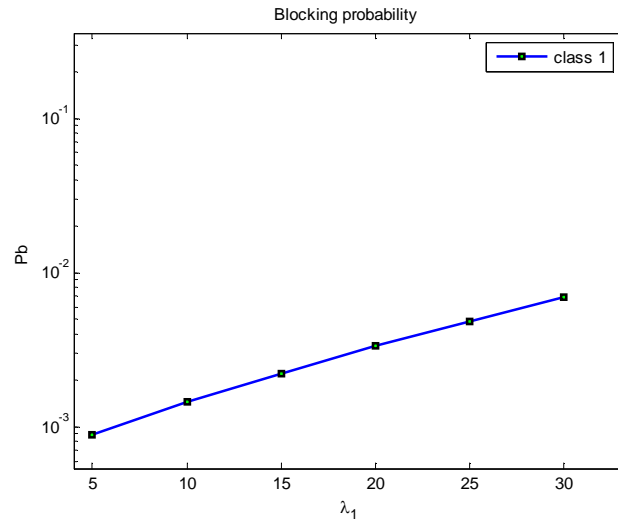
5.5.4. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων

Η επόμενη παράμετρος που θα μεταβληθεί είναι ο μέσος ρυθμός άφιξης κλήσεων για την πρώτη κατηγορία κλήσεων.

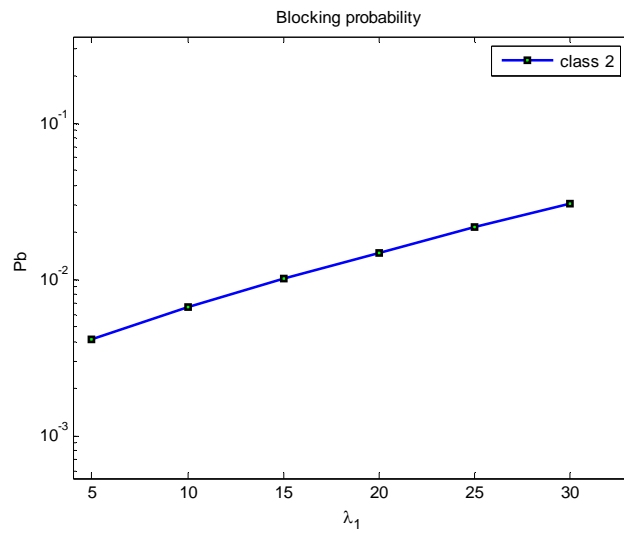
λ	5	7,5	3
	10	7,5	3
	15	7,5	3
	...		
	30	7,5	3
1/μ	1	1	1
b	1	4	10
T	9	6	0
w	0.5	0.5	0
C	120		

Πίνακας 5.56 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.4

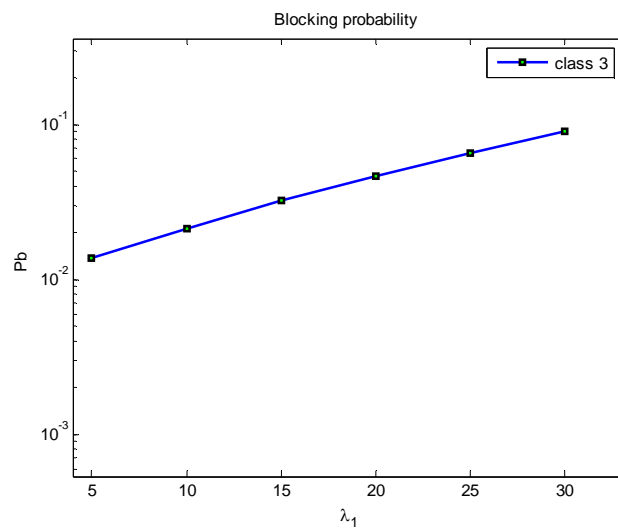
Οι πιθανότητες απώλειας παρουσιάζονται στα επόμενα τρία διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.67 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.5.4)



Διάγραμμα 5.68 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.5.4)



Διάγραμμα 5.69 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του λ_1 (παράδειγμα 5.5.4)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσης είναι:

λ	Pb_1	Pb_2	Pb_3
5	0.0009	0.0041	0.0138
10	0.0014	0.0065	0.0213
15	0.0022	0.0100	0.0320
20	0.0033	0.0150	0.0466
25	0.0049	0.0216	0.0658
30	0.0070	0.0304	0.0901

Πίνακας 5.57 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 5.5.4

Το απόλυτο σφάλμα όπως ορίστηκε στην σχέση 5.2 παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

λ	Error (1)	Error (2)	Error (3)
5	0.0002	0.0045	0.0158
10	0.0056	0.0026	0.0020
15	0.0008	0.0035	0.0005
20	0.0152	0.0010	0.0025
25	0.0008	0.0023	0.0049
30	0.0094	0.0067	0.0023

Πίνακας 5.58 Απόλυτο σφάλμα για τις τιμές του παραδείγματος 5.5.4

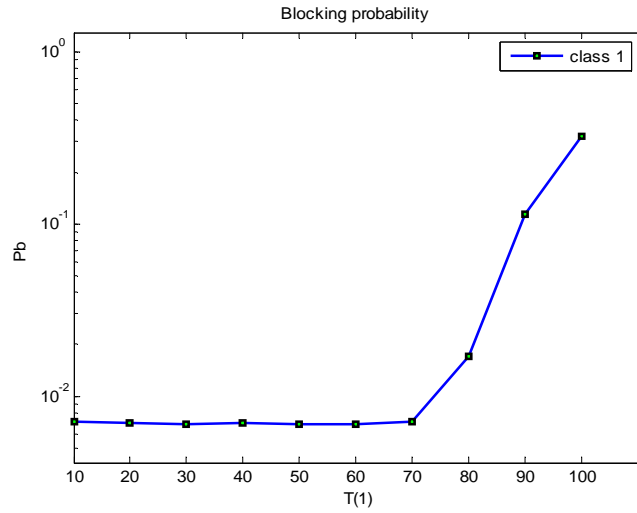
5.5.5. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών

Στην συνέχεια μεταβάλλεται ο αριθμός των καναλιών που δεσμεύονται για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 10 έως 100 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου.

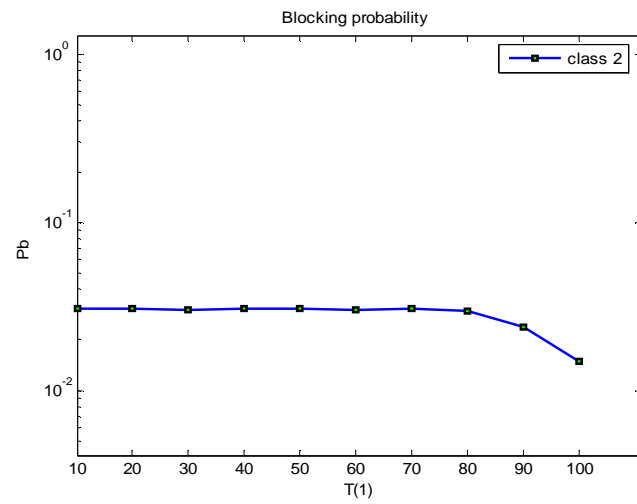
λ	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
b	1	4	10
T	10	6	0
	20	6	0
	...		
	100	6	0
w	0.5	0.5	0
C	120		

Πίνακας 5.59 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.5

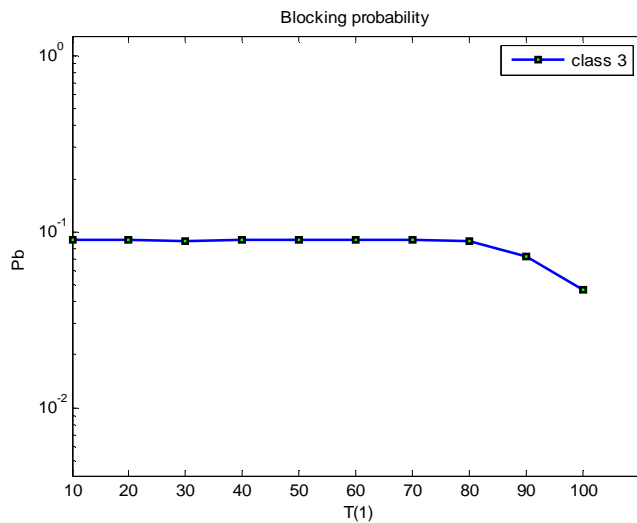
Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης για την κάθε κατηγορία κλήσης παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 5.70 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του T(1) (παράδειγμα 5.5.5)



Διάγραμμα 5.71 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του T(1) (παράδειγμα 5.5.5)



Διάγραμμα 5.72 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του T(1) (παράδειγμα 5.5.5)

Η θεωρητική τιμή των πιθανοτήτων απώλειας κλήσης με βάση τον τύπο 4.20 δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

T(1)	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃
10	0.0070	0.0304	0.0901
20	0.0070	0.0304	0.0901
30	0.0070	0.0304	0.0901
40	0.0070	0.0304	0.0901
50	0.0070	0.0304	0.0901
60	0.0070	0.0304	0.0901
70	0.0071	0.0304	0.0900
80	0.0168	0.0296	0.0880
90	0.1141	0.0237	0.0719
100	0.3241	0.0149	0.0465

Πίνακας 5.60 Πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 5.5.5

Οι τιμές για το απόλυτο σφάλμα (error) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

T(1)	Error(1)	Error(2)	Error(3)
10	0.0184	0.0048	0.0085
20	0.0002	0.0077	0.0033
30	0.0024	0.0082	0.0071
40	0.0101	0.0054	0.0080
50	0.0154	0.0127	0.0081
60	0.0077	0.0047	0.0038
70	0.0021	0.0091	0.0028
80	0.0032	0.0005	0.0112
90	0.0000	0.0032	0.0094
100	0.0002	0.0149	0.0026

Πίνακας 5.61 Απόλυτο σφάλμα για τις τιμές του παραδείγματος 5.5.5

Παρατηρείται ότι για μεταβολές του T(1) μικρότερες από 70 κανάλια, οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων παραμένουν σταθερές σύμφωνα με τα διαγράμματα των εικόνων 5.70 – 5.72 και του πίνακα 5.60. Συνεπώς, για το μοντέλο **ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσης** η δέσμευση ισχύει μόνο εάν γίνεται σε μεγάλο αριθμό καναλιών. Στο παράδειγμα 5.5.5 για να δράσει η δέσμευση εύρους ζώνης με την τιμή $T_1=3$ θα πρέπει στο σύστημα να υπάρχουν 117 ($=C-T_1$) κλήσεις κατηγορίας 1, **καμία** κλήση κατηγορίας 2 και **καμία** κλήση κατηγορίας 3, κάτι που είναι πρακτικά απίθανο.

Αντίθετα στην ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης οι μεταβολές στα δεσμευμένα κανάλια επηρεάζουν το σύστημα, ακόμα και αν εφαρμόζονται σε πολύ λίγα κανάλια. Για την περίπτωση του παραδείγματος 5.4.5 η τιμή αυτή είναι 3 κανάλια ($t_1=3$).

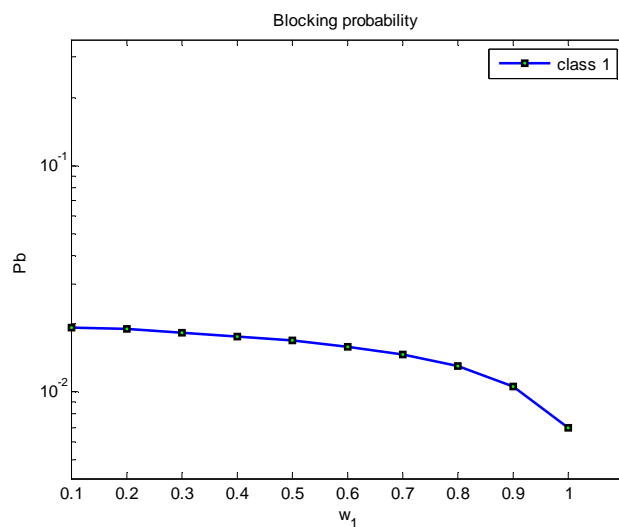
5.5.6. Μεταβολή της πιθανότητας για την δέσμευση των καναλιών

Στην συνέχεια μεταβάλλεται η πιθανότητα για την δέσμευση καναλιών στις κλήσεις της κατηγορίας 1. Ο πίνακας με τις μεταβλητές εισόδου για αυτό το παράδειγμα είναι ο ακόλουθος:

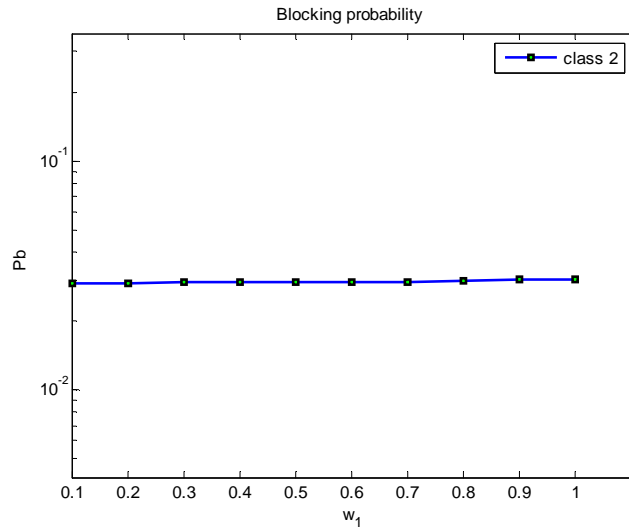
λ	30	7,5	3
$1/\mu$	1	1	1
b	1	4	10
T	80	6	0
w	0.1	0.5	0
	0.2	0.5	0
	...		
	1.0	0.5	0
C	120		

Πίνακας 5.62 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 5.5.6

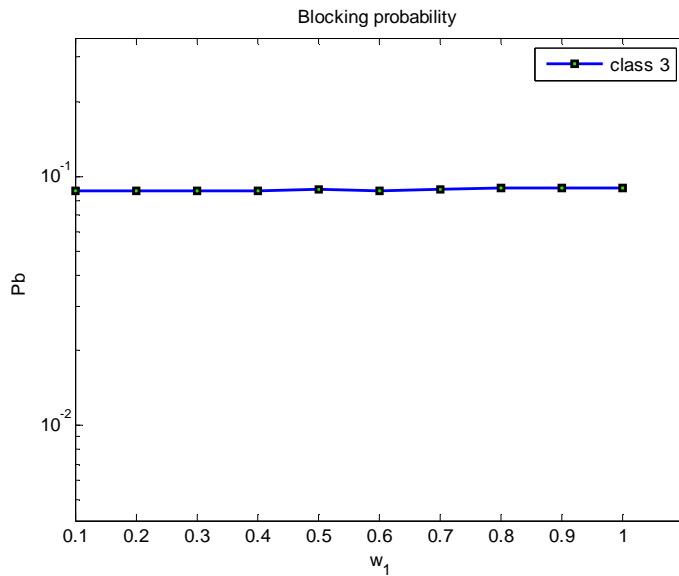
Οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων για τις 3 κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα:



Διάγραμμα 5.73 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w_1 (παράδειγμα 5.5.6)



Διάγραμμα 5.74 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w_1 (παράδειγμα 5.5.6)



Διάγραμμα 5.75 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας συναρτήσει του w_1 (παράδειγμα 5.5.6)

Οι αντίστοιχες θεωρητικές πιθανότητες παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

w_1	Pb_1	Pb_2	Pb_3
0.1	0.0193	0.0294	0.0875
0.2	0.0188	0.0295	0.0876
0.3	0.0183	0.0295	0.0877
0.4	0.0176	0.0296	0.0879
0.5	0.0168	0.0296	0.0880
0.6	0.0158	0.0297	0.0882
0.7	0.0144	0.0298	0.0885
0.8	0.0127	0.0299	0.0889
0.9	0.0103	0.0301	0.0894
1.0	0.0070	0.0304	0.0901

Πίνακας 5.63 Θεωρητικές τιμές για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων του παραδείγματος 5.5.6

Η τιμή του απόλυτου σφάλματος είναι:

w_1	Error (1)	Error (2)	Error (3)
0.1	0.0043	0.0100	0.0024
0.2	0.0132	0.0054	0.0035
0.3	0.0024	0.0027	0.0092
0.4	0.0013	0.0040	0.0055
0.5	0.0070	0.0017	0.0007
0.6	0.0110	0.0023	0.0062
0.7	0.0084	0.0013	0.0003
0.8	0.0218	0.0065	0.0126
0.9	0.0219	0.0085	0.0063
1.0	0.0036	0.0033	0.0088

Πίνακας 5.64 Απόλυτη τιμή του σφάλματος για το παράδειγμα 5.5.6

6. Η έννοια της κινητικότητας

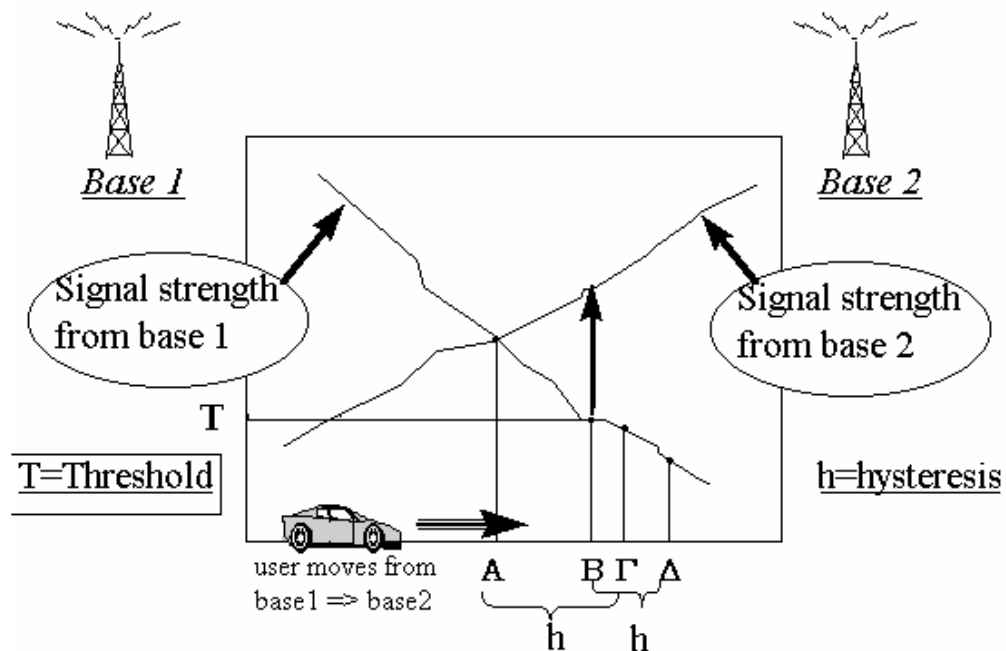
6.1. Εισαγωγή

Η ανάγκη για χωρητικότητα στα κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών συνεχώς οδηγεί στην χρησιμοποίηση όλο και μικρότερων κυψελών λόγω του περιορισμένου φάσματος [8]. Η διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων διαιρείται σε μικρότερες ζώνες, τις λεγόμενες μπάντες οι οποίες επαναχρησιμοποιούνται στις κυψέλες, με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή [9].

Οι μικρότερες κυψέλες αναγκάζουν έναν ενεργό κινητό σταθμό (Mobile Station, MS) να αλλάζει αρκετές κυψέλες κατά την διάρκεια μιας τρέχουσας κλήσης, καθώς ο χρήστης κινείται. Αυτή η ενεργός κλήση πρέπει να μεταφερθεί από μια κυψέλη σε μια άλλη προκειμένου να επιτευχθεί η συνέχεια της κλήσης, κατά τη διάρκεια της φυσικής μετακίνησης του χρήστη έξω από το γεωγραφικό όριο της κυψέλης. Η διαδικασία λέγεται μεταπομπή (Handoff). Η μεταφορά του τρέχοντος καναλιού επικοινωνίας θα μπορούσε να είναι στο επίπεδο της διαίρεσης χρόνου (timeslots), της ζώνης συχνότητας, ή της λέξης κώδικα σε έναν σταθμό βάσης (Base Station, BS) [7]. Εάν οι νέες κυψέλες διαθέτουν ελεύθερα κανάλια τότε μπορούν να προσφέρουν ένα από αυτά στην κλήση. Διαφορετικά η κλήση πρέπει να καθυστερήσει σε περίπτωση που το σύστημα μας διαθέτει ουρά αναμονής ή να μπλοκαριστεί και να χαθεί.

Δύο σημαντικά μεγέθη που θα μπορούσαν να εκφράσουν την ποιότητα του συστήματος είναι η **πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης** και η **πιθανότητα ξαφνικής απώλειας μιας ενεργής κλήσης**. Και τα δύο παραπάνω μεγέθη δηλώνουν αδυναμία του συστήματος, αλλά η δεύτερη πιθανότητα, δηλαδή η ξαφνική διακοπή κλήσης λόγω αποτυχημένης προσπάθειας μεταπομπής δημιουργεί στον χρήστη χειρότερα συναισθήματα από την αδυναμία πραγματοποίησης μιας νέας κλήσης. Στόχος λοιπόν μιας διαδικασίας μεταπομπής είναι να μειωθεί η πιθανότητα απώλειας μιας ενεργής κλήσης χωρίς όμως να αυξήσουμε σημαντικά την πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης.

Η απόφαση για μεταπομπή είναι βασισμένη σε μετρήσεις των σημάτων που δέχεται ο κινητός σταθμός (MS) από τον σταθμό βάσης (BS). Τέτοιες μετρήσεις μπορεί να είναι η ένταση του λαμβανόμενου σήματος, την ισχύ ή στον υπολογισμό των σφαλμάτων μετάδοσης BER [8]. Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε πως μεταβάλλεται η ένταση του σήματος εισόδου στον κινητό σταθμό από τον ενεργό σταθμό βάσης και έναν γειτονικό, καθώς ο χρήστης κινείται προς αυτόν. Το λαμβανόμενο σήμα υπολογίζεται με τον μέσο όρο του σήματος σε προκαθορισμένα χρονικά παράθυρα έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο ψευδών μετρήσεων λόγω των στιγμιαίων μεταβολών Fast fading .



Διάγραμμα 6.1 Ένταση σήματος κατά την διάρκεια του Handoff [5]

Για την έναρξη μιας διαδικασίας μεταπομπής είναι απαραίτητες μετρήσεις για την ποιότητα της ζεύξης. Για τον τρόπο σύγκρισης των παραπάνω μετρήσεων υπάρχουν τέσσερις βασικές τεχνικές [9]:

1. Απλή σύγκριση μεγεθών ποιότητας ζεύξης: Μια αίτηση για μεταπομπή ζητείται αμέσως μόλις η ποιότητα ζεύξης του οικείου σταθμού βάσης γίνει χειρότερη από την ποιότητα ζεύξης του γειτονικού σταθμού (σημείο A). Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι εάν ένας χρήστης κινείται περιμετρικά στα γεωγραφικά σύνορα των δύο κυψελών θα γίνουν πολλές μεταπομπές μεταξύ των δύο κυψελών οι οποίες δεν είναι απαραίτητες.
2. Σύγκριση ποιότητας ζεύξης με ένα κατώτερο όριο: Για να αντιμετωπιστεί η επίδραση των συνεχόμενων μεταπομπών καθορίζεται ένα ελάχιστο όριο, στο οποίο όταν οι μετρήσεις ποιότητας ζεύξης το ξεπεράσουν, τότε ζητείται μεταπομπή (σημείο B στο σχήμα).
3. Απλή σύγκριση ποιότητας σήματος με καθυστέρηση: Τα μεγέθη ποιότητας του οικείου σταθμού βάσης συγκρίνονται αριθμητικά με τον γειτονικό και όταν γίνουν χειρότερα, προστίθεται μια χρονική καθυστέρηση πριν να ζητηθεί μεταπομπή (σημείο Γ).
4. Σύγκριση ποιότητας ζεύξης με ένα κατώτερο όριο και καθυστέρηση: τα μεγέθη ποιότητας του κύριου σταθμού βάσης συγκρίνονται με ένα κατώτερο όριο και αν έχουν ξεπεράσει το όριο βάζουμε μια πρόσθετη καθυστέρηση έτσι ώστε να

ζητηθεί μεταπομπή. (σημείο Δ).

Επίσης στην τεχνική μεταπομπών σημαντικό είναι να καθοριστεί το ποιος θα διαχειρίζεται τις μεταπομπές. Έχουν αναπτυχθεί οι παρακάτω τεχνικές [8]:

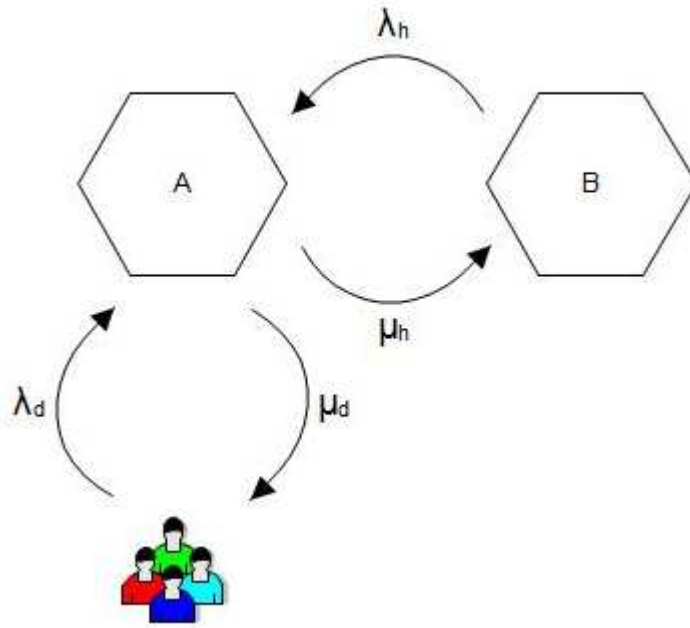
1. Μεταπομπές ελεγχόμενες από το δίκτυο: Controlled Handoff (NCHO) χρησιμοποιείται από τα κυψελοειδή συστήματα πρώτης γενιάς, όπου ο σταθμός κινητών τηλεφώνων (MTSO) είναι αρμόδιος για την απόφαση μεταπομπής.
2. Υποβοηθούμενες από το κινητό μεταπομπές: Mobile Assisted Handoff (MAHO): Για να μειωθεί ο φόρτος εργασίας του δικτύου το κινητό κάνει μετρήσεις ποιότητας και τις στέλνει στον σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης αποφασίζει για το πότε θα γίνει μεταπομπή. Χρησιμοποιείται στο GSM.
3. Ελεγχόμενες από το κινητό μεταπομπές: Mobile Controlled Handoff (MCHO): Οι κινητοί σταθμοί κάνουν μετρήσεις ποιότητας και αποφασίζουν για την αλλαγή κυψέλης. Παράδειγμα χρήσης του συναντάμε στο ψηφιακό ευρωπαϊκό ασύρματο τηλέφωνο (DECT)

Ακόμα οι τεχνικές μεταπομπών μπορούν να διαιρεθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τον χρόνο σύνδεσης στην νέα κυψέλη. Στο soft Handoff ένας κινητός σταθμός συνδέεται πρώτα με μια ή περισσότερες νέες κυψέλες και έπειτα ελευθερώνει το κανάλι της παλιάς κυψέλης, σε αντίθεση με το hard Handoff όπου ο κινητός σταθμός πρώτα ελευθερώνει το κανάλι επικοινωνίας της παλιάς κυψέλης και έπειτα κάνει αίτηση σύνδεσης με την νέα. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και η τεχνική των Multilayer Handoff όπου ένας γεωγραφικός τόπος μπορεί να καλύπτεται τόσο από μάκρο-κυψέλες (macrocell) όσο και από μικρο-κυψέλες (microcell). Έτσι οι χρήστες που κινούνται γρήγορα αναθέτονται στις μάκρο-κυψέλες, ενώ οι χρήστες που κινούνται αργά αναθέτονται στις μικρο-κυψέλες, όπου η έκταση τους είναι μόλις 500 μέτρα για το GSM900 [8].

Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της hard Handoff τεχνικής, όπου μια κλήση αποσυνδέεται πρώτα από τον οικείο της σταθμό βάσης και έπειτα προσπαθεί να συνδεθεί με τον γειτονικό.

6.2. Ανάλυση του συστήματος

Για να απλοποιήσουμε την ανάλυση του συστήματος θα μελετηθεί η απλούστερη εκδοχή για ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών, ένα σύστημα δύο κυψελών.



Διάγραμμα 6.2 Ρυθμοί άφιξης, τερματισμού και μεταπομπής

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται ένα απλό σύστημα τηλεπικοινωνιών το οποίο αποτελείται από δύο σταθμούς βάσης, τον A, και τον B. Ο σταθμός βάσης A καλείται να εξυπηρετήσει κλήσεις που δημιουργούνται από τους χρήστες, δηλαδή **νέες κλήσεις** οι οποίες καταφτάνουν με τυχαίο τρόπο. Αυτός ο τρόπος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια διαδικασία Poisson με μέσο ρυθμό άφιξης λ_d . Εκτός όμως από τις **νέες κλήσεις** ο σταθμός καλείται να εξυπηρετήσει και **ενεργές κλήσεις**, δηλαδή κλήσεις οι οποίες προέρχονται από μεταπομπή. Θεωρούμε ότι η διαδικασία άφιξης αυτών των κλήσεων είναι διαδικασία Poisson με μέσο ρυθμό άφιξης λ_h .

Οι κλήσεις που εξυπηρετούνται από την κυψέλη A μπορούν να ελευθερωθούν για δύο λόγους. Μπορούν για παράδειγμα να τερματιστούν από τον χρήστη ή να μεταφερθούν σε μια νέα κυψέλη (B), ελευθερώνοντας τους πόρους που είχαν δεσμεύσει στην κυψέλη (A). Θεωρούμε ότι ο χρόνος παραμονής στο σύστημα των κλήσεων που θα τερματιστούν είναι εκθετικά κατανομημένος με μέσο ρυθμό τερματισμού $1/\mu_d$ και ο χρόνος παραμονής στο σύστημα των κλήσεων που θα κάνουν μεταπομπή είναι επίσης εκθετικά κατανομημένος με μέσο ρυθμό μεταπομπής $1/\mu_h$.

Πιθανότητες απώλειας κλήσεων

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, μια κλήση στο σύστημα μπορεί να ανήκει σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες[6].

Υπο-κατηγορία	dd	dh	hd	hh
Εισαγωγή στην κυψέλη	Νέα κλήση από χρήστη	Νέα κλήση από χρήστη	Μεταπομπή από άλλη κυψέλη	Μεταπομπή από άλλη κυψέλη
Ελευθέρωση της από το σύστημα	Κανονικός τερματισμός από χρήστη	Μεταπομπή σε άλλη κυψέλη	Κανονικός τερματισμός από χρήστη	Μεταπομπή σε άλλη κυψέλη

Πίνακας 6.1 Οι 4 υπο-κατηγορίες κλήσεων για την μελέτη της μεταπομπής (παράδειγμα 6.2)

Η ανάλυση του συστήματος θα μπορούσε να γίνει αναλύοντας την κάθε κατηγορία κλήσεων σε τέσσερις υποκατηγορίες με τους αντίστοιχους ρυθμούς άφιξης και τερματισμού:

Υπο-κατηγορία	dd	dh	hd	hh
Εισαγωγή στην κυψέλη	λ_d	λ_d	λ_h	λ_h
Ελευθέρωση της από το σύστημα	μ_d	μ_h	μ_d	μ_h
Πιθανότητα εμφάνισης	$P(\lambda_d) \cdot P(\mu_d)$	$P(\lambda_d) \cdot P(\mu_h)$	$P(\lambda_h) \cdot P(\mu_d)$	$P(\lambda_h) \cdot P(\mu_h)$

Πίνακας 6.2 Οι ρυθμοί άφιξης και τερματισμού για τις 4 υπο-κατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.2)

Όπου

$$P(\lambda_d) = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_h} \quad (6.1)$$

η πιθανότητα μια κλήση να φτάσει στην κυψέλη A από τον χρήστη,

$$P(\lambda_h) = \frac{\lambda_h}{\lambda_d + \lambda_h} \quad (6.2)$$

η πιθανότητα μια κλήση να φτάσει στην κυψέλη A από την γειτονική κυψέλη (μεταπομπή),

$$P(\mu_d) = \frac{\mu_d}{\mu_d + \mu_h} \quad (6.3)$$

η πιθανότητα μια κλήση να ελευθερωθεί από τον χρήστη

$$P(\mu_h) = \frac{\mu_h}{\mu_d + \mu_h} \quad (6.4)$$

η πιθανότητα μια κλήση να οδηγηθεί στην γειτονική κυψέλη (μεταπομπή).

Γενικεύοντας το παραπάνω σύστημα οι ρυθμοί λ_h και μ_h μπορούν να αναφέρονται σε **αρκετές κυψέλες**, αρκεί ο συνολικός ρυθμός άφιξης να ακολουθεί την κατανομή Poisson.

Παράδειγμα ανάλυσης

Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε ένα σύστημα το οποίο εξυπηρετεί τρεις κατηγορίες κλήσεων με $\lambda_{d1} = 20$, $\lambda_{d2} = 5$, $\lambda_{d3} = 2$, $\mu_{d1} = \mu_{d2} = \mu_{d3} = 1$, και $C=120$. Επίσης δεχόμαστε ότι το σύστημα είναι συμμετρικό, δηλαδή $\lambda_d = \lambda_h$.

Αφού το σύστημα είναι συμμετρικό, με βάση τους τύπους 6.1 – 6.4 ισχύει ότι

$$\begin{aligned} P(\mu_d) &= P(\mu_h) = 0.5, \\ P(\lambda_d) &= P(\lambda_h) = 0.5 \end{aligned} \quad (6.5)$$

Σύμφωνα με το παράδειγμα, ο πραγματικός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων είναι $\lambda_d \cdot P(\lambda_d)$, ο ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής είναι $\lambda_h \cdot P(\lambda_h)$ ενώ οι ρυθμοί τερματισμού κλήσεων και μεταφοράς κλήσεων είναι $\mu_h \cdot P(\mu_h)$ και $\mu_d \cdot P(\mu_d)$.

Με βάση τα παραπάνω η είσοδος για το πρόγραμμα προσομοίωσης είναι:

class	dd1	dd2	dd3	dh1	dh2	dh3	hd1	hd2	hd3	hh1	hh2	hh3
λ	10	2,5	1	10	2,5	1	10	2,5	1	10	2,5	1
$1/\mu$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
b	1	4	10	1	4	10	1	4	10	1	4	10
C	120											

Πίνακας 6.3 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 6.2

Για παράδειγμα, στον παραπάνω πίνακα, για την υποκατηγορία dd1 ο μέσος ρυθμός άφιξης είναι 10, ο μέσος χρόνος διάρκειας κλήσεων 0,5 και μία κλήση αυτής της κατηγορίας χρειάζεται 1 κανάλι για να εξυπηρετηθεί.

Τα αποτελέσματα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων που δίνει το πρόγραμμα είναι:

κλάση	Pb	
	θεωρητικό	προσομοίωσης
dd1	0.000225	0.000222
dd2	0.001091	0.001107
dd3	0.004084	0.003993
dh1	0.000225	0.000223
dh2	0.001091	0.001109
dh3	0.004084	0.004044
hd1	0.000225	0.000221
hd2	0.001091	0.001133
hd3	0.004084	0.004056
hh1	0.000225	0.000228
hh2	0.001091	0.001132
hh3	0.004084	0.004094

Πίνακας 6.4 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για τις διάφορες υπο-κατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.2)

Υπενθυμίζουμε ότι οι θεωρητικές τιμές για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων στο πρόγραμμα Matlab υπολογίζονται με βάση τον τύπο 4.1

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης είναι ίσες για τις κατηγορίες κλήσεων 1, 2 και 3 ανεξάρτητα από το που προέρχονται και πως θα τερματίσουν οι κλήσεις, ισχύει δηλαδή $P_{b_{dd1}} = P_{b_{dh1}} = P_{b_{hd1}} = P_{b_{hh1}}$, $P_{b_{dd2}} = P_{b_{dh2}} = P_{b_{hd2}} = P_{b_{hh2}}$ και $P_{b_{dd3}} = P_{b_{dh3}} = P_{b_{hd3}} = P_{b_{hh3}}$.

6.3. Απλοποίηση του συστήματος

Η ανάλυση συστημάτων με τον παραπάνω τρόπο έχει μειονέκτημα στον αριθμό των κατηγοριών κίνησης που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για την προσομοίωση. Στο παράδειγμα της παραγράφου 6.3 για να μελετήσουμε ένα σύστημα με τρεις κατηγορίες χρησιμοποιήσαμε $3 \cdot 4 = 12$ υπο-κλάσεις, ενώ για K κατηγορίες κίνησης χρειαζόμαστε $4 \cdot K$ υπο-κλάσεις. Οι Mitchell και Sohraby παρουσίασαν έναν τρόπο για να μελετήσουμε ένα σύστημα K κατηγοριών κίνησης χρησιμοποιώντας μόνο $2 \cdot K$ υποκατηγορίες κίνησης (υπο-κλάσεις). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή διατηρούμε μία υποκατηγορία για τις απευθείας κλήσεις (d) και μία κατηγορία για τις κλήσεις μεταπομπής (h), μεταβάλλοντας τον μέσο χρόνο κλήσης σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\mu = \mu_h + \mu_d \quad (6.6)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι νέες υποκατηγορίες κλήσεων είναι:

Υπο-κατηγορία	d	h
Εισαγωγή στην κυψέλη	Νέα κλήση από χρήστη	Μεταπομπή από άλλη κυψέλη

Πίνακας 6.5 Οι 2 υπο-κατηγορίες κλήσεων για την μελέτη της μεταπομπής

Οι ρυθμοί άφιξης και τερματισμού για την κάθε υπο-κατηγορία κίνησης είναι:

Υπο-κατηγορία	d	h
Εισαγωγή στην κυψέλη	λ_d	λ_h
Ελευθέρωση της από το σύστημα	μ	μ

Πίνακας 6.6 Ρυθμοί άφιξης και τερματισμού για τις 2 υπο-κατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.3)

Για το παράδειγμα της παραγράφου 6.3 οι ρυθμοί άφιξης και τερματισμού έχουν την τιμή $\lambda_{d1}=20$, $\lambda_{d2}=5$, $\lambda_{d3}=2$, $\mu = 2$

Οι μεταβλητές εισόδου για το πρόγραμμα προσομοίωσης είναι:

class	d1	d2	d3	h1	h2	h3
λ	20	5	2	20	5	2
$1/\mu$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
b	1	4	10	1	4	10
C	120					

Πίνακας 6.7 Μεταβλητές εισόδου για το παράδειγμα 6.3

Το πρόγραμμα Matlab δίνει τις παρακάτω τιμές για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων.

κλάση	Pb	Pb
	θεωρητικό	προσομοίωσης
d1	0.000225	0.000224
d2	0.001091	0.001102
d3	0.004084	0.003970
h1	0.000225	0.000232
h2	0.001091	0.001051
h3	0.004084	0.003911

Πίνακας 6.8 Πιθανότητες απώλειας κλήσης για τις 2 υποκατηγορίες κλήσεων (παράδειγμα 6.3)

Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι συμβατά με τα αποτελέσματα του παραδείγματος της παραγράφου 6.3.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι χρησιμοποιεί μόνο 2·K υποκλάσεις για να αναλύσει το σύστημα, προσφέροντας τα ίδια αποτελέσματα.

7. Μεταβολή της πιθανότητας απώλειας για μεταβολές της κινητικότητας

Στην συνέχεια θα εισάγουμε την έννοια της κινητικότητας στο παράδειγμα 5.2.1. Το σύστημα θα συνεχίσει να εξυπηρετεί 3 κατηγορίες κλήσεων οι οποίες θα καταλαμβάνουν $b_1 = 1$, $b_2 = 4$ και $b_3 = 10$ κανάλια για την εξυπηρέτησή τους. Οι μέσοι ρυθμοί άφιξης επιλέγονται $\lambda_{d1}=15$, $\lambda_{d2}=3.75$, $\lambda_{d3}=1.5$, $\lambda_{h1}=15$, $\lambda_{h2}=3.75$, $\lambda_{h3}=1.5$. Ο συνολικός αριθμός καναλιών του συστήματος θα παραμείνει στα 120 και ο συνολικός μέσος χρόνος των κλήσεων στο 1 ($\mu=1$).

7.1. Πολιτική πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης

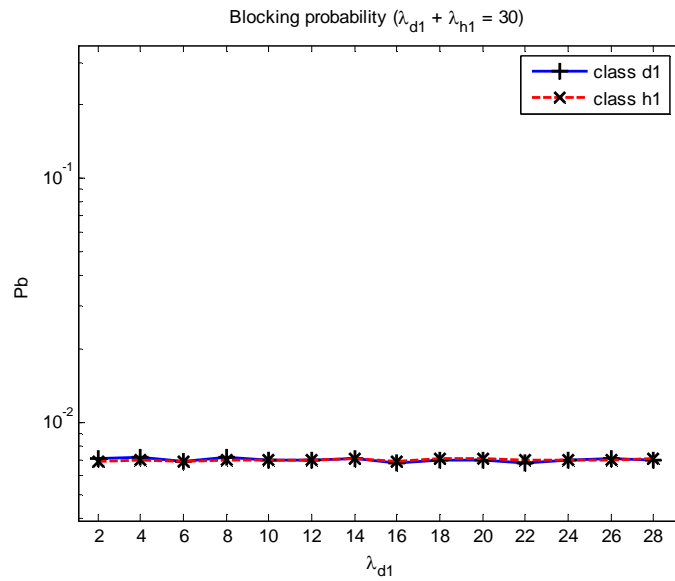
7.1.1. Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων

Αρχικά θα μεταβληθεί ο μέσος ρυθμός άφιξης για τις φωνητικές κλήσεις μεταπομπής, διατηρώντας τον συνολικό ρυθμό άφιξης της πρώτης κατηγορίας κλήσεων σταθερό ($\lambda_{d1}+\lambda_{h1}=30$). Οι τιμές για τον ρυθμό άφιξης για τις επόμενες μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

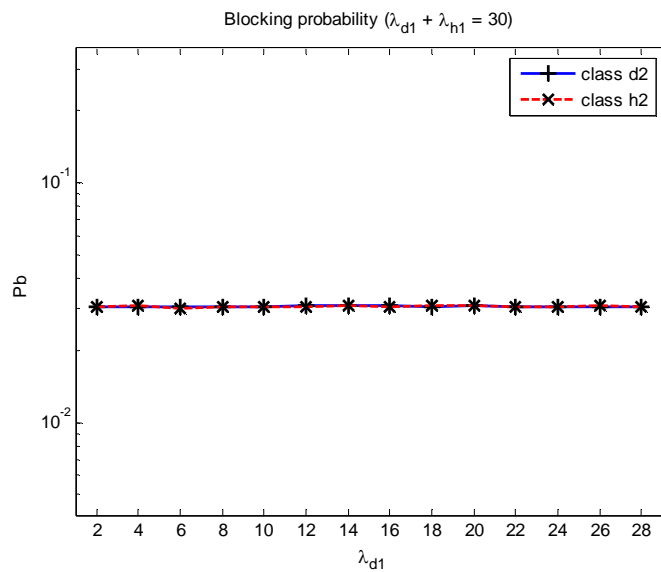
λ_{d1}	λ_{d2}	λ_{d3}	λ_{h1}	λ_{h2}	λ_{h3}
2	3.75	1.5	28	3.75	1.5
4	3.75	1.5	26	3.75	1.5
6	3.75	1.5	24	3.75	1.5
8	3.75	1.5	22	3.75	1.5
10	3.75	1.5	20	3.75	1.5
12	3.75	1.5	18	3.75	1.5
14	3.75	1.5	16	3.75	1.5
16	3.75	1.5	14	3.75	1.5
18	3.75	1.5	12	3.75	1.5
20	3.75	1.5	10	3.75	1.5
22	3.75	1.5	8	3.75	1.5
24	3.75	1.5	6	3.75	1.5
26	3.75	1.5	4	3.75	1.5
28	3.75	1.5	2	3.75	1.5

Πίνακας 7.1 Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.1.1

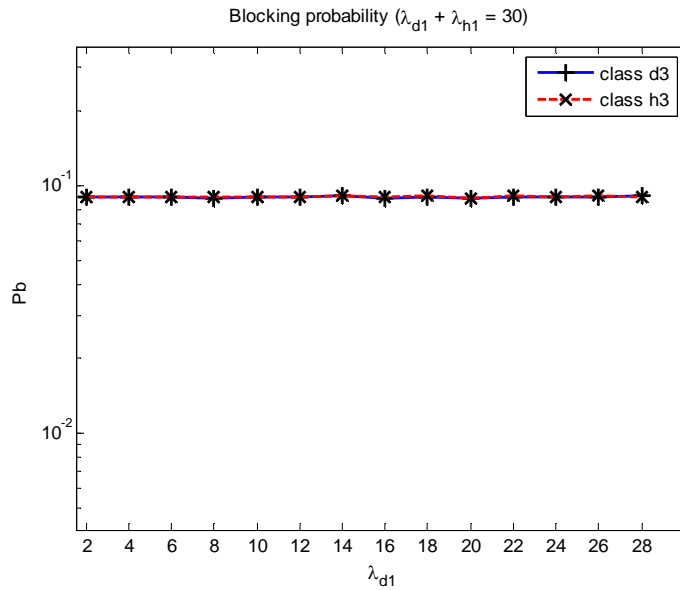
Διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους των συστημάτων όπως περιγράφονται στην εισαγωγική παράγραφο του 7^{ου} κεφαλαίου, έχουμε τις παρακάτω πειραματικές τιμές για τις απώλειες κλήσεων (διαγράμματα 7.1 έως 7.3).



Διάγραμμα 7.1 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.1)



Διάγραμμα 7.2 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.1)



Διάγραμμα 7.3 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ns} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.1)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.1 είναι:

λ_{d1}	λ_{h1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
2	28	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
4	26	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
6	24	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
8	22	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
10	20	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
12	18	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
14	16	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
16	14	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
18	12	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
20	10	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
22	8	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
24	6	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
26	4	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901
28	2	0.0070	0.0304	0.0901	0.0070	0.0304	0.0901

Πίνακας 7.2 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.1.1

Η τιμή Error όπως ορίστηκε στην παράγραφο 5.2.2 είναι:

λ_{d1}	λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	28	0.0143	0.0055	0.0009	0.0051	0.0065	0.0119
4	26	0.0238	0.0022	0.0083	0.0078	0.0126	0.0020
6	24	0.0110	0.0028	0.0049	0.0054	0.0092	0.0036
8	22	0.0225	0.0006	0.0034	0.0056	0.0027	0.0031
10	20	0.0049	0.0046	0.0060	0.0041	0.0003	0.0015
12	18	0.0033	0.0082	0.0147	0.0080	0.0018	0.0036
14	16	0.0173	0.0094	0.0055	0.0109	0.0068	0.0023
16	14	0.0187	0.0084	0.0016	0.0110	0.0038	0.0032
18	12	0.0027	0.0000	0.0118	0.0096	0.0112	0.0083
20	10	0.0034	0.0058	0.0014	0.0104	0.0050	0.0080
22	8	0.0178	0.0040	0.0060	0.0001	0.0028	0.0036
24	6	0.0038	0.0072	0.0041	0.0069	0.0027	0.0034
26	4	0.0124	0.0043	0.0150	0.0040	0.0073	0.0079
28	2	0.0031	0.0014	0.0089	0.0137	0.0015	0.0087

Πίνακας 7.3 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.1.1)

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης σε πολιτικές πλήρους διάθεσης καναλιών, παραμένουν σταθερές εάν το άθροισμα των επιμέρους ρυθμών άφιξης (απευθείας κλήσεις και τις κλήσεις μεταπομπής) παραμείνει σταθερό. Δηλαδή το σύστημα λαμβάνει υπόψη του μόνο τον **συνολικό μέσο ρυθμό άφιξης** κλήσεων και όχι τους **επιμέρους ρυθμούς** για την κάθε υποκατηγορία κλήσεων.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι σε ένα κυψελωτό σύστημα εάν δεν εφαρμοστεί κάποια πολιτική για την διάθεση των καναλιών, οι πιθανότητες **ξαφνικής απώλειας κλήσεων** θα είναι ίση με τις πιθανότητες **απώλειας νέων κλήσεων**. Συνεπώς, για να μην δημιουργηθεί δυσχέρεια στις ήδη ενεργές κλήσεις, πρέπει να αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των καναλιών στο σύστημα.

Μια δεύτερη παρατήρηση πάνω στα αποτελέσματα αυτά είναι ότι για την πολιτική χωρίς δέσμευση εύρους ζώνης, οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων εξαρτώνται μόνο από την συνολική κίνηση, και είναι ανεξάρτητες από την πηγή όπου προέρχεται αυτή η κίνηση. Θεωρώντας ότι η συνολική κίνηση σε ένα σύστημα κυψελών είναι σταθερή, η συνεχής αλλαγή σταθμών βάσης, δεν θα αλλάξει τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων. Όμως κάθε φορά που θα γίνεται αλλαγή βάσης θα υπάρχει πιθανότητα **ξαφνικής απώλειας κλήσεων** ίδια με αυτή της **απώλειας νέων κλήσεων**.

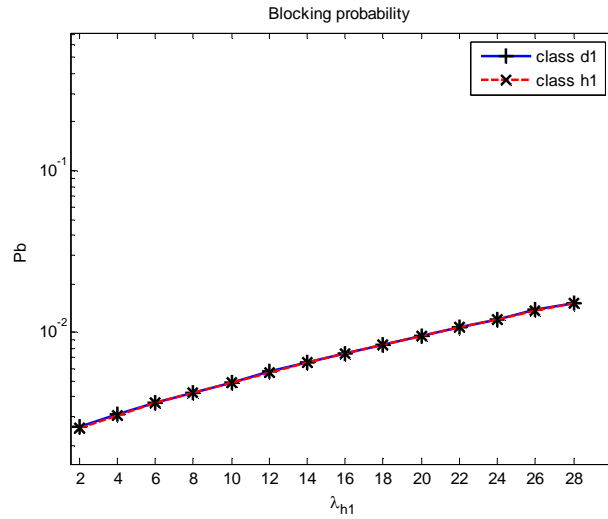
7.1.2.Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων

Μεταβάλλοντας τον ρυθμό άφιξης κλήσεων για την πρώτη κατηγορία κλήσεων που προέρχονται από μεταπομπή θα έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή των πιθανοτήτων απώλειας κλήσης για όλες τις κατηγορίες. Ο ρυθμός άφιξης για τις κλήσεις μεταπομπής της 1^{ης} κατηγορίας μεταβάλλεται από 2 έως 28 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

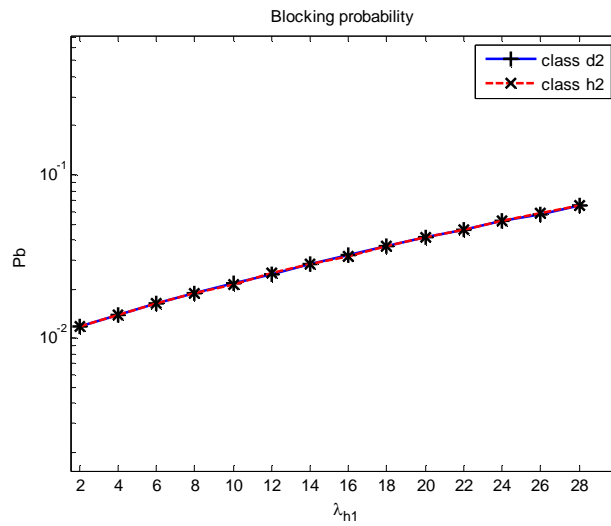
λ_{d1}	λ_{d2}	λ_{d3}	λ_{h1}	λ_{h2}	λ_{h3}
15	3.75	1.5	2	3.75	1.5
15	3.75	1.5	4	3.75	1.5
15	3.75	1.5	6	3.75	1.5
15	3.75	1.5	8	3.75	1.5
15	3.75	1.5	10	3.75	1.5
15	3.75	1.5	12	3.75	1.5
15	3.75	1.5	14	3.75	1.5
15	3.75	1.5	16	3.75	1.5
15	3.75	1.5	18	3.75	1.5
15	3.75	1.5	20	3.75	1.5
15	3.75	1.5	22	3.75	1.5
15	3.75	1.5	24	3.75	1.5
15	3.75	1.5	26	3.75	1.5
15	3.75	1.5	28	3.75	1.5

Πίνακας 7.4 Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.1.2

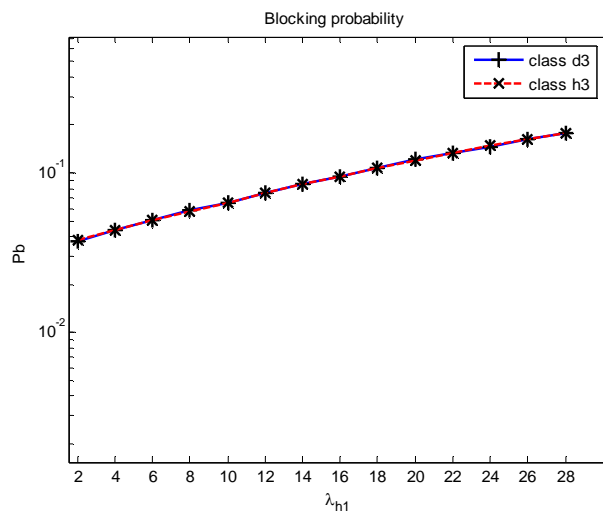
Διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους του συστήματος σταθερές, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (7.4 – 7.6).



Διάγραμμα 7.4 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.2)



Διάγραμμα 7.5 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.2)



Διάγραμμα 7.6 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.1.2)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.1 είναι:

λ_{h1}	$P_{b_{d1}}$	$P_{b_{d2}}$	$P_{b_{d3}}$	$P_{b_{h1}}$	$P_{b_{h2}}$	$P_{b_{h3}}$
2	0.0026	0.0118	0.0374	0.0026	0.0118	0.0374
4	0.0031	0.0139	0.0434	0.0031	0.0139	0.0434
6	0.0036	0.0162	0.0501	0.0036	0.0162	0.0501
8	0.0042	0.0187	0.0575	0.0042	0.0187	0.0575
10	0.0049	0.0216	0.0658	0.0049	0.0216	0.0658
12	0.0057	0.0249	0.0749	0.0057	0.0249	0.0749
14	0.0065	0.0285	0.0848	0.0065	0.0285	0.0848
16	0.0074	0.0324	0.0956	0.0074	0.0324	0.0956
18	0.0085	0.0368	0.1072	0.0085	0.0368	0.1072
20	0.0096	0.0415	0.1198	0.0096	0.0415	0.1198
22	0.0109	0.0467	0.1332	0.0109	0.0467	0.1332
24	0.0122	0.0522	0.1475	0.0122	0.0522	0.1475
26	0.0137	0.0583	0.1627	0.0137	0.0583	0.1627
28	0.0153	0.0647	0.1787	0.0153	0.0647	0.1787

Πίνακας 7.5 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.1.2

Το σχετικό σφάλμα δίνεται στον Πίνακα 7.6.

λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0132	0.0029	0.0042	0.0011	0.0040	0.0000
4	0.0091	0.0060	0.0047	0.0104	0.0287	0.0084
6	0.0013	0.0155	0.0066	0.0065	0.0081	0.0043
8	0.0109	0.0132	0.0123	0.0072	0.0034	0.0032
10	0.0200	0.0060	0.0084	0.0030	0.0160	0.0065
12	0.0045	0.0051	0.0023	0.0259	0.0047	0.0115
14	0.0109	0.0139	0.0015	0.0079	0.0039	0.0043
16	0.0008	0.0042	0.0039	0.0042	0.0002	0.0141
18	0.0039	0.0023	0.0016	0.0139	0.0017	0.0005
20	0.0002	0.0067	0.0049	0.0010	0.0038	0.0022
22	0.0052	0.0082	0.0063	0.0141	0.0123	0.0068
24	0.0118	0.0135	0.0029	0.0012	0.0033	0.0041
26	0.0113	0.0050	0.0022	0.0067	0.0053	0.0011
28	0.0044	0.0045	0.0063	0.0049	0.0066	0.0036

Πίνακας 7.6 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.1.2)

Η πιθανότητα απώλειας νέας κλήσης είναι ίση με την πιθανότητα ξαφνικού τερματισμού μιας ενεργής κλήσης. Ο μοναδικός τρόπος για να μειωθεί η πιθανότητα ξαφνικού τερματισμού ενεργών κλήσεων, είναι η αύξηση των καναλιών του συστήματος.

7.2. Δέσμευση εύρους ζώνης (trunk reservation)

Στο προηγούμενο παράδειγμα οι πιθανότητες απώλειας κλήσης για τις νέες κλήσεις είναι ίσες με τις πιθανότητες ξαφνικής απώλειας κλήσης. Για να μειωθεί η πιθανότητα ξαφνικής απώλειας μιας ενεργής κλήσης θα δοθεί προτεραιότητα στις κλήσεις μεταπομπής. Αυτό το πετυχαίνετε κάνοντας χρήση της δέσμευσης εύρους ζώνης. Η δέσμευση θα γίνει σε 5, 9, και 19 κανάλια νέων κλήσεων ($b_{d1} = 5$, $b_{d1} = 9$ και $b_{d1}=19$).

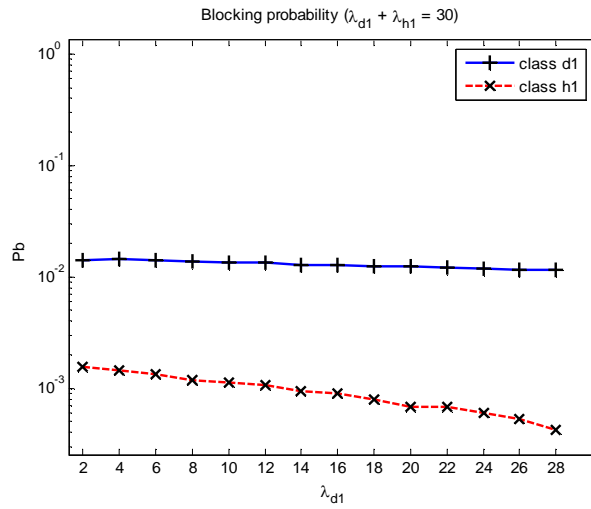
7.2.1. Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων

Στο παράδειγμα αυτό θα μεταβληθεί κατά τέτοιο τρόπο ο ρυθμός άφιξης των νέων φωνητικών κλήσεων (λ_{d1}) και των φωνητικών κλήσεων μεταπομπής (λ_{h1}) έτσι ώστε ο συνολικός ρυθμός άφιξης για τις φωνητικές κλήσεις της πρώτης κατηγορίας να παραμείνει σταθερός ($\lambda_1 = \lambda_{h1} + \lambda_{d1}$), δηλαδή το συνολικό φορτίο κίνησης να παραμείνει σταθερό ανεξάρτητα από το εάν οι κλήσεις προέρχονται από μεταπομπή ή είναι νέες κλήσεις που προσπαθούν να εγκατασταθούν στο σύστημα. Οι τιμές εισόδου στο πρόγραμμα προσομοίωσης είναι:

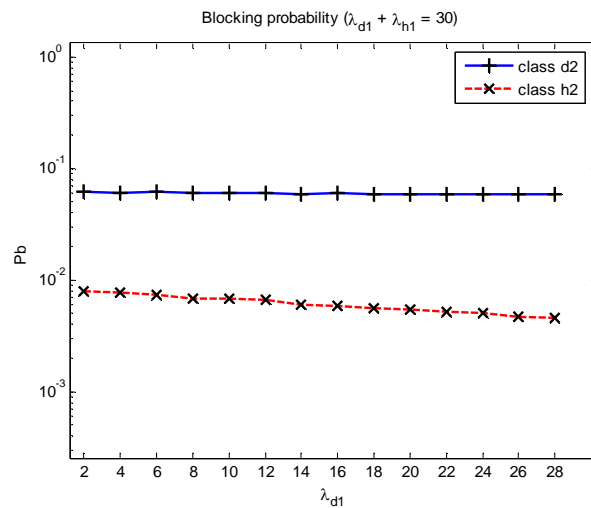
λ_{d1}	λ_{d2}	λ_{d3}	λ_{h1}	λ_{h2}	λ_{h3}
1	3.75	1.5	14	3.75	1.5
2	3.75	1.5	13	3.75	1.5
3	3.75	1.5	12	3.75	1.5
4	3.75	1.5	11	3.75	1.5
5	3.75	1.5	10	3.75	1.5
6	3.75	1.5	9	3.75	1.5
7	3.75	1.5	8	3.75	1.5
8	3.75	1.5	7	3.75	1.5
9	3.75	1.5	6	3.75	1.5
10	3.75	1.5	5	3.75	1.5
11	3.75	1.5	4	3.75	1.5
12	3.75	1.5	3	3.75	1.5
13	3.75	1.5	2	3.75	1.5
14	3.75	1.5	1	3.75	1.5

Πίνακας 7.7 Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.2.1

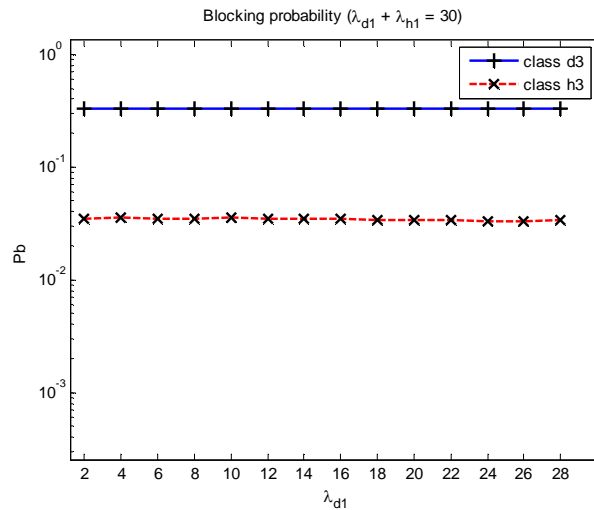
Οι πιθανότητες απώλειας νέων κλήσεων και οι πιθανότητες ξαφνικού τερματισμού ενεργών κλήσεων παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 7.7 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.1)



Διάγραμμα 7.8 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.1)



Διάγραμμα 7.9 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.1)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.6 είναι:

λ_{d1}	λ_{h1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
2	28	0.0145	0.0590	0.3328	0.0018	0.0083	0.0344
4	26	0.0142	0.0587	0.3326	0.0017	0.0081	0.0341
6	24	0.0140	0.0585	0.3324	0.0017	0.0079	0.0338
8	22	0.0137	0.0582	0.3322	0.0016	0.0077	0.0336
10	20	0.0135	0.0580	0.3321	0.0016	0.0075	0.0334
12	18	0.0132	0.0578	0.3319	0.0015	0.0073	0.0331
14	16	0.0130	0.0576	0.3318	0.0015	0.0071	0.0329
16	14	0.0128	0.0573	0.3316	0.0014	0.0070	0.0327
18	12	0.0126	0.0571	0.3315	0.0014	0.0068	0.0325
20	10	0.0124	0.0569	0.3313	0.0014	0.0067	0.0323
22	8	0.0122	0.0567	0.3312	0.0013	0.0065	0.0321
24	6	0.0120	0.0566	0.3311	0.0013	0.0064	0.0319
26	4	0.0118	0.0564	0.3309	0.0013	0.0063	0.0317
28	2	0.0116	0.0562	0.3308	0.0012	0.0061	0.0315

Πίνακας 7.8 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.1

Το σχετικό σφάλμα δίνεται στον Πίνακα 7.9.

λ_{d1}	λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	28	0.0218	0.0471	0.0016	0.1100	0.0464	0.0181
4	26	0.0037	0.0318	0.0076	0.1655	0.0471	0.0331
6	24	0.0028	0.0455	0.0046	0.1990	0.0632	0.0211
8	22	0.0052	0.0369	0.0068	0.2617	0.1074	0.0338
10	20	0.0055	0.0433	0.0030	0.2809	0.0970	0.0576
12	18	0.0057	0.0379	0.0094	0.3093	0.1005	0.0467
14	16	0.0251	0.0333	0.0087	0.3728	0.1578	0.0492
16	14	0.0009	0.0408	0.0047	0.3778	0.1556	0.0494
18	12	0.0061	0.0292	0.0126	0.4373	0.1764	0.0457
20	10	0.0007	0.0380	0.0108	0.5050	0.1935	0.0423
22	8	0.0079	0.0344	0.0033	0.4915	0.2164	0.0518
24	6	0.0024	0.0419	0.0033	0.5383	0.2128	0.0486
26	4	0.0093	0.0485	0.0048	0.5817	0.2482	0.0525
28	2	0.0041	0.0452	0.0036	0.6585	0.2565	0.0675

Πίνακας 7.9 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.1)

Ο συνολικός ρυθμός άφιξης κλήσεων στην κυψέλη παραμένει σταθερός και επομένως και το φορτίο κίνησης παραμένει σταθερό. Εάν η κινητικότητα των κλήσεων αυξηθεί, δηλαδή μειωθεί το φορτίο κίνησης των απευθείας κλήσεων και αυξηθεί το φορτίο κίνησης των κλήσεων μεταπομπής, το ποσοστό απώλειας κλήσεων αυξάνεται.

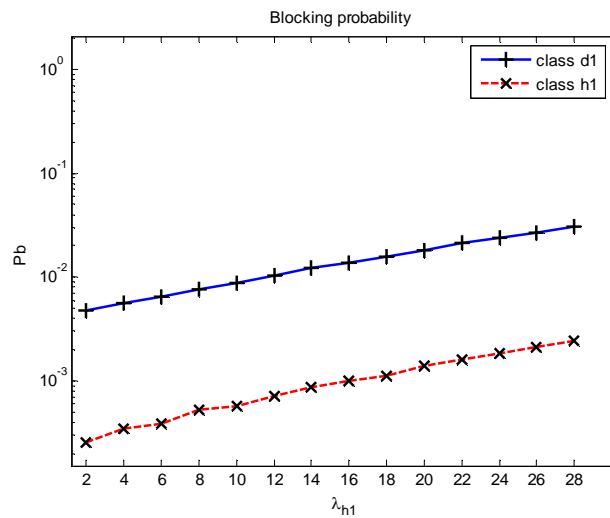
7.2.2. Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής

Στην συνέχεια αυξάνεται ο μέσος ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 2 σε 28 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

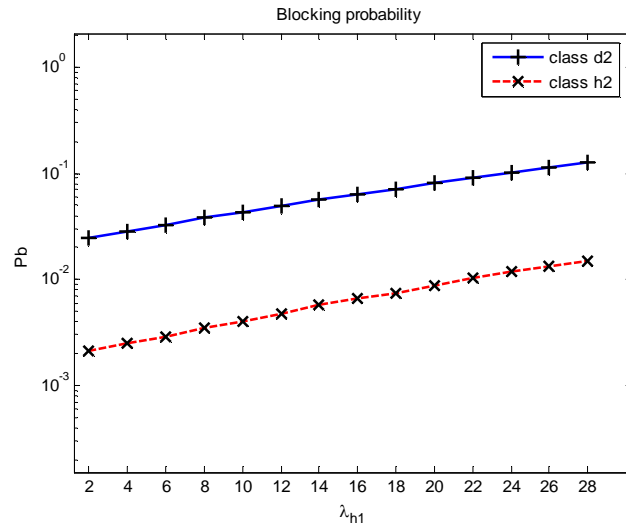
λ_{d1}	λ_{d2}	λ_{d3}	λ_{h1}	λ_{h2}	λ_{h3}
15	3.75	1.5	2	3.75	1.5
15	3.75	1.5	4	3.75	1.5
15	3.75	1.5	6	3.75	1.5
15	3.75	1.5	8	3.75	1.5
15	3.75	1.5	10	3.75	1.5
15	3.75	1.5	12	3.75	1.5
15	3.75	1.5	14	3.75	1.5
15	3.75	1.5	16	3.75	1.5
15	3.75	1.5	18	3.75	1.5
15	3.75	1.5	20	3.75	1.5
15	3.75	1.5	22	3.75	1.5
15	3.75	1.5	24	3.75	1.5
15	3.75	1.5	26	3.75	1.5
15	3.75	1.5	28	3.75	1.5

Πίνακας 7.10 Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.2.2

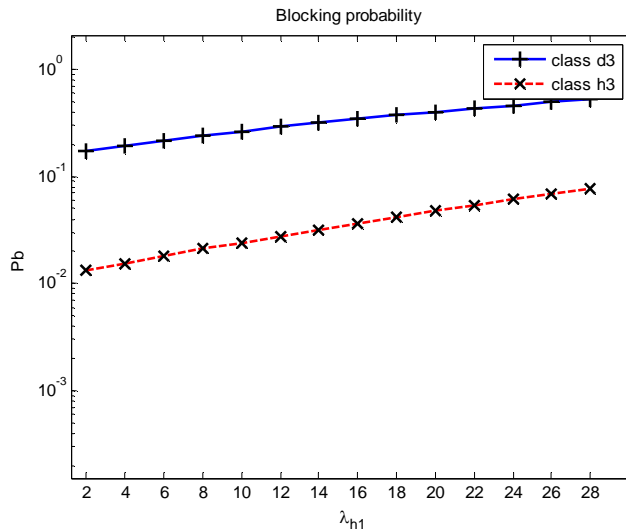
Το πρόγραμμα προσομοίωσης δίνει τις παρακάτω πιθανότητες:



Διάγραμμα 7.10 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1ης κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.2)



Διάγραμμα 7.11 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.2)



Διάγραμμα 7.12 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.2)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.6 είναι:

λ_{h1}	Pb _{d1}	Pb _{d2}	Pb _{d3}	Pb _{h1}	Pb _{h2}	Pb _{h3}
2	0.0047	0.0229	0.1743	0.0005	0.0025	0.0124
4	0.0055	0.0267	0.1949	0.0006	0.0030	0.0146
6	0.0065	0.0309	0.2169	0.0007	0.0035	0.0170
8	0.0076	0.0358	0.2403	0.0009	0.0042	0.0198
10	0.0089	0.0411	0.2649	0.0010	0.0049	0.0230
12	0.0104	0.0472	0.2908	0.0012	0.0057	0.0266
14	0.0120	0.0538	0.3178	0.0014	0.0066	0.0306
16	0.0138	0.0612	0.3458	0.0016	0.0076	0.0351
18	0.0159	0.0694	0.3747	0.0018	0.0087	0.0401
20	0.0183	0.0783	0.4043	0.0021	0.0100	0.0456
22	0.0209	0.0881	0.4346	0.0024	0.0115	0.0518
24	0.0237	0.0988	0.4652	0.0028	0.0131	0.0585
26	0.0270	0.1103	0.4961	0.0032	0.0149	0.0659
28	0.0305	0.1228	0.5271	0.0036	0.0169	0.0740

Πίνακας 7.11 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.2

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.12

λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0005	0.0603	0.0052	0.5052	0.1726	0.0723
4	0.0005	0.0444	0.0075	0.4345	0.1690	0.0565
6	0.0103	0.0413	0.0047	0.4630	0.1864	0.0462
8	0.0014	0.0643	0.0007	0.3891	0.1549	0.0726
10	0.0048	0.0454	0.0003	0.4223	0.1752	0.0491
12	0.0035	0.0447	0.0028	0.3953	0.1535	0.0465
14	0.0145	0.0489	0.0001	0.3727	0.1267	0.0326
16	0.0005	0.0406	0.0101	0.3761	0.1341	0.0413
18	0.0022	0.0308	0.0052	0.3955	0.1489	0.0436
20	0.0008	0.0324	0.0063	0.3452	0.1271	0.0598
22	0.0261	0.0451	0.0040	0.3332	0.1034	0.0355
24	0.0164	0.0401	0.0026	0.3371	0.1045	0.0494
26	0.0010	0.0321	0.0010	0.3412	0.1148	0.0386
28	0.0029	0.0287	0.0061	0.3195	0.1272	0.0306

Πίνακας 7.12 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.2)

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσης αυξάνονται καθώς αυξάνεται ο μέσος ρυθμός άφιξης για τις κλήσεις μεταπομπής της πρώτης κατηγορίας. Όμως η πιθανότητα

ξαφνικής απώλειας μιας ενεργής κλήσης είναι προσεγγιστικά δέκα φορές μικρότερη από την πιθανότητα απώλειας μιας νέας κλήσης για την πρώτη κατηγορία, 6 φορές μικρότερη για τις κλήσεις 2^{ης} κατηγορίας και 8 φορές μικρότερη για τις κλήσεις 3^{ης} κατηγορίας.

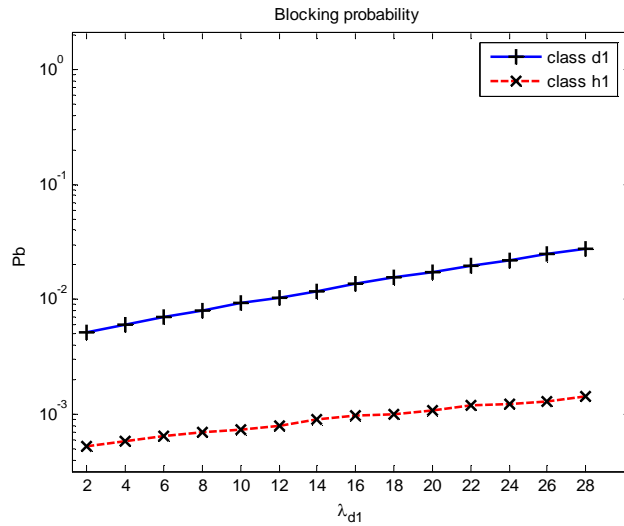
7.2.3. Μεταβλητός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων

Στο παρακάτω παράδειγμα μεταβάλλεται ο ρυθμός άφιξης των νέων κλήσεων για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 2 σε 28 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

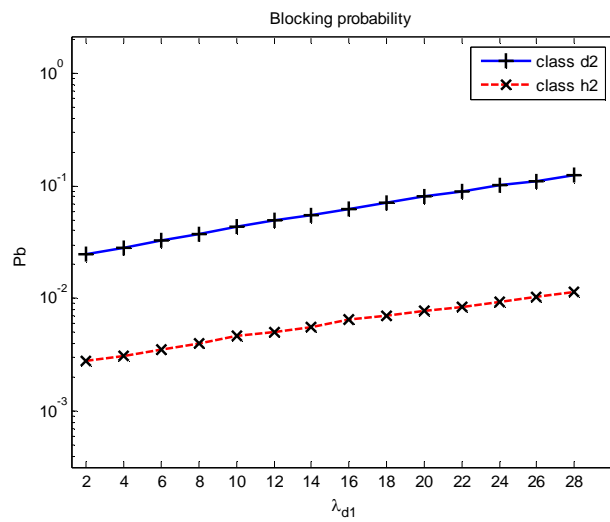
λ_{d1}	λ_{d2}	λ_{d3}	λ_{h1}	λ_{h2}	λ_{h3}
2	3.75	1.5	15	3.75	1.5
4	3.75	1.5	15	3.75	1.5
6	3.75	1.5	15	3.75	1.5
8	3.75	1.5	15	3.75	1.5
10	3.75	1.5	15	3.75	1.5
12	3.75	1.5	15	3.75	1.5
14	3.75	1.5	15	3.75	1.5
16	3.75	1.5	15	3.75	1.5
18	3.75	1.5	15	3.75	1.5
20	3.75	1.5	15	3.75	1.5
22	3.75	1.5	15	3.75	1.5
24	3.75	1.5	15	3.75	1.5
26	3.75	1.5	15	3.75	1.5
28	3.75	1.5	15	3.75	1.5

Πίνακας 7.13 Μέσοι ρυθμοί άφιξης κλήσεων για το παράδειγμα 7.2.3

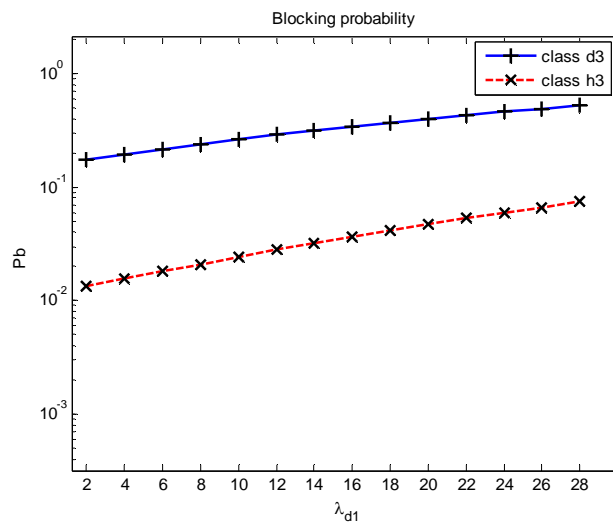
Οι τιμές του προγράμματος προσομοίωσης παρουσιάζονται στα διαγράμματα 7.13 – 7.15.



Διάγραμμα 7.13 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.3)



Διάγραμμα 7.14 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.3)



Διάγραμμα 7.15 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.3)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.6 είναι:

λ_{d1}	P_{bd1}	P_{bd2}	P_{bd3}	P_{bh1}	P_{bh2}	P_{bh3}
2	0.0052	0.0234	0.1748	0.0006	0.0029	0.0129
4	0.0061	0.0272	0.1953	0.0007	0.0034	0.0151
6	0.0070	0.0314	0.2173	0.0008	0.0039	0.0175
8	0.0081	0.0362	0.2406	0.0009	0.0045	0.0203
10	0.0093	0.0415	0.2652	0.0011	0.0051	0.0234
12	0.0106	0.0474	0.2910	0.0012	0.0059	0.0269
14	0.0121	0.0539	0.3179	0.0014	0.0066	0.0307
16	0.0137	0.0611	0.3457	0.0016	0.0075	0.0350
18	0.0155	0.0690	0.3744	0.0018	0.0084	0.0397
20	0.0175	0.0776	0.4039	0.0020	0.0095	0.0449
22	0.0196	0.0870	0.4339	0.0022	0.0106	0.0506
24	0.0219	0.0971	0.4642	0.0024	0.0118	0.0568
26	0.0244	0.1081	0.4948	0.0027	0.0131	0.0635
28	0.0272	0.1198	0.5255	0.0030	0.0144	0.0708

Πίνακας 7.14 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.3

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.15

λ_{d1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0142	0.0517	0.0053	0.1256	0.0495	0.0377
4	0.0094	0.0397	0.0048	0.1677	0.0865	0.0338
6	0.0017	0.0448	0.0049	0.2138	0.1037	0.0500
8	0.0091	0.0419	0.0030	0.2601	0.1036	0.0208
10	0.0117	0.0499	0.0065	0.3179	0.0998	0.0463
12	0.0170	0.0414	0.0023	0.3523	0.1278	0.0394
14	0.0249	0.0316	0.0087	0.3506	0.1600	0.0384
16	0.0102	0.0332	0.0063	0.3691	0.1396	0.0424
18	0.0062	0.0298	0.0080	0.4282	0.1628	0.0383
20	0.0097	0.0367	0.0077	0.4542	0.1808	0.0398
22	0.0104	0.0427	0.0043	0.4637	0.1923	0.0581
24	0.0039	0.0393	0.0055	0.5009	0.2051	0.0572
26	0.0029	0.0326	0.0065	0.5194	0.2167	0.0460
28	0.0067	0.0374	0.0053	0.5194	0.1974	0.0452

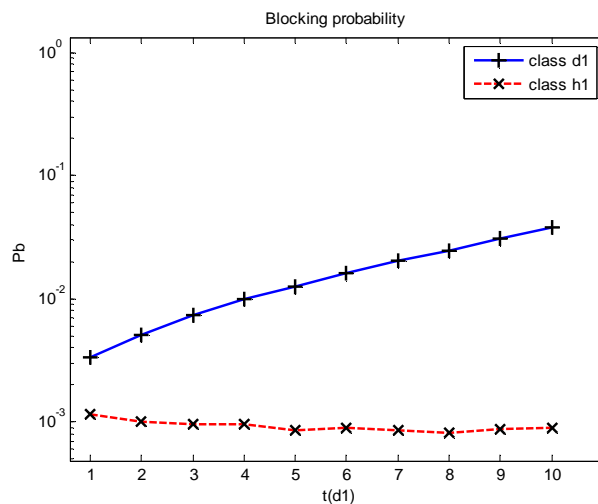
Πίνακας 7.15 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.3)

Το σύστημα έχει παρόμοια συμπεριφορά με αυτήν του παραδείγματος 7.2.2. Η δέσμευση εύρους ζώνης πέτυχε στο να διαφοροποιήσει τις πιθανότητες απώλειας νέας κλήσης από τις πιθανότητες ξαφνικής απώλειας μιας ενεργής κλήσης.

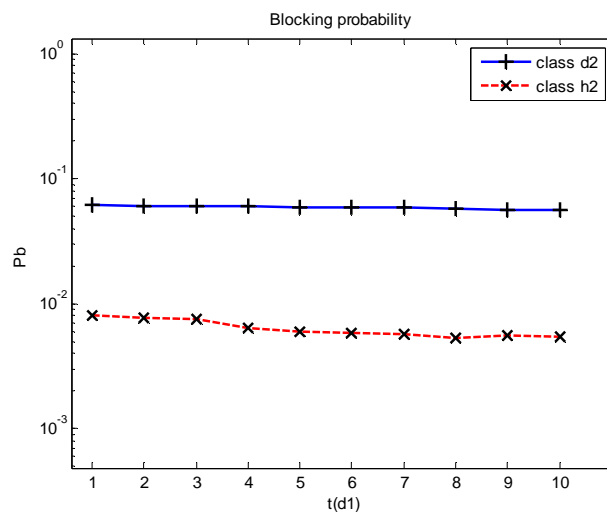
7.2.4. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών

Κρατώντας ίδια την δομή των παραδειγμάτων με αυτήν του κεφαλαίου 5, μεταβάλλονται τα δεσμευμένα κανάλια για τις απευθείας κλήσεις της κατηγορίας 1, από 1 σε 10 κανάλια, έτσι ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες ξαφνικής απώλειας των ενεργών κλήσεων.

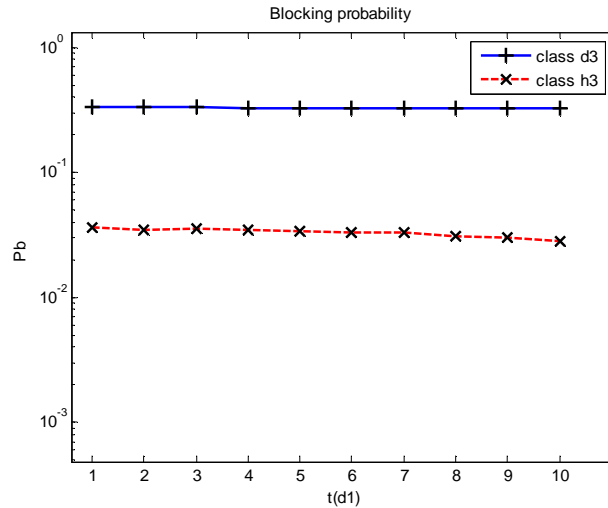
Οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων που προκύπτουν από το πρόγραμμα προσομοίωσης παρουσιάζονται στα διαγράμματα 7.16 – 7.18



Διάγραμμα 7.16 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.4)



Διάγραμμα 7.17 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.4)



Διάγραμμα 7.18 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{15} κατηγορίας (παράδειγμα 7.2.4)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.6 είναι:

t(d1)	Pb _{d1}	Pb _{d2}	Pb _{d3}	Pb _{h1}	Pb _{h2}	Pb _{h3}
1	0.0036	0.0590	0.3328	0.0016	0.0083	0.0344
2	0.0055	0.0587	0.3326	0.0015	0.0079	0.0341
3	0.0076	0.0584	0.3323	0.0015	0.0076	0.0337
4	0.0100	0.0580	0.3321	0.0015	0.0072	0.0333
5	0.0129	0.0574	0.3317	0.0015	0.0071	0.0328
6	0.0160	0.0569	0.3313	0.0015	0.0070	0.0322
7	0.0194	0.0562	0.3308	0.0015	0.0069	0.0315
8	0.0236	0.0553	0.3302	0.0015	0.0068	0.0306
9	0.0294	0.0541	0.3293	0.0014	0.0067	0.0294
10	0.0357	0.0528	0.3284	0.0014	0.0067	0.0280

Πίνακας 7.16 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.2.4

Η απόλυτη τιμή του σφάλματος Error είναι:

t(d1)	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
1	0.0727	0.0430	0.0019	0.2537	0.0267	0.0449
2	0.0700	0.0328	0.0030	0.3437	0.0313	0.0204
3	0.0332	0.0368	0.0026	0.3732	0.0131	0.0566
4	0.0150	0.0363	0.0048	0.3740	0.1019	0.0493
5	0.0185	0.0319	0.0114	0.4226	0.1477	0.0314
6	0.0111	0.0394	0.0050	0.3890	0.1548	0.0335
7	0.0379	0.0470	0.0058	0.4088	0.1730	0.0450
8	0.0442	0.0491	0.0013	0.4435	0.2162	0.0116
9	0.0435	0.0469	0.0043	0.3939	0.1797	0.0352
10	0.0561	0.0644	0.0004	0.3827	0.1919	0.0007

Πίνακας 7.17 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.2.4)

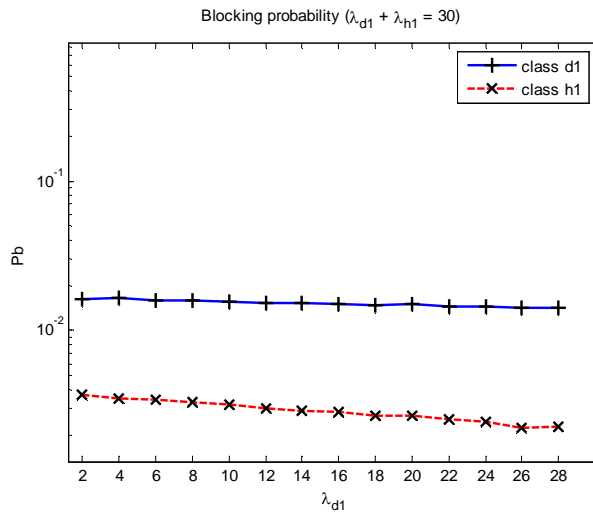
Η αύξηση των δεσμευμένων καναλιών για την κλήση της κατηγορίας 1 έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των πιθανοτήτων ξαφνικής απώλειας κλήσεις για όλες τις κατηγορίες κλήσης.

7.3. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης

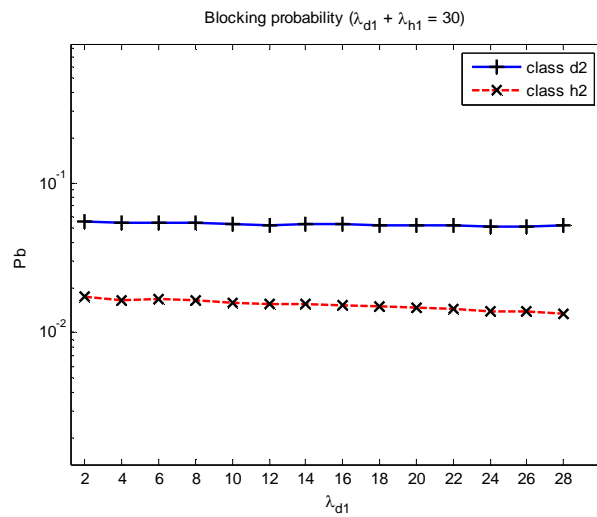
7.3.1. Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων

Το παράδειγμα αυτό αναφέρεται στην εφαρμογή του μοντέλου ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης σε ένα σύστημα πολλών κυψελών. Η δέσμευση θα γίνει σε $b = 5, 9$ και 19 κανάλια αντίστοιχα με πιθανότητες $w_1 = w_2 = w_3 = 0.5$. Θα μεταβληθούν οι ρυθμοί άφιξης των νέων κλήσεων (λ_{d1}) και των κλήσεων μεταπομπής (λ_{h1}) κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε το συνολικό φορτίο κίνησης να παραμείνει σταθερό ($\alpha_{ολ} = \text{Σταθερό} \rightarrow \lambda_1 = \lambda_{h1} + \lambda_{d1}$).

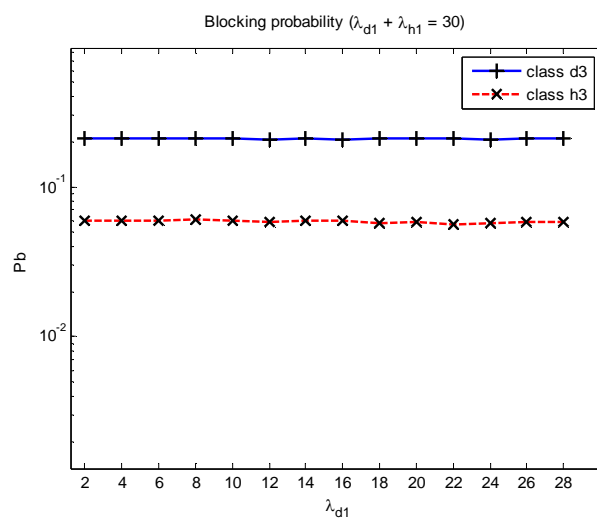
Οι πιθανότητες για την απώλεια κλήσης παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 7.19 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.1)



Διάγραμμα 7.20 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.1)



Διάγραμμα 7.21 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.1)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.10 είναι:

λ_{d1}	λ_{h1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
2	28	0.0164	0.0540	0.2117	0.0039	0.0175	0.0594
4	26	0.0163	0.0538	0.2115	0.0038	0.0173	0.0592
6	24	0.0161	0.0536	0.2113	0.0038	0.0171	0.0589
8	22	0.0159	0.0533	0.2111	0.0037	0.0168	0.0587
10	20	0.0158	0.0531	0.2109	0.0037	0.0166	0.0584
12	18	0.0156	0.0529	0.2107	0.0036	0.0164	0.0582
14	16	0.0155	0.0527	0.2105	0.0036	0.0162	0.0579
16	14	0.0153	0.0525	0.2103	0.0035	0.0161	0.0577
18	12	0.0152	0.0523	0.2101	0.0035	0.0159	0.0575
20	10	0.0151	0.0521	0.2099	0.0034	0.0157	0.0572
22	8	0.0149	0.0519	0.2097	0.0034	0.0155	0.0570
24	6	0.0148	0.0517	0.2095	0.0033	0.0153	0.0568
26	4	0.0146	0.0515	0.2093	0.0033	0.0151	0.0566
28	2	0.0145	0.0513	0.2092	0.0032	0.0150	0.0564

Πίνακας 7.18 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.1

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.19

λ_{d1}	λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	28	0.0198	0.0152	0.0046	0.0395	0.0069	0.0123
4	26	0.0088	0.0081	0.0002	0.0784	0.0380	0.0009
6	24	0.0098	0.0042	0.0023	0.0788	0.0186	0.0074
8	22	0.0028	0.0182	0.0019	0.1066	0.0152	0.0269
10	20	0.0200	0.0029	0.0039	0.1324	0.0412	0.0162
12	18	0.0250	0.0038	0.0079	0.1622	0.0555	0.0002
14	16	0.0189	0.0060	0.0071	0.1882	0.0445	0.0242
16	14	0.0139	0.0110	0.0045	0.1936	0.0555	0.0382
18	12	0.0220	0.0035	0.0024	0.2177	0.0502	0.0057
20	10	0.0069	0.0005	0.0021	0.2139	0.0607	0.0173
22	8	0.0304	0.0022	0.0024	0.2435	0.0706	0.0033
24	6	0.0196	0.0009	0.0026	0.2635	0.0848	0.0128
26	4	0.0271	0.0072	0.0005	0.3244	0.0822	0.0252
28	2	0.0217	0.0147	0.0077	0.3006	0.0979	0.0294

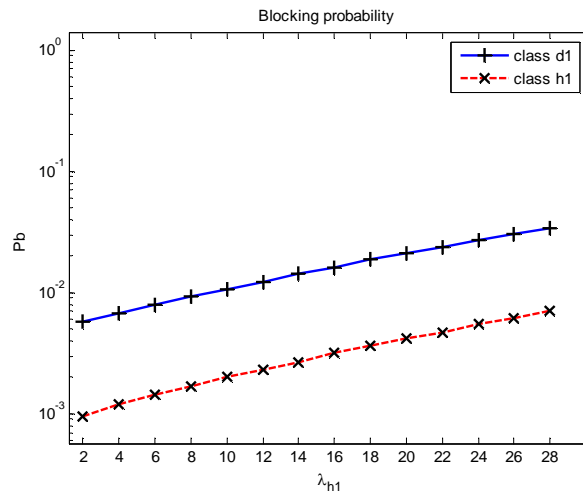
Πίνακας 7.19 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.1)

Για να διατηρηθεί σταθερό το συνολικό φορτίο κίνησης αυξάνεται η κίνηση των νέων κλήσεων, και ταυτόχρονα μειώνεται η κίνηση κλήσεων που προέρχονται από γειτονική κυψέλη. Αυτή η μείωση της κινητότητας πετυχαίνει μικρή μείωση σε όλες τις πιθανότητες απώλειας των κλήσεων.

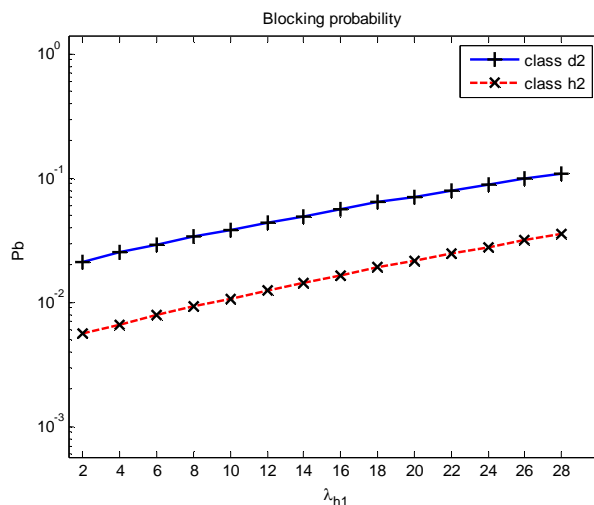
7.3.2. Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής

Στην συνέχεια αυξάνεται ο μέσος ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 2 σε 28 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με τον πίνακα 7.4.

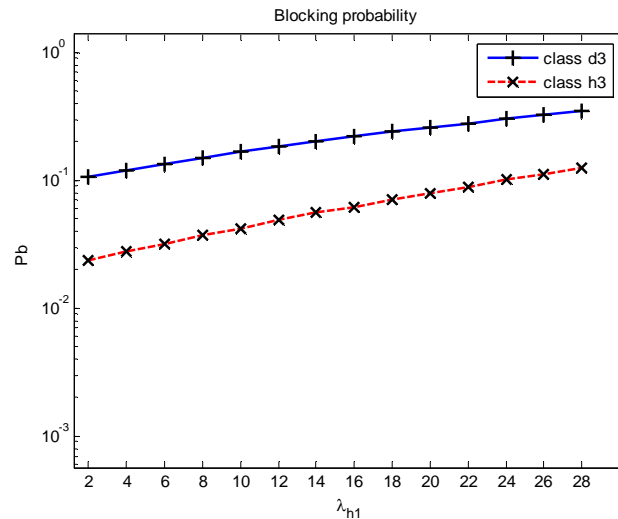
Οι τιμές της προσομοίωσης για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων είναι (διαγράμματα 7.22 -7.24)



Διάγραμμα 7.22 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.2)



Διάγραμμα 7.23 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.2)



Διάγραμμα 7.24 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.2)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.8 είναι:

λ_{h1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
2	0.0058	0.0215	0.1075	0.0013	0.0061	0.0230
4	0.0069	0.0250	0.1207	0.0015	0.0071	0.0268
6	0.0080	0.0289	0.1349	0.0018	0.0083	0.0312
8	0.0093	0.0332	0.1501	0.0021	0.0097	0.0360
10	0.0108	0.0381	0.1662	0.0024	0.0113	0.0415
12	0.0125	0.0435	0.1833	0.0028	0.0131	0.0475
14	0.0144	0.0494	0.2011	0.0033	0.0151	0.0542
16	0.0165	0.0559	0.2198	0.0038	0.0173	0.0616
18	0.0188	0.0630	0.2392	0.0043	0.0198	0.0697
20	0.0214	0.0707	0.2593	0.0050	0.0225	0.0785
22	0.0242	0.0790	0.2800	0.0057	0.0255	0.0881
24	0.0273	0.0880	0.3011	0.0064	0.0288	0.0986
26	0.0306	0.0976	0.3226	0.0073	0.0325	0.1098
28	0.0343	0.1079	0.3445	0.0082	0.0364	0.1218

Πίνακας 7.20 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.2

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.21

λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0180	0.0078	0.0082	0.2583	0.0761	0.0273
4	0.0191	0.0074	0.0074	0.2125	0.0802	0.0311
6	0.0127	0.0069	0.0004	0.2025	0.0580	0.0312
8	0.0012	0.0291	0.0052	0.2021	0.0361	0.0262
10	0.0114	0.0088	0.0072	0.1793	0.0601	0.0161
12	0.0173	0.0029	0.0023	0.1793	0.0543	0.0270
14	0.0066	0.0044	0.0015	0.1847	0.0593	0.0297
16	0.0148	0.0056	0.0035	0.1612	0.0463	0.0075
18	0.0030	0.0135	0.0004	0.1546	0.0329	0.0239
20	0.0153	0.0071	0.0021	0.1581	0.0460	0.0154
22	0.0197	0.0037	0.0017	0.1736	0.0372	0.0138
24	0.0070	0.0045	0.0007	0.1491	0.0463	0.0215
26	0.0126	0.0097	0.0017	0.1507	0.0298	0.0178
28	0.0033	0.0128	0.0039	0.1289	0.0312	0.0197

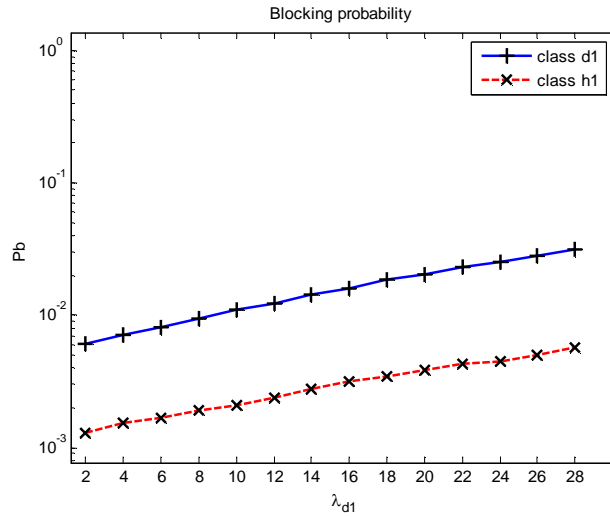
Πίνακας 7.21 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.2)

Η αύξηση του ρυθμού των κλήσεων μεταπομπής δημιουργεί ομοιόμορφη αύξηση στις πιθανότητες απώλειας κλήσεων σε όλες τις κατηγορίες.

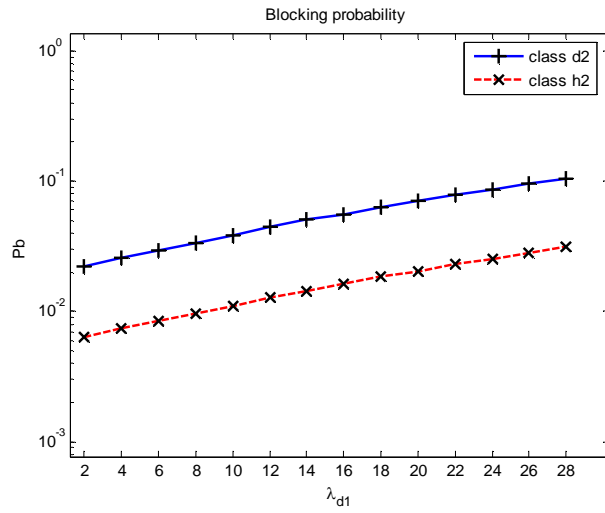
7.3.3.Μεταβλητός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων

Στο παρακάτω παράδειγμα μεταβάλλεται ο ρυθμός άφιξης των νέων κλήσεων για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 2 σε 28 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με τον πίνακα 7.5.

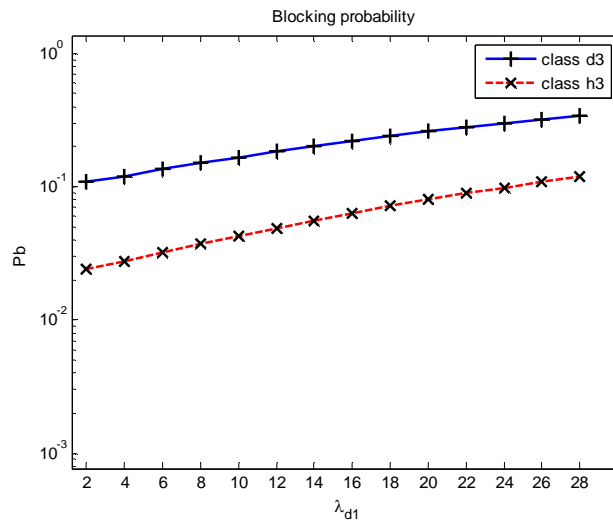
Οι τιμές που προκύπτουν από το πρόγραμμα προσομοίωσης για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων είναι: (διαγράμματα 7.25 – 7.27)



Διάγραμμα 7.25 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.3)



Διάγραμμα 7.26 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.3)



Διάγραμμα 7.27 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.3)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.8 είναι (πίνακας 7.22):

λ_{d1}	$P_{b_{d1}}$	$P_{B_{d2}}$	$P_{b_{d3}}$	$P_{b_{h1}}$	$P_{b_{h2}}$	$P_{b_{h3}}$
2	0.0062	0.0220	0.1081	0.0014	0.0065	0.0236
4	0.0072	0.0255	0.1213	0.0016	0.0076	0.0274
6	0.0084	0.0294	0.1354	0.0019	0.0088	0.0317
8	0.0097	0.0337	0.1506	0.0022	0.0101	0.0365
10	0.0111	0.0385	0.1666	0.0025	0.0116	0.0419
12	0.0127	0.0437	0.1835	0.0029	0.0133	0.0478
14	0.0145	0.0495	0.2012	0.0033	0.0152	0.0543
16	0.0164	0.0558	0.2197	0.0038	0.0172	0.0615
18	0.0185	0.0626	0.2389	0.0043	0.0194	0.0693
20	0.0208	0.0700	0.2587	0.0048	0.0218	0.0777
22	0.0234	0.0779	0.2789	0.0054	0.0244	0.0869
24	0.0261	0.0863	0.2997	0.0060	0.0273	0.0967
26	0.0290	0.0953	0.3207	0.0067	0.0303	0.1073
28	0.0321	0.1049	0.3420	0.0074	0.0335	0.1185

Πίνακας 7.22 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.3

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.23

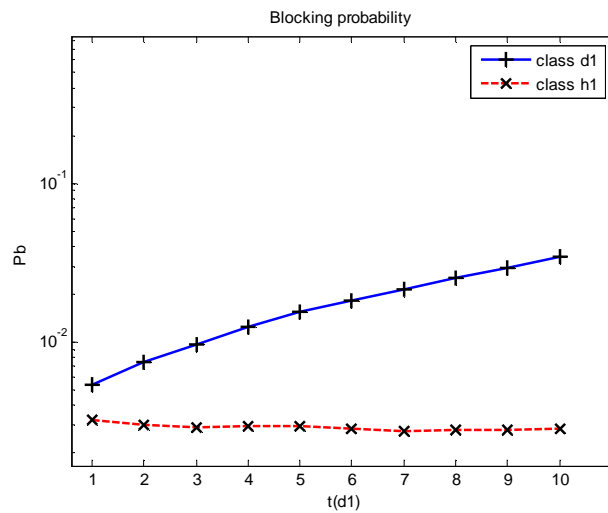
λ_{d1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0118	0.0127	0.0021	0.0812	0.0280	0.0308
4	0.0210	0.0033	0.0072	0.0643	0.0183	0.0107
6	0.0366	0.0039	0.0026	0.1120	0.0431	0.0116
8	0.0245	0.0061	0.0023	0.1382	0.0420	0.0258
10	0.0148	0.0022	0.0023	0.1699	0.0604	0.0164
12	0.0267	0.0126	0.0029	0.1824	0.0461	0.0069
14	0.0127	0.0206	0.0007	0.1621	0.0496	0.0240
16	0.0178	0.0030	0.0032	0.1637	0.0488	0.0183
18	0.0010	0.0123	0.0059	0.1855	0.0414	0.0343
20	0.0227	0.0043	0.0034	0.1976	0.0697	0.0252
22	0.0026	0.0046	0.0036	0.2080	0.0520	0.0279
24	0.0214	0.0056	0.0039	0.2456	0.0763	0.0191
26	0.0275	0.0053	0.0006	0.2468	0.0721	0.0262
28	0.0191	0.0022	0.0013	0.2397	0.0653	0.0107

Πίνακας 7.23 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.3)

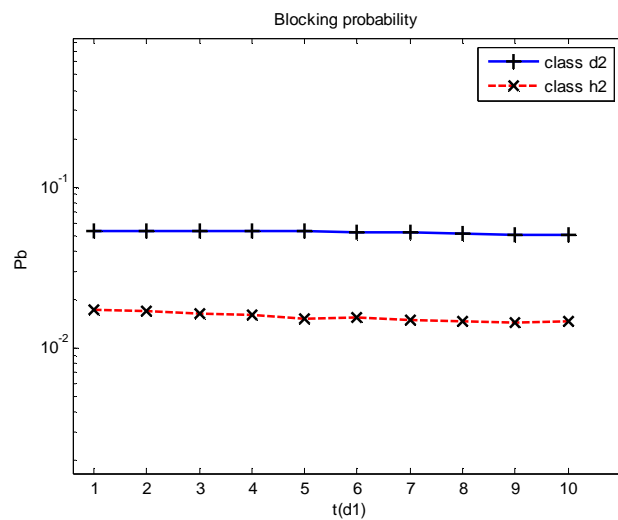
Η μεταβολή του ρυθμού άφιξης νέων κλήσεων επηρεάζει τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων για τις κλήσεις όλων των κατηγοριών.

7.3.4. Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών

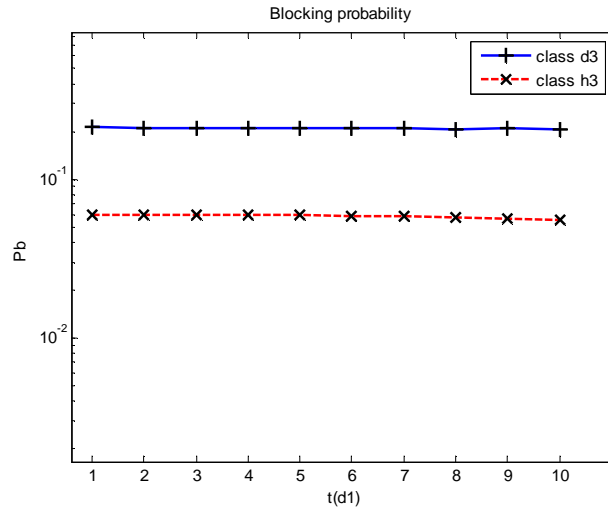
Ακολουθούν μετρήσεις για την μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών για τις απευθείας κλήσεις κατηγορίας 1 (d1). Η μεταβολή γίνεται από 1 έως 10 κανάλια. Οι πειραματικές πιθανότητες απώλειας δίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



Διάγραμμα 7.28 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.4)



Διάγραμμα 7.29 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.4)



Διάγραμμα 7.30 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.4)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.10 είναι:

t(d1)	Pb _{d1}	Pb _{d2}	Pb _{d3}	Pb _{h1}	Pb _{h2}	Pb _{h3}
1	0.0058	0.0540	0.2117	0.0037	0.0174	0.0594
2	0.0079	0.0537	0.2115	0.0036	0.0171	0.0591
3	0.0102	0.0533	0.2112	0.0036	0.0167	0.0587
4	0.0127	0.0529	0.2108	0.0036	0.0163	0.0583
5	0.0154	0.0526	0.2104	0.0035	0.0162	0.0578
6	0.0183	0.0522	0.2099	0.0035	0.0160	0.0572
7	0.0215	0.0518	0.2093	0.0035	0.0159	0.0565
8	0.0250	0.0514	0.2087	0.0035	0.0158	0.0558
9	0.0292	0.0509	0.2079	0.0035	0.0157	0.0549
10	0.0336	0.0504	0.2071	0.0035	0.0157	0.0538

Πίνακας 7.24 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.4

Η απόλυτη τιμή του σφάλματος είναι:

t(d1)	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
1	0.0675	0.0030	0.0008	0.1185	0.0112	0.0102
2	0.0640	0.0021	0.0036	0.1660	0.0188	0.0078
3	0.0580	0.0088	0.0007	0.2060	0.0190	0.0182
4	0.0232	0.0068	0.0003	0.1813	0.0206	0.0134
5	0.0013	0.0107	0.0002	0.1678	0.0602	0.0357
6	0.0011	0.0125	0.0062	0.1958	0.0375	0.0301
7	0.0061	0.0116	0.0030	0.2115	0.0684	0.0330
8	0.0180	0.0028	0.0050	0.2054	0.0715	0.0272
9	0.0032	0.0001	0.0023	0.2048	0.0844	0.0243
10	0.0189	0.0112	0.0016	0.1844	0.0736	0.0274

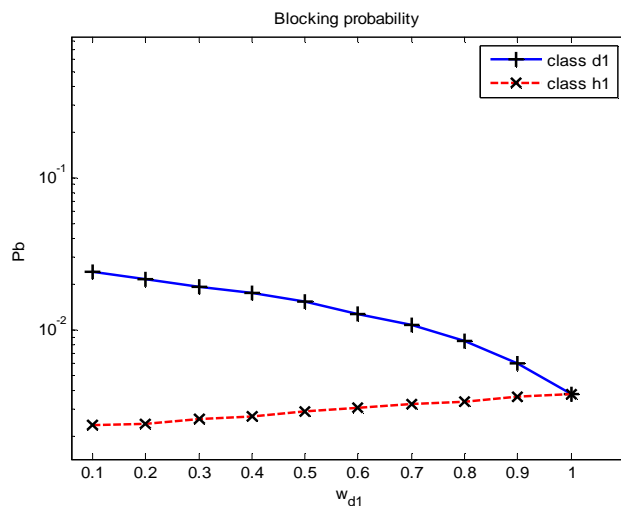
Πίνακας 7.25 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.4)

Η αύξηση των δεσμευμένων καναλιών για τις απευθείας κλήσεις κατηγορίας 1 (d1) οδηγεί στην αύξηση της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για αυτήν την κατηγορία, και σε μικρή μείωση της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για όλες τις άλλες κατηγορίες.

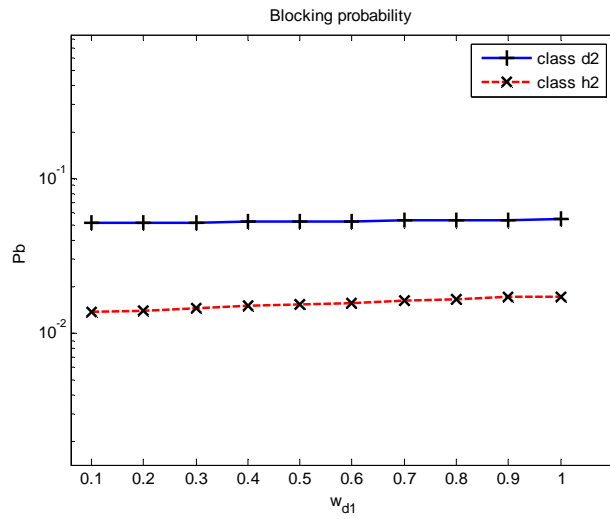
7.3.5. Μεταβολή της πιθανότητας δέσμευσης καναλιών

Όπως και στα προηγούμενα μοντέλα, το 5^ο παράδειγμα για το μοντέλο ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης θα είναι η μεταβολή της πιθανότητας δέσμευσης για τις απευθείας κλήσεις της κατηγορίας 1. Η πιθανότητα δέσμευσης θα μεταβληθεί και εδώ σε τιμές 0.1 έως 1

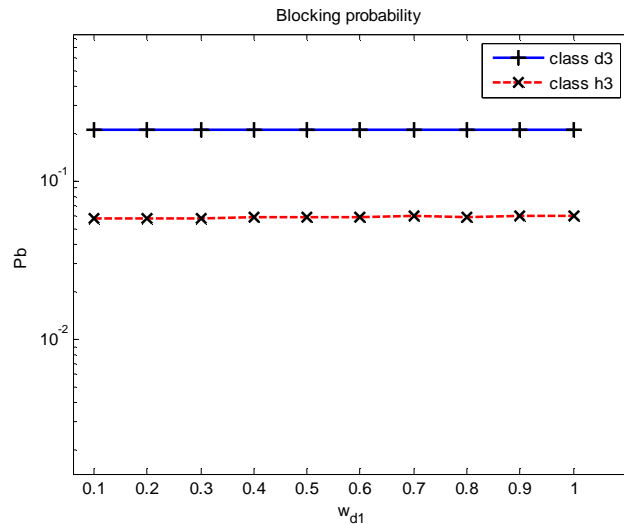
Οι πειραματικές τιμές για την πιθανότητα μπλοκαρίσματος είναι:



Διάγραμμα 7.31 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.5)



Διάγραμμα 7.32 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.5)



Διάγραμμα 7.33 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.3.5)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.10 είναι:

w_{d1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
0.1	0.0236	0.0514	0.2092	0.0032	0.0151	0.0565
0.2	0.0217	0.0517	0.2095	0.0033	0.0153	0.0568
0.3	0.0196	0.0520	0.2098	0.0034	0.0156	0.0571
0.4	0.0175	0.0523	0.2101	0.0035	0.0159	0.0575
0.5	0.0154	0.0526	0.2104	0.0035	0.0162	0.0578
0.6	0.0132	0.0529	0.2107	0.0036	0.0164	0.0582
0.7	0.0110	0.0532	0.2110	0.0037	0.0167	0.0585
0.8	0.0087	0.0536	0.2113	0.0038	0.0171	0.0589
0.9	0.0063	0.0539	0.2116	0.0038	0.0174	0.0593
1	0.0039	0.0543	0.2119	0.0039	0.0177	0.0597

Πίνακας 7.26 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.3.5

Η απόλυτη τιμή του σφάλματος (Error) είναι:

w_{d1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
0.1	0.0156	0.0032	0.0001	0.2733	0.0970	0.0332
0.2	0.0026	0.0003	0.0016	0.2704	0.0856	0.0168
0.3	0.0117	0.0017	0.0068	0.2290	0.0698	0.0191
0.4	0.0063	0.0111	0.0009	0.2220	0.0456	0.0341
0.5	0.0118	0.0133	0.0014	0.1696	0.0519	0.0236
0.6	0.0310	0.0069	0.0003	0.1463	0.0417	0.0100
0.7	0.0185	0.0023	0.0001	0.1175	0.0238	0.0250
0.8	0.0306	0.0062	0.0022	0.1073	0.0273	0.0040
0.9	0.0420	0.0066	0.0017	0.0599	0.0067	0.0139
1	0.0379	0.0088	0.0016	0.0404	0.0304	0.0089

Πίνακας 7.27 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.3.5)

Όσο αυξάνεται το ποσοστό w_{d1} , τόσο η δέσμευση εύρους ζώνης συμβάλει λιγότερο στο σύστημα. Για την περίπτωση που το w_{d1} γίνει 1, τότε η δέσμευση εύρους ζώνης δεν έχει ισχύ: Στο σημείο αυτό (διάγραμμα 7.31 σημείο $w_{d1}=1$) η πιθανότητα απώλειας νέων κλήσεων κατηγορίας 1 είναι ίση με την πιθανότητα ξαφνικής απώλειας ενεργών κλήσεων της ίδιας κατηγορίας.

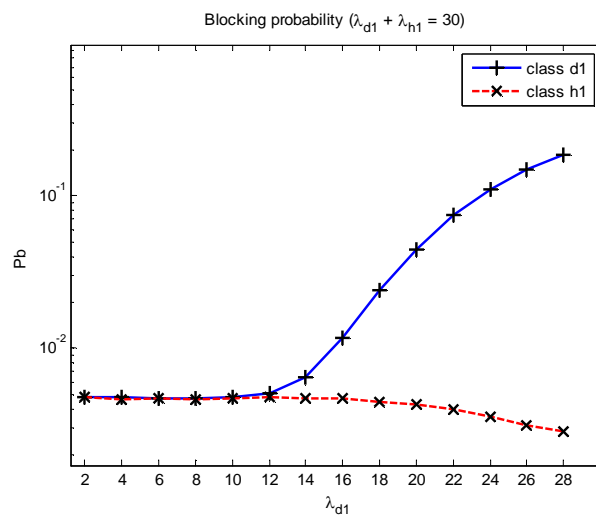
7.4. Ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων

7.4.1. Σταθερός ρυθμός άφιξης κλήσεων

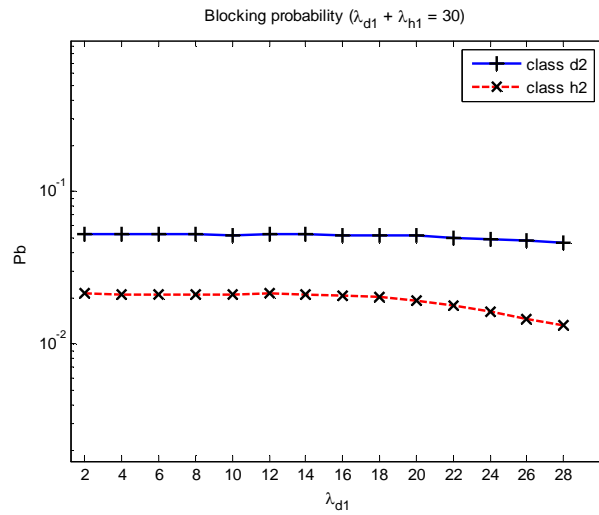
Για την εφαρμογή του συστήματος ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία κλήσεων θα δεσμευτούν περισσότερα κανάλια για τις κλήσεις μεταπομπής, έτσι ώστε να επιτευχθούν εμφανείς μεταβολές στις πιθανότητες απώλειας κλήσεων. Επιλέγουμε τις τιμές $T_d = (95 \ 89 \ 95)$. Οι πιθανότητες w_{di} είναι $w_d = (0.4 \ 0.4 \ 0.4)$

Όπως και παραπάνω, θα μεταβληθεί ο ρυθμός άφιξης των νέων φωνητικών κλήσεων (λ_{d1}) και των φωνητικών κλήσεων μεταπομπής (λ_{h1}) έτσι ώστε, το συνολικό φορτίο κίνησης να παραμείνει σταθερό ($\alpha = \text{Σταθερό} \Rightarrow \lambda_1 = \lambda_{h1} + \lambda_{d1}$). Οι τιμές εισόδου στο πρόγραμμα προσομοίωσης είναι ίδιες με αυτές του πίνακα 7.3

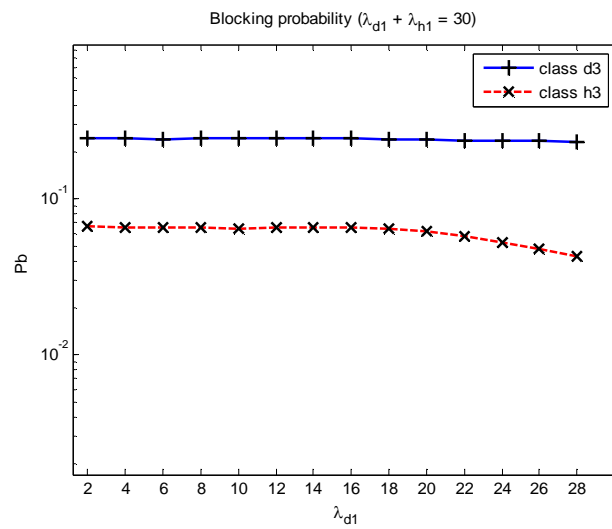
Οι πειραματικές πιθανότητες απώλειας παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 7.34 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.1)



Διάγραμμα 7.35 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.1)



Διάγραμμα 7.36 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.1)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.20 είναι:

λ_{d1}	λ_{h1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
2	28	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
4	26	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
6	24	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
8	22	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
10	20	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
12	18	0.0049	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
14	16	0.0064	0.0523	0.2434	0.0047	0.0210	0.0659
16	14	0.0115	0.0521	0.2432	0.0046	0.0208	0.0654
18	12	0.0238	0.0517	0.2425	0.0045	0.0203	0.0640
20	10	0.0450	0.0510	0.2412	0.0043	0.0194	0.0614
22	8	0.0746	0.0500	0.2394	0.0040	0.0181	0.0576
24	6	0.1098	0.0488	0.2371	0.0036	0.0165	0.0529
26	4	0.1477	0.0474	0.2347	0.0032	0.0147	0.0476
28	2	0.1859	0.0460	0.2322	0.0028	0.0129	0.0422

Πίνακας 7.28 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.1

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.29

λ_{d1}	λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	28	0.0249	0.0075	0.0019	0.0169	0.0146	0.0128
4	26	0.0140	0.0109	0.0010	0.0071	0.0039	0.0035
6	24	0.0024	0.0011	0.0050	0.0019	0.0004	0.0003
8	22	0.0016	0.0001	0.0006	0.0085	0.0019	0.0031
10	20	0.0141	0.0074	0.0044	0.0011	0.0049	0.0171
12	18	0.0185	0.0022	0.0001	0.0129	0.0136	0.0038
14	16	0.0168	0.0022	0.0019	0.0008	0.0011	0.0000
16	14	0.0184	0.0054	0.0014	0.0077	0.0076	0.0028
18	12	0.0083	0.0036	0.0011	0.0082	0.0055	0.0045
20	10	0.0081	0.0027	0.0009	0.0027	0.0010	0.0015
22	8	0.0032	0.0077	0.0055	0.0020	0.0073	0.0044
24	6	0.0012	0.0022	0.0015	0.0272	0.0137	0.0074
26	4	0.0010	0.0033	0.0004	0.0269	0.0032	0.0069
28	2	0.0027	0.0018	0.0003	0.0113	0.0223	0.0224

Πίνακας 7.29 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.4.1)

Για να διατηρηθεί σταθερό το συνολικό φορτίο κίνησης αυξάνεται η κίνηση των νέων κλήσεων, και ταυτόχρονα μειώνεται η κίνηση κλήσεων που προέρχονται από

γειτονική κυψέλη. Αυτή η μείωση της κινητότητας στην 1^η κατηγορία κλήσεων οδηγεί σε μικρή μείωση των ποσοστών απώλειας στις υπόλοιπες κατηγορίες κίνησης (2 και 3)

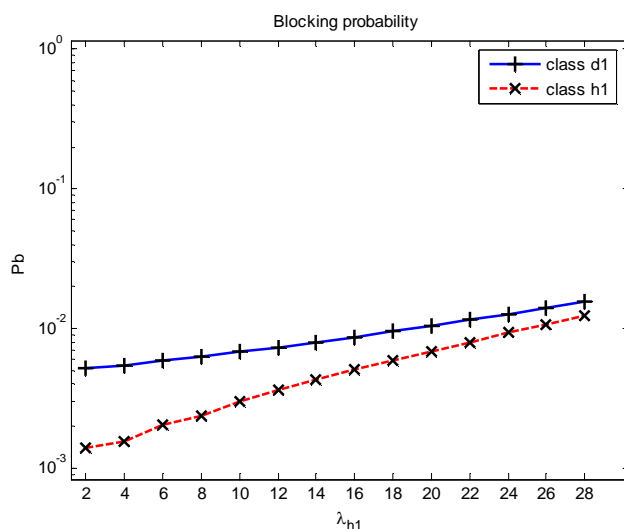
Για την πρώτη κατηγορία κλήσεων η αύξηση της κινητότητας, οδηγεί σε σύγκλιση των ποσοστών απώλειας κλήσεων, τα οποία παραμένουν σταθερά, τόσο για τις ενεργές, όσο και για τις νέες κλήσεις.

Αντίθετα η μείωση της κινητότητας οδηγεί σε διαφοροποίηση των ποσοστών απώλειας κλήσεων για την πρώτη κατηγορία κλήσεων. Το ποσοστό απώλειας για τις απευθείας κλήσεις αυξάνεται έτσι ώστε να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα το ποσοστό απώλειας για τις κλήσεις μεταπομπής. Εδώ είναι και το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής.

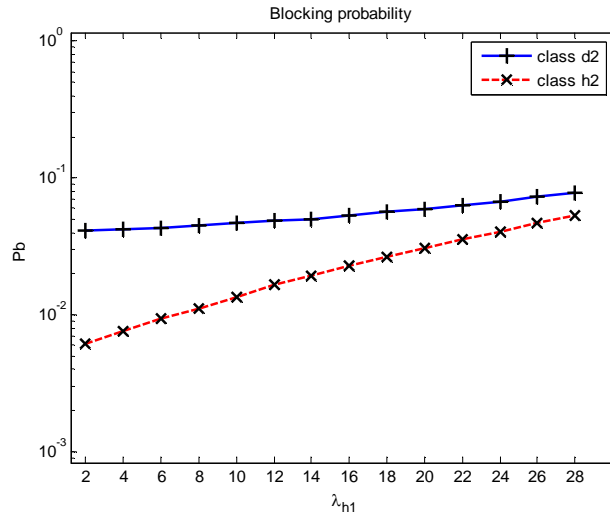
7.4.2. Μεταβλητός ρυθμός άφιξης κλήσεων μεταπομπής

Στην συνέχεια αυξάνουμε τον μέσο ρυθμό άφιξης κλήσεων μεταπομπής για την πρώτη κατηγορία κλήσεων από 2 σε 28 κλήσεις ανά μονάδα χρόνου σύμφωνα με τον πίνακα 7.4

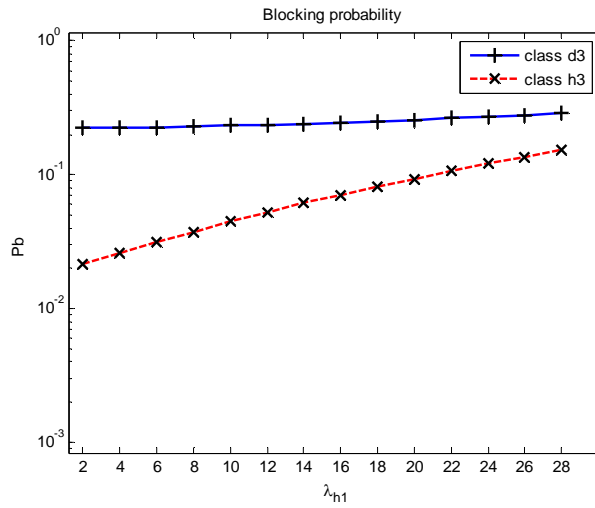
Οι πειραματικές τιμές για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων παρουσιάζονται στα διαγράμματα 7.37 – 7.39



Διάγραμμα 7.37 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.2)



Διάγραμμα 7.38 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.2)



Διάγραμμα 7.39 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.2)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.20 είναι:

λ_{h1}	Pb _{d1}	Pb _{d2}	Pb _{d3}	Pb _{h1}	Pb _{h2}	Pb _{h3}
2	0.0051	0.0412	0.2230	0.0013	0.0063	0.0215
4	0.0054	0.0422	0.2250	0.0017	0.0077	0.0260
6	0.0058	0.0434	0.2273	0.0020	0.0094	0.0312
8	0.0062	0.0449	0.2300	0.0025	0.0113	0.0373
10	0.0067	0.0466	0.2332	0.0030	0.0136	0.0442
12	0.0072	0.0486	0.2368	0.0036	0.0162	0.0521
14	0.0079	0.0510	0.2410	0.0043	0.0193	0.0609
16	0.0086	0.0536	0.2458	0.0051	0.0227	0.0708
18	0.0095	0.0566	0.2512	0.0060	0.0266	0.0818
20	0.0104	0.0601	0.2572	0.0070	0.0309	0.0939
22	0.0115	0.0639	0.2640	0.0081	0.0357	0.1070
24	0.0127	0.0682	0.2714	0.0094	0.0410	0.1213
26	0.0141	0.0729	0.2797	0.0108	0.0469	0.1367
28	0.0155	0.0782	0.2887	0.0123	0.0532	0.1531

Πίνακας 7.30 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.2

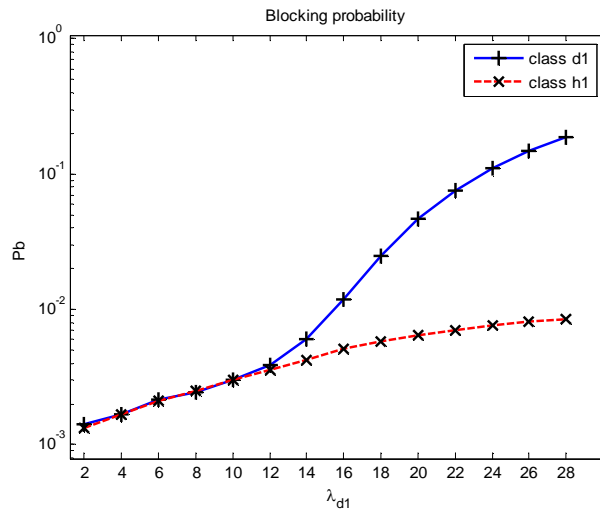
Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.31

λ_{h1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0058	0.0037	0.0002	0.0345	0.0081	0.0009
4	0.0064	0.0012	0.0003	0.0588	0.0108	0.0087
6	0.0239	0.0040	0.0030	0.0032	0.0045	0.0013
8	0.0148	0.0015	0.0038	0.0438	0.0160	0.0097
10	0.0210	0.0007	0.0007	0.0053	0.0006	0.0103
12	0.0068	0.0066	0.0034	0.0154	0.0160	0.0096
14	0.0109	0.0081	0.0037	0.0151	0.0074	0.0055
16	0.0045	0.0071	0.0034	0.0093	0.0132	0.0018
18	0.0053	0.0047	0.0031	0.0088	0.0029	0.0059
20	0.0021	0.0075	0.0035	0.0106	0.0100	0.0102
22	0.0096	0.0036	0.0011	0.0130	0.0062	0.0015
24	0.0001	0.0052	0.0045	0.0026	0.0104	0.0003
26	0.0072	0.0066	0.0001	0.0022	0.0053	0.0019
28	0.0104	0.0003	0.0029	0.0030	0.0057	0.0023

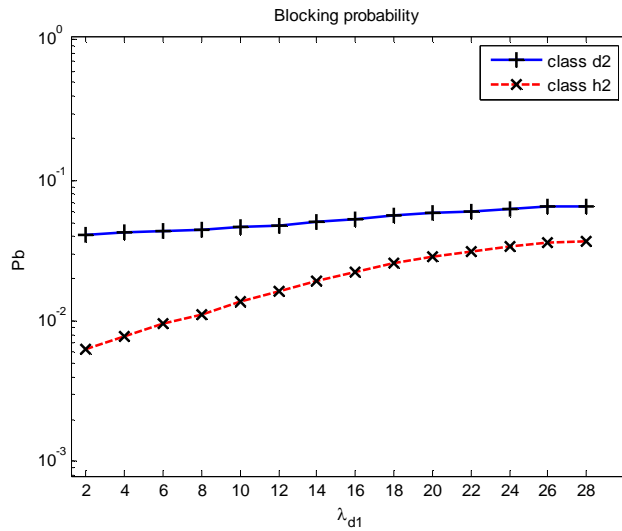
Πίνακας 7.31 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 7.4.2).

7.4.3. Μεταβλητός ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων

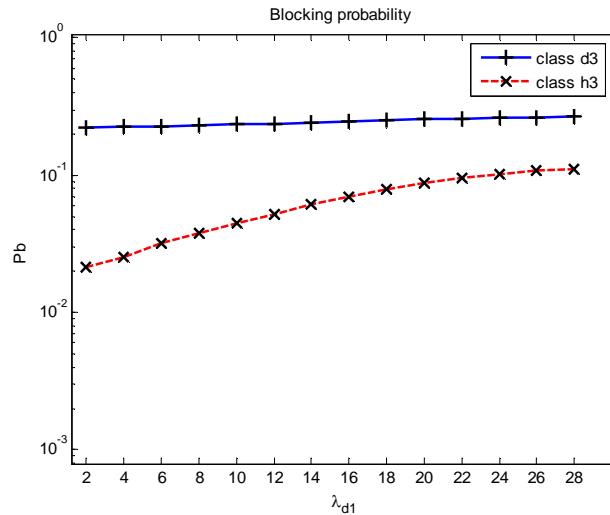
Ακολουθώντας την ίδια σειρά παραδειγμάτων με τα προηγούμενα μοντέλα, θα μεταβληθεί ο ρυθμός άφιξης των νέων κλήσεων για την κατηγορία 1. Αναλυτικά οι ρυθμοί όλων των βαθμίδων παρουσιάζονται στον πίνακα 7.5. Οι πειραματικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων είναι:



Διάγραμμα 7.40 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.3)



Διάγραμμα 7.41 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.3)



Διάγραμμα 7.42 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.3)

Οι θεωρητικές τιμές για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.20 είναι:

λ_{d1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
2	0.0014	0.0412	0.2231	0.0014	0.0063	0.0216
4	0.0017	0.0423	0.2251	0.0017	0.0078	0.0262
6	0.0020	0.0435	0.2274	0.0020	0.0094	0.0314
8	0.0025	0.0450	0.2301	0.0025	0.0114	0.0375
10	0.0030	0.0467	0.2333	0.0030	0.0137	0.0445
12	0.0039	0.0487	0.2370	0.0036	0.0163	0.0524
14	0.0060	0.0510	0.2411	0.0043	0.0193	0.0611
16	0.0119	0.0535	0.2456	0.0050	0.0226	0.0705
18	0.0248	0.0561	0.2502	0.0058	0.0258	0.0798
20	0.0465	0.0585	0.2545	0.0065	0.0289	0.0885
22	0.0762	0.0606	0.2582	0.0071	0.0316	0.0961
24	0.1114	0.0624	0.2614	0.0077	0.0339	0.1025
26	0.1492	0.0639	0.2640	0.0081	0.0358	0.1077
28	0.1874	0.0651	0.2662	0.0085	0.0373	0.1119

Πίνακας 7.32 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.3

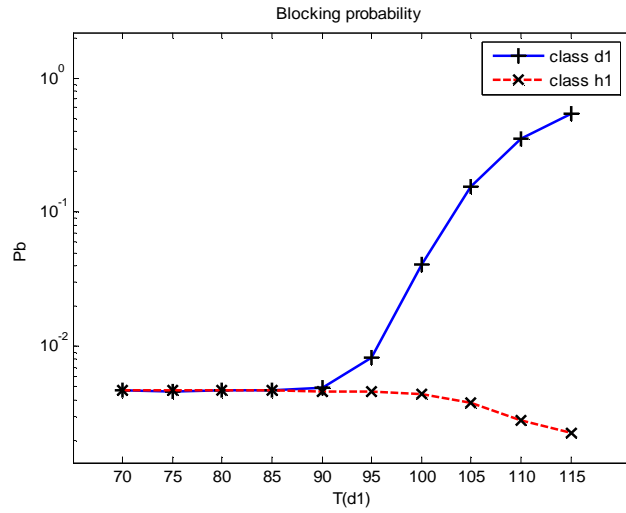
Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.33

λ_{d1}	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
2	0.0340	0.0008	0.0029	0.0294	0.0145	0.0123
4	0.0062	0.0094	0.0021	0.0093	0.0058	0.0267
6	0.0426	0.0040	0.0035	0.0390	0.0099	0.0093
8	0.0097	0.0004	0.0050	0.0022	0.0183	0.0033
10	0.0065	0.0065	0.0000	0.0103	0.0083	0.0121
12	0.0075	0.0161	0.0047	0.0034	0.0026	0.0021
14	0.0106	0.0065	0.0024	0.0078	0.0009	0.0013
16	0.0031	0.0097	0.0051	0.0081	0.0015	0.0171
18	0.0043	0.0032	0.0037	0.0033	0.0058	0.0042
20	0.0033	0.0081	0.0054	0.0090	0.0086	0.0061
22	0.0051	0.0020	0.0044	0.0248	0.0194	0.0123
24	0.0029	0.0026	0.0015	0.0055	0.0065	0.0071
26	0.0012	0.0106	0.0018	0.0066	0.0036	0.0063
28	0.0018	0.0015	0.0022	0.0022	0.0013	0.0105

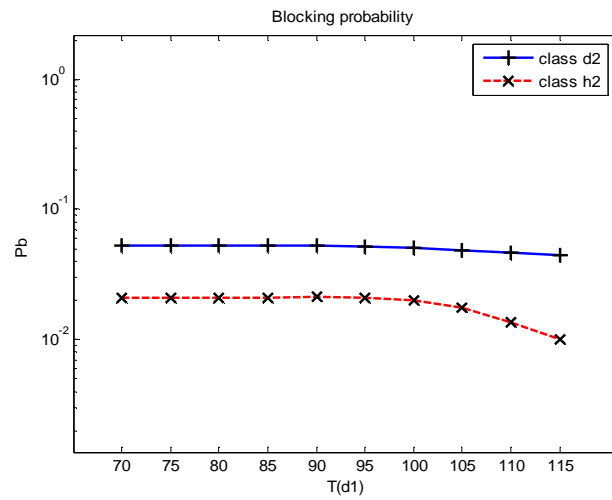
Πίνακας 7.33 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων(παράδειγμα 7.4.3).

7.4.4.Μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών

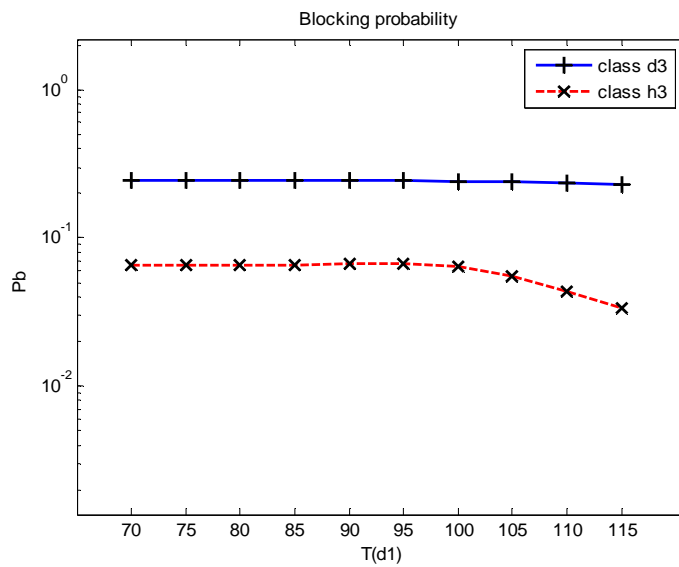
Στο παράδειγμα που ακολουθεί μεταβάλλεται ο αριθμός των δεσμευμένων καναλιών. Όπως είδαμε και στο παράδειγμα 5.5.5 ο αριθμός των δεσμευμένων καναλιών επηρεάζει τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων μόνο αν αυξηθεί αρκετά. Έτσι, όπως και στο παράδειγμα 5.5.5 η μεταβολή των δεσμευμένων καναλιών για τις κλήσεις της κατηγορίας 1 (απευθείας κλήσεις) θα γίνει από 10 έως 100 κανάλια, σε αντίθεση με όλα τα προηγούμενα μοντέλα, όπου η δέσμευση ήταν από 1 έως 10 κανάλια. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι:



Διάγραμμα 7.43 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.4)



Διάγραμμα 7.44 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.4)



Διάγραμμα 7.45 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.4)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.20 είναι:

T(d1)	Pb _{d1}	Pb _{d2}	Pb _{d3}	Pb _{h1}	Pb _{h2}	Pb _{h3}
70	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
75	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
80	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
85	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
90	0.0048	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661
95	0.0083	0.0522	0.2433	0.0047	0.0209	0.0657
100	0.0404	0.0515	0.2420	0.0044	0.0199	0.0630
105	0.1555	0.0492	0.2380	0.0038	0.0171	0.0546
110	0.3521	0.0463	0.2325	0.0029	0.0131	0.0428
115	0.5464	0.0440	0.2284	0.0022	0.0101	0.0336

Πίνακας 7.34 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.4

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.35

T(d1)	Error (d1)	Error (d2)	Error (d3)	Error (h1)	Error (h2)	Error (h3)
70	0.0095	0.0010	0.0054	0.0057	0.0058	0.0030
75	0.0079	0.0073	0.0003	0.0009	0.0012	0.0060
80	0.0010	0.0055	0.0012	0.0027	0.0157	0.0097
85	0.0054	0.0008	0.0048	0.0153	0.0049	0.0156
90	0.0100	0.0067	0.0015	0.0113	0.0177	0.0083
95	0.0000	0.0002	0.0038	0.0048	0.0006	0.0109
100	0.0017	0.0084	0.0017	0.0043	0.0099	0.0074
105	0.0046	0.0077	0.0018	0.0137	0.0324	0.0111
110	0.0004	0.0041	0.0028	0.0140	0.0233	0.0183
115	0.0007	0.0012	0.0061	0.0311	0.0022	0.0037

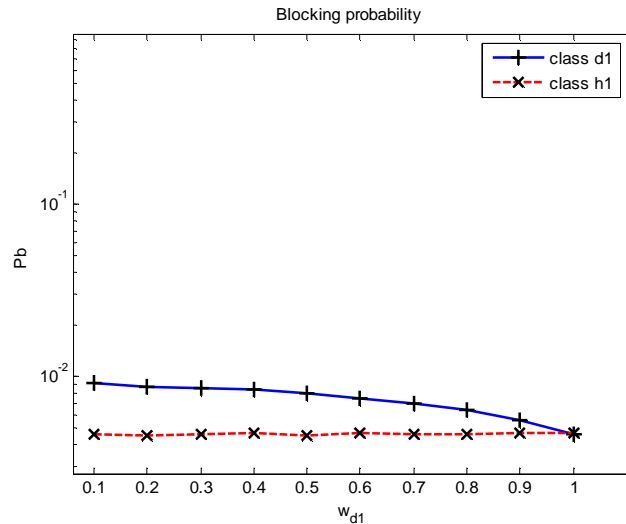
Πίνακας 7.35 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων(παράδειγμα 7.4.4).

Οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων επηρεάζονται μόνο εάν η δέσμευση σε κανάλια για την πρώτη κατηγορία κλήσεων ξεπεράσει τον αριθμό 90. Η εξήγηση για την ανάγκη μεγαλύτερου αριθμού δέσμευσης καναλιών T σε σύγκριση με την μικρή δέσμευση καναλιών t του μοντέλου ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης δίνεται στην παράγραφο 5.5.5

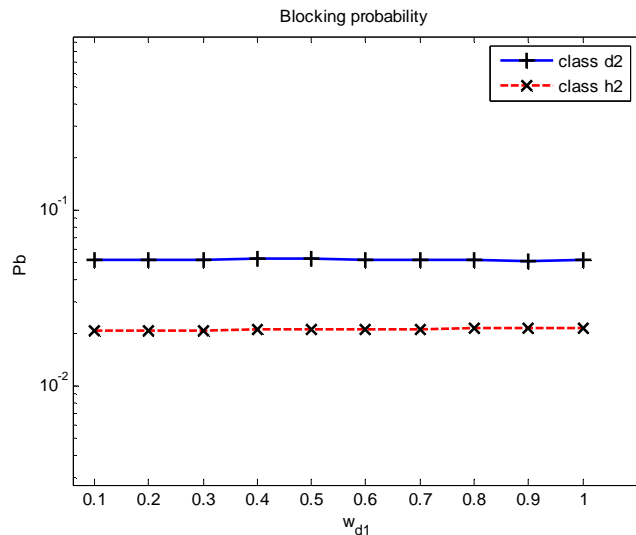
7.4.5. Μεταβολή της πιθανότητας δέσμευσης καναλιών

Κρατώντας τον αριθμό των δεσμευμένων καναλιών για τις απευθείας κλήσεις σταθερό ($T_d = (95 \ 89 \ 95)$) θα μεταβληθεί η πιθανότητα δέσμευσης καναλιών για τις απευθείας κλήσεις για την 1^η κατηγορία. Η τιμή αυτή (w_{d1}) θα μεταβληθεί από 0 έως 1 με βήματα των 0.1.

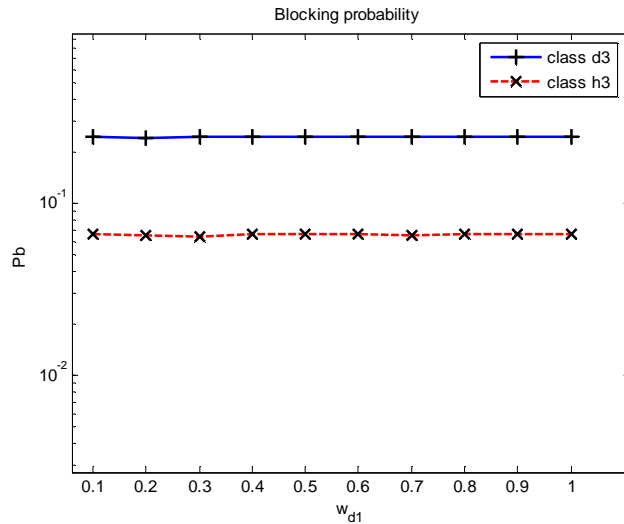
Οι πιθανότητες απώλειας είναι (διαγράμματα 7.46 – 7.48):



Διάγραμμα 7.46 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 1^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.5)



Διάγραμμα 7.47 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 2^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.5)



Διάγραμμα 7.48 Πιθανότητα απώλειας κλήσεων 3^{ης} κατηγορίας (παράδειγμα 7.4.5)

Οι θεωρητικές τιμές για την πιθανότητα απώλειας κλήσεων με βάση τον τύπο 4.20 είναι:

w_{d1}	Pb_{d1}	Pb_{d2}	Pb_{d3}	Pb_{h1}	Pb_{h2}	Pb_{h3}
0.1	0.0091	0.0522	0.2433	0.0046	0.0209	0.0657
0.2	0.0088	0.0522	0.2433	0.0046	0.0209	0.0657
0.3	0.0086	0.0522	0.2433	0.0046	0.0209	0.0657
0.4	0.0083	0.0522	0.2433	0.0047	0.0209	0.0657
0.5	0.0079	0.0522	0.2434	0.0047	0.0209	0.0658
0.6	0.0075	0.0523	0.2434	0.0047	0.0209	0.0658
0.7	0.0069	0.0523	0.2434	0.0047	0.0210	0.0659
0.8	0.0063	0.0523	0.2434	0.0047	0.0210	0.0659
0.9	0.0056	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0660
1	0.0047	0.0523	0.2435	0.0047	0.0210	0.0661

Πίνακας 7.36 Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας για το παράδειγμα 7.4.5

Η απόλυτη τιμή σχετικού σφάλματος (Error) για τις τρεις κατηγορίες κλήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.37

w _{d1}	Error(d1)	Error(d2)	Error(d3)	Error(h1)	Error(h2)	Error(h3)
0.1	0.0095	0.0017	0.0003	0.0148	0.0101	0.0011
0.2	0.0093	0.0063	0.0052	0.0223	0.0134	0.0057
0.3	0.0055	0.0016	0.0023	0.0073	0.0090	0.0241
0.4	0.0232	0.0105	0.0030	0.0070	0.0054	0.0093
0.5	0.0049	0.0071	0.0021	0.0222	0.0040	0.0050
0.6	0.0053	0.0019	0.0033	0.0057	0.0034	0.0029
0.7	0.0059	0.0051	0.0017	0.0070	0.0078	0.0056
0.8	0.0018	0.0045	0.0022	0.0065	0.0058	0.0008
0.9	0.0101	0.0158	0.0003	0.0086	0.0055	0.0008
1	0.0148	0.0057	0.0014	0.0046	0.0022	0.0066

Πίνακας 7.37 Σχετικό σφάλμα για τις πιθανότητες απώλειας κλήσεων(παράδειγμα 7.4.5).

Η αύξηση στην πιθανότητα διάθεσης καναλιών για τις απευθείας κλήσεις της 1^{ης} κατηγορίας οδηγεί στην μείωση της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για τις απευθείας κλήσεις 1^{ης} κατηγορίας. Μεγάλες τιμές του w κάνουν την δέσμευση καναλιών ανενεργή.

8. Υπάρχει κάποια πολιτική διάθεσης που υπερτερεί;

8.1. Σύγκριση των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων

Στόχος του επόμενου παραδείγματος είναι να βρεθεί η πολιτική διάθεσης καναλιών που θα χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί η καλύτερη εξυπηρέτηση των κλήσεων, σε ένα δεδομένο σενάριο.

Το σενάριο περιλαμβάνει δύο κατηγορίες κλήσεων που μπορούν να θεωρηθούν ως φωνητικές κλήσεις και κλήσεις δεδομένων. Οι φωνητικές κλήσεις καταλαμβάνουν 1 κανάλι ενώ οι κλήσεις δεδομένων 4. Οι μέσοι ρυθμοί άφιξης είναι ίδιοι, ανεξάρτητα από το εάν η κλήση προέρχεται από μεταπομπή ή εάν γεννάται μέσα στην κυψέλη. Η τιμή αυτή είναι 11 για τις φωνητικές κλήσεις (λ_1) και 4 για τις κλήσεις δεδομένων(λ_2) Για το μοντέλο απλής δέσμευσης εύρους ζώνης γίνεται παρακράτηση 5 και 2 καναλιών από τις απευθείας φωνητικές κλήσεις και στις απευθείας κλήσεις δεδομένων έτσι ώστε να δοθεί προτεραιότητα στις κλήσεις μεταπομπής. Τα αποτελέσματα που δίνει η προσομοίωση για το σενάριο αυτό είναι:

κλάση	Πιθανότητα απώλειας κλήσεων
d1	0.049465
d2	0.049717
h1	0.002508
h2	0.022271

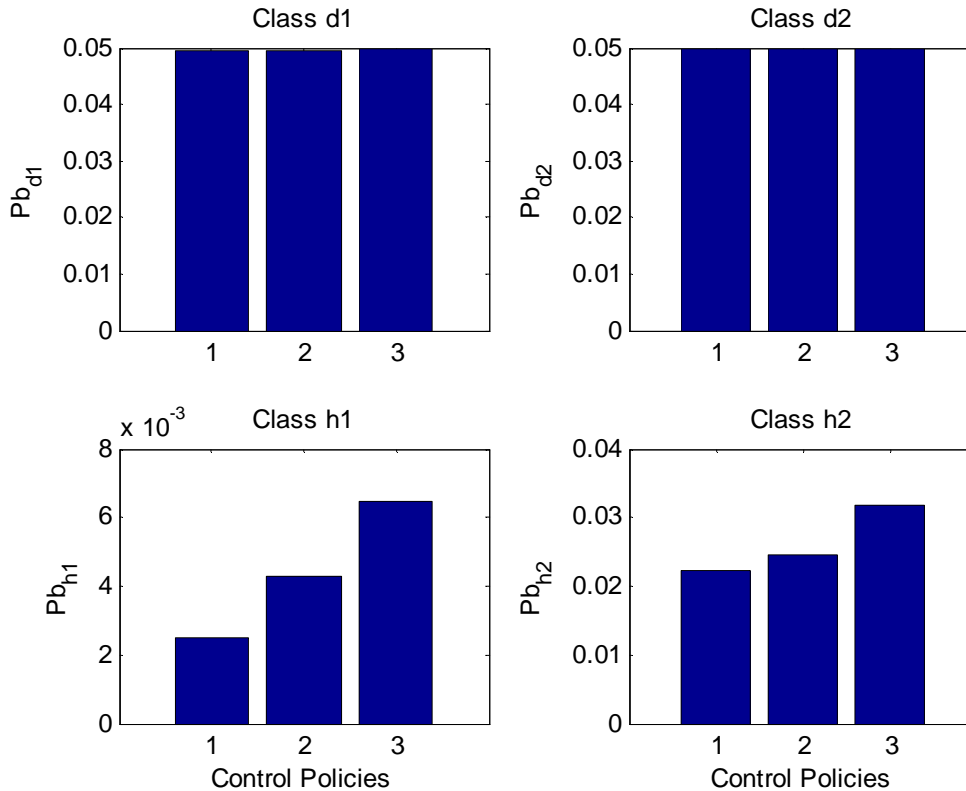
Πίνακας 8.1 Πιθανότητες απώλειας κλήσεων για το παράδειγμα 8.1 (απλή δέσμευση εύρους ζώνης).

Στην συνέχεια εφαρμόζονται οι πολιτικές ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης και ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων με τέτοιες παραμέτρους έτσι ώστε οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων για τις απευθείας κλήσεις να διατηρηθεί σταθερή

Μοντέλο	απλής δέσμευσης εύρους ζώνης	ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης	ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων
λ	$\lambda_{d1}=\lambda_{h1}=11, \lambda_{d2}=\lambda_{h2}=4$		
μ	$\mu_{d1}=\mu_{h2}=\mu_{h1}=\mu_{h2}=1$		
b	$b_{d1}=b_{h1}=1, b_{d2}=b_{h2}=4$		
C	75		
$t(d1)$	5	8	-
$t(d2)$	2	5	-
$T(d1)$	-	-	60
$T(d2)$	-	-	45
w_{d1}	-	0.501	0.445
w_{d2}	-	0.640	0.724
Πειραματικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων			
Pb_{d1}	0.049465	0.049642	0.049823
Pb_{d2}	0.049717	0.049869	0.049749
Pb_{h1}	0.002508	0.004286	0.006487
Pb_{h2}	0.022271	0.024608	0.031749
Θεωρητικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων			
Pb_{d1}	0.047841	0.048883	0.049661
Pb_{d2}	0.047841	0.049429	0.049769
Pb_{h1}	0.002800	0.004617	0.006452
Pb_{h2}	0.023852	0.024737	0.031763
Διάγραμμα			
	CP 1	CP 2	CP 3

Πίνακας 8.2 Πιθανότητες απώλειας για τις 3 πολιτικές δέσμευσης εύρους ζώνης

Οι πειραματικές πιθανότητες απώλειας κλήσεων παρουσιάζονται γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 8.1 Πιθανότητες απώλειας κλήσεων (παράδειγμα 8.1)
 (CPA = απλή δέσμευση εύρους ζώνης, CPB= ελαστική δέσμευση εύρους ζώνης CPC= δέσμευση εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων)

Αναλύοντας το παραπάνω διάγραμμα, το μοντέλο απλής δέσμευσης εύρους ζώνης δίνει μικρότερες πιθανότητες απώλειας κλήσεων. Ακολουθεί το μοντέλο ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης και τέλος το μοντέλο ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων δίνει τις μεγαλύτερες πιθανότητες απώλειας κλήσεων.

8.2. Άλλα χαρακτηριστικά των πολιτικών διάθεσης

Εάν το μοναδικό κριτήριο για την εφαρμογή μιας πολιτικής διάθεσης καναλιών είναι οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων τότε σύμφωνα με το παράδειγμα 8.1 η πολιτική απλής δέσμευσης εύρους ζώνης υπερτερεί σε σχέση με τις πολιτικές διάθεσης που αναλύονται στα κεφάλαια 4.3 και 4.4. Όμως ως κριτήριο για την χρησιμοποίηση κάποιας πολιτικής θα μπορούσαν να είναι η ικανότητα διαχείρισης – παραμετροποίησης του συστήματος (μεταβολής των πιθανοτήτων απώλειας κλήσεων) ή ο τρόπος που μεταβάλλονται οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων όταν μεταβάλλεται το φορτίο κίνησης.

Για παράδειγμα, η πολιτική πλήρους διάθεσης εύρους ζώνης δεν παρέχει καμία δυνατότητα διαχείρισης, καθώς η μόνη παράμετρος διαχείρισης είναι ο αριθμός των καναλιών του συστήματος. Σε κυψελωτά συστήματα οι πιθανότητες απώλειας νέων κλήσεων είναι ίδιες με τις πιθανότητες ξαφνικής απώλειας ενεργών κλήσεων (παράδειγματα του κεφαλαίου 5.2 και 7.2). Έτσι για να μειωθούν οι πιθανότητες ξαφνικής απώλειας ενεργών κλήσεων πρέπει να αυξηθεί αρκετά ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών.

Ένα σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται πολιτική απλής δέσμευσης εύρους ζώνης μπορεί να παραμετροποιηθεί από την παράμετρο t . Ωστόσο η παράμετρος αυτή δηλώνει ακέραιες μονάδες δέσμευσης καναλιών, και έτσι οι μεταβολές στις πιθανότητες απώλειας κλήσεων μπορεί να γίνουν μόνο σε βήματα τιμών. Τόσο τα παραδείγματα 5.3.4 και 7.2.4 δηλώνουν ότι η αλλαγή στις πιθανότητες είναι αρκετά μεγάλη, ακόμα και όταν η παράμετρος t μεταβληθεί κατά μία μονάδα. Συνεπώς η πολιτική απλής δέσμευσης εύρους ζώνης περιέχει περιορισμένη ικανότητα διαχείρισης σε αντίθεση με τις πολιτικές ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης, και ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης με κριτήριο τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων, όπου υπάρχει επιπροσθέτως η παράμετρος w . Η παράμετρος αυτή μπορεί να πάρει μια οποιαδήποτε πραγματική τιμή μεταξύ 0 και 1 προσφέροντας πολύ μεγάλες δυνατότητες παραμετροποίησης.

Στα συστήματα τηλεπικοινωνιών οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων μελετώνται κατά την ώρα αιχμής, όπου παρουσιάζουν μέγιστη τιμή. Είναι ευνόητο ότι σε ένα πραγματικό σύστημα το φορτίο κίνησης μεταβάλλεται. Η κάθε πολιτική διάθεσης καναλιών διαχειρίζεται διαφορετικά τις αλλαγές αυτές. (παράδειγμα 5.2.3 5.3.3 και 5.4.4.)

Επίσης μια άλλη παράμετρος η οποία θα μπορούσε να καθορίσει την επιλογή της πολιτικής διάθεσης καναλιών σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα πολλών κυψελών είναι και οι μεταβολές στην κινητικότητα των κινητών σταθμών. Τα παραδείγματα 7.1.1 7.2.1, 7.3.1 και 7.4.1 δείχνουν τις διαφορές αυτές.

Σε ένα πραγματικό σύστημα είναι δύσκολο να αποφασιστεί ποια από τις πολιτικές διάθεσης εύρους ζώνης που μελετήσαμε πλεονεκτεί, αφού κάθε μία προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα.

8.3. Ανάγκη για περαιτέρω μελέτη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν μόνο 4 βασικές πολιτικές διάθεσης εύρους ζώνης στην απλούστερη τους μορφή. Θα μπορούσε να μελετηθεί εάν ο συνδυασμός των παραπάνω πολιτικών προσφέρει πλεονεκτήματα σε ένα σύστημα. Ακόμα, οι πολιτικές διάθεσης των κεφαλαίων 4.3 και 4.4 θα μπορούσαν να επεκταθούν σε μια πολιτική από πολλαπλά κατώφλια t και πιθανότητες διάθεσης w [6].

Μια καλή ιδέα για μελέτη είναι η επέκταση της παρούσας εργασίας σε συστήματα με ουρές αναμονής, εναλλακτικής δρομολόγησης, ή ελαστικής απαίτησης εύρους ζώνης [1].

Επαναλαμβάνουμε από το κεφάλαιο 6, ότι τα συστήματα πολλαπλών κυψελών που μελετήσαμε έχουν μεταπομπές τύπου Hard Handoff, οπότε η μελέτη θα μπορούσε να επεκταθεί σε δίκτυα Multilayer Handoff.

9. Παράρτημα

I. Παράρτημα 1: κώδικας Matlab για τον θεωρητικό υπολογισμό των πολιτικών διάθεσης που περιγράφονται στα κεφάλαια 4.1, 4.2 και 4.3

Ακολουθεί ο κώδικας για τον θεωρητικό υπολογισμό των συστημάτων πλήρους διάθεσης εύρους ζώνης, απλής δέσμευσης εύρους ζώνης και ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται βάση των τύπων 4.1 , 4.4 και 4.8 ανάλογα με τις μεταβλητές εισόδου.

Για την υλοποίηση του τύπου 4.1 οι μεταβλητές εισόδου για το r και t είναι 0

Για την υλοποίηση του 4.4 η μεταβλητή t είναι 0

Για την υλοποίηση του 4.8 η μεταβλητή w είναι 0.

```
function Prtheorit = theoritem
(lambda,mi,Noofservers,bandpc,bwtoreserve,propreserve,filename,res)
fprintf ('-----THEORIT-----\n');

a= lambda ./ mi;
C=Noofservers;
b= bandpc;
r=res;
K = size(a,2);
t=bwtoreserve;
w=propreserve;
```

Στο πρώτο μέρος του κώδικα γίνεται η αντιστοίχιση των μεταβλητών. Η μεταβλητή K περιγράφει τον αριθμό των κατηγοριών κίνησης στο σύστημα, η μεταβλητή r την δέσμευση εύρους ζώνης χωρίς την πιθανότητα διάθεσης, ενώ το t την δέσμευση εύρους ζώνης με πιθανότητα διάθεσης w . Οι μεταβλητές αυτές είναι πίνακες μιας γραμμής και τόσων στοιχείων όσες και οι κατηγορίες του συστήματος. Για παράδειγμα η μεταβλητή λ για το παράδειγμα 5.4.2 έχει την μορφή $\lambda = [30 \ 7.5 \ 3]$. Εάν οι μεταβλητή αυτή δεν ορίζεται στην αντίστοιχη πολιτική διάθεσης πρέπει να έχει την τιμή 0. Για παράδειγμα στην απλή δέσμευση εύρους ζώνης η μεταβλητή w δεν ορίζεται, έτσι πρέπει να έχει την τιμή 0. Τέλος πρέπει να δοθεί προσοχή στο ότι

τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο αρχείο με όνομα ίδιο με αυτό που περιέχει η μεταβλητή filename.

```

for j=1:C
    mersynolo =0;
    for i = 1:K

        if ((j-b(i))== 0)

```

Επειδή το Matlab δεν δέχεται σαν όρισμα πίνακα το 0, δεν μπορεί να γραφτεί το D(0). Αντί για το D(0) θα ονομάσουμε μια νέα μεταβλητή, το D0.

```

        if (j<=C-r(i)-t(i))
            D0=b(i);
        elseif(j<=C-r(i))
            D0=w(i)*b(i);
        else
            D0=0;
        end

        mersynolo = mersynolo + a(i)*D0;

```

Εδώ υπολογίζεται το άθροισμα του τύπου 4.4 για την περίπτωση που $j-b(i)=0$. Η τιμή της μεταβλητής mersynolo υπολογίζει σταδιακά το άθροισμα

$$\sum_{i=1}^K a_i D_i(j-b_i) q(j-b_i)$$

```

        elseif ((j-b(i))<0)

            mersynolo = mersynolo;

```

Το $D_i(\chi)$ για αρνητικές τιμές του χ είναι 0. Έτσι το άθροισμα $\sum_{i=1}^K a_i D_i(j-b_i) q(j-b_i)$ δεν θα αυξηθεί στην περίπτωση αυτή.

```

else % if ((j-b(i))<=C)

    if (j<=C-r(i)-t(i))
        D(j-b(i))=b(i); %1
    elseif(j<=C-r(i))
        D(j-b(i))=w(i)*b(i); %2
    else
        D(j-b(i))=0; %3
    end
    mersynolo = mersynolo + a(i)*D(j-b(i))*q(j-b(i));

```

Για τις υπόλοιπες τιμές προσθέτουμε τον όρο $\sum_{i=1}^K a_i D_i(j-b_i)q(j-b_i)$

Ο κώδικας έχει γραφτεί έτσι ώστε να δίνει αποτελέσματα τόσο με το μοντέλο της παραγράφου 4.1 , 4.2 όσο και με αυτό της 4.3. Για την πολιτική πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης οι παράμετροι r και t είναι 0. Έτσι στην παραπάνω συνθήκη εκτελούνται οι εντολές του if (j<=C-r(i)-t(i)) και του else. Με αυτές τις εντολές και με το r=t=0 ο τύπος που υλοποιείται είναι ο 4.1 της παραγράφου 4.1 Για την πολιτική δέσμευσης εύρους ζώνης εκτελούνται πάλι οι εντολές του %1 και του %3 με το t να είναι μηδέν, και το r διάφορο του μηδέν. Με αυτές τις συνθήκες υλοποιείται ο τύπος 4.4 της παραγράφου 4.2. Τέλος, στην πολιτική ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης υλοποιούνται και οι τρεις εντολές, %1, %2, και %3, υλοποιείται έτσι ο τύπος 4.8 της παραγράφου 4.3.

```

    end

end
q(j)= mersynolo /j;
end
G = 1+ sum (q);

```

Ο αριθμός 1 δηλώνει το q(0). Το G περιέχει το άθροισμα των q(j)

```

qq = q / G
;
Ο αριθμός qq φανερώνει την κανονικοποιημένη τιμή της μεταβλητής q
for k = 1 : K
    mersun = 0;

```

```

for j = C - r(k) - b(k)-t(k)+1 :C
    if (j>0)
        if (j>C - r(k) - b(k))
            mersun = mersun + qq(j);
        else
            mersun = mersun + qq(j)*(1-w(k));
        end
    end

```

Το mersun υπολογίζει το άθροισμα των qq που θα δώσουν την πιθανότητα απώλειας. Ανάλογα με την τιμή των r , t, υλοποιούνται οι τύποι 4.2 4.6 και 4.10

```

end
end

```

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις τιμές του k. Στο τέλος, η τιμή του mersun περιέχει την τιμή της πιθανότητας απώλειας. Η τιμή αυτή θα αποθηκευτεί στον πίνακα pb:

```

pb(k)=mersun;
end
meanchanoccup=sum((1-pb).*b .* a) ;
Υπολογίζεται η μέση τιμή κατάληψης καναλιών
qq0=1/G ;
for i = 1 : size(qq,2)
    theo_q(i+1) = qq(i);
end

```

Υπολογίζεται η κανονικοποιημένη τιμή του q(0). Αποθηκεύονται όλες κανονικοποιημένες τιμές του q στον πίνακα theo_q έτσι ώστε το πρώτο στοιχείο του πίνακα theo_q(1) να αντιστοιχεί στην τιμή q(0).

```

theo_q(1)=qq0;
save(filename,'pb','theo_q','meanchanoccup','-append')
Prtheorit=1;

```

Αποθηκεύονται οι τιμές στο αρχείο που έχουμε επιλέξει, και επιστρέφεται η τιμή 1

II. Παράρτημα 2: κώδικας Matlab για τον θεωρητικό υπολογισμό της πολιτικής διάθεσης που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.4

```
function Prtheorit = theoritsh  
(lambda,mi,Noofservers,bandpc,bwtoreserve,propreserve,filename,res)  
alfa= lambda ./ mi;  
C=Noofservers;  
b= bandpc;  
r=res;  
n = alfa*0;
```

Η μεταβλητή α περιέχει τόσα στοιχεία όσες και οι κατηγορίες (κλάσεις) των κλήσεων. Αρχικοποιείται σε τιμή 0. Για ένα σύστημα 3^{ov} κλάσεων έχει την τιμή $n=[0 \ 0 \ 0]$. Σε κάθε κύκλο του προγράμματος θα έχει μια νέα τιμή, έτσι ώστε στο τέλος να υπολογιστούν όλες οι δυνατές περιπτώσεις για τις κλήσεις στο σύστημα.

```
t=bwtoreserve;  
w=propreserve  
Γίνεται ανάθεση τιμών  
  
fprintf(' Starting ... ')  
entry = 0;  
sthlhchange =1;  
finish=0;  
i=0;  
  
temp = alfa/alfa  
temp=temp*C  
maxp = ceil(temp./b)  
  
olpbol=n;  
olpbri=n;
```

Αρχικοποιούνται οι πίνακες `olrbol` και `okrbri` στην τιμή 0. Ο πίνακας `olrbol` φανερώνει το άθροισμα των πιθανοτήτων για τις καταστάσεις θ_k ενώ ο πίνακας `okrbri` το άθροισμα των πιθανοτήτων για τις καταστάσεις θ_k^+

```
theo_q(C+1,1)=0;

sum_qg=0;
show = 0;
metrsh=0;
classfull = 0;

for x = 0 : C
    factorp(x+1)=factorial(x);
    for ct = 1 : size(b,2)
        alfa_na(ct ,x+1) = alfa(ct)^(x);
        alfa_w_na(ct ,x+1) = (alfa(ct)*w(ct))^(x);
    end
end
```

Για να επιταχυνθεί το πρόγραμμα του υπολογισμού υπολογίζονται οι τιμές a^n , $(aw)^n$ και αποθηκεύονται στους πίνακες `alfa_na` και `alfa_w_na`. Ο υπολογισμός γίνεται για όλες τις κλάσεις του συστήματος και όλες τις δυνατές περιπτώσεις.

```
while (finish==0)
```

Ο παρακάτω κώδικας εκτελείται μέχρι να εξεταστούν όλες οι δυνατές καταστάσεις του συστήματος. Τότε η τιμή του `finish` θα γίνει 0 και ο κώδικας θα τερματίσει .

```
bandwidth(1,:)=n(1,:).*b;
if (sum(bandwidth(1,:),2)<=C)
```

Εάν η τιμή του a ανήκει στο σύνολο των καταστάσεων του συστήματος n , δηλαδή τα κανάλια που απαιτούνται για την κατάσταση του n είναι λιγότερα ή ίσα με το C τότε θα υπολογιστούν οι πιθανότητες των καταστάσεων $q(n)$

```
metrsh = metrsh + 1;
if (metrsh == 10000)
    metrsh = 0;
```

```

maxp
n
end

```

Κάθε 10000 υπολογισμούς για το $q(j)$ τυπώνεται στην οθόνη η κατάσταση του πίνακα a . Ο πίνακας αυτός φανερώνει τον αριθμό των κλήσεων κάθε κατηγορίας στο σύστημα. Όταν η τιμή αυτή ξεπεράσει την τιμή $maxp$ τότε το πρόγραμμα έχει υπολογίσει όλες τις δυνατές καταστάσεις του συστήματος

```

i=i+1;
nb(1,:)=bandwidth(1,:);
na(1,:)=n(1,:);

```

Η τιμή του nb δηλώνει τα κανάλια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσεων και η τιμή na , τον αριθμό των κλήσεων για την τρέχουσα κατάσταση.

```

pil=1;
for s = 1:size(b,2)

    if nb(s) > C-t(s)
        pil = pil * (alfa_w_na(s,1+na(1,s))-floor((C-
t(s))/b(s)))* (alfa_na(s,1+floor((C-t(s))/b(s))) )/factorp(1+na(1,s));%com-
ment out = formula VIII.1
        % %pil = pil * (alfa_w_na(s,1+na(1,s)) )/factorp(1+na(1,s));%co
ment out = formula 4.20
    else
        pil = pil * (alfa_na(s,1+na(1,s)) )/factorp(1+na(1,s));
    end
end
end

```

Εδώ υπολογίζεται η τιμή $\prod_{k=1}^K \frac{\phi_k}{n_k!}$. Η τιμή του ϕ δίνεται από τον τύπο 4.21. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στην τιμή pil (δηλώνει το $P(n)$). Για τον υπολογισμό του

τύπου VIII.1 αρκεί να αλλάξουμε τον υπολογισμό την εντολή υπολογισμού του pil

σύμφωνα με τα σχόλια του κώδικα. Η τιμή $a_k^{n_k} w_k^{n_k - \left\lfloor \frac{C-T(k)}{b_k} \right\rfloor}$ υπολογίζεται ως

$$a_k^{n_k} w_k^{n_k - \left\lfloor \frac{C-T(k)}{b_k} \right\rfloor} = (a_k w_k)^{n_k - \left\lfloor \frac{C-T(k)}{b_k} \right\rfloor} \cdot a_k^{\left(\left\lfloor \frac{C-T(k)}{b_k} \right\rfloor \right)}$$

```
qg(1,1)=pil;
```

```
sum_qg = sum_qg + qg;
```

το sum_qg υπολογίζει το G σύμφωνα με τον τύπο 4.22

```
btap = b + sum(nb(1,:),2);
```

```
sap(1,:)=(btap>C);
```

```
btpi = b + t + nb(1,:);
```

```
spi(1,:) = ((btpi>C).*(btap<=C));
```

η μεταβλητή sap δηλώνει την κατάσταση θ_k ενώ η spi την κατάσταση θ_k^+

```
pbol(1,:)=qg(1,1)*sap(1,:);
```

```
pbri(1,:)=qg(1,1)*spi(1,:);
```

```
olpbol(1,:)=olpbol(1,:)+pbol(1,:);
```

```
olpbri(1,:)=olpbri(1,:)+pbri(1,:).*(1-w);
```

οι μεταβλητές olpbol και olpbri περιέχουν το άθροισμα των τιμών $\prod_{k=1}^K \frac{\phi_k}{n_k!}$ και

$\prod_{k=1}^K \frac{\phi_k}{n_k!} (1 - w_k)$. Εάν οι κατάσταση n που εξετάζεται δεν ανήκει στις καταστάσεις θ_k και θ_k^+ οι τιμές pbol ή pbri είναι 0.

```
theo_q(sum(nb(1,:),2)+1)=theo_q(sum(nb(1,:),2)+1)+qg(1,1);
```

η μεταβλητή theo_q(j+1) δηλώνει το ποσοστό q(j)

```
if (i<100)
```

```
fprintf('\n')
```

```

for cc = 1 : size(b,2)
    fprintf('\t%d',nb(1,cc))
end
fprintf('\t%f ',qg(1,1))
for cc = 1 : size(b,2)
    fprintf('\t%d',sap(1,cc))
end
for cc = 1 : size(b,2)
    fprintf('\t%d',spi(1,cc))
end
end
end

```

για τους 100 πρώτους κύκλους υπολογισμών τυπώνεται στην οθόνη η κατάσταση n , η τιμή της πιθανότητας εμφάνισης $P(n)$, καθώς επίσης και η επιμέρους πιθανότητες sap και spi .

```
classfull = 0;
```

Το σύστημα συνάντησε μια αποδεκτή κατάσταση n και υπολόγισε τις αντίστοιχες πιθανότητες.

```

else
    classfull = classfull +1;
    for classcomp = 0:size(a,2)-1
        if (classfull>classcomp)
            n (size(n,2)-classcomp)=maxp(size(n,2)-classcomp);
        end
    end
end
end
end

```

Η λειτουργία των εντολών αυτών θα εξηγηθεί αργότερα. Θα γίνει αναφορά σε αυτές ως **εντολές επιτάχυνσης**.

```

pointer = size(n,2);
n(pointer)=n(pointer)+1;

while ((n(pointer)>maxp(pointer))*(finish==0))

```



```

if (pointer>1)
    n(pointer)=0;
    n(pointer-1)=n(pointer-1)+1;
    pointer = pointer-1;
else
    maxp=maxp*0;
    finish=1;
end
end

```

Ο κώδικας υπολογισμού των καταστάσεων έχει την λογική ενός απαριθμητή μεταβλητής βάσης. Στον κώδικα που ακολουθεί επιλέγεται πρώτα το δεξιότερο στοιχείο του n , το οποίο αυξάνεται σε κάθε κύκλο κατά 1. Εάν ο αριθμός αυτός φτάσει στην μέγιστη τιμή ($\max p$ (δεξιότερου στοιχείου)) τότε ο αριθμός αυτός μηδενίζεται, ενώ ταυτόχρονα προστίθεται η μονάδα (κρατούμενο) στο δεύτερο από δεξιά στοιχείο του πίνακα n . Τέλος ελέγχονται όλες οι κλάσεις (στοιχεία του n) για υπερχειλίση.

Όταν υπάρξει υπερχειλίση του πρώτου στοιχείου τότε ο κύκλος υπολογισμού τελειώνει.

Για να βελτιωθεί ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος έχουμε προσθέσει τις **εντολές επιτάχυνσης**. Η λογική τους στηρίζεται στο γεγονός ότι εάν μια κατάσταση του συστήματος π.χ $n=[2\ 3\ 4]$ δεν είναι αποδεκτή στο σύστημα λόγω έλλειψης καναλιών (δεν ανήκει στο Ω), τότε ούτε η επόμενη αύξουσα κατάσταση $n = [2\ 3\ 5]$ θα ανήκει στο Ω . Χωρίς τις εντολές επιτάχυνσης θα ελέγχονταν όλες οι καταστάσεις $[2\ 3\ 6]$, $[2\ 3\ 7]$, $[2\ 3\ 8]$, ... $[2\ 3\ 15]$, $[2\ 4\ 0]$... για το εάν ανήκουν στο Ω (υπάρχουν αρκετά κανάλια για να εξυπηρετήσουν την κλήση). Τώρα όμως με τις εντολές επιτάχυνσης παραλείπονται οι καταστάσεις μεταξύ των $[2\ 3\ 4]$ και $[2\ 4\ 0]$ ως εξής: Οι εντολές επιτάχυνσης θα βάλουν την αντίστοιχη $\max p(3)$ τιμή στο $n(3)$. Το n θα γίνει $n = [2\ 3\ 15]$ και έτσι οι εντολές του προγράμματος θα το μετατρέψουν σε $n = [2\ 4\ 0]$. Αν η κατάσταση αυτή ακόμα δεν είναι αποδεκτή, οι εντολές επιτάχυνσης θα δράσουν στο επόμενο στοιχείο $n = [2\ 15\ 0] \rightarrow n = [3\ 0\ 0]$.

```

end
PBLO =(olpbol+olpbpi)/ sum_qg;
theo_q=theo_q / sum_qg;

```

Υπολογίζεται η πιθανότητα απώλειας κλήσεων καθώς και η θεωρητική τιμή των $q(j)$

```
pb=PBLO;
```

```

meanchanoccup=sum((1-pb).*b .* alfa)
save(filename,'pb','theo_q','meanchanoccup','-append')
Prtheorit=1;

```

Τέλος οι τιμές αποθηκεύονται στο αντίστοιχο αρχείο.

III. Παράρτημα 3: κώδικας Matlab για τον πειραματικό υπολογισμό των μοντέλων που περιγράφονται στις παραγράφους 4.1 , 4.2 και 4.3

```

function Prpeir = peiramatem
(lambda,mi,emucals,Noofservers,rskip,bandpc,bwtoreserve,propreserve,filename,res)
% SYNARTISH GIA TON PEIRAMATIKO YPOLOGISMO
fprintf ('-----SIMULATION-----\n');

```

Η συνάρτηση «peiramatem» προσομοιώνει τα μοντέλα διάθεσης εύρους ζώνης που περιγράφονται στα κεφάλαια 4.1 , 4.2 και 4.3. Η διαφοροποίηση για το μοντέλο που θα προσομοιωθεί γίνεται από τις μεταβλητές εισόδου οι οποίες είναι:

lambda = πίνακας με την παράμετρο λ όλων των κατηγοριών κλήσης

mi = πίνακας με την παράμετρο μ

emucals = ο αριθμός των κλήσεων που θα φτάσουν στο σύστημα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης

Noofservers = Ο αριθμός των καναλιών του συστήματος που προσομοιώνεται

rskip = ο αριθμός των κλήσεων για τις οποίες δεν θα γίνονται μετρήσεις, έτσι ώστε το σύστημα να φτάσει σε ισορροπία

bandpc = πίνακας με το εύρος ζώνης της κάθε κατηγορίας κλήσεων

bwtoreserve = πίνακας με την μεταβλητή δέσμευση εύρους ζώνης για την οποία θα γίνει παρακράτηση με πιθανότητα w

propreserve = πίνακας με τις πιθανότητες δέσμευσης w

filename = το όνομα του αρχείου όπου θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα

res = πίνακας με την μεταβλητή δέσμευσης εύρους ζώνης για την οποία θα γίνει παρακράτηση χωρίς πιθανότητα (σύστημα παραγράφου 4.2)

Η συνάρτηση fprintf τυπώνει στην οθόνη την λέξη «EMULATION»

```

% START OF GENERATOR-----
call_id = 1;

```

```

thistime=0;
i = 0;
i_class = 0;
r=floor(emucals/sum(lambda));
rel_time_temp(floor(sum(lambda*r,2)*1.4),1)=1;
timeonsys(floor(max(lambda*r,2)*1.2),1)=1;
iend=0;

```

Αρχικά γίνεται η αρχικοποίηση κάποιων μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές φανερώνουν :

Call_id = αύξοντα αριθμό κλήσης που φτάνει στο σύστημα

thistime= τρέχον χρόνο προσομοίωσης

i_class= αύξοντα αριθμό κλήσης για μία κατηγορία κλήσεων

r = ο χρόνος που θα διαρκέσει η προσομοίωση

rel_time_temp= Ορίζεται ένας προσωρινός πίνακας ως «πίνακας χρόνου που θα παραμείνει η κλήση στο σύστημα», με διάσταση τέτοια ώστε να χωρέσουν όλες οι κλήσεις.

Αξιοσημείωτο είναι ότι στο Matlab δεν χρειάζεται να αρχικοποιηθούν οι μεταβλητές, εκτός από εκείνες που θα χρησιμοποιηθούν μέσα σε βρόγχους.

Στην συνέχεια, το πρώτο μέρος του κώδικα θα δημιουργήσει έναν πίνακα με τις εισερχόμενες κλήσεις.

```

for (class_counter = 1 : size ( lambda,2))
fprintf ('*\n*****');

lambda_class=lambda(class_counter);
mi_class=mi(class_counter);
pois_bufer=poissrnd(lambda_class,1,r+1);%%%
time_bufer = unifrnd (0 , 1 , sum(pois_bufer,2),1);
durat_bufer = exprnd (1/mi_class, sum(pois_bufer,2),1);

```

Για κάθε μία κλάση (κατηγορία κίνησης) ξεχωριστά :

Χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές λ , και μ της κλάσης δημιουργούνται δύο προσωρινοί πίνακες, ένας με κατανομή Poisson που θα φανερώνει πόσες κλήσεις φτάνουν στην μονάδα του χρόνου, και ο δεύτερος με ομοιόμορφη κατανομή για την τοποθέτηση των (pois_bufer) κλήσεων μέσα στο χρονικό διάστημα του thistime

```

thistime = 0;

```

```
i_class=0;
istart = i+1;

for thistime = 1:r

    if (rem(thistime,1000)==0)
        fprintf('\b\b\b\b\b\b\b\b\b%8d',thistime)
    end
```

Καθώς ο χρόνος μεταβάλλεται από 1 έως τον μέγιστο χρόνο προσομοίωσης θα δημιουργηθεί ένας νέος πίνακας με τους χρόνους αφίξεων των κλήσεων. Επειδή η διαδικασία για μεγάλες τιμές του r είναι χρονοβόρα, κάθε 1000 μονάδες χρόνου θα τυπώνεται η τρέχουσα ώρα (εικονική ώρα)

```
    pois = pois_bufer(thistime+1);
    if(pois>0)
        for poi = 1:pois

            i = i + 1;
            i_class = i_class + 1;
            rel_time_temp(i,1)= thistime - time_bufer(i_class,1);
            timeonsys(i-iend,class_counter) = durat_bufer(i_class,1);

        end
    end
```

Στον τρέχον χρόνο thistime αντιστοιχείται από τον προσωρινό πίνακα pois_bufer ο αριθμός των κλήσεων που θα έρθουν. Αυτές οι νέες κλήσεις θα έχουν χρόνο άφιξης ομοιόμορφα κατανεμημένο στο διάστημα (thistime -1 thistime]. Ο πίνακας rel_time_temp φανερώνει τον χρόνο άφιξης των κλήσεων

```
end

iend=i;
tospoint(class_counter)=1;
call_class(istart,1)=class_counter;
```

```
call_class=vertcat(call_class,class_counter*ones(iend-istart,1));
end
```

Όταν ενημερωθεί ο πίνακας `rel_time_temp` για την κάθε κατηγορία κλήσεων, θα κατασκευαστούν δύο ακόμα βασικοί πίνακες, ο `call_class` και ο `Timeonsystem`. Ο πίνακας `call_class` δηλώνει την κλάση στην οποία ανήκει η νέα κλήση. Αρχικά κατασκευάζεται το πρώτο στοιχείο `call_class(istart,1)` και έπειτα τόσα στοιχεία όσα το `iend-istart` (αριθμός κλήσεων αυτής της κατηγορίας). Ο πίνακας `Timeonsystem` δηλώνει το πόσο χρόνο θα παραμείνει η κάθε κλήση στο σύστημα. Ο βοηθητικός πίνακας `timeonsys` περιέχει $(i_end - i_start)$ στοιχεία κατανεμημένα εκθετικά, τα οποία θα προσαρτηθούν στον `Timeonsystem`

```
release_time(iend,1) = rel_time_temp(iend,1);
for y=1:iend
    release_time(y,1) = rel_time_temp(y,1);
end
```

Σε αυτό το σημείο ο πίνακας `rel_time_temp` περιέχει λόγω της αρχικοποίησης $1.4 \cdot iend$ στοιχεία. Από αυτά μόνο τα `iend` στοιχεία είναι ενεργά ενώ οι υπόλοιπες θέσεις έχουν το στοιχείο 0. Αρχικοποιήθηκε έτσι ώστε να είναι αρκετά μεγάλος, για να χωρέσει όλες τις κλήσεις που θα γεννηθούν αργότερα με τυχαίο τρόπο. Λόγω στατιστικής δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί το ακριβές μέγεθος του. Έτσι, τα `iend` ενεργά στοιχεία, αποθηκεύονται στον πίνακα `release_time`

```
fprintf ('arival time ok \n');
Afixi=[release_time,call_class];
```

Δημιουργείται μόνο ένας πίνακας, ο `Afixi`, ο οποίος περιέχει τόσες γραμμές όσες και οι κλήσεις. Μπορούμε έτσι να θεωρήσουμε ότι κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε μια κλήση. Οι τρεις μεταβλητές τις κλήσεις που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω είναι η ώρα εμφάνισης της κλήσης στο σύστημα, ο χρόνος που θα παραμείνει στην γραμμή, και η κατηγορία στην οποία ανήκει.

```
clear call_class
clear durat_bufer

Eiserxkliseis= sortrows (Afixi,1);% ARIVAL TIME ||CLASS
clear Afixi
% END OF GENERATOR -----
```

```
fprintf ('generator ok \n -----');
```

Ο πίνακας Afixi ταξινομείται ως προς τον χρόνο άφιξης κλήσεων κατά αύξουσα σειρά, αποθηκεύεται στον πίνακα Eiserxkliseis και διαγράφονται όλες οι βοηθητικές μεταβλητές οι οποίες δεν θα χρειαστούν.

```
% START OF SIMULATION
```

```
statusofservers=0.001+zeros (Noofservers, 1) ;  
calls_class_blc(1:class_counter)=0;  
pulsehigh(1:Noofservers+1)=0;  
sumoffreeserv = 0;
```

Αρχικοποιούνται οι μεταβλητές για την προσομοίωση
statusofservers = πίνακας τόσων στοιχείων όσων και τα κανάλια. Η μεταβλητή του πίνακα δηλώνει την ώρα που θα ελευθερωθεί το κανάλι. Κάθε κλήση που θα μπαίνει στο σύστημα, θα δηλώνει σε ένα ή περισσότερα κανάλια την ώρα που θα τα ελευθερώσει.

calls_class_blc = πίνακας κλήσεων ανά κατηγορία που δεν κατάφεραν να εξυπηρετηθούν

pulsehigh = πίνακας που το κάθε ν-στοιχείο δηλώνει πόσες φορές είχαμε ν κανάλια ελεύθερα.

sumoffreeserv = το σύνολο των ελεύθερων καναλιών

```
for i = 1 : 1 : size (release_time,1)% gia olles tis kliseis  
    curenttime =0.00+ Eiserxkliseis(i,1);% pare mia klish
```

Για όλες τις κλήσεις οι οποίες θα έρθουν στο σύστημα:

Επιλέγετε μια κλήση και εστιάζεται η ώρα άφιξης (curenttime). Αυτή είναι και η τρέχουσα ώρα της προσομοίωσης

```
serversfree=0;  
    for j = 1 : 1 : Noofservers %metra posoi server einai free  
        if (curenttime >= statusofservers(j))  
            serversfree = serversfree + 1;  
        end  
    end
```

Μέσα σε έναν διπλό βρόγχο ελέγχεται αν το κάθε κανάλι είναι ελεύθερο, συγκρίνοντας τον χρόνο ελευθέρωσης του (statusofservers(καναλιού)) με την τρέχουσα ώρα (curenttime). Ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών κρατείται στην μεταβλητή serversfree

```
if(i>=rskip)
    sumoffreeserv = sumoffreeserv + Noofservers-serversfree;
end
```

Εάν το σύστημα έχει ισορροπήσει, μετράμε το σύνολο των καταλυμένων καναλιών

```
if ( serversfree >=
bandpc(Eiserxkliseis(i,2))+res(Eiserxkliseis(i,2))+(floor(1-
propreserve(Eiserxkliseis(i,2))+rand))*bwtoreserve(Eiserxkliseis(i,2)))
```

Ο παραπάνω κώδικας είναι το σημαντικότερο μέρος του προγράμματος προσομοίωσης. Είναι αυτός που αποφασίζει αν η κλήση γίνει δεκτή στο σύστημα. Για λόγους ταχύτητας επιλέχθηκε να υλοποιηθεί με μία μόνο συνθήκη ελέγχου και μαθηματικές πράξεις. Επίσης σε αυτό το σημείο του κώδικα γίνεται η διαφοροποίηση στην προσομοίωση για την πολιτική διάθεσης εύρους ζώνης.

Για το σύστημα πλήρους διάθεσης του εύρους ζώνης ότι τιμές των πινάκων res και bwtoreserve είναι 0. Έτσι η παραπάνω συνθήκη έχει την μορφή

```
if ( serversfree >= bandpc(Eiserxkliseis(i,2)) ή διαφορετικά
if ( serversfree >= bandpc(κλάσης)
```

δηλαδή εάν το σύστημα διαθέτει περισσότερα (ή ίσα) ελεύθερα κανάλια από αυτά που ζητάει η εισερχόμενη κλήση τότε θα γίνει δεκτή στο σύστημα

Για το σύστημα απλής δέσμευσης εύρους ζώνης η τιμή res έχει τιμές διαφορετικές του 0 , έτσι η παραπάνω συνθήκη γίνεται:

```
if ( serversfree >= bandpc(Eiserxkliseis(i,2))+res(Eiserxkliseis(i,2))
if ( serversfree >= bandpc(κλάσης)+res(κλάσης)
```

Διαφορετικά η κλήση γίνεται δεκτή μόνο εάν υπάρχουν (r+b) ελεύθερα κανάλια.

Για το σύστημα ελαστικής δέσμευσης εύρους ζώνης η μεταβλητή bwtoreserve(κλάση) δεν είναι 0. Ο παραπάνω τύπος έχει τις παρακάτω 2 μορφές:

Μορφή A:

```
if ( serversfree >= bandpc(Eiserxkliseis(i,2))+bwtoreserve(Eiserxkliseis(i,2)))
```

Μορφή B:

```
if ( serversfree >= bandpc(Eiserxkliseis(i,2))
```

Η τιμή

($\text{floor}(1 - \text{propreserve}(\text{Eiserxkliseis}(i,2)) + \text{rand}))$) καθορίζει την μορφή του τύπου που θα χρησιμοποιηθεί, (A ή B) παίρνοντας τις τιμές 1 ή 0 . Θα μπορούσε να αναλυθεί όπως παρακάτω:

```
EAN (1-propreserve(Eiserxkliseis(i,2))+rand) >=1 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ ΤΟΝ Α
```

```
EAN (rand -propreserve(Eiserxkliseis(i,2)))>=0 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ ΤΟΝ Α
```

```
EAN (rand >=propreserve(Eiserxkliseis(i,2))) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ ΤΟΝ Α
```

```
EAN (rand >= w (κλάσης)) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ ΤΟΝ Α
```

Η συνάρτηση rand δίνει ομοιόμορφα κατανομημένες τιμές στο διάστημα (0 1). Έτσι για τιμές του $w = 1$ θα χρησιμοποιείται μόνο η μορφή B έτσι δεν θα έχουμε ποτέ δέσμευση εύρους ζώνης, άσχετα με την μεταβλητή t.

Μια διαφορετική υλοποίηση του παραπάνω κώδικα έτσι ώστε να έχει την ίδια λειτουργία αλλά μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης είναι η παρακάτω.

```
% if (propreserve(Eiserxkliseis(i,2))<=rand)
%     keepmore=bwtoreserve(Eiserxkliseis(i,2));
% else
%     keepmore=0;
% end
%if ( serversfree >=
bandpc(Eiserxkliseis(i,2))+res(Eiserxkliseis(i,2))+keepmore)
```

Ο παραπάνω κώδικας δεν χρησιμοποιείται.

```
servtores = bandpc(Eiserxkliseis(i,2));
t_res=timeonsys(tospoint(Eiserxkliseis(i,2)),Eiserxkliseis(i,2));
tospoint(Eiserxkliseis(i,2))=tospoint(Eiserxkliseis(i,2))+1;
```

Η μεταβλητή servtores δηλώνει πόσα κανάλια πρέπει να δεσμεύσει η νέα κλήση. Η tospoint είναι ένας δείκτης για το ποιο στοιχείο από τον εκθετικό πίνακα θα πάρουμε σαν επόμενη τιμή.

Στην συνέχεια δεσμεύονται τα κανάλια

```
for j = 1 : 1 : Noofservers;
```


Εάν το σύστημα είναι σε ισορροπία, ανεξάρτητα από το εάν η κλήση εξυπηρετήθηκε ή όχι αυξάνουμε την τιμή του v -οστού στοιχείου του πίνακα pulsehigh,. Το v δηλώνει αριθμό των ελεύθερων καναλιών ($v = \text{serversfree} + 1$)

Το end που ακολουθεί δηλώνει ότι η παραπάνω διαδικασία, επιλογής μιας νέας κλήσης, ο έλεγχος και η πιθανή διαδικασία εισαγωγής της στο σύστημα πρέπει να γίνει για όλες τις κλήσεις. Επειδή ο αριθμός των κλήσεων μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος ανά 100000 κλήσεις τυπώνεται στην οθόνη ο αριθμός των κλήσεων που επεξεργάστηκαν

```
end

% -----start analysis-----
calls_per_class(1:size ( lambda,2))=0;
for i = rskip : 1 : size (Eiserxkliseis,1)
    calls_per_class(Eiserxkliseis(i,2))=calls_per_class(Eiserxkliseis(i,2))+1;
end
calls_per_class=calls_per_class
total_calls=sum(pulsehigh,2)
pulsehigh=pulsehigh./sum(pulsehigh,2) ;
```

Στην συνέχεια, μετρούνται από τον αρχικό πίνακα «Eiserxkliseis» πόσες κλήσεις ανά κατηγορία έφτασαν στο σύστημα (από την στιγμή που το σύστημα βρέθηκε στην ισορροπία έως το τέλος της προσομοίωσης). Τυπώνεται ο αριθμός αυτός, καθώς και ο ακριβής αριθμός των κλήσεων που προσομοιώθηκαν. Στο τέλος ο πίνακας pulsehigh κανονικοποιείται. Οι αριθμοί αυτοί δηλώνουν την παράμετρο $q(C-j)$, από την οποία μπορεί εύκολα να εξαχθεί η παράμετρος $q(j)$.

```
blockingprop=calls_class_blc./calls_per_class;
pmeanchanoccup=sum(offreeserv)/total_calls;
save(filename,'blockingprop','pulsehigh','pmeanchanoccup')
Prpeir=1;
```

Η πιθανότητα απώλειας κλήσης ανά κατηγορία είναι ίση με τον λόγο των κλήσεων που μπλοκαρίστηκαν προς τις κλήσεις που ζήτησαν να εξυπηρετηθούν. Ο μέσος όρος κατάληψης καναλιών δίνεται από το άθροισμα των ελεύθερων καναλιών προς τις ολικές κλήσεις(=γεγονότα). Στο τέλος αποθηκεύονται τα αποτελέσματα στο αρχείο με όνομα αυτό που έχουμε επιλέξει με την μεταβλητή filename.

IV. Παράρτημα 4: κώδικας Matlab για τον πειραματικό υπολογισμό των πολιτικών που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.4

Ο κώδικας υλοποίησης είναι σε μεγάλο βαθμό ίδιος με αυτόν του παραρτήματος 3. Θα υπάρχει επεξήγηση του, μόνο στα σημεία που διαφέρει από τον προηγούμενο κώδικα.

```
function Prpeir = peiramatsh
(lambda,mi,emucals,Noofservers,rskip,bandpc,ShReserve,propreserve,file
name,res)

fprintf ('-----PEIRAMAT-----\n');
fprintf ('-----SOHRABY-----\n');
%   START OF GENERATOR-----
call_id = 1;
thistime=0;
i_class = 0;
r=floor(emucals/sum(lambda))

rel_time_temp(floor(sum(lambda*r,2)*1.2) ,1)=1;
timeonsys(floor(max(lambda*r,2)*1.2) ,1)=1;

i = 0;

for (class_counter = 1 : size ( lambda,2))
fprintf ('*\n*****');

lambda_class=lambda(class_counter);
mi_class=mi(class_counter);

pois_bufer=poissrnd(lambda_class,1,r+1);
time_bufer = unifrnd (0 , 1 , sum(pois_bufer,2),1);
thistime = 0;
durat_bufer = exprnd (1/mi_class, sum(pois_bufer,2),1);
```

```

i_class=0;
istart = i+1;

for thistime = 1:r

    if (rem(thistime,1000)==0)
        fprintf('\b\b\b\b\b\b\b\b\b\b\b%8d',thistime)
    end
    pois = pois_bufer(thistime+1);
    if(pois>0)
        for poi = 1:pois

            i = i + 1;
            i_class = i_class + 1;
            rel_time_temp(i,1)= thistime -
time_bufer(i_class,1);%unifrnd(thistime - 1 , thistime);
            timeonsys(i-iend,class_counter) = durat_bufer(i_class,1);

        end
    end

end

iend=i;
tospoint(class_counter)=1;

call_class(istart,1)=class_counter;
call_class=vertcat(call_class,class_counter*ones(iend-istart,1));

end

release_time(iend,1) = rel_time_temp(iend,1);
for y=1:iend

```

```

    release_time(y,1) = rel_time_temp(y,1);
end

fprintf ('arival time ok \n');

Afixi=[release_time,call_class];
clear Timeonsystem
clear call_class
clear durat_bufer
Eiserxkliseis= sortrows (Afixi,1);% ARIVAL TIME || CLASS
clear Afixi
%   END OF GENERATOR -----

```

Μέχρι εδώ το πρόγραμμα είναι ίδιο όπως προηγουμένως. Κατασκευάζεται ο πίνακας Eiserxkliseis ο οποίος περιέχει 2 στήλες. Η πρώτη στήλη εκφράζει την ώρα άφιξης των κλήσεων, και η δεύτερη την κατηγορία των κλήσεων.

```

fprintf ('generator ok \n');

% START OF SIMULATION

statusofservers=0.001+zeros (Noofservers, 1) ;
calls_class_blc(1:class_counter)=0;
pulsehigh(1:Noofservers+1)=0;
sumoffreeserv = 0;
statusofservers(:,2)=1;

```

Ορίζονται οι μεταβλητές όπως προηγουμένως με την διαφορά στον πίνακα statusofservers. Τώρα ο πίνακας έχει 2 στήλες αντί για 1. Η πρώτη φανερώνει, όπως προηγουμένως, την ώρα ελευθέρωσης του, ενώ η δεύτερη την κλάση της κλήσης που τον έχει δεσμεύσει.

```

for i = 1 : 1 : size (release_time,1)% gia olles tis kliseis
    curenttime =0.00+ Eiserxkliseis(i,1);
    serversfree=0;
    NoOfChanPerCat(1:size ( lambda,2))=0;

```

```

for j = 1 : 1 : Noofservers
    if (curenttime >= statusofservers(j,1))
        serversfree = serversfree + 1;
    else
        NoOfChanPerCat(statusofservers(j,2))=
NoOfChanPerCat(statusofservers(j,2))+1;
    end
end

```

Σε αυτό το σημείο έχει γίνει προσθήκη στον κώδικα του πίνακα NoOfChanPerCat. Ο πίνακας αυτός μετράει πόσα κανάλια καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία κλήσης. Η μέτρηση γίνεται ακριβώς μετά την επιλογή μιας κλήσης και την μέτρηση των ελεύθερων καναλιών του συστήματος.

```

end

if(i>=rskip)
    sumoffreeserv = sumoffreeserv + Noofservers-serversfree;
end

```

Αφού καταμετρηθεί το σύνολο των ελεύθερων καναλιών γίνεται η επιλογή για το εάν θα εξυπηρετηθεί η κλήση σε δύο στάδια. Αρχικά εάν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα κανάλια η κλήση παίρνει μια προσωρινή άδεια εισόδου CallEnter.

```

CallEnter =0;
if ( serversfree >= bandpc(Eiserxkliseis(i,2))+res(Eiserxkliseis(i,2)))

    CallEnter =1;

if ((NoOfChanPerCat(Eiserxkliseis(i,2))+bandpc(Eiserxkliseis(i,2)))>(
Noofservers-ShReserve(Eiserxkliseis(i,2)) ))
    if (propreserve(Eiserxkliseis(i,2))< rand )
        CallEnter =0;
    end
end
end
end

```

Στην συνέχεια σε δεύτερο στάδιο γίνεται δεύτερος έλεγχος για την πιθανότητα εισαγωγής w. Εάν οι κλήσεις τις ίδιας κατηγορίας NoOfChanPerCat έχουν ξεπεράσει το κατώφλι $C_{\text{κλάσης}}$ δηλαδή $\text{Noofservers-ShReserve(κλάσης)}$ τότε αναστέλλεται το κουπόνι εισόδου CallEnter

```
if (CallEnter == 1)
```

Εάν η κλήση διαθέτει κουπόνι εισόδου τότε εκτελείται ο κώδικας όπως προηγουμένως.

```
servtores = bandpc(Eiserxkliseis(i,2));
t_res=timeonsys(tospoint(Eiserxkliseis(i,2)),Eiserxkliseis(i,2));
tospoint(Eiserxkliseis(i,2))=tospoint(Eiserxkliseis(i,2))+1;

for j = 1 : 1 : Noofservers;
    if ((curenttime >= statusofservers(j,1)) &&
(servtores>0))
        statusofservers(j,1)=Eiserxkliseis(i,1)+ t_res
        statusofservers(j,2)= Eiserxkliseis(i,2);
```

Όταν δεσμεύεται μια κλήση ενημερώνεται εκτός από την πρώτη στήλη του πίνακα statusofservers με την ώρα ελευθέρωσης, και η δεύτερη στήλη με την κλάση της κλήσης.

Ο κώδικας στην συνέχεια είναι ακριβώς ίδιος με τον κώδικα του αρχείου peiramatem.m.

```
servtores = servtores -1;

end
end
else
    if (i>=rskip)
        calls_class_blc(Eiserxkliseis(i,2))=calls_class_blc(Eiserxkliseis(i,2))+1;
    end
end

if (i>=rskip)
```


V. Παράρτημα 5: κώδικας Matlab για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων

```
function showresults = showresults(filename)
fprintf ('-----showresults-----\n');

load (filename)
theo_prop_blocking=pb;
peir_prop_blocking = blockingprop;
fprintf('\n\r \n\r-----\n\r class P_Bloctheor P_BlocSimul')
for i = 1 : size(theo_prop_blocking,2)
    fprintf('\n\r %6d ',i-1)
    fprintf('\t%f',theo_prop_blocking(i))
    fprintf('\t%f',peir_prop_blocking(i))
end
for i = 1 : size(pulsehigh,2)
    peir_q(i) = pulsehigh(size(pulsehigh,2)-i+1);
end
```

Στον παραπάνω κώδικα φορτώνονται οι μεταβλητές από το αρχείο

```
fprintf('\n\r \n\r-----\n\r q(i) q_theoretical q_Simulat')
for i = 1 : size(peir_q,2)
    fprintf('\n\r q(%3d) ',i-1)
    fprintf('\t%f',theo_q(i))
    fprintf('\t%f',peir_q(i))
end
```

Τυπώνονται στην οθόνη οι πειραματικές και οι θεωρητικές τιμές της μεταβλητής $q(i)$

```
fprintf('\n\r-----\n\r')

theo_meanchancap=meanchanoccup;
```

```

peir_meanchancap = pmeanchanoccup;

fprintf('\n\n AVERAGE OCCUPIED TRUNKS\n\n E(j)= theoretical
simulation\n\n')
fprintf('\t  %f',theo_meanchancap)
fprintf('\t%f\n\n-----\n\nrend',peir_meanchancap)

if (size(theo_prop_blocking,2)>1)

figure(1)
for i = 1 : size(peir_q,2);
olq(i,1)=peir_q(i);
olq(i,2)=theo_q(i);
end
bar(1 : size(olq,1),olq , 'grouped')
set(gca,'XTick',-1 :size(pulsehigh,2)+1 )
xlabel('servers ');
ylabel('q(j)');
legend('simulation' , 'theory');
title('q(j)');

```

Κατασκευάζεται ένα ιστόγραμμα με τις θεωρητικές και πειραματικές τιμές του $q(j)$

```

figure(2)
for i = 1 : size(peir_prop_blocking,2);
olpb(i,1)=peir_prop_blocking(i);
olpb(i,2)=theo_prop_blocking(i);
end
bar(1 : size(olpb,1),olpb , 'grouped')
set(gca,'XTick',-1 :size(pulsehigh,2)+1 )
xlabel(' class ');
ylabel('blocking probability');
legend('simulation' , 'theory');
title('Pb(k)');

```

```
end
```

Κατασκευάζεται ένα ιστόγραμμα με τις πειραματικές και θεωρητικές τιμές του $P_b(k)$

VI. Παράρτημα 6: παράδειγμα κλήσεως των παραπάνω συναρτήσεων

```
clear all
close all
clc
emucals = 10000000 % ( TIME TO SIMULATE )
rskip = 500 % SAMPLES TO SKIP ( WAIT FOR GLOBAL BALANCE)
lambda = [1 1] %lamda
mesoxronokliseis = [1 1] % 1/mi MEAN TIME DURATION PER CALL
bandpc = [1 2] % b
bwtoreserve= [1 0] % t or T >>
propreserve= [0.4 0] % w >>rop. blocking if channer is reserved
(1=no blocking)
res = [0 0] % t << chan reserv (no w)
Noofservers = 5 % C
filename='test'
mi = 1./mesoxronokliseis;
peir()=peiramats
(lambda,mi,emucals,Noofservers,rskip,bandpc,bwtoreserve,propreserve,fil
ename,res);

theo()=theoritsh
(lambda,mi,Noofservers,bandpc,bwtoreserve,propreserve,filename,res);
showresults(filename)
```

VII. παράρτημα 7: παράδειγμα επίλυσης γραμμικού συστήματος με το Matlab

(εφαρμόστηκε στο παράδειγμα 5.4.1)

```
A = [-2 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
1 -3 2 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0  
0 1 -2.4 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0  
1 0 0 -3 1 0 2 0 0 0 0 0 0  
0 1 0 1 -4 2 0 2 0 0 0 0 0  
0 0 0.4 0 1 -3 0 0 0 0 0 0 0  
0 0 0 1 0 0 -4 1 3 0 0 0 0  
0 0 0 0 1 0 1 -3.4 0 3 0 0 0  
0 0 0 0 0 0 1 0 -5 1 4 0 0  
0 0 0 0 0 0 0 0 4 1 -4 0 0  
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -4.4 5  
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
```

```
B = [ 0  
0  
0  
0  
0  
0  
0  
0  
0  
0  
0  
0  
1]
```

```
% X = A \ B is the solution to the equation AX = B
```

```
X = A \ B
```

```
q(1,1) = X(1,1); % = q(0,0)
```

```
q(2,1) = X(4,1); % = q(1,0)
```

```
q(3,1) = X(2,1)+X(7,1);
```

$$\begin{aligned}
q(4,1) &= X(5,1)+X(9,1); \\
q(5,1) &= X(3,1)+X(8,1)+X(11,1); \\
q(6,1) &= X(6,1)+X(10,1)+X(12,1); \\
qgives &= q
\end{aligned}$$

$$Pb1=q(6,1) + 0.6 * q(5,1)$$

$$Pb2=q(6,1) + q(5,1)$$

VIII. παράρτημα 8: ο θεωρητικός τύπος που προτείνεται από την δημοσίευση του Mitchell και Sohraby [6] για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της πιθανότητας απώλειας κλήσεων για το μοντέλο που περιγράφεται στην παράγραφο 4.4

Ο τύπος για τον υπολογισμό της πιθανότητας απώλειας που προτείνεται είναι [6]:

$$P_{bk} = \frac{1}{G} \sum_{n \in \theta_k} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_{ki}}}{n_k!} + \sum_{n \in \theta_k^+} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_{ki}}}{n_k!} (1 - w_k) \quad (\text{VIII.1})$$

Όπου

$$\rho_k = \begin{cases} a_k w_k & \text{εαν } n_k b_k > C - T(k) \\ a_k & \text{αλλιως} \end{cases} \quad (\text{VIII.2})$$

και

$$G = \sum_{n \in \Omega} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!} \quad (\text{VIII.3})$$

Στην εργασία [6] ορίζεται το κατώφλι Th το οποίο σχετίζεται με το T σύμφωνα με την σχέση VIII.4

$$Th(k) = C - T(k) \quad (\text{VIII.4})$$

Ο παραπάνω τύπος (VIII.1) είναι αρκετά προσεγγιστικός. Συγκρίνοντας τον με τον τύπο 4.20 (όπου η απόδειξη του υπάρχει στο κεφάλαιο 4.5) έχει αρκετές διαφορές. Για να γίνουν εύκολα κατανοητές οι διαφορές των τύπων (VIII.1 και 4.4) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα, μιας κατηγορίας κλήσεων για μία κατηγορία κλήσεων.



Διάγραμμα VIII.1 Ποσοστό κατάληψης καναλιών σύμφωνα με τον τύπο VIII.1 (Mitchell - Sohraby) και 4.20. Οι τιμές είναι χωρίς κανονικοποίηση.

Τόσο ο τύπος 4.20 όσο και ο VIII.1 δίνουν ίδια τιμή για την πιθανότητα της κατάστασης $P(3,0)$, η οποία είναι:

$$P(3,0) = \frac{\lambda_1^3}{\mu_1^3 3!} \tag{VIII.5}$$

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα καταστάσεων (διάγραμμα VIII.1) η πιθανότητα $P(4,0)$ είναι:

$$\begin{aligned}
 P(3,0) w_1 \lambda_1 &= P(4,0) 4 \mu_1 \\
 \Rightarrow P(4,0) &= \frac{w_1 \lambda_1}{4 \mu_1} \frac{\lambda_1^3}{\mu_1^3 3!} = \frac{w_1 \lambda_1^4}{\mu_1^4 4!} \tag{VIII.6}
 \end{aligned}$$

Ο προσεγγιστικός τύπος VIII.1 αποκλίνει από την τιμή του 4.20 για το $P(3,0)$ κατά τον παράγοντα w_1^3 .

Επειδή οι πιθανότητες απώλειας κλήσεων εξαρτώνται κυρίως από τις πιθανότητες των καταστάσεων με πολλούς εξυπηρετητές κατειλημμένους ($P(5)$, $P(4)$ και $P(3)$) οι αποκλείσεις του τύπου VIII.1 από τον 4.20 είναι μεγάλες

Παράδειγμα:

Έστω ένα σύστημα μιας κατηγορίας κλήσεων με $\lambda=14$, $\mu=1$, $b=1$, $T=10$, $w=0.4$ και $C=20$. Οι πιθανότητες απώλειας που δίνουν οι τύποι VIII.1 και 4.20 καθώς και το πρόγραμμα προσομοίωσης είναι:

Τιμή	Τύπος VIII.1	Τύπος 4.20	Πειραματικά Προσομοίωσης
Pb	0.226384	0.322110	0.321895
q(0)	0.000005	0.000004	0.000004
q(1)	0.000066	0.000049	0.000047
q(2)	0.000464	0.000345	0.000345
q(3)	0.002165	0.001610	0.001603
q(4)	0.007576	0.005635	0.005618
q(5)	0.021213	0.015778	0.015717
q(6)	0.049496	0.036815	0.036838
q(7)	0.098992	0.073631	0.073580
q(8)	0.173237	0.128854	0.129177
q(9)	0.269479	0.200439	0.200400
q(10)	0.377271	0.280614	0.280425
q(11)	0.000020	0.142858	0.142799
q(12)	0.000009	0.066667	0.066690
q(13)	0.000004	0.028718	0.028768
q(14)	0.000002	0.011487	0.011501
q(15)	0.000001	0.004289	0.004259
q(16)	0.000000	0.001501	0.001518
q(17)	0.000000	0.000494	0.000503
q(18)	0.000000	0.000154	0.000151
q(19)	0.000000	0.000045	0.000046
q(20)	0.000000	0.000013	0.000011

Πίνακας 99.1 Πιθανότητες δέσμευσης καναλιών και απώλειας κλήσεων που προκύπτουν από τους τύπους VIII.1, 4.20 και από το πρόγραμμα προσομοίωσης.

Για τις τιμές που υπολογίζονται με τον τύπο VIII.1 οι οποίες είναι μεγαλύτερες από $C-T=10$ υπάρχει ραγδαία μείωση στα ποσοστά κατάληψης κλήσεων $q(j)$, σε σχέση με τα ποσοστά που υπολογίζονται με τον τύπο 4.20 και αυτών της προσομοίωσης. Έτσι ο τύπος VIII.1 δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

IX. Αναφορές

- [1] Μ. Δ. Λογοθέτης, «ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2001, ISBN 960-7510-84-4.
- [2] I. Moscholios, M. Logothetis, G. Kokkinakis, Connection dependent threshold model: a generalization of the Erlang multiple rate loss model, Performance Evaluation, Vol. 48, Issues 1–4, pp. 177–200, May 2002.
- [3] J. S. Kaufman, “Blocking in a shared resource environment”, IEEE Trans. Commun. Vol. 29, No. 10, pp. 1474-1481, October 1981.
- [4] 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.
- [5] J.W. Roberts, Teletraffic models for the telecom 1 integrated services network, in: International Teletraffic Congress, ITC-10, paper 1.1-2, Montreal, 1983.
- [6] K. Mitchell and K. Sohraby, “An Analysis of the Effects of Mobility on Bandwidth Allocation Strategies in Multi-Class Cellular Wireless Networks”, Proc. of IEEE Infocom 2001, Anchorage, USA, vol. 2, pp. 1005-1011, 2001.
- [7] David Starobinski Cellular Network Simulation in 2D Topology , available online at:
http://webee.technion.ac.il/labs/comnet/projects/previous_years/cellular2D/proj_html.html.
- [8] V.B. Iversen, Teletraffic Engineering and Network Planning, September 2004, available at: <http://www.com.dtu.dk/education/34340/material/telenook.pdf>.
- [9] Man Borko Furht and Syed Ahson “Handbook of Mobile Broadcasting DVB-H, DMB, ISDB-T, AND MEDIAFLO” Auerbach Publications 2008 ISBN: 978-1-4200-5386-9.
- [10] Nasif Ekiz, Tara Salih, Sibel Küçüköner and Kemal Fidanboyly “An Overview of Handoff Techniques in Cellular Networks” International Journal of Information Technology Volume 2 Number 2 available online at: www.waset.org/journals/waset/v6/v6-1.pdf
- [11] Mr. Selvan.C1 and Dr. R.Shanmugalakshmi2 "Performance Analysis of Modern Handoff Techniques Provide QoS in Mobile Networks" IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.10 No.8, August 2010 available online at paper.ijcsns.org/07_book/201008/20100844.pdf
- [12] Shun-Fang Yang and Jung-Shyr Wu Guard Channel based Call Admission Control Schemes in Hierarchical Mobile IPv6 Networks Taoyuan 2010 available online at: <http://ijcnis.kust.edu.pk/article/viewFile/6040/4164>
- [13] Emre Altug Yavuz MODELING AND PERFORMANCE EVALUATIONS OF TELETRAFFIC IN CELLULAR NETWORKS Emre Altug Yavuz, 2007 available online at: http://www.ece.ubc.ca/~emrey/academic_html/emre_yavuz_dissertation.pdf