ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΕΡΑΡΧΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ
ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΙΜΟΘΕΟΣ Ι. ΚΑΣΤΡΙΝΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
Μ. Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2005

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΙΕΡΑΡΧΙΚΕΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΤΙΜΟΘΕΟΥ Ι. ΚΑΣΤΡΙΝΟΓΙΑΝΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Μ. Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την: 9 / 9 / 2005

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2005

……

ΤΙΜΟΘΕΟΣ Ι. ΚΑΣΤΡΙΝΟΓΙΑΝΝΗΣ

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

© 2005–All rights reserved
Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος της διπλωματικής, με οποιοδήποτε μέσο, χωρίς την έγγραφη άδεια του συγγραφέα.

Στην Οικογένειά μου,

Καστρινογιάννης Τιμόθεος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Τον καθηγητή μου κ. Μ.Ε. Θεολόγου, για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο σημαντικό και ενδιαφέρον θέμα. Οι γνώσεις του και οι πολύτιμες συμβουλές του, ήταν πάντα διαθέσιμες, δείχνοντάς μου τον δρόμο. Η εμπιστοσύνη του και η διαρκείς ενθάρρυνσή μου, αποτέλεσαν κινητήριο δύναμη για μένα και συνετέλεσαν στο να απολαύσω την κάθε στιγμή. Ήταν τιμή μου η συνεργασία μας. Ευχαριστώ.

Επίσης, οφείλω ένα θερμό ευχαριστώ, στον υποψήφιο διδάκτορα του Ε.Μ.Π. κ. Παναγιώτη Βλαχέα. Χωρίς τις γνώσεις του, την διαρκή και με μεγάλη υπομονή καθοδήγησή του δεν θα υπήρχε αυτό το αποτέλεσμα. Πάνω απ' όλα όμως, καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας, με στήριξε απεριόριστα, ένας πραγματικά καλός φίλος. Ελπίζω να είναι εξίσου ευχαριστημένος από τη συνεργασία μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των ιεραρχιών αρχιτεκτονικών σε δίκτυα κινητών και προσωπικών τηλεπικοινωνιών. Ο όρος ιεραρχικές αρχιτεκτονικές περιγράφει την ύπαρξη περισσοτέρων του ενός επιπέδου κυψελών, επικαλυπτόμενα μεταξύ τους. Οι κυψέλες του κάθε επιπέδου (πικοκυψέλες, μικροκυψέλες, μακροκυψέλες, δορυφορικές δέσμες) διαφέρουν ως προς το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά και συνεργάζονται με απώτερο στόχο την βελτίωση των επιδόσεων του συστήματος, της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας και την αύξηση της χωρητικότητας του.

Ειδικότερα, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων επιπέδων της ιεραρχίας και των ιδιοτήτων που τα χαρακτηρίζουν. Αναλύεται ο όρος προφίλ χρήστη, ο λόγος ύπαρξής του και η σχέση του με τα ιεραρχικά συστήματα.

Παρουσιάζονται οι περισσότερες τεχνικές εύρεσης του προφίλ κινητικότητας των χρηστών που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία και ο τρόπος υπολογισμού των κατωφλιών ταχύτητας που οδηγούν στον διαχωρισμό των χρηστών σε διάφορες κατηγορίες κινητικότητας (αργοί - γρήγοροι).

Το μεγαλύτερο όμως βάρος, δόθηκε στην μελέτη των μοντέλων αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Γίνεται αναλυτικά, θεωρητική παρουσίαση των περισσότερων και κυριότερων μοντέλων που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία, και μάλιστα έγινε προσπάθεια διαχωρισμού και αρχειοθέτησής τους με βάση τα ειδικότερα κοινά χαρακτηριστικά τους.

Οι κυριότερες από τις παραπάνω δύο κατηγορίες, τα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη το προφίλ κινητικότητας των χρηστών και τα μοντέλα που παρέχουν ταυτόχρονα υπηρεσίες φωνής και υψηλού ρυθμού δεδομένων σχηματίζοντας το προφίλ χρήστη τέθηκαν κάτω από το μικροσκόπιο, με την βοήθεια προσομοιωτή που υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση, τον λόγο ύπαρξης, τους στόχους που προσπαθούν να επιτύχουν και αξιολόγηση των στρατηγικών που ακολουθούν, κάτω από διάφορες συνθήκες φορτίου κίνησης και έγινε ανάδειξη εκείνων με τις καλύτερες επιδώσεις. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα στα οποία κατάληξα τεκμηριώνονται όχι μόνο θεωρητικά αλλά και από μια πληθώρα γραφημάτων, αποτέλεσμα της χρήσης του προσομοιωτή.

Τέλος αναφέρονται μια σειρά θεμάτων για μελλοντική έρευνα και προτείνεται ένα νέο μοντέλο εξυπηρέτησης και αποδοχής κλήσεων σε ιεραρχικά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών το AD.I.LO.P.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ		9
	1.1. Εισαγωγή…...……	9
	1.2. Πολυεπίπεδη Αρχιτεκτονική Κυψελών (Multi-tier Cell Architecture)…….....	10
	1.3. Δομικές Μονάδες Ιεραρχικών Κυψελωτών Συστημάτων…….	11
	1.4. Προφίλ Χρήστη Κινητής Τηλεφωνίας……..	14
	1.5. Στόχοι και Διάρθρωση της Εργασίας……	16
Κεφάλαιο 2 : ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ		18
	2.1. Εισαγωγή…...……	18
	2.2. Κατηγοριοποίηση μοντέλων εύρεσης της κινητικότητας χρήστη……..	19
	2.3. Προσδιορισμό της ταχύτητας μέσω του φαινομένου Doppler……	20
	2.4. Έμμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας με βάση την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (Fading distribution)……...	22
	2.5. Έμμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας με βάση την χρονική διάρκεια που κάνει το κινητό να διανύσει κάποια περιοχή (Sojourn time)……...	24
	2.5.1. RDT (Residual Dwell Time)…….	24
	2.5.2. PLO (Power Level Offset)……	26
	2.5.3. EA (Exponential Average)…….	28
	2.5.4. ORST (Overlapping Region Sojourn Time)…….	30
	2.6. Συμπεράσματα……...	32
Κεφάλαιο 3 : ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΕ ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ		33
	3.1. Εισαγωγή…...……	33
	3.2. Μοντέλα Βασισμένα Στην Εξυπηρέτηση Της Υπερροϊκής Κίνησης OMS (Overflow Management Strategies)……..	34
	3.3. Μοντέλα Που Λαμβάνουν Υπόψη Το Προφίλ Κινητικότητας Των Χρηστών VAS (Velocity Assignment Strategies)……..	36
	3.3.1 Χωρίς take back και P = 0%.....	39
	3.3.2 Χωρίς take back και P =100%.....	40
	3.3.3 Με take back και P =100%.....	41

	3.3.4 Με take back και P =0%.....	42
	3.3.5 Με take back αποκλειστικά P = 100%.....	43
	3.4. Μοντέλα Εξυπηρέτησης Υπηρεσιών Φωνής Και Δεδομένων……..	45
	3.4.1 Μοντέλα Που Βασίζονται Στην Ποσότητα Της Μεταφερόμενης Πληροφορίας DAS (Data Assignment Strategies)…….	46
	3.4.2 Μοντέλα Εξυπηρέτησης και Δεδομένων Με Μεταγωγή Κυκλώματος…..	47
	3.4.3 Μοντέλα Εξυπηρέτησης και Δεδομένων Με Χρήση Προσωρινών Καταχωρητών……..	49
	3.4.3.1 NFRM (Neural Fuzzy Resource Management)……	49
	3.4.4. Εξυπηρέτηση Δεδομένων (Multimedia) από Διαφορετικά Επίπεδα Κυψελών……..	54
	3.4.4.1 Αλγόριθμος STANDARD……...	56
	3.4.4.2 Αλγόριθμοι PLS (Progressive Layer Selection) και OLS (Optimal Layer Selection)……	57
	3.4.4.3 Αλγόριθμος EOLS (Enhanced Optimal Layer Selection Algorithm)…..	58
	3.5. Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής Κλήσεων Σε Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα	60
	3.5.1 Μοντέλο Με Δυναμική Εκχώρηση Διαύλων……..	61
	3.5.2 Μοντέλο Με Μεταβλητό Κατώφλι Ταχύτητας……...	66
	3.5.3 Μοντέλο Μεταβαλλόμενης Εξασφάλισης Διαύλων……...	69
	3.6. Μοντέλα Με Περισσότερα Των Δύο Επιπέδων……...	70
Κεφάλαιο 4 : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		73
	4.1. Εισαγωγή…...……	73
	4.2. Υλοποίηση Του Χώρου……..	74
	4.3. Υλοποίηση Χρηστών – Κινητικότητα……	83
	4.4. Δεδομένα Εισόδου – Περιβάλλον Προσομοίωσης…….	88
	4.5. Αισθητήρες Προσομοιωτή …….	99
Κεφάλαιο 5 : ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΥΠΟΨΗ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ		106
	5.1. Εισαγωγή…...……	106
	5.2. Μοντέλα – Παράμετροι Επίδοσης…….	107
	5.3. Μελέτη Επίδοσης Μοντέλων_1_2……	109
	5.4. Μελέτη Επίδοσης Μοντέλων_3_4……	122

	5.5. Συγκριτική Μελέτη Μοντέλων_1_2 και Μοντέλων_3_4…….	134
	5.6. Συγκριτική Μελέτη HCS - NHCS……..	152
Κεφάλαιο 6 : ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΦΩΝΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ		157
	6.1. Εισαγωγή…...……	157
	6.2. Μεταγωγή Κυκλώματος ……...	158
	6.3. Προφίλ Χρηστών……...	159
	6.4. Low Load ……..	163
	6.5. Medium Load ……...	169
	6.6. Heavy Load ……..	177
Κεφάλαιο 7 : ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΤΟ AD.I.LO.P		184
	7.1. Εισαγωγή…...……	184
	7.2. AD.I.LO.P (ADapting In LOad Protocol)……...	185
	7.3. Θέματα Μελλοντικής Έρευνας…….	189
ΑΝΑΦΟΡΕΣ		192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

1.1. Εισαγωγή

Η επικοινωνία και η συνεχής ανταλλαγή πληροφορίας αποτελούν στις μέρες μας ένα από τα βασικά στοιχεία της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Η ανάπτυξη των συστημάτων κινητών και προσωπικών επικοινωνιών ήρθε να δώσει λύση στην απαίτηση για διαρκή και κυρίως ανεξαρτήτου θέσεως και χώρου δυνατότητα τηλεφωνικών συνδιαλέξεων.

Η ραγδαία όμως αύξηση του αριθμού των συνδρομητών των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, κάνει επιτακτική την ανάγκη για αύξηση της χωρητικότητάς τους και ταυτόχρονα την διατήρηση και βελτίωση της παροχής υπηρεσιών υψηλής ποιότητας. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο σύνθετο με την εμφάνιση των συστημάτων κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς, στα οποία δίνεται μεγάλη έμφαση στην παροχή όχι μόνο υπηρεσιών φωνής, αλλά και δεδομένων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, όπως ροές πολυμέσων.

Όμως το περιορισμένο εύρος ζώνης στο φάσμα των συχνοτήτων που εξακολουθεί να διαθέτει ο εκάστοτε πάροχος κινητών επικοινωνιών, οδήγησε του σχεδιαστές, για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, στο να ανατρέξουν στον κλασικό πλέον κανόνα σχεδίασης συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, που επιβάλει την περαιτέρω μείωση του μεγέθους των κυψελών, ώστε να αυξηθεί η συχνότητα επαναχρησιμοποίησης των διαθέσιμων πόρων και κατ΄ επέκταση να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος.

Η παραπάνω όμως στρατηγική, όπως ήταν αναμενόμενο, οδήγησε στην εμφάνιση νέων προβλημάτων τα οποία προσπαθούν να αντιμετωπιστούν με την ανάπτυξη των ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας (HCS: Hierarchical Cellular Systems).

1.2. Πολυεπίπεδη Αρχιτεκτονική Κυψελών (Multi-tier Cell Architecture)

Η μείωση του μεγέθους των κυψελών, για την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος οδήγησε ταυτόχρονα και στην μείωση των συνόρων της εκάστοτε κυψέλης. Τα νέα προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν και οφείλονταν κυρίως στην ύπαρξη γρήγορων χρηστών ήταν:

- Λόγω της μεγάλης ταχύτητάς τους, οι γρήγοροι χρήστες, αναγκάζονται να διασχίσουν τα όρια πολλών κυψελών κατά την διάρκεια της κλήσης τους και άρα να προκαλέσουν ένα μεγάλο αριθμό διαπομπών. Όμως για την εκτέλεση μιας διαπομπής χρειάζεται να γίνουν αρκετές ενέργειες από το σύστημα, οι οποίες απαιτούν την ύπαρξη κατάλληλης σηματοδοσίας. Με δεδομένο ότι ένα μέρος αυτής γίνεται μέσω του εναέριου μέσου, από ένα πολύ μικρό αριθμό διαύλων που διαθέτει η εκάστοτε κυψέλη για τον σκοπό αυτό, είναι φανερό ότι η αύξηση του φορτίου σηματοδοσίας αποτελεί τροχοπέδη στην λειτουργία του συστήματος. Επιπροσθέτως, αυξάνεται σημαντικά η τιμή της πιθανότητας διακοπής κλήσεων που το χαρακτηρίζει.

- Η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος είναι αναγκαία κυρίως σε αστικά κέντρα και περιοχές, όπου χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα χρηστών. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον η ύπαρξη υψηλών κτηρίων και πολλών δρόμων εντείνει το πρόβλημα της γωνίας δρόμου. Αναλυτικότερα, καθώς το κινητό τερματικό στρίβει στην γωνία ενός οικοδομικού τετραγώνου το σήμα που λαμβάνει από τον σταθμό βάσης εξασθενεί ραγδαία, με αποτέλεσμα να υπάρχει ελάχιστος διαθέσιμος χρόνος στο σύστημα για την πραγματοποίηση διαπομπής. Αν συνυπολογίσουμε την ύπαρξη γρήγορων χρηστών και την μεγάλη συχνότητα τέτοιων φαινομένων λόγω του μικρού μεγέθους των κυψελών αντιλαμβάνεται κανείς τη δεδομένη επιπλέον αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλίσης.

- Ένα επιπλέον πρόβλημα που προϋπήρχε, ήταν η πλήρης ραδιοκάλυψη μιας περιοχής εξυπηρέτησης και η μη ύπαρξη κενών στο μωσαϊκό των κυψελών. Το πρόβλημα τώρα γίνεται ακόμα πιο έντονο, λόγω της μικρής ισχύος των σταθμών βάσης των μικρών κυψελών που δυσχεραίνει το πρόβλημα της μη ύπαρξης περιοχών χωρίς κατάλληλο σήμα.

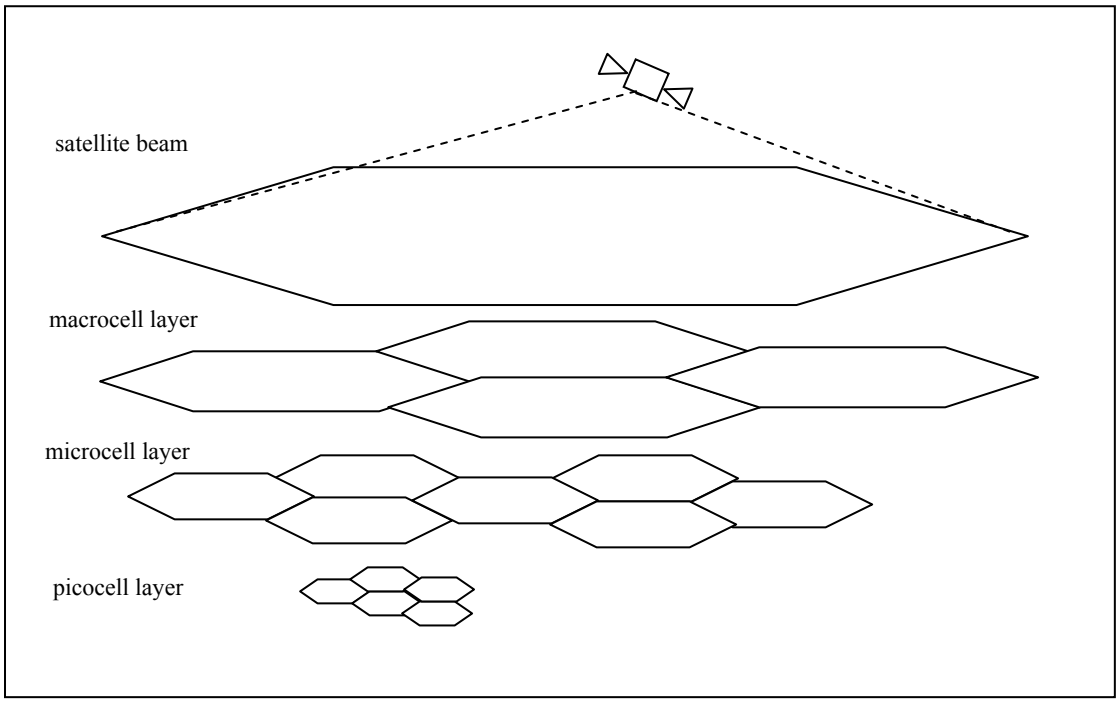
Η λύση στα παραπάνω, ήταν η ύπαρξη μεγαλύτερων κυψελών, υπερκείμενων σε ένα σύνολο μικρότερων, οι οποίες όχι μόνο θα μπορούσαν να παρέχουν ραδιοκάλυψη σε περιοχές που οι μικρότερες αδυνατούν, αλλά θα μπορούν και να εξυπηρετούν τους γρήγορους χρήστες, μειώνοντας έτσι κατά πολύ τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση το φορτίο σηματοδοσίας του. Κάθε ομάδα κυψελών που έχουν το ίδιο μέγεθος λέμε ότι ανήκουν στο ίδιο επίπεδο της ιεραρχίας και η ύπαρξή τους εξυπηρετεί τους ίδιους στόχους. Συνολικά υπάρχουν τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα των οποίων οι κυψέλες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και παρουσιάζονται στην συνέχεια.

1.3. Δομικές Μονάδες Ιεραρχικών Κυψελωτών Συστημάτων

Με τον όρο δομικές μονάδες στα ιεραρχικά κυψελωτά δίκτυα αναφερόμαστε στα διάφορα είδη κυψελών που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους συστήματα. Όπως θα γίνει εμφανές και από τα ονόματά τους, το βασικό χαρακτηριστικό που διακρίνει αυτές τις δομικές μονέδες είναι το μέγεθός τους, δηλαδή η ακτίνα της περιοχής που καλύπτουν.

Τέσσερις είναι οι βασικές δομικές μονάδες: οι πικοκυψέλες, οι μικροκυψέλες, οι μακροκυψέλες και κυψέλες που δημιουργούνται από την ραδιοκάλυψη μιας ευρύτερης περιοχής μέσω δορυφόρου (στην βιβλιογραφία αναφέρονται ως satellite beams). Εκτός του διαφορετικού μεγέθους τους, κάθε είδος κυψέλων χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες ιδιότητες που τις κάνει κατάλληλες να εξυπηρετήσουν την ιδιάζουσα τηλεπικοινωνιακή κίνηση που χαρακτηρίζει διαφορετικές περιοχές. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε ένα σχηματικό διάγραμμα ενός ιεραρχικού κυψελωτού συστήματος και αναφέρουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες για κάθε ένα από τα παραπάνω είδη κυψελών.

Σχήμα 1



- **Πικοκυψέλες**

Οι πικοκυψέλες (picocells) είναι στοιχειώδεις κυψέλες και προορίζονται για την ασύρματη κάλυψη εσωτερικών χώρων (IWC indoor wireless communications). Το μέγεθός τους περιορίζεται σε μερικά μέτρα από 10 έως 20. Οι κεραίες των σταθμών βάσης τους βρίσκονται εντός κτηρίων, σε σημεία κοντά στο ταβάνι του εκάστοτε ορόφου, και η ισχύς τους είναι της τάξης των mW (milliwatts).

Η ανάπτυξη ασύρματων συστημάτων εσωτερικών χώρων έχει γνωρίσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια, κυρίως στην υποδομή εργασιακών χώρων λόγω της ευελιξίας που προσφέρει και στο συνδυασμό υπηρεσιών φωνής αλλά και υψηλού ρυθμού δεδομένων. Πρέπει να επισημαίνουμε ότι σε αντίθεση με τα κυψελωτά δίκτυα εξωτερικών χώρων, η δομή και ο χώρος που καλύπτουν οι πικοκυψέλες σε ένα IWC σύστημα εξαρτώνται άμεσα από το κτίριο, από την δομή των εσωτερικών του χώρων ακόμα και από την κίνηση των ανθρώπων εντός αυτών. Για τους παραπάνω λόγους, φαινόμενα όπως η απότομη και μεταβαλλόμενη εξασθένηση του σήματος είναι ιδιαιτέρως έντονα και χρίζει ιδιαίτερης προσοχής ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος ώστε η ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρεται να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

- **Μικροκυψέλες**

Οι μικροκυψέλες (microcells) χρησιμοποιούνται για την ραδιοκάλυψη εξωτερικών περιοχών που εμφανίζουν υψηλή τηλεπικοινωνιακή κίνηση όπως αστικές περιοχές. Η χρήση τους οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας των κυψελωτών συστημάτων, αλλά παράλληλα αυξάνει την πολυπλοκότητα της διαχείρισης των ασύρματων πόρων του συστήματος. Οι μικροκυψέλες μπορούν να διακριθούν σε μονοδιάστατες, δύο ή τριών διαστάσεων, ανάλογα με το κατά πόσο καλύπτουν δρόμους, διασταυρώσεις δρόμων ή πολυόροφα κτήρια αντίστοιχα.

Στην τυπική περίπτωση ο σταθμός βάσης μιας μικροκυψέλης εκπέμπει χαμηλή ισχύ, μικρότερη των 20 mW και η κεραία του είναι τοποθετημένη σε στύλο φωτισμού, σε ύψος περίπου 5 m από το έδαφος. Όμως και το κινητό τερματικό εκπέμπει σε χαμηλή ισχύ, γεγονός που συντελεί στη μεγαλύτερη διάρκεια της μπαταρίας του. Επειδή οι κεραίες των σταθμών βάση βρίσκονται σε μικρότερο ύψος σε σχέση με τα τριγύρω κτίρια, τα ραδιοκύματα διαδίδονται κυρίως κατά μήκος των δρόμων.

Το μέγεθός τους είναι μεταξύ 100 - 200 m προς κάθε κατεύθυνση του δρόμου εξυπηρετώντας έτσι λίγα οικοδομικά τετράγωνα. Περιβάλλοντα διάδοσης όπως το παραπάνω παρουσιάζει μικρή διασπορά καθυστέρησης γεγονός που καθιστά δυνατή την μετάδοση **υψηλών ρυθμών δεδομένων.**

Στις μικροκυψέλες εμφανίζεται έντονα το φαινόμενο της **γωνίας δρόμου**. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από την απότομη πτώση της στάθμης του σήματος, την τάξης των 20-30 dB για διανυόμενη απόσταση 10-20 μέτρων, και εμφανίζεται όταν το κινητό τερματικό στρίβει στη γωνία του δρόμου και χάνει την οπτική του επαφή με τον σταθμό βάσης. Το παραπάνω φαινόμενο έχει μεγάλο αντίκτυπο στην διαδικασία των διαπομπών.

- **Μακροκυψέλες**

Οι μακροκυψέλες (macrocells) είναι κυψέλες με ακτίνα από 1 έως 10 km και χρησιμοποιούνται για την ραδιοκάλυψη ευρύτερων γεωγραφικών περιοχών με μέση ή χαμηλή πυκνότητα χρηστών (π.χ. αγροτικές περιοχές). Η ποιότητα του σήματος της ζεύξης ανόδου και της ζεύξης καθόδου είναι περίπου η ίδια. Οι μακροκυψέλες γενικά έχουν ήπια χαρακτηριστικά, όσον αφορά τις απώλειες διαδρομής. Στην τυπική περίπτωση, ο σταθμός βάσης μιας μακροκυψέλης εκπέμπει υψηλή ισχύ με κεραία τοποθετημένη σε ύψος αρκετών μέτρων, ώστε να καλύπτει μεγάλες περιοχές. Οι μακροκυψέλες αποτελούσαν το βασικό δομικό στοιχείο των δικτύων δεύτερης γενιάς όπως το GSM. Στα συστήματα $3^{ης}$ και $4^{ης}$ γενιάς παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο και μάλιστα έχουν πολλαπλούς ρόλους.

Σε ιεραρχικά μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων, η δομή που συναντάται συνήθως αποτελείται από δύο επίπεδα, το μικροκυψελικό ως το κατώτερο επίπεδο και το μακροκυψελικό ως το ανώτερο. Με απλά λόγια συναντάμε μικροκυψέλες και υπερκείμενες σε αυτές μακροκυψέλες. Για τον παραπάνω λόγο συχνά αναφερόμαστε στις μακροκυψέλες με τον όρο κυψέλη-ομπρέλα (umbrella cell). Ο ρόλος της μακροκυψέλης στην λειτουργία τέτοιων μοντέλων είναι σπουδαίος και δεν εξαρτάται μόνο από το εκάστοτε μοντέλο εξυπηρέτησης που χρησιμοποιούμε αλλά όπως θα φανεί και στην συνέχεια αλλάζει ανάλογα και με το μέγεθος του φορτίου που καλείται το σύστημα να εξυπηρετήσει. Οι πιο σημαντικοί ρόλοι που μπορεί να πάρει μια μακροκυψέλη είναι οι εξής:

Α) να καλύψει τα κενά (όσον αφορά την ραδιοκάλυψη) που υπάρχουν μεταξύ των μικροκυψελών,
Β) να απορροφήσει μέρος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης,
Γ) να ικανοποιήσει διαπομπές, που προέρχονται από την μη διαθεσιμότητα πόρων της αντίστοιχης μικροκυψέλης,
Δ) να δεσμεύσει διαπομπές χρηστών που κινούνται γρήγορα, με σκοπό την μείωση του αριθμού των διαπομπών ανά κλήση. Με απλά λόγια οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο και ολοκληρώνουν την κλήση τους σε αυτό, ώστε να μην επιβαρύνεται το σύστημα από τις διαπομπές που θα έκανα αυτοί αν εξυπηρετούνταν από το μικροκυψελικό επίπεδο.

- **Δορυφορικές δέσμες**

Οι κυψέλες αυτές (satellite beams) έχουν ως σταθμούς βάσης γεωστατικούς δορυφόρους (GEO) οι οποίοι καλύπτουν ευρύτερες περιοχές. Η ύπαρξη τέτοιων ‘‘κυψελών’’ έχει ως σκοπό την ραδιοκάλυψη απρόσιτων περιοχών στις οποίες η εγκατάσταση σταθμών βάσης είναι εξαιρετικά δύσκολη, ή περιοχών στις οποίες κρίνεται οικονομικά ασύμφορη η εγκατάσταση τους, λόγω του μηδαμινού (χωρικά και χρονικά) φορτίου κίνησης που προσφέρουν. Αυτός ο στόχος, δηλαδή να μην υπάρχει περιοχή χωρίς επαρκή ραδιοκάλυψη, των παρόχων κινητής τηλεφωνίας αναφέρεται και ως **last mile.**

Η χρήση όμως δορυφόρων συναντά δύο σημαντικά προβλήματα. Το πρώτο είναι η μεγάλη καθυστέρηση μετάδοση, κάτι που σε υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση του χρόνου μετάδοσης όπως η φωνή αποτελεί σοβαρό πρόβλημα. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος προτείνεται η χρήση δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO) των οποίων η απόσταση από την επιφάνεια της Γης είναι αρκετά μικρότερη. Βέβαια, προκύπτουν επιπλέον προβλήματα, αφού ως γνωστόν η χρήση δορυφόρων χαμηλής τροχιάς για τη συνεχή κάλυψη μιας περιοχής απαιτεί την ύπαρξη τριών δορυφόρων, λόγω της μεγαλύτερης συχνότητας περιστροφής που έχουν από ότι η Γη.

Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι για την ζεύξη ανόδου, από τη στιγμή που μιλάμε για δορυφορικές επικοινωνίες, απαιτούνται μεγάλες τιμές ισχύος μετάδοσης, οι οποίες είναι αδύνατο να επιτευχθούν με βάση την τωρινή τεχνολογία κατασκευής κινητών τερματικών μικρού μεγέθους, προσωπικής χρήσης.

Τα παραπάνω προβλήματα δυσχεραίνουν πάρα πολύ τη χρήση δορυφόρων σε συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών, για αυτό και δεν έχουν γίνει μεγάλα βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση.

1.4. Προφίλ Χρήστη Κινητής Τηλεφωνίας

Με τον όρο προφίλ χρήστη (mobile user profile) εννοούμε στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, το σύνολο της πληροφορίας που αφορά τον εκάστοτε χρήστη και το οποίο το σύστημα διατηρεί σε βάσεις δεδομένων για την επίτευξη λειτουργιών του, όπως ο εντοπισμός θέσης και η εξυπηρέτηση εισερχόμενης ή εξερχόμενης κλήσης. Για μια εκτενέστατη αναφορά επί του θέματος βρίσκεται στο [1].

Όσον αφορά την παρούσα μελέτη μας ενδιαφέρει το περιεχόμενο μιας τέτοια βάσης και όχι η διαχείριση και η λειτουργία της. Για κάθε χρήστη υπάρχουν τρεις κατηγορίες δεδομένων τα οποία χρειάζεται το σύστημα για την γρήγορη και αποτελεσματική εξυπηρέτησή του. Η πρώτη κατηγορία περιέχει στοιχεία που καθορίζουν τη σχέση του χρήστη ως πελάτη με τον πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται ο προσωπικός αριθμός του χρήστη, οι υπηρεσίες στις οποίες είναι εγγεγραμμένος, στοιχεία οικονομικής φύσεως, πρόσθετες παροχές και άλλα. Ενδεικτικές χρήσεις αυτών των στοιχείων είναι η χρέωση του χρήστη, και ο προσδιορισμός του αν έχει το οικονομικό δικαίωμα κάποιος χρήστης να πραγματοποιήσει κλήση ή αν έχει το δικαίωμα να ζητήσει κάποια συγκεκριμένη υπηρεσία.

Η δεύτερη κατηγορία δεδομένων που συνθέτουν το προφίλ του χρήστη, χρησιμοποιείται από το σύστημα κυρίως για την επίτευξη της διαδικασίας αναζήτησης του χρήστη. Ο γρήγορος εντοπισμός του χρήστη αποτελεί ένα θέμα που απασχολεί έντονα την έρευνα, γιατί αποτελεί σημαντικό στοιχείο που καθορίζει όχι μόνο τη ποιότητα υπηρεσιών αλλά και το φορτίο με το οποίο επιβαρύνεται το σύστημα για την εκτέλεση μιας τέτοιας λειτουργίας, το οποίο πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο. Τα κυριότερα από τα στοιχεία που έχουν προταθεί ή το σύστημα ήδη διατηρεί στις βάσεις δεδομένων του και ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι:

- *Πιο πρόσφατη επικοινωνία*: Υποδεικνύει την θέση που βρίσκονταν ο χρήστης, όταν επικοινώνησε με το δίκτυο για τελευταία φορά.
- *Βαθμός κινητικότητας του χρήστη*: Υποδεικνύει κατά κάποιο τρόπο το πλήθος των μετακινήσεων του χρήστη σε ημερήσια βάση.
- *Σημεία έλξης μετακινήσεων*: Η πληροφορία αυτή αντιπροσωπεύει σημεία ή χώρους, όπου ο χρήστης παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα.(οικία, χώρος εργασίας κ.τ.λ.)

Όπως προαναφέραμε, η βελτιστοποίηση της διαδικασίας εντοπισμού ενός χρήστη αποτελεί μείζον στοιχείο έρευνας και ο εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων με στοιχεία που οδηγούν προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί βασικό συστατικό της.

Η χρήση όμως μιας βάσης δεδομένων με στοιχεία όπως τα παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους λόγος, όπως στα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων που μελετάμε. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη που παρουσιάζεται στο [2] και προτείνεται η ύπαρξη δύο κατηγοριών χρηστών. Η πρώτη κατηγορία που ονομάζονται profiled users θα είναι εγγεγραμμένοι, με την συγκατάθεσή τους, σε μια υπηρεσία η οποία θα διατηρεί βάσεις δεδομένων με στοιχεία όπως οι κυριότερες διαδρομές που ακολουθεί ο χρήστης, το χρονικό διάστημα εντός του εικοσιτετραώρου εντός του οποίου ακολουθεί την εκάστοτε διαδρομή και τα είδη υπηρεσιών που ζητάει. Επισημαίνουμε ότι τα παραπάνω στοιχεία θα δίδονται από τον χρήστη και το σύστημα θα τα μεταφράζει σε ακολουθίες κυψελών που καλύπτουν την κάθε διαδρομή. Στην δεύτερη κατηγορία θα ανήκουν οι χρήστες χωρίς προφίλ (not profiled users).

Το σύστημα για την κατηγορία των profiled users, γνωρίζοντας τη χρονική περίοδο και τη διαδρομή που θα ακολουθήσει ο χρήστης, θα εξετάζει το φορτίο που έχουν οι κυψέλες που καλύπτουν την εκάστοτε διαδρομή. Αν παρατηρηθεί υψηλό φορτίο σε κάποιες από αυτές, τότε το σύστημα θα κάνει *κράτηση διαύλου* για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται, έτσι ώστε ο profiled χρήστης να βρίσκει πάντα διαθέσιμους πόρους. Το κατά πόσο ένα τέτοιο μοντέλο είναι εφικτό και αποδοτικό είναι σίγουρα θέμα προς μελέτη αλλά αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης βάσεως δεδομένων και προφίλ χρήστη.

Η ραγδαία ανάπτυξη των ιεραρχικών μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου φορτίου και ο τρόπος λειτουργίας τους, οδήγησε στην ανάγκη ύπαρξης μιας τρίτης κατηγορίας δεδομένων. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο, τα στοιχεία των οποίων είναι (κάποια από αυτά) μεταβαλλόμενα αλλά η μεταβολή και η ενημέρωσή τους δεν γίνεται σε στενά χρονικά πλαίσια αλλά δυναμικά με την πάροδο του χρόνου, τα στοιχεία της τρίτης κατηγορίας είναι πλήρως μεταβαλλόμενα, χαρακτηρίζουν βραχυπρόθεσμα τον χρήστη και το σύστημα ενημερώνεται για τις τιμές τους, όταν ο χρήστης ζητήσει κάποια υπηρεσία από το σύστημα.

Πιο απλά, αυτό το ***στιγμιαίο προφίλ χρήστη*** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα θα τον εξυπηρετήσει και ειδικότερα σε πιο επίπεδο της ιεραρχικής δομής αυτός θα ενταχθεί. Δύο είναι τα κύρια στοιχεία που συνθέτουν αυτό το στιγμιαίο προφίλ και καθορίζονται τη στιγμή ή σε μικρό χρονικό διάστημα από την στιγμή που ο χρήστης θα ζητήσει εξυπηρέτηση:

- *Η κινητικότητά του*

  Υποδεικνύει το πόσο γρήγορα κινείται ο χρήστης και εντάσσεται σε κάποια από τις προκαθορισμένες κατηγορίες που υποστηρίζει το εκάστοτε σύστημα. Συνηθέστερα συναντώνται δύο κατηγορίες:

  A) Αργοί χρήστες. Είναι η χρήστες των οποίων η ταχύτητα είναι μικρότερη ενός κατωφλιού ταχύτητας.

  B) Γρήγοροί χρήστες. Είναι η χρήστες των οποίον η ταχύτητα τους είναι μεγαλύτερη ενός κατωφλιού ταχύτητας.

  Ο τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας των χρηστών και ο καθορισμός του κατωφλιού περιγράφονται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

- *Είδος αιτούμενης υπηρεσίας*

  Υποδεικνύει το είδος της υπηρεσίας που ζητάει ο χρήστης. Συνηθέστερα συναντώνται δύο κατηγορίες:

  A) Voice users. Είναι οι χρήστες που ζητάνε ομιλία, η οποία αποτελεί υπηρεσία ευαίσθητη ως προς την καθυστέρηση του χρόνου μετάδοσης .

  B) Data users. Είναι οι χρήστες που ζητάνε υπηρεσίες που απαιτούν μετάδοση πακέτων δεδομένων όπως SMS, MMS, Video και δεν είναι ευαίσθητες ως προς την καθυστέρηση.

Καθώς ο κόσμος των πολυμέσων έχει μπει και στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας, μια νέα κατηγορία χρηστών αυτοί των χρηστών δεδομένων πραγματικού χρόνου (real time data users) φαίνεται να κάνει την εμφάνισή της ζητώντας υπηρεσίες όπως video conference και Τηλεόραση.

Ίσως με την πρόοδο στον τομέα της ανάπτυξης ιεραρχικών μοντέλων, που αποτελεί μείζον ερευνητικό θέμα της εποχής, προκύψει η ανάγκη προσθήκης επιπλέον στοιχείων που θα συνθέτουν το στιγμιαίο προφίλ του χρήστη. Προς το παρόν υπάρχουν μόνο τα δύο που προαναφέραμε και πρέπει να δοθεί μεγάλη έμφαση στο

ότι η ελαχιστοποίηση του χρόνου σχηματισμού του στιγμιαίου προφίλ του χρήστη αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο, για την εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

1.5. Στόχοι και Διάρθρωση της Εργασίας

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η διαχείριση του συστήματος σε ιεραρχικά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών, στα οποία πρέπει να συνεργαστούν διάφορα επίπεδα κυψελών, με τις ιδιαιτερότητες και τις ιδιομορφίες που χαρακτηρίζουν τις κυψέλες του κάθε επιπέδου, αποκτά μεγάλη πολυπλοκότητα. Ακόμα πιο σύνθετη είναι η διαδικασία εξυπηρέτησης νέων κλήσεων και διαπομπών, καθώς οι χρήστες χωρίζονται σε ομάδες, σύμφωνα με το στιγμιαίο προφίλ τους, με διαφορετικές ανάγκες και κυρίως διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισής τους από το σύστημα.

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να φωτίσει όλες τις πτυχές και τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την εξυπηρέτηση κλήσεων σε τέτοιου είδους συστήματα, να δώσει απαντήσεις στα κρισιμότερα ερωτήματα που προκύπτουν και να ξεχωρίσει εκείνες τις τεχνικές που βελτιστοποιούν τις επιδόσεις του συστήματος. Τα θέματα στα οποία δίνεται ιδιαίτερη έμφαση είναι τα εξής:

1. Όπως προαναφέρθηκε, ένα από τα στοιχεία που συνθέτουν το προφίλ ενός χρήστη και συνεισφέρουν στην επιλογή του κατάλληλου επιπέδου στο οποίο θα ενταχθεί ή προς το οποίο θα οδηγηθεί η διαπομπή του είναι η κινητικότητά του. Ένα σημαντικό, λοιπόν, σημείο, είναι ο υπολογισμός του βαθμού κινητικότητας των τερματικών.
2. Με βάση το βαθμό κινητικότητάς τους οι χρήστες διαχωρίζονται σε γρήγορους και αργούς. Ποιο είναι όμως το διαχωριστικό εκείνο σημείο το οποίο θα καθορίζει πότε ένας συνδρομητής θα ανήκει στην μία κατηγορία ή στην άλλη. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον ορισμό του διαχωριστικού σημείου και οι οποίοι πρέπει να αναλυθούν.
3. Οι υπηρεσίες δεδομένων χαρακτηρίζονται για την ιδιομορφία τους αλλά και για την διαφορετικότητά τους. Έτσι κάποιες απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και άλλες όχι. Κάποιες είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση διάδοσης της πληροφορίας και άλλες όχι. Η πολυπλοκότητα αυξάνεται κατά την μετάδοση ροών πολυμέσων τα οποία αποτελούν σύνθεση διαφόρων ροών δεδομένων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Επίσης κυψέλες διαφορετικών επιπέδων, λόγω του διαφορετικού μεγέθους τους, της διαφορετικής καθυστέρησης στην μετάδοση του σήματος και της ποιότητας υπηρεσίας που μπορούν να εξασφαλίσουν κρίνονται κατάλληλες για την μετάδοση διαφορετικών ειδών υπηρεσιών δεδομένων. Ποίο είναι το κατάλληλο επίπεδο για διάφορα είδη υπηρεσιών δεδομένων; Υπερισχύει το προφίλ κινητικότητας του χρήστη ή το είδος της υπηρεσίας που ζητείται όταν υπάρχει σύγκρουση μεταξύ του επιπέδου που θεωρείται κατάλληλο; Γίνεται κάποια ροή πολυμέσων να εξυπηρετείται από δύο ή περισσότερα επίπεδα της ιεραρχίας ταυτόχρονα;
4. Στην περίπτωση ύπαρξης ενός μωσαϊκού κυψελών, κλήσεις που προσπαθούσαν να ενταχθούν ή πραγματοποιήσουν διαπομπή προς κυψέλη στην οποία δεν υπήρχαν διαθέσιμοι πόροι απορρίπτονταν. Τώρα, με την ύπαρξη περισσοτέρων του ενός επικαλυπτόμενων επιπέδων κυψελών αυτές μπορούν να οδηγηθούν σε κυψέλες ανώτερου ή κατώτερου επιπέδου. Οι

κλήσεις αυτές αποτελούν την υπερροϊκή κίνηση που καλείται να εξυπηρετήσει το κάθε επίπεδο και προέρχεται από τα άλλα. Κάτω από ποιες συνθήκες, μεταξύ ποιών επιπέδων και με βάση ποια κριτήρια η ύπαρξη υπερροϊκής κίνησης αποτελεί πλεονέκτημα; Πότε αποτελεί μειονέκτημα; Πώς γίνεται διαπομπή μεταξύ κυψελών διαφορετικού επιπέδου και ποιο είναι το φορτίο σηματοδοσίας με το οποίο επιβαρύνουν το σύστημα;

5. Αν σύμφωνα με το παραπάνω σενάριο κάποιος χρήστης αναγκαστεί να αλλάξει επίπεδο εξυπηρέτησης θα μεταφερθεί σε άλλο το οποίο σύμφωνα με το προφίλ του δεν θα αποτελεί το ιδανικό για αυτόν. Πώς το σύστημα θα πρέπει να συμπεριφερθεί σε τέτοιους χρήστες; Η προσπάθεια του συστήματος να τους επαναφέρει στο κατάλληλο για αυτούς επίπεδο, όταν αυτό είναι δυνατό αποτελεί περιττό στοιχείο ή ουσιαστικό παράγοντα βελτίωσης της επίδοσής του;
6. Οι διάφορες στρατηγικές και μοντέλα, όσον αφορά την εξυπηρέτηση κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα μπορεί να είναι ιδανικές κάτω από κάποιες συνθήκες φορτίου κίνησης ή ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών στο σύστημα, αλλά να αποτυγχάνουν κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Για την εξέταση των διαφόρων μοντέλων και την ορθή διατύπωση συμπερασμάτων και αριθμητικών αποτελεσμάτων για τις επιδόσεις τους κάτω από διαφορετικές συνθήκες υλοποιήθηκε κατάλληλος προσομοιωτής σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Μέσω του προσομοιωτή πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη των περισσοτέρων και κυριοτέρων μοντέλων που υπάρχουν στην βιβλιογραφία, κάτω από το πρίσμα μιας μεγάλης γκάμας φορτίων κίνησης και εξήχθησαν συμπεράσματα όχι μόνο ως προς τις επιδόσεις τους αλλά και για τα αίτια που τις δημιουργούν.
7. Τέλος, προτείνεται μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων το οποίο διαθέτει ευφυΐα, του οποίου η δημιουργία προέρχεται από την παρατήρηση των αδυναμιών των μοντέλων που υπάρχουν έως τώρα και της πεποίθησης για κάτι καλύτερο.

Η διάρθρωση των κεφαλαίων που ακολουθούν έχει ως εξής:
Κατ΄ αρχήν στο 2^{ο} κεφάλαιο μελετώνται οι διάφορες στρατηγικές προσδιορισμού της κινητικότητας ενός χρήστη και οι τρόποι καθορισμού του κατωφλιού με βάση το οποίο θα γίνεται ο διαχωρισμός των χρηστών στις διάφορες κατηγορίες κινητικότητας. Στο 3^{ο} κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση και θεωρητική μελέτη των κυριοτέρων μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα και δίνεται έμφαση στις στρατηγικές που υιοθετεί το κάθε ένα. Στο 4^{ο} κεφάλαιο περιγράφεται ο σχεδιασμός, ο τρόπος υλοποίησης, η χρήση και ο χειρισμός του προσομοιωτή μέσω του οποίου εξετάστηκαν τα διάφορα μοντέλα. Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο 5 ακολουθεί συγκριτική μελέτη των επιδόσεων εκείνων των μοντέλων τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους μόνο το προφίλ κινητικότητας των χρηστών. Εξάγονται, αναλύονται και τεκμηριώνονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης αλλά και των επιδόσεων του κάθε μοντέλου κάτω από διαφορετικές συνθήκες φορτίου κίνησης. Ακολουθεί το 6^{ο} κεφάλαιο, στο οποίο ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το 5^{ο}, αλλά για μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους το γενικότερο στιγμιαίο προφίλ των χρηστών και παρέχουν και υπηρεσίες δεδομένων εκτός των υπηρεσιών φωνής. Τέλος, στο 7^{ο} κεφάλαιο προτείνεται νέο ευφυές μοντέλο, αναλύονται τα χαρακτηριστικά του και οι επιδόσεις του και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο}

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

2.1. Εισαγωγή

Ένα από τα θεμελιώδη ζητήματα στο σχεδιασμό μοντέλων εξυπηρέτησης για ιεραρχικά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών, που λαμβάνουν υπόψη τους την κινητικότητα των χρηστών, είναι ο τρόπος προσδιορισμού της ταχύτητας τους. Δύο είναι οι φιλοσοφίες που κυριαρχούν και η διαφορά τους έγκειται στον αν ο προσδιορισμός της ταχύτητας του χρήστη θα είναι ακριβής ή προσεγγιστικός.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα της μιας ή της άλλης φιλοσοφίας δεν πρέπει να λησμονούμε ότι ο προσδιορισμός της ταχύτητας ενός κινητού χρήστη για το σύστημα είναι απλά ένα δεδομένο για την κατηγοριοποίησή του σε ένα προφίλ, και λαμβάνοντας υπόψη ότι συνήθως υπάρχουν δύο κατηγορίες χρηστών, γρήγοροι και αργοί , γίνεται φανερό ότι μικρά σφάλματα στον προσδιορισμό της, έχουν σχεδόν ανύπαρκτες επιπτώσεις στην ορθή λειτουργία του συστήματος. Επιπροσθέτως, πρέπει πάντα να μην αγνοούμε ότι τα μοντέλα προορίζονται να εφαρμοστούν σε πραγματικά συστήματα, στα οποία οι δυνατότητες του εξοπλισμού είτε του σταθμού βάσης, είτε του κινητού είναι συγκεκριμένες και περιορισμένες. Για τον παραπάνω λόγο ένα μοντέλο προσδιορισμού της ταχύτητας ενός χρήστη θα πρέπει να συμμορφώνεται όσο το δυνατό με αυτές.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφονται και αναλύονται οι κυριότεροι τρόποι υπολογισμού της κινητικότητας ενός χρήστη, γίνεται συγκριτική μελέτη και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός.

2.2. Κατηγοριοποίηση μοντέλων εύρεσης της κινητικότητας χρήστη

Η εύρεση της κινητικότητας ενός χρήστη μέσω άμεσου ή έμμεσου προσδιορισμού της ταχύτητάς τους, έχει ως απώτερο στόχο την κατηγοριοποίηση του χρήστη σε αργό ή γρήγορο. Με βάση αυτόν τον χαρακτηρισμό του γίνεται και η εξυπηρέτησή του από το σύστημα και η τοποθέτησή του στο κατάλληλο επίπεδο της ιεραρχικής δομής. Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί και κυριαρχούν τρεις κατά κύριο λόγο τεχνικές εκ των οποίων κάποιες μας δίνουν ακριβή μέτρηση της ταχύτητας του χρήστη, ενώ κάποιες προσδιορίζουν εμμέσως την ταχύτητά του. Αναλυτικότερα αυτές οι τρεις τεχνικές βασίζονται:

1. Στον προσδιορισμό της ταχύτητας μέσω του φαινομένου **Doppler.**
2. Στον έμμεσο προσδιορισμό της με βάση την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (**Fading distribution**).
3. Στον έμμεσο καθορισμό της με βάση την χρονική διάρκεια που κάνει το κινητό να διανύσει κάποια περιοχή (**Sojourn time**).

Πριν προχωρήσουμε όμως στην αναλυτική περιγραφή των τεχνικών πρέπει να σταθούμε στον όρο *κατηγοριοποίηση* του χρήστη. Η κατηγοριοποίηση προϋποθέτει την ύπαρξη κατωφλίου ταχύτητας, με βάση το οποίο οι χρήστες θα χαρακτηρίζονται ως γρήγοροι, ή ως αργοί, ασχέτως του τρόπου που έγινε ο προσδιορισμός της ταχύτητάς τους. Γίνεται αναφορά μόνο σε γρήγορους και αργούς γιατί κατά κύριο λόγο αυτές είναι οι δύο κατηγορίες χρηστών που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία. Η ύπαρξη και άλλων, ενδιάμεσων κατηγοριών απλά προϋποθέτει την ύπαρξη περισσοτέρων του ενός κατωφλίου.

Η επιλογή του κατάλληλου κατωφλίου είναι πολύ σημαντική και δεν μπορεί να προταθεί μια στάνταρ διαδικασία υπολογισμού του, αφού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- Η περιοχή και η μέση ταχύτητα των χρηστών που κινούνται εντός των ορίων της.
- Το μοντέλο εξυπηρέτησης που χρησιμοποιείται.
- Η πυκνότητα των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε επίπεδο.
- Το φορτίο σηματοδοσίας που μπορεί να αντέξει κάθε επίπεδο.
- Το απαιτούμενο QoS

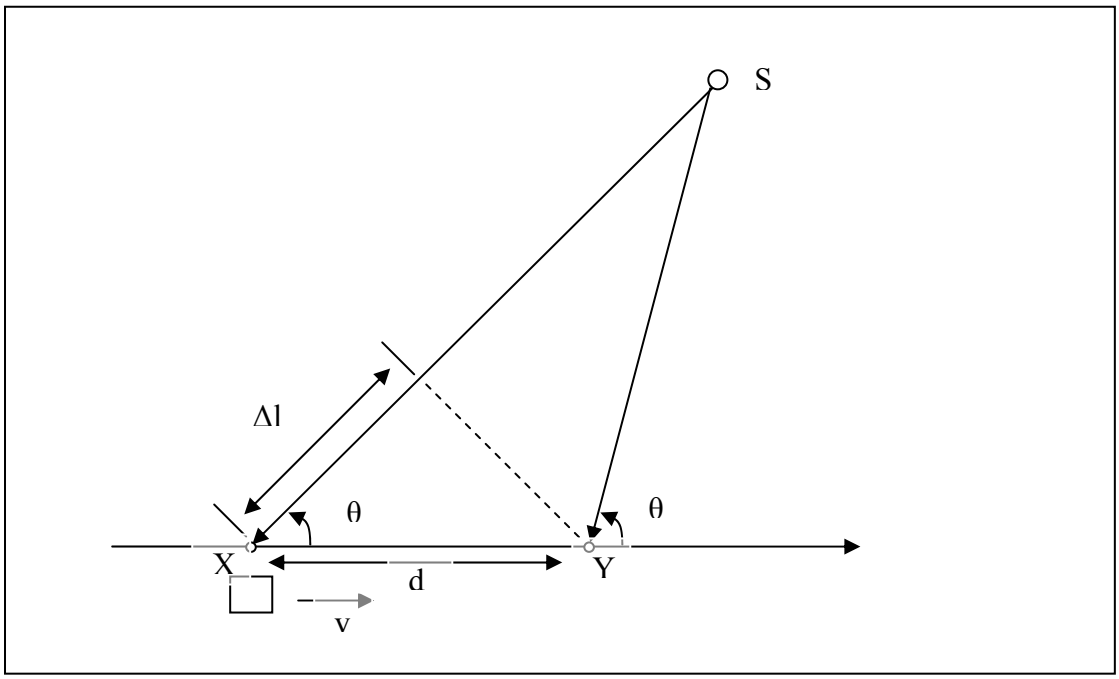
και άλλοι παράγοντες που όπως γίνεται φανερό αποτελούν κυρίως χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής.

Αναφέρω ένα απλό παράδειγμα που αναδεικνύει τη σημαντικότητα και την πολυπλοκότητα επιλογής σωστού κατωφλίου. Υποθέτοντας την ύπαρξη ενός ιεραρχικού μοντέλου εξυπηρέτησης χρηστών εντός του κέντρου αστικής περιοχής, που η ανώτατη ταχύτητα των χρηστών είναι περιορισμένη και ο αριθμός των πεζών ιδιαίτερα αυξημένος, η ύπαρξη μικρού κατωφλίου επιβάλλεται για την σωστή κατανομή των χρηστών στα δύο επίπεδα και τον ισομοιρασμό του προσφερόμενου φορτίου. Το ίδιο σύστημα σε περιοχή εντός της οποίας διέρχεται αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας δεν θα είχε την ανάλογη επιτυχία, αφού εκτός των άλλων η ύπαρξη μικρού κατωφλίου σε συνδυασμό με την ύπαρξη πολλών χρηστών με μεγάλες ταχύτητες θα οδηγούσε στην υπερφόρτωση της μακροκυψέλης.

2.3. Προσδιορισμός της ταχύτητας μέσω του φαινομένου Doppler

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας του κινητού γίνεται με βάση την μέτρηση στο σταθμό βάσης της φαινομενικής ολίσθησης συχνότητας ή ολίσθησης Doppler. Οι βασικές μαθηματικές σχέσεις που διέπουν το φαινόμενο περιγράφονται στην συνέχεια.

Θεωρώ κινητό τερματικό το οποίο μετακινείται με σταθερή ταχύτητα v μεταξύ των σημείων X και Y, που απέχουν μεταξύ τους απόσταση d, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει σήματα από απομακρυσμένη πηγή S, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήμα 1.



Σχήμα 1

Η διαφορά Δl των διαδρομών, από την πηγή S προς τις θέσεις X και Y του κινητού είναι Δl = d cosθ = vΔt cosθ, όπου Δt ο χρόνος που χρειάζεται το κινητό για να φτάσει από την θέση X στην θέση Y. Η γωνία θ υποτίθεται ότι είναι η ίδια, καθότι η πηγή S είναι πολύ απόμακρη. Η αλλαγή στη φάση του λαμβανόμενου σήματος, λόγω της διαφοράς μήκους των διαδρομών, είναι

$$\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi v\Delta t}{\lambda}\cos\theta$$

και η ολίσθηση Doppler δίνεται από την σχέση

$$f_D = \frac{\Delta\phi}{2\pi\Delta t} = \frac{v}{\lambda}\cos\theta$$

Γνωρίζοντας το μήκος κύματος μέσω της συχνότητας του φέροντος και μετρώντας την ολίσθηση Doppler μπορούμε να προσδιορίσουμε την ταχύτητα του κινητού.

Περαιτέρω μαθηματική ανάλυση και λειτουργία του συστήματος υπάρχει στο [9] όπως και η απαλοιφή της επίδρασης της γωνίας θ στην μέτρηση της ταχύτητας, η οποία όμως ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης στην οποία εξετάζεται ποιοτικά το μοντέλο.

Τα πλεονεκτήματα μια τέτοιας τεχνικής είναι η ακρίβεια στην μέτρηση της ταχύτητας η οποία γίνεται με άμεσο τρόπο. Ακόμη, παρόμοια μέθοδος χρησιμοποιείται και στα ραντάρ, άρα είναι μια δοκιμασμένη και επιτυχημένη τεχνική. Το βασικό όμως πλεονέκτημά της είναι η πολύ μικρή χρονική διάρκεια που απαιτεί ο προσδιορισμός της ταχύτητας.

Σε συστήματα που παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων, γνωρίζουμε ότι η εξυπηρέτηση του χρήστη από το σύστημα διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι, ο άμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας του χρήστη έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη κατηγοριοποίηση και σχηματισμό του προφίλ του, με αποτέλεσμα τον άμεσο προσδιορισμό του επιπέδου στο οποίο πρέπει να ενταχθεί σύμφωνα με το μοντέλο εξυπηρέτησης που ακολουθείται.

Παρόλα όμως τα πλεονεκτήματα της παραπάνω μεθόδου υπάρχουν και μειονεκτήματα:

- Σε περιπτώσεις όπου $\theta = 90^o$ είναι αδύνατος ο προσδιορισμός της ταχύτητας του χρήστη.
- Οι απαιτήσεις σε υλικό και λογισμικό για την εφαρμογή μιας τέτοια τεχνικής και στο κινητό τερματικό αλλά κυρίως στον σταθμό βάσης είναι υψηλές, και όχι ένας απλός μετρητής χρόνου όπως θα παρουσιαστεί ότι απαιτούν άλλες τεχνικές. Συνεπώς, ίσως είναι προτιμότερη η χρήση μια τεχνικής με όχι τόσο μεγάλη ακρίβεια αλλά πολύ πιο απλή και οικονομική. Αυτή η άποψη επικρατεί και στην βιβλιογραφία για αυτό και η έρευνα στρέφεται σε αυτό τον τομέα.

2.4. Έμμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας με βάση την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (Fading distribution)

Σε αυτή την κατηγορία τεχνικών έμμεσου προσδιορισμού της ταχύτητας του κινητού χρήστη, κλειδί για τον προσδιορισμό της είναι η μέτρηση από το κινητό τερματικό της ισχύος που λαμβάνει από τον σταθμό βάσης της μικροκυψέλης στην οποία χωρικά ανήκει αλλά και της υπερκείμενης μακροκυψέλης.

Ο μέθοδος που προτείνεται στο [8] αφορά κυψελωτό σύστημα δύο επιπέδων και θεωρούν οι συγγραφείς ότι η ισχύς του σήματος που λαμβάνει το κινητό τερματικό από την μακροκυψέλη είναι μεγαλύτερη ή ίση συνήθως, από την ισχύ του σήματος της μικροκυψέλης. Καθώς το κινητό εισέρχεται σε μία μικροκυψέλη, ασχέτως αν αυτό εξυπηρετείται από το μικροκυψελικό επίπεδο ή όχι, συγκρίνει το σήμα που λαμβάνει από την μικροκυψέλη με ένα κατώφλι. Αν το σήμα είναι ασθενέστερο από το κατώφλι τότε το κινητό εντάσσεται στο μακροκυψελικό επίπεδο, αν όχι στο μικροκυψελικό. Το κατώφλι είναι αρκετά μεγάλο με αποτέλεσμα ο χρήστης να εντάσσεται αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο.

Καθώς όμως ο χρήστης παραμένει χωρικά στην ίδια μικροκυψέλη, ακόμα και αν είναι ενταγμένος στην μακροκυψέλη το κατώφλι μειώνεται με το χρόνο. Αν ο χρήστης είναι αργός, κάποια στιγμή το κατώφλι θα πέσει κάτω από την ισχύ του σήματος που λαμβάνει το κινητό από την μικροκυψέλη με αποτέλεσμα ο χρήστης να κάνει διαπομπή από το μακροκυψελικό επίπεδο στο μικροκυψελικό. Αν είναι γρήγορος τότε θα κάνει διαπομπές πιο γρήγορα από ότι το κατώφλι να προλάβει να μειωθεί τόσο ώστε να ενταχθεί στο μικροκυψελικό επίπεδο και ο γρήγορος χρήστης θα είναι συνέχεια ενταγμένος στο μακροκυψελικό επίπεδο. Αυτά, με την προϋπόθεση ότι είτε ο χρήστης είναι ενταγμένος στο μικροκυψελικό είτε στο μακροκυψελικό επίπεδο, κάθε φορά που διασχίζει τα χωρικά όρια μιας μικροκυψέλης το κατώφλι αρχικοποιείται στην αρχική του υψηλή τιμή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Ο τρόπος προσδιορισμού του κατωφλίου ισχύος δίνεται στο [9] και εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής.

Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου είναι:

- Οι μετρήσεις που χρειάζεται να γίνουν, γίνονται στο κινητό τερματικό το οποίο ανακοινώνει και στο σύστημα το προφίλ του, και έτσι δεν επιβαρύνεται ο σταθμός βάσης.
- Ο εξοπλισμός του κινητού για την πραγματοποίηση των μετρήσεων δεν είναι σύνθετος και μάλιστα αποτελεί ήδη τμήμα του κάθε κινητού που αν μίτοι άλλο κάνει μετρήσεις ισχύος για άλλους σκοπούς , όπως για την επίτευξη διαπομπών και για ελέγχους παρεμβολών.
- Το κινητό δεν χρειάζεται να εξυπηρετείται από το σύστημα για να γνωρίζει το δεύτερο το προφίλ του χρήστη. Η κατηγοριοποίησή του σε γρήγορο ή αργό θα είναι άμεση όταν ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα, αφού η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται και όσο ο χρήστης έχει απλά ενεργοποιημένη τη συσκευή του.

Τα μειονεκτήματα μια τέτοιας μεθόδου είναι εξίσου σημαντικά και ίσως την κάνουν ακατάλληλη κάτω από ορισμένες συνθήκες:

- Από την στιγμή που η μέθοδος βασίζεται σε μετρήσεις ισχύος δεν πρέπει να αγνοούμε την επίδραση του θορύβου. Έτσι μπορεί να έχουμε ακριβείς μετρήσεις σε περιβάλλοντα χωρίς θόρυβο, αλλά σε θορυβώδη περιβάλλοντα οι μετρήσεις μπορεί να είναι αναξιόπιστες.
- Επίσης, τέτοια μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μη αστικά περιβάλλοντα που λόγω της χωρικής μορφολογίας τους οι κυψέλες μπορούν να θεωρηθούν ότι έχουν κυκλικό σχήμα. Αυτή όμως η παραδοχή δεν μπορεί να γίνει σε αστικές περιοχές όπως αυτές του μοντέλου Μανχάταν, όπου το μορφολογικό περιβάλλον είναι ιδιόμορφο λόγω του πολύπλοκου τρόπου διάδοσης του σήματος (ανακλάσεις – περιθλάσεις – λήψη πολλαπλών διαδρομών) και πολύ θορυβώδες.
- Το υλικό υλοποίησης είναι μεν απλό αλλά το λογισμικό παραμένει σύνθετο.

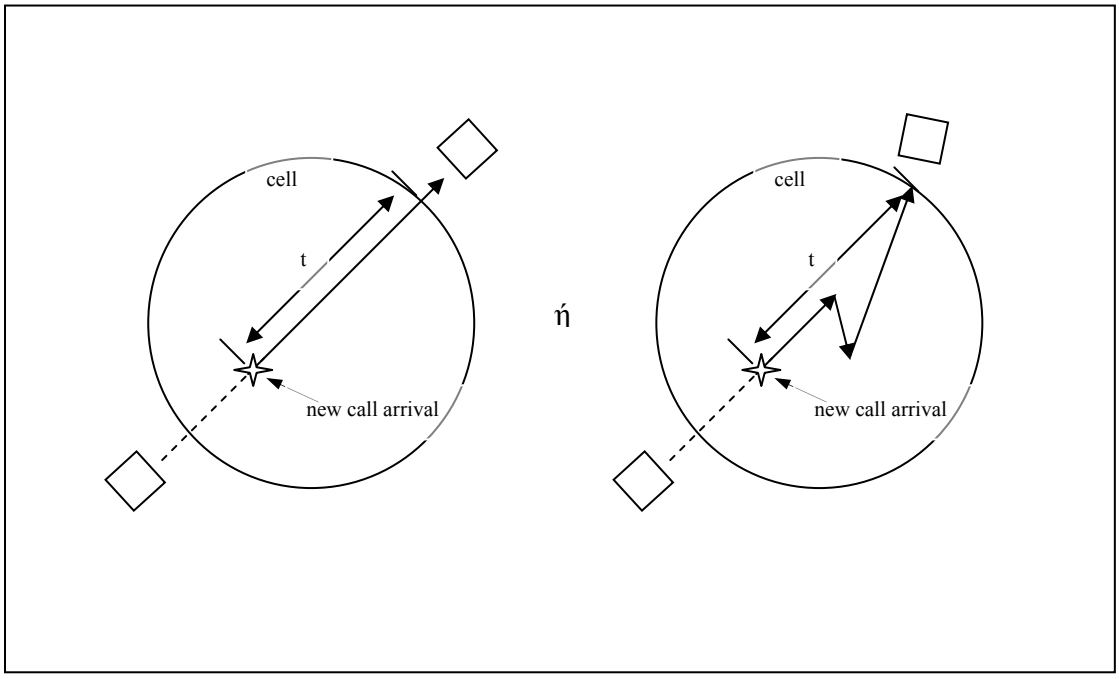
2.5. Έμμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας με βάση την χρονική διάρκεια που κάνει το κινητό να διανύσει κάποια περιοχή (Sojourn time)

Τα μοντέλα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία χαρακτηρίζονται για την απλότητά τους όσον αφορά στην υλοποίησή τους, αφού η λειτουργία όλων βασίζεται σε μετρητές χρόνου. Ειδικότερα, τον χρόνο που κάνει το κινητό να διανύσει κάποια περιοχή. Με τον όρο να την διανύσει, είτε αυτή είναι μια ολόκληρη κυψέλη είτε ένα τμήμα της, δεν εννοούμε να την διασχίσει με ευθύγραμμη κίνηση από άκρη σε άκρη, αλλά να περάσει δυο φορές από οποιοδήποτε σημείο των συνόρων της, μια εισερχόμενο σε αυτή και την άλλη εξερχόμενο από αυτή.

Όπως γίνεται φανερό, τα διάφορα μοντέλα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία δεν διαφέρουν ως προς το μέγεθος που μετριέται, το οποίο είναι ο χρόνος, αλλά από το είδος και το μέγεθος της περιοχής εντός της οποίας μετριέται.

2.5.1. RDT (Residual Dwell Time)

Στην μέθοδο που προτείνεται στο [8], όλοι οι χρήστες κατά την αρχικοποίησή τους, δηλαδή όταν ζητούν εξυπηρέτηση από το σύστημα εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Όταν η κλήση του γίνει αποδεκτή από το σύστημα και εκχωρηθεί δίαυλος στο χρήστη τότε ένα χρονόμετρο στο κινητό τερματικό αρχίζει να μετράει τον χρόνο από την στιγμή εκχώρησης του διαύλου έως την στιγμή που το κινητό πραγματοποιεί την πρώτη του διαπομπή. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση του χρόνου που μετρήθηκε με ένα χρονικό κατώφλι. Αν ο χρόνος είναι μικρότερος από το κατώφλι τότε ο χρήστης θεωρείται γρήγορος και εξυπηρετείται σύμφωνα με το μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων που χρησιμοποιεί το σύστημα. Στην αντίθετη περίπτωση που ο χρόνος είναι μεγαλύτερος του κατωφλίου ο χρήστης θεωρείται αργός.



Σχήμα 2

Τα κυριότερα μειονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου είναι:

- Η πολύ μεγάλη της εξάρτηση από την αρχική θέση εμφάνισης του κινητού εντός της κυψέλης. Για παράδειγμα αν ένας αργός χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση όταν βρίσκεται κοντά στα όρια μιας κυψέλης και κάνει την πρώτη του διαπομπή πολύ γρήγορα θα θεωρηθεί γρήγορος ενώ δεν είναι.
- Επίσης δεν υπάρχει δυνατότητα επιστροφής από το μακροκυψελικό επίπεδο. Αν ένας χρήστης ενταχθεί στο μακροκυψελικό επίπεδο, τότε δεν προβλέπεται η ίδια διαδικασία χρονομέτρησης ώστε στην διαπομπή του στο μακροκυψελικό επίπεδο να αναπροσδιοριστεί η ταχύτητά του. Ακόμα όμως και να υπήρχε, το ποιο πιθανό είναι ότι δεν θα βελτιωνόταν η κατάσταση, αφού λόγω του μεγέθους της μακροκυψέλης ο χρήστης και γρήγορος να είναι δεν προλαβαίνει να κάνει και δεύτερη διαπομπή και θα ολοκλήρωνε τη κλήση του στην μακροκυψέλη.
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα να αντιληφθεί το σύστημα την αλλαγή της κινητικής κατάστασης των χρηστών όταν αυτοί αρχικά είναι γρήγοροι. Ένας γρήγορος χρήστης που αρχικοποιείται στην μακροκυψέλη και στην συνέχεια σταματάει να κινείται γρήγορα εγκλωβίζεται και τερματίζει την κλήση του σε αυτή.

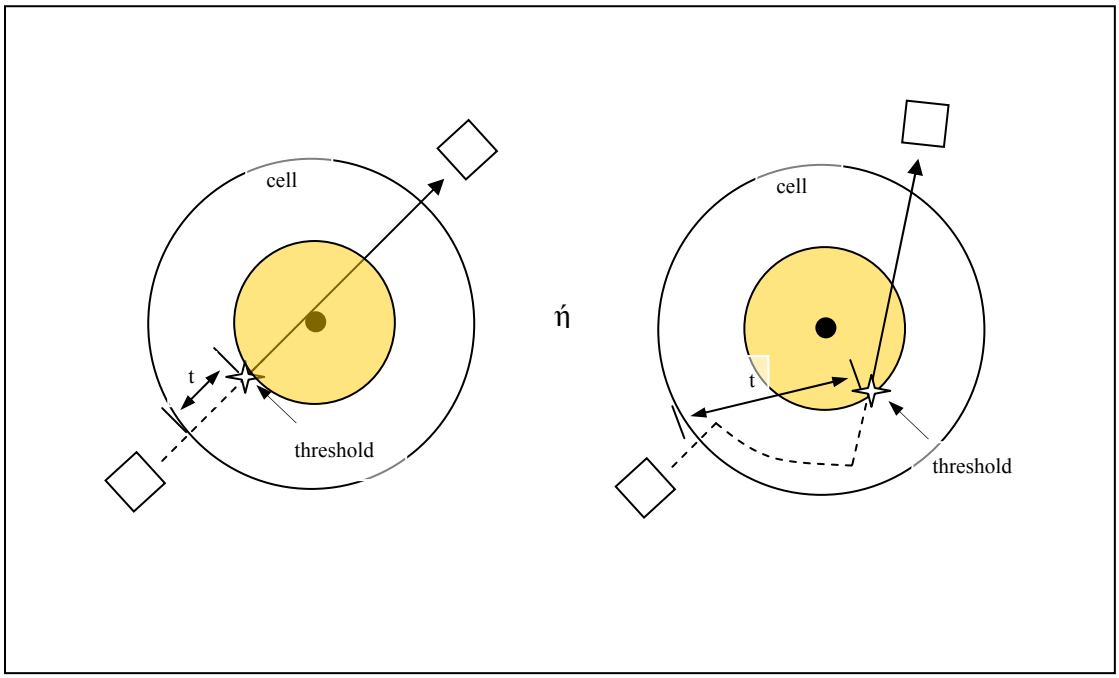
Διάφορες παραλλαγές του παραπάνω μοντέλου έχουν προταθεί, ως προς τον αριθμό των κυψελών που πρέπει να διασχίσει το κινητό προτού γίνει η σύγκριση του μετρούμενου χρόνου με το χρονικό κατώφλι. Αν ο αριθμός των κυψελών είναι μικρός παραμένει το πρόβλημα της αρχικής θέσης του κινητού ως προς την κυψέλη που εντάσσεται αρχικά με τα γνωστά προβλήματα. Από την άλλη, αν ο αριθμός τους είναι μεγάλος τότε το μοντέλο κινδυνεύει να μην μπορεί καν να προσδιορίσει την ταχύτητα του χρήστη, αφού αυτός θα ολοκληρώνει την κλήση του πριν τον προσδιορισμό της.

2.5.2. PLO (Power Level Offset)

Στην μέθοδο αυτή, όταν ένας χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα, εντάσσεται είτε στο μακροκυψελικό είτε στο μικροκυψελικό επίπεδο, όπου υπάρχουν ελεύθεροι πόροι, με πρώτη προτεραιότητα το μικροκυψελικό επίπεδο.

Όταν το κινητό τερματικό μπει στην περιοχή της επόμενης μικροκυψέλης, ασχέτως με το πιο επίπεδο αρχικά τον εξυπηρετεί, τίθεται ένα άνω όριο ισχύος όσον αφορά στην λαμβανόμενη ισχύ από τον σταθμό βάσης. Επίσης ένας μετρητής χρόνου ενεργοποιείται και σταματάει όταν η λαμβανόμενη από τον σταθμό βάσης ισχύς ξεπεράσει το άνω όριο ισχύος. Ο μετρούμενος χρόνος συγκρίνεται με ένα κατώφλι χρόνου, προκαθορισμένο και αυτό, και αν είναι μικρότερος από το κατώφλι ο χρήστης χαρακτηρίζεται ως γρήγορος. Στην αντίθετη περίπτωση ο χρήστης χαρακτηρίζεται αργός και εξυπηρετείται αναλόγως από το σύστημα.

Σχηματικά μπορούμε να φανταστούμε το άνω όριο ως ένα κυκλικό δίσκο με κέντρο το σταθμό βάσης της κυψέλης και ο χρόνος που μετράται είναι ο χρόνος που θα κάνει ο χρήστης να μπει εντός αυτού του δακτυλίου από την στιγμή που εισέρχεται στην κυψέλη. Σχηματικά το παραπάνω μοντέλο παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3

Το παραπάνω μοντέλο που έχει προταθεί στο [9], παρόλη την απλότητα και την λειτουργικότητά του, υποφέρει από τα ίδια προβλήματα όπως και το RDT, με κύριο αίτιο αυτών την εξάρτηση της μέτρησης από τη θέση που το κινητό τερματικό κλειδώνει με το σύστημα. Εκτός των προαναφερθέντων προβλημάτων υπάρχουν και τα παρακάτω :

- Δεν αξιοποιείται ο χρόνος που το κινητό παραμένει στην πρώτη κυψέλη ένταξής του. Ο χρήστης αν είναι αργός μπορεί να τελειώσει την κλήση του πριν καν κάνει διαπομπή.
- Στην περίπτωση που ο χρήστης κινείται συνεχώς κοντά στα όρια της κυψέλης, περιμετρικά του δακτυλίου που σχηματίζει το κατώφλι, τότε το μοντέλο δεν μπορεί να μετρήσει χρόνο και αποτυγχάνει.
- Από την στιγμή που μετράμε ισχύ δεν πρέπει να παραβλέπουμε την επίδραση του θορύβου στην αξιοπιστία των μετρήσεων.

Παραλλαγές του ίδιου μοντέλου έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία στις οποίες αυξάνεται ο αριθμός των άνω ορίων ισχύος με αποτέλεσμα η κυψέλη να περιέχει περισσότερους δακτυλίους. Σε αυτό το σχήμα γίνεται μέτρηση του χρόνου κίνησης του κινητού μεταξύ των ορίων δύο διαδοχικών δακτυλίων και συγκρίνεται με αντίστοιχα χρονικά κατώφλια. Επίσης μια μέση εκτίμηση προκύπτει με βάση δύο ή και περισσότερες μετρήσεις και όχι μόνο μία. Παρόλη την μείωση της πιθανότητας λανθασμένης εκτίμησης που προσφέρει ένα τέτοιο μοντέλο, βασικά προβλήματα που μπορεί να το οδηγήσουν σε αποτυχία δεν εξαλείφονται, όπως η περιμετρική κίνηση του χρήστη.

2.5.3. EA (Exponential Average)

Σε αυτό το μοντέλο, που προτείνεται στο [8], ο υπολογισμός της ταχύτητας του χρήστη δεν γίνεται όταν ο χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα, αλλά καθ΄ όλη την διάρκεια που το τερματικό είναι ενεργοποιημένο. Επίσης ο προσδιορισμός της ταχύτητας γίνεται από το κινητό χωρίς τη συμμετοχή των σταθμών βάσης ώστε να μην επιβαρύνεται το σύστημα. Όταν ο χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση, τότε το κινητό ενημερώνει το σύστημα επικοινωνώντας με την πλησιέστερη μακροκυψέλη για το προφίλ κινητικότητας του χρήστη του, ώστε να γίνεται άμεση τοποθέτησή του στο κατάλληλο ιεραρχικό επίπεδο.

Αναλυτικότερα, από την στιγμή που το κινητό ενεργοποιείται κάνει συνεχόμενες μετρήσεις των χρόνων που κάνει ο χρήστης του να διασχίσει τα όρια των κυψελών στις οποίες περιδιαβαίνει. Κάθε νέα μέτρηση χρόνου δεν συγκρίνεται ξεχωριστά με το κατώφλι του χρόνου διάσχισης της κυψέλης, για να ληφθεί η απόφαση αν ο χρήστης είναι γρήγορος ή αργός αλλά προστίθεται με βάση κάποιο συντελεστή στη μέση τιμή του αθροίσματος των προηγούμενων χρόνων που μετρήθηκαν. Δηλαδή για κάθε κυψέλη που διασχίζει ο χρήστης το κινητό εκτελεί την πράξη:

$$\mathbf{T_{new} = (1\text{-}a)\ T_{old} + a\ \Delta t}$$

όπου

T_{new} = Η νέα μέση τιμή του χρόνου διάσχισης κυψέλης από το χρήστη (New Mean Sojourn Time)

- Αν $T_{new} \geq T_{thress}$ τότε ο χρήστης θεωρείται αργός
- Αν $T_{new} \leq T_{thress}$ τότε ο χρήστης θεωρείται γρήγορος

T_{old} = Η παλιά μέση τιμή του χρόνου διάσχισης κυψέλης από το χρήστη (Old Mean Sojourn Time)

Δt = Η μετρούμενη τιμή του χρόνου διάσχισης της τελευταίας κυψέλης που βρισκόταν το τερματικό

και α ο συντελεστής που καθορίζει την ***μνήμη*** του μοντέλου και δίνεται από την σχέση:

$$a = \frac{2}{N+1}$$

όπου $N \geq 1$ ο αριθμός των κυψελών, οι χρόνοι διάσχισης των οποίων συμβάλλουν στον προσδιορισμό του νέου χρόνου διάσχισης που αποτελεί συνάρτησή τους.

Αν N=1 τότε το σύστημα δεν έχει καθόλου μνήμη αφού α=1 και $T_{new} = \Delta t$. Αύξηση του N κάνει το μοντέλο πιο απαθές σε απότομες αυξομειώσεις της ταχύτητας του χρήστη με αποτέλεσμα να μην αλλάζει άσκοπα και συνέχεια το προφίλ κινητικότητας του χρήστη.

Η παραπάνω παρατήρηση αποτελεί το πρώτο βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου και το δεύτερο, που προαναφέρθηκε, είναι ότι καθώς η παραπάνω απλή διαδικασία εκτελείται από το κινητό όταν αυτό είναι απλά ενεργοποιημένο, έχει ως αποτέλεσμα ο προσδιορισμός του προφίλ κινητικότητας του χρήστη και η κατάλληλη κατάταξη του από το σύστημα σε κάποιο επίπεδο να γίνεται άμεσα από την στιγμή που ο χρήστης θα ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα.

Τα μειονεκτήματα ενός τέτοιου μοντέλου είναι:

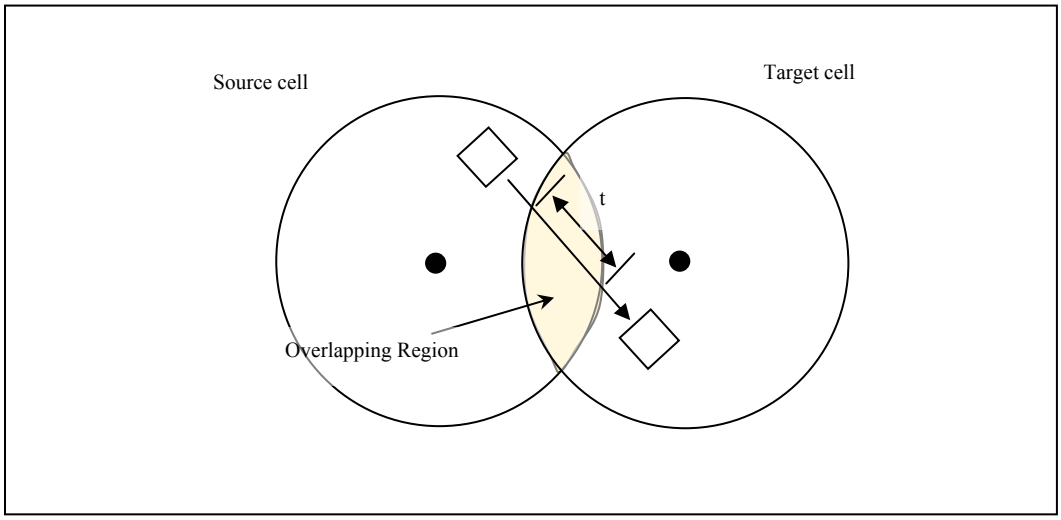
- Η πολυπλοκότητα της υλοποίησής του, αφού το κινητό πρέπει συνέχεια να επικοινωνεί με τους σταθμούς βάσης των κυψελών στις οποίες χωρικά ανήκει ο χρήστης.
- Αύξηση της σηματοδοσίας.
- Στην περίπτωση που κάποιος χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα αμέσως μετά την ενεργοποίηση της συσκευής του, δεν θα υπάρχει προϊστορία μετρήσεων και η επιλογή του επιπέδου θα γίνει τυχαία με ακαθόριστο αποτέλεσμα.

2.5.4. ORST (Overlapping Region Sojourn Time)

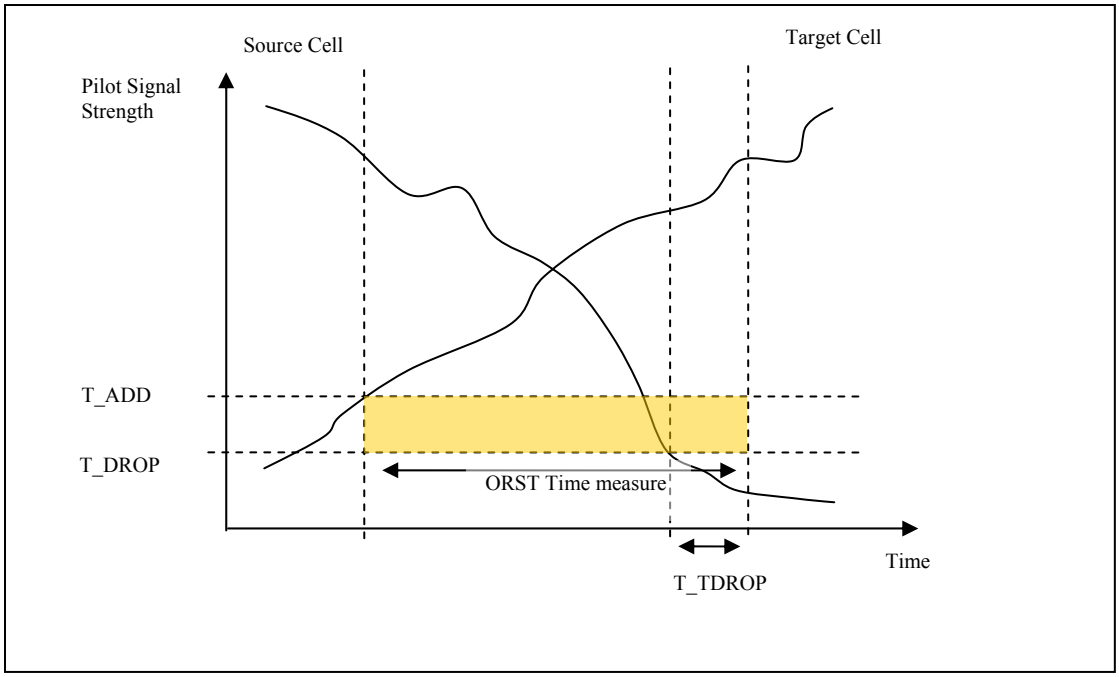
Το μοντέλο που περιγράφεται στο [9] στηρίζεται στον τρόπο υλοποίησης του soft handoff αλγόριθμου για να προσδιορίσει την ταχύτητα του κινητού τερματικού. Ο προσδιορισμός του προφίλ κινητικότητας του χρήστη γίνεται και πάλι με την μέτρηση του χρόνου διάσχισης μιας περιοχής και την σύγκρισή του με κάποιο κατώφλι χρόνου. Η περιοχή της οποίας ο χρόνος διάσχισης μετράται ονομάζεται **Overlapping Region** και καθορίζεται ως εξής.

Όταν ο χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα τότε αρχικά εντάσσεται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Καθώς κινείται πλησιάζοντας τα όρια της μικροκυψέλης στην οποία ανήκει, η ισχύς του σήματος που λαμβάνει από το σταθμό βάση της κυψέλης που κινείται μειώνεται και η ισχύς του σήματος από το σταθμό βάσης της κυψέλης προς την οποία κατευθύνεται αυξάνει. Όταν η ισχύς του σήματος από την κυψέλη στόχο ξεπεράσει το κατώφλι T_ADD, το τερματικό θεωρείται από το μοντέλο ότι εισέρχεται στην **Overlapping περιοχή** μεταξύ των δύο μικροκυψελών. Όταν το σήμα που λαμβάνεται από την κυψέλη πηγή (την μικροκυψέλη στην οποία αρχικά εντάχθηκε ο χρήστης) γίνει μικρότερο του T_DROP και αυτή η κατάσταση διατηρηθεί για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του T_TDROP το σύστημα θεωρεί ότι ο χρήστης αποχώρησε από την **Overlapping** περιοχή. Στην περίπτωση, η οποία είναι και η συνηθέστερη, που το κινητό λαμβάνει περισσότερα του ενός σήματα από γειτονικές κυψέλες, όπως και στον soft handoff αλγόριθμο, κυψέλη προορισμός-στόχος θεωρείται εκείνη με το δυνατότερο σήμα.

Σχηματικά παρουσιάζεται η παραπάνω διαδικασία στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4



Σχήμα 5

Ο χρόνος που έκανε ο χρήστης να διασχίσει την παραπάνω περιοχή συγκρίνεται με ένα κατώφλι χρόνου και αν είναι μικρότερος από αυτό ο χρήστης θεωρείται γρήγορος ενώ αν είναι μεγαλύτερος από αυτό ο χρήστης θεωρείται αργός.
Τα κυριότερα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου είναι:

- Το μικρό μέγεθος της περιοχής εντός της οποίας γίνεται η καταμέτρηση του χρόνου. Όσο πιο μικρή είναι η περιοχή, τόσο λιγότερο το μοντέλο υποφέρει από παλινδρομικές κινήσεις που μπορεί να κάνει ο χρήστης δίνοντας παραπλανητικούς χρόνους.
- Είναι το μοναδικό από τα παραπάνω μοντέλα που ο υπολογισμός της ταχύτητας του χρήστη γίνεται στην κυψέλη που αρχικοποιείται, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης του συστήματος.

Στον αντίποδα και πάλι το αποτέλεσμα του εξαρτάται και από την αρχική θέση εμφάνισης του χρήστη και από τον τρόπο κίνησης του. Ακόμα, για αργούς χρήστες που δεν προλαβαίνουν να διασχίσουν την overlapping περιοχή η ένταξή τους στο μικροκυψελικό επίπεδο είναι μονόδρομος. Τέλος δεν πρέπει να αγνοούμε την επίδραση του θορύβου στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων.
Παραλλαγή του παραπάνω μοντέλου αποτελεί το AORST (Average Overlapping Region Sojourn Time) στο οποίο η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε φορά που το κινητό τερματικό διασχίζει τα όρια κάποιας κυψέλης, και το αποτέλεσμα συμβάλει στον προσδιορισμό ενός μέσου χρόνου όπως στο μοντέλο AE.

2.6. Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκαν οι μέθοδοι μέσω των οποίων μπορεί το σύστημα να προσδιορίζει το προφίλ κινητικότητας των χρηστών μέσω άμεσου ή έμμεσου προσδιορισμού της ταχύτητάς τους. Η μελέτη τους και η σύγκριση τους έγινε ποιοτικά καθώς η περαιτέρω ανάλυσή τους δεν εμπίπτει στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Συνοψίζοντας την λειτουργία τους βλέπουμε ότι υπάρχουν δύο αντικρουόμενα χαρακτηριστικά, η ακρίβεια στον προσδιορισμό της ταχύτητας του χρήστη και η πολυπλοκότητα, η οποία αυξάνει με την αύξηση της ακρίβειας. Έτσι μοντέλα όπως αυτά που στηρίζονται στο φαινόμενο Doppler δίνουν πολύ μεγάλη ακρίβεια και ο χρόνος απόκρισης τους είναι πάρα πολύ μικρός αλλά ταυτόχρονα η πολυπλοκότητα της υλοποίησής τους είναι μεγάλη και ίσως τα καθιστά μη εφαρμόσιμα. Από την άλλη, μοντέλα όπως το PLO και το RDT είναι πολύ απλά αφού το μόνο που χρειάζονται είναι ένας μετρητής χρόνου, από την άλλη όμως ο προσδιορισμός της ταχύτητας του χρήστη είναι έμμεσος, με μεγάλη πιθανότητα σφάλματος και μεγάλο χρόνο απόκρισης.

Είναι στην ευκαιρία του σχεδιαστή του συστήματος εξυπηρέτησης κλήσεων ενός ιεραρχικού μοντέλου να επιλέξει το κατάλληλο μοντέλο προσδιορισμού του προφίλ κινητικότητας των χρηστών με βάση τις ανάγκες του, είτε για ακρίβεια, είτε για απλότητα, όπως και τα χαρακτηριστικά της περιοχής που το σύστημα θα εξυπηρετεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΕ ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1. Εισαγωγή

Ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρεται το σύστημα απέναντι στο χρήστη, όταν αυτός ζητήσει εξυπηρέτηση από αυτό, καθορίζεται από το μοντέλο διαχείρισης κλήσεων που ακολουθεί το σύστημα. Τα προς διευθέτηση θέματα που απασχολούν μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά συστήματα αφορούν την επιλογή του κατάλληλου επιπέδου από το οποίο θα εξυπηρετηθεί ο χρήστης, τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει αυτή η επιλογή, η κατανομή των διαθέσιμων πόρων – συχνοτήτων του συστήματος, η διατήρηση του απαιτούμενου QoS καθ΄ όλη την διάρκεια της εξυπηρέτησης και άλλα επιμέρους θέματα. Βασικός στόχος κάθε μοντέλου είναι η βελτιστοποίηση των παραμέτρων του συστήματος όπως η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, η πιθανότητα διακοπής κλήσεων, η μείωση του φόρτου σηματοδοσίας, αλλά και η κατά το δυνατόν διατήρηση της εύρυθμης λειτουργίας του συστήματος κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες προσφερόμενου φορτίου κίνησης.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κυριότερα μοντέλα που έχουν προταθεί, γίνεται ανάλυση του τρόπου λειτουργίας τους, αναφέρονται οι στόχοι και τα προβλήματα που προσπαθεί να επιλύσει το κάθε ένα, αλλά και τα μειονεκτήματα τους. Στην διάρκεια των τελευταίων δεκαπέντε ετών, η μεγάλη έρευνα που έγινε επί του θέματος ανέδειξε πάρα πολλά μοντέλα, κάθε ένα από το οποία αποτελεί εξέλιξη των προηγούμενών του και προσπαθεί να δώσει απαντήσεις στα άλυτα θέματα των προγενέστερων, να αντιμετωπίσει τα καινούρια προβλήματα που ανέκυπταν, και κυρίως να προσαρμοστεί στις νέες απαιτήσεις που γεννά η ραγδαία ανάπτυξη των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας (νέες υπηρεσίες, υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης, αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών).

Για τους παραπάνω λόγους η παρουσίαση των μοντέλων ακολουθεί την χρονολογική σειρά εμφάνισής τους δίνοντας έμφαση στις γενικότερες τεχνικές σχεδίασης που αναπτύχθηκαν, και παρουσιάζοντας τους κυριότερους εκπροσώπους – μοντέλα της κάθε τεχνικής.

3.2. Μοντέλα Βασισμένα Στην Εξυπηρέτηση Της Υπερροϊκής Κίνησης OMS (Overflow Management Strategies)

Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας στήριξαν την λειτουργία τους στην ύπαρξη ενός επιπέδου κυψελών οι οποίες κάλυπταν την εκάστοτε περιοχή εξυπηρέτησης, παρέχοντας όσο το δυνατό μεγαλύτερη ραδιοκάλυψη. Αυτή η τεχνική του ενός μωσαϊκού κυψελών αντιμετώπιζε κάποια προβλήματα τα οποία με την πάροδο του χρόνου άρχισαν να γίνονται πιο εμφανή. Τα κυριότερα από τα οποία ήταν:

1. Λόγω των γεωγραφικών ιδιαιτεροτήτων ή άλλων ιδιομορφιών κάποιων περιοχών ή λόγω της βλάβης κάποιου σταθμού βάσης η συνέχεια του μωσαϊκού των κυψελών διακόπτονταν, αφήνοντας κενά στη ραδιοκάλυψη.
2. Η ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα των κινητών τηλεπικοινωνιών και η ανάλογη αύξηση του φορτίου κίνησης που καλούνταν να εξυπηρετήσει το σύστημα είχε ως αποτέλεσμα την όλο συχνότερη εμφάνιση περιοχών κυψελών που δεν μπορούσαν με τους διαθέσιμους πόρους τους να εξυπηρετήσουν την προσφερόμενη κίνηση. Οι περιοχές αυτές είτε αναφερόμαστε σε μια κυψέλη είτε σε περισσότερες γειτονικές ονομάζονται **hot spots** και η εμφάνιση τους δεν εξαρτάται μόνο από τον χώρο αλλά και από τον χρόνο είτε μακροπρόθεσμα είτε βραχυπρόθεσμα. Τεχνικές που αναπτύχθηκαν για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι:
   Α) Δυναμική κατανομή διαύλων (DCA)
   Στην τεχνική αυτή (Dynamic channel allocation) δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ διαύλων και κυψελών, αλλά οι δίαυλοι κρατούνται σε κεντρικό σημείο διάθεσης, και εκχωρούνται δυναμικά στις κυψέλες. Παραλλαγές του παραπάνω μοντέλου αποτελούν η μέγιστη ομαδοποίηση, η αποκεντρωμένη DCA, η δυναμική απόκτηση πόρων, η πλήρως αποκεντρωμένη DCA και άλλες.
   Β) Υβριδική κατανομή διαύλων HCA
   Αποτελεί μίγμα DCA και FCA (Fixed channel allocation).
   Γ) Δανεισμός διαύλων
   Η γενική ιδέα σε αυτή την τεχνική είναι ότι η κυψέλη που εμφανίζει συμφόρηση μπορεί να δανειστεί ελεύθερους διαύλους από γειτονικές κυψέλες. . Παραλλαγές του παραπάνω μοντέλου αποτελούν ο αλγόριθμος απλού δανεισμού, ο αλγόριθμος δανεισμού με διάταξη διαύλων, ο αλγόριθμος δανεισμού με κατευθυντικό κλείδωμα και άλλοι.

Για αναλυτική περιγραφή των παραπάνω κεφ.5 στο [1]. Οι παραπάνω τεχνικές λόγω του ότι απαιτούσαν μετακίνηση διαύλων, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της συνεχούς επιτήρησης και προσαρμογής του συστήματος για την αποφυγή φαινομένων ομοδιαυλικής παρεμβολής.

Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη μιας νέας αρχιτεκτονικής κυψελών που ονομάζεται πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική κυψελών (multi-layered cell architecture) ή **Ιεραρχική Δομή Κυψελών (HCS: Hierarchical Cell Architecture)**. Αποτελείται από μεγάλες υπερκείμενες μακροκυψέλες (που ονομάζονται και κυψέλες ομπρέλες) και μικρές μικροκυψέλες. Η αρχιτεκτονική αυτή πλεονεκτεί στο ότι:

- Οι υπερκείμενες μακροκυψέλες παρέχουν ραδιοκάλυψη στην ευρύτερη περιοχή πέραν των περιοχών ραδιοκάλυψης των μικροκυψελών ‘‘ μπαλώνοντας’’ τον χώρο.

- Οι υπερκείμενες μακροκυψέλες μπορούν να εξυπηρετούν την υπερροϊκή κίνηση από το μικροκυψελικό επίπεδο κατά την εμφάνιση hot spots.

Για τον παραπάνω λόγο τα πρώτα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα χαρακτηρίστηκαν ως εξυπηρετητές υπερροϊκής κίνησης. Αν μια ή περισσότερες κυψέλες λόγω έλλειψης πόρων δεν μπορούσαν να εξυπηρετήσουν κάποια χρονική στιγμή τον αυξανόμενο αριθμό χρηστών τους, αυτοί μεταφέρονταν στο μακροκυψελικό επίπεδο από το οποίο και εξυπηρετούνταν.

- Όμως η ανάπτυξη ενός ιεραρχικού μοντέλου είχε και ένα επιπλέον μεγάλο πλεονέκτημα. Το μικρό μέγεθος των μικροκυψελών έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση του φάσματος που τους ανατίθενται, με αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος.

Δυο διαφορετικές στρατηγικές εμφανίστηκαν που διάφεραν ως προς το σε ποιο επίπεδο θα εντάσσονταν αρχικά οι χρήστες στο μακροκυψελικό ή στο μικροκυψελικό. Η αρχική ένταξη όλων των χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο και η θεώρηση του μικροκυψελικού ως εξυπηρετητή της προς τα κάτω υπερροϊκής κίνησης, θα έπρεπε να συνδυάζονταν με την αύξηση του ποσοστού των διαύλων του συστήματος που θα αναθέτονταν στο πρώτο. Κάτι τέτοιο όμως θα μείωνε την ικανότητα της μεγαλύτερης επαναχρησιμοποίησης του φάσματος του μικροκυψελικού επιπέδου. Άρα η παραπάνω στρατηγική απορρίφθηκε και ως αρχικό επίπεδο ένταξης των χρηστών θεωρήθηκε το μικροκυψελικό. Τα μοντέλα που ακολούθησαν, όπως θα γίνει φανερό στην συνέχεια, υιοθέτησαν την παραπάνω άποψη, θεωρώντας το μικροκυψελικό επίπεδο ως επίπεδο εξυπηρέτησης των μεγαλύτερων πληθυσμιακά ομάδων χρηστών από τις διάφορες κατηγορίες στις οποίες άρχισαν να χωρίζονται.

Πριν συνεχίσουμε την ανάλυση, πρέπει να αναφερθεί ότι η ύπαρξη ιεραρχικών μοντέλων αναπόφευκτα οδηγεί στην ύπαρξη τεσσάρων ειδών διαπομπών, από μικροκυψέλη σε μικροκυψέλη, από μακροκυψέλη σε μακροκυψέλη, από μικροκυψέλη σε μακροκυψέλη και από μακροκυψέλη σε μικροκυψέλη, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα του χειρισμού των διαπομπών.

3.3. Μοντέλα Που Λαμβάνουν Υπόψη Το Προφίλ Κινητικότητας Των Χρηστών VAS (Velocity Assignment Strategies)

Η ύπαρξη μικροκυψελών, των οποίων η ακτίνα κυμαίνεται από 100-200 m συνήθως, εκτός των πλεονεκτημάτων που προανέφεραμε, δημιούργησε ένα μεγάλο πρόβλημα το οποίο μείωνε την απόδοση του συστήματος. Λόγω του μικρού μεγέθους των μικροκυψελών, οι χρήστες με μεγάλη ταχύτητα διέσχιζαν μεγάλο αριθμό μικροκυψελών κατά την διάρκεια της εξυπηρέτησής τους από το σύστημα. Γνωρίζοντας ότι για την επίτευξη μιας διαπομπής στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας απαιτείται και η κατάλληλη σηματοδοσία, η αύξηση του φόρτου σηματοδοσίας του συστήματος ήταν μεγάλη, αποτελώντας τροχοπέδη της συνολικής τους απόδοσης. Θεωρητικές μελέτες [10] ήρθαν να υποστηρίξουν την ύπαρξη του παραπάνω φαινομένου.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έγινε φανερή η ανάγκη διαχωρισμού των χρηστών σε κατηγορίες με βάση την κινητικότητά τους και για διαφορετική αντιμετώπιση της κάθε κατηγορίας από το σύστημα. Ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα προσδιορίζει έμμεσα ή άμεσα την ταχύτητα ενός χρήστη και τον χαρακτηρίζει ως γρήγορο ή αργό αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Απλά επισημαίνουμε και πάλι ότι η κατηγοριοποίηση των χρηστών προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλου κατωφλίου ταχύτητας με το οποίο θα συγκρίνεται η ταχύτητά του. Ο προσδιορισμός του κατωφλίου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε προς εξέταση περιοχής και δεν έχει σταθερή τιμή. Χρήστες που με βάση την ταχύτητά τους σε μια περιοχή θεωρούνται γρήγοροι σε μια άλλη μπορεί να θεωρούνται αργοί.

Έτσι αναπτύχθηκε μια νέα κατηγορία μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων τα οποία λάμβαναν υπόψη τους την κινητικότητα των χρηστών. Η βασική αρχή των παραπάνω μοντέλων είναι ότι:

Γρήγορα κινούμενοι χρήστες εξυπηρετούνται κατά κύριο λόγο από το μακροκυψελικό επίπεδο και οι αργοί από το μικροκυψελικό. Η εξυπηρέτηση των γρήγορων χρηστών από τις μακροκυψέλες έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των διαπομπών που κάνουν κατά την διάρκεια της εξυπηρέτησής τους με αποτέλεσμα την μείωση του φορτίου σηματοδοσίας του συστήματος.

Δύο είναι τα ερωτήματα που έπρεπε να απαντηθούν και οδήγησαν στην δημιουργία των τεσσάρων βασικών μοντέλων που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία:

1. Σε πιο επίπεδο θα εντάσσονται αρχικά οι χρήστες που ανήκουν στην εκάστοτε κατηγορία; και
2. Πως θα συμπεριφέρεται το σύστημα στους χρήστες της κάθε κατηγορίας κατά την διάρκεια της εξυπηρέτησής τους;

Η απάντηση στο δεύτερο ερώτημα έφερε στο προσκήνιο δύο διαφορετικές μεθόδους αντιμετώπισης.

- Η πρώτη θέλει τους χρήστες οι οποίοι αναγκάζονται να εγκαταλείψουν το ‘‘φυσικό’’ επίπεδο εξυπηρέτησής τους, λόγω μη ύπαρξης διαθέσιμων πόρων στην κυψέλη προς την οποία κατευθύνονται, και αλλάζουν επίπεδο, να παραμένουν σε αυτό μέχρι να ολοκληρώσουν την κλήση τους. Με τον όρο ‘‘φυσικό’’ επίπεδο εξυπηρέτησής εννοούμε για τους αργούς χρήστες το μικροκυψελικό επίπεδο και για τους γρήγορους χρήστες το μακροκυψελικό επίπεδο.

  Με απλά λόγια αν ένας αργός χρήστης ενταγμένος στο μικροκυψελικό επίπεδο, μεταβεί στο μακροκυψελικό επίπεδο λόγω μη ύπαρξης ελεύθερων διαύλων στην μικροκυψέλη προς την οποία κατευθύνονταν, θα ολοκληρώσει την κλήση του στο μακροκυψελικό επίπεδο.

  Αν ένας γρήγορος χρήστης ενταγμένος στο μακροκυψελικό επίπεδο, μεταβεί στο μικροκυψελικό επίπεδο λόγω μη ύπαρξης ελεύθερων διαύλων στην μακροκυψέλη προς την οποία κατευθύνονταν, θα ολοκληρώσει την κλήση του στο μικροκυψελικό επίπεδο.

- Η δεύτερη θέλει τους χρήστες οι οποίοι αναγκάζονται να εγκαταλείψουν το ‘‘φυσικό’’ επίπεδο εξυπηρέτησής τους, λόγω μη ύπαρξης διαθέσιμων πόρων στην κυψέλη προς την οποία κατευθύνονται, και αλλάζουν επίπεδο να προσπαθούν να επιστρέψουν στο φυσικό τους επίπεδο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται **Take Back**.

  Με απλά λόγια, αν ένας αργός χρήστης ενταγμένος στο μικροκυψελικό επίπεδο, μεταβεί στο μακροκυψελικό επίπεδο λόγω μη ύπαρξης ελεύθερων διαύλων στη μικροκυψέλη προς την οποία κατευθύνονταν, καθώς κινείται σε αυτό ελέγχει τους πόρους των μικροκυψελών από τις οποίες διέρχεται. Αν υπάρχει μικροκυψέλη η οποία μπορεί να τον εξυπηρετήσει τότε επιστρέφει στο μικροκυψελικό επίπεδο και εντάσσεται σε αυτή.

  Αν ένας γρήγορος χρήστης ενταγμένος στο μακροκυψελικό επίπεδο, μεταβεί στο μικροκυψελικό επίπεδο λόγω μη ύπαρξης ελεύθερων διαύλων στη μακροκυψέλη προς την οποία κατευθύνονταν, καθώς κινείται σε αυτό ελέγχει τους πόρους των μακροκυψελών από τις οποίες διέρχεται. Αν υπάρχει μακροκυψέλη η οποία μπορεί να τον εξυπηρετήσει τότε επιστρέφει στο μακροκυψελικό επίπεδο και εντάσσεται σε αυτή.

Τα μοντέλα που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία ονομάζονται μοντέλα χωρίς take back και τα μοντέλα που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία ονομάζονται μοντέλα με take back.

Επίσης είναι πολύ σημαντικό να επισημάνουμε ότι αλλαγή του προφίλ κινητικότητας του χρήστη δεν αγνοείται από το σύστημα το οποίο στην επόμενη διαπομπή που θα κάνει θα επαναπροσδιορίσει το επίπεδο εξυπηρέτησης του με βάση τα νέα δεδομένα.

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα είναι πιο σύνθετη. Κοινός άξονας όλων των στρατηγικών που προτάθηκαν είναι ότι:

Οι αργοί χρήστες κατά την ένταξη τους στο σύστημα θα πρέπει αρχικά να προσπαθούν να προσδεθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο, αν υπάρχουν ελεύθεροι πόροι στην μικροκυψέλη που καλύπτει την περιοχή που βρίσκονται.

Η ένταξη των αργών χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο θεωρείται η αποδοτικότερη τεχνική λόγω του ότι η μικρή τους ταχύτητα περιορίζει τον αριθμό των διαπομπών που αυτοί κάνουν καθ΄ όλη την διάρκεια της εξυπηρέτησής τους και το σύστημα δεν επιβαρύνεται με πρόσθετο φορτίο σηματοδοσίας όπως με τους γρήγορους.
Από την άλλη, στο θέμα του επίπεδου ένταξης των γρήγορων χρηστών υπήρξαν πολλές και διαφορετικές απόψεις, για αυτό και η εμφάνιση της **παραμέτρου P**.

Η παράμετρος P εκφράζει το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που κατά την είσοδό τους στο σύστημα προσπαθούν να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο.

- Όταν P=0 % όλοι οι γρήγοροι χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο **μικροκυψελικό** επίπεδο.
- Όταν P=100 % όλοι οι γρήγοροι προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο **μακροκυψελικό** επίπεδο.

Διάφορα μοντέλα υποστηρίζουν ενδιάμεσες τιμές της παραμέτρου P ως κατάλληλες κάτω από συγκεκριμένα είδη φορτίων και ποσοστά αργών και γρήγορων χρηστών επί του συνολικού αριθμού των χρηστών που υπάρχουν στο σύστημα.

Στην συνέχεια ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας των περισσότερων μοντέλων που ανήκουν στην κατηγορία που μελετάμε και έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία.

3.3.1 Χωρίς take back και P = 0%

Αποτελεί το πιο απλό μοντέλο αφού όλοι οι χρήστες κατά την ένταξή τους στο σύστημα προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο και αφού δεν υπάρχει take back, όσοι χρήστες αναγκαστούν να κάνουν διαπομπή στο μακροκυψελικό επίπεδο τερματίζουν την κλήση τους σε αυτό. Το μοντέλο θυμίζει την λειτουργία των μοντέλων που λειτουργούν μόνο ως εξυπηρετητές υπερροϊκής κίνησης. Αναλυτικότερα :

- Αιτήσεις για εγκατάσταση νέας κλήσης αρχικά κατευθύνονται προς την μικροκυψέλη. Αν βρεθούν οι απαραίτητοι πόροι τότε δεσμεύονται και η αίτηση γίνεται αποδεκτή. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι, τότε η κλήση προωθείται προς την μακροκυψέλη. Αν τώρα στην μακροκυψέλη βρεθούν οι διαθέσιμοι πόροι τότε δεσμεύονται και η κλήση γίνεται αποδεκτή. Αν όχι, τότε η αίτηση απορρίπτεται και η κλήση αποκλείεται.
- Κλήσεις σε εξέλιξη παραμένουν στην κυψέλη που έχουν εγκατασταθεί μέχρι το πέρας τους ή μέχρι να εγκαταλείψουν την κυψέλη. Και στις δύο περιπτώσεις οι πόροι που είχαν καταλάβει κατά την εγκατάστασή τους ελευθερώνονται.
- Κλήσεις οι οποίες κατευθύνονται εκτός των ορίων την κυψέλης από την οποία εξυπηρετούνται δημιουργούν αιτήσεις διαπομπής. Οι αιτήσεις διαπομπής κατευθύνονται αρχικά προς την γειτονική κυψέλη σε σχέση με την κυψέλη που είναι εγκατεστημένη η κλήση προκειμένου να δεσμεύσουν ασύρματους πόρους. Αν οι τελευταίοι είναι διαθέσιμοι, τότε δεσμεύονται, η αίτηση γίνεται αποδεκτή και η κλήση συνεχίζεται. Αν όχι η αίτηση διαπομπής προωθείται προς την κυψέλη του υψηλότερου επιπέδου όπου αν βρει διαθέσιμους πόρους , αυτοί δεσμεύονται, η αίτηση γίνεται αποδεκτή και η κλήση συνεχίζεται. Αν όχι, η αίτηση διαπομπής απορρίπτεται και η κλήση διακόπτεται. Οι κλήσεις οι οποίες ήδη εξυπηρετούνται από το υψηλότερο επίπεδο (μακροκυψελικό) αν αποτύχουν να βρουν πόρους στην γειτονική μακροκυψέλη προσπαθούν να εγκατασταθούν στο μικροκυψελικό. Αν και εκεί αποτύχουν απορρίπτονται.

Παραλλαγή του παραπάνω μοντέλου θέλει τις κλήσεις να ρέουν μόνο από το κατώτερο επίπεδο προς το ανώτερο, όχι μόνο κατά την εγκατάστασή τους αλλά και κατά τις διαπομπές τους, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα επιστροφής. Ακόμα μια παραλλαγή επιτρέπει μόνο για τους αργούς χρήστες την προς τα κάτω υπερροϊκή κίνηση.

3.3.2 Χωρίς take back και P =100%

Στο συγκεκριμένο μοντέλο το προφίλ κινητικότητας του χρήστη επηρεάζει την συμπεριφορά του συστήματος απέναντί του, επί της ουσίας μόνο κατά την ένταξη του σε αυτό. Κατά την διάρκεια της κλήσης τους οι χρήστες αλλάζουν επίπεδο εξυπηρέτησης μόνο λόγω μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων στην κυψέλη του ιδίου επιπέδου που κινούνται. Αναλυτικότερα:

- *Νέα κλήση αργού χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μικροκυψέλη όπου αυτός χωρικά ανήκει και πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι τότε η νέα κλήση προωθείται στην υπερκείμενη μακροκυψέλη. Η κλήση τότε θα γίνει δεκτή αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Αν δεν υπάρχουν τότε η κλήση απορρίπτεται από το σύστημα.
- *Νέα κλήση γρήγορου χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μακροκυψέλη όπου αυτός χωρικά ανήκει και πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι τότε η νέα κλήση οδηγείται στην μικροκυψέλη η οποία καλύπτει την θέση που βρίσκεται ο γρήγορος χρήστης. Σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων και σε αυτή τότε απορρίπτεται από το σύστημα.
- *Κλήση σε εξέλιξη ανεξαρτήτου κατηγορίας:* Κλήσεις σε εξέλιξη παραμένουν στην κυψέλη όπου έχουν εγκατασταθεί μέχρι το πέρας τους ή μέχρι να εγκαταλείψουν τη κυψέλη. Και στις δύο περιπτώσεις οι πόροι τους οποίους είχαν καταλάβει ελευθερώνονται και αποδίδονται στο σύστημα.
- *Αιτήσεις διαπομπής ανεξαρτήτου κατηγορίας:* Οι αιτήσεις διαπομπής κατευθύνονται αρχικά προς την γειτονική κυψέλη σε σχέση με την κυψέλη που είναι εγκατεστημένη η κλήση προκειμένου να δεσμεύσουν ασύρματους πόρους. Αν οι τελευταίοι είναι διαθέσιμοι, τότε δεσμεύονται, η αίτηση γίνεται αποδεκτή και η κλήση συνεχίζεται. Αν όχι η αίτηση διαπομπής προωθείται προς την κυψέλη του υψηλότερου επιπέδου όπου αν βρει διαθέσιμους πόρους, αυτοί δεσμεύονται, η αίτηση γίνεται αποδεκτή και η κλήση συνεχίζεται. Αν όχι, η αίτηση διαπομπής απορρίπτεται και η κλήση διακόπτεται. Οι κλήσεις οι οποίες ήδη εξυπηρετούνται από το υψηλότερο επίπεδο (μακροκυψελικό) αν αποτύχουν να βρουν πόρους στην γειτονική μακροκυψέλη προσπαθούν να εγκατασταθούν στο μικροκυψελικό. Αν και εκεί αποτύχουν απορρίπτονται.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται φανερή η προσπάθεια διαχωρισμού στο συγκεκριμένο μοντέλο των γρήγορων χρηστών από τους αργούς και η διάθεση του συστήματος να εντάσσει τους πρώτους στο μακροκυψελικό επίπεδο. Κύριος στόχος μιας τέτοια πολιτικής είναι η μείωση του συνολικού αριθμού των διαπομπών του συστήματος που επιφέρει η ένταξη των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο. Βέβαια παρατηρούμε ότι ο διαχωρισμός τους δεν τηρείται αυστηρά και σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων είτε κατά την προσπάθεια ένταξής τους σε αυτό ή στην περίπτωση διαπομπής οδηγούνται στο μικροκυψελικό επίπεδο όπου και ολοκληρώνουν την κλήση τους σε αυτό.

3.3.3 Με take back και P =100%

Στα μοντέλα που ακολουθούν και έχουν την ιδιότητα take back, το σύστημα πλέον επεμβαίνει και καθορίζει το επίπεδο από το οποίο θα εξυπηρετηθεί ο εκάστοτε χρήστης καθ΄ όλη την διάρκεια της κλήσης του. Αναλυτικότερα το μοντέλο που περιγράφεται στο [11] συμπεριφέρεται ως εξής:

- *Νέα κλήση αργού χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μικροκυψέλη όπου αυτός χωρικά ανήκει και πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι τότε η νέα κλήση προωθείται στη υπερκείμενη μακροκυψέλη. Η κλήση τότε θα γίνει δεκτή αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Αν δεν υπάρχουν τότε η κλήση απορρίπτεται από το σύστημα.
- *Νέα κλήση γρήγορου χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μακροκυψέλη όπου αυτός χωρικά ανήκει και πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι τότε η νέα κλήση οδηγείται στην μικροκυψέλη η οποία καλύπτει την θέση που βρίσκεται ο γρήγορος χρήστης. Σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων και σε αυτή τότε απορρίπτεται από το σύστημα.
- *Αίτηση διαπομπής αργού χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μικροκυψέλη στόχο στην οποία κατευθύνεται ο αργός χρήστης ανεξάρτητα αν μέχρι τώρα η εξυπηρετούσα κυψέλη ήταν μικροκυψέλη ή μακροκυψέλη. Σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων η αίτηση διαπομπής θα ζητήσει πόρους από την υπερκείμενη μακροκυψέλη. Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι η αίτηση θα απορριφθεί.
- *Κλήση σε εξέλιξη αργού χρήστη:* Κλήσεις σε εξέλιξη στο μικροκυψελικό επίπεδο παραμένουν στην κυψέλη όπου έχουν εγκατασταθεί μέχρι το πέρας τους ή μέχρι να εγκαταλείψουν τη κυψέλη. Και στις δύο περιπτώσεις οι πόροι τους οποίους είχαν καταλάβει ελευθερώνονται και αποδίδονται στο σύστημα. Κλήσεις σε εξέλιξη στο μακροκυψελικό επίπεδο κάθε φορά που διασχίζουν τα χωρικά όρια των υποκείμενων μικροκυψελών της μακροκυψέλης από την οποία εξυπηρετούνται εξετάζουν την ύπαρξη ελεύθερων πόρων σε αυτές. Αν βρουν τότε επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο εξυπηρέτησης (μικροκυψελικό) και μόνο τότε απελευθερώνουν τους πόρους της μακροκυψέλης που ανήκουν, διαφορετικά συνεχίζουν την κλήση τους σε αυτή. Πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι ο έλεγχος για την επιστροφή του χρήστη στο φυσικό του επίπεδο δεν θέτει σε καμία περίπτωση υπό αμφισβήτηση την διατήρηση του διαύλου που κατέχει στην μακροκυψέλη από την οποία εξυπηρετείται και τον οποίο απελευθερώνει, όπως προαναφέραμε, μόνο όταν μπορεί να επιστρέψει σε αυτό.
- *Αίτηση διαπομπής γρήγορου χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μακροκυψέλη στόχο στη οποία κατευθύνεται ο γρήγορος χρήστης ανεξάρτητα αν μέχρι τώρα η εξυπηρετούσα κυψέλη ήταν μικροκυψέλη ή μακροκυψέλη. Σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων η αίτηση διαπομπής θα προωθηθεί στη γειτονική μικροκυψέλη με βάση την κατεύθυνση κίνησης του χρήστη. Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι η αίτηση θα απορριφθεί.
- *Κλήση σε εξέλιξη γρήγορου χρήστη:* Κλήσεις σε εξέλιξη στο μακροκυψελικό επίπεδο παραμένουν στην κυψέλη όπου έχουν εγκατασταθεί μέχρι το πέρας τους ή μέχρι να εγκαταλείψουν τη κυψέλη. Και στις δύο περιπτώσεις οι πόροι τους οποίους είχαν καταλάβει ελευθερώνονται και αποδίδονται στο σύστημα. Κλήσεις σε εξέλιξη στο μικροκυψελικό επίπεδο κάθε φορά που διασχίζουν τα

χωρικά όρια της μακροκυψέλης που είναι υπερκείμενη της μικροκυψέλης από τη οποία εξυπηρετούνται εξετάζουν την ύπαρξη ελεύθερων πόρων σε αυτή. Αν βρουν τότε επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο εξυπηρέτησης (μακροκυψελικό) και μόνο τότε απελευθερώνουν τους πόρους της μικροκυψέλης που ανήκουν, διαφορετικά συνεχίζουν την κλήση τους στο μικροκυψελικό επίπεδο.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το μοντέλο υιοθετεί την άποψη του πλήρους διαχωρισμού των χρηστών σε δύο κατηγορίες κάθε μία από της οποίες έχει το δικό της επίπεδο εξυπηρέτησης και προσπαθεί να διατηρηθεί σε αυτό καθ΄ όλη την διάρκεια της κλήσης.

Στο [11] αναφέρονται δύο κυρίως λόγοι για τους οποίους η επιστροφή των χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο εξυπηρέτησης βελτιώνει τις επιδόσεις του συστήματος.

1. Η επιστροφή των αργών χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο μετά από την ένταξή τους στο μακροκυψελικό επίπεδο λόγω υπερφόρτωσης της μικροκυψέλης προς την οποία κατευθύνονταν, έχει ως αποτέλεσμα να μην δεσμεύονται άσκοπα οι πολύτιμοι και αναλογικά πιο λίγοι δίαυλοι που προορίζονται για την εξυπηρέτηση των γρήγορων χρηστών.
2. Η επιστροφή των γρήγορων χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο όταν βρουν ελεύθερους πόρους σε αυτό, οδηγεί στην μείωση του αριθμού των διαπομπών που πραγματοποιούν κατά την διάρκεια της κλήσης τους σε σχέση με αυτό που θα έκαναν αν παρέμεναν στο μικροκυψελικό επίπεδο σε όλη την διάρκειά της.

(Η ισχύς των παραπάνω ισχυρισμών εξετάζεται στο κεφ.5)

3.3.4 Με take back και P =0%

Είναι ακριβώς το ίδιο με το παραπάνω μοντέλο με την διαφορά ότι όλοι οι χρήστες αρχικά τοποθετούνται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Η απορία που προκύπτει άμεσα είναι, ποιο είναι το νόημα της ένταξης των γρήγορων χρηστών αρχικά, στο μικροκυψελικό επίπεδο, αφού με την πρώτη ευκαιρία που θα τους δοθεί, δηλαδή κατά την πρώτη τους διαπομπή, θα επιστρέψουν στο φυσικό τους επίπεδο (μακροκυψελικό).

Ο λόγος είναι η αποφυγή της ένταξης των γρήγορων χρηστών, των οποίων η διάρκεια της κλήσης είναι μικρή, στο μακροκυψελικό επίπεδο αφού αυτή μπορεί να ολοκληρωθεί εντός της μικροκυψέλης στην οποία αρχικά και εντάσσονται. Αποτέλεσμα μια τέτοιας ενέργειας είναι η αποφυγή της άσκοπης κατακράτησης των διαύλων της μακροκυψέλης από γρήγορους χρήστες των οποίων η ένταξη στο μακροκυψελικό επίπεδο δεν εκπληρώνει τον στόχο της, δηλαδή την μείωση του αριθμού των διαπομπών που κάνουν κατά την διάρκεια της κλήσης τους.

(Η ισχύς του παραπάνω ισχυρισμού εξετάζεται στο κεφ.5)

Τα παραπάνω μοντέλα αποτελούν τους σημαντικότερους εκπροσώπους της κατηγορίας που εξετάζουμε για αυτό και οι επιδόσεις τους μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Επίσης έχουν προταθεί και διάφορες παραλλαγές τους ως προς την τιμή της παραμέτρου P, δηλαδή του ποσοστού των γρήγορων χρηστών που αρχικά προσπαθούν να ενταχθούν στο μακροκυψελικό επίπεδο οι οποίες και εξετάστηκαν.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη των μοντέλων που ανήκουν στην παρούσα κατηγορία, στα οποία λαμβάνεται υπόψη μόνο το προφίλ κινητικότητας των χρηστών παρουσιάζεται και το παρακάτω μοντέλο του οποίου η λειτουργία διαφέρει από τα προηγούμενα ως προς την συμπεριφορά του απέναντι στους γρήγορους χρήστες.

3.3.5 Με take back αποκλειστικά P = 100%

Στο μοντέλο που προτείνεται στο [12] οι συγγραφείς αποκλείουν εντελώς το ενδεχόμενο της ένταξης των γρήγορων χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο, ακόμα και αν το μακροκυψελικό επίπεδο είναι αποκλεισμένο και η μικροκυψέλη στην οποία χωρικά ανήκουν διαθέτει ελεύθερους πόρους. Θεωρούν ότι είναι προτιμότερο ο αποκλεισμός της εξαρχής, παρά η επιβάρυνση του συστήματος από το επιπλέον φορτίο σηματοδοσίας που θα προκαλέσει η εξυπηρέτησή της από το μικροκυψελικό επίπεδο. Βέβαια για να εξισορροπήσουν την αδικία που δημιουργείται αφού όχι μόνο οι γρήγοροι χρήστες δεν μπορούν να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο, αλλά έχουν και να ανταγωνιστούν τους υπερροϊκούς αργούς που εντάσσονται σε αυτό, προτείνουν την ύπαρξη δεσμευμένου αριθμού διαύλων αποκλειστικά για τους γρήγορους χρήστες (channels pull for fast users), από τον συνολικό αριθμό διαύλων της εκάστοτε μακροκυψέλης. Αναλυτικότερα:

- *Νέα κλήση αργού χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μικροκυψέλη όπου αυτός χωρικά ανήκει και πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι τότε η νέα κλήση προωθείται στην υπερκείμενη μακροκυψέλη. Η κλήση τότε θα γίνει δεκτή αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Αν δεν υπάρχουν τότε η κλήση απορρίπτεται από το σύστημα.
- *Νέα κλήση γρήγορου χρήστη:* Πόροι ζητούνται από την μακροκυψέλη όπου αυτός χωρικά ανήκει και πρέπει να εξυπηρετηθεί. Σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων και σε αυτή, τότε απορρίπτεται από το σύστημα.
- *Αίτηση διαπομπής αργού χρήστη:* Πόροι αρχικά ζητούνται από την μικροκυψέλη στόχο στην οποία κατευθύνεται ο αργός χρήστης ανεξάρτητα αν μέχρι τώρα η εξυπηρετούσα κυψέλη ήταν μικροκυψέλη ή μακροκυψέλη. Σε περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων η αίτηση διαπομπής θα ζητήσει πόρους από την υπερκείμενη μακροκυψέλη. Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι η αίτηση θα απορριφθεί.
- *Κλήση σε εξέλιξη αργού χρήστη:* Κλήσεις σε εξέλιξη στο μικροκυψελικό επίπεδο παραμένουν στην κυψέλη όπου έχουν εγκατασταθεί μέχρι το πέρας τους ή μέχρι να εγκαταλείψουν τη κυψέλη. Και στις δύο περιπτώσεις οι πόροι τους οποίους είχαν καταλάβει ελευθερώνονται και αποδίδονται στο σύστημα. Κλήσεις σε εξέλιξη στο μακροκυψελικό επίπεδο κάθε φορά που διασχίζουν τα χωρικά όρια των υποκείμενων μικροκυψελών της μακροκυψέλης από την οποία εξυπηρετούνται εξετάζουν την ύπαρξη ελεύθερων πόρων σε αυτές. Αν βρουν τότε επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο εξυπηρέτησης

(μικροκυψελικό) και μόνο τότε απελευθερώνουν τους πόρους της μακροκυψέλης που ανήκουν, διαφορετικά συνεχίζουν την κλήση τους σε αυτή. Πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι ο έλεγχος για την επιστροφή του χρήστη στο φυσικό του επίπεδο δεν θέτει σε καμία περίπτωση υπό αμφισβήτηση την διατήρηση του διαύλου που κατέχει στην μακροκυψέλη από την οποία εξυπηρετείται και τον οποίο απελευθερώνει, όπως προαναφέρθηκε, μόνο όταν μπορεί να επιστρέψει σε αυτό.

- *Αίτηση διαπομπής γρήγορου χρήστη:* Πόροι ζητούνται από την μακροκυψέλη στόχο στη οποία κατευθύνεται ο γρήγορος χρήστης. Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι η αίτηση θα απορριφθεί.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι είναι πολύ σημαντικό να μην παραβλεφθεί το γεγονός ότι στα μοντέλα που έχουν την δυνατότητα take back είτε για τους αργούς, είτε για τους γρήγορους, είτε και για τους δύο, η παρατήρηση από αυτούς του φυσικού τους επιπέδου για να μπορέσουν να επιστρέψουν σε αυτό, προϋποθέτει την ύπαρξη επιπλέον σηματοδοσίας. Αυτή αποτελεί το αντίτιμο της δυνατότητας επιστροφής των χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο και κάθε πλευρά προβάλλει τα δικά της επιχειρήματα για να υποστηρίξει την άποψή της.

3.4. Μοντέλα Εξυπηρέτησης Υπηρεσιών Φωνής Και Δεδομένων

Ο αρχικός προορισμός των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή η παροχή υπηρεσιών φωνής, άρχισε πριν περίπου δύο δεκαετίες να αναθεωρείται, καθώς αυξάνονταν οι ανάγκες των χρηστών στον τομέα των υπηρεσιών δεδομένων. Τα δεδομένα, σε αντίθεση με την φωνή, δεν αποτελούν μια υπηρεσία με συγκεκριμένες απαιτήσεις ως προς τη χωρητικότητα πάνω στον εναέριο ραδιοδίαυλο, αλλά και η ποικιλομορφία τους απαιτεί διαφορετικό QoS για το εκάστοτε είδος υπηρεσίας δεδομένων. Γίνεται φανερό ότι ο σχεδιασμός μοντέλων που εξυπηρετούν και δεδομένα είναι πολύ πολύπλοκος και αφορά άμεσα και τα ιεραρχικά μοντέλα.

Στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (GSM) η εξυπηρέτηση δεδομένων αφορούσε, ως επί των πλείστον, την αποστολή και λήψη Σύντομων Γραπτών Μηνυμάτων (SMS). Το SMS αποτελεί μια υπηρεσία μεταφοράς μικρών ποσοτήτων πληροφορίας σε πακέτα δεδομένων, η αποστολή των οποίων δεν είναι ευαίσθητη στην καθυστέρηση του χρόνου μετάδοσης (non-time critical). Για την αποστολή τέτοιων πακέτων χρησιμοποιείται ο δίαυλος σηματοδοσίας της εκάστοτε κυψέλης και σε περιπτώσεις έλλειψης διαθέσιμων πόρων η υπηρεσία δεν διακόπτονταν, αλλά η μετάδοση των πακέτων, τα οποία αποθηκεύονταν, γίνονταν όταν αυτοί ανευρίσκονταν.

Όμως η παραπάνω τεχνική αντιμετώπισης υπηρεσιών δεδομένων κρίνεται ανεπαρκής στο να καλύψει τις ανάγκες νέων υπηρεσιών, των οποίων η ανάπτυξη είναι ραγδαία, όπως internet, mail, video, real time video, video conference και άλλες. Οι παραπάνω υπηρεσίες εκτός του ότι απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα, διαφέρουν, αν και όλες μπορούν να χαρακτηριστούν ως υπηρεσίες δεδομένων, και ως προς το απαιτούμενο QoS για την εύρυθμη λειτουργία τους.

Κυριότερο χαρακτηριστικό που τις διαχωρίζει είναι η ευαισθησία τους ως προς την χρονική καθυστέρηση της μεταφοράς των πακέτων δεδομένων που απαιτούν. Υπηρεσίες όπως video conference και real time video, απαιτούν συγχρονισμένη και συνεχή μεταφορά μεγάλων ποσών πληροφορίας για αυτό και αναφέρονται με τον όρο time critical υπηρεσίες. Σε αυτή την κατηγορία υπηρεσιών ανήκει και η φωνή με την διαφορά ότι η απαιτούμενη χωρητικότητα πάνω στον δίαυλο είναι μικρή, σε σχέση με αυτή των προηγούμενων υπηρεσιών, και καθορισμένη (64 kbps). Άλλες υπηρεσίες όπως μεταφοράς μεγάλων πακέτων δεδομένων, SMS, MMS, mail δεν απαιτούν άμεση και συγχρονισμένη μεταφορά της πληροφορίας τους και αναφέρονται ως non-time critical. Προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα, είναι φανερό ότι η παροχή υπηρεσιών πολυμέσων που συνδυάζουν ροές πληροφορίας που ανήκουν και στις δύο κατηγορίες, γίνεται ένα πολύ πολύπλοκο ζήτημα.

Η αντιμετώπιση των υπηρεσιών με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά, με διαφορετικό τρόπο, είναι αναγκαία για την βελτιστοποίηση των επιδόσεων του συστήματος και σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με τις τεχνικές που αναπτύσσονται προς αυτή την κατεύθυνση όσον αφορά τα ιεραρχικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.

3.4.1 Μοντέλα Που Βασίζονται Στην Ποσότητα Της Μεταφερόμενης Πληροφορίας DAS (Data Assignment Strategies)

Τα μοντέλα που ανήκουν στην παραπάνω κατηγορία, τα οποία είναι και τα απλούστερα ως προς την υλοποίηση, δεν εξετάζουν καθόλου τις ιδιαιτερότητες της κάθε υπηρεσίας δεδομένων, αλλά το ποσό της μεταφερόμενης πληροφορίας που απαιτείται. Επίσης, το ίδιο ισχύει με την εξυπηρέτηση υπηρεσιών που δεν είναι ευαίσθητες ως προς την χρονική καθυστέρηση.

Η βασική παρατήρηση στην οποία βασίζεται η λειτουργία τους, είναι ότι λόγω του μικρού μεγέθους που έχουν οι μικροκυψέλες, έχουν και μικρή καθυστέρηση στην μετάδοση της πληροφορίας. Αν συνυπολογίσουμε και την μεγαλύτερη ανθεκτικότητά τους ως προς τον θόρυβο και τις ομοδιαυλικές παρεμβολές, συμπεραίνουμε ότι η χωρητικότητα που μπορούν να εξασφαλίσουν είναι μεγαλύτερη εκείνης των μακροκυψελών. Με βάση την παραπάνω παρατήρηση κρίνεται προτιμότερο χρήστες που απαιτούν την μεταφορά μικρών ποσών πληροφορίας να εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο και χρήστες με μεγαλύτερα ποσά να εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο, με μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης.

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στο [17] στηρίζει την λειτουργία του στα παραπάνω και αναλυτικότερα η λειτουργία του έχει ως εξής:

- Χρήστες που ζητούν υπηρεσίες δεδομένων, στα πρώτα βήματα της διαδικασίας εύρεσης διαθέσιμων πόρων, ενημερώνουν το σύστημα μέσω κατάλληλης σηματοδοσίας για το ποσό της πληροφορίας που πρόκειται να μεταφέρουν.
- Στην συνέχεια το σύστημα συγκρίνει το παραπάνω ποσό D με ένα κατώφλι D_0 το οποίο είναι σταθερό. Αν το ποσό της πληροφορίας την οποία θέλει να μεταδώσει ή αντίστοιχα να λάβει ο χρήστης είναι μεγαλύτερη του D_0 ($D \geq D_0$) τότε αυτός εντάσσεται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Σε αντίθετη περίπτωση όπου ($D \leq D_0$) ο χρήστης εντάσσεται στο μακροκυψελικό επίπεδο.
- Σε περίπτωση μη ανεύρεσης διαθέσιμων πόρων στο επίπεδο που αποφασίστηκε από το σύστημα ότι πρέπει να αποτελεί το επίπεδο εξυπηρέτησης του εκάστοτε χρήστη, η κλήση απορρίπτεται για να μην προκαλέσει συμφόρηση στο άλλο επίπεδο η εξυπηρέτησή του από αυτό. Δηλαδή, ένας χρήστης που θέλει να μεταδώσει μεγάλα ποσά πληροφορίας και δε βρίσκει διαθέσιμους πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο δεν εξυπηρετείται από το μακροκυψελικό επίπεδο, γιατί κάτι τέτοιο θα σήμαινε μεγάλη σπατάλη πόρων σε αυτό το επίπεδο και αποκλεισμός χρηστών που πρέπει να ενταχθούν σε αυτό, με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων.

Δύο παρατηρήσεις που πρέπει να γίνουν είναι ότι κατά την εξυπηρέτηση υπηρεσιών δεδομένων το σύστημα σε αυτό το μοντέλο δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη του το προφίλ κινητικότητας των χρηστών και ότι το κατώφλι D_0 δεν είναι στατικό, αλλά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά (σε ποσότητες πληροφορίας) των υπηρεσιών που ζητούνται κατά κύριο λόγο σε κάθε περιοχή, αλλά και από τον ρυθμό μετάδοσης των καναλιών στις μικροκυψέλες και μακροκυψέλες αυτής.

3.4.2 Μοντέλα Εξυπηρέτησης και Δεδομένων Με Μεταγωγή Κυκλώματος

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των μοντέλων που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι ότι αγνοούν την ποσότητα της μεταφερόμενης πληροφορίας και η μετάδοσή της γίνεται με μεταγωγή κυκλώματος. Ο όρος μεταγωγή κυκλώματος, που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα ενσύρματα δίκτυα, στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας υποδηλώνει την παραχώρηση ολόκληρου του διαύλου για την εξυπηρέτηση των δεδομένων καθ΄ όλη την διάρκειά τους, **όπως γίνεται και με την φωνή**. Μια τέτοια στρατηγική ευνοεί κυρίως εκείνες τις υπηρεσίες οι οποίες είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, στις οποίες εξασφαλίζει την ζητούμενη χωρητικότητά όσο διαρκεί η κλήση. Στον αντίποδα, μειώνεται η χρησιμοποίηση του διαύλου, αφού τα δεδομένα μεταδίδονται συνηθέστερα κατά ριπές.

Άρα το πρώτο χαρακτηριστικό είναι η κατάληψη, έως το τέλος της μετάδοσης των δεδομένων, του διαύλου από τον χρήστη. Το κριτήριο με το οποίο γίνεται από το σύστημα η επιλογή του κατάλληλου επιπέδου για τον χρήστη, από την στιγμή που το μέγεθος της πληροφορίας δεν παίζει ρόλο, είναι η ανοχή της υπηρεσίας ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης. Γενική αρχή που ακολουθείται είναι ότι:

Υπηρεσίες ευαίσθητες ως προς την καθυστέρηση διάδοσης πάνω στο μέσο (time critical) εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο, λόγω της μεγαλύτερης χωρητικότητας ραδιοδιαύλου που μπορεί να παρέχει, αλλά και λόγω της μικρής καθυστέρησης στη διάδοση του σήματος, λόγω του μικρού μεγέθους των κυψελών αυτού του επιπέδου. Στον αντίποδα υπηρεσίες μη ευαίσθητες στην καθυστέρηση εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο.

Επίσης οι παραπάνω υπηρεσίες, όπως μεταφορά πακέτων δεδομένων ή SMS έχουν και μεγαλύτερη ανοχή στην ύπαρξη κακής ποιότητας μετάδοσης, αφού μπορούν να αποθηκευτούν και να ξανά μεταδοθούν στην περίπτωση σφαλμάτων κατά την διάρκειά της. Κάτι τέτοιο δεν είναι αποδεκτό σε υπηρεσίες όπως real-time video λόγω του απαραίτητου συγχρονισμού της ροής των πακέτων και της μικρής καθυστέρησης που απαιτούν.

Καθώς όμως τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας δεν αγνοούν την κινητικότητα των χρηστών, που όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, βελτιώνει κατά πολύ την επίδοση του συστήματος, δημιουργούνται τέσσερις κατηγορίες χρηστών οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

SERVICE / MOBILITY	Time Critical (Voice)	Non Time Critical (Data Packages)
Slow	A	B
Fast	C	D

Άρα το σύστημα πρέπει να διαμορφώνει το συνολικό προφίλ του χρήστη (ταχύτητα, είδος υπηρεσίας) και με βάση αυτό να επιλέγει το επίπεδο εξυπηρέτησης του εκάστοτε χρήστη.

Αν θεωρήσουμε :

1. Ότι γενικότερα (υπό φυσιολογικές συνθήκες) αργοί χρήστες εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο και γρήγοροι στο μακροκυψελικό επίπεδο,
2. Ότι οι time critical services εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο και οι non time critical services από το μακροκυψελικό επίπεδο,

έχουμε τα εξής για κάθε κατηγορία:

Κατηγορία A
Εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο.

Κατηγορία B
Εξυπηρετούνται και αυτοί από το μικροκυψελικό επίπεδο.

Κατηγορία C
Εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο.

Κατηγορία D
Για αυτή την κατηγορία χρηστών υπάρχουν δύο απόψεις. Η πρώτη υποστηρίζει ότι παρότι έχουμε γρήγορους χρήστες, ο χρήστης δεν θα προλαβαίνει συνήθως να εκτελέσει διαπομπή κατά την διάρκεια της κλήσης του, επειδή οι υπηρεσίες δεδομένων αυτής της κατηγορίας χρειάζονται μικρό χρόνο εξυπηρέτησης. Άρα καθώς οι πόροι του μακροκυψελικού επίπεδου είναι πολύτιμοι (Εξυπηρέτηση υπερροϊκής κίνησης και των γρήγορων χρηστών υπηρεσίας φωνής για μείωση διαπομπών) είναι προτιμότερο αυτοί οι χρήστες, αφού συνήθως δεν θα προλαβαίνουν να κάνουν διαπομπή ακόμα και στο μικροκυψελικό επίπεδο, να εξυπηρετούνται από αυτό.
Η άλλη άποψη είναι ότι κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, οι γρήγοροι χρήστες με non time critical υπηρεσίες εξακολουθούν να αυξάνουν τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος κατά πολύ αν εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο και πρέπει να εντάσσονται στις μακροκυψέλες.

Τα μοντέλα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι τα ίδια με αυτή της ενότητας 3 με την μόνη διαφορά ότι το σύστημα παρέχει επιπλέον υπηρεσίες δεδομένων και επίσης διαφέρουν ως προς την στρατηγική εξυπηρέτησης των χρηστών της D κατηγορίας. Όλα τα παραπάνω εξετάζονται και παρουσιάζονται αναλυτικά συμπεράσματα για το κάθε μοντέλο στο κεφάλαιο 6 της παρούσας εργασίας.

3.4.3 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Φωνής και Δεδομένων Με Χρήση Προσωρινών Καταχωρητών

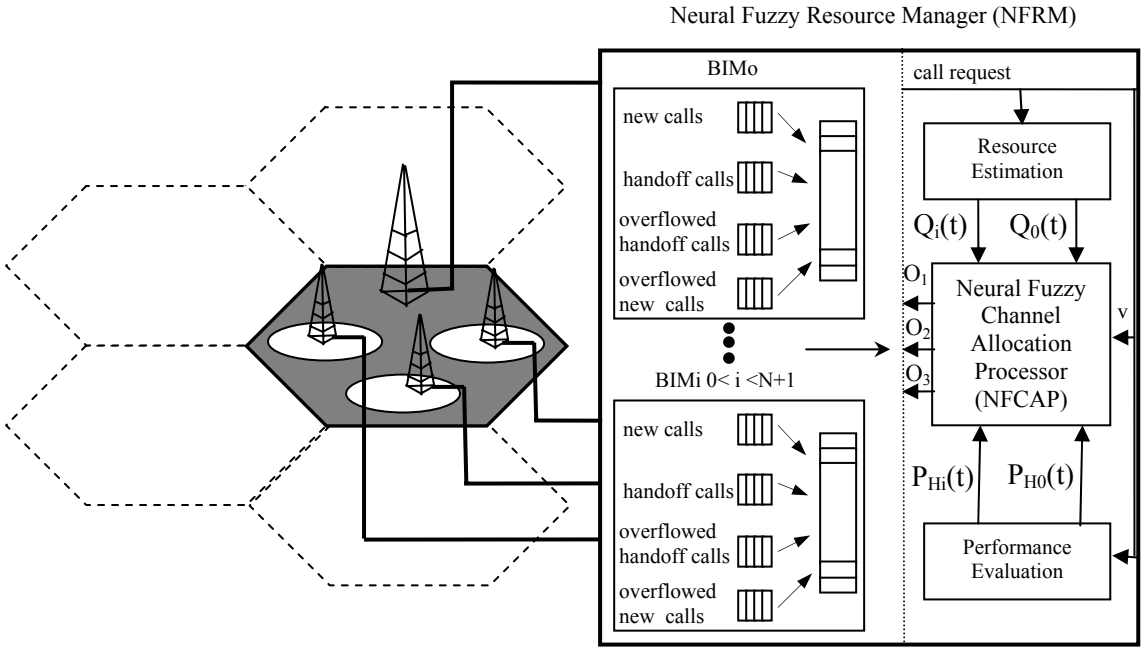
Η χρήση προσωρινών καταχωρητών αποθήκευσης για την εξυπηρέτηση δεδομένων προέρχεται και αυτή από την εμπειρία της χρήσης τους στα δίκτυα υπολογιστών. Η βασική ιδέα είναι ότι σε περιπτώσεις συμφόρησης του δικτύου, τα προς αποστολή πακέτα δεδομένων αποθηκεύονται σε προσωρινούς καταχωρητές (buffers) και η εξυπηρέτησή τους γίνεται όταν ανεβρεθούν ελεύθεροι πόροι. Η πολυπλοκότητα βέβαια της χρήσης μια τέτοιας τεχνικής είναι πολύ μεγαλύτερη λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων ως προς την συνολική καθυστέρηση μετάδοσης των διάφορων υπηρεσιών.

Η ανάγκη αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος οδηγεί στην ύπαρξη διαφορετικών προτεραιοτήτων πακέτων. Η προτεραιότητα του κάθε πακέτου θα καθορίζεται κατά κύριο λόγο από το είδος της υπηρεσίας της οποίας την πληροφορία μεταφέρει. Έτσι, πακέτα υπηρεσιών ευαίσθητων ως προς την καθυστέρηση, θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα και συνεπώς να ευνοούνται από το σύστημα όταν λόγω φόρτου βρίσκονται προσωρινά αποθηκευμένα σε καταχωρητές. Όμως η ύπαρξη μιας τέτοιου είδους προτεραιότητας ίσως αποδεικνύονταν άδικη για τις υπηρεσίες που δεν είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση του χρόνου μετάδοσης. Για παράδειγμα, αν μια κυψέλη βρίσκεται σε υψηλό φόρτο για μεγάλο χρονικό διάστημα και υπάρχουν ταυτόχρονα υπηρεσίες real time video και internet, η δεύτερη θα υπέφερε προς χάρη της πρώτης λόγω της μικρότερης προτεραιότητάς της.

Επιπλέον τεχνική που αναπτύσσεται σε συνδυασμό με την πρώτη προσπαθώντας να καλύψει την παραπάνω αδυναμία είναι η χρήση διαφορετικών καταχωρητών πάνω στην ίδια κυψέλη, για την εξυπηρέτηση διαφορετικών υπηρεσιών αλλά και χρηστών διαφορετικού προφίλ. Χαρακτηριστικό μοντέλο της παραπάνω κατηγορίας παρουσιάζεται παρακάτω. Περαιτέρω ανάπτυξη του θέματος ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής αλλά είναι ένας πολύ υποσχόμενος τομέας και τα νέα σχεδιαζόμενα συστήματα κινητής τηλεφωνίας υιοθετούν αυτού του είδους τις τεχνικές.

3.4.3.1 NFRM (Neural Fuzzy Resource Management)

Το μοντέλο NFRM αποτελεί μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα που παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων παράλληλα με αυτή της φωνής. Εστιάζει στην εξυπηρέτηση των χρηστών που ζητούν υπηρεσίες δεδομένων με την βοήθεια προσωρινών καταχωρητών για όσους δεν βρίσκουν άμεσα διαθέσιμους πόρους και καθορίζει το επίπεδο εξυπηρέτησης του εκάστοτε χρήστη όχι στατικά αλλά ελέγχοντας τις επιπτώσεις που θα έχει η απόφασή του στην απόδοση του συστήματος. Άρα αποτελεί μοντέλο που έχει ανάδραση και οι αποφάσεις που παίρνονται έχουν ως στόχο την βελτιστοποίηση των προς μέτρηση παραμέτρων του συστήματος. Αποτελείται από ξεχωριστές οντότητες οι οποίες βρίσκονται στους σταθμούς βάσης των μικροκυψελών, της μακροκυψέλης και στο BSC (Base-Station Controller). Στην συνέχεια και για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία των οντοτήτων που αποτελούν το μοντέλο παρουσιάζεται το δομικό διάγραμμά του και τα κυριότερα σήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ τους.



Η "καρδιά" του συστήματος βρίσκεται στο NFCAP, όπου εκεί παίρνονται όλες οι αποφάσεις. Για να μπορέσει όμως το σύστημα να πάρει μια απόφαση αλλά και για να συνεχίσει η εξυπηρέτηση της κλήσης, πρέπει να υπάρχουν επιπλέον οντότητες που θα το πληροφορούν για την κατάσταση του συστήματος κάθε φορά που μια νέα κλήση προσπαθεί να εγκατασταθεί και ταυτόχρονα θα εκτελούν τις εντολές του κέντρου. Έτσι ανεβαίνοντας προς τα πάνω την ιεραρχία των οντοτήτων συναντάμε αρχικά τα base station interface modules (με δείκτη 0 για την μακροκυψέλη και δείκτη i για τις υποκείμενες ως προς αυτή μικροκυψέλες). Οι λειτουργίες που εκτελούνται στα BIMs , τα οποία αποτελούν και τα μάτια του συστήματος χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

Α) Εξυπηρέτηση Χρηστών

Κάθε BIM εκτός από την διαχείριση των διαύλων που διαθέτει η εκάστοτε κυψέλη (Base Station), αναλαμβάνει και την διαχείριση των κλήσεων οι οποίες δεν βρίσκουν άμεσα πόρους για να εξυπηρετηθούν. Καθώς δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι μιλάμε και για υπηρεσίες δεδομένων και μάλιστα υψηλών ταχυτήτων, η σωστή χρήση καταχωρητών είναι ζωτικής σημασίας για το συγκεκριμένο μοντέλο το οποίο για να μπορέσει να ακολουθήσει διαφορετικές στρατηγικές εξυπηρέτησης χρησιμοποιεί και διαφορετικούς προσωρινούς καταχωρητές για διαφορετικές περιπτώσεις αναζήτησης πόρων από τους χρήστες. Αναλυτικότερα:

Base station interface module (BIM_0) in a macrocell:

- Προσωρινός καταχωρητής για τις νέες κλήσεις που πρέπει να αρχικοποιηθούν στην μακροκυψέλη με χωρητικότητα N_{na}.
- Προσωρινός καταχωρητής για κλήσεις που προέρχονται από διαπομπές στο μακροκυψελικό επίπεδο με χωρητικότητα N_{ha}.
- Προσωρινός καταχωρητής για κλήσεις που προέρχονται από διαπομπές λόγω υπερφόρτωσης γειτονικών μακροκυψελών με χωρητικότητα N_{ho}.

- Προσωρινός καταχωρητής για κλήσεις που προέρχονται από διαπομπές λόγω υπερροϊκής κίνησης που προέρχεται από τις υποκείμενες μικροκυψέλες τις μακροκυψέλης N_{no}.

Base station interface module (BIM_i) in a microcell:

- Προσωρινός καταχωρητής για τις νέες κλήσεις που πρέπει να αρχικοποιηθούν στην μακροκυψέλη με χωρητικότητα N_{ni}.
- Προσωρινός καταχωρητής για κλήσεις που προέρχονται από διαπομπές λόγω υπερφόρτωσης της υπερκείμενης μακροκυψέλης με χωρητικότητα N_{hui}.
- Προσωρινός καταχωρητής για κλήσεις που προέρχονται από διαπομπές λόγω υπερφόρτωσης γειτονικών μικροκυψελών με χωρητικότητα N_{hi}.

Δεν προβλέπονται καταχωρητές για διαπομπές που γίνονται στο μικροκυψελικό επίπεδο καθώς έχουν την μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Β) Εγκατάσταση Κλήσης

Κατά την αίτηση εγκατάστασης κλήσης σε μία μακροκυψέλη ή σε μια μικροκυψέλη, είτε αυτή αποτελεί νέα κλήση, είτε διαπομπή ήδη εξυπηρετούμενης κλήσης, τα BIMs πρέπει να ενημερώσουν το σύστημα για το είδος της κλήσης που ζητάει πόρους για να μπορέσει αυτό να πάρει απόφαση για το πώς θα την εξυπηρετήσει. Έτσι υπάρχουν επτά κατηγορίες:

Κατηγορίες κλήσεων (k type):

- k = 1 : Υποδεικνύει νέα κλήση που πρέπει να ενταχθεί μόνο στο μακροκυψελικό επίπεδο.
- k = 2 : Υποδεικνύει κλήση που προέρχεται λόγω διαπομπής από το μακροκυψελικό και κατευθύνεται στο μακροκυψελικό επίπεδο.
- k = 3 : Υποδεικνύει κλήση που προέρχεται λόγω διαπομπής από το μικροκυψελικό και κατευθύνεται στο μακροκυψελικό επίπεδο.
- k = 4 : Υποδεικνύει νέα κλήση που πρέπει να ενταχθεί μόνο στο μικροκυψελικό επίπεδο.
- k = 5 : Υποδεικνύει κλήση που προέρχεται λόγω διαπομπής από το μακροκυψελικό και κατευθύνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο.
- k = 6 : Υποδεικνύει κλήση που προέρχεται λόγω διαπομπής από το μικροκυψελικό και κατευθύνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο.
- k = 7 : Υποδεικνύει κλήση που προέρχεται λόγω διαπομπής που γίνεται μεταξύ κυψελών του ιδίου επιπέδου σε περίπτωση υπερφόρτωσης κυψέλης αυτού και εξυπηρέτηση των χρηστών του από γειτονικές κυψέλες.

Επίσης, παρέχουν και επιπλέον πληροφορίες όπως το προφίλ κινητικότητας του χρήστη, το φορτίο των καταχωρητών, και οι ελεύθεροι δίαυλοι που διαθέτει η κάθε κυψέλη.

Στην συνέχεια η όλη πληροφορία μεταφέρεται στον Neural Fuzzy Control Manager ο οποίος αποτελεί και το κέντρο αποφάσεων του συστήματος και συγκροτείται από τις παρακάτω οντότητες:

- *Resource Estimator*

Ο RE υπολογίζει τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος τόσο για την μακροκυψέλη (**Q_0**) όσο και για την μικροκυψέλη (**Q_i**) στην οποία χωρικά ανήκει ο προς εξυπηρέτηση χρήστης. Βέβαια καθώς για κάθε διαφορετικό είδος κλήσης από τα k εμπλέκονται και διαφορετικοί καταχωρητές ο υπολογισμός των διαθέσιμων πόρων γίνεται για κάθε είδος κλήσης με βάση τον παρακάτω πίνακα:

k	**Q_0**	**Q_i**
1	$C_0 + N_{na} - r_0(t) - b_{na}(t)$	0
2	$C_0 + N_{ha} - r_0(t) - b_{ha}(t)$	0
3	$C_0 + N_{ho} - r_0(t) - b_{ho}(t)$	0
4	$C_0 + N_{no} - r_0(t) - b_{no}(t)$	$C_i + N_{ni} - r_i(t) - b_{ni}(t)$
5	$C_0 + N_{ha} - r_0(t) - b_{ha}(t)$	$C_i + N_{hui} - r_i(t) - b_{hui}(t)$
6	$C_0 + N_{ho} - r_0(t) - b_{ho}(t)$	$C_i + N_{hi} - r_i(t) - b_{hi}(t)$
7	$C_0 - r_0(t)$	$C_i - r_i(t)$

Όπου:
Α) C_0 και C_i ο συνολικός αριθμός των διαύλων που διαθέτουν η μακροκυψέλη και η μικροκυψέλη αντίστοιχα.
Β) $r_0(t)$ και $r_i(t)$ ο αριθμός των κατειλημμένων διαύλων την στιγμή t που εξετάζουμε στην μακροκυψέλη και την μικροκυψέλη αντίστοιχα.
Γ) $b_x(t)$ ο αριθμός των θέσεων των καταχωρητών της στιγμή που εξετάζουμε. Το x καθορίζει ποιου καταχωρητή τα στοιχεία θα χρησιμοποιηθούν και η ορολογία που ακολουθείται στους δείκτες είναι ακριβώς ίδια με αυτήν που αναφέρθηκε στην προηγούμενη σελίδα για την ονοματοδοσία των καταχωρητών των BIMs.

- *Performance Evaluator*

Στον PE γίνεται η υπολογισμός της πιθανότητας απόρριψης διαπομπής για την μακροκυψέλη και για την προς εξέταση μικροκυψέλη η οποία δίνεται από τους παρακάτω τύπους αντίστοιχα:

$$P_{H0}(t) = \frac{HB_0(t) + HR_0(t)}{NH_0(t)} \qquad \text{και} \qquad P_{Hi}(t) = \frac{HB_i(t) + HR_i(t)}{NH_i(t)}$$

όπου:

- $HB_0(t)$ ($HB_i(t)$) ο αριθμός των κλήσεων που αποκλείστηκαν και προέρχονται από διαπομπή διαφορετικών επιπέδων κατά τη χρονική στιγμή t στην μακροκυψέλη (μικροκυψέλη i)
- $HR_0(t)$ ($HR_i(t)$) ο αριθμός των κλήσεων που αποκλείστηκαν και προέρχονται από διαπομπή μεταξύ κυψελών του ιδίου επιπέδου κατά την χρονική στιγμή t στη μακροκυψέλη (μικροκυψέλη i)
- $NH_0(t)$ ($NH_i(t)$) ο αριθμός των κλήσεων που αποκλείστηκαν και προέρχονται από διαπομπή κατά τη χρονική στιγμή t στη μακροκυψέλη (μικροκυψέλη i)

- *Neural Fussy Channel Allocation Processor*

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, συνυπολογίζοντας, την ταχύτητα του χρήστη, την απαιτούμενη (minimum) και την επιθυμητή από αυτόν χωρητικότητα καναλιού R_{rd} και R_{dd} για υπηρεσίες δεδομένων και R_{rv}, R_{dv} για υπηρεσίες φωνής αντίστοιχα, ο NFCAP υπολογίζει την τιμή τριών μεταβλητών που προσδιορίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος ως προς τον συγκεκριμένο χρήστη οι οποίες είναι:

- O_1 Επιλογή Επιπέδου Εξυπηρέτησης (Μακροκυψελικό - Μικροκυψελικό)
- O_2 Αποδοχή ή Απόρριψη της Κλήσης
- O_3 Καθορισμός της Χωρητικότητας που τελικά θα του αποδοθεί.

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την λήψη των αποφάσεων παρουσιάζονται αναλυτικά στο [13]. Γίνεται εμφανής, από το παραπάνω μοντέλο, η χρήση καταχωρητών για την εξυπηρέτηση υπηρεσιών δεδομένων, η καθυστέρηση στη μετάδοση των οποίων (όταν δεν είναι ευαίσθητες ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης π.χ. υπηρεσίες πολυμέσων) είναι ανεκτή. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα, με την χρήση ξεχωριστών καταχωρητών για διαφορετικά είδη κλήσεων γίνεται κατηγοριοποίηση των χρηστών με διαφορετικές προτεραιότητες και άμεση εξυπηρέτηση εκείνων με την μεγαλύτερη. Ως παράδειγμα διαπομπή κλήσης σε εξέλιξη αποκτά μεγαλύτερη προτεραιότητα από νέα κλήση, όπως μεγαλύτερη προτεραιότητα από την δεύτερη περίπτωση έχει και το άδειασμα του καταχωρητή κλήσεων σε εξέλιξη. Πάντα βέβαια σε όλες τις αποφάσεις παίζουν ρόλο με διαφορετικό βάρος ανά περίπτωση και άλλα στοιχεία όπως η απαιτούμενη από τον χρήστη χωρητικότητα και οι επιπτώσεις ως προς τις παραμέτρους του συστήματος που θα έχει κάθε απόφαση (Blocking Probability, Dropping Probability και άλλες).

3.4.4. Εξυπηρέτηση Δεδομένων (Multimedia) από Διαφορετικά Επίπεδα Κυψελών

Σε αυτή την κατηγορία τεχνικών εξυπηρέτησης κλήσεων οι οποίες απαιτούν όχι μόνο υπηρεσίες φωνής αλλά και δεδομένων, non time critical αλλά και time critical multimedia ροών γίνεται προσπάθεια εκμετάλλευσης της διαφορετικής καθυστέρησης στην μετάδοση πάνω στο ασύρματο μέσο που χαρακτηρίζει τις κυψέλες του κάθε επιπέδου της ιεραρχικής δομής. Οι κυψέλες με μικρή σχετικά χωρική εμβέλεια όπως οι μακροκυψέλες και οι μικροκυψέλες έχουν μικρή καθυστέρηση στην μετάδοση της πληροφορίας, ενώ οι μεγάλες σε μέγεθος κυψέλες, όπως αυτές που δημιουργούνται από δορυφόρους, έχουν μεγάλη.

Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει τα κατώτερα στρώματα της ιεραρχίας, με μικρό μέγεθος κυψελών, καταλληλότερα για την μετάδοση delay-sensitive δεδομένων όπως voice, video και τα ανώτερα στρώματα για non-delay sensitive δεδομένα όπως data για internet, mail κ.α. Όμως μια multimedia υπηρεσία, για την υλοποίηση της, απαιτεί συνδυασμό επιμέρους υπηρεσιών που ονομάζονται mono-media και έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το σύστημα. Για αυτό υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για να εξυπηρετεί το σύστημα υπηρεσίες πολυμέσων και να αντιλαμβάνεται την συνολική ροή:

- *Unique Heterogeneous Traffic Flow*

Ο όρος UHTF αναφέρεται στην περίπτωση όπου το σύστημα αντιμετωπίζει την ροή δεδομένων πολυμέσων ως μία ενιαία οντότητα η οποία και πρέπει να μεταδοθεί πάνω από έναν ευρείας ζώνης δίαυλο ο οποίος πρέπει να της εξασφαλίζει την απαιτούμενη χωρητικότητα αλλά και ποιότητα ως προς το BER. Γίνεται φανερό ότι κατά την UTHF όλες οι ροές mono-media αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο ασχέτως των διαφορετικών απαιτήσεων που έχουν ως προς το απαιτούμενο QoS, επιβαρύνοντας το σύστημα. Επίσης, καθώς αναφερόμαστε σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι για την πραγματοποίηση επιτυχημένης διαπομπής του χρήστη το σύστημα θα πρέπει να εξασφαλίσει την ύπαρξη της απαιτούμενης από την υπηρεσία χωρητικότητας πάνω στο εναέριο μέσο.

- *Single Media Stream Multimedia Flow*

Στην περίπτωση της SMSMF, η multimedia υπηρεσία αντιμετωπίζεται ως σύνθεση διαφορετικών ροών, οι οποίες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το σύστημα και κατ΄ επέκταση μπορούν να αποστέλλονται συγχρονισμένα στο χρήστη, αλλά από κυψέλες που ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα και ταιριάζει το QoS που παρέχουν στις απαιτήσεις της εκάστοτε ροής.

Οι αλγόριθμοι που στηρίζουν την λειτουργία τους στον πρώτο τρόπο αντιμετώπισης της multimedia ροής αναφέρονται ως MOBA (Monobearer Based Algorithms), ενώ αυτοί που στηρίζονται στον δεύτερο αναφέρονται ως MUBA (Multibearer Based Algorithms).

Προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα την ανάλυσή μας, για τους τρόπους αντιμετώπισης ροών δεδομένων για υπηρεσίες δεδομένων, πρέπει αρχικά να επισημάνουμε ότι οποιαδήποτε από τις δύο παραπάνω τεχνικές και αν χρησιμοποιηθεί, δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μεγάλης χωρητικότητας που απαιτούν τέτοιου είδους υπηρεσίες. Λόγω της αύξησης του αριθμού των χρηστών στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, αλλά και της αλματώδους ζήτησης νέων υπηρεσιών, αναπτύχθηκε η τεχνική του **soft-QoS**.

Με βάση την παραπάνω τεχνική μία κλήση δεν απορρίπτεται ή τερματίζεται, αν δεν βρεθούν όλοι οι απαραίτητοι πόροι για την εξυπηρέτηση με το απαιτούμενο QoS όλων των επιμέρους ροών που συνθέτουν μια multimedia ροή πληροφορίας. Για κάθε κλήση, αναλόγως με την υπηρεσία που ζητείται, καθορίζεται ένα πακέτο εφαρμογών – ροών πληροφορίας που τη συνθέτουν και τη χαρακτηρίζουν. Ένα υποσύνολο αυτού του πακέτου πληροφορίας το οποίο ονομάζεται Minimum Set, καθορίζει την ελάχιστη απαιτούμενη πληροφορία, τη μετάδοση της οποίας πρέπει να εξασφαλίσει το σύστημα ώστε να εξασφαλίσει ένα *ελάχιστο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας*.

Η κλήση απορρίπτεται μόνο όταν για κάποιο από τα στοιχεία που περιέχονται στο Minimum Set δεν μπορεί να εξασφαλιστεί η μετάδοσή του. Τα υπόλοιπα στοιχεία που συνθέτουν τη συνολική πληροφορία της υπηρεσίας θεωρούνται μικρότερης σημασίας και μπορεί ακόμα και να σταματήσει η μετάδοση τους για κάποιο χρονικό διάστημα από το σύστημα, όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση υψηλού φόρτου κίνησης. Τα πρώτα βήματα προς αυτή την τεχνική και θεωρητικές μελέτες υπάρχουν στα [14] και [15].

Στον αντίποδα της soft-QoS τεχνικής, η **hard-QoS** απαιτεί πάντα την μετάδοση της συνολικής πληροφορίας που συνθέτει την υπηρεσία πολυμέσων, αλλιώς η κλήση απορρίπτεται.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα κυριότερα μοντέλα που συνδέουν την λειτουργία τους με τις παραπάνω τεχνικές αντιμετώπισης ροών δεδομένων.

3.4.4.1 Αλγόριθμος STANDARD

Ανήκει στην κατηγορία των Monobearer Based Algorithms, παρέχει ποιότητα υπηρεσιών hard-Qos και σχεδιάστηκε για να λειτουργεί πάνω από συστήματα που ως μέθοδο πολυπλεξίας χρησιμοποιούν TDMA over FDMA.

Ο αλγόριθμος αρχικά υπολογίζει το απαιτούμενο εύρος ζώνης που απαιτεί, είτε νέα κλήση, είτε κλήση σε εξέλιξη που πρέπει να κάνει διαπομπή. Στην συνέχεια υπολογίζει τον αριθμό των slots ανά frame που εξασφαλίζουν τον παραπάνω ρυθμό μετάδοσης. Έπειτα, προσπαθεί να εξασφαλίσει στον εκάστοτε χρήστη αυτό τον αριθμό χρονοσχισμών εξετάζοντας τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος, ξεκινώντας από το κατώτερο επίπεδο και συνεχίζοντας προς το ανώτερο. Αν δεν βρεθούν όλοι οι απαραίτητοι πόροι, η κλήση δεν γίνεται αποδεκτή. Πρέπει να επισημάνουμε δύο στοιχεία:

- Όλοι οι πόροι που ζητάει η υπηρεσία πρέπει να παρέχονται σε αυτή από κυψέλες ενός και μόνο επιπέδου και όχι από διαφορετικά.

- Ο αλγόριθμος δεν επιτρέπει την μετάδοση mono-media ροών που αφορούν υπηρεσίες ευαίσθητες ως προς τον χρόνο μετάδοσης από το δορυφορικό επίπεδο κυψελών λόγω της μεγάλης καθυστέρησης στη διάδοση που χαρακτηρίζει αυτό το στρώμα της ιεραρχίας.

Τα πλεονεκτήματα του παραπάνω αλγορίθμου είναι ότι η κλήση που γίνεται αποδεκτή δεν διακόπτεται και έχει πάντα στην διάθεσή της όλη την απαραίτητη χωρητικότητα που χρειάζεται, διατηρώντας πάντα το QoS της κλήσης σταθερό. Επίσης ο αλγόριθμος χαρακτηρίζεται από μικρή πολυπλοκότητα ως προς την υλοποίησή του.

Όμως μεγάλο του μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι μπορεί να οδηγήσει το σύστημα σε υψηλά επίπεδα τιμών τις πιθανότητες απόρριψης και διακοπής κλήσεων, λόγω του ότι η εμμονή του για εξασφάλιση πόρων ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο οδηγεί συχνά σε δύο ανεπιθύμητες καταστάσεις.

1. Μια εφαρμογή πολυμέσων υψηλών απαιτήσεων μπορεί να καταλάβει πάρα πολλούς πόρους σε μια μικροκυψέλη, με αποτέλεσμα να υπερφορτωθεί πολύ γρήγορα, μειώνοντας δραματικά τον αριθμό των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει ακόμα και αν αυτοί ζητούν μόνο υπηρεσίες φωνής.
2. Επίσης η πιθανότητα διακοπής μιας κλήσης σε εξέλιξη που πρέπει να κάνει διαπομπή αυξάνει κατά πολύ, αν αναλογιστούμε το εξής πολύ πιθανό σενάριο. Κλήση με υπηρεσία πολυμέσων που έχει εγκατασταθεί και εξυπηρετείται εξολοκλήρου από μια μικροκυψέλη θα πρέπει για να συνεχιστεί να βρει την απαραίτητη χωρητικότητα και στην μικροκυψέλη στόχο, αφού η αντιμετώπιση της κλήσης ως ενιαία ροή πληροφορίας δεν επιτρέπει τον διαχωρισμό της.

3.4.4.2 Αλγόριθμοι PLS (Progressive Layer Selection) και OLS (Optimal Layer Selection)

Και οι δύο αλγόριθμοι ανήκουν στην κατηγορία των Multibearer Based Algorithms αλγορίθμων, με την διαφορά ότι ο PLS λαμβάνει υπόψη του μόνο ότι η ροή δεδομένων μιας υπηρεσίας πολυμέσων συνίσταται από διαφορετικές mono-media ροές, χωρίς όμως να εξετάζει το διαφορετικό QoS που απαιτεί η κάθε ροή από το κανάλι που την μεταφέρει.

- *Αλγόριθμος PLS*

Σύμφωνα με τη δομή του αλγορίθμου για κάθε νέα κλήση ή διαπομπή το σύστημα προσπαθεί να εγκαταστήσει όσες περισσότερες mono-media ροές, που συνθέτουν την υπηρεσία πολυμέσων, στην κυψέλη του χαμηλότερου επιπέδου στην οποία χωρικά ανήκει ο χρήστης. Η εξυπηρέτηση μιας ροής από δύο διαφορετικά στρώματα δεν επιτρέπεται. Αν κάποιες ροές δεν μπορούν να δεσμεύσουν τους απαραίτητους για αυτές πόρους, τότε η εγκατάστασή τους γίνεται στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας. Τέλος, σε περίπτωση έλλειψης διαθέσιμων πόρων, το σύστημα προνοεί ώστε οι ροές που αφορούν non time critical δεδομένα να εξυπηρετηθούν από το δορυφορικό επίπεδο. Έτσι επί της ουσίας το σύστημα χρησιμοποιεί τα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας ως εξυπηρετητές υπερροϊκής κίνησης.

- *Αλγόριθμος OLS*

Ο αλγόριθμος OLS προσπαθεί να εντάξει την κάθε mono-media ροή στο κατάλληλο για αυτή επίπεδο της ιεραρχίας, σύμφωνα με τις ανοχές της στο χρόνο καθυστέρησης μετάδοσης της πληροφορίας στο ασύρματο μέσο. Αν αυτό δεν είναι εφικτό λόγω προσωρινής έλλειψης πόρων, το σύστημα προσπαθεί να βρει πόρους για την ροή σε κυψέλες άλλων επιπέδων, πάντα όμως σύμφωνα με τις ελάχιστες απαιτήσεις καθυστέρησης στην διάδοση της κάθε ροής. Αν για μια ροή βρεθούν πόροι σε επίπεδο που δεν ικανοποιεί τα κριτήρια καθυστέρησης τότε απορρίπτεται. Επίσης, αν μια ροή δεν εγκατασταθεί στο καλύτερο για αυτή επίπεδο, το σύστημα προσπαθεί να την επαναφέρει σε αυτό καθ΄ όλη την διάρκεια της κλήσης.

Στην συνέχεια γίνεται παρουσίαση του αλγορίθμου EOLS, ο οποίος είναι και ο πιο πολύπλοκος από όλους τους προηγούμενους, για αυτό και ακολουθεί αναλυτική παρουσίασή του. Επίσης, επειδή αποτελεί συνδυασμό όλων των παραπάνω τεχνικών, η αναλυτική παρουσίασή του αποσκοπεί στην καλύτερη κατανόηση αυτών.

3.4.4.3 Αλγόριθμος EOLS (Enhanced Optimal Layer Selection Algorithm)

Αρχικά η διαδικασία εξυπηρέτησης κλήσεων, σύμφωνα με τον αλγόριθμο EOLS, ο οποίος προτείνεται στο [16], ταξινομεί τις mono-media ροές που συνθέτουν την υπηρεσία σύμφωνα με την προτεραιότητά τους, η οποία καθορίζεται και από το είδος της αλλά και από τον χρήστη. Ξεκινώντας από την ροή με την μεγαλύτερη προτεραιότητα ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Εκτελείται μια προκαθορισμένη διαδικασία πρόσβασης, με απώτερο σκοπό την εγκατάσταση της συγκεκριμένης ροής σε εκείνο το επίπεδο της ιεραρχίας που θεωρείται καταλληλότερο για αυτή σύμφωνα με ένα πίνακα προτεραιοτήτων για τον εκάστοτε διαφορετικό τύπο ροής.
- Αν η προσπάθεια εγκατάστασης είναι επιτυχής τότε η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για την αμέσως μικρότερης προτεραιότητας ροή.
- Στην περίπτωση που η παραπάνω διαδικασία αποτύχει, τότε υπάρχουν δύο ενδεχόμενα:

  A) Αν η εφαρμογή που μεταφέρεται μέσω της συγκεκριμένης ροής ανήκει στο Ελάχιστο Απαιτούμενο Πακέτο Εφαρμογών (Minimum Set), η κλήση απορρίπτεται από το σύστημα.

  B) Αν όχι, τότε η συγκεκριμένη εφαρμογή απενεργοποιείται από την συγκεκριμένη υπηρεσία πολυμέσων και η διαδικασία συνεχίζεται με την εξέταση της επόμενης ροής.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η προτεραιότητα ως προς το καταλληλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης που ισχύει για την εκάστοτε mono-media εφαρμογή:

A) Voice

- Η πρώτη προσπάθεια γίνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο,
- Αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι τότε η δεύτερη προσπάθεια γίνεται στο μακροκυψελικό επίπεδο,
- Αν και σε αυτό υπάρχει έλλειψη πόρων τότε η mono-media εφαρμογή απορρίπτεται.

B) Video

- Η πρώτη προσπάθεια γίνεται στο μακροκυψελικό επίπεδο,
- Αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι τότε η δεύτερη προσπάθεια γίνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο,
- Αν και σε αυτό υπάρχει έλλειψη πόρων τότε η mono-media εφαρμογή απορρίπτεται.

C) Non Real-Time Broadband Data

- Λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης που απαιτεί η υπηρεσία η πρώτη προσπάθεια γίνεται στο δορυφορικό επίπεδο,
- Αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι τότε η δεύτερη προσπάθεια γίνεται στο μακροκυψελικό επίπεδο,
- Αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι τότε η τρίτη προσπάθεια γίνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο,
- Αν και σε αυτό υπάρχει έλλειψη πόρων τότε η mono-media εφαρμογή απορρίπτεται.

D) Non Real-Time Narrowband Data

- Λόγω του μικρού εύρους ζώνης που απαιτεί η υπηρεσία η πρώτη προσπάθεια γίνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο,
- Αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι τότε η δεύτερη προσπάθεια γίνεται στο μακροκυψελικό επίπεδο,
- Αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι τότε η τρίτη προσπάθεια γίνεται στο δορυφορικό επίπεδο,
- Αν και σε αυτό υπάρχει έλλειψη πόρων τότε η mono-media εφαρμογή απορρίπτεται.

Κατά την διάρκεια διαπομπών, αν κάποια εφαρμογή έχει τοποθετηθεί στο βέλτιστο επίπεδο για αυτή, σύμφωνα με τα παραπάνω, τότε γίνεται προσπάθεια τοποθέτησής της σε κυψέλη του ιδίου επιπέδου. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε ακολουθείται μεμονωμένα η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω για την εξυπηρέτηση της συγκεκριμένης εφαρμογής. Η βασική αρχή όμως που ακολουθείται από το σύστημα, είναι η τοποθέτηση της εκάστοτε εφαρμογής στο βέλτιστο για αυτή επίπεδο καθ΄ όλη την διάρκεια της κλήσης.

3.5. Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής Κλήσεων Σε Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα

Όλα τα μοντέλα που εξετάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους είχαν ένα κοινό χαρακτηριστικό, διατηρούσαν όλες τις παραμέτρους τους, τα χρησιμοποιούμενα κατώφλια και τις διαδικασίες που το σύστημα ακολουθεί για την εξυπηρέτηση μιας κλήσης, σταθερά. Δηλαδή κάθε μοντέλο διαθέτει προαποφασισμένα κριτήρια με βάση τα οποία ενεργεί και τα οποία ταιριάζουν στις απαιτήσεις της περιοχής που αυτό εφαρμόζεται, χωρίς να μεταβάλλονται ούτε χρονικά αλλά και ούτε σε περιπτώσεις μεγάλης μεταβολής του φορτίου που το σύστημα καλείται να εξυπηρετήσει.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που έχουν τέτοιου είδους μοντέλα είναι:

- Η μικρή πολυπλοκότητα που απαιτείται για την υλοποίησή τους.
- Η γρήγορη απόκρισή τους κατά την λήψη των αποφάσεων, αφού αυτές είναι προκαθορισμένες για κάθε κατηγορία στην οποία ανήκει ο προς εξυπηρέτηση χρήστης.
- Ο μικρός φόρτος σηματοδοσίας που απαιτείται σε σχέση με μοντέλα τα οποία αλλάζουν τις διαδικασίες εξυπηρέτησης που ακολουθούν καθώς προσαρμόζονται στις απαιτήσεις του συστήματος.

Η πράξη όμως έχει αποδείξει, κάτι που θα γίνει πλήρως αντιληπτό και κατά την αξιολόγηση των μοντέλων που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια, ότι οι επιδόσεις ενός μοντέλου μπορεί να αλλάξουν κατά πολύ ανάλογα με το φορτίο που το σύστημα καλείται να αντιμετωπίσει. Έτσι, μοντέλα με εξαιρετικές επιδόσεις ως προς τις παραμέτρους του συστήματος (π.χ. πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος) σε σχέση με άλλα, κάτω από συνθήκες χαμηλού φορτίου κίνησης, παρουσιάζουν χειρότερες επιδόσεις κάτω από συνθήκες μέτριου ή υψηλού φορτίου.

Για τον παραπάνω λόγο η έρευνα στρέφεται προς την ανάπτυξη μοντέλων που διαθέτουν ευφυΐα. Με τον όρο ευφυΐα χαρακτηρίζεται η ικανότητα του συστήματος να αυτοπροσαρμόζεται με βάση την ποσότητα και το είδος του φορτίου που καλείται να αντιμετωπίσει προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει την απόδοσή του. Είναι αντιληπτό ότι κάτι τέτοιο όχι μόνο αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος, αλλά απαιτεί και ένα σύνθετο, γρήγορο και ακριβή μηχανισμό ο οποίος θα μπορεί να ενημερώνει το σύστημα για τις ακριβείς συνθήκες που επικρατούν κάθε χρονική στιγμή στην περιοχή την οποία εξυπηρετεί. Για να γίνει εμφανές το τέλμα στο οποίο μπορεί να υποπέσει ένα μοντέλο το οποίο δεν διαθέτει ευφυΐα, αναφέρουμε ένα απλό παράδειγμα.

Υποθέτοντας μοντέλο που εξετάζει μόνο το προφίλ κινητικότητας των χρηστών και με βάση ένα κατώφλι ταχύτητας V_0, διαχωρίζει τους χρήστες του σε αργούς ή γρήγορους. Κάθε κατηγορία εξυπηρετείται από διαφορετικό επίπεδο, οι γρήγοροι από το μακροκυψελικό και οι αργοί από το μικροκυψελικό και μόνο. Επίσης υποθέτουμε ότι το σύστημα καλύπτει χωρικά αστική περιοχή την οποία διασχίζουν μεγάλοι λεωφόροι. Το κατώφλι ταχύτητας είναι τέτοιο ώστε το μοντέλο σε περιπτώσεις μεγάλου φόρτου, όπως κατά την διάρκεια της ημέρας που λόγω κίνησης οι περισσότεροι χρήστες, ακόμα και αυτοί εντός αυτοκινήτων έχουν μικρή ταχύτητα, να εξασφαλίζει τον απαιτούμενο πληθυσμό χρηστών της κάθε κατηγορίας, βελτιστοποιώντας την απόδοση του συστήματος. Τις βραδινές ώρες όμως, που η κίνηση εξακολουθεί να είναι μεγάλη αλλά υπάρχει ομαλή ροή κυκλοφορίας στους δρόμους, η ύπαρξη μικρού κατωφλιού ταχύτητας θα έχει ως αποτέλεσμα ο αριθμός

των χρηστών που το σύστημα θεωρεί γρήγορους να αυξάνει δραματικά. Η μακροκυψέλη δεν θα μπορεί να αντεπεξέλθει στο μεγάλο φορτίο και η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων θα αυξηθεί δραματικά. Ακόμα χειρότερα, οι πόροι των μικροκυψελών θα παραμένουν ανεκμετάλλευτοι αυξάνοντας την αδυναμία του μοντέλου.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται ευφυή μοντέλα που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία και προσπαθούν να αντιμετωπίσουν παρόμοιες καταστάσεις.

3.5.1 Μοντέλο Με Δυναμική Εκχώρηση Διαύλων

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στο [18] χρησιμοποιεί την τεχνική της δυναμικής εκχώρησης διαύλων (DCA : Dynamic Channel Allocation), προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει την απόδοση του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα εφαρμόζεται δανεισμός διαύλων μεταξύ κυψελών του ιδίου επιπέδου μόνο. Αρχικά αναφέρουμε τις βασικές αρχές που διέπουν το μοντέλο και στην συνέχεια την τεχνική του δανεισμού που ακολουθείται και η οποία αναφέρεται ως Maximum Packing Algorithm (MP). Το μοντέλο στηρίζεται στο αντίστοιχο που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.4, δηλαδή έχει τη δυνατότητα take back μόνο για τους αργούς χρήστες και P=100%. Αναλυτικότερα:

- Οι χρήστες ανάλογα με το προφίλ κινητικότητάς τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, γρήγοροι και αργοί. Ο διαχωρισμός του γίνεται με βάση σταθερό κατώφλι ταχύτητας που ορίζει το μοντέλο.

- Νέα κλήση για κάθε κατηγορία χρηστών, αργοί – γρήγοροι, κατευθύνεται προς το μικροκυψελικό – μακροκυψελικό επίπεδο αντίστοιχα. Σε περίπτωση που αργοί χρήστες δεν βρουν πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο κατευθύνονται στο μακροκυψελικό και αν ούτε και σε αυτό υπάρχουν απορρίπτονται. Αντιθέτως γρήγοροι χρήστες που δεν βρίσκουν διαθέσιμους πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο απορρίπτονται κατευθείαν.

- Σε περιπτώσεις διαπομπών γρήγορων χρηστών γίνεται προσπάθεια ανεύρεσης πόρων στην μακροκυψέλη στόχο προς την οποία και κατευθύνονται. Μη ανεύρεση διαθέσιμων πόρων έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή της κλήσης.

- Διαπομπές αργών χρηστών που ανήκουν στο μικροκυψελικό επίπεδο αναζητούν αρχικά πόρους στην μικροκυψέλη στόχο προς την οποία και κατευθύνονται. Αν δεν βρεθούν αναζητούνται στην μακροκυψέλη που καλύπτει την περιοχή που βρίσκονται. Αν και εκεί δεν βρεθούν διαθέσιμοι πόροι η κλήση απορρίπτεται.

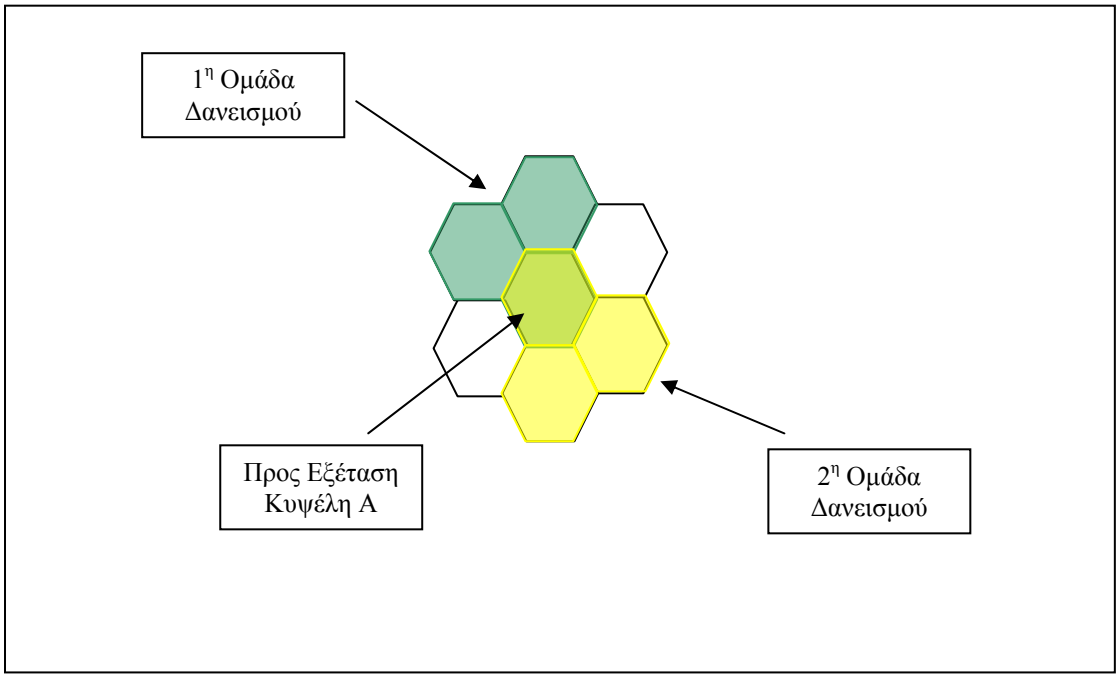
- Αργοί χρήστες που λόγω έλλειψης πόρων στο μικροκυψελικό επίπεδο εξυπηρετούνται από μακροκυψέλη, κάθε φορά που διασχίζουν τα όρια των χωρικά υποκείμενων σε αυτή μικροκυψελών αναζητούν ελεύθερους πόρους σε αυτές. Αν βρουν τότε μεταφέρονται στο μικροκυψελικό επίπεδο.

Αν το σύστημα διαθέτει C συνολικά διαύλους, ασχέτως με το είδος της πολυπλεξίας που ακολουθείται, τότε C_1 δίαυλοι παραχωρούνται για κάθε ομάδα αναχρησιμοποίησης μικροκυψελών και C_2 για κάθε ομάδα αναχρησιμοποίησης μακροκυψελών. Οι δίαυλοι (συχνότητες) που εκχωρούνται στο κάθε ένα επίπεδο χρησιμοποιούνται μόνο από αυτό. Η ομάδα αναχρησιμοποίησης και για τα δύο επίπεδα περιέχει επτά κυψέλες, δηλαδή K=7.

Ομάδες Δανεισμού

Κάθε κυψέλη, ασχέτως του επιπέδου στο οποίο ανήκει, είναι μέλος και σε τουλάχιστον μια ομάδα δανεισμού. Μια ομάδα δανεισμού αποτελείται από τρεις κυψέλες οι οποίες δεν ανήκουν απαραίτητα στην ίδια ομάδα αναχρησιμοποίησης. Επίσης κάθε κυψέλη μπορεί να ανήκει θεωρητικά και σε περισσότερες από μία ομάδες δανεισμού αλλά από την στιγμή που εντάσσεται και χρησιμοποιεί διαύλους των άλλων δύο, δεν μπορεί να ανήκει και σε μία δεύτερη. Μετά την αποδέσμευση βέβαια των δανεισμένων πόρων μπορεί το σύστημα, αν χρειαστεί, να την εντάξει σε ομάδα δανεισμού διαφορετική από την αρχική.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται σχηματικό παράδειγμα μιας ομάδας αναχρησιμοποίησης και οι πιθανές ομάδες δανεισμού στις οποίες μπορεί να ανήκει μια κυψέλη.



Είναι σαφές ότι η διευθέτηση των διαύλων ανά ομάδα αναχρησιμοποίησης και η επιλογή των Ομάδων Δανεισμού στις οποίες ανήκει μια κυψέλη έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε όταν μια κυψέλη ενταχθεί σε μια Ο.Δ. να μπορεί να δανείζεται διαύλους από τις υπόλοιπες χωρίς να υπάρχει πρόβλημα ομοδιαυλικής παρεμβολής ούτε στην ίδια ούτε σε γειτονικές της.

Λειτουργία Δανεισμού

Η βασική αρχή είναι ότι, αν κλήση αργού χρήστη δεν βρίσκει διαθέσιμους πόρους στην μικροκυψέλη της περιοχής που ανήκει, και πριν το σύστημα αναζητήσει πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο να κάνει τις εξής ενέργειες:

- Ελέγχει αν η μικροκυψέλη ανήκει σε κάποια Ομάδα Δανεισμού.

  Αν ναι, τότε εξετάζει τη δυνατότητα δανεισμού δίαυλου από κάποια από τις άλλες δύο κυψέλες που ανήκουν στην ίδια ομάδα για να εξυπηρετηθεί η κλήση.

  - Αν υπάρχει η παραπάνω δυνατότητα τότε πραγματοποιείται ο δανεισμός και η κλήση εξυπηρετείται κανονικά από την μικροκυψέλη.
  - Αν δεν υπάρχει η παραπάνω δυνατότητα και καθώς δεν μπορεί να δανειστεί από κυψέλες που δεν ανήκουν στην συγκεκριμένη Ο.Δ., η κλήση προωθείται στο μακροκυψελικό επίπεδο.

  Άρα μια κλήση μεταφέρεται στα μακροκυψελικό επίπεδο **μόνο** όταν δεν υπάρχουν ελεύθεροι πόροι σε καμία από τις κυψέλες της Ο.Δ. στην οποία ανήκει η προς εξέταση κυψέλη.

- Αν η μικροκυψέλη δεν έχει ενταχθεί σε κάποια Ομάδα Δανεισμού τότε το σύστημα εξετάζει την δυνατότητα ένταξής της σε κάποια από εκείνες που το σύστημα έχει καθορίσει ότι μπορεί να αποτελεί μέρος (τουλάχιστον μία Ο.Δ.). Το σύστημα ελέγχει για κάθε μια από τις υποψήφιες Ομάδες Δανεισμού τους διαθέσιμους πόρους και κατ΄ επέκταση το φορτίο των άλλων κυψελών. Η σειρά εξέτασής τους είναι εκ των προτέρων αποφασισμένη.

  - Αν οι υπόλοιπες κυψέλες, της πρώτης προτεραιότητας Ο.Δ., έχουν λιγότερους διαύλους διαθέσιμους από έναν αριθμό C_0, τότε εξετάζεται η επόμενη. Αυτό γίνεται γιατί η ένταξη μιας κυψέλης σε κάποια Ο.Δ. δεν είναι ένα στιγμιαίο γεγονός αλλά αποβλέπει σε μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Άρα, αν για παράδειγμα μια Ο.Δ. διαθέτει μόνο ένα ελεύθερο κανάλι, η ένταξή της υπερφορτωμένης κυψέλης σε μια τέτοια ομάδα δεν θα έχει αποτέλεσμα, αφού το πιο πιθανό είναι ότι δεν θα αρκούσε για να βελτιώσει την κατάσταση.
  - Αν δεν συμφέρει η ένταξη της μικροκυψέλης σε καμία Ο.Δ. τότε η κλήση προωθείται στο μακροκυψελικό επίπεδο.

Αντίστοιχη διαδικασία προβλέπεται και για τους γρήγορους χρήστες που προσπαθούν να ενταχθούν στο μακροκυψελικό επίπεδο με την διαφορά ότι δεν επιτρέπεται η ροή τους στο μικροκυψελικό.

Η παραπάνω τεχνική δίνει πολλές δυνατότητες στο σχεδιαστή του συστήματος, αφού μπορεί όπως προαναφέρθηκε να καθορίσει τις ομάδες δανεισμού στις οποίες μπορεί να ενταχθεί μια κυψέλη και τη σειρά προτεραιότητας με την οποία αυτές θα εξεταστούν. Δίνονται κάποιες από αυτές:

- Αν στο παραπάνω σχήμα, η ευρύτερη περιοχή που ανήκουν οι κυψέλες της $1^{ης}$ Ο.Δ. αντιμετωπίζουν υψηλό φορτίο, ενώ οι κυψέλες της $2^{ης}$ όχι, τότε το σύστημα θα εντάξει την κυψέλη Α στην δεύτερη από την οποία θα μπορεί να δανειστεί πολλούς περισσότερους διαύλους.

- Αν το παραπάνω φαινόμενο είναι μόνιμο τότε ο σχεδιαστής μπορεί να αποκλείσει την $1^{η}$ Ο.Δ. από τις δυνατές επιλογές της Α κυψέλης, βελτιώνοντας και κάνοντας πιο γρήγορη και αποδοτική την διαδικασία αναζήτησης Ο.Δ.

- Αν η κυψέλη Α εξυπηρετεί περιοχή με ιδιαίτερα υψηλό φορτίο και για μεγάλα χρονικά διαστήματα (hot spot) τότε ο σχεδιαστής μπορεί να την εντάξει σε πολλές ομάδες δανεισμού (6 ο μέγιστος αριθμός) ενώ τις γειτονικές της σε λιγότερες. Έτσι αυξάνονται οι πιθανότητες επιτυχημένης εύρεσης Ο.Δ. της συγκεκριμένης κυψέλης.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι είτε με την παρέμβαση του σχεδιαστή, είτε με την ευφυΐα του συστήματος στην επιλογή της κατάλληλης Ο.Δ. η τεχνική δανεισμού γίνεται πιο αποδοτική. Επίσης δεν πρέπει να παραγνωρίζουμε το γεγονός ότι, καθώς οι αργοί χρήστες δεν εντάσσονται κατευθείαν στο μακροκυψελικό επίπεδο όταν η μικροκυψέλη τους βρίσκεται σε αποκλεισμό, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξασφάλιση ακόμη περισσότερων πόρων στις κυψέλες του υψηλότερου επιπέδου για την εξυπηρέτηση των γρήγορων χρηστών.

3.5.2 Μοντέλο Με Μεταβλητό Κατώφλι Ταχύτητας

Στο ευφυές μοντέλο που παρουσιάζεται στην συνέχεια γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης της απόδοσης του συστήματος με την χρήση μεταβαλλόμενου κατωφλίου ταχύτητας. Η μεταβολή του κατωφλίου γίνεται συναρτήσει του φορτίου που δέχεται η περιοχή που εφαρμόζεται το μοντέλο και η παρακολούθηση του οποίου είναι συνεχής από το σύστημα. Η γενική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκαν οι συγγραφείς του [19] έχει ως εξής:

Υπό συνθήκες χαμηλού φορτίου είναι προτιμότερο το κατώφλι ταχύτητας να είναι μικρό έτσι ώστε να εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο όσο το δυνατό περισσότεροι χρήστες, ακόμα και θεωρητικά αργά κινούμενοι, ώστε να διατηρείται σε χαμηλές τιμές ο συνολικός αριθμός των διαπομπών του συστήματος. Καθώς το φορτίο αυξάνει, αυξάνει και το κατώφλι ταχύτητας με αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι χρήστες να εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο, το οποίο λόγω του μικρού μεγέθους των κυψελών του και τη μεγαλύτερη περίοδο αναχρησιμοποίησης συχνοτήτων που αυτό συνεπάγεται, διαθέτει μεγαλύτερη χωρητικότητα. Επίσης η ένταξη του μεγαλύτερου όγκου χρηστών στις μικροκυψέλες, ελαττώνει το φορτίο της υπερκείμενης σε αυτές μακροκυψέλης, με αποτέλεσμα η δεύτερη να έχει μεγαλύτερη δυνατότητα – χωρητικότητα, ώστε να εξυπηρετεί την υπερροϊκή κίνηση που προέρχεται από κυψέλες του κατώτερου επιπέδου.

Οι κυριότεροι κανόνες που χαρακτηρίζουν την λειτουργία του μοντέλου παρουσιάζονται στην συνέχεια:

- Οι χρήστες ανάλογα με το προφίλ κινητικότητάς τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, γρήγοροι και αργοί. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με βάση μεταβλητό κατώφλι ταχύτητας που ορίζει το μοντέλο κάθε χρονική στιγμή.

- Η αλλαγή του κατωφλίου ταχύτητας, από το ίδιο το σύστημα, ενώ κλήση βρίσκεται σε εξέλιξη, επηρεάζει άμεσα το προφίλ κινητικότητας του χρήστη το οποίο πρέπει να επαναπροσδιοριστεί ακόμα και αν η ταχύτητά του παραμένει σταθερή.

- Η διαδικασία υπολογισμού της ταχύτητας που υιοθετεί το μοντέλο είναι η EA (Exponential Average) που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο προσδιορισμός της γίνεται από το ίδιο το κινητό με βάση την μέτρηση του χρόνου διάσχισης μιας μικροκυψέλης ακόμα και αν αυτό εξυπηρετείται από το μακροκυψελικό επίπεδο. Η μέτρησή της γίνεται καθ΄ όλη την διάρκεια που η συσκευή είναι ενεργοποιημένη, και όχι μόνο κατά την διάρκεια κλήσεων. Επίσης κάθε φορά που επαναπροσδιορίζεται, λαμβάνεται υπόψη και η τιμή της προηγούμενης μέτρησης, ώστε η διαδικασία να έχει μνήμη και να μην είναι ευαίσθητη σε μεγάλες μεταβολές της ταχύτητας που μπορεί να προέλθουν από αστοχίες μετρήσεων ή λάθη.

- Νέα κλήση για κάθε κατηγορία χρηστών, αργοί – γρήγοροι, κατευθύνεται προς το μικροκυψελικό – μακροκυψελικό επίπεδο αντίστοιχα. Σε περίπτωση που αργοί χρήστες δεν βρουν πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο κατευθύνονται στο μακροκυψελικό και αν ούτε και σε αυτό υπάρχουν, απορρίπτονται. Αντιθέτως γρήγοροι χρήστες που δεν βρίσκουν διαθέσιμους πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο απορρίπτονται κατευθείαν.

- Σε περιπτώσεις διαπομπών γρήγορων χρηστών γίνεται προσπάθεια ανεύρεσης πόρων στην μακροκυψέλη στόχο προς την οποία και κατευθύνονται. Μη ανεύρεση διαθέσιμων πόρων έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή της κλήσης.

- Διαπομπές αργών χρηστών που ανήκουν στο μικροκυψελικό επίπεδο αναζητούν αρχικά πόρους στην μικροκυψέλη στόχο προς την οποία και κατευθύνονται. Αν δεν βρεθούν αναζητούνται στη μακροκυψέλη που καλύπτει την περιοχή που βρίσκονται. Αν και εκεί δεν βρεθούν διαθέσιμοι πόροι, η κλήση απορρίπτεται.

- Κάθε φορά που αλλάζει το προφίλ κινητικότητας του χρήστη, είτε από αλλαγή του κατωφλίου ταχύτητας, είτε από αλλαγή της ταχύτητας του, ο χρήστης προσπαθεί να ενταχθεί σε εκείνο το επίπεδο που το προφίλ του επιτάσσει.

Μεταβαλλόμενο Κατώφλι Ταχύτητας

Όπως προαναφέρθηκε η μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας του συστήματος V_0 είναι συνάρτηση του φορτίου που δέχεται το σύστημα. Ο τρόπος που το σύστημα αντιλαμβάνεται την αύξηση του φορτίου είναι έμμεσος και γίνεται με βάση τις μετρούμενες περιοδικά τιμές της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων στο μακροκυψελικό (B_m) και στο μικροκυψελικό (B_μ) επίπεδο αντίστοιχα. Το σύστημα διαθέτει μια προκαθορισμένη τιμή για την πιθανότητα αποκλεισμού, κοινή και για τα δύο επίπεδα B_0, η οποία καθορίζεται κυρίως από το QoS που απαιτεί ο σχεδιαστής του συστήματος. Υπέρβαση της παραπάνω τιμής από την μετρούμενη B_m ή την B_μ συνεπάγεται και αύξηση του συνολικού φορτίου του συστήματος.
Η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής:

- Σε περίπτωση χαμηλού φορτίου τότε το κατώφλι ξεκινώντας από αρχική τιμή 0 αυξάνει εκθετικά μέχρι το σημείο όπου $B_m = B_0$ και ταυτόχρονα $B_\mu \leq B_0$. Όταν η παραπάνω συνθήκη επιτευχθεί συνεπάγεται ότι το φορτίο που εξυπηρετεί η μακροκυψέλη έχει φτάσει στο ανώτερο δυνατό όριο, ώστε η πιθανότητα αποκλεισμού σε αυτό το επίπεδο να μην υπερβαίνει την προκαθορισμένη τιμή και η ποιότητα υπηρεσιών που επιδιώκει το σύστημα να είναι η επιθυμητή. Αυτή η "στο όριο" λειτουργία της μακροκυψέλης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση όσο το δυνατό περισσότερο του συνολικού αριθμού των διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση του φορτίου σηματοδοσίας του. Πιθανή μείωση ακόμη περισσότερο της τιμής της πιθανότητας B_m θα έχει ως αποτέλεσμα και την περαιτέρω μείωση του κατωφλίου ταχύτητας, τόσο όσο να ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη ($B_m = B_0$ και $B_\mu \leq B_0$) όσο το δυνατό καλύτερα.

- Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι από την στιγμή που η μακροκυψέλη λειτουργεί στο όριό της, πιθανή αύξηση του φορτίου του συστήματος θα έχει ως αποτέλεσμα την άμεση αύξηση της πιθανότητας B_m. Όταν αυτή ξεπεράσει το όριο B_0 το σύστημα αυξάνει το κατώφλι ταχύτητας με αποτέλεσμα να μειώνεται ο αριθμός των χρηστών στην μακροκυψέλη και κατ΄ επέκταση η τιμή της B_m. Παράλληλα βέβαια ακολουθεί και αύξηση της πιθανότητας B_μ καθώς αυξάνει ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο. Η αύξηση όμως της τιμής του V_0 δεν είναι συνεχής παράλληλα με την αύξηση του φορτίου αλλά διακόπτεται όταν συμβεί ένα από τα παρακάτω:

  - Η πιθανότητα αποκλεισμού στο μικροκυψελικό επίπεδο να ξεπεράσει την τιμή B_0. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι το κατώτερο επίπεδο δεν μπορεί πλέον να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες διατηρώντας ταυτόχρονα το απαιτούμενα από το σύστημα QoS. Παρατηρείται, λοιπόν, αύξηση του φορτίου, που συνεπάγεται χειροτέρευση και των δύο πιθανοτήτων, αλλά η κατάσταση δεν μπορεί να βελτιωθεί από ενέργειες του συστήματος

  - Να ισχύσει η συνθήκη $V_0 = \min\left[V_L, V_H\right]$.

Call Set up and Handover Delay

Η τιμή της V_L καθορίζεται από τις χρονικές δυνατότητες που έχει το σύστημα να αποδεχθεί μια κλήση λόγω της σηματοδοσίας που απαιτείται για κάτι τέτοιο. Χρήστες με ταχύτητα μεγαλύτερη της V_L εντάσσονται υποχρεωτικά στην μακροκυψέλη διότι λόγω της μεγάλης τους ταχύτητας η ένταξή τους σε μια μικροκυψέλη θα είχε ως αποτέλεσμα το σύστημα να μην είναι σε θέση να κάνει τις απαιτούμενες ενέργειες για την σωστή εγκατάστασή της (σηματοδοσία) και ταυτόχρονα τις αντίστοιχες ενέργειες για την πραγματοποίηση διαπομπής. Η διαπομπή, λόγω της μεγάλης ταχύτητας του χρήστη αναμένεται να ζητηθεί πριν την ολοκλήρωση της ένταξης του στο σύστημα σε μια τέτοια περίπτωση. Η V_L καθορίζεται από τον σχεδιαστή με βάση την ταχύτητα εγκατάστασης κλήσεων από το σύστημα και το μέγεθος των μικροκυψελών.

Handoff Processing Capacity

Η V_H εξαρτάται από τον ρυθμό άφιξης κλήσεων σε μια κυψέλη και την μέση ταχύτητα των χρηστών που εξυπηρετούνται από αυτή. Με βάση τα παραπάνω το σύστημα υπολογίζει τον ρυθμό εκτέλεσης διαπομπών στην συγκεκριμένη κυψέλη ο οποίος και είναι περιορισμένος από τις δυνατότητες σηματοδοσίας. Συνεπώς υπάρχει μια ανώτατη τιμή στην μέση τιμή της ταχύτητας των χρηστών ώστε ο αριθμός των διαπομπών που ζητούνται από την κυψέλη ανά χρονική στιγμή να μην ξεπερνάει το επιτρεπτό όριο. Άρα υπάρχει και ένα επιπλέον άνω όριο, λόγω των παραπάνω για το κατώφλι ταχύτητας, κυρίως για τις μικροκυψέλες το V_H.

Μια παραλλαγή του παραπάνω μοντέλου, της οποίας η ιδιαιτερότητα μπορεί να εφαρμοστεί αυτόνομα και σε άλλα μοντέλα είναι η εξής:

Ένα μέρος από το σύνολο των διαύλων οι οποίοι ανατίθενται σε μια περιοχή που καλύπτεται από μια μακροκυψέλη και τις υποκείμενες σε αυτή μικροκυψέλες, δεν εκχωρείται μόνιμα σε αυτές. Οι υπόλοιποι δίαυλοι εκχωρούνται μόνιμα στην μακροκυψέλη και στις μικροκυψέλες. Ο χειρισμός των ελεύθερων διαύλων ακολουθεί τους παρακάτω δύο κανόνες:

- Όταν το φορτίο του συστήματος είναι μικρό και σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο το κατώφλι ταχύτητας χαμηλό, με αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται πολύ χρήστες από την μακροκυψέλη, οι ελεύθεροι δίαυλοι του συστήματος εκχωρούνται και διαχειρίζονται από αυτή. Έτσι αυξάνεται η χωρητικότητά της, μειώνεται η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων σε αυτή, μικραίνει περαιτέρω το κατώφλι, περισσότεροι χρήστες ανεβαίνουν στην μακροκυψέλη και αυξάνεται η απόδοση του συστήματος, αφού μειώνεται ο συνολικός αριθμός των διαπομπών του συστήματος.

- Στη αντίθετη περίπτωση οι ελεύθεροι δίαυλοι μοιράζονται στις κυψέλες του μικροκυψελικού επιπέδου και μάλιστα κυρίως σε αυτές που αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα με βάση την πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων που αυτές έχουν.

3.5.3 Μοντέλο Μεταβαλλόμενης Εξασφάλισης Διαύλων

Το συγκεκριμένο ευφυές μοντέλο στηρίζει τις βασικές αρχές λειτουργίας του στο μοντέλο "*Με take back αποκλειστικά P = 100%*" που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.5. Το πρόβλημα που αντιμετώπιζε το παραπάνω μοντέλο ήταν η αδικία εις βάρος των γρήγορων χρηστών, στους οποίους δεν επιτρεπόταν η εξυπηρέτηση από το μικροκυψελικό επίπεδο και το μοντέλο προέβλεπε τον άμεσο αποκλεισμό τους από το σύστημα στην περίπτωση μη εύρεσης διαθέσιμων πόρων στην μακροκυψέλη.

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, το οποίο μπορεί να μην είχε ως αποτέλεσμα την αισθητή αύξηση της πιθανότητας αποκλεισμού του συστήματος αλλά την αύξηση κατά πολύ της πιθανότητας αποκλεισμού νέων γρήγορων χρηστών, οι συγγραφείς του [12] πρότειναν την ύπαρξη δεσμευμένου αριθμού διαύλων στην μακροκυψέλη για την χρήση τους μόνο από γρήγορους χρήστες. Οι υπόλοιποι μη δεσμευμένοι πόροι θα αποτελούν στοιχείο ανταγωνισμού μεταξύ των χρηστών που ανήκουν και στις δύο κατηγορίες κινητικότητας. Περαιτέρω βελτίωση αποτελεί η ύπαρξη μεταβαλλόμενου αριθμού δεσμευμένων πόρων στο μακροκυψελικό επίπεδο. Ο αριθμός τους θα μεταβάλλεται ως εξής:

- Σε περιπτώσεις μικρού και μέτριου φορτίου, το οποίο θα καθορίζεται από τον αριθμό των ελεύθερων διαύλων του μικροκυψελικού επιπέδου σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των διαύλων που ανατίθεται στο επίπεδο αυτό, ο αριθμός των δεσμευμένων διαύλων για τους γρήγορους χρήστες θα είναι μικρός αφού λίγοι αργοί θα εξυπηρετούνται από την μακροκυψέλη, με αποτέλεσμα οι γρήγοροι να μην αντιμετωπίζουν πρόβλημα εύρεσης διαθέσιμων πόρων. Επίσης λόγω του μεγάλου αριθμού αδέσμευτων πόρων της, η μακροκυψέλη θα μπορεί να εξυπηρετεί με καλύτερο τρόπο την μεμονωμένη υπερροϊκή κίνηση (από μεμονωμένες κυψέλες) η οποία προέρχεται από το μικροκυψελικό επίπεδο.

- Σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου, όπου η αδικία για τους γρήγορους χρήστες γίνεται έντονη, θα αυξάνεται ο αριθμός των δεσμευμένων ελεύθερων πόρων για τους γρήγορους χρήστες στην μακροκυψέλη. Η αύξηση θα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το σύστημα να εξασφαλίζει ότι και οι δύο κατηγορίες χρηστών, γρήγοροι και αργοί, συνεισφέρουν ισότιμα και για την ακρίβεια ισόποσα στην διαμόρφωση της πιθανότητας αποκλεισμού του συστήματος.

Περαιτέρω αύξηση του παραπάνω συνόλου μετά από κάποια καθορισμένη τιμή δεν θα γίνεται ώστε να μην φτάσουμε στο άλλο άκρο και η μακροκυψέλη δεν μπορεί να εξυπηρετήσει καθόλου την υπερροϊκή κίνηση αργών χρηστών του μικροκυψελικού επιπέδου. Τα παραπάνω κατώφλια θα καθορίζονται από τον διαχειριστή με βάση τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής.

3.6. Μοντέλα Με Περισσότερα Των Δύο Επιπέδων

Η τελευταία κατηγορία μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα, την οποία και θα εξετάσουμε στην παρακάτω ενότητα, αφορά μοντέλα τα οποία διαχειρίζονται ομάδες κυψελών που ανήκουν σε περισσότερα από δύο επίπεδα. Εκτός του μακροκυψελικού και του μικροκυψελικού επιπέδου υπάρχει και το επίπεδο με τις πικοκυψέλες και αυτό που δημιουργείται από δορυφορικές δέσμες. Όλα τα μοντέλα που περιγράφηκαν προηγουμένως αφορούσαν συστήματα δύο επιπέδων και μάλιστα όλα υπέθεταν την πλήρη ραδιοκάλυψη του υποκείμενου της μακροκυψέλης χώρου από μικροκυψέλες. Βεβαίως όλα με τις απαραίτητες προεκτάσεις θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και κάτω από την ύπαρξη περισσότερων επιπέδων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους η ενσωμάτωση σε ένα μοντέλο κυψελών που δεν ανήκουν στο μικροκυψελικό ή στο μακροκυψελικό επίπεδο αντιμετωπίζει δυσκολίες.

Ύπαρξη Πικοκυψελών

Οι πικοκυψέλες έχουν ακτίνα ραδιοκάλυψης το πολύ μερικών δεκάδων μέτρων και ο βασικός σκοπός ύπαρξής τους είναι η εξυπηρέτηση χρηστών εντός κτηρίων. Η διάδοση σήματος εντός πικοκυψέλης αντιμετωπίζει πληθώρα προβλημάτων όπως η συνεχόμενη μεταβολή του περιβάλλοντος διάδοσης, η θέση των κεραιών, η μικρή ισχύς και άλλα. Οι παραπάνω ιδιαιτερότητες των πικοκυψελών καθιστούν δύσκολη την ένταξή τους στο σύστημα για τους παρακάτω λόγους:

- Λόγω της τοποθέτησής τους εντός κτηρίων κατά κύριο λόγο, δεν μπορούν να εξασφαλίσουν πλήρη ραδιοκάλυψη της υπερκείμενης σε αυτές μικροκυψέλης, πόσο μάλλον της μακροκυψέλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον περιπτώσεις κίνησης χρηστών που πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το μοντέλο, αυξάνοντας κατά πολύ την πολυπλοκότητά του. Για παράδειγμα, θα υπάρχει αναγκαστική διαπομπή από το πικοκυψελικό στο μικροκυψελικό επίπεδο όταν ο χρήστης εξέρχεται από κτήριο το οποίο διαθέτει πικοκυψέλες.

- Επιπλέον, η παραδοχή πλήρως επικαλυπτόμενων επιπέδων οδηγεί στην ύπαρξη πολλών απλοποιήσεων κατά την υλοποίηση θεωρητικών μοντέλων για την εξέταση των επιδόσεων του συστήματος, οι οποίες μειώνουν αισθητά την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Βεβαίως, για να γίνει μια τέτοια παραδοχή πρέπει να προσεγγίζει την πραγματικότητα, κάτι που δεν γίνεται με την ένταξη των πικοκυψελών στη δομή του συστήματος.

- Ο τρόπος μετάδοσης και πολυπλεξίας του σήματος στις πικοκυψέλες. Στο μικροκυψελικό και μακροκυψελικό επίπεδο χρησιμοποιείται ίδιος τρόπος μετάδοσης και πολυπλεξίας, κάτι που επιτρέπει η ομοιότητα των περιβαλλόντων διάδοσης που καλύπτουν. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην αρχή της παραγράφου (εντός κτηρίων, μικρό μέγεθος, μικρή ισχύς κ.α.), οι πικοκυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους για τις παραπάνω δύο διαδικασίες κάτι που απαιτεί και την διαφορετική τους αντιμετώπιση από το μοντέλο.

- Η δημιουργία του προφίλ των χρηστών σε αυτό το επίπεδο παρουσιάζει επίσης διαφορές σε σχέση με τα άλλα δύο. Σίγουρα αποκλείεται η ύπαρξη γρήγορων χρηστών εντός των κτηρίων και η απόφαση για το ποιο από τα δύο επίπεδα, μικροκυψελικό και πικοκυψελικό, θα θεωρείται το φυσικό επίπεδο ένταξης των αργών χρηστών είναι πολύπλοκο θέμα.

- Η χρήση των πικοκυψελών πολλές φορές δεν θα είναι μόνιμη, αλλά θα θέτονται σε λειτουργία σε περιπτώσεις υψηλού φόρτου. Επιπλέον, η ύπαρξή τους δημιουργεί δυσκολίες στην σωστή κατανομή των διαύλων και στην αποδοτική ανάθεσή τους στα διάφορα επίπεδα.

- Λόγω του μικρού τους μεγέθους οι πικοκυψέλες εκπέμπουν με μικρή ισχύ, σε σχέση με αυτή των κεραιών των υπολοίπων επιπέδων. Κάτι τέτοιο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα η ισχύς των σημάτων των κυψελών των παραπάνω επιπέδων να δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην μετάδοση λόγω ισχυρών παρεμβολών.

- Τέλος, οι πικοκυψέλες προορίζονται για την πλήρη ασύρματη κάλυψη εσωτερικών χώρων. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι μπορεί να εξυπηρετούνται μέσω αυτών και υπηρεσίες οι οποίες δεν συναντώνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και προφανώς θα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις. Κάτι τέτοιο θα ήταν αναγκαίο να ληφθεί υπόψη από τον σχεδιαστή του συστήματος το οποίο θα έκανε χρήση πικοκυψελών.

Ύπαρξη Δορυφορικών Δεσμών

Ακόμα μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάζει η ομαλή ένταξη δορυφορικών δεσμών στο σύστημα, λόγω των ιδιαιτεροτήτων των δορυφορικών ζεύξεων. Αναλυτικότερα:

- Σε μια δορυφορική ζεύξη η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος είναι μεγάλη κυρίως λόγω της απόστασης που πρέπει αυτό να διανύσει. Συνεπώς, κάτι τέτοιο απαγορεύει την μεταφορά υπηρεσιών ευαίσθητων ως προς τον χρόνο μετάδοσης δεδομένων (time critical) πάνω από ένα τέτοιο δίαυλο.

- Η τεχνολογία δεν είναι ακόμα σε θέση να μπορεί να υποστηρίξει δορυφορικές ζεύξεις, με την χρήση κινητών τηλεφώνων. Κύριο πρόβλημα αποτελεί το μέγεθος και η ισχύς εκπομπής της κεραίας του κινητού, καθιστώντας κυρίως την προς τα πάνω ζεύξη αδύνατη προς το παρόν.

- Η χρήση ενός δορυφορικού διαύλου από ένα και μόνο χρήστη και μάλιστα για μικρό χρονικό διάστημα θα έχει ως αποτέλεσμα την κατασπατάληση της πολύτιμης χωρητικότητας των δορυφορικών ζεύξεων και παράλληλα το κόστος για κάτι τέτοιο θα ήταν απαγορευτικό για κοινούς χρήστες.

- Η δορυφορική ακτίνα καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή, κατά πολύ μεγαλύτερη της περιοχής που καλύπτουν μερικές μακροκυψέλες και οι υποκείμενες μικροκυψέλες τους. Καθώς τα χαρακτηριστικά τέτοιων συστημάτων αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή, λόγω του διαφορετικού ποιοτικά και ποσοτικά φορτίου που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα, η ενσωμάτωση μια ενιαίας σε χαρακτηριστικά δορυφορικής κυψέλης υπερκείμενης σε αυτά αντιμετωπίζει πολλές δυσκολίες.

Με τους παραπάνω λόγους έγινε προσπάθεια να αναδειχθεί η δυσκολία ένταξης κυψελών του πικοκυψελικού και του δορυφορικού επιπέδου, σε συστήματα με μικροκυψελικό και μακροκυψελικό επίπεδο, των οποίων οι κυψέλες και κατ΄ επέκταση τα χαρακτηριστικά τους αποτελούν τα βασικά δομικά στοιχεία ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων εξυπηρέτησης κλήσεων.

Στην βιβλιογραφία δεν βρέθηκαν εκτός της παραγράφου (4.4.3.) το οποίο περιέχει και δορυφορικές κυψέλες, μοντέλα που να έχουν επίπεδα εκτός του μικροκυψελικού και του μακροκυψελικού. Βέβαια σε πολλά από τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν αναφέρεται ότι με κατάλληλες τροποποιήσεις μπορούν να εφαρμοστούν και σε περισσότερα των δύο επιπέδων.

Η πολυπλοκότητα της χρήσης περισσότερων των δύο επιπέδων και τα πιθανά οφέλη που θα προκύψουν από κάτι τέτοιο αποτελούν μεγάλο και ανοικτό πεδίο έρευνας, η οποία βρίσκεται στα πρώτα της στάδια ακόμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

4.1. Εισαγωγή

Για την μελέτη της λειτουργίας και των επιδόσεων των μοντέλων που εξετάζονται, υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ προσομοιωτής, μέσω του οποίου υλοποιήθηκε εικονικός χώρος (μακροκυψέλη και οι υποκείμενες σε αυτή μικροκυψέλες) και εικονικό φορτίο κίνησης εντός αυτού (τυχαία κινούμενοι χρήστες οι οποίοι ζητούν υπηρεσίες από το σύστημα). Χρησιμοποιώντας ως βάση τα παραπάνω, μελετήθηκε το κάθε μοντέλο, το οποίο και αποτελούσε την "καρδιά" του συστήματος, καθορίζοντας τον τρόπο εξυπηρέτησης των χρηστών με βάση τα χαρακτηριστικά του και τις αρχές που ακολουθεί. Μεγάλη έμφαση δόθηκε στα παρακάτω:

- Ο προσομοιωτής χώρου και κίνησης χρηστών είναι εντελώς αυτόνομος από το κάθε μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων, με αποτέλεσμα ο προσομοιωτής να έχει την δυνατότητα προσομοίωσης οποιουδήποτε μοντέλου με απλή εισαγωγή του κώδικα αυτού.

- Ο προσομοιωτής έχει υλοποιηθεί με το μεγαλύτερο δυνατό ρεαλισμό, ώστε το φορτίο κίνησης του συστήματος να προσεγγίζει όσο το δυνατό καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες φορτίου που καλείται να εξυπηρετήσει ένα πραγματικό σύστημα.

- Στην ευκολία χειρισμού του προσομοιωτή. Ο χειριστής μεταβάλλοντας ένα μικρό σύνολο σταθερών (που βρίσκονται στην πλατφόρμα χειρισμού προσομοίωσης) μπορεί με απλό τρόπο να δημιουργήσει διαφορετικά περιβάλλοντα (χώρου και φορτίου) εξετάζοντας το εκάστοτε μοντέλο κάτω από πληθώρα διαφορετικών συνθηκών.

4.2. Υλοποίηση Του Χώρου

Με τον όρο χώρο εννοούμε τον εικονικό χώρο που υλοποιείται προγραμματιστικά μέσω του προσομοιωτή και εντός των ορίων του κινούνται και ενεργούν οι χρήστες. Αποτελείται από μικροκυψέλες και την υπερκείμενη σε αυτές μακροκυψέλη και μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου ιεραρχικού συστήματος κινητής τηλεφωνίας το οποίο έχουμε αποκόψει και μελετάμε το τι συμβαίνει σε ένα μικρό τμήμα του.

Όπως και το οτιδήποτε συμβαίνει στον προσομοιωτή ελέγχεται πλήρως από τον χειριστή του, έτσι συμβαίνει και με τον εικονικό χώρο. Τιμές σε μόνο δύο μεταβλητές αρκούν ώστε το πρόγραμμα να υλοποιήσει τον εικονικό χώρο προσομοίωσης εντός των ορίων του οποίου υπάρχουν οι χρήστες και οι οποίες είναι:

- *Αριθμός Δακτυλίων (rings)*

Ο χώρος αποτελείται από εξαγωνικές μικροκυψέλες οι οποίες εφάπτονται πλήρως η μία στην άλλη, χωρίς να επικαλύπτονται και χωρίς να αφήνουν και κενά σημεία. Σημείο αναφοράς αποτελεί μία κεντρική κυψέλη γύρω από την οποία σχηματίζονται δακτύλιοι κυψελών. Ο αριθμός των δακτυλίων κυψελών που θα υπάρχουν καθορίζεται από την τιμή της μεταβλητής ring, όταν αυτή παίρνει την τιμή 1 υπάρχει ένας δακτύλιος, δηλαδή επτά μικροκυψέλες, η κεντρική και έξι γύρω από αυτή κάθε μία από τις οποίες εφάπτεται με κάθε μία από τις αντίστοιχες πλευρές της κεντρικής. Το ίδιο συμβαίνει και για μεγαλύτερο αριθμό δακτυλίων. Ασχέτως πάντως με τον αριθμό τους και κατ΄ επέκταση τον αριθμό των μικροκυψελών του συστήματος η μακροκυψέλη είναι πάντα μία και καλύπτει όλη την περιοχή που αυτές σχηματίζουν.

- *Ακτίνα Μικροκυψέλης (R)*

Καθορίζει την ακτίνα που θα έχει η κάθε εξαγωνική μικροκυψέλη οι οποίες έχουν όλες το ίδιο μέγεθος.

Με βάση τις τιμές των παραπάνω μόνο δύο μεταβλητών το πρόγραμμα καθορίζει το χώρο κίνησης. Έτσι δίνεται μεγάλη ευκολία στον χειριστή όχι μόνο να τον καθορίσει αλλά και να επιλέξει ανάμεσα σε μια πληθώρα δομών κυψελών και ακτίνας τους, προσεγγίζοντας όσο το δυνατό περισσότερο τον πραγματικό χώρο που μελετά και στον οποίο θέλει να μελετήσει τις επιδόσεις του εκάστοτε ιεραρχικού μοντέλου.

Αναφέρω στην συνέχεια συνοπτικά, τα βήματα που γίνονται μέσω του προγράμματος του προσομοιωτή για την υλοποίηση των παραπάνω:

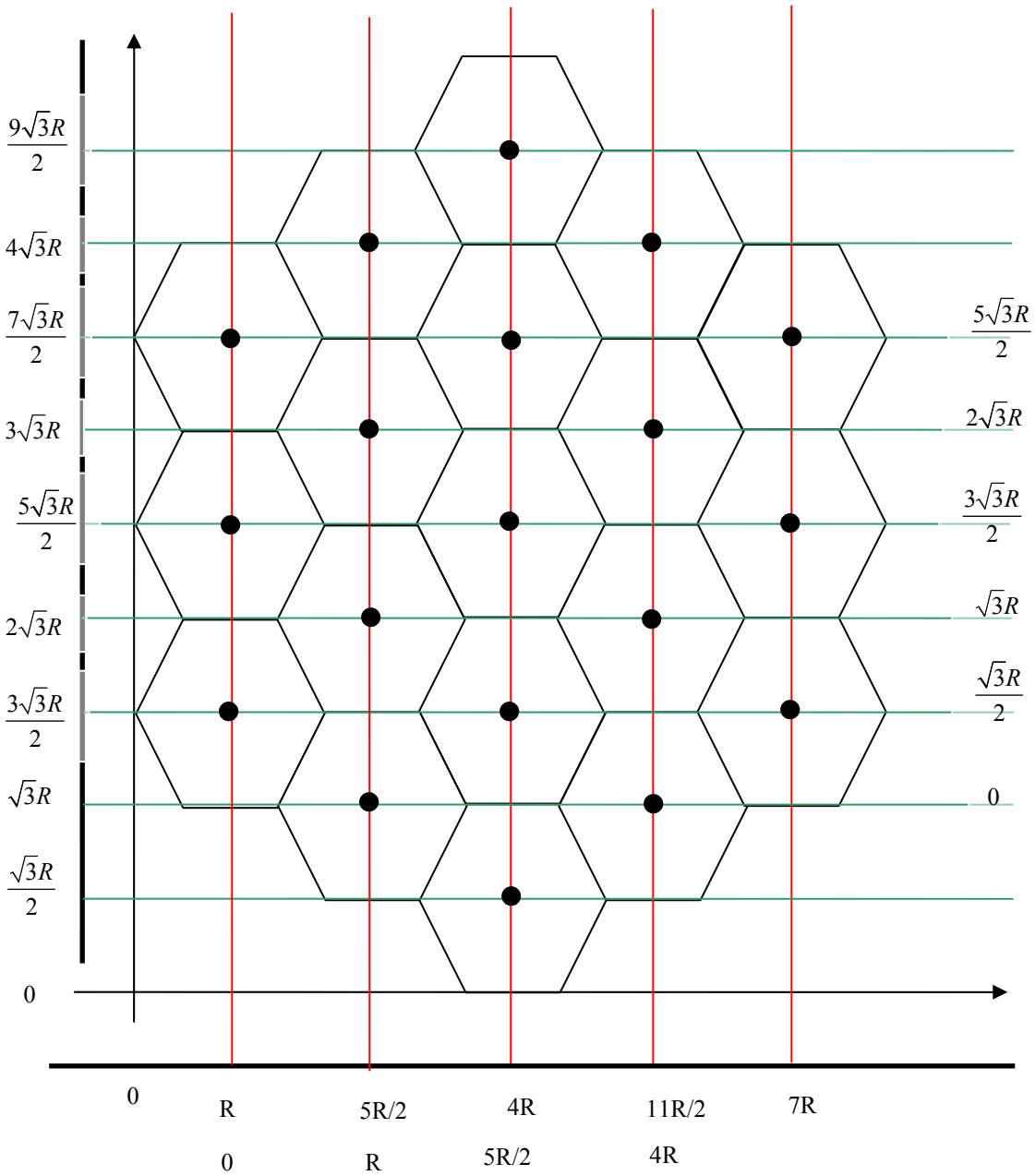
Βήμα 1^{ο}

Με βάση τον αριθμό των δακτυλίων που επιθυμούμε η συνάρτηση **NumofCell** αναδρομικά προσδιορίζει τον αριθμό των κυψελών που θα πρέπει να υπάρχουν στο σύστημα.

Βήμα 2^{ο}

Με βάση την ακτίνα των κυψελών και τον αριθμό των δακτυλίων η συνάρτηση **CentralCell_Cord** υπολογίζει τις συντεταγμένες του κέντρου της κεντρικής κυψέλης , έτσι ώστε όλος ο χώρος να εφάπτεται σε ένα ορθογώνιο σύστημα αξόνων όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 2.1

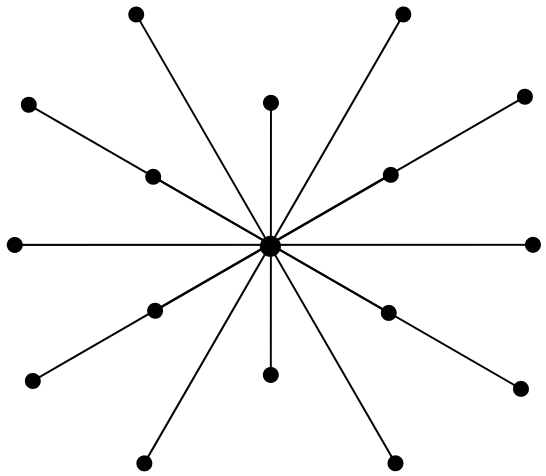


Στο παραπάνω σχήμα μπορούμε να δούμε τις συντεταγμένες των κέντρων για κάθε μια κυψέλη.

Βήμα 3^{ο}

Επόμενος στόχος είναι ο προσδιορισμός με βάση τις συντεταγμένες του κέντρου της κεντρικής κυψέλης και τον αριθμό των δακτυλίων που θέλουμε, των συντεταγμένων των κέντρων των υπόλοιπων κυψελών. Αυτό γίνεται ως εξής από τη **Cell_Cord** με βάση την παρακάτω παρατήρηση:

Σχήμα 2.2



Για το πρώτο δακτύλιο έχω Ring * 6 = 6 Cell ανά

$\Theta = 30^0 + 60^0 * i$ με ακτίνα $\sqrt{3}R$

Για το δεύτερο δακτύλιο έχω Ring * 6 = 12 Cell ανά

$\Theta = 30^0 * i$ με ακτίνα $3R$ και $2\sqrt{3}R$ **εναλλάξ**

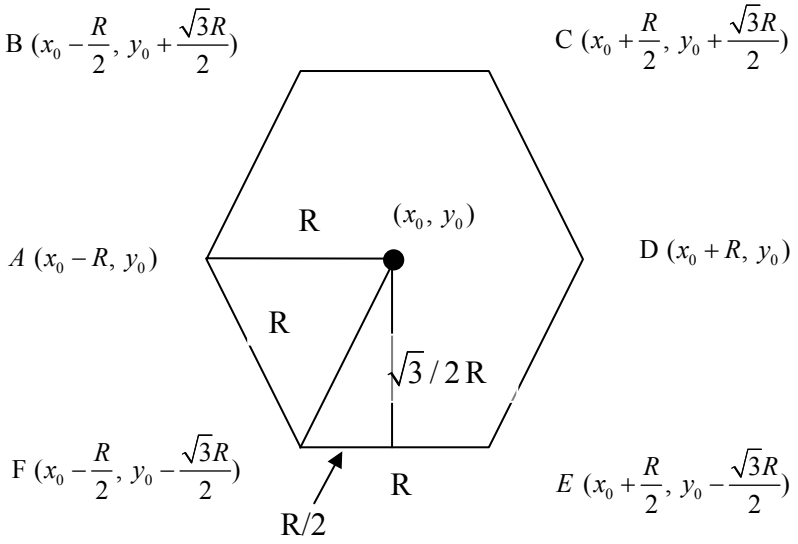
και για μεγαλύτερο αριθμό δακτυλίων αντιστοίχως.

Έτσι έχουν προσδιοριστεί τα κέντρα όλων των κυψελών .

Βήμα 4^{ο}

Στην συνέχεια με βάση τις συντεταγμένες του κέντρου της κάθε κυψέλης πρέπει να προσδιορίζω τις ευθείες που ορίζουν μια κυψέλη ως εξής :

1. Προσδιορίζω τις συντεταγμένες των 6 κορυφών της



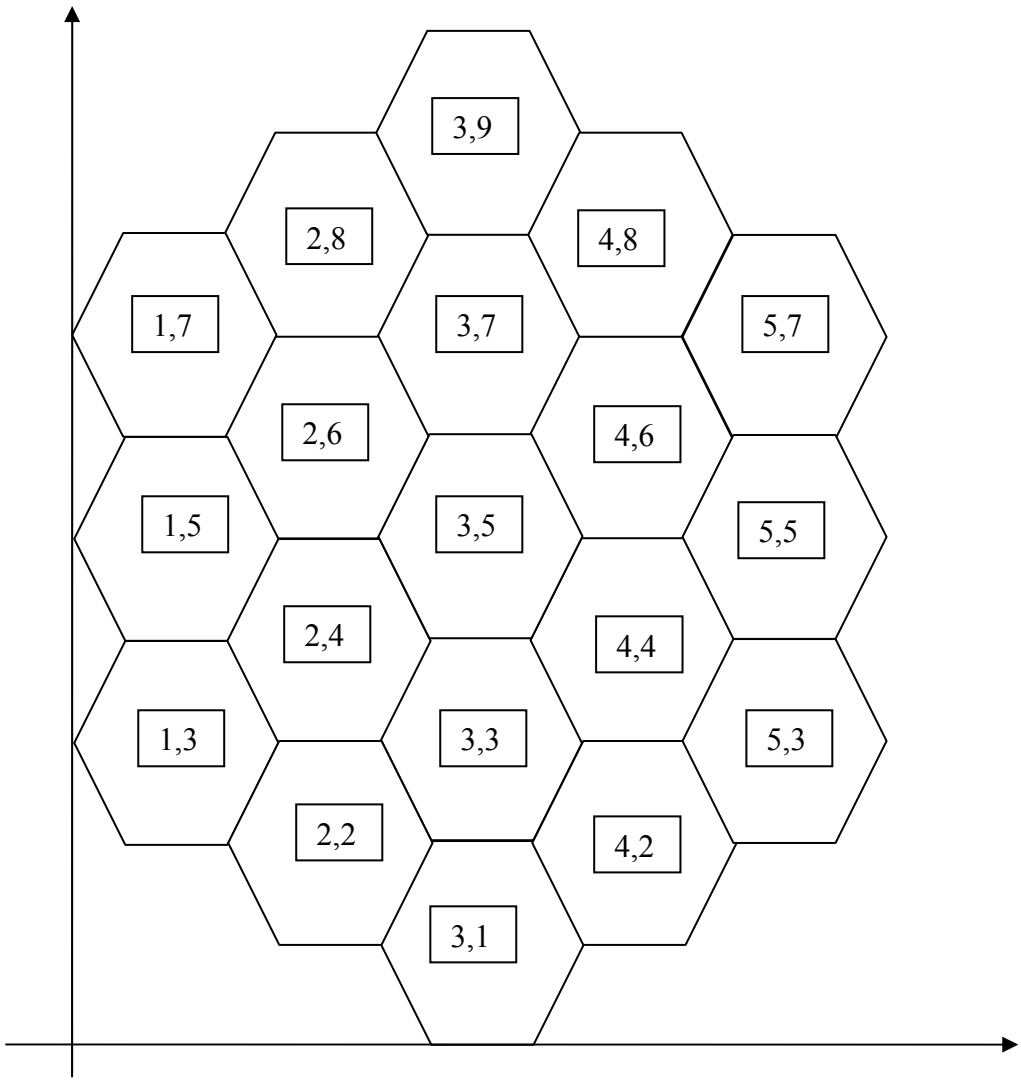
2. Προσδιορίζω τις ευθείες που διέρχονται από αυτά τα σημεία οι οποίες έχουν την μορφή y = K x + S όπου K είναι η κλίση της εκάστοτε ευθείας και S η σταθερά της. Η συνάρτηση που υλοποιεί τα παρακάτω είναι η **Cell_Lines**.

Έτσι η δομή κάθε κυψέλης περιέχει 2 πίνακες των 6 στοιχείων ο κάθε ένας, μέσω των οποίων έχουμε όλη την πληροφορία που χρειαζόμαστε για τις ευθείες που την περιβάλλουν και ορίζουν τον χώρο της κάθε μίας.

Βήμα 5ο

Ονοματοδοσία – Εύρεση γείτονα

Σχήμα 2.3

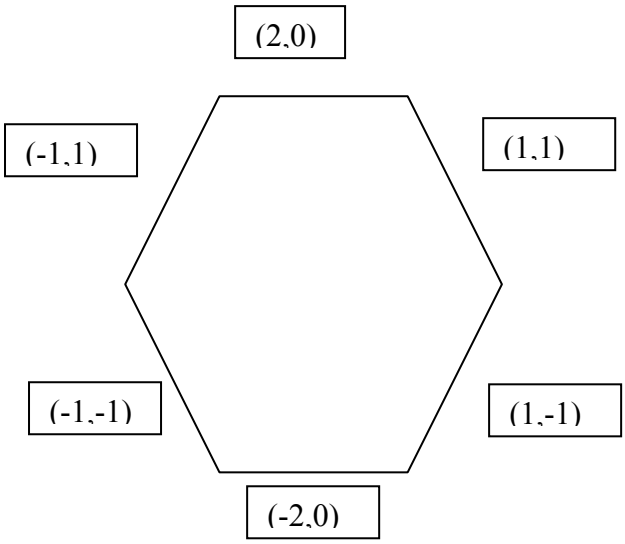


Ακολουθεί η απόδοση ονομάτων στις κυψέλες μας, ώστε με ένα ευέλικτο και αποδοτικό τρόπο να μπορούν να προσδιοριστούν οι γείτονές της. Καταλήξαμε στην παραπάνω μορφή, δηλαδή κάθε κυψέλη να έχει δύο ονόματα. Με αυτό τον τρόπο γνωρίζοντας το όνομα της τρέχουσας κυψέλης και ένα δείκτη κίνηση μπορούμε να προσδιορίσουμε αμέσως το όνομα της κυψέλης που θέλουμε.

Ο δείκτης κίνησης είναι ένας ακέραιος με τιμές 0 έως 5 που συμβολίζουν :

i = 0 κίνηση πάνω αριστερά
i = 1 κίνηση πάνω
i = 2 κίνηση πάνω δεξιά
i = 3 κίνηση κάτω δεξιά
i = 4 κίνηση κάτω
i = 5 κίνηση κάτω αριστερά

Διάνυσμα κίνησης :



Αν βρίσκομαι εκτός του συστήματος (0,0). Τα παραπάνω υλοποιεί η **NewCell_Finder**.

Έχουμε καταφέρει να υλοποιήσουμε τον χώρο κίνησης των χρηστών και να προσδώσουμε στις κυψέλες μας όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που τις προσδιορίζουν πλήρως.

Βήμα 6^{ο}

Το πιο βασικό όσο αναφορά την κινητικότητα είναι ο εντοπισμός του χρήστη μέσα στο μωσαϊκό των κυψελών. Αρχικά ο νεοεισερχόμενος χρήστης θα τοποθετείται τυχαία σε μια κυψέλη και θα καθορίζεται τυχαία η θέση του εντός αυτής, η ταχύτητα και η κατεύθυνσή του. Σε κάθε χρονική στιγμή θα κινείται ως:

$x = x_o + vt \cos(d)$
$y = y_o + vt \sin(d)$

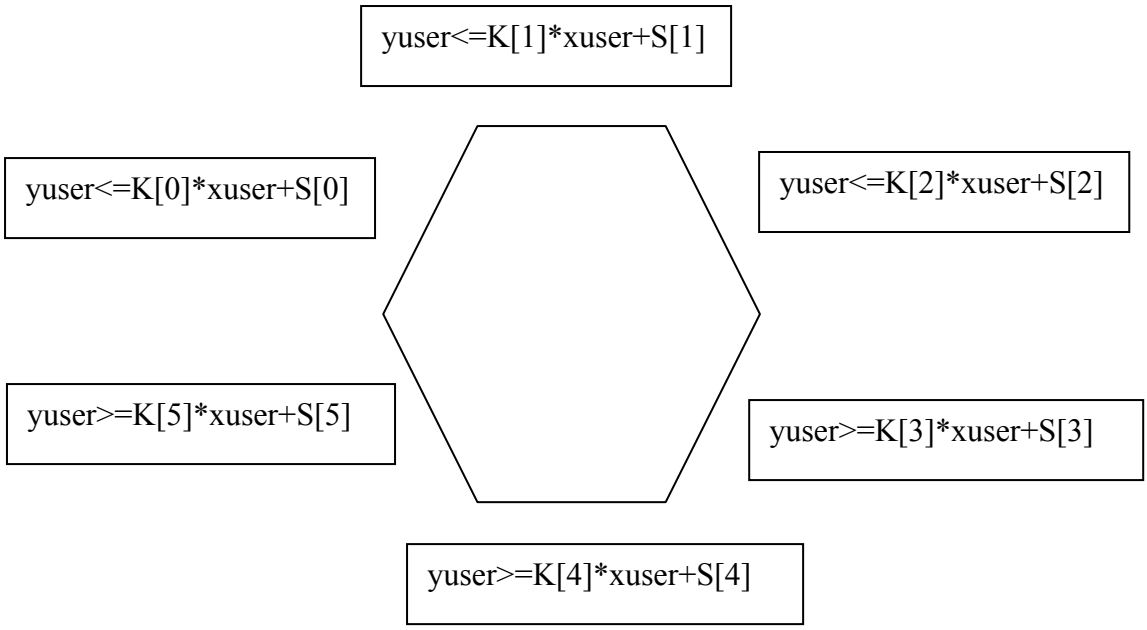
, όπου (x_o, y_o) η αρχική θέση, v η ταχύτητα και d η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα κίνησης με τον οριζόντιο άξονα.

Το βασικό μέλημα είναι με βάση το όνομα της κυψέλης στην οποία βρισκόταν την προηγούμενη χρονική στιγμή ο χρήστης και τις συντεταγμένες της νέας του θέσης να εντοπίσουμε την κυψέλη στην οποία βρίσκεται. Για την υλοποίηση των παραπάνω δημιουργήθηκαν δύο διαδικασίες που εκμεταλλεύονται όλη την παραπάνω δομή

1η Διαδικασία

Η διαδικασία αυτή δέχεται ως όρισμα το όνομα μιας κυψέλης, τη θέση του χρήστη και εξετάζει αν ο χρήστης βρίσκεται εντός αυτής με βάση την ικανοποίηση των εξής ανισοτήτων

Σχήμα 2.4



2η Διαδικασία

Δέχεται ως όρισμα το όνομα της κυψέλης που ήταν ο χρήστης, τις νέες συντεταγμένες του και επιστρέφει το όνομα της κυψέλης που βρίσκεται τώρα. Αν βρίσκεται εκτός συστήματος επιστρέφει (0,0). Διαδικασία:

Από την δομή των χρηστών γνωρίζουμε το όνομα της κυψέλης στην οποία ανήκαν και τις νέες συντεταγμένες του:

Ι) Μέσω της 1ης Διαδικασίας προσδιορίζεται αν βρίσκεται εντός της κυψέλης στην οποία βρισκόταν την προηγούμενη χρονική στιγμή . Αν όχι,

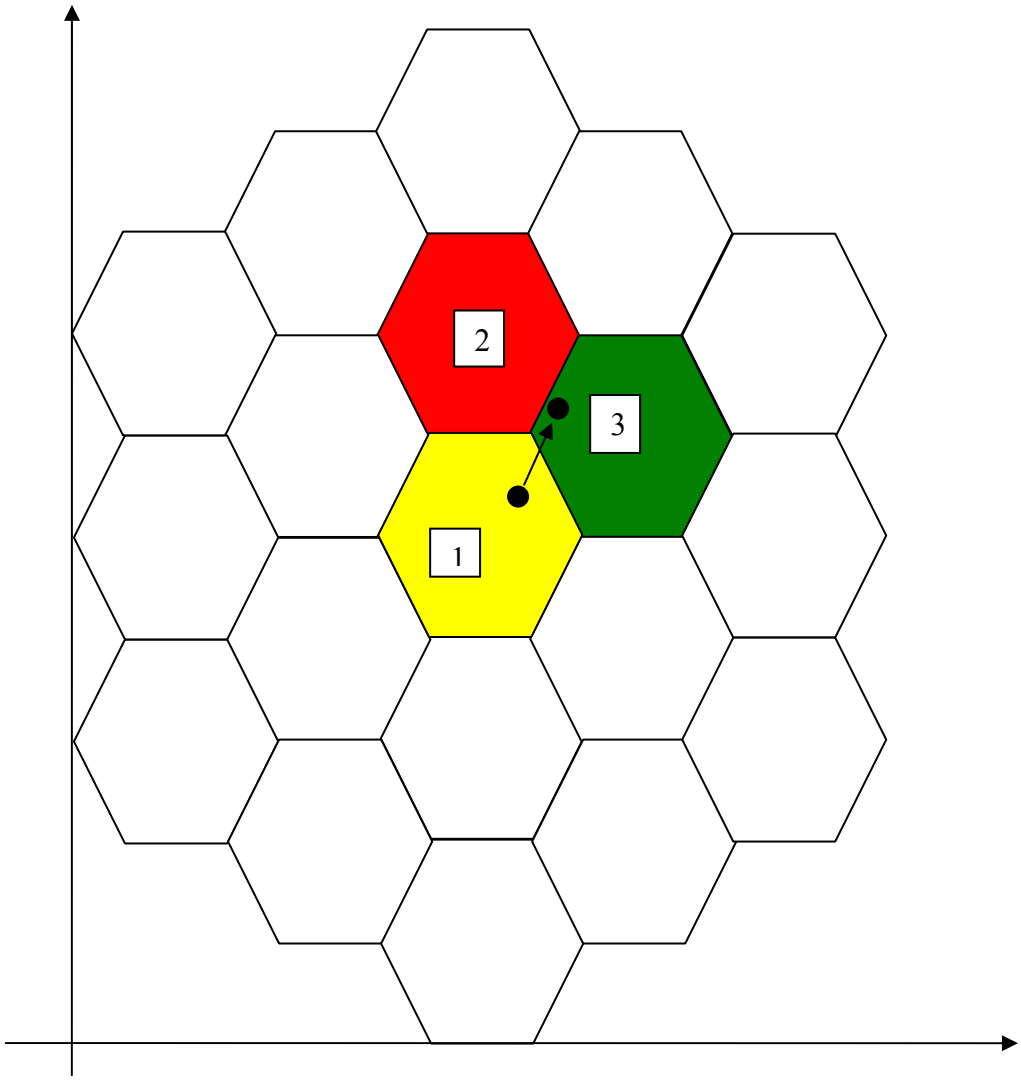
ΙΙ) Ελέγχεται κυκλικά, δεξιόστροφα , ξεκινώντας από την πάνω αριστερά η ικανοποίηση των ευθειών της αρχικής κυψέλης. Αν αυτή ικανοποιείται συνεχίζει. Αν αυτή δεν ικανοποιείται μέσω της **NewCell_Finder βρίσκουμε το όνομα της κυψέλης που βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση με την ευθεία που ελέγχουμε.** Στην συνέχεια μέσω της 1ης Διαδικασίας εξετάζω αν ο χρήστης βρίσκεται εντός της προς εξέταση κυψέλης.

ΙΙΙ) Αν ο χρήστης δεν βρεθεί πουθενά διαγράφεται από το σύστημα αφού έχει αποχωρήσει από την περιοχή του και αντικαθίσταται από άλλον, ώστε ο αριθμός των χρηστών να διατηρείται σταθερός.

Ακολουθεί παράδειγμα χείριστης περίπτωσης όσον αφορά τους ελέγχους:

Αρχική Cell: ΚΙΤΡΙΝΟ
Ανεπιτυχείς εντοπισμοί: ΚΟΚΚΙΝΟ
Επιτυχία: ΠΡΑΣΙΝΟ

Σχήμα 2.5



Παρατηρήσεις :

- Θεωρούμε ότι όταν ο χρήστης βρίσκεται ακριβώς πάνω στο όριο της κυψέλης στην οποία ανήκει συνεχίζει να βρίσκεται σε αυτή.

4.3. Υλοποίηση Χρηστών – Κινητικότητα

Κύριος στόχος ήταν η υλοποίηση των χρηστών και της κίνησής τους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να την χαρακτηρίζει η μεγαλύτερη δυνατή "τυχαιότητα", ώστε να μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το σύστημα προσεγγίζει όσο το δυνατό καλύτερα πραγματικές συνθήκες κίνησης.

Επισημαίνεται ότι οι χρήστες παρατηρούνται μέσα από τα "μάτια" των κεραιών της κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή η εμφάνιση ενός χρήστη εντός του συστήματος υπαινίσσεται την επιθυμία του για χρήση των υπηρεσιών που αυτό προσφέρει (voice ή data). Η αναχώρησή του από το σύστημα μετά τη χρήση των υπηρεσιών του δεν σημαίνει και την εξαφάνιση του από τον εικονικό χώρο, αλλά παύει να έχει σημασία για αυτό, οπότε και δεν παρατηρείται περαιτέρω η συμπεριφορά του.

Στην συνέχεια περιγράφω την οντότητα ενός χρήστη, τα στοιχεία που τον χαρακτηρίζουν και κυρίως το λόγο για τον οποίο υπάρχουν.

Η αγγλική ορολογία χρησιμοποιείται λόγω της χρήσης της γλώσσας προγραμματισμού C++.

- **CellsName1 και CellsName2**

Περιέχουν το όνομα της κυψέλης στην οποία ανήκει ο χρήστης με βάση τις συντεταγμένες του. Κάθε χρονική στιγμή υπολογίζεται η νέα θέση του χρήστη και μέσω συνάρτησης του προγράμματος (η λειτουργία της έχει αναλυθεί) γνωρίζουμε αμέσως σε ποια κυψέλη αυτός ανήκει και ταυτόχρονα ενημερώνονται οι μεταβλητές CellsName1 και CellsName2.

ΛΟΓΟΣ ΥΠΑΡΞΗΣ

Εκτός από τον προφανή, να γνωρίζουμε την κυψέλη και κατ΄ επέκταση τον σταθμό βάσης από τον οποίο εξυπηρετείται, μπορούμε να γνωρίζουμε το πότε κάνει διαπομπή ο χρήστης απλά ελέγχοντας αν το όνομα της κυψέλης που βρίσκονταν είναι το ίδιο με το όνομα της κυψέλης που βρίσκεται. Έτσι με μετρητές επιβλέπουμε απόλυτα το σύστημα και μετράμε το συνολικό αριθμό διαπομπών που συμβαίνουν κάθε χρονική στιγμή.

ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η αρχικοποίηση ενός χρήστη είναι ζωτικής σημασίας για το σύστημα και η τυχαιότητά της καθορίζει το κατά πόσο η προσομοίωση προσεγγίζει την πραγματικότητα. Από τώρα και στο εξής με τον όρο αρχικοποίηση δεν θα εννοείται μόνο την αρχή του προγράμματος αλλά η αρχικοποίηση ενός χρήστη συμβαίνει στις εξής περιπτώσεις:

1. Στην αρχή της προσομοίωσης για κάθε χρήστη αρχικά επιλέγεται το όνομα της κυψέλης στην οποία αυτός θα τοποθετηθεί και έπειτα μια τυχαία θέση εντός αυτής.
2. Το ίδιο συμβαίνει για τους χρήστες οι οποίοι κατά την κίνησή τους βγαίνουν χωρικά εκτός του συστήματος και επανέρχονται σε αυτό για να διατηρείται ο αριθμός των χρηστών του συστήματος σταθερός.
3. Ομοίως για τους χρήστες που ολοκληρώνουν την κλήση τους, με βάση τον χρόνο που αυτή διαρκεί και παύουν να εξυπηρετούνται από το σύστημα.
4. Τέλος το ίδιο συμβαίνει για τους χρήστες που ενώ εξυπηρετούνται μεταβαίνουν σε κυψέλη που δεν μπορεί να τους εξυπηρετήσει και διακόπτεται η κλήση τους (Dropped User) .

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Κατά την διάρκεια δοκιμών που κάναμε με τον προσομοιωτή παρατηρήσαμε ότι επειδή η επιλογή της κυψέλης στην οποία τοποθετείται ο χρήστης είναι εντελώς τυχαία και λόγω του ότι ο αριθμός των εξωτερικών κυψελών είναι πολύ μεγαλύτερος αυτού των εσωτερικών (11 προς 7 για ring=2) οι χρήστες αρχικοποιούνταν συνήθως σε κάποια εξωτερική κυψέλη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι συγκεκριμένοι χρήστες να βγαίνουν εκτός του συστήματος σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την γέννησή τους σε σχέση με τους υπόλοιπους. Για το συγκεκριμένο θέμα έχει υλοποιηθεί αλγόριθμος για την ισοκατανομή των χρηστών στις δύο ζώνες του συστήματος ο οποίος παρουσιάζεται αναλυτικά στην παράγραφο 4.4 του παρόντος κεφαλαίου 4.

- **x_position και y_position**

Περιέχουν τη θέση στην οποία βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή ο χρήστης εντός του συστήματος. Σε κάθε χρονική στιγμή (ακρίβεια 1 sec) αλλάζουν σύμφωνα με το διάνυσμα κίνησης του κάθε χρήστη (ταχύτητα , διεύθυνση):

$x = x_o + vt \cos(d)$
$y = y_o + vt \sin(d)$

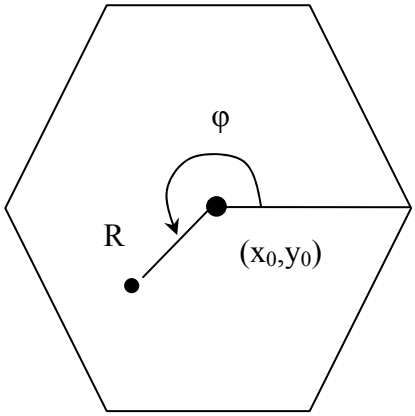
, όπου (x_o, y_o) η αρχική θέση, v η ταχύτητα και d η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα κίνησης με τον οριζόντιο άξονα.

ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

1. Όπως προαναφέρθηκε, αρχικά γίνεται τυχαία επιλογή του ονόματος της κυψέλης στην οποία εντάσσεται ο χρήστης (πρώτα το name 1 και έπειτα το <u>επιτρεπόμενο</u> name2) .

2. Με βάση το όνομα της, παίρνουμε τις συντεταγμένες του κέντρου της.
3. Στην συνέχεια επιλέγεται τυχαία ΑΚΤΙΝΑ από 0 έως $\frac{\sqrt{3}}{2}R$ και τυχαία γωνία φ που θα μου δίνει την θέση του χρήστη εντός αυτής. (1 δεκαδικό ψηφίο ακρίβεια) όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα

Σχήμα 3.1



- **velocity και direction**

Περιέχουν το διάνυσμα κίνησης του κάθε χρήστη.

Η επιλογή της ταχύτητας γίνεται με τυχαίο τρόπο σύμφωνα πάντα με τα κριτήρια που έχει θέσει ο χειριστής δηλαδή τη μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να έχουν οι χρήστες και τα ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών που επιθυμούμε να υπάρχουν στο σύστημα. Αυτό γίνεται με την ύπαρξη δύο μετρητών οι οποίοι περιέχουν τον αριθμό γρήγορων και αργών χρηστών που υπάρχουν στο σύστημα. Κάθε φορά που το σύστημα επιλέγει ταχύτητα για ένα χρήστη ενημερώνει τους μετρητές και εναρμονίζει την νέα του ταχύτητα έτσι ώστε τα τρέχοντα ποσοστά (γρήγορων και αργών) να συμφωνούν όσο το δυνατό περισσότερο με τα ποσοστά που δίνονται από τον χειριστή.

Η επιλογή της διεύθυνσης γίνεται ακολουθώντας ομοιόμορφη κατανομή από 0 έως 360^0.

- **time_of_next_change**

Επιλογή της συχνότητας με την οποία οι χρήστες θα μεταβάλλουν το διάνυσμα κίνησής τους.

Στα πλαίσια της υλοποίησης της κίνησης των χρηστών όσο το δυνατό πιο ρεαλιστικά, κάθε ένας φέρει ένα μετρητή που του υποδεικνύει πότε να αλλάξει το διάνυσμα κίνησής του. Η επιλογή της νέας του ταχύτητας γίνεται πάντα στα πλαίσια

του εναρμονισμού της με τα συνολικά απαιτούμενα ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών που πρέπει να υπάρχουν στο σύστημα.

Δίνεται η δυνατότητα επιλογής i = (2,3,4,5):

Δηλαδή 2^i *5 =(20, 40,80,160) (sec), αν υποτεθεί ότι για κάθε τρέξιμο θεωρείται ότι έχει περάσει χρόνος 1 sec. Έτσι ο μετρητής αυτός μειώνεται σε κάθε τρέξιμο κατά 1 και όταν μηδενιστεί γίνεται επαναπροσδιορισμός της ταχύτητας και της διεύθυνσης κίνησης του χρήστη.

- **New_or_Old**

Υποδεικνύει αν ο χρήστης εντάχθηκε τη χρονική στιγμή που εξετάζουμε στο σύστημα ή αν είναι παλιός.

ΛΟΓΟΣ ΥΠΑΡΞΗΣ

1. Γνωρίζοντας ότι :

   ΄΄ Είναι λιγότερο ενοχλητικό για ένα χρήστη να προσπαθεί να κάνει κάποια κλήση και να μην βρίσκει διαθέσιμους πόρους, παρά να βρίσκεται σε κατάσταση επικοινωνίας και να διακόπτεται η κλήση του΄΄

   δίνεται προτεραιότητα στους ήδη ενεργούς χρήστες παρά σε αυτούς που εισέρχονται.

2. Μπορούμε να μετράμε τις διακοπές κλήσεων των νέων χρηστών.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Στην αρχή της εξομοίωσης που όλοι οι χρήστες είναι νέοι δεν χαρακτηρίζονται New γιατί αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση των μετρούμενων τιμών για τους νέους χρήστες στην αρχή, κάτι που δεν θα ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα.

- **Ambrela_Cell**

Υποδεικνύει αν ο χρήστης εξυπηρετείται από την μακροκυψέλη.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Με αυτό τον τρόπο παρόλο που ένας χρήστης εξυπηρετείται από την μακροκυψέλη, το σύστημα ενημερώνει τη δομή του για την θέση του εντός του μικροκυψελικού επιπέδου. Αυτό αποτελεί κομβικό σημείο στη μελέτη μοντέλων με την λειτουργία take_back, δηλαδή την επιστροφή ενός π.χ. αργού χρήστη που λόγω φόρτου ανέβηκε

στη μακροκυψέλη στο μικροκυψελικό επίπεδο μόλις βρεθεί σε μικροκυψέλη που να μπορεί να τον εξυπηρετήσει.

- **Dropped**

Υποδεικνύει αν ο χρήστης απορρίφθηκε από το σύστημα κατά την διάρκεια της εξυπηρέτησής του για να ενημερώνεται η τιμή της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (Dropping Probability).

- **Type_of_Data**

Επιλογή ζητούμενης υπηρεσίας από το χρήστη.

- **Ending_time**

Τυχαία επιλογή χρόνου ομιλίας ενός χρήστη. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα από 5 διαφορετικούς χρόνους ομιλίας (30 – 60 – 90 – 120 – 150) σε δευτερόλεπτα.

4.4. Δεδομένα Εισόδου – Περιβάλλον Προσομοίωσης

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται το σύνολο των μεταβλητών στις οποίες καλείται να δώσει τιμές ο χειριστής του προσομοιωτή, ώστε να δημιουργηθεί από το πρόγραμμα το επιθυμητό περιβάλλον. Δίνεται έμφαση στο λόγο ύπαρξης της κάθε μεταβλητής, στη λειτουργία της και στις επιτρεπόμενες τιμές της. Τέλος, για κάθε μία αναφέρονται οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις που έγιναν για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, οι οποίες συνθέτουν και το εικονικό περιβάλλον κάτω από το οποίο έγιναν οι μετρήσεις. Επισημαίνεται, ότι κάθε προσομοίωση έγινε κάτω από τις ίδιες συνθήκες, ώστε να μπορεί να γίνει αντικειμενική σύγκριση των επιδόσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων που εξετάσαμε.

4.4.1 Χώρος – Χρόνος

Ο εικονικός χώρος προσομοίωσης είναι εντελώς μεταβλητός και επεκτάσιμος, δίνοντας στο χειριστή να επιλέξει τον αριθμό των δακτυλίων του συστήματος (ring) και την ακτίνα των μικροκυψελών που επιθυμεί. Με το όρο δακτύλιοι εννοούμε την ομάδα των μικροκυψελών που βρίσκονται γύρω από την κεντρική μικροκυψέλη. Η μακροκυψέλη πάντα είναι υπερκείμενη όλων των μικροκυψελών του συστήματος ασχέτως αριθμού δακτυλίων και αυτό γίνεται αυτόματα από το σύστημα.

Ο λόγος ύπαρξης ενός τόσο μεταβλητού χώρου είναι για μπορεί ο χειριστής να προσαρμόζει τον εικονικό χώρο στα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής που μελετάται και στις δυνατότητες αυτής να έχει σταθμούς βάσης (κέντρα κυψελών) σε συγκεκριμένα σημεία.

Όσον αφορά στον συνολικό χρόνο προσομοίωσης αυτός είναι μεταβλητός και μετριέται σε δευτερόλεπτα. Στις δικές μας προσομοιώσεις ο χρόνος είναι πάντα 3600 sec, δηλαδή 1 ώρα ώστε και να υπάρχει η δυνατότητα να συμβούν πολλές ειδικές περιπτώσεις στις οποίες εξετάζονται οι δυνατότητες του εκάστοτε μοντέλου αλλά και για να μπορούμε να λαμβάνουμε πληθώρα μετρήσεων μειώνοντας όσο το δυνατό περισσότερο τα σφάλματα μέτρησης. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει συνοπτικά τις τιμές που πήραν κατά την προσομοίωση των μοντέλων οι προαναφερθείσες μεταβλητές.

Πίνακας 4.1

Flexible Program Variables	**Τιμές κατά την προσομοίωση**
ring	2
r(m)(microcell)	200
total_time(sec)	3600

4.4.2 Κατανομή Διαύλων

Σκοπός του προσομοιωτή είναι η προσομοίωση και μέτρηση των επιδόσεων μοντέλων που αφορούν την εξυπηρέτηση των χρηστών σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα. Γι' αυτό ο προσομοιωτής δεν έχει την δυνατότητα να κάνει **Frequency Planning,** δηλαδή να κατανέμει συχνότητες ανάλογα με την περιοχή που ζητάει ο χειριστής του (η οποία είναι πλήρως μεταβαλλόμενη). Η εκχώρηση συχνοτήτων σε κυψέλες σύμφωνα με τα εκάστοτε κριτήρια ομοδιαυλικής παρεμβολής θεωρείται ότι έχει γίνει και δεν αφορά το μοντέλο εξυπηρέτησης που προσομοιώνεται.

Για τον παραπάνω λόγο το σύστημα δίνει την δυνατότητα στον χειριστή να επιλέξει τον αριθμό των δίαυλων που θα έχουν οι μικροκυψέλες και η μακροκυψέλη. Ο χειριστής πρέπει να υπολογίσει και να εισάγει τον εκάστοτε αριθμό διαύλων σύμφωνα με τα δεδομένα του συστήματος κινητής τηλεφωνίας που επιθυμεί να εξετάσει, δηλαδή αν αυτό είναι FDMA, TDMA, CDMA, ορθογώνια διαμόρφωση κ.τ.λ.

Στις προσομοιώσεις που κάναμε θεωρήσαμε ότι κάθε μικροκυψέλη έχει 31 ραδιοδιαύλους και η μακροκυψέλη έχει 78. Ακόμα, για κάθε μικροκυψέλη ένας δίαυλος χρησιμοποιείται για σηματοδοσία και στην μακροκυψέλη 2. Τελικά η κατανομή των διαύλων στα συστήματα που προσομοιώθηκαν παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.2

	Ραδιοδίαυλοι	**Σηματοδοσία**	**Channels**
Microcell	32	1	31
Macrocell	80	2	78

Συνολικός Αριθμός Διαύλων Συστήματος

667

4.4.3 Αριθμός Χρηστών

Στο σύστημα εμφανίζονται μόνο οι χρήστες που ζητούν κάποια υπηρεσία από αυτό είτε αυτή είναι φωνή είτε είναι δεδομένα. Όταν αυτοί τελειώσουν την εξυπηρέτησή τους ή φύγουν από τον υπό εξέταση χώρο δεν σημαίνει ότι ΄΄εξαφανίζονται΄΄, αλλά δεν απασχολούν πλέον το σύστημα. Ο προσομοιωτής είναι σχεδιασμένος ώστε να προσπαθεί να διατηρεί ένα σταθερό αριθμό χρηστών, που εξυπηρετεί το σύστημα, εντός της περιοχής του, οι οποίοι κατανέμονται έτσι ώστε να διατηρείται η ζητούμενη από τον χειριστή κατανομή τους όσο το δυνατό καλύτερα (στις δικές μας προσομοιώσεις αυτή είναι Urban).

Ο αριθμός των χρηστών που το σύστημα εξυπηρετεί κάθε χρονική στιγμή είναι πλήρως μεταβλητός και ορίζεται από τον χειριστή στην έναρξη της προσομοίωσης. Οι λόγοι που οδήγησαν σε μια τέτοια υλοποίηση ήταν για να μπορεί το σύστημα να προσαρμόζει τα δεδομένα του στις ανάγκες της εκάστοτε περιοχής που μελετάται και επιπλέον για να μπορεί να γίνει μελέτη και προσομοίωση των μοντέλων κάτω από διάφορες συνθήκες φορτίου κίνησης. Είναι προφανές ότι οι επιδόσεις ενός μοντέλου μπορεί να μεταβάλλονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες φορτίου.

Σύμφωνα με τον συνολικό αριθμό διαύλων του συστήματος (**667**) για τις προσομοιώσεις των μοντέλων που εξετάσαμε, θεωρήσαμε τρεις κατηγορίες φορτίου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά. Οι πυκνότητες χρηστών που αναφέρονται αφορούν ολόκληρη την εικονική περιοχή και είναι απλά ενδεικτικές. Οι πραγματικές πυκνότητες χρηστών εσωτερικού και εξωτερικού δακτυλίου σχηματίζονται αυτόματα από το σύστημα σύμφωνα με την επιθυμητή κατανομή όπως περιγράφεται παρακάτω.

Πίνακας 4.3

Φορτίο	**σ (User/100*100 m^2)**	**σ (Users/Km^2)**	**Users Num**
Χαμηλό	1	100	200
Μέτριο	2	200	400
Υψηλό	3	300	600

Το συνολικό εμβαδόν της εικονικής περιοχής για τις δικές μας προσομοιώσεις είναι

$$S = 1{,}97\ \mathrm{Km}^2$$

4.4.4 Urban Κατανομή Χρηστών

Για την δημιουργία ενός όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερου μοντέλου ο προσομοιωτής σχεδιάστηκε έτσι ώστε να δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή του να επιλέγει την ποσοστιαία μείωση της πυκνότητας των χρηστών που βρίσκονται σε κυψέλες του εξωτερικού δακτυλίου σε σχέση με την πυκνότητα των χρηστών του εσωτερικού δακτυλίου. Με τον όρο εσωτερικό και εξωτερικό δακτύλιο εννοούμε τις κυψέλες γύρω από την κεντρική, συμπεριλαμβανομένης και αυτής, και τις κυψέλες που τα όριά τους αποτελούν όρια του συστήματος αντίστοιχα.

Ο λόγος ύπαρξης της παραπάνω δυνατότητας, έγκειται στο γεγονός ότι τα ιεραρχικά κυψελωτά δίκτυα προορίζονται για να εξυπηρετούν κυρίως αστικές περιοχές ή περιοχές εντός πόλεων με μεγάλη πυκνότητα φορτίου. Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις θεωρώντας ότι το κέντρο του εικονικού χώρου βρίσκεται στο κέντρο της αστικής περιοχής ή στο κέντρο της εκάστοτε περιοχής ψηλού φορτίου είναι αναμενόμενο η πυκνότητα των χρηστών που βρίσκονται στην κεντρική κυψέλη και στις κυψέλες γύρω από αυτή να είναι μεγαλύτερη αυτής των υπόλοιπων κυψελών. Άρα με το να καθορίζει ο χειριστής το ποσοστό μείωσης της πυκνότητας των χρηστών στις κυψέλες του εξωτερικού δακτυλίου, σε ένα σύστημα με σταθερό αριθμό χρηστών, μπορεί να πετύχει την απαιτούμενη χωρικά κατανομή φορτίου στο σύστημα που μελετά.

Θα μπορούσε κανείς να πει ότι κάτι τέτοιο γίνεται σχεδιάζοντας έτσι το σύστημα ώστε να είναι μεταβλητό το ποσοστό των χρηστών που βρίσκονται εσωτερικά, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των χρηστών στο σύστημα. Όμως ένα τέτοιο ποσοστό είναι εντελώς παραπλανητικό και μπορεί να οδηγήσει σε λάθος εκτιμήσεις. Αυτό, γιατί δεν λαμβάνεται υπόψη η διαφορά στα εμβαδά του εσωτερικού και εξωτερικού δακτυλίου.

Αναλυτικότερα θεωρώντας Smicro το εμβαδόν της μικροκυψέλης όπου:

$$S_{micro} = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$$

έχουμε εμβαδόν εσωτερικού δακτυλίου για ring = 2 :

$$Sin = 7Smicro$$

και εμβαδόν εξωτερικού δακτυλίου:

$$Sin = 11Smicro$$

Επιπλέον σ_{in} και σ_{out} οι πυκνότητες χρηστών εσωτερικού και εξωτερικού δακτυλίου και Nin, Nout ο αριθμός των χρηστών στις περιοχές αυτές αντίστοιχα, με:

$$Ntot = Nin + Nout$$

Με 60% των χρηστών εσωτερικά που θα μπορούσε κανείς να πει ότι ένα τέτοιο ποσοστό μου δημιουργεί Urban κατανομή, έχω ότι το σ_{out} είναι 84% μειωμένο σε σχέση με το σ_{in}. Άρα επί της ουσίας έχω χρήστες μόνο εσωτερικά και ελάχιστους εξωτερικά.

Κατά την προσομοίωση παρατηρήθηκαν πολύ μεγάλα ποσοστά blocking probability στις κυψέλες του εσωτερικού δακτυλίου ενώ σχεδόν μηδενικά στις κυψέλες του εξωτερικού δακτυλίου. Ακόμα οι εξωτερικές κυψέλες είχαν όλους τους δίαυλούς τους αχρησιμοποίητους ενώ οι εσωτερικές ήταν μονίμως μπλοκαρισμένες όπως και η μακροκυψέλη που προσπαθούσε να εξυπηρετήσει την υπερροϊκή τους.

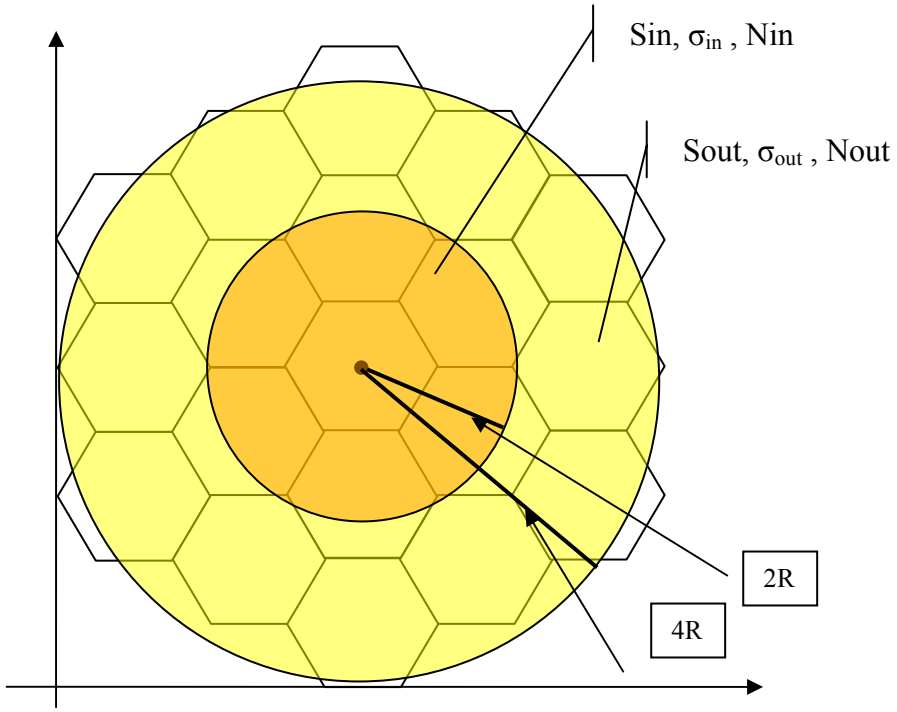
Η διόρθωση του σφάλματος έγινε δίνοντας την δυνατότητα στον χειριστή να μεταβάλλει:

την ποσοστιαία μείωση της πυκνότητας των χρηστών που βρίσκονται σε κυψέλες του εξωτερικού δακτυλίου σε σχέση με την πυκνότητα των χρηστών του εσωτερικού δακτυλίου.

Επειδή στον προσομοιωτή μπορούμε να ελέγξουμε μόνο το ποσοστό των χρηστών που εντάσσονται εσωτερικά και εξωτερικά, ακολουθεί η μαθηματική ανάλυση της μετατροπής του ποσοστού μείωσης της πυκνότητας των χρηστών που βρίσκονται σε κυψέλες του εξωτερικού δακτυλίου σε σχέση με την πυκνότητα των χρηστών του εσωτερικού δακτυλίου στον αντίστοιχο, ορθό τώρα πια, ποσοστό χρηστών που πρέπει να βρίσκονται στον εσωτερικό δακτύλιο το οποίο δίνεται από την σχέση:

$$\left(\frac{N_{in}}{N_{tot}}\right)\%$$

Για απλοποίηση και χωρίς να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από το πραγματικό σύστημα μπορούμε να θεωρήσουμε κυκλικές τις περιοχές του εσωτερικού και εξωτερικού δακτυλίου με ακτίνες 2R και 4R αντίστοιχα.



Με σταθερές χωρικά τις πυκνότητες χρηστών έχω:

- Αριθμός χρηστών στον εσωτερικό δακτύλιο

$$N_{in} = \iint \sigma_{in}(x,y)\ dxdy = \int_0^{2\pi}\int_0^{2R} \sigma_{in}\ \mathrm{r_T} dr_T d\phi = 2\pi\sigma_{in} \left[\frac{\mathrm{r_T^2}}{2}\right]_0^{2R} = 4\pi\sigma_{in}R^2$$

- Αριθμός χρηστών συνολικά

$$N_{tot} = \iint \sigma_{in}(x,y)\ dxdy + \iint \sigma_{out}(x,y)\ dxdy = \int_0^{2\pi}\int_0^{2R} \sigma_{in}\ \mathrm{r_T} dr_T d\phi + \int_0^{2\pi}\int_{2R}^{4R} \sigma_{out}\ \mathrm{r_T} dr_T d\phi \quad \rightarrow$$

$$N_{tot} = 2\pi\sigma_{in} \left[\frac{\mathrm{r_T^2}}{2}\right]_0^{2R} + 2\pi\sigma_{out} \left[\frac{\mathrm{r_T^2}}{2}\right]_{2R}^{4R} \rightarrow$$

$$N_{tot} = 4\pi\sigma_{in}R^2 + 12\pi\sigma_{out}R^2 \rightarrow$$

$$N_{tot} = 4\pi R^2\left(\sigma_{in} + 3\sigma_{out}\right)$$

Άρα:

$$\frac{N_{in}}{N_{tot}} = \frac{4\pi R^2\sigma_{in}}{4\pi R^2\left(\sigma_{in} + 3\sigma_{out}\right)} \rightarrow$$

$$\frac{N_{in}}{N_{tot}} = \frac{\sigma_{in}}{\sigma_{in} + 3\sigma_{out}} \quad \textbf{(1)}$$

Συνεπώς για Α% μείωση της εξωτερικής πυκνότητας χρηστών σε σχέση με την εσωτερική έχω:

σ_{in}	σ_{out}
100	100-A

και:

$$\sigma_{out} = \frac{100 - A}{100}\sigma_{in} \quad \textbf{(2)}$$

Τελικά:

$$\xrightarrow[(2)]{(1)} \frac{N_{in}}{N_{tot}} = \frac{\sigma_{in}}{\sigma_{in} + 3\dfrac{100 - A}{100}\sigma_{in}} = \frac{100}{400 - 3A}$$

Καταλήγουμε ότι το ποσοστό των χρηστών που πρέπει να βρίσκονται εσωτερικά είναι :

$$\left(\frac{N_{in}}{N_{tot}}\right)\% = \frac{10^4}{400-3A}$$

όπου A η ποσοστιαία μείωση της εξωτερικής πυκνότητας χρηστών σε σχέση με την εσωτερική. Το N_{tot} είναι σταθερό και δίδεται και αυτό από τον χρήστη. Ακολουθεί πίνακας παραδειγμάτων.

Πίνακας 4.4

Πυκνότητες	**Παράδειγμα**	**A(%)**	$\left(\frac{N_{in}}{N_{tot}}\right)\%$	**If Total Users**	**Inside Users**
$\sigma_{in} = 2\ \sigma_{out}$	σ_{in} =200(Users/Km^2) σ_{out} =100(Users/Km^2)	50	40	600	240
$\sigma_{in} = 3\ \sigma_{out}$	σ_{in} =300(Users/Km^2) σ_{out} =100(Users/Km^2)	67	50	600	300
$\sigma_{in} = \sigma_{out}$	σ_{in} =100(Users/Km^2) σ_{out} =100(Users/Km^2)	0	25	600	150
$\sigma_{out} \to 0$	σ_{in} =100(Users/Km^2) $\sigma_{out} \to 0$ (Users/Km^2)	100	100	600	600

Το τρίτο κατά σειρά αναδεικνύει την διαφορά εμβαδών των δυο περιοχών και το μη εκ πρώτης όψεως αντιληπτό πρόβλημα που υπάρχει .

Στις προσομοιώσεις που έγιναν έχει επιλεχθεί A = 50%

4.4.5 Ταχύτητα χρηστών

Ο προσομοιωτής είναι υλοποιημένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να σχηματίζει οποιαδήποτε ποσοστά αργών και γρήγορων χρηστών επιθυμεί ο χειριστής του σε σχέση με το συνολικό αριθμό χρηστών που βρίσκονται στο σύστημα. Ο λόγος ύπαρξης μιας τέτοιας ιδιότητας είναι γιατί το σύνολο των μοντέλων εξυπηρέτησης χρηστών για ιεραρχικά μοντέλα κινητής τηλεφωνίας κατηγοριοποιούν τους χρήστες τους σε αργούς και γρήγορους, εφαρμόζοντας διαφορετικές πολιτικές εξυπηρέτησης σε κάθε κατηγορία.

Δίνοντάς μας ο προσομοιωτής τη δυνατότητα επιλογής ποσοστών γρήγορων και αργών χρηστών μπορούμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των μοντέλων μας για διάφορες τιμές αυτών όπως και τις επιδόσεις τους ανά περίσταση. Επίσης δίνεται η δυνατότητα προσαρμογής της εικονικής περιοχής στην πραγματική προς εξέταση περιοχή. Ενδεικτικά, αναφέρεται, ότι αν η προς εξέταση περιοχή περιέχει αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας το ποσοστό των γρήγορων χρηστών είναι αυξημένο ενώ αισθητά μειωμένο πρέπει να είναι στο κέντρο μιας πόλης.

Για επιπλέον αυτονομία και ελαστικότητα, ο προσομοιωτής δίνει τη δυνατότητα ο χειριστής να επιλέξει το ανώτερο όριο ταχύτητας των χρηστών, όπως και το κατώφλι ταχύτητας με βάση το οποίο ένας χρήστης θα θεωρείται γρήγορος ή αργός.

Τέλος, αναφέρουμε ότι το σύστημα διατηρεί συνεχώς τα επιθυμητά ποσοστά όσο το δυνατόν καλύτερα δίνοντας στους νέους χρήστες που εισέρχονται στο σύστημα κατάλληλες τυχαίες τιμές ταχύτητας ρυθμίζοντας αυτόματα τον αριθμό των χρηστών που ανήκουν σε κάθε κατηγορία και κατ' επέκταση τα ποσοστά αργών και γρήγορων χρηστών που υπάρχουν στο σύστημα κάθε χρονική στιγμή.

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει συνοπτικά τις παραπάνω μεταβλητές και τα όρια των τιμών τους. Επίσης στην τελευταία στήλη αναγράφονται οι τιμές που πήραν κατά την εκτέλεση των δικών μας προσομοιώσεων.

Πίνακας 4.5

Flexible Program Variables	**Περιγραφή**	**Όρια τιμών**	**Τιμές κατά την προσομ.**
pers (%)	Ποσοστό αργών χρηστών στο σύστημα	[0,100]	[50,90]
perf (%)	Ποσοστό γρήγορων χρηστών στο σύστημα	[0,100]	[10,50]
v_max (Km/h)	Ανώτατο όριο ταχύτητας χρηστών	[0, desirable]	80
v_thres (Km/h)	Κατώφλι ταχύτητας για κατηγοριοποίηση χρηστών σε αργούς και γρήγορους	[0,v_max)	5

4.4.6 Παρεχόμενες Υπηρεσίες

Ο προσομοιωτής είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί το εκάστοτε σύστημα να παρέχει τρεις δυνατότητες υπηρεσιών στους χρήστες του για να μπορούν να μελετηθούν οι δυνατότητες των μοντέλων που προσομοιώνονται κάτω από διάφορες συνθήκες προσφερόμενου τύπου φορτίου. Η επιλογή αυτή γίνεται από τον χειριστή μεταβάλλοντας απλά την παράμετρο type_of_service.

Στην πρώτη επιλογή το σύστημα δεν παρέχει καμία υπηρεσία στους χρήστες και αυτοί απλά κινούνται στον εικονικό χώρο. Αυτή η επιλογή σχεδιάστηκε για να γίνεται έλεγχος ορθής λειτουργίας του εικονικού χώρου και της κίνησης των χρηστών εντός αυτού.

Στη δεύτερη επιλογή το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα ομιλίας στους χρήστες του. Οι χρόνοι ομιλίας των χρηστών είναι 30 – 60 – 90 – 120 – 150 (sec) ενδεικτικοί των συνηθέστερων χρόνων ομιλίας των χρηστών στην πραγματικότητα. Οι χρόνοι αυτοί επιλέγονται εντελώς τυχαία από το σύστημα κάθε φορά που ένας νέος χρήστης εντάσσεται σε αυτό και δεν εξετάζεται αν η κλήση είναι εισερχόμενη ή εξερχόμενη. Όταν ο χρήστης ολοκληρώσει την κλήση του το σύστημα τον διαγράφει, αφού είναι πλέον αδιάφορος για αυτό και αντικαθίσταται από νέο. Ο χειριστής δεν μπορεί να μεταβάλει τις προκαθορισμένες επιλογές χρόνων ομιλίας των χρηστών.

Στη τρίτη επιλογή το σύστημα παρέχει εκτός από τη δυνατότητα ομιλίας, με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως, την δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων. Η αποστολή και η λήψη των δεδομένων θεωρείται ότι γίνεται με μεταγωγή κυκλώματος, δηλαδή το σύστημα εκχωρεί εξολοκλήρου ένα κανάλι καθ΄ όλη τη διάρκεια της υπηρεσίας. Δεν υπάρχουν buffers ή ουρές αναμονής. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να καθορίζει τον ρυθμό μετάδοσης των διαύλων σε [bit/sec] καθώς και το μήκος σε bits των πακέτων που αποστέλλονται ή λαμβάνονται για την εκάστοτε υπηρεσία και το μεταφράζει αυτόματα σε χρόνο κατάληψης του διαύλου.

Οι παρεχόμενες από το σύστημα υπηρεσίες δεδομένων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, όπως και τα bytes που αυτές θεωρήθηκε ότι απαιτούν κατά τις δικές μας προσομοιώσεις.

Πίνακας 4.6

Υπηρεσίες δεδομένων	**Απαιτούμενα byte**
Πακέτο 1	14000
Πακέτο 2	35000
Πακέτο 3	70000

$$\mathbf{R = 56000\ [bit/sec]}$$

Επιλέχθηκαν τρεις ενδεικτικές τιμές πακέτων δεδομένων.

4.4.7 Η Παράμετρος P

Η παράμετρος P που ορίζει το ποσοστό των νέων γρήγορων χρηστών που προσπαθούν να ενταχθούν στη μακροκυψέλη είναι πλήρως μεταβλητή και παίρνει τιμές από 0 έως 100 %. Η θεμελιώδης σημασία καθώς και η λειτουργία της δεν είναι θέματα που εξετάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

4.4.8 Εκτύπωση Αποτελεσμάτων

Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα εκτός από το να δει τα αποτελέσματα στην κονσόλα του προσομοιωτή, να τα εκτυπώσει αυτόματα και σε ένα αρχείο Excel. Η σειρά εκτύπωσης των αποτελεσμάτων αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα. Δεν εξηγείται στο παρόν η σημασία τους γιατί αυτό γίνεται στην επόμενη ενότητα.

Πίνακας 4.7

Α.Α	Αποτελέσματα
1	Blocking.Prob
2	Dropping.Prob
3	Tot.New.Users
4	Tot.New.Users.Slow
5	Tot.New.Users.Fast
6	Blocked
7	Blocked.Slow
8	Blocked.Fast
9	Blocked.Fast.Macro
10	Tot.Handoff
11	Tot.Handoff.Sl
12	Tot.Handoff.Fast
13	Dropped
14	Dropped.Slow
15	Dropped.Fast
16	Υπερροϊκή
17	Υπερροϊκή.Sl
18	Υπερροϊκή.Fast
19	Return.Back.Sl
20	Return.Back.F

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι προσδιοριζόμενες από τον χειριστή μεταβλητές του συστήματος, σύντομη περιγραφή της λειτουργίας τους και τις επιτρεπόμενες τιμές τους. Παρουσιάζονται με την σειρά εμφάνισής τους στην κονσόλα του προσομοιωτή.

Πίνακας 4.8

System Variables	Περιγραφή	Λαμβανόμενες Τιμές
ring	Ο αριθμός των δακτυλίων του εικονικού χώρου	[0,2]
r	Η ακτίνα των μικροκυψελών	(0, desirable]
pers	Ποσοστό αργών χρηστών στο σύστημα	[0,100]
perf	Ποσοστό γρήγορων χρηστών στο σύστημα	[0,100]
Num_users	Ο αριθμός των χρηστών στο σύστημα	(0, desirable]
v_max	Ανώτατο όριο ταχύτητας χρηστών	[0, desirable]
v_thres	Κατώφλι ταχύτητας για κατηγοριοποίηση χρηστών σε αργούς και γρήγορους	[0,v_max)
total_time	Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης	(0, desirable]
type_of_service	Τύπος υπηρεσιών που παρέχεται από το σύστημα (καμία – only voice – voice & data)	[0,2]
Channels_speed	Η ταχύτητα των διαύλων σε [bit/sec]	(0, desirable]
P_parameter	Το ποσοστό των νέων γρήγορων χρηστών που προσπαθούν να ενταχθούν στην μακροκυψέλη	[0,100]
Model_type	Το μοντέλο από τα ήδη υπάρχοντα που πρόκειται να προσομοιωθεί	[0,4]
A	Ποσοστό μείωσης πυκνότητας χρηστών εσωτερικού δακτυλίου σε σχέση με εξωτερικό	[0,100]
Πακέτο 1	Απαιτούμενα bits για την αποστολή Πακέτου 1	(0, desirable]
Πακέτο 2	Απαιτούμενα bits για την αποστολή Πακέτου 2	(0, desirable]
Πακέτο 3	Απαιτούμενα bits για την αποστολή Πακέτου 3	(0, desirable]
Cmicro	Ο αριθμός των διαύλων της κάθε μικροκυψέλης	(0, desirable]
Cmacro	Ο αριθμός των διαύλων της μακροκυψέλης	(0, desirable]
Printing_xls	Εκτύπωση αποτελεσμάτων (No - Yes)	[0,1]

4.5. Αισθητήρες Προσομοιωτή

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι μετρητές που βρίσκονται στο πρόγραμμα για τους οποίους αναφέρουμε:

- Το όνομά τους
- Τι μετράνε
- Που κάνουν τη μέτρηση
- Ποια αποτελέσματα εξάγονται άμεσα ή έμμεσα από αυτούς

1. **Total_Users**

Μετράει το συνολικό αριθμό των χρηστών οι οποίοι απασχόλησαν το σύστημα. Στο άθροισμα τους περιλαμβάνονται οι νέοι που τελικά εξυπηρετήθηκαν (πλήρως ή όχι) αλλά και οι νέοι που πήγαν να εξυπηρετηθούν και τελικά έγιναν Blocked.
Η μέτρησή τους γίνεται :

- Για τα προσδιορίζουμε το Blocking Probability, αφού αποτελεί τον παρανομαστή του κλάσματος που δίνει την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.

Ενεργοποιείται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια εισαγωγής νέου χρήστη.

2. **Total_New_Users**

Μετράει το συνολικό αριθμό των νέων χρηστών που μπήκαν στο σύστημα (και δεν έγιναν blocked αλλά εξυπηρετήθηκαν εντελώς ή έως ένα σημείο).
Η μέτρησή του γίνεται :

- Για τα προσδιορίζουμε την αύξηση ή τη μείωση του συνολικού φορτίου που εξυπηρετείται αναλόγως με το σύστημα για την ίδια χρονική περίοδο.
- Είναι ο παρανομαστής του κλάσματος που μου δίνει το Dropping Probability.

Ενεργοποιείται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια εισαγωγής νέου χρήστη και αυτή στέφεται με επιτυχία.

3. **Total_New_Users_Slow - Total_New_Users_Fast**

Μετράνε το συνολικό αριθμό των νέων αργών και νέων γρήγορων αντίστοιχα χρηστών που τελικά μπήκαν στο σύστημα.
Η μέτρησή τους γίνεται :

- Για να προσδιορίζουμε ποια κατηγορία χρηστών, αργών ή γρήγορων, ευνοείται από το εκάστοτε σύστημα κατά την είσοδό τους.

Ενεργοποιούνται:
Κάθε φορά που τελικά καταφέρνει να εξυπηρετηθεί ένας αργός ή γρήγορος χρήστης αντίστοιχα .

BLOCK

4. **Blocked**

Μετράει το συνολικό αριθμό των νέων χρηστών που εντάχθηκαν στο σύστημα και δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν δηλαδή έγιναν blocked.
Η μέτρησή τους γίνεται :

- Για να προσδιορίζουμε το Blocking Probability, αφού αποτελεί τον αριθμητή του κλάσματος που δίνει την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.

Ενεργοποιείται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια εισαγωγής νέου χρήστη και αυτή αποτυγχάνει.

5. **Blocked_Slow – Blocked_Fast**

Μετράει το συνολικό αριθμό των νέων αργών και γρήγορων χρηστών αντίστοιχα που εντάχθηκαν στο σύστημα και δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν.
Η μέτρησή τους γίνεται:

- Για να μπορούμε να παρατηρούμε ποια κατηγορία χρηστών έχει το μεγαλύτερο αποκλεισμό από το εκάστοτε σύστημα.

Ενεργοποιούνται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια εισαγωγής νέου αργού ή γρήγορου χρήστη αντίστοιχα και αυτή αποτυγχάνει.

6. **Blocked_Fast_Macro**

Μετράει το συνολικό αριθμό των νέων γρήγορων χρηστών που δεν μπόρεσαν να ενταχθούν στην μακροκυψέλη.

Η μέτρηση αυτής της παραμέτρου είναι πολύ σημαντική γιατί ο ΄΄φυσικός΄΄ χώρος των γρήγορων χρηστών είναι η μακροκυψέλη. Καθώς εφαρμόζουμε λοιπόν τα διάφορα μοντέλα μια από τις παραμέτρους που μεταβάλλουμε για την καλύτερη επίδοση του συστήματος είναι η παράμετρος **P** η οποία συμβολίζει:

Το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που αρχικά ψάχνουν να βρουν πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο.

Συνεπώς με τη μέτρηση αυτής της παραμέτρου βλέπουμε κατά πόσο αδικούνται οι γρήγοροι χρήστες οι οποίοι προς όφελος της γενικότερης βελτιστοποίησης του συστήματος δεν μπορούν να ενταχθούν στη μακροκυψέλη.
Ακόμα, μετά από παρατηρήσεις της υπερροϊκής κίνησης που έγιναν (και επιβεβαιώνουν τη θεωρία), κύριος λόγος αύξησης της τιμής του παραπάνω μετρητή αποτελεί η εξυπηρέτηση από την μακροκυψέλη αργών χρηστών που έρχονται από το μικροκυψελικό επίπεδο λόγω της υπερφόρτωσης των μικροκυψελών στις οποίες προσπαθούν να ενταχθούν.

DROP

7. **Dropped**

Μετράει το συνολικό αριθμό των χρηστών που μπήκαν στο σύστημα και δεν μπόρεσαν να ολοκληρώσουν την εξυπηρέτησή τους , δηλαδή έγιναν dropped κατά την προσπάθειά τους να αλλάξουν κυψέλη.
Η μέτρησή τους γίνεται :

- Για τα προσδιορίζουμε το Dropping Probability, αφού αποτελεί τον αριθμητή του κλάσματος που μας δίνει την πιθανότητα διακοπής κλήσης.

Ενεργοποιείται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια διαπομπής ενός χρήστη και αυτή αποτυγχάνει.

8. **Dropped _Slow – Dropped _Fast**

Μετράει το συνολικό αριθμό των αργών και γρήγορων χρηστών αντίστοιχα, που προσπάθησαν να εκτελέσουν διαπομπή και δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν.
Η μέτρησή τους γίνεται:

- Για να μπορούμε να παρατηρούμε ποια κατηγορία χρηστών έχει το μεγαλύτερο ποσοστό αποτυχίας κατά τις διαπομπές τους από το εκάστοτε σύστημα.

Ενεργοποιούνται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια διαπομπής αργού ή γρήγορου χρήστη αντίστοιχα και αυτή αποτυγχάνει.

HANDOFF

9. **Total_Handoff_Users**

Μετράει το συνολικό αριθμό διαπομπών που έγιναν είτε από αργούς είτε από γρήγορους χρήστες ασχέτως αν αυτές ήταν επιτυχημένες ή όχι . Οι διαπομπές αυτές έγιναν είτε στο μικροκυψελικό επίπεδο, είτε από το ένα επίπεδο στο άλλο και το αντίστροφο.

Η μέτρησή τους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για το σύστημα και τη βελτιστοποίησή του, αφού γνωρίζουμε ότι μια αίτηση διαπομπής συνεπάγεται για το σύστημα επιπλέον **σηματοδοσία.** Η μείωση του αριθμού των διαπομπών και κατ΄ επέκταση του φορτίου σηματοδοσίας του συστήματος αποτελεί ένα από τους κυριότερους λόγους ύπαρξης ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας και βασικό κριτήριο αξιολόγησης των διαφόρων μοντέλων κατά την διπλωματική μου εργασία.

10. **Total_Handoff_Users_Slow - Total_Handoff_Users_Fast**

Μετράμε το συνολικό αριθμό διαπομπών που έγιναν από αργούς ή από γρήγορους χρήστες αντίστοιχα, ασχέτως αν αυτές ήταν επιτυχημένες ή όχι . Οι διαπομπές αυτές έγιναν είτε στο μικροκυψελικό επίπεδο, είτε από το ένα επίπεδο στο άλλο και το αντίστροφο.

Η μέτρησή τους γίνεται:

- Γιατί μέσω των μετρητών αυτών μπορούμε να δούμε ποια κατηγορία χρηστών επιβαρύνει περισσότερο το σύστημα όσον αφορά το φορτίο σηματοδοσίας του.
- Κύριο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέτρηση των διαπομπών που γίνονται από γρήγορους χρήστες και αυτό γιατί δύο είναι τα κύρια σενάρια που παρουσιάζονται σε ένα ιεραρχικό σύστημα και μέσω της παραμέτρου P προσπαθούμε να βελτιστοποιήσουμε την απόδοσή του:

1. Σε περίπτωση μη αυξημένου φορτίου κίνησης η αύξηση της παραμέτρου P, δηλαδή η αύξηση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών που αρχικά ψάχνουν να βρουν πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο έχει ως αποτέλεσμα την ένταξή τους σε αυτό και περιμένουμε μείωση των διαπομπών του συστήματος (μείωση του φορτίου σηματοδοσίας του) και κυρίως των γρήγορων χρηστών.

2. Σε περίπτωση υπερφόρτωσης κάποιων μικροκυψελών, η μείωση της παραμέτρου P, δηλαδή η μείωση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών που αρχικά ψάχνουν να βρουν πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο (και κατ΄ επέκταση η οδήγησή τους σε κάποια μικροκυψέλη) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ελεύθερων διαθέσιμων πόρων στην μακροκυψέλη και συνεπώς εξυπηρετεί την υπερροϊκή κίνηση που προέρχεται από τις hot spot μικροκυψέλες. Στον αντίποδα οι γρήγοροι χρήστες που εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο αυξάνουν τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση το φορτίο σηματοδοσίας τους.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι έχουμε δύο αντικρουόμενες επιπτώσεις και ο τρόπος για να δούμε αν υπερισχύει η θετική (μείωση του blocking probability) και συνεπώς το μοντέλο είναι αποδοτικό, είναι να δούμε κατά πόσο το ποσοστό μείωσης του blocking probability συνοδεύεται από λογική αύξηση των διαπομπών. Γιατί αν για να μειώσουμε το blocking probability, μειώσουμε την παράμετρο P και αυξηθεί υπερβολικά ο αριθμός των διαπομπών, το μοντέλο έχει αποτύχει.

Υπερροϊκή Κίνηση

11. **Yperroikh**

Μετράει το συνολικό αριθμό διαπομπών που έγιναν είτε από αργούς είτε από γρήγορους χρήστες ασχέτως αν αυτές ήταν επιτυχημένες ή όχι, από το μικροκυψελικό επίπεδο στο μακροκυψελικό και το αντίστροφο.

Η μέτρησή της γίνεται:

- Για να μπορούμε να παρατηρούμε την υπερροϊκή κίνηση και πώς αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τα μοντέλα που δοκιμάζουμε.

Ενεργοποιείται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια διαπομπής αργού ή γρήγορου χρήστη και αυτή δεν είναι επιτυχής στο επίπεδο που ήταν και συνεπώς γίνεται προσπάθεια ένταξής του στο άλλο.

12. **Yperroikh_Fast – Yperroikh_Slow**

Μετράμε το συνολικό αριθμό διαπομπών που έγιναν από αργούς ή από γρήγορους χρήστες αντίστοιχα, ασχέτως αν αυτές ήταν επιτυχημένες ή όχι μόνο από το μικροκυψελικό προς το μακροκυψελικό επίπεδο.

Η μέτρησή τους γίνεται:

- Γιατί αύξησή τους σημαίνει για το σύστημα ύπαρξη hot spot και εξέταση του δεύτερου σεναρίου που αναφέραμε παραπάνω.

Ενεργοποιείται:
Κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια διαπομπής αργού ή γρήγορου χρήστη αντίστοιχα από το μικροκυψελικό προς το μακροκυψελικό επίπεδο.

Παρατήρηση :

Η ένταξη αρκετών μετρητών στο σύστημα, μιας και αυτό δεν αποτελεί επιβάρυνση για το πρόγραμμα, έγινε ώστε εκτός από τα γενικά μετρούμενα χαρακτηριστικά όπως το Dropping Probability και το Blocking Probability που αποτελούν τα πρωταρχικά κριτήρια αξιολόγησης των συστημάτων, οι επιπρόσθετοι επιμέρους μετρητές οδηγούν:

- Στην κατανόηση των αιτιών που οδηγούν στην διαμόρφωση των γενικότερων πιθανοτήτων

- Στην αντιμετώπιση των προβλημάτων και στη βελτίωση των συστημάτων στα σημεία όπου πραγματικά υστερούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΥΠΟΨΗ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

5.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο ακολουθεί συγκριτική μελέτη των επιδόσεων μοντέλων τα οποία στηρίζουν την λειτουργία τους στην κατηγοριοποίηση των χρηστών με βάση το προφίλ κινητικότητάς τους (αργοί – γρήγοροι) και επίσης παρέχουν σε αυτούς μόνο υπηρεσίες φωνής. Το σύστημα αποτελείται από δύο επίπεδα, το μικροκυψελικό και το μακροκυψελικό.

Επί της ουσίας, θέτονται κάτω από το μικροσκόπιο οι δύο πιο σημαντικές τεχνικές που ακολουθούν τα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα.

- Η πρώτη αφορά τον τρόπο εξυπηρέτησης των χρηστών κατά την ένταξή τους στο σύστημα. Ειδικότερα, το επίπεδο ένταξης των γρήγορων χρηστών που καθορίζεται από την τιμή της παραμέτρου P, η οποία και εκφράζει το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που κατά την είσοδό τους στο σύστημα προσπαθούν να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο. Όταν η P τείνει στο 0% όλοι οι χρήστες προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο, ενώ όταν η P τείνει στο 100% οι αργοί στο μικροκυψελικό και οι γρήγοροι στο μακροκυψελικό.

- Η δεύτερη αφορά τον τρόπο συμπεριφοράς των χρηστών κατά την διάρκεια της κλήσης τους. Όταν οι χρήστες προσπαθούν να επιστρέφουν στο φυσικό επίπεδο εξυπηρέτησής τους, τότε το μοντέλο υποστηρίζει την τεχνική take back, ενώ στην αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως no take back μοντέλο.

5.2. Μοντέλα – Παράμετροι Επίδοσης

Με βάση την πολιτική που ακολουθείται στους δύο τομείς που παρουσιάστηκαν προηγουμένως έχουμε την ύπαρξη τεσσάρων βασικών μοντέλων των οποίων η λειτουργία παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παράγραφο 3 του κεφαλαίου 3. Για την γρηγορότερη και ευκολότερη αναφορά σε αυτά τους δόθηκαν κωδικά ονόματα. Η σημασία της ορολογίας που χρησιμοποιήθηκε αναλύεται στην συνέχεια.

Σύμφωνα με την στρατηγική που ακολουθείται στο κάθε μοντέλο ως προς τον τρόπο συμπεριφοράς των χρηστών κατά την διάρκεια της κλήσης τους δημιουργούνται δύο κατηγορίες μοντέλων, τα **Μοντέλα_1_2** τα οποία **δεν** διαθέτουν την ιδιότητα take back, και τα **Μοντέλα_3_4** τα οποία την διαθέτουν.

Σύμφωνα με την στρατηγική που ακολουθείται, και για τις δύο παραπάνω κατηγορίες, ως προς τον τρόπο εξυπηρέτησης των χρηστών κατά την ένταξή τους στο σύστημα δημιουργούνται δύο ακραία μοντέλα ως προς την τιμή της παραμέτρου P. Όταν P τείνει στο 0% έχουμε το Μοντέλο1 για την κατηγορία μοντέλων_1_2 και το Μοντέλο_3 για την κατηγορία μοντέλων_3_4. Αντιστοίχως όταν P τείνει στο 100% έχουμε το Μοντέλο2 για την κατηγορία μοντέλων_1_2 και το Μοντέλο_4 για την κατηγορία μοντέλων_3_4. Βέβαια εξετάστηκαν και όλα τα ενδιάμεσα μοντέλα, ως προς την τιμή της παραμέτρου P, στα οποία δεν δόθηκαν κωδικά ονόματα.

Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει επακριβώς την ονοματοδοσία των μοντέλων και η οποία ακολουθείται σε ολόκληρη την εργασία:

Κωδικό Όνομα Μοντέλου	**Μοντέλο – Στρατηγικές Λειτουργίας**
Μοντέλο 1	Χωρίς take back και $P \rightarrow 0\%$
Μοντέλο 2	Χωρίς take back και $P \rightarrow 100\%$
Μοντέλο 3	Με take back και $P \rightarrow 0\%$
Μοντέλο 4	Με take back και $P \rightarrow 100\%$

Η εξέταση των επιδόσεων των παραπάνω μοντέλων έγινε με την βοήθεια προσομοιωτή ο οποίος υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++, και η λειτουργία του περιγράφηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 3600 sec για την κάθε περίπτωση.

Οι βασικές παράμετροι, που χαρακτηρίζουν τις επιδόσεις ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας, υπό το πρίσμα τον οποίων έγινε η σύγκριση των μοντέλων ήταν οι εξής:

- *Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking Probability)*

Η οποία μετράται ως το ποσοστό επί τοις εκατό του συνολικού αριθμού των κλήσεων οι οποίες απορρίφθηκαν από το σύστημα ως προς τον συνολικό αριθμό κλήσεων που ζήτησαν εξυπηρέτηση από αυτό.

- *Πιθανότητα διακοπής κλήσεων (Dropping Probability)*

Η οποία μετράται ως το ποσοστό επί τοις εκατό του συνολικού αριθμού των κλήσεων οι οποίες απορρίφθηκαν κατά την προσπάθεια πραγματοποίησης διαπομπής ως προς των συνολικό αριθμό κλήσεων οι οποίες εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα ασχέτως αν ολοκληρώθηκαν.

- *Συνολικός αριθμός διαπομπών (Handoffs)*

Η οποία μετράται ως ο συνολικός αριθμός διαπομπών που στέφθηκαν με επιτυχία καθ΄ όλη την διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης είτε μεταξύ κυψελών του ιδίου επιπέδου, είτε μεταξύ κυψελών διαφορετικών επιπέδων. Ο συνολικός αριθμός των διαπομπών αποτελεί μια πολύ βασική παράμετρο γιατί έμμεσα εκφράζει ένα σημαντικό μέρος του φορτίου σηματοδοσίας του συστήματος.

Παράλληλα με τις παραπάνω παραμέτρους, των οποίων τα γραφήματα συνοδεύουν κάθε σύγκριση, θεωρήθηκε σκόπιμη και η παρουσίαση των:

- *Φορτίο Συστήματος (Load)*

Αντιπροσωπεύει τον συνολικό αριθμό των χρηστών οι οποίοι εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα καθ΄ όλη την διάρκεια της κάθε προσομοίωσης. Η παράμετρος αυτή, όχι μόνο βοηθάει στην ανάδειξη της μείωσης ή της αύξησης της χωρητικότητας του συστήματος, που η εφαρμογή του εκάστοτε μοντέλου έχει ως αποτέλεσμα, αλλά και για μοντέλα κάτω από ίδιες συνθήκες η διατήρηση σταθερού φορτίου στο σύστημα (η οποία γίνεται εμφανείς από τις γραφικές), αναδεικνύει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, αφού η σύγκριση των μοντέλων γίνεται κάτω από ίδιες τιμές φορτίου.

- *Υπερροϊκή Κίνηση*

Αντιπροσωπεύει τον συνολικό αριθμό διαπομπών μεταξύ κυψελών διαφορετικών επιπέδων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν καθ΄ όλη την διάρκεια της κάθε προσομοίωσης. Αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο, ειδικά στην μελέτη ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων των οποίων η λειτουργία στηρίζεται στην μεταφορά του φορτίου από το ένα επίπεδο στο άλλο για την βελτίωση της επίδοσης του συστήματος.

Εκτός των βασικών παραπάνω και άλλες παράμετροι μετρήθηκαν και παρουσιάζονται για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και των αιτίων που τα προκάλεσαν.

5.3. Μελέτη Επίδοσης Μοντέλων_1_2

Συνοπτικά επαναλαμβάνονται οι βασικές αρχές που διέπουν την λειτουργία των μοντέλων:

- Γίνεται αλλαγή επιπέδου εξυπηρέτησης από τους χρήστες μόνο όταν δεν βρίσκουν πόρους σε κυψέλη του ιδίου επιπέδου με αυτό από το οποίο ήδη εξυπηρετούνται, ή κατά την είσοδό τους στο σύστημα, στην περίπτωση που το φυσικό επίπεδο ένταξής τους δεν διαθέτει πόρους. Φυσικό επίπεδο ένταξης για τους γρήγορους χρήστες θεωρείται το μακροκυψελικό και για τους αργούς το μικροκυψελικό.
- Δεν υπάρχει δυνατότητα take back. Δηλαδή οι χρήστες που έκαναν αλλαγή επιπέδου εξυπηρέτησης δεν επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο αλλά τερματίζουν την κλήση τους στο επίπεδο που βρίσκονται εκτός αν συντρέχει ο παραπάνω λόγος.
- Το σύστημα παρέχει σε όλους τους χρήστες μόνο υπηρεσίες ομιλίας (voice only).

Πριν την μελέτη των επιδόσεων υπενθυμίζεται η ερμηνεία της παραμέτρου P συναρτήσει της οποίας γίνονται όλες οι γραφικές ως:

Το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που κατά την είσοδό τους στο σύστημα προσπαθούν να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο.

- Όταν $P \rightarrow 0$ % όλοι οι χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο μικροκυψελικό επίπεδο.
- Όταν $P \rightarrow 100$ % όλοι οι **αργοί** χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο **μικροκυψελικό** επίπεδο και όλοι οι γρήγοροι στο **μακροκυψελικό** επίπεδο.
- Σε κάθε γραφική η παράμετρος P μεταβάλλεται από 0 % έως 100 % με βήμα 10.

Το κάθε μοντέλο εξετάζεται σε τρία είδη φορτίου :

- Χαμηλό (Low) με 200/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)
- Μέτριο (Medium)με 400/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)
- Υψηλό (Heavy) με 600/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)

Για κάθε είδος φορτίου κίνησης εξετάζονται τρεις περιπτώσεις ποσοστών γρήγορων και αργών:

- 90 % Αργοί – 10 % Γρήγοροι
- 70 % Αργοί – 30 % Γρήγοροι
- 50 % Αργοί – 50 % Γρήγοροι

5.3.1 Low Load (200 Users/667 Channels)

Από τα γραφήματα (1_2.1) φαίνεται ότι σε χαμηλό φορτίο τα μοντέλα λειτουργούν άψογα διατηρώντας για όλες τις τιμές της παραμέτρου P και κάτω από οποιαδήποτε ποσοστά αργών και γρήγορων χρηστών :

Blocking Probability = 0 %

Dropping Probability = 0 %

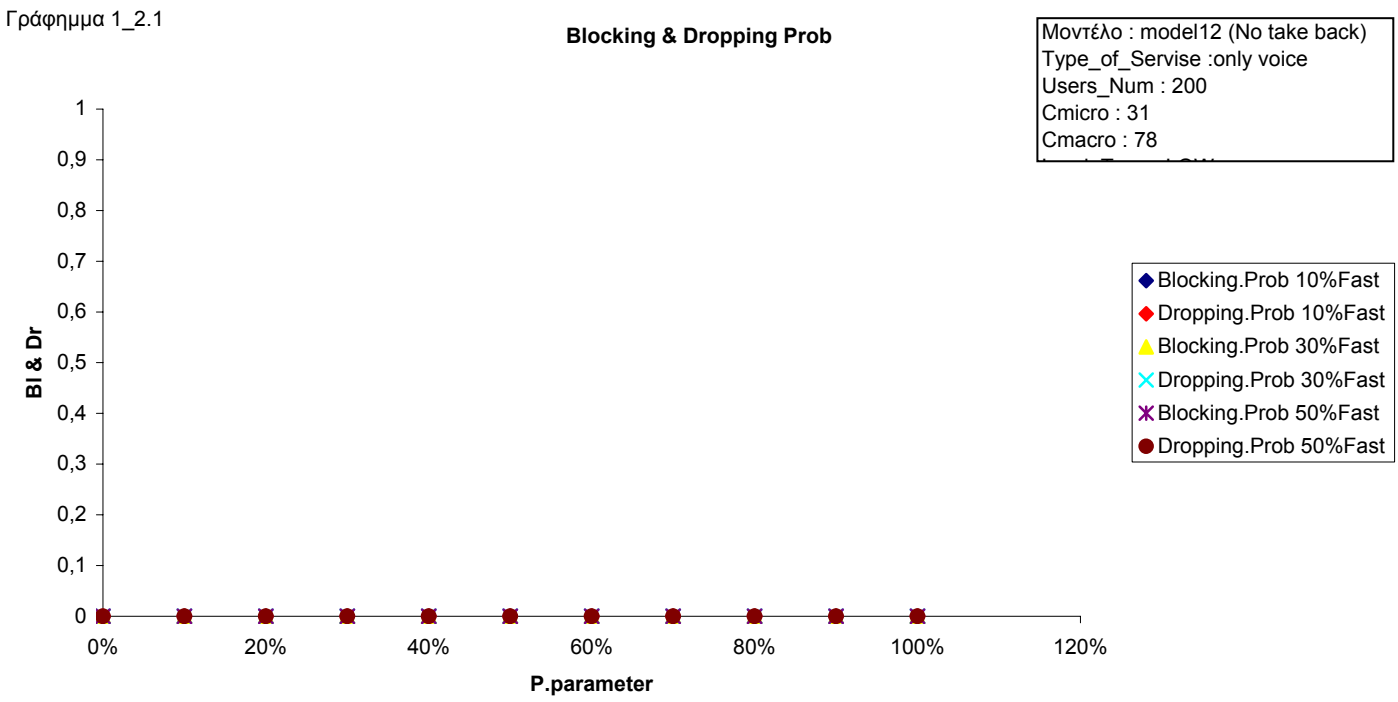
κάτι που αποδεικνύεται και από τη μη ύπαρξη υπερροϊκής κίνησης (1_2.4). Αν υπήρχε υπερροϊκή κίνηση από την στιγμή που δεν έχουμε take back θα σήμαινε ότι χρήστες αναγκάστηκαν να αλλάξουν επίπεδο εξυπηρέτησης λόγω υψηλού φορτίου κίνησης, κάτι που δεν συμβαίνει.

Μελετώντας τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος κάτω από το ίδιο φορτίο (1_2.3), για κάθε αναλογία ποσοστών αργών και γρήγορων χρηστών αντίστοιχα παρατηρούμε ξεκάθαρα την υπεροχή του καθαρού δεύτερου μοντέλου, δηλαδή όταν όλοι οι **αργοί** χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο **μικροκυψελικό** επίπεδο και όλοι οι γρήγοροι στο **μακροκυψελικό** επίπεδο ($P \rightarrow 100\%$) το οποίο γίνεται εμφανές από το γράφημα (1_2.2).
Συνοπτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα τα ποσοστά **μείωσης** του συνολικού αριθμού διαπομπών στο σύστημα καθώς η παράμετρος P μεταβάλλεται από το 0% στο 100%.

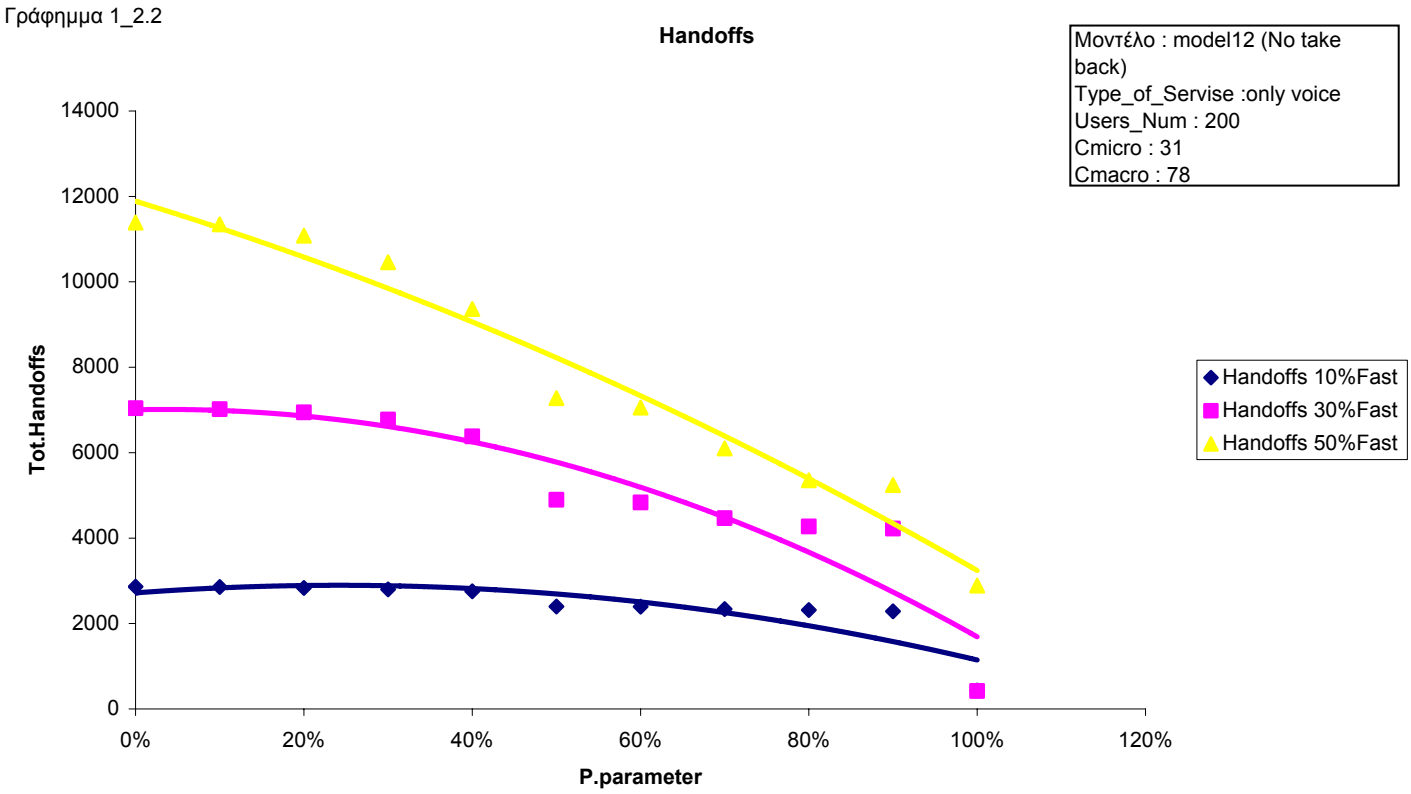
Πίνακας 3.1

% Slow - % Fast	Tot.Handovers	Tot.Handovers.Slow	Tot.Handovers.Fast
90 % - 10 %	85%	12%	95%
70 % - 30 %	94%	6%	98%
50 % - 50 %	75%	1%	76%

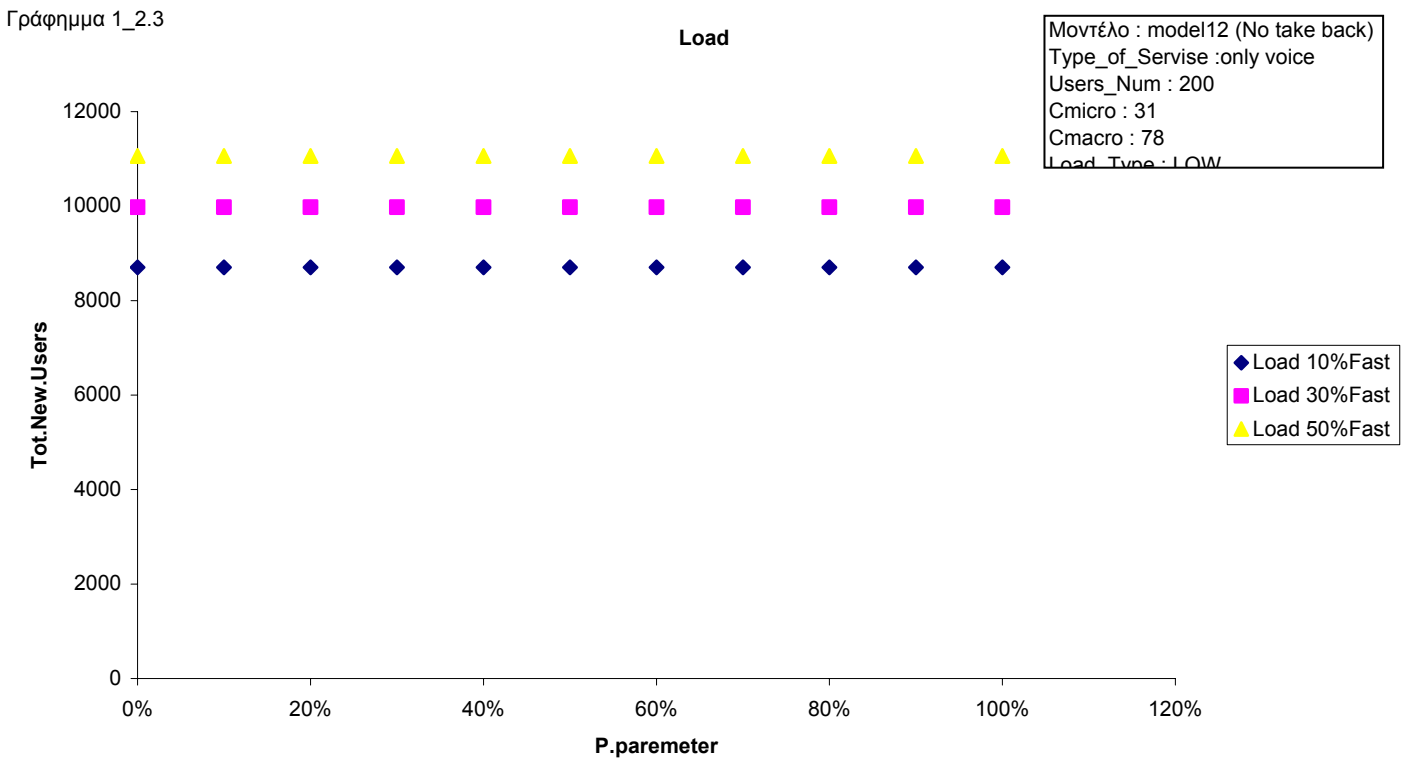
Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται και τα ποσοστά μείωσης του συνολικού αριθμού διαπομπών επιμέρους για κάθε κατηγορία χρηστών, αργών (slow) και γρήγορων (fast). Γίνεται αντιληπτό ότι κύριος λόγος της δραματικής μείωσης των διαπομπών του συστήματος και κατ' επέκταση του φορτίου σηματοδοσίας του, είναι η τεράστια μείωση των διαπομπών των γρήγορων χρηστών εξαιτίας της ένταξής τους στην μακροκυψέλη, η οποία λόγω του μεγέθους της περιορίζει τον απαιτούμενο αριθμό διαπομπών ενός γρήγορου χρήστη κατά την διάρκεια της κλήσης του.



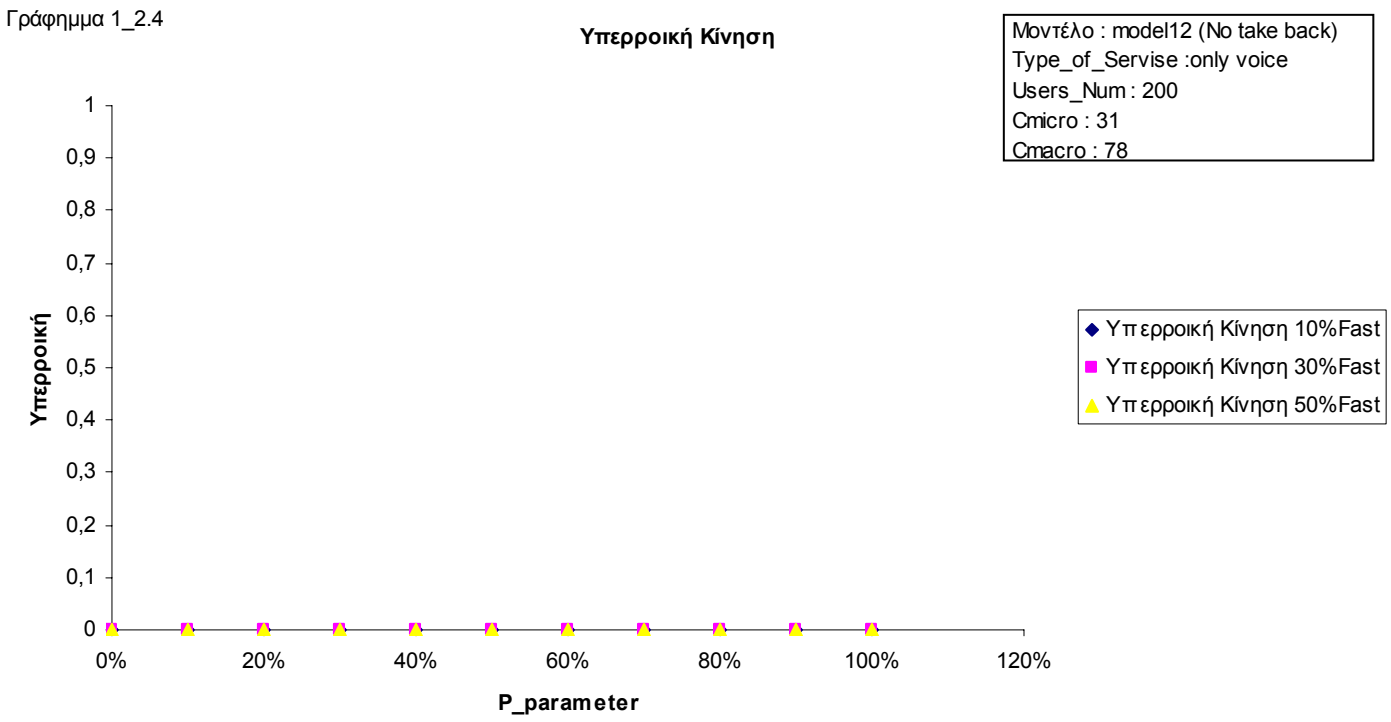
Γράφημα 1_2.1: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων και Πιθανότητα διακοπής κλήσης συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με χαμηλό φορτίο.



Γράφημα 1_2.2: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με χαμηλό φορτίο.



Γράφημα 1_2.3: Συνολικός αριθμός χρηστών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με χαμηλό φορτίο.



Γράφημα 1_2.4: Συνολικός αριθμός υπερροϊκής κίνησης του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με χαμηλό φορτίο.

5.3.2 Medium Load (400 Users/667 Channels)

Μελετώντας τα παραπάνω μοντέλα κάτω από συνθήκες μέτριου φορτίου δύο είναι οι παρατηρήσεις στις οποίες πρέπει να σταθούμε:

Παρατήρηση 1η

Φαίνεται και πάλι η πολύ καλύτερη επίδοση του συστήματος όταν $P \rightarrow 100\%$ (Μοντέλο 2), όσον αφορά τον συνολικό αριθμό των διαπομπών του συστήματος (1_2.6) κάτω από το ίδιο φορτίο για κάθε αναλογία ποσοστών αργών και γρήγορων χρηστών αντίστοιχα (1_2.7). Συνοπτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα τα ποσοστά **μείωσης** του συνολικού αριθμού διαπομπών στο σύστημα καθώς η παράμετρος P μεταβάλλεται από το 0% στο 100%.

Πίνακας 3.2

% Slow - % Fast	Tot.Handovers	Tot.Handovers.Slow	Tot.Handovers.Fast
90 % - 10 %	80%	10%	93%
70 % - 30 %	58%	0%	61%
50 % - 50 %	33%	0%	33%

Επίσης γίνεται και πάλι φανερό ότι κύριος λόγος της δραματικής μείωσης των διαπομπών του συστήματος και κατ' επέκταση του φορτίου σηματοδοσίας του, είναι η τεράστια μείωση των διαπομπών των γρήγορων χρηστών εξαιτίας της ένταξής τους στην μακροκυψέλη.

Παρατήρηση 2η

Η αύξηση του αριθμού των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο καθώς η P τείνει στο 100%, με τις θετικές επιπτώσεις που προαναφέρθηκαν, έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των διαθέσιμων πόρων της μακροκυψέλης που μπορεί αυτή να προσφέρει για την εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μικρή αύξηση της Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking probability) του συστήματος ενώ η Πιθανότητα διακοπής κλήσεων (Dropping probability) παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (1_2.5). Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αυτή η αύξηση του Blocking probability έχει ως αίτιο την ελάττωση των διαθέσιμων πόρων της μακροκυψέλης που μπορεί αυτή να προσφέρει για την εξυπηρέτηση της **υπερροϊκής κίνησης αργών χρηστών** παρατηρώντας την μείωση της υπερροϊκής κίνησης του συστήματος (1_2.8). Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα 3.

Πίνακας 3.3

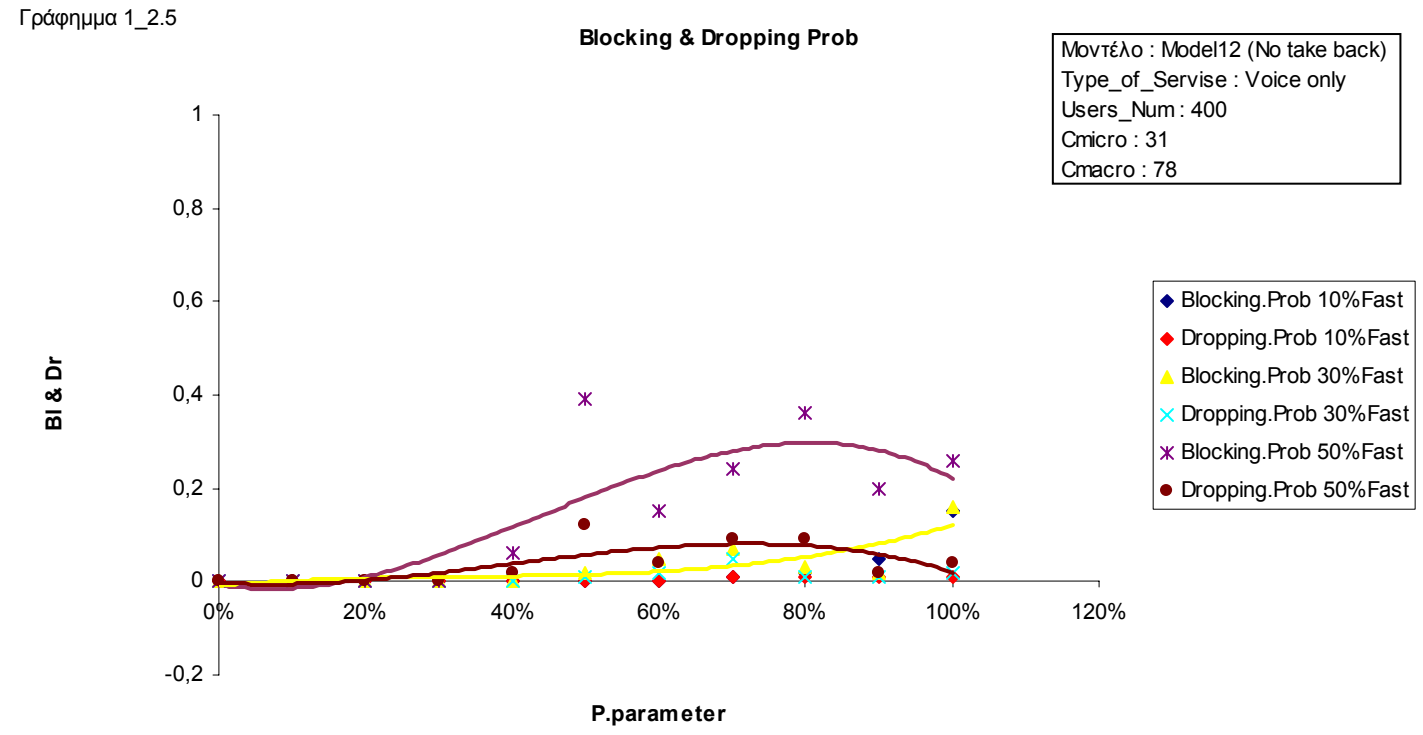
	Blocking probability			
% Slow - % Fast	**P $\rightarrow$0%**	**P $\rightarrow$100%**	**Αύξηση κατά**	**Μείωση Υπερροϊκής Κίνηση**
90 % - 10 %	0 %	0,15 %	0,15 %	96%
70 % - 30 %	0 %	0,16 %	0,16 %	98%
50 % - 50 %	0 %	0,26%	0,26%	96%

Επιπρόσθετα, στον πίνακα 3.4 παρουσιάζουμε για P$\rightarrow$100%, δηλαδή όλοι οι γρήγοροι στο μακροκυψελικό επίπεδο, το ποσοστό των αργών και των γρήγορων χρηστών που αποκλείστηκαν από το σύστημα επί του συνολικού αριθμού των χρηστών που αποκλείστηκαν. Παρατηρούμε ότι καθώς οι γρήγοροι έχουν κατακλύσει την μακροκυψέλη δύσκολα αργοί χρήστες που καταφεύγουν σε αυτή βρίσκουν πόρους και αποκλείονται. Έτσι έχουμε αποκλεισμό από το σύστημα κυρίως των **υπερροϊκών αργών χρηστών**.

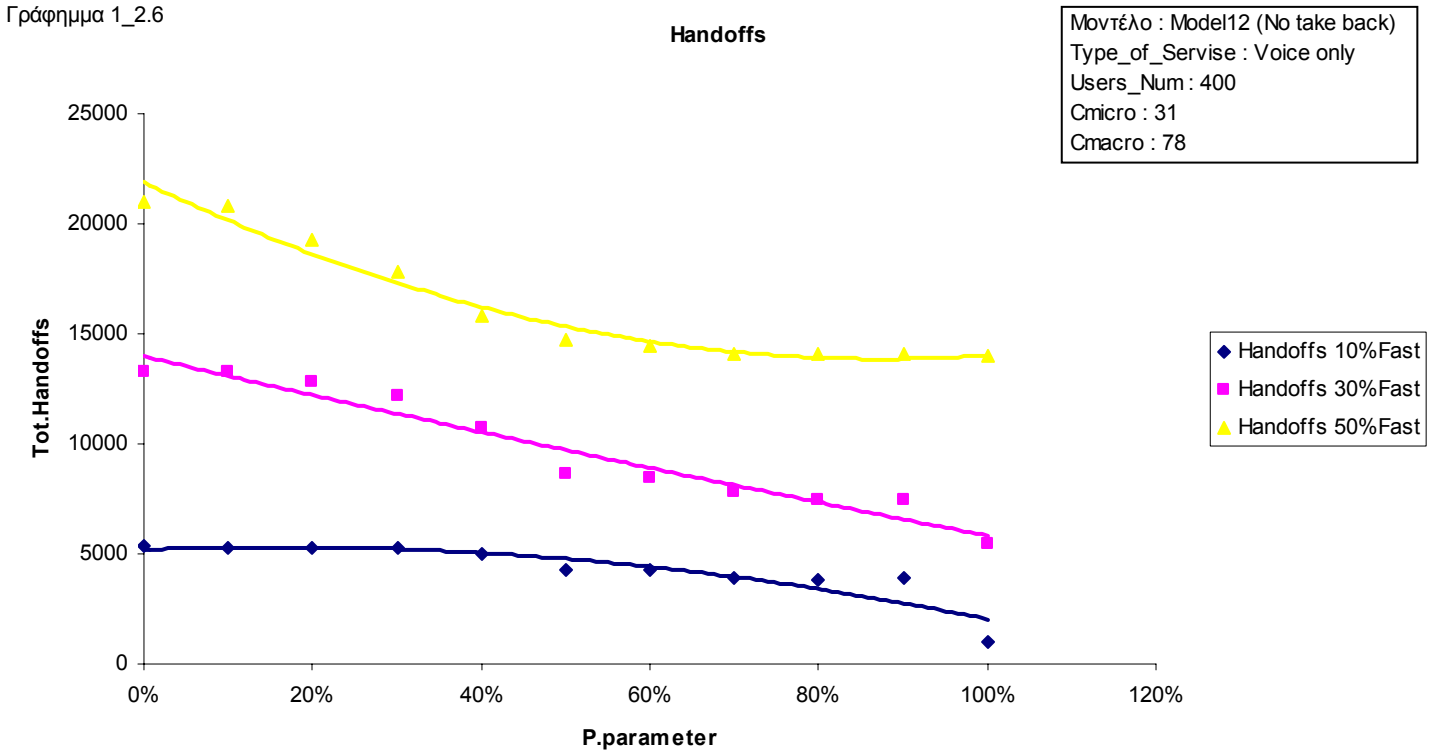
Πίνακας 3.4

P $\rightarrow$100%	
Slow	**Fast**
98%	2%
70%	30%
50%	50%

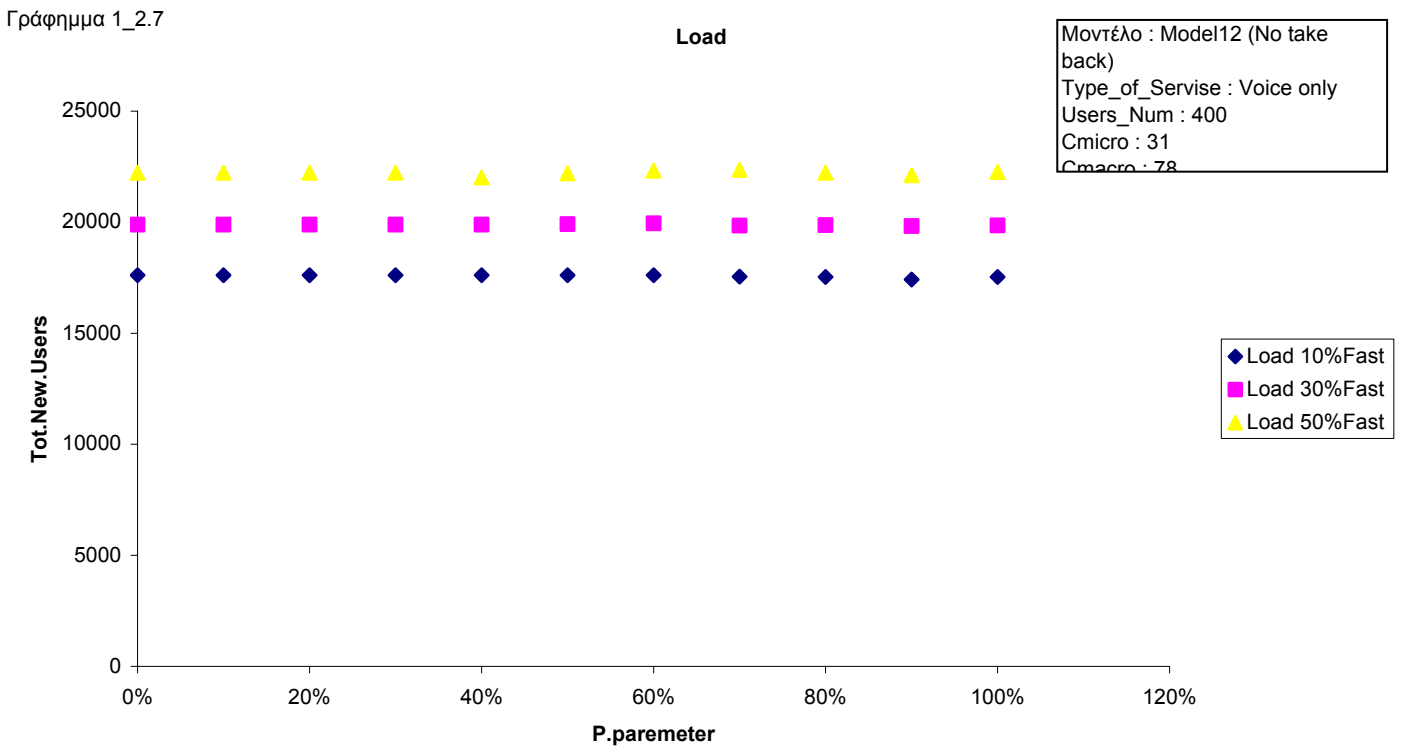
Το γενικό συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε είναι ότι και πάλι το καθαρό δεύτερο μοντέλο (P$\rightarrow$100%) πλεονεκτεί γιατί παρόλη την μικρή αύξηση του Blocking probability (0,2% περίπου σε όλες τις περιπτώσεις) υπερισχύει η μεγάλη μείωση του αριθμού των διαπομπών και συνεπώς του φορτίου σηματοδοσίας του συστήματος.



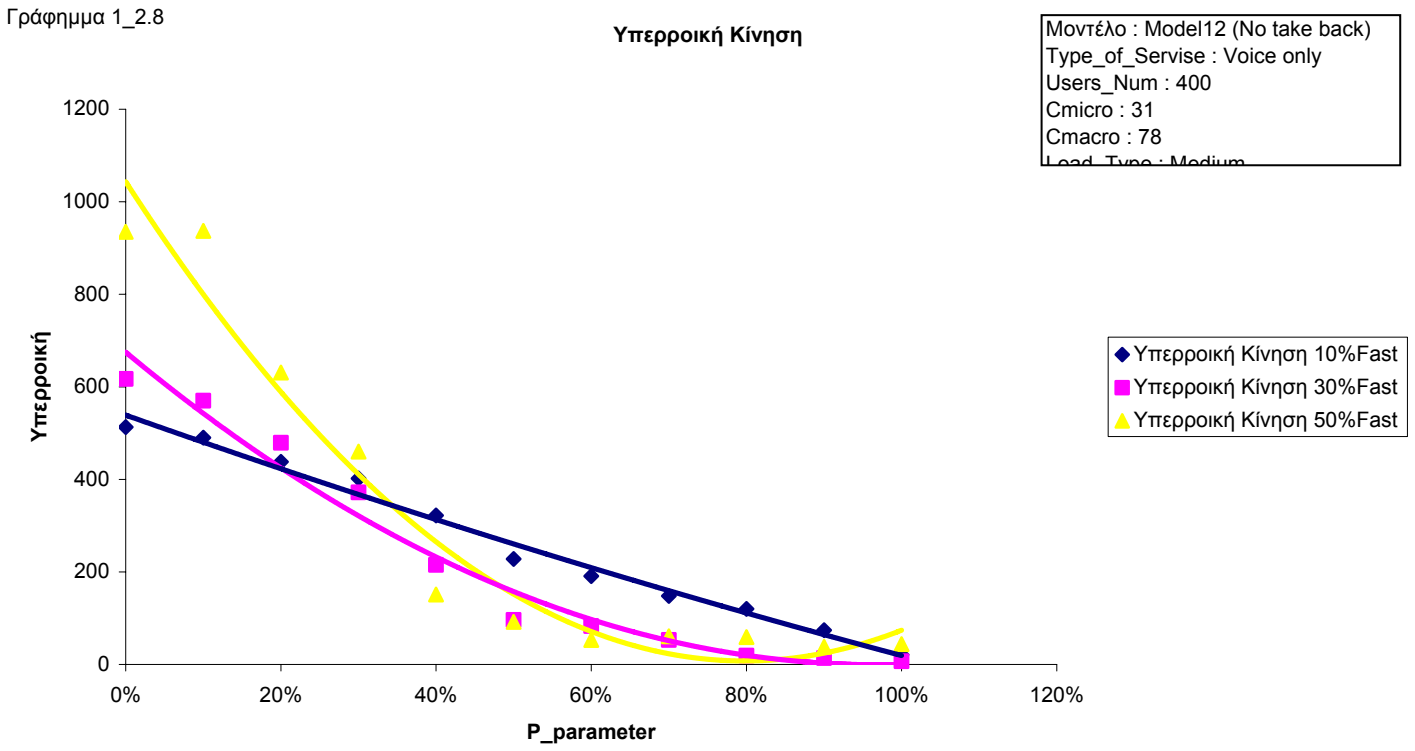
Γράφημα 1_2.5: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων και Πιθανότητα διακοπής κλήσης συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με μέτριο φορτίο.



Γράφημα 1_2.6: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με μέτριο φορτίο.



Γράφημα 1_2.7: Συνολικός αριθμός χρηστών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με μέτριο φορτίο.



Γράφημα 1_2.8: Συνολικός αριθμός υπερροϊκής κίνησης του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με μέτριο φορτίο.

5.3.3 Heavy Load (600 Users/667 Channels)

Μελετώντας τα μοντέλα_1_2 κάτω από συνθήκες υψηλού φόρτου παρατηρούμε ότι το πλεονέκτημα που έδινε στο σύστημα η ένταξη των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο (μοντέλο 2), λόγω της μεγάλης μείωσης του αριθμού των διαπομπών του συστήματος, μετατρέπεται σε αβάστακτο μειονέκτημά του, κάνοντας το μοντέλο 1 ($P \rightarrow 0\%$) πιο αποτελεσματικό. Αναλυτικότερα συμβαίνουν τα εξής:

Η μακροκυψέλη κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου προσπαθεί με κάθε τρόπο να εξυπηρετήσει την υπερροϊκή κίνηση η οποία δεν προέρχεται τώρα πια από μεμονωμένες υπερφορτωμένες κυψέλες (hot spot), αλλά σχεδόν από όλο το μικροκυψελικό επίπεδο το οποίο ασφυκτιά λόγω του υψηλού φορτίου που δέχεται. Για τον παραπάνω λόγο, όλοι οι πόροι της μακροκυψέλης είναι προτιμότερο να δίνονται για την εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης από το μικροκυψελικό επίπεδο παρά να δεσμεύονται από γρήγορους χρήστες, των οποίων η εξυπηρέτηση αποτελεί το βασικό της μέλημα κάτω από ηπιότερες συνθήκες φορτίου.

Παρατηρούμε επομένως (1_2.9) ότι το καθαρό μοντέλο 1 ($P \rightarrow 0\%$) έχει καλύτερες επιδόσεις ως προς την Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, αφού πλέον όλοι οι χρήστες εντάσσονται αρχικά στο μικροκυψελικό επίπεδο, αποκτώντας επί της ουσίας **την ίδια μοίρα** ως προς την πιθανότητα να εξυπηρετηθούν, ώστε η μακροκυψέλη να αφοσιώνεται με όλους τους πόρους της στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης.

Δίνεται έμφαση στο εξής:

Σε συνθήκες αποκλεισμού του συστήματος, λόγω του υψηλού φόρτου που δέχεται, είναι σημαντικότερη η εξυπηρέτηση των χρηστών και άρα η μείωση της Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων, από την μείωση των διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση του φόρτου σηματοδοσίας που αυτές συνεπάγονται, σε ένα σύστημα που είναι ήδη υπερβολικά φορτωμένο λόγω των συνθηκών που επικρατούν.

Παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα η μεγάλη αύξηση του Blocking probability καθώς το P μεταβάλλεται από 0 σε 100% και η δυσανάλογα αντίστοιχη μείωση του Dropping probability (1_2.9) και του αριθμού των διαπομπών του συστήματος (1_2.10).

Πίνακας 3.5

% Slow - % Fast	Blocking prob.	Dropping prob.	Handoffs
90 % - 10 %	10,5% → 14,5% 31% (Αύξηση)	2,7% → 0,7%	55% (Μείωση)
70 % - 30 %	11,85% → 15,9% 34% (Αύξηση)	4% → 2%	23% (Μείωση)
50 % - 50 %	11,28% → 18,2% 60% (Αύξηση)	4,9% → 4,23%	8% (Μείωση)

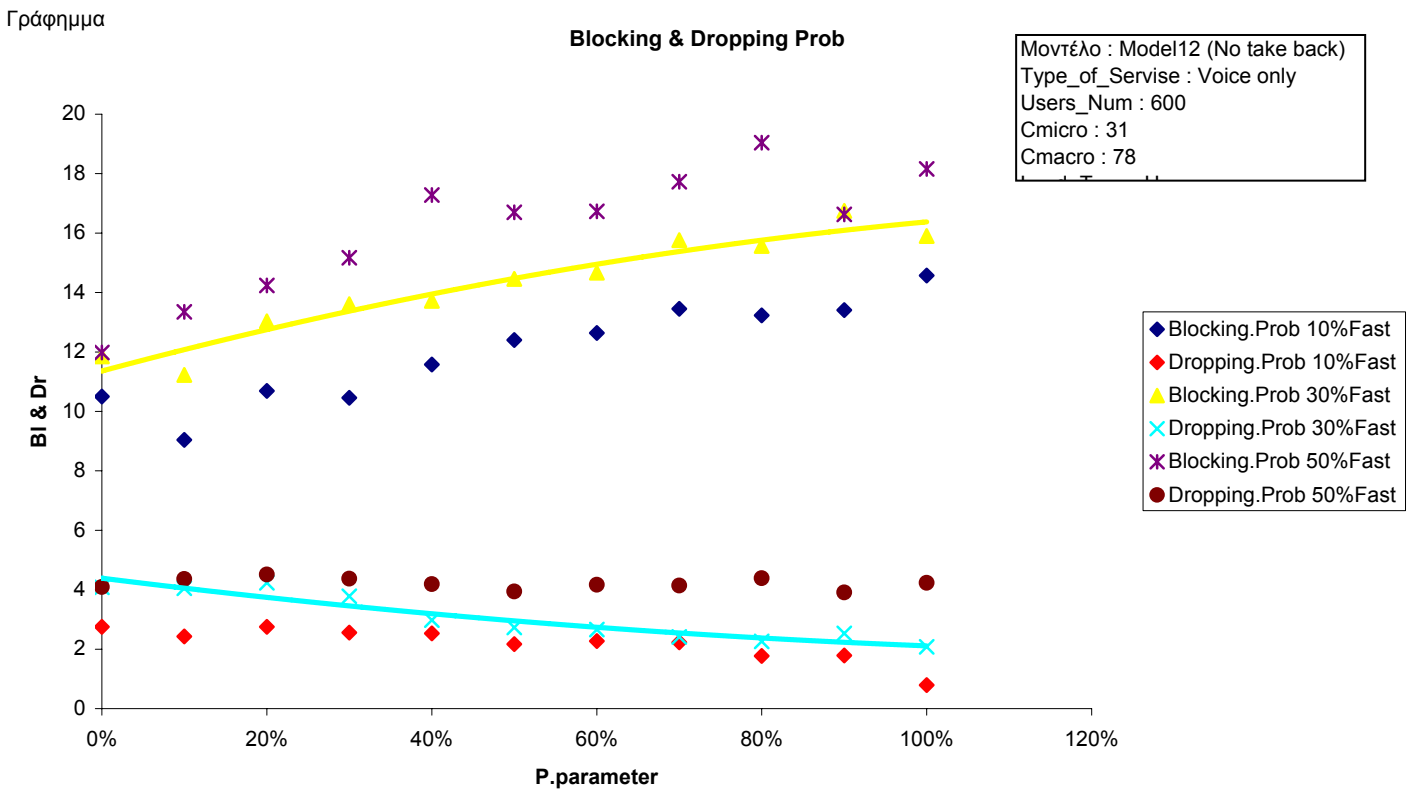
Εξετάζοντας αναλυτικότερα τα επιμέρους στοιχεία που μου παρέχει ο προσομοιωτής ισχυροποιείται το αίτιο που κάνει το καθαρό μοντέλο 1 ($P \rightarrow 0\%$), δηλαδή όλοι οι χρήστες να εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο, ισχυρότερο σε σχέση με το μοντέλο 2. Παρατηρούμε ότι σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των χρηστών που αποκλείονται στο σύστημα και ο οποίος ελαττώνεται καθώς το P τείνει στο 0%, ότι ο αριθμός των αργών που αποκλείονται μειώνεται σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από την αντίστοιχη αύξηση των γρήγορων που αποκλείονται. Με απλά λόγια, καθώς το P τείνει στο 0% και όλοι αρχικοποιούνται κάτω, η μείωση των χρηστών που αποκλείονται από το σύστημα οφείλεται εξ ολοκλήρου στην μείωση των αργών χρηστών που αποκλείονται και προφανώς εξυπηρετούνται από την μακροκυψέλη. Στον αντίποδα υπάρχει και η αύξηση του αποκλεισμού των γρήγορων, που χάνουν το πλεονέκτημα της εξυπηρέτησής τους από την μακροκυψέλη, η οποία όμως είναι συγκριτικά πολύ μικρή και δεν επηρεάζει τη γενικότερη και ουσιαστική βελτίωση του συστήματος που οφείλεται στην μεγάλη μείωση των αργών που αποκλείονται.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η δυσανάλογα μεγάλη μείωση του ποσοστού των αργών που αποκλείονται σε σχέση με την μικρή αύξηση των γρήγορων που αποκλείονται καθώς το P τείνει στο 0% και όλοι οι χρήστες αρχικοποιούνται κάτω. Όπως προανέφεραμε η παραπάνω παρατήρηση έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη μείωση της Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων .

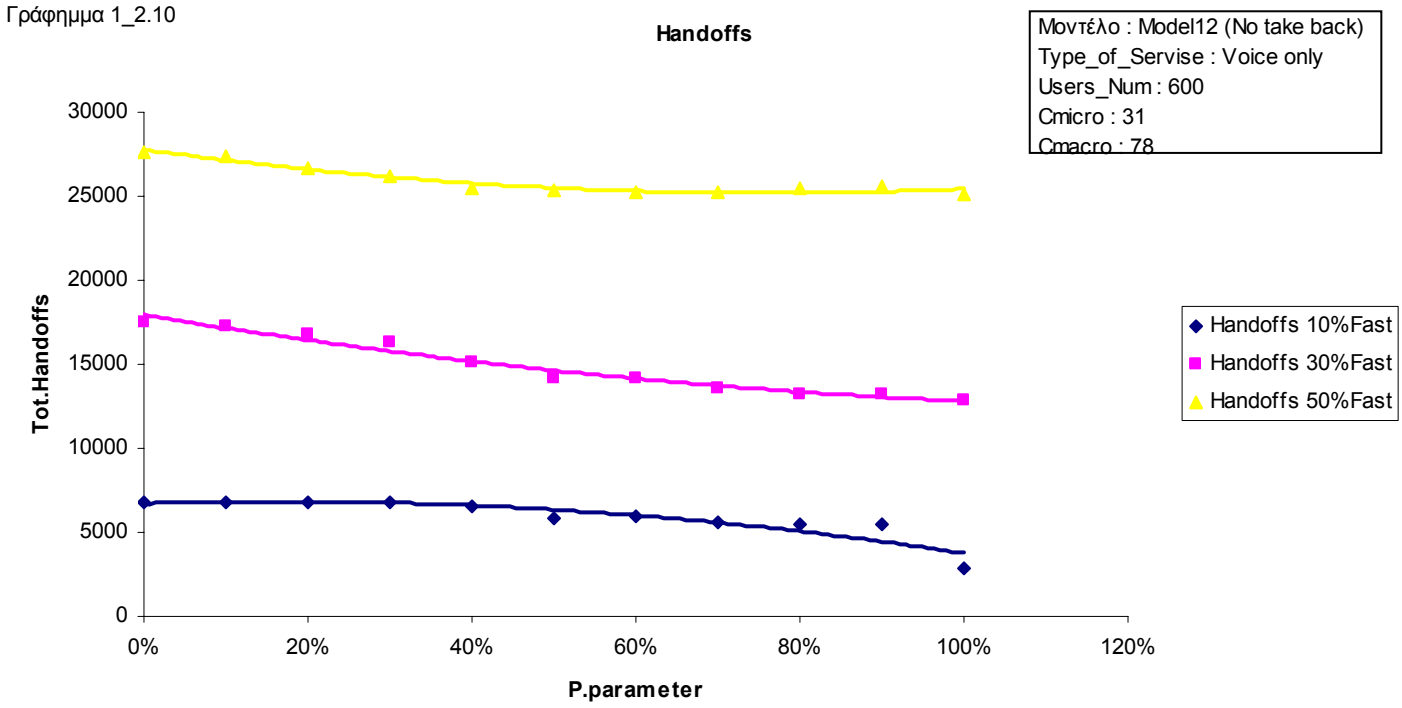
Πίνακας 3.6

% Slow - % Fast	**% Μείωση αργών που αποκλείονται σε σχέση με τον συνολικό # χρηστ. που αποκλείονται**	**% Αύξηση γρήγορ που αποκλείονται σε σχέση με τον συνολικό # χρηστ. που αποκλείονται**	**% Αύξηση της υπερροϊκής κίνησης των αργών χρηστών**
90 % - 10 %	70%	11%	350%
70 % - 30 %	60%	19%	240%
50 % - 50 %	56%	30%	140%

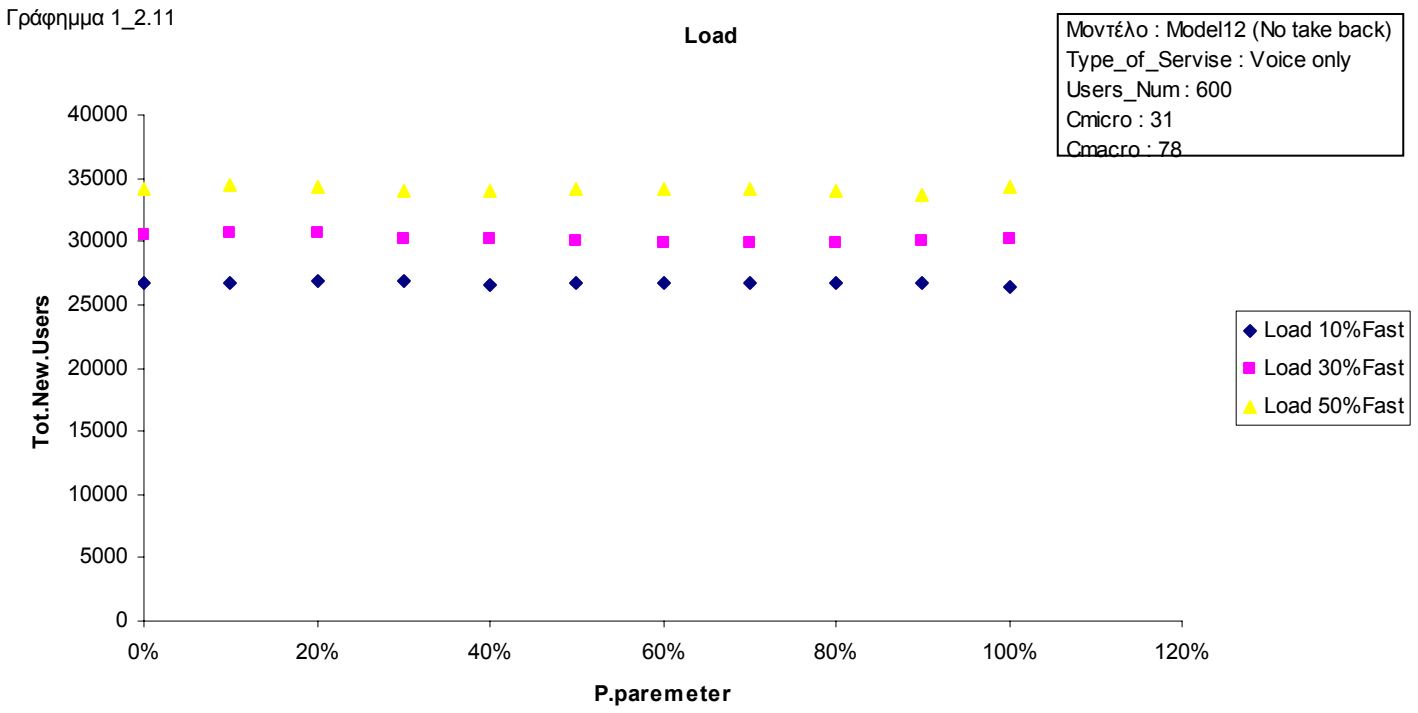
Όπως παρατηρούμε από την τρίτη στήλη του πίνακα 3.6, για $P \rightarrow 0\%$ η μακροκυψέλη αποκτά το ρόλο εξυπηρετητή της υπερροϊκής κίνησης κυρίως των αργών, δηλαδή λαμβάνει χώρα η αύξηση της υπερροϊκής κίνησης των αργών καθώς οι γρήγοροι εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο, και αυτό αναπνέει δίνοντας αργούς στην μακροκυψέλη.



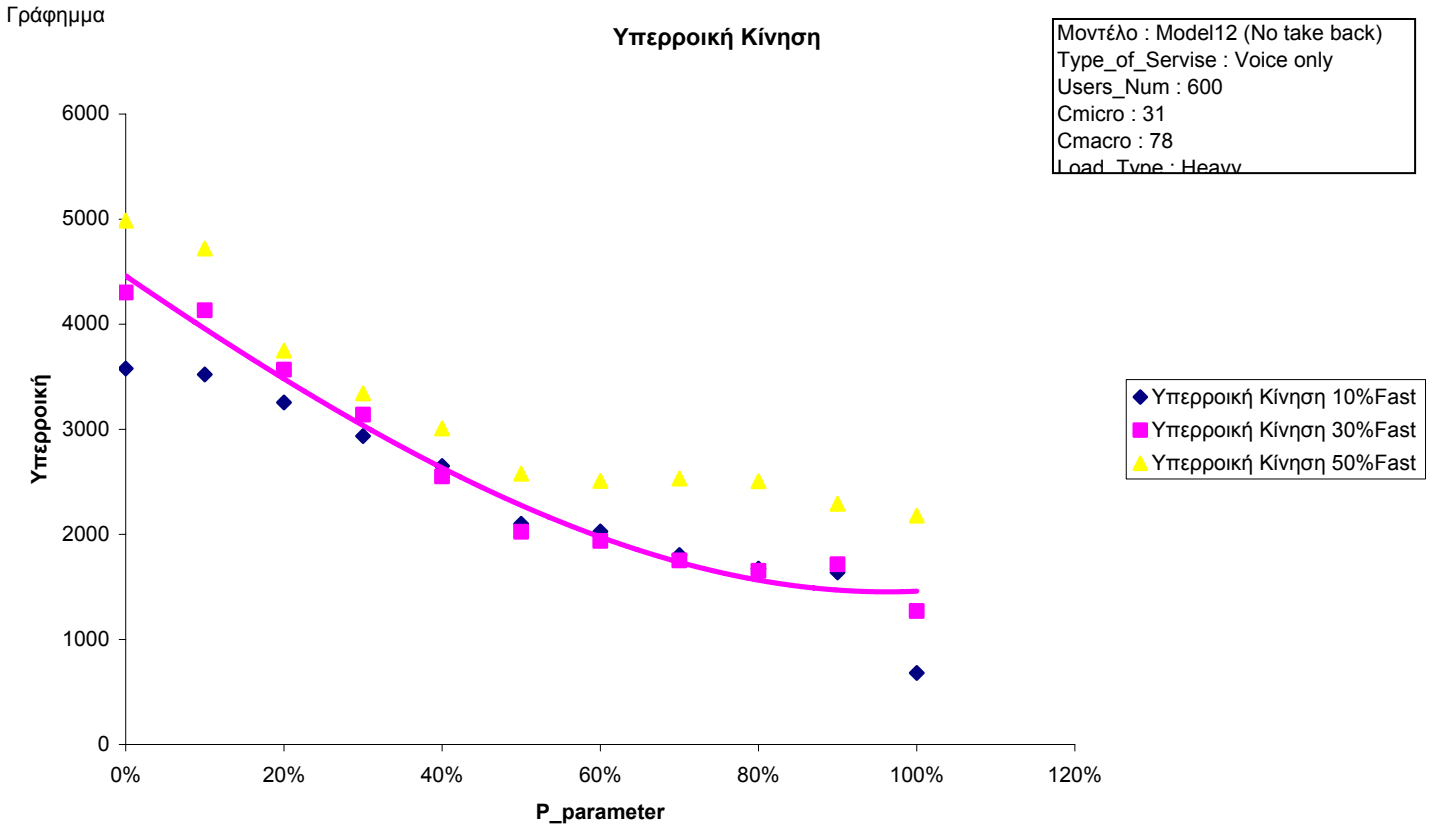
Γράφημα 1_2.9: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων και Πιθανότητα διακοπής κλήσης συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με υψηλό φορτίο.



Γράφημα 1_2.10: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με υψηλό φορτίο.



Γράφημα 1_2.11: Συνολικός αριθμός χρηστών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με υψηλό φορτίο.



Γράφημα 1_2.12: Συνολικός αριθμός υπερροϊκής κίνησης του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_1_2 με υψηλό φορτίο.

5.3.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η ένταξη των αργών χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο και των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο (P $\rightarrow$ 100% Καθαρό Μοντέλο 2) υπερτερεί κάτω από συνθήκες χαμηλού και μέτριου φορτίου, αφού λόγω της μείωσης του αριθμού των διαπομπών των γρήγορων χρηστών μειώνεται το φορτίο σηματοδοσίας του συστήματος.

2. Υπό συνθήκες υψηλού φόρτου η ένταξη όλων των χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο (P $\rightarrow$ 0% Καθαρό Μοντέλο 1) υπερτερεί, γιατί όλοι οι πόροι της μακροκυψέλης χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης από το μικροκυψελικό επίπεδο με αποτέλεσμα την μείωση της Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων που παρουσιάζει το σύστημα.

5.4. Μελέτη Επίδοσης Μοντέλων_3_4

Συνοπτικά επαναλαμβάνονται οι βασικές αρχές που διέπουν την λειτουργία των μοντέλων:

- Γίνεται αλλαγή επιπέδου εξυπηρέτησης από τους χρήστες όταν δεν βρίσκουν πόρους σε κυψέλη του ιδίου επιπέδου με αυτό από το οποίο ήδη εξυπηρετούνται, ή κατά την είσοδό τους στο σύστημα, στην περίπτωση που το φυσικό επίπεδο ένταξής τους δεν διαθέτει πόρους. Φυσικό επίπεδο ένταξης για τους γρήγορους χρήστες θεωρείται το μακροκυψελικό και για τους αργούς το μικροκυψελικό.
- Υπάρχει η δυνατότητα **take back**. Δηλαδή οι χρήστες που έκαναν αλλαγή επιπέδου εξυπηρέτησης ελέγχουν συνεχώς το φυσικό τους επίπεδο και επιστρέφουν σε αυτό αν βρουν ελεύθερους πόρους. Αναλυτικότερα αργοί χρήστες που ανέβηκαν στο μακροκυψελικό επίπεδο, ψάχνουν καθώς κινούνται σε αυτό ελεύθερους πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο και επιστρέφουν σε αυτό όταν τους βρουν. Αντίστοιχα γρήγοροι χρήστες που κατέβηκαν στο μικροκυψελικό επίπεδο ψάχνουν καθώς κινούνται ελεύθερους πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο και επιστρέφουν σε αυτό όταν τους βρουν.
- Το σύστημα παρέχει σε όλους τους χρήστες μόνο υπηρεσίες ομιλίας (voice only).

Πριν την μελέτη των επιδόσεων υπενθυμίζεται η ερμηνεία της παραμέτρου P συναρτήσει της οποία γίνονται όλες οι γραφικές ως:

Το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που κατά την είσοδό τους στο σύστημα προσπαθούν να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο.

- Όταν $P \rightarrow 0$ % όλοι οι χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα, στο μικροκυψελικό επίπεδο.
- Όταν $P \rightarrow 100$ % όλοι οι **αργοί** χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα, στο **μικροκυψελικό** επίπεδο και όλοι οι γρήγοροι στο **μακροκυψελικό** επίπεδο.
- Σε κάθε γραφική η παράμετρος P μεταβάλλεται από 0 % έως 100 % με βήμα 10.

Το κάθε μοντέλο εξετάζεται σε τρία είδη φορτίου :

- Χαμηλό (Low) με 200/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)
- Μέτριο (Medium)με 400/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)
- Υψηλό (Heavy) με 600/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)

Για κάθε είδος φορτίου κίνησης εξετάζονται τρεις περιπτώσεις ποσοστών γρήγορων και αργών:

- 90 % Αργοί – 10 % Γρήγοροι
- 70 % Αργοί – 30 % Γρήγοροι
- 50 % Αργοί – 50 % Γρήγοροι

5.4.1 Low Load (200 Users/667 Channels)

Εξετάζοντας υπό συνθήκες χαμηλού φορτίου τα δύο μοντέλα παρατηρούμε ότι για οποιαδήποτε ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών δίνουν μηδενικές τιμές στις Πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking probability) του συστήματος και στις Πιθανότητες διακοπής κλήσεων (Dropping probability) (3_4.1). Το παραπάνω υποδηλώνει την εύρυθμη λειτουργία και των δύο κάτω από συνθήκες χαμηλού φορτίου.

Η διαφορά τους έγκειται στο φορτίο σηματοδοσίας με το οποίο το κάθε ένα επιβαρύνει το σύστημα και το οποίο έχει άμεση σχέση με τον αριθμό των διαπομπών που παρατηρούνται στο κάθε ένα (3_4.2). Μελετώντας τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος κάτω από το ίδιο φορτίο, για κάθε αναλογία ποσοστών αργών και γρήγορων χρηστών αντίστοιχα (3_4.3) παρατηρούμε ξεκάθαρα την υπεροχή του καθαρού τέταρτου μοντέλου, δηλαδή όταν όλοι οι **αργοί** χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο **μικροκυψελικό** επίπεδο και όλοι οι γρήγοροι στο **μακροκυψελικό** επίπεδο ($P \rightarrow 100\%$).

Συνοπτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα τα ποσοστά **μείωσης** του συνολικού αριθμού διαπομπών στο σύστημα καθώς η παράμετρος P μεταβάλλεται από το 0% στο 100%.

Πίνακας 4.1

% Slow - % Fast	Tot.Handovers	Tot.Handovers.Slow	Tot.Handovers.Fast
90 % - 10 %	70%	0%	93,6%
70 % - 30 %	86%	0%	95%
50 % - 50 %	40%	0%	41%

Από τις επιμέρους μετρήσεις που γίνονται μέσω του προσομοιωτή προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Τα αίτια πραγματοποίησης διαπομπών στο σύστημα είναι τα εξής:

   - Διαπομπές αργών χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο.
   - Διαπομπές αργών χρηστών από το μακροκυψελικό στο μικροκυψελικό επίπεδο (take back slow). Υπερροϊκή κίνηση αργών χρηστών δεν παρατηρείται (διαπομπή από μικροκυψελικό σε μακροκυψελικό επίπεδο).
   - Διαπομπές γρήγορων χρηστών που στο 99% των περιπτώσεών τους είναι διαπομπές από το μικροκυψελικό στο μακροκυψελικό επίπεδο (take back fast). Πάντα η υπερροϊκή κίνηση γρήγορων χρηστών είναι ίση με τον αριθμό των take back fast.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το σύνολο των διαπομπών του συστήματος οφείλεται είτε σε διαπομπές αργών στο φυσικό τους επίπεδο, είτε σε take back αυτών, είτε σε take back γρήγορων χρηστών. Με απλά λόγια, η take back ιδιότητα του συστήματος οδηγεί στον πλήρη διαχωρισμό των δύο κατηγοριών χρηστών οι οποίοι μοιάζουν σαν να εξυπηρετούνται εν τέλει από δύο διαφορετικά συστήματα. Οι αργοί από το δικό τους μικροκυψελικό σύστημα και οι γρήγοροι από το δικό τους μακροκυψελικό.

Περιγράφοντας αναλυτικότερα την συμπεριφορά των χρηστών:

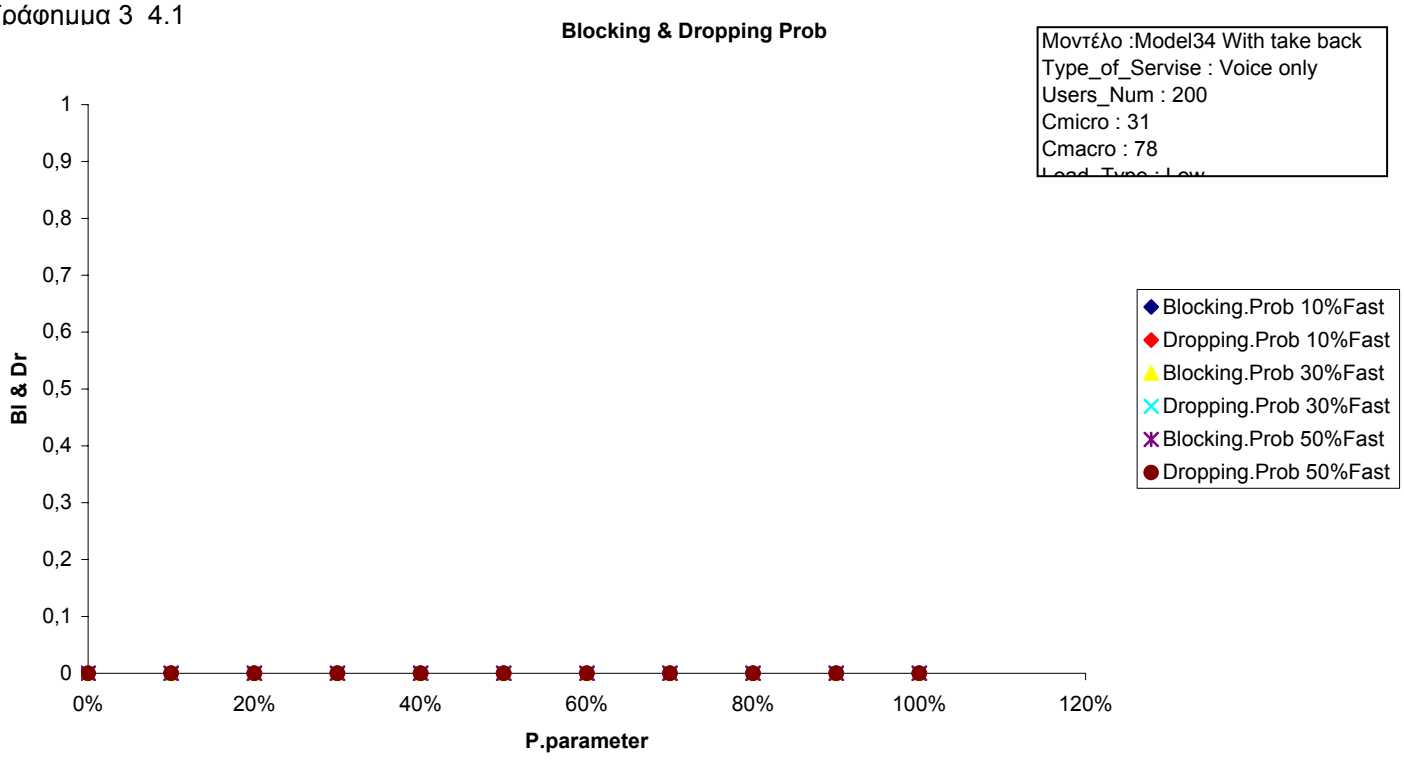
- Οι αργοί χρήστες ασχέτως παραμέτρου P παραμένουν στο φυσικό τους επίπεδο εκτός από τις περιπτώσεις που κατά την είσοδό τους στο σύστημα βρίσκουν μπλοκαρισμένη την μικροκυψέλη που θέλουν, αναγκάζονται να ανέβουν στην μακροκυψέλη και με την πρώτη ευκαιρία επιστρέφουν στο μικροκυψελικό επίπεδο.
- Με τους γρήγορους χρήστες παρατηρούμε ακριβώς το ανάποδο, με την μόνη διαφορά ότι όταν $P \to 0\%$ τότε όλοι εντάσσονται αρχικά κάτω και με την πρώτη ευκαιρία διαπομπής επιστρέφουν στο μακροκυψελικό επίπεδο ενώ όταν $P \to 100\%$ εντάσσονται από την αρχή απάνω και δεν γίνονται άσκοπα επιστροφές γρήγορων χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο παρά μόνο όταν είναι ανάγκη (υπερροϊκή κίνηση γρήγορων χρηστών από το μικροκυψελικό).

Για αυτό και το καθαρό μοντέλο 4 ($P \to 100\%$) έχει καλύτερες επιδόσεις.

2. Παρότι στα μοντέλα που εξετάζουμε τώρα και τα οποία έχουν την δυνατότητα take back, δηλαδή οι χρήστες προσπαθούν να επιστρέψουν στο φυσικό τους επίπεδο, φαίνεται μεν μεγάλη επιβάρυνση εκ πρώτης όψεως αφού το μεγαλύτερο ποσοστό των διαπομπών οφείλεται σε διαπομπές επιστροφής χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο, αλλά αποδεικνύεται ότι έχουν καλύτερες επιδόσεις από τα μοντέλα που δεν έχουν την δυνατότητα take back. Μια πρώτη ανάλυση είναι ότι:

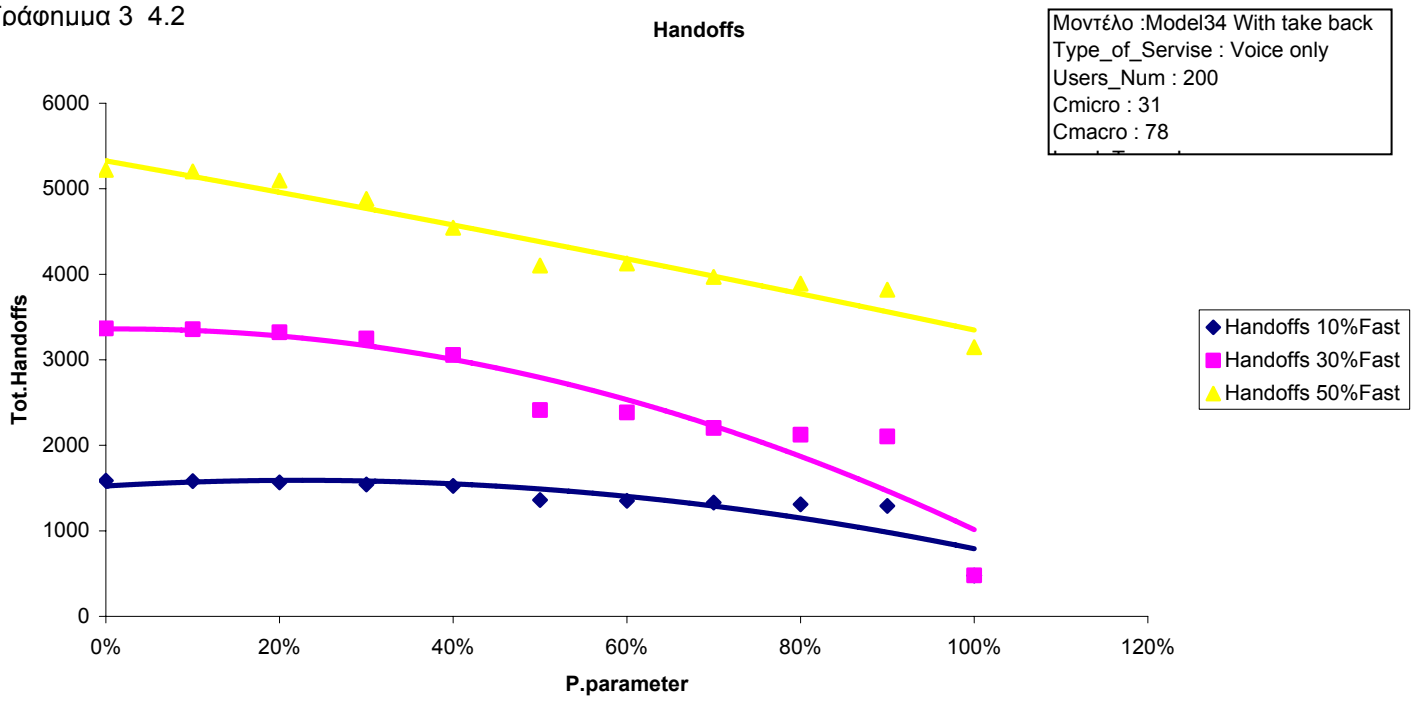
Μπορεί να υπάρχει μεγάλη κίνηση ανάμεσα στα δύο επίπεδα, αλλά τελικά το μοντέλο είναι απαλλαγμένο εντελώς από τις διαπομπές γρήγορων χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο που τελικά αποδεικνύεται ότι αποτελεί πολύ μεγαλύτερο βάρος. Αναλυτικότερα αποτελέσματα υπάρχουν στην επόμενη παράγραφο που γίνεται η σύγκριση των δύο διαφορετικών φιλοσοφιών (με take back , χωρίς take back).

Γράφημα 3_4.1



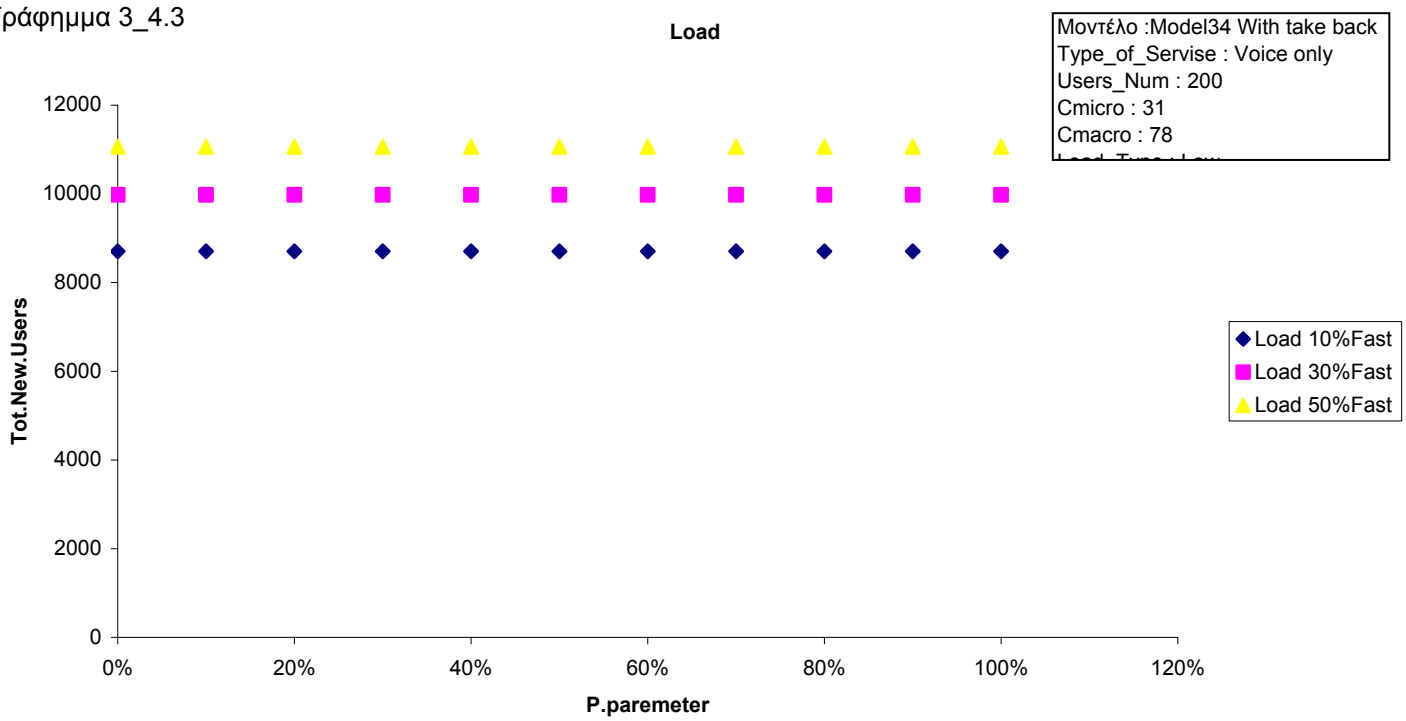
Γράφημα 3_4.1: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων και Πιθανότητα διακοπής κλήσης συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με χαμηλό φορτίο.

Γράφημα 3_4.2



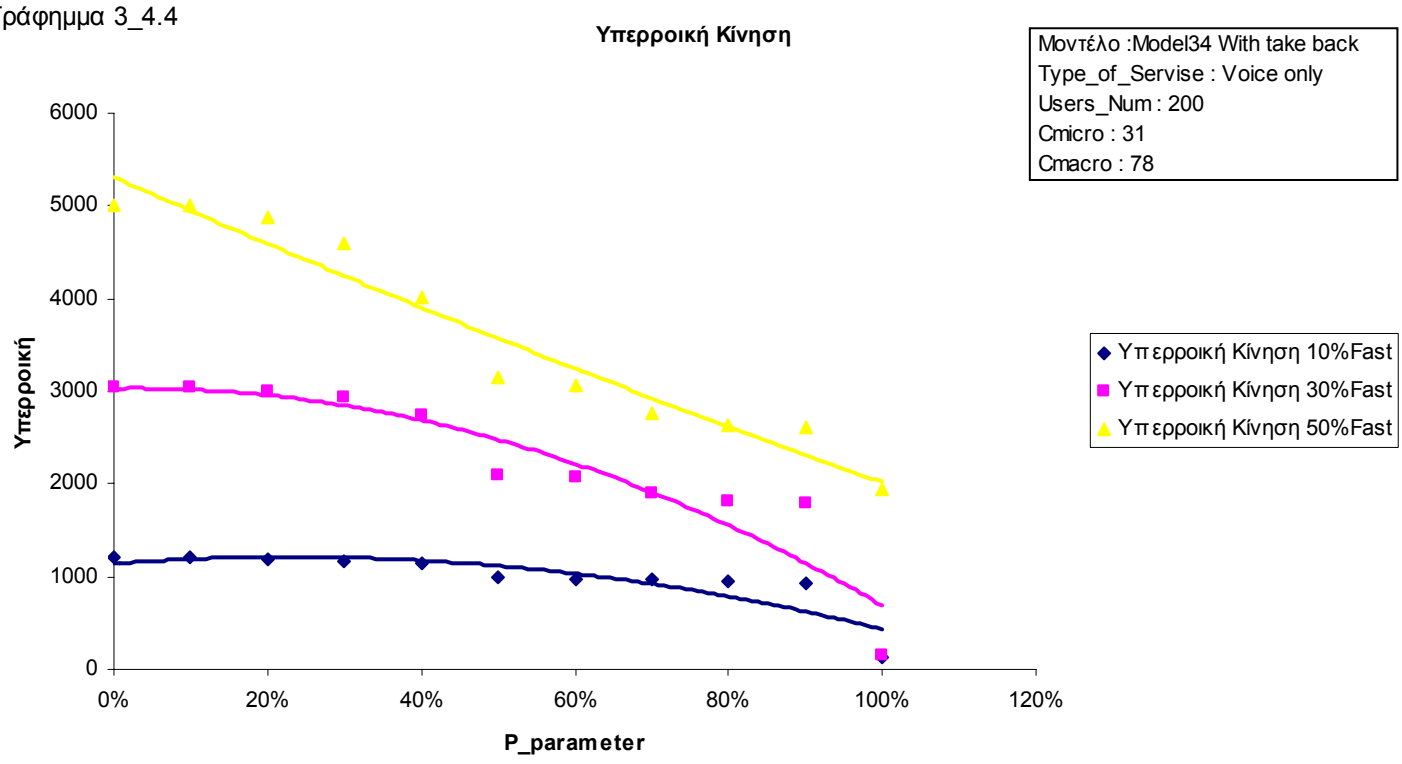
Γράφημα 3_4.2: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με χαμηλό φορτίο.

Γράφημμα 3_4.3



Γράφημα 3_4.3: Συνολικός αριθμός χρηστών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με χαμηλό φορτίο.

Γράφημμα 3_4.4



Γράφημα 3_4.4: Συνολικός αριθμός υπερροϊκής κίνησης του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με χαμηλό φορτίο.

5.4.2 Medium Load (400 Users/667 Channels)

Εξετάζοντας τα μοντέλα 3 και 4 υπό συνθήκες μέτριου φορτίου παρατηρούμε ότι δεν παρουσιάζουν σχεδόν καμία διαφορά στις επιδόσεις τους. Αίτιο αυτού του αποτελέσματος αποτελεί το ότι λόγο μεγαλύτερου αριθμού χρηστών η επίδραση της παραμέτρου P ελαχιστοποιείται και κυριαρχεί η ιδιότητα του take back. Έτσι ακόμα και όταν $P \rightarrow 0\%$, δηλαδή όλοι οι χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο, λόγω του μεγάλου πλέον αριθμού γρήγορων χρηστών αυτοί επιστρέφουν στο μακροκυψελικό επίπεδο καταλαμβάνοντάς το αμέσως.
Έτσι η παράμετρος P χάνει την δύναμή της και γίνεται εμφανής ακόμα περισσότερο ο πλήρης διαχωρισμός των χρηστών σε δύο κατηγορίες , γρήγοροι και αργοί, που εξυπηρετούνται από δύο διαφορετικά επίπεδα στο ίδιο σύστημα, μακροκυψελικό και μικροκυψελικό αντίστοιχα, και η μόνη επικοινωνία μεταξύ τους είναι για να εξυπηρετεί το ένα τους χρήστες του άλλου, μόνο σε περιπτώσεις αποκλεισμού των εκάστοτε χρηστών από το φυσικό τους επίπεδο.

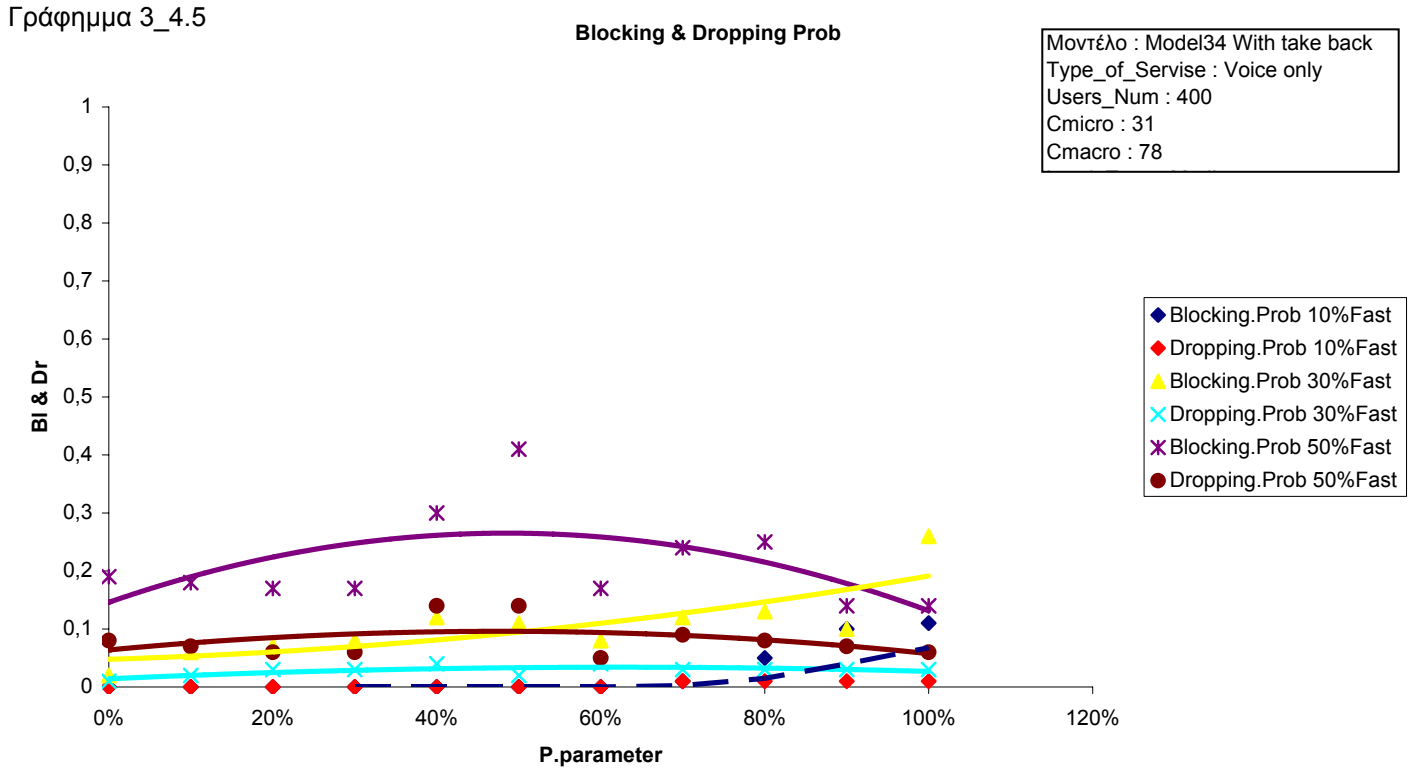
Μπορούν βέβαια να γίνουν δύο παρατηρήσεις:

1. Υπάρχει μικρή αύξηση του Blocking probability (3_4.5) για κάθε τιμή της παραμέτρου P και για κάθε ποσοστό γρήγορων και αργών χρηστών η οποία οφείλεται στο ότι η μακροκυψέλη εξυπηρετεί σχεδόν αποκλειστικά τους γρήγορους χρήστες και όχι τόσο την υπερροϊκή κίνηση των αργών από το μικροκυψελικό επίπεδο, οι οποίοι τελικά οδηγούνται σε αποκλεισμό από το σύστημα. Κάτι τέτοιο παρατηρήθηκε και κατά την εξέταση των μοντέλων που δεν παρέχουν την δυνατότητα take back αλλά μόνο για το καθαρό μοντέλο 2 όπου $P \rightarrow 100\%$, δηλαδή, οι γρήγοροι χρήστες στο μακροκυψελικό επίπεδο.

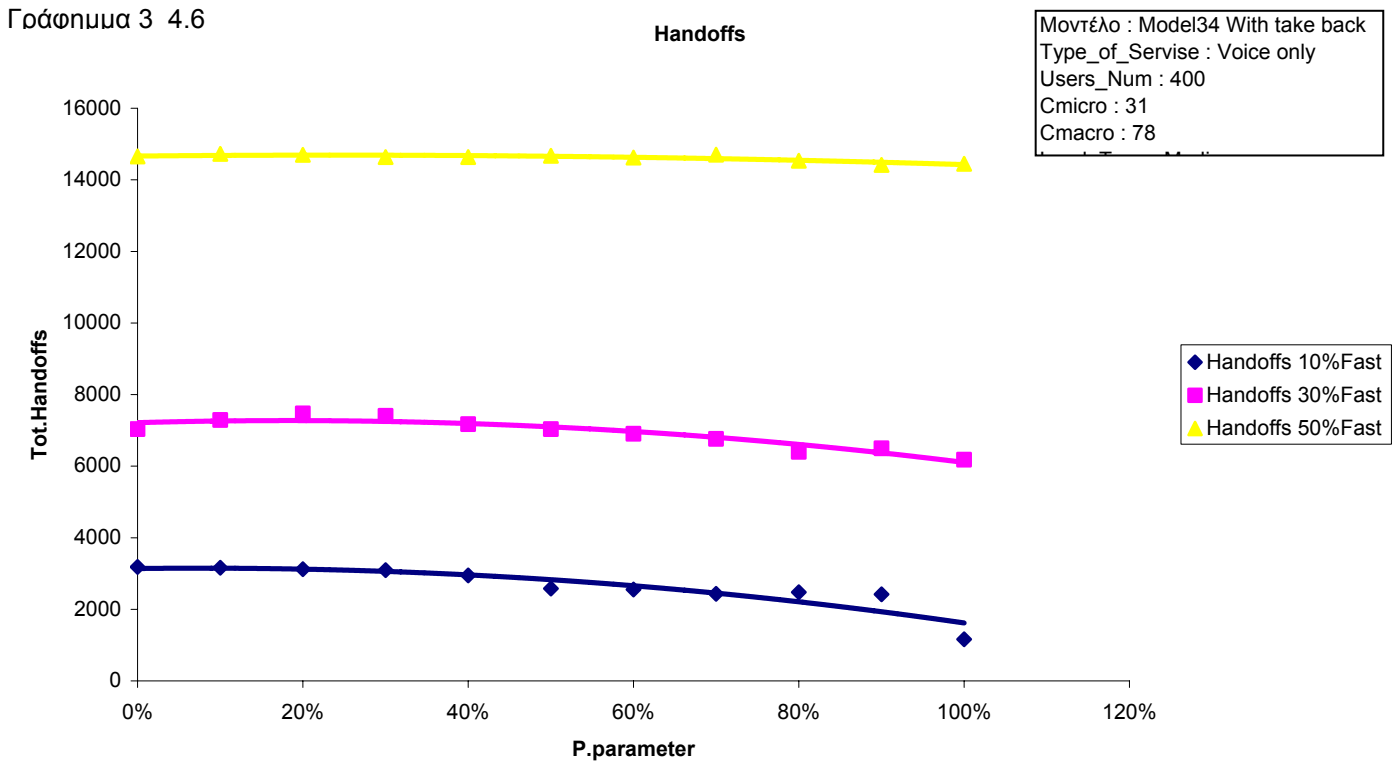
2. Παρά τις πολύ μικρές τους διαφορές ως προς τις επιδόσεις τους, καλύτερο αποδεικνύεται και πάλι το καθαρό μοντέλο 4 ($P \rightarrow 100\%$) και αυτό γιατί λόγω της εξ αρχής ένταξης των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο μειώνονται οι άσκοπες επιστροφές γρήγορων χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο (3_4.8) αλλά γίνονται μόνο όταν είναι ανάγκη (υπερροϊκή κίνηση γρήγορων χρηστών από το μικροκυψελικό επίπεδο) με αποτέλεσμα τη ελάττωση των συνολικών διαπομπών του συστήματος (3_4.6). Συνοπτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα τα ποσοστά **μείωσης** του συνολικού αριθμού διαπομπών στο σύστημα καθώς η παράμετρος P μεταβάλλεται από το 0% στο 100%.

Πίνακας 4.2

% Slow - % Fast	Tot.Handovers
90 % - 10 %	23%
70 % - 30 %	12%
50 % - 50 %	1,4%

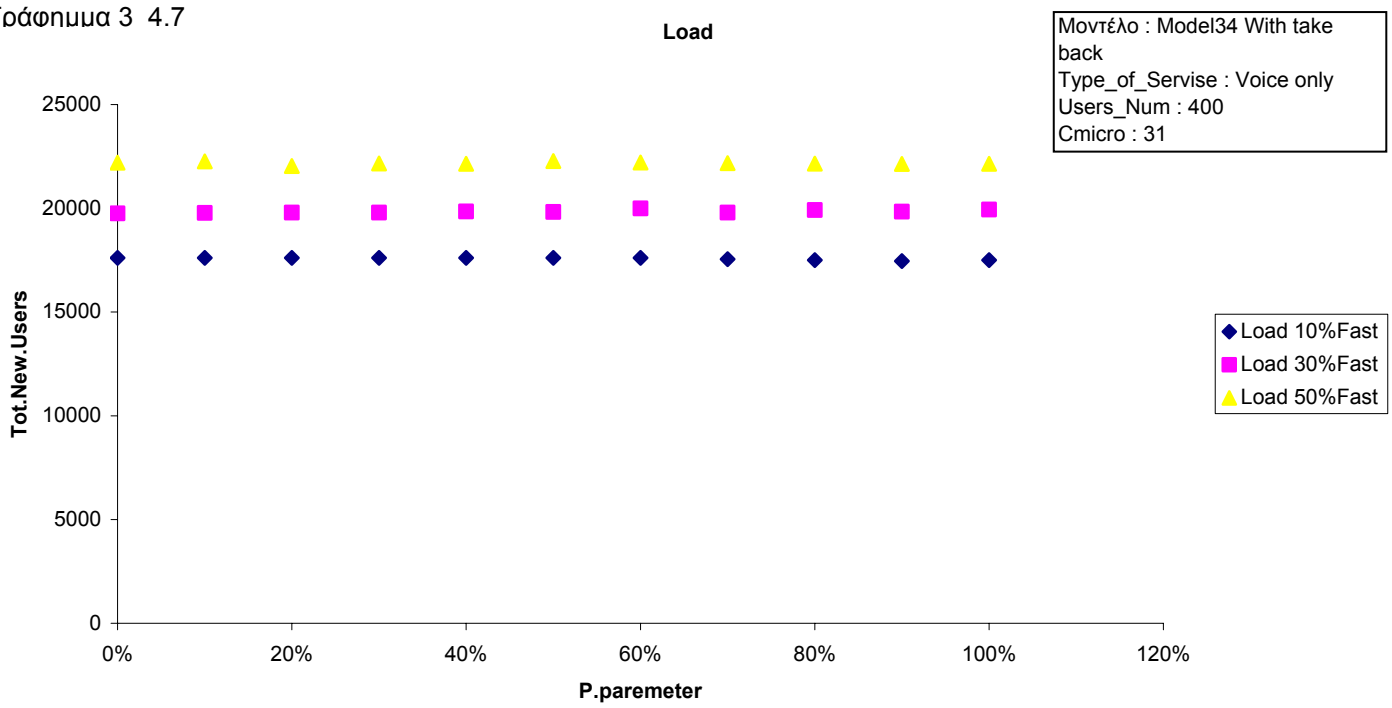


Γράφημα 3_4.5: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων και Πιθανότητα διακοπής κλήσης συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο.



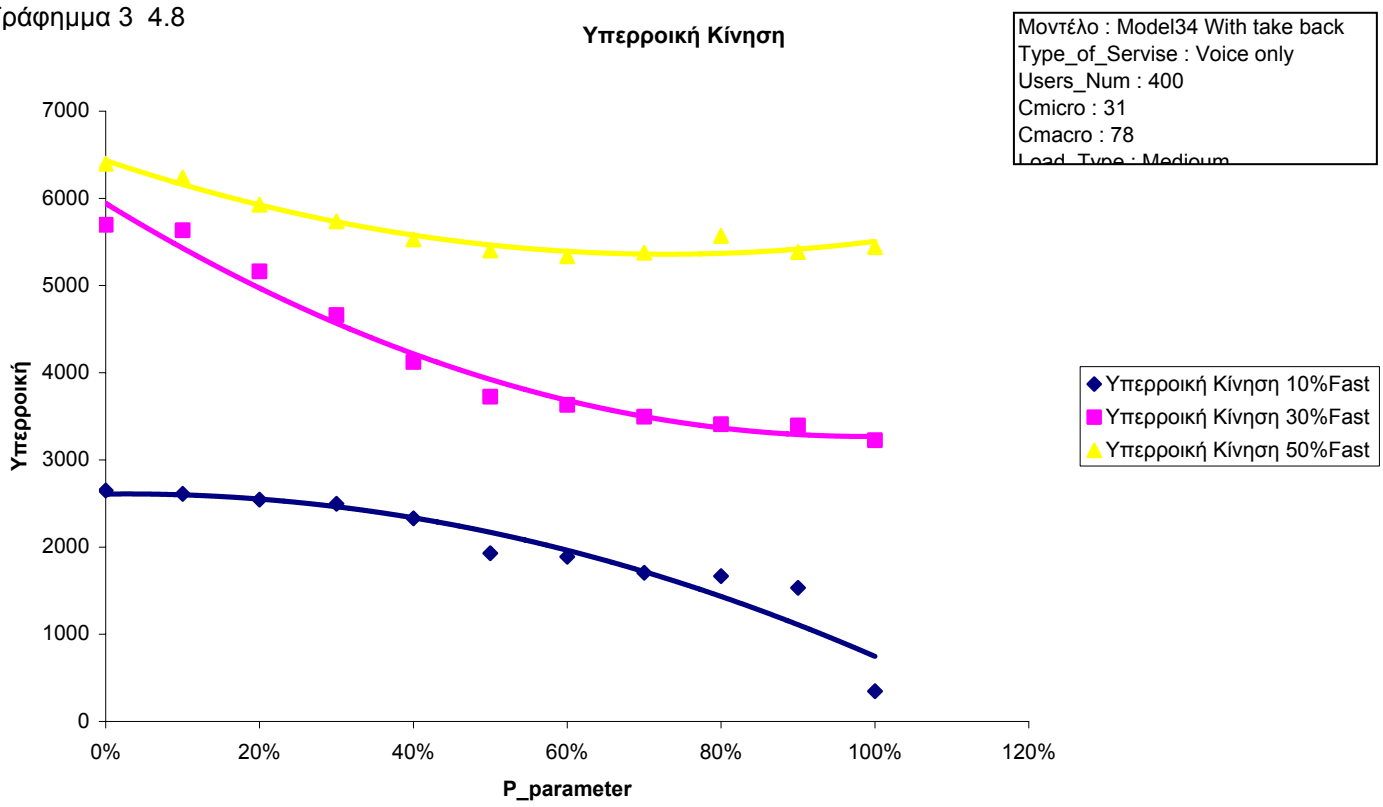
Γράφημα 3_4.6: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο.

Γράφημα 3 4.7



Γράφημα 3_4.7: Συνολικός αριθμός χρηστών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο.

Γράφημα 3 4.8



Γράφημα 3_4.8: Συνολικός αριθμός υπερροϊκής κίνησης του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο.

5.4.3 Heavy Load (600 Users/667 Channels)

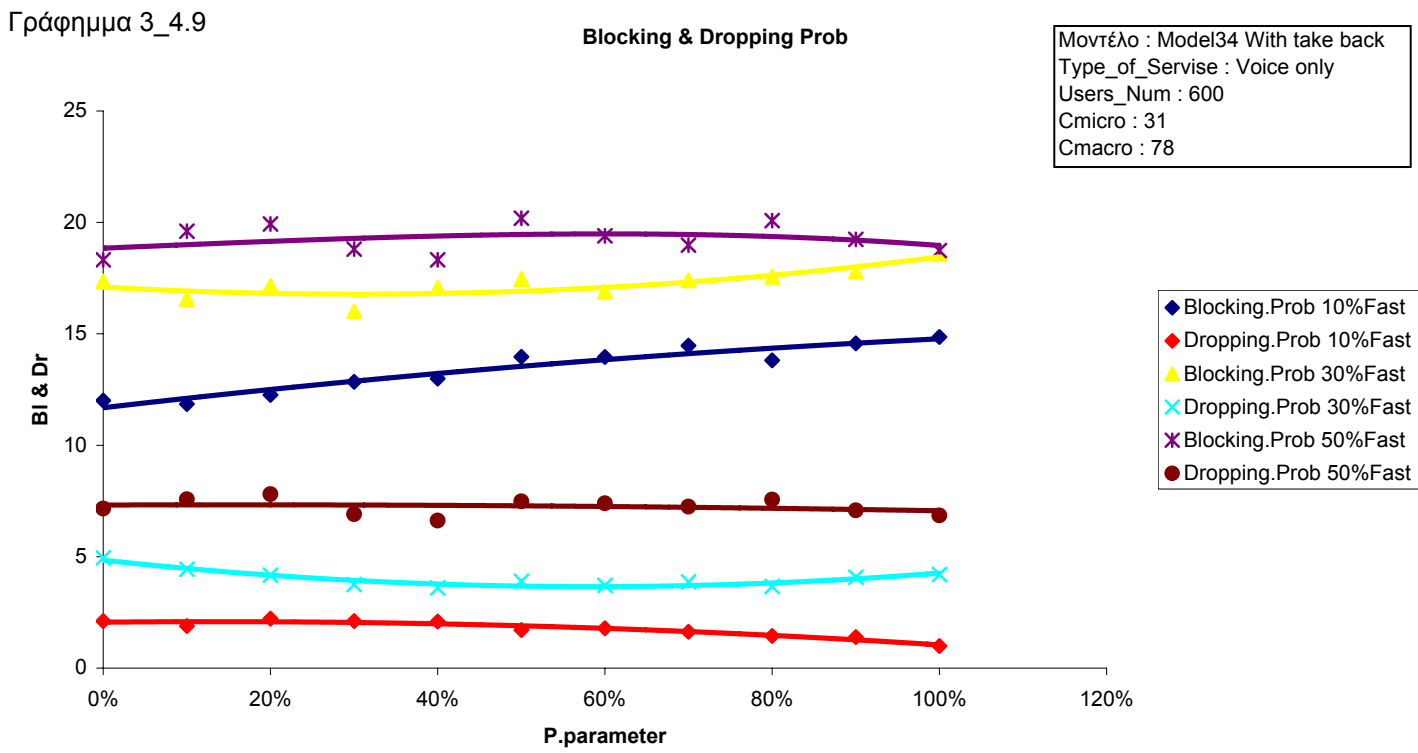
Η μελέτη των μοντέλων 3_4 κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου δίνει απογοητευτικά αποτελέσματα ως προς τις επιδόσεις τους. Το σύστημα σχεδόν καταρρέει όπου, σχεδόν 1 στους 5 χρήστες αποκλείεται και από αυτούς που τελικά καταφέρνουν να εξυπηρετηθούν 1 στους 10 απορρίπτεται κατά την προσπάθεια διαπομπής του (3_4.9). Συνοπτικά έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 3

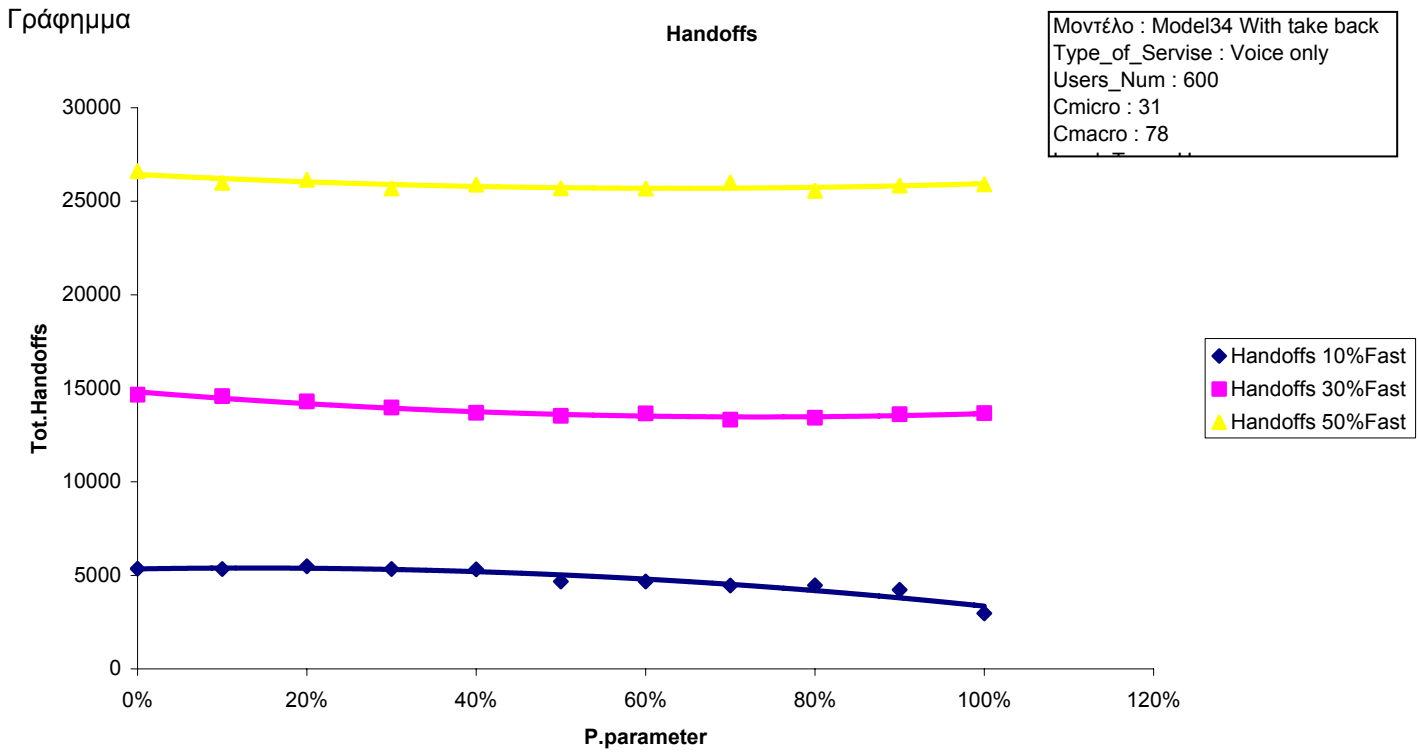
	Blocking.Prob		**Dropping.Prob**	
% Slow - % Fast	**Μοντέλο 3**	**Μοντέλο 4**	**Μοντέλο 3**	**Μοντέλο 4**
90 % - 10 %	12%	14,86%	2%	0,99%
70 % - 30 %	17,35%	18,58%	4,95%	4,2%
50 % - 50 %	18,32%	18,74%	7,16%	6,85%

Όπως παρατηρήσαμε κατά την μελέτη των μοντέλων χωρίς take back σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου πρέπει όλοι οι χρήστες να εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο και να έχουν όλοι την ίδια μοίρα ως προς την πιθανότητα εξυπηρέτησής τους, ώστε η μακροκυψέλη να διαθέτει όλους τους πόρους της στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης. Έχοντας όμως το μοντέλο την take back ιδιότητα και κατ΄ επέκταση αχρηστεύοντας την δυνατότητα της παραμέτρου P να πάρει την τιμή 0%, οι γρήγοροι χρήστες συνεχίζουν να μπλοκάρουν την μακροκυψέλη, αυτή με την σειρά της δεν μπορεί να εξυπηρετήσει την μεγάλη υπερροϊκή κίνηση και το σύστημα καταρρέει.

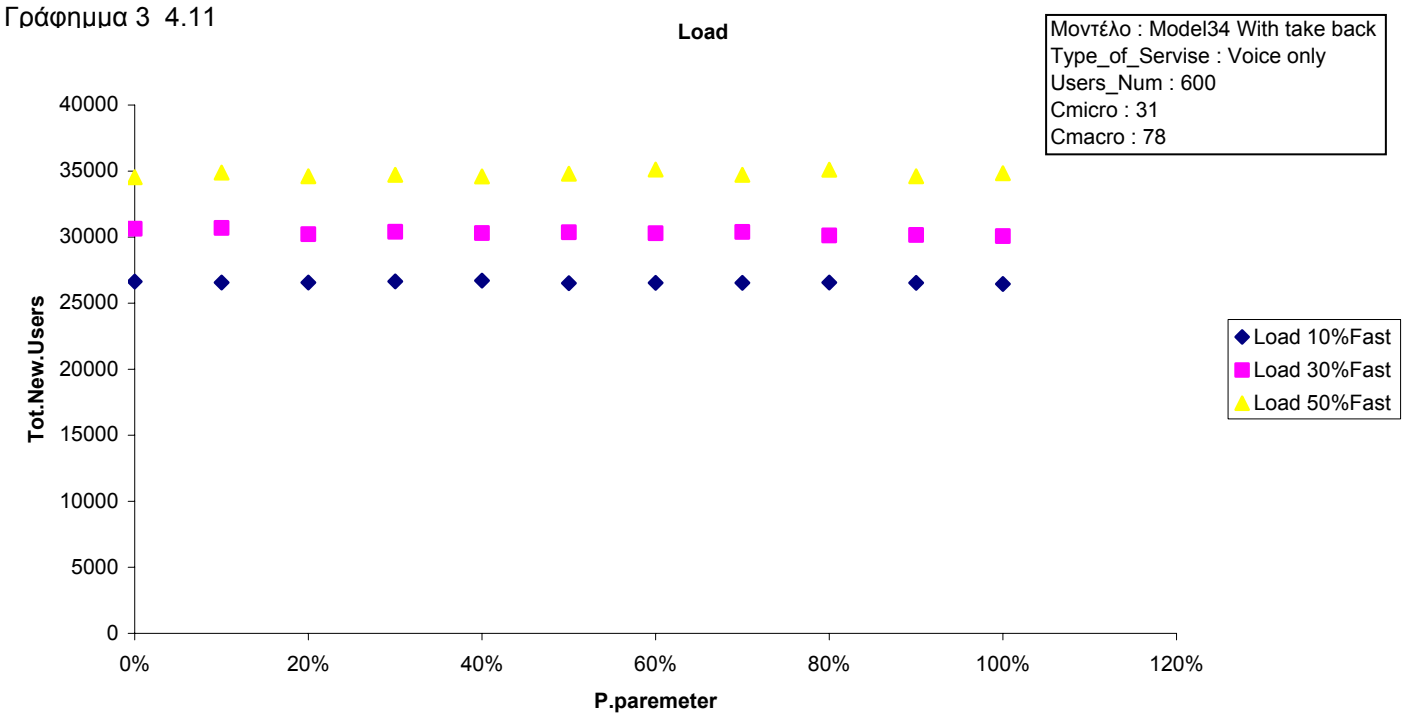
Τα παραπάνω ισχύουν με βάση την κοινά αποδεκτή άποψη ότι σύστημα με πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων κοντά στο 20%, έστω και κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου, δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις QoS κανενός παρόχου υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.



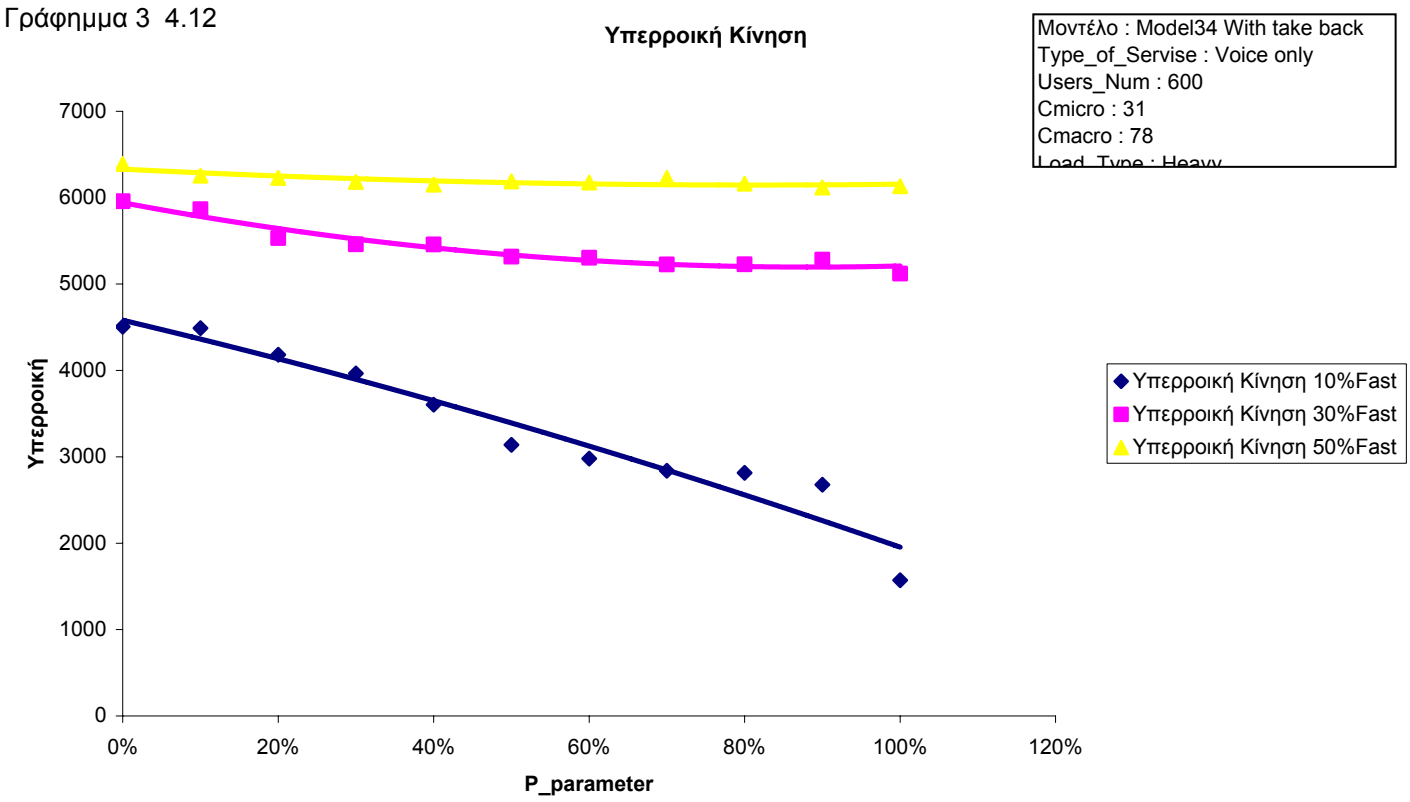
Γράφημα 3_4.9: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων και Πιθανότητα διακοπής κλήσης συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο.



Γράφημα 3_4.10: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο.



Γράφημα 3_4.11: Συνολικός αριθμός χρηστών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο.



Γράφημα 3_4.12: Συνολικός αριθμός υπερροϊκής κίνησης του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο.

5.4.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η ένταξη των αργών χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο και των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο (P $\rightarrow$ 100% Καθαρό Μοντέλο 4) υπερτερεί κάτω από συνθήκες χαμηλού και μέτριου φορτίου, αφού λόγω της μείωσης των άσκοπων διαπομπών που κάνουν οι γρήγοροι χρήστες για να επιστρέψουν στο μακροκυψελικό επίπεδο μειώνεται ο συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση το φορτίο σηματοδοσίας του.

2. Υπό συνθήκες υψηλού φόρτου και τα δύο μοντέλα αποτυγχάνουν, αφού η take back ιδιότητα που έχουν και επί της ουσίας ο διαχωρισμός των χρηστών σε δύο κατηγορίες, γρήγοροι και αργοί, που εξυπηρετούνται από δύο διαφορετικά επίπεδα στο ίδιο σύστημα, μακροκυψελικό και μικροκυψελικό αντίστοιχα, έχουν ως αποτέλεσμα η μακροκυψέλη να χάνει την δυνατότητα εξυπηρέτησης της υπερροϊκής κίνησης αργών χρηστών από το μικροκυψελικό επίπεδο, με αποτέλεσμα το Blocking probability να εκτινάσσεται σε απαγορευτικά επίπεδα τιμών.

3. Πρέπει επίσης να παρατηρήσουμε ότι η παράμετρος P χάνει την μεγάλη της σημασία σε συστήματα που διαθέτουν την ιδιότητα take back, γιατί ακόμα και αν P$\rightarrow$0% και οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται αρχικά στο μικροκυψελικό επίπεδο, αργά ή γρήγορα επιστρέφουν στο μακροκυψελικό. Για αυτό προτείνεται κατά την χρήση μοντέλων με δυνατότητα take back η παράμετρος P να είναι 100%, δηλαδή οι γρήγοροι χρήστες να προσπαθούν εξ αρχής να ενταχθούν στα μακροκυψελικό επίπεδο.

5.5. Συγκριτική Μελέτη Μοντέλων_1_2 και Μοντέλων_3_4

Στο παρόν γίνεται μελέτη και σύγκριση των δύο κυρίαρχων φιλοσοφιών για την υλοποίηση μοντέλων διαχείρισης κλήσεων, που αφορούν ιεραρχικές αρχιτεκτονικές στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Αναλυτικότερα οι δύο κυρίαρχες απόψεις είναι οι εξής:

- Υλοποίηση του μοντέλου διαχείρισης κλήσεων χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα take back των χρηστών. Σε αυτή περίπτωση οι χρήστες κατά την ένταξή τους στο σύστημα εντάσσονται σε κατάλληλο επίπεδο σύμφωνα με τις προσταγές του συστήματος. Αν η παράμετρος $P \rightarrow 0\%$ (μοντέλο1) εντάσσονται ή έστω προσπαθούν να ενταχθούν όλοι στο μικροκυψελικό επίπεδο, αν η παράμετρος $P \rightarrow 100\%$ (μοντέλο2) τότε οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται στο μακροκυψελικό και οι αργοί στο μικροκυψελικό επίπεδο. Μετά την ένταξή τους, δηλαδή όταν πρέπει να εκτελέσουν διαπομπή η κατά την διάρκειά της, ο μόνος λόγος που μπορεί να κάνει κάποιο χρήστη να αλλάξει επίπεδο εξυπηρέτησης είναι να μην βρει διαθέσιμους πόρους στην αντίστοιχη κυψέλη του επιπέδου από το οποίο ήδη εξυπηρετείται και να αναγκαστεί να μεταβεί στο άλλο επίπεδο. Εκπρόσωποι αυτής της λογικής είναι τα μοντέλα 1 και 2.

- Υλοποίηση του μοντέλου διαχείρισης κλήσεων με δυνατότητα take back των χρηστών. Και σε αυτή την περίπτωση οι χρήστες κατά την ένταξή τους στο σύστημα εντάσσονται σε κατάλληλο επίπεδο σύμφωνα με τις προσταγές του συστήματος. Αν η παράμετρος $P \rightarrow 0\%$ (μοντέλο 3) εντάσσονται ή έστω προσπαθούν να ενταχθούν όλοι στο μικροκυψελικό επίπεδο, αν η παράμετρος $P \rightarrow 100\%$ (μοντέλο 4) τότε οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται στο μακροκυψελικό και οι αργοί στο μικροκυψελικό επίπεδο. Μετά την ένταξή τους όμως, αν λόγω συνθηκών έχουν μεταφερθεί και εξυπηρετούνται από επίπεδο το οποίο δεν είναι το φυσικό τους, ελέγχουν συνεχώς αν έχουν την δυνατότητα να επιστρέψουν σε αυτό. Συγκεκριμένα:

    1. Αν ένας αργός χρήστης έχει ανέβει στο μακροκυψελικό επίπεδο λόγω ανάγκης (μη εύρεση διαθέσιμων πόρων στην μικροκυψέλη που κάνει διαπομπή) και συνεχίζει την κλήση του, ελέγχει συνέχεια το μικροκυψελικό επίπεδο και επιστρέφει σε αυτό όποτε μπορεί.
    2. Αντίστοιχη διαδικασία προβλέπεται και για τους γρήγορους που λόγω ανάγκης έχουν κατέβει στο μικροκυψελικό επίπεδο. Ελέγχουν συνέχεια το μακροκυψελικό επίπεδο και επιστρέφουν σε αυτό όποτε μπορούν, δηλαδή όταν βρουν διαθέσιμους πόρους σε αυτό.

  Εκπρόσωποι αυτής της λογικής είναι τα μοντέλα 3 και 4.

Στις προηγούμενες ενότητες έγινε σύγκριση των επιδόσεων των μοντέλων που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, δηλαδή του μοντέλου 1 με το μοντέλο 2 (δεν έχουν take back) και του μοντέλου 3 με το μοντέλο 4 (έχουν take back). Η διαφορά τους, ανά δύο, αφορούσε την τιμή της παραμέτρου P η οποία εκφράζει:

Το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που κατά την είσοδό τους στο σύστημα προσπαθούν να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο.

- Όταν $P \rightarrow 0$ % όλοι οι χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο μικροκυψελικό επίπεδο.(1 και 3 μοντέλα)
- Όταν $P \rightarrow 100$ % όλοι οι **αργοί** χρήστες προσπαθούν να ενταχθούν κατά την είσοδό τους στο σύστημα στο **μικροκυψελικό** επίπεδο και όλοι οι γρήγοροι στο **μακροκυψελικό** επίπεδο.(2 και 4 μοντέλα)
- Εκτός από τις ακραίες αυτές περιπτώσεις τα μοντέλα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία εξετάστηκαν για όλες τις τιμές της παραμέτρου P.

Τα μοντέλα με ενδιάμεσες τιμές της παραμέτρου P αποδείχτηκε ότι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αφού πάντα οι ακραίες τιμές της παραμέτρου έδιναν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Επίσης η μελέτη των επιδόσεών τους έγινε για τρία είδη φορτίου στο σύστημα χαμηλό, μέτριο, υψηλό και για το κάθε ένα εξετάστηκαν 3 διαφορετικά ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών :

- 90 % Αργοί – 10 % Γρήγοροι
- 70 % Αργοί – 30 % Γρήγοροι
- 50 % Αργοί – 50 % Γρήγοροι

Στην συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά τα αποτελέσματα χωρίς περαιτέρω ανάλυση αφού αυτή έχει ήδη γίνει.

Μοντέλα χωρίς take back

ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΙΟ	ΜΟΝΤΕΛΟ 1 ($P \rightarrow 0\%$)	ΜΟΝΤΕΛΟ 2 ($P \rightarrow 100\%$)
ΧΑΜΗΛΟ		**Καλύτερο** *για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων*
ΜΕΤΡΙΟ		**Καλύτερο** *για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων*
ΥΨΗΛΟ	**Καλύτερο** *για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων*	

Μοντέλα με take back

ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΙΟ	ΜΟΝΤΕΛΟ 3 (P $\rightarrow$ 0%)	ΜΟΝΤΕΛΟ 4 (P $\rightarrow$ 100%)
ΧΑΜΗΛΟ		**Καλύτερο** *για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων*
ΜΕΤΡΙΟ		**Καλύτερο** *για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων*
ΥΨΗΛΟ	*Οι επιδόσεις τους είναι τόσο χαμηλές, οδηγώντας το σύστημα σε μεγάλο αποκλεισμό.*	

Στην συνέχεια γίνεται η σύγκριση των δύο διαφορετικών στρατηγικών υλοποίησης και ως προς τις επιδόσεις τους για κάθε είδος φορτίου ξεχωριστά, αλλά και ως προς τις απαιτήσεις τους από το σύστημα το οποίο τις υλοποιεί. Σε κάθε είδος φορτίου συγκρίνονται κυρίως οι καλύτεροι εκπρόσωποι από τις δύο στρατηγικές αλλά και οι γενικότερες επιδόσεις τους.

Παρατηρήσεις :

Για γραφικές οι οποίες δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ο αναγνώστης καλείται να ανατρέξει στις προηγούμενες σελίδες του κεφαλαίου αφού η επανάληψη τους θεωρήθηκε άσκοπη. Οι υπόλοιπες, που αναδεικνύουν τα συμπεράσματα της σύγκρισης όχι μόνο ξαναπαρουσιάζονται, αλλά γίνεται και σύμπτυξή τους για να γίνεται πάντα εμφανής η ορθότητα των πορισμάτων που προκύπτουν.

5.5.1 Low Load (200 Users/667 Channels)

Κάτω από χαμηλές συνθήκες φορτίου [(1_2.3) (3_4.3)] τα μοντέλα που εκπροσωπούν τις διαφορετικές στρατηγικές παρουσιάζουν για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων χρηστών την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τις Πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking probability) του συστήματος και τις Πιθανότητες διακοπής κλήσεων (Dropping probability), δίνοντας πάντα μηδενικές τιμές σε αυτές τις καθοριστικές παραμέτρους (1_2.1) (3_4.1). Άρα δεν μελετάμε την αξιοπιστία τους, αφού είναι πλήρως αξιόπιστα αλλά το φόρτο που προσδίδουν στο σύστημα. Ειδικότερα πρέπει να συγκριθεί ο φόρτος του συστήματος όσον αφορά το φορτίο σηματοδοσίας που προέρχεται από τον αριθμό των διαπομπών.

Η σύγκριση που ακολουθεί γίνεται μεταξύ του μοντέλου 2 ($P \rightarrow 100\%$) και 4 ($P \rightarrow 100\%$) ως τους καλύτερους εκπροσώπους από κάθε στρατηγική. Βεβαίως στις γραφικές που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε τιμή της παραμέτρου P.

Αποδεικνύεται ότι σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου κίνησης το μοντέλο που έχει την ιδιότητα take back με P $\rightarrow$ 100% (μοντέλο 4) έχει καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τον αριθμό των διαπομπών και κατ΄ επέκταση το φορτίο σηματοδοσίας τους συστήματος σε σχέση με το μοντέλο που δεν παρέχει την δυνατότητα take back με P $\rightarrow$ 100% (μοντέλο 2).

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των γραφικών (1_2.2) (3_4.2), τα οποία ομαδοποιούνται στο γράφημα (5.1) για ευκολότερη σύγκριση, που αφορούν τον αριθμό των διαπομπών στο σύστημα, έχω για P $\in [90\%,100\%]^{**}$ τα εξής αποτελέσματα όσον αφορά την ποσοστιαία μείωση του συνολικού αριθμού των διαπομπών του συστήματος στο μοντέλο 4 (taka back) σε σχέση με το μοντέλο 2 (no take back).

Πίνακας 5.1

% Slow - % Fast	Handovers	Handovers. Slow	Handovers. Fast
90 % - 10 %	(Μείωση) 34%	(Αύξηση) 11%	(Μείωση) 51%
70 % - 30 %	(Μείωση) 38%	(Αύξηση) 9,6%	(Μείωση) 52%
50 % - 50 %	(Μείωση) 12%	(Αύξηση) 4,5%	(Μείωση) 5%

** Θεωρώ ότι P $\in [90\%,100\%]$ και παίρνω την μέση τιμή των αποτελεσμάτων για P=90% και P=100% γιατί δεν μπορώ να υποστηρίξω ότι καθ΄ όλη την διάρκεια της προσομοίωσης η παράμετρος P είχε μονίμως την τιμή 100% λόγω τις συνεχούς μεταβολής του τοπίου προσομοίωσης κάθε χρονική στιγμή, αλλά ότι $P \rightarrow 100\%$.

Το αίτιο αυτής της μείωσης του συνολικού αριθμού των διαπομπών του μοντέλου 4 (με take back) σε σχέση με το μοντέλο 2 (χωρίς take back) είναι η μεγάλη μείωση του αριθμού των διαπομπών των γρήγορων χρηστών όπως αυτό φαίνεται στην τρίτη στήλη του πίνακα 5.1.

Ακόμα και στην περίπτωση 50% αργοί, 50% γρήγοροι, που η μείωση των διαπομπών των γρήγορων χρηστών είναι 5% δεν είναι παράλογο το ότι η μείωση των συνολικών διαπομπών είναι 12%, αν αναλογιστούμε ότι οι διαπομπές γρήγορων χρηστών αποτελούν κατά μέσο όρο το 80% των συνολικών διαπομπών και είναι αυτές που επί τις ουσίας διαμορφώνουν το συνολικό αποτέλεσμα των διαπομπών στο σύστημα.

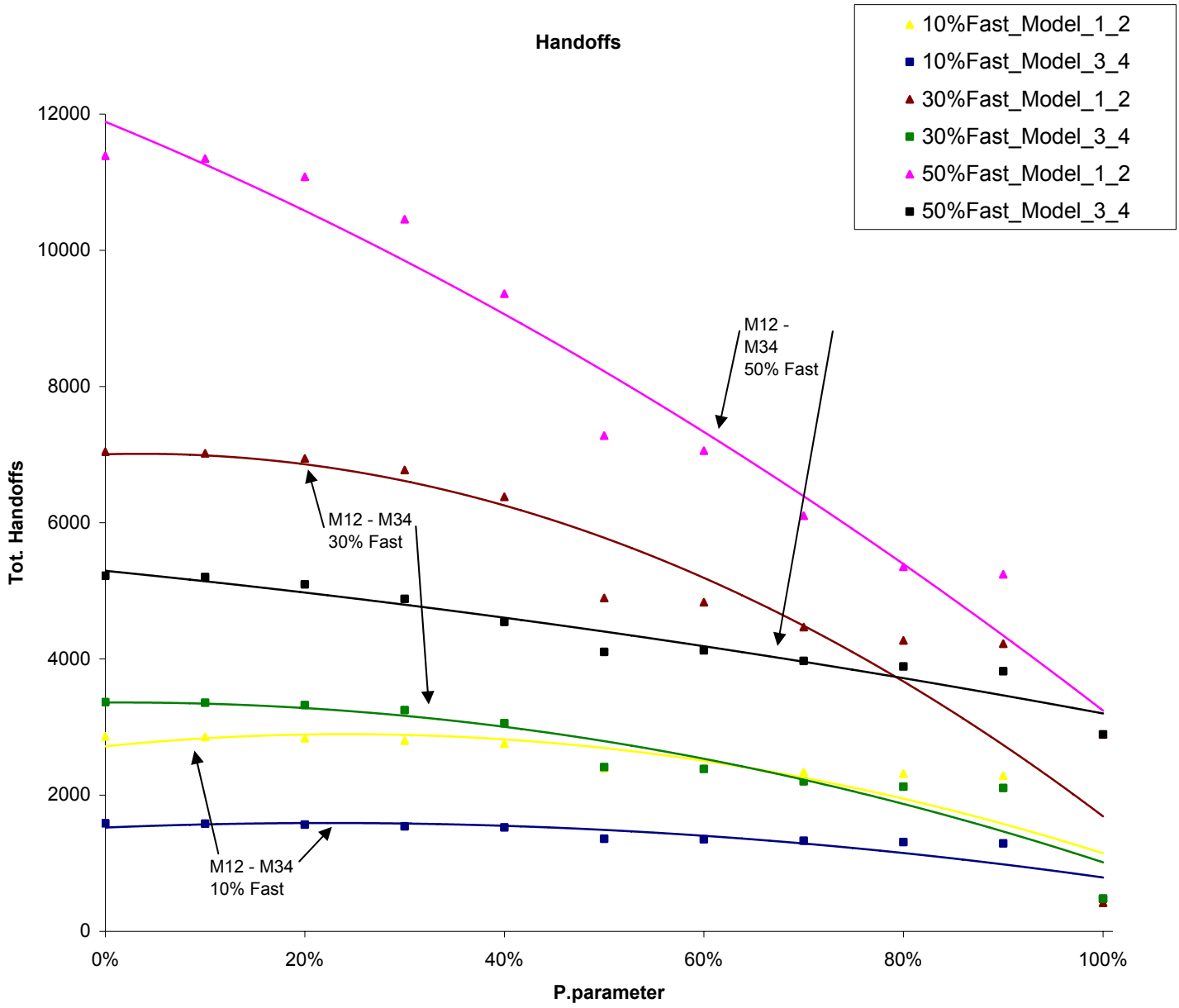
Το ερώτημα που πρέπει τώρα να απαντηθεί είναι το γιατί υπάρχει αυτή η μείωση των διαπομπών των γρήγορων χρηστών στο μοντέλο με take back σε σχέση με το μοντέλο χωρίς take back;

Η απάντηση είναι ότι στο μοντέλο χωρίς take back οι γρήγοροι χρήστες που δεν εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο κατά την είσοδό τους στο σύστημα, λόγω της μη ύπαρξης διαθέσιμων πόρων στην μακροκυψέλη, αναγκαστικά εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο και τερματίζουν την κλήση τους σε αυτό. Έτσι, χωρίς να έχουν την δυνατότητα να επιστρέψουν στο μακροκυψελικό επίπεδο, συνεχίζουν την κλήση τους στο μικροκυψελικό, ΄΄προσφέροντας΄΄ (αδικαιολόγητα) διαπομπές στο σύστημα.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, στο μοντέλο με take back, η ίδια κατηγορία χρηστών, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, επανέρχεται σύντομα στο μακροκυψελικό επίπεδο (αφού υπό συνθήκες χαμηλού φορτίου ή μακροκυψέλη αποσυμφορίζεται γρήγορα) σταματώντας την άσκοπη περιπλάνησή τους στο μικροκυψελικό επίπεδο και ταυτόχρονα μειώνοντας το φορτίο σηματοδοσίας του συστήματος.

Καταλήγοντας επαναλαμβάνεται το αποτέλεσμα της μελέτης και παρατίθενται οι γραφικές που τεκμηριώνουν τα παραπάνω. Ανακεφαλαιώνοντας,

Σε περιπτώσεις χαμηλού φορτίου κίνησης το μοντέλο που έχει την ιδιότητα take back με P $\rightarrow$ 100% (μοντέλο 4) έχει καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τον αριθμό των διαπομπών και κατ΄ επέκταση το φορτίο σηματοδοσίας τους συστήματος σε σχέση με το μοντέλο που δεν παρέχει την δυνατότητα take back με P $\rightarrow$100% (μοντέλο 2).



Γράφημα 5.1: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλων_1_2 και μοντέλων_3_4 με χαμηλό φορτίο.

Ειδικότερα:

- **10% Γρήγορους χρήστες:**

Μοντέλα_1_2 (NO take back) == ΚΙΤΡΙΝΟ **Μοντέλα_3_4 (Take back) == ΜΠΛΕ**

- **30% Γρήγορους χρήστες:**

Μοντέλα_1_2 (NO take back) == ΚΑΦΕ **Μοντέλα_3_4 (Take back) == ΠΡΑΣΙΝΟ**

- **50% Γρήγορους χρήστες:**

Μοντέλα_1_2 (NO take back) == ΡΟΖ **Μοντέλα_3_4 (Take back) == ΜΑΥΡΟ**

ΕΙΝΑΙ ΕΜΦΑΝΗΣ Η ΥΠΕΡΟΧΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 4 (ΜΕ TAKE BACK και P → 100%) ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ 2 (ΧΩΡΙΣ TAKE BACK και P → 100%) .

5.4.2 Medium Load (400 Users/667 Channels)

Κάτω από μέτριο φορτίο, τα μοντέλα που εκπροσωπούν τις διαφορετικές στρατηγικές παρουσιάζουν για κάθε ποσοστό αργών και γρήγορων χρηστών την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τις Πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking probability) του συστήματος και τις Πιθανότητες διακοπής κλήσεων (Dropping probability), δίνοντας μικρές τιμές σε αυτές τις καθοριστικές παραμέτρους.

Καθώς όμως η σύγκριση που ακολουθεί γίνεται μεταξύ του μοντέλου 2 ($P \rightarrow 100\%$) και 4 ($P \rightarrow 100\%$) ως τους καλύτερους εκπροσώπους από κάθε στρατηγική παρατηρούμε ότι το μοντέλο με την δυνατότητα take back (μοντέλο 4) **υπερτερεί**, σε μικρό βέβαια βαθμό, έναντι του μοντέλου χωρίς την δυνατότητα take back (μοντέλο 2). Το παραπάνω γίνεται εμφανές στα αποτελέσματα του πίνακα 5.2 που παρουσιάζεται το Blocking probability που εμφανίζουν τα δύο μοντέλα .

Πίνακας 5.2

% Slow - % Fast	**Μοντέλο 2 ($P \rightarrow 100\%$)**	**Μοντέλο 4 ($P \rightarrow 100\%$)**
90 % - 10 %	0,15%	0,11%
70 % - 30 %	0,16%	0,16%
50 % - 50 %	0,26%	0,14%

Για την επιβεβαίωση των παραπάνω στα γραφήματα (5.2), (5.3),(5.4) παρουσιάζεται η Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων 2 και 4, για ποσοστά γρήγορων χρηστών 10%, 30%, 50% αντίστοιχα.

Όσον αφορά στο συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση το φορτίο σηματοδοσίας του, τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα ως προς το πιο μοντέλο υπερτερεί. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των γραφικών (1_2.6) (3_4.6) που αφορούν στον αριθμό των διαπομπών στο σύστημα, έχω για $P \in [90\%,100\%]^{**}$ τα εξής αποτελέσματα (πίνακας 5.3) όσον αφορά την ποσοστιαία μείωση του συνολικού αριθμού των διαπομπών του συστήματος στο μοντέλο 4 σε σχέση με το μοντέλο 2.

(Το – συμβολίζει ότι αντί για μείωση γίνεται η αντίστοιχη ποσοστιαία αύξηση)

Πίνακας 5.3

% Slow - % Fast	Handovers	Handovers. Slow	Handovers. Fast
90 % - 10 %	27%	(Αύξηση)5%	42%
70 % - 30 %	-1,9%	(Αύξηση)0%	-4%
50 % - 50 %	-2,8%	(Αύξηση)0,3%	-3%

** Θεωρώ ότι P $\in$[90%,100%] και παίρνω την μέση τιμή των αποτελεσμάτων για P=90% και P=100% γιατί δεν μπορώ να υποστηρίξω ότι καθ΄ όλη την διάρκεια της προσομοίωσης η παράμετρος P είχε μονίμως την τιμή 100% λόγω τις συνεχούς μεταβολής του τοπίου προσομοίωσης κάθε χρονική στιγμή αλλά ότι P $\rightarrow$ 100%.

Για την επιβεβαίωση των παραπάνω στα γραφήματα (5.5), (5.6),(5.7) παρουσιάζουμε τον συνολικό αριθμό των διαπομπών των μοντέλων 2 και 4, για ποσοστά γρήγορων χρηστών 10%, 30%, 50% αντίστοιχα.

Παρατηρούνται τα εξής:

1. Για μικρό ποσοστό γρήγορων χρηστών στο σύστημα (Γράφημα 5.5) υπερτερεί το μοντέλο με την take back δυνατότητα (μοντέλο 4) λόγω της μείωσης του συνολικού αριθμού των διαπομπών που παρουσιάζει σε σχέση με το μοντέλο χωρίς την take back δυνατότητα (μοντέλο 2). Ο λόγος που συμβαίνει κάτι τέτοιο εξηγήθηκε στην περίπτωση του χαμηλού φορτίου. Περιληπτικά τον επαναλαμβάνουμε. Στο μοντέλο χωρίς take back οι γρήγοροι χρήστες που δεν εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο κατά την είσοδό τους στο σύστημα, λόγω της μη ύπαρξης διαθέσιμων πόρων στην μακροκυψέλη, αναγκαστικά εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο και τερματίζουν την κλήση τους σε αυτό. Έτσι, χωρίς να έχουν την δυνατότητα να επιστρέψουν στο μακροκυψελικό επίπεδο, συνεχίζουν την κλήση τους στο μικροκυψελικό, ΄΄προσφέροντας΄΄ (αδικαιολόγητα) διαπομπές στο σύστημα.

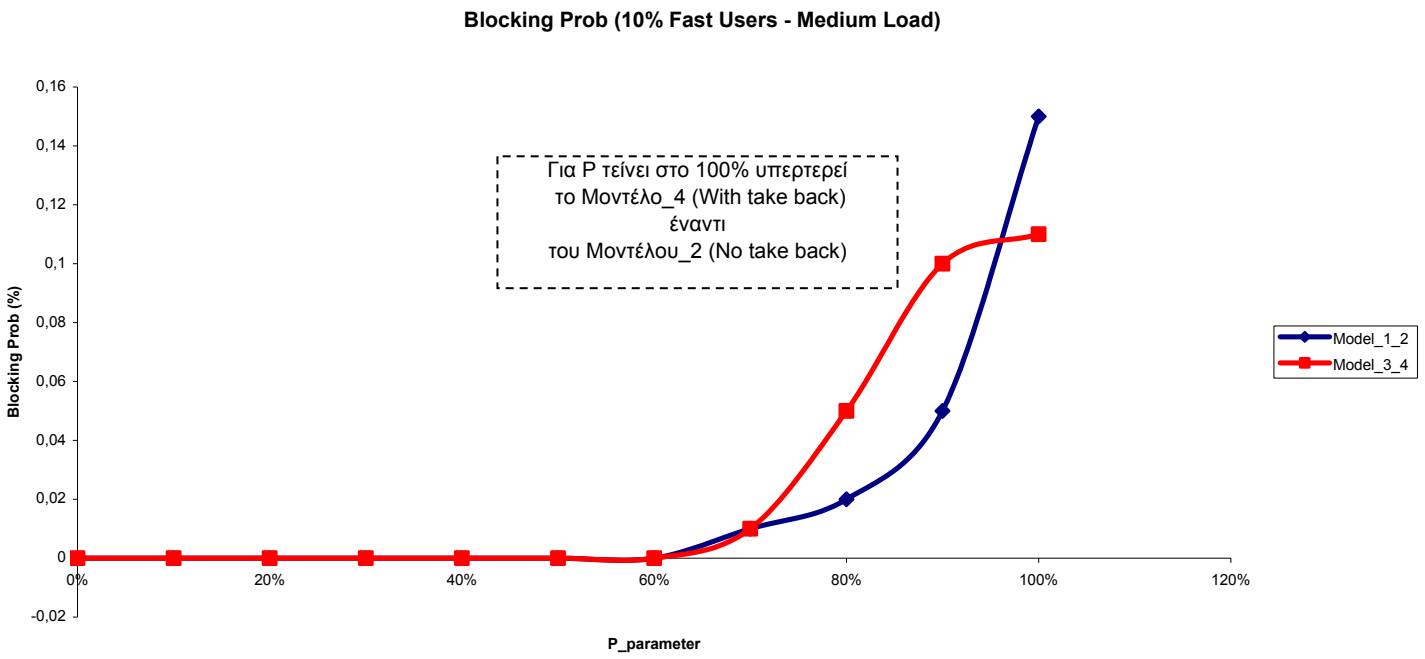
2. Καθώς όμως αυξάνεται το ποσοστό των γρήγορων χρηστών (Γράφημα 5.6 και 5.7) στο σύστημα ο αριθμός των διαπομπών που κάνουν οι γρήγοροι χρήστες που αναγκαστικά τερματίζουν την κλήση τους στο μικροκυψελικό επίπεδο στο προηγούμενο σενάριο, στο μοντέλο χωρίς take back, φαίνεται να μην είναι τόσο μεγάλη επιβάρυνση αφού ο αντίστοιχος αριθμός διαπομπών που κάνουν οι γρήγοροι χρήστες επιστρέφοντας στο μακροκυψελικό επίπεδο, στο μοντέλο με take back αυξάνεται πάρα πολύ, λόγω του μεγάλου αριθμητικά πληθυσμού τους. Με απλά λόγια η επιστροφή των γρήγορων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο προκαλεί τον ίδιο αριθμό διαπομπών με το να έμεναν και να τερμάτιζαν την κλήση τους στο μικροκυψελικό επίπεδο. Έτσι παρατηρούμε στον πίνακα 5.3 ότι για ποσοστά γρήγορων χρηστών μεγαλύτερα του 30% έχουμε σχεδόν ίδιες επιδόσεις από τα δύο μοντέλα. (Παρατηρείται πολύ μικρή υπεροχή του μοντέλου χωρίς take back #2).

Ολοκληρώνοντας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι σε συνθήκες μέτριου φορτίου και πάλι υπερτερεί το μοντέλο με την δυνατότητα take back και $P \rightarrow 100\%$ έναντι του μοντέλου χωρίς την δυνατότητα take back και $P \rightarrow 100\%$ παρόλη την μικρή τους διαφορά για δύο λόγους:

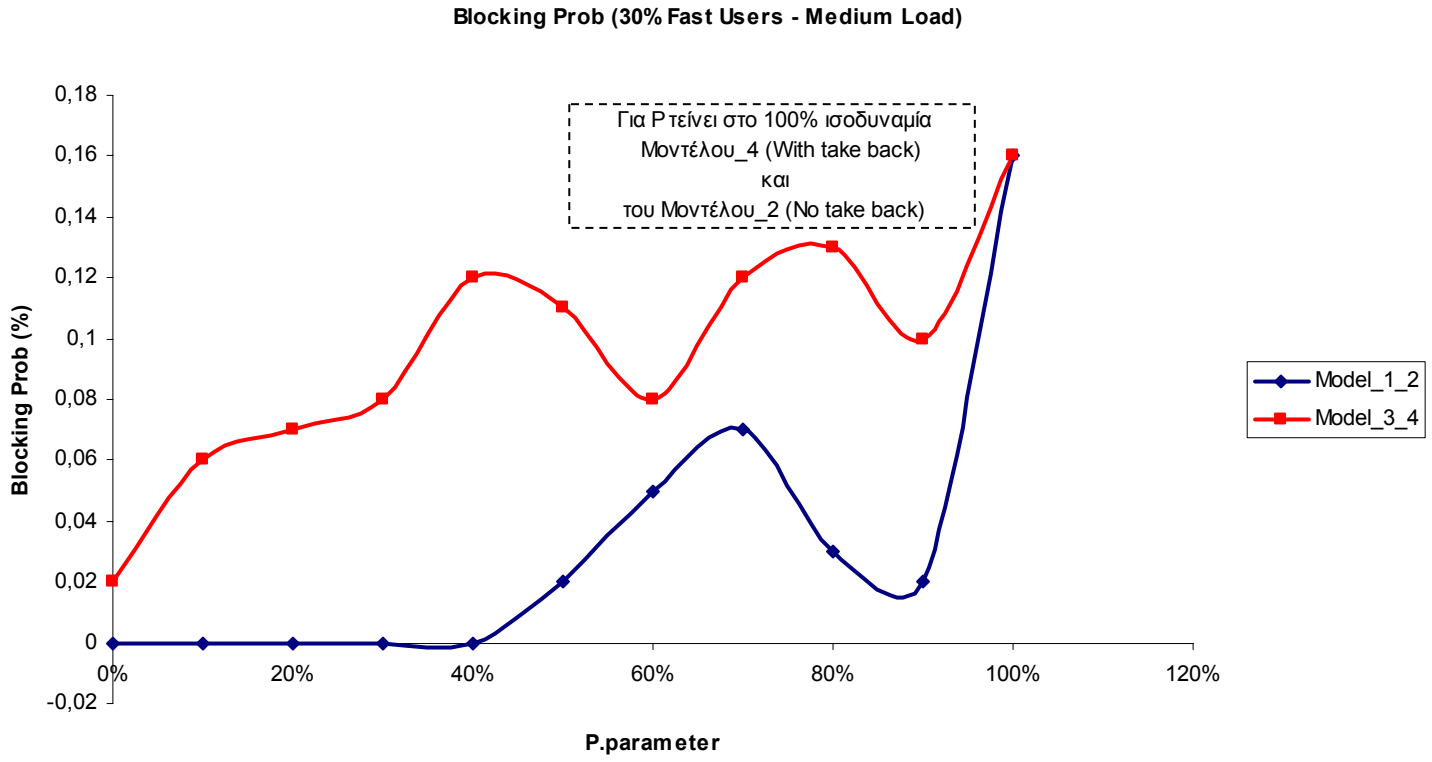
- Το μοντέλο 4 υπερτερεί ως προς τα ελαφρώς μικρότερα ποσοστά Blocking probability και Dropping probability που δίνει και

- Όσον αφορά των συνολικό αριθμό των διαπομπών του συστήματος αφού παρότι για ποσοστά γρήγορων χρηστών άνω του 30% έχει τις ίδιες επιδόσεις με το μοντέλο 2 , για ποσοστά γρήγορων χρηστών μικρότερα του 30% μειώνει τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος κατά 25% και συνεπώς το φορτίο σηματοδοσίας του.

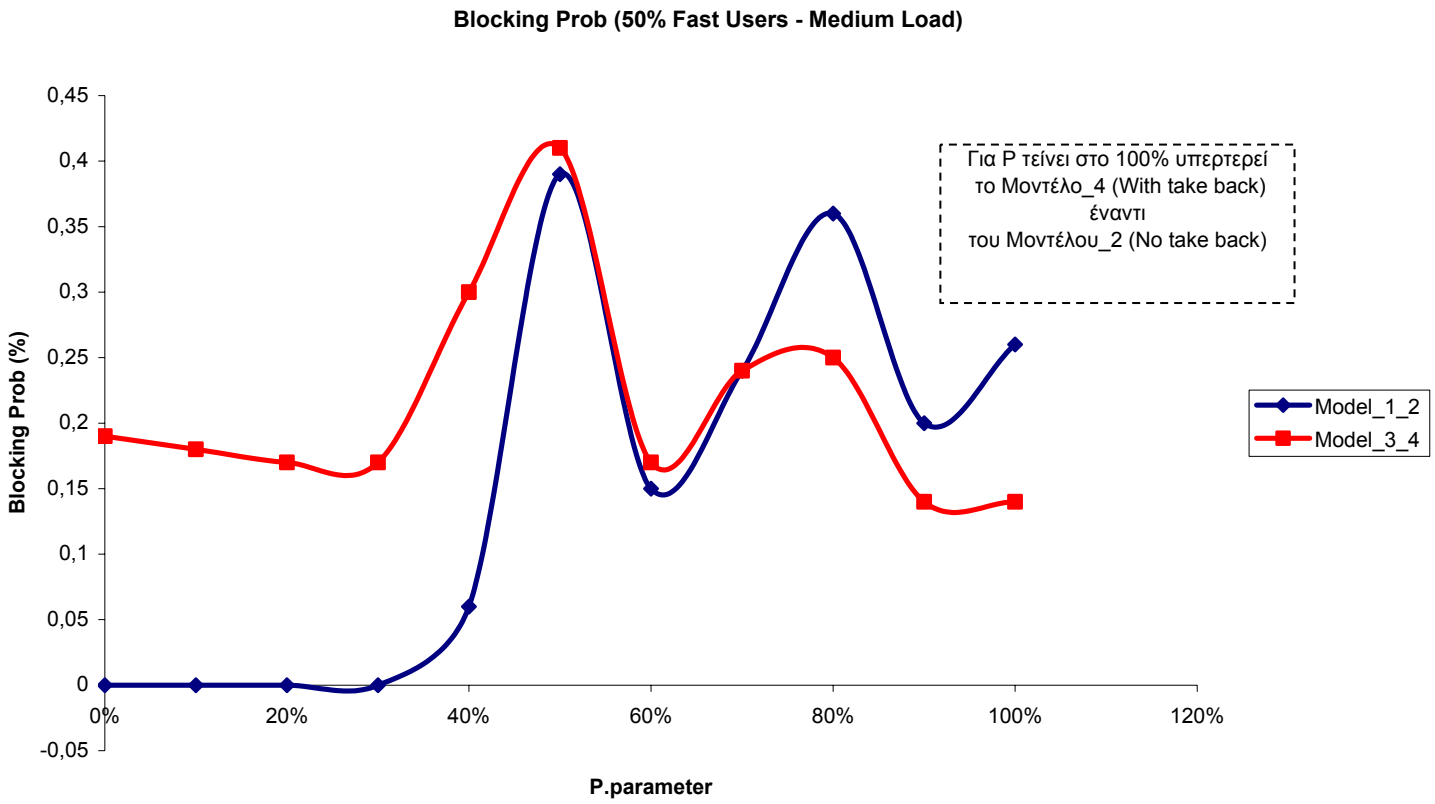
Στην συνέχεια παραθέτουμε τις γραφικές που τεκμηριώνουν τα παραπάνω.



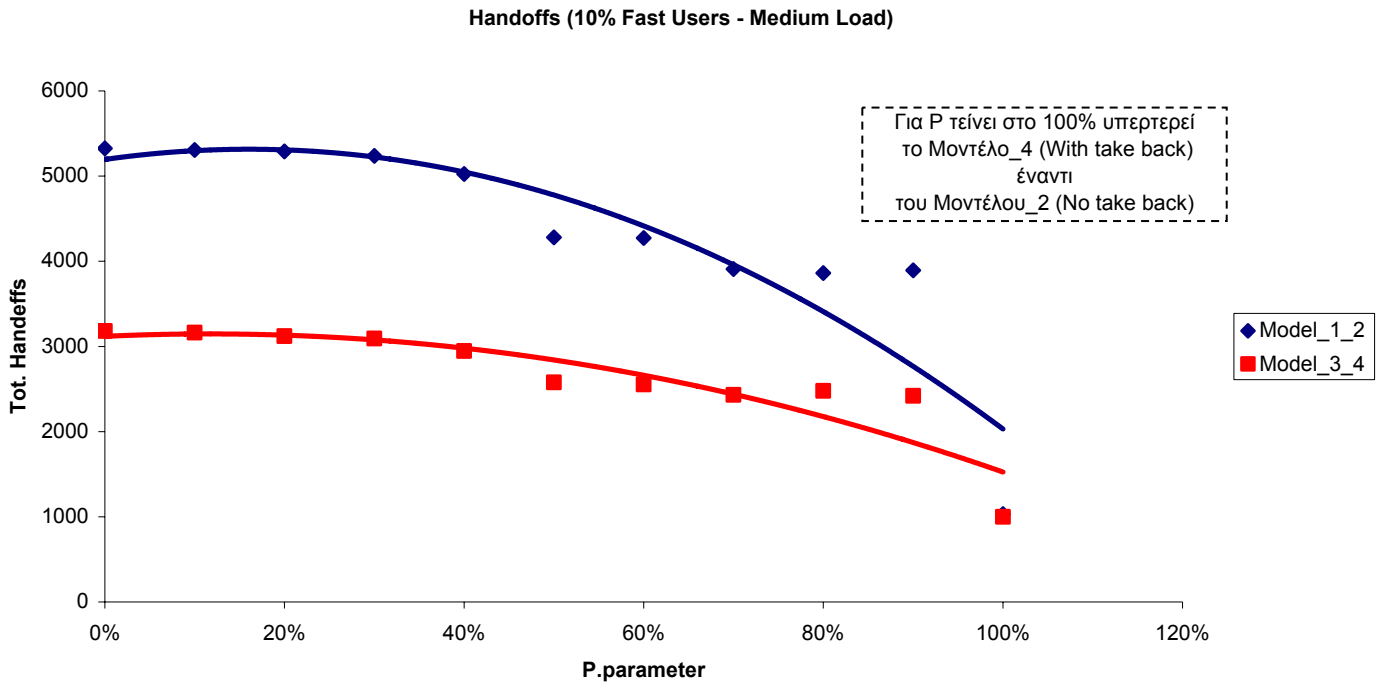
Γράφημα 5.2: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλου_1_2 και Μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο και 10% γρήγορους χρήστες .



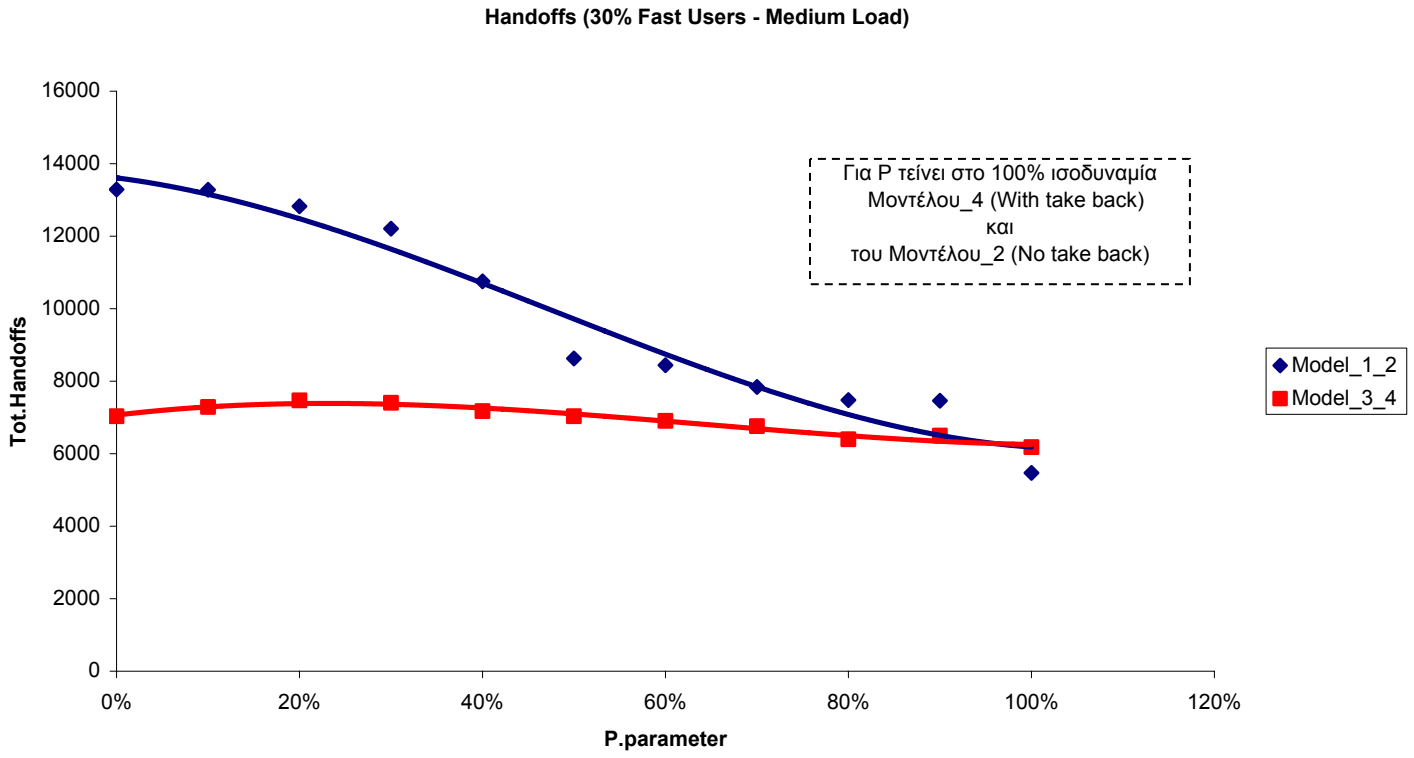
Γράφημα 5.3: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλου_1_2 και Μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο και 30% γρήγορους χρήστες .



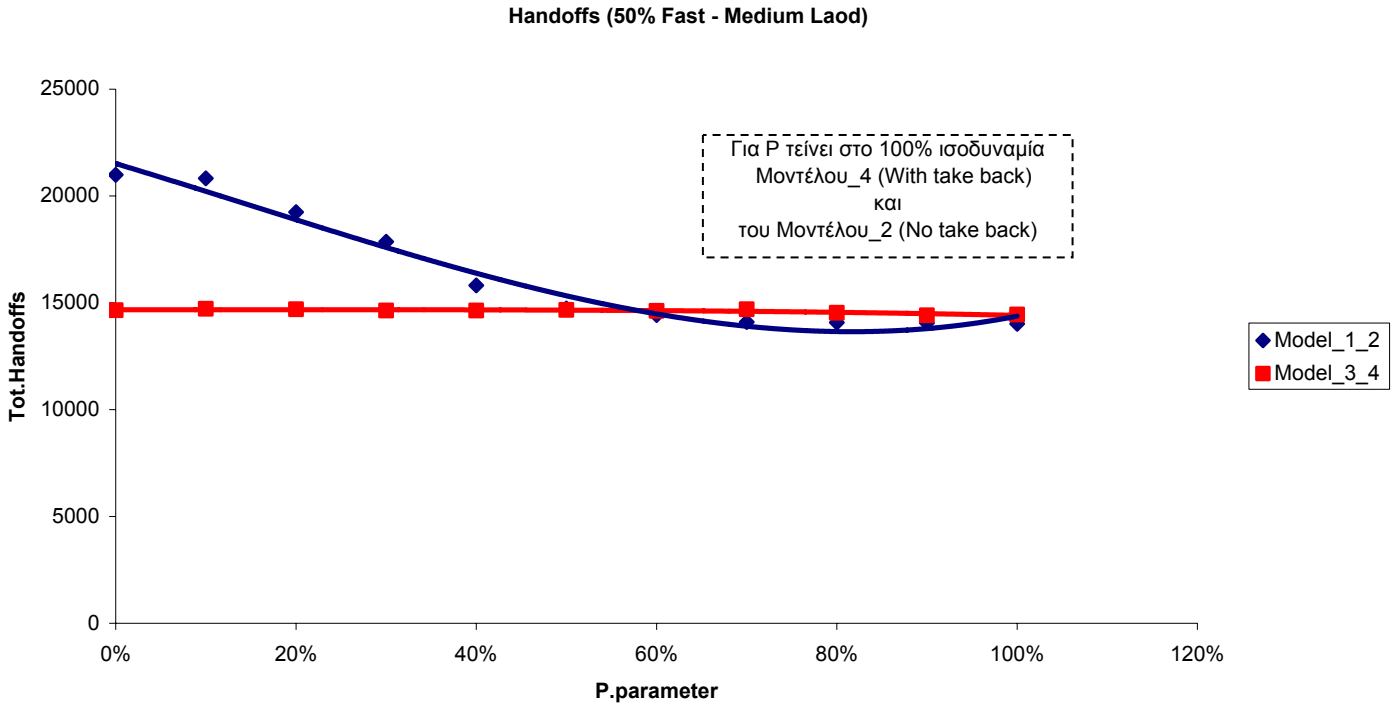
Γράφημα 5.4: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλου_1_2 και Μοντέλου_3_4 με μέτριο φορτίο και 50% γρήγορους χρήστες .



Γράφημα 5.5: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλων_1_2 και μοντέλων_3_4 με μέτριο φορτίο και 10% γρήγορους χρήστες.



Γράφημα 5.6: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλων_1_2 και μοντέλων_3_4 με μέτριο φορτίο και 30% γρήγορους χρήστες.



Γράφημα 5.7: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση μοντέλων_1_2 και μοντέλων_3_4 με μέτριο φορτίο και 50% γρήγορους χρήστες.

ΕΙΝΑΙ ΕΜΦΑΝΗΣ Η ΕΛΑΦΡΙΑ ΥΠΕΡΟΧΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 4 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ 2

5.4.3 Heavy Load (600 Users/667 Channels)

Κατά την σύγκριση όλων των μοντέλων υπό συνθήκες υψηλού φόρτου παρατηρούμε ότι η χρήση της μακροκυψέλης ως εξυπηρετητής κυρίως των γρήγορων χρηστών, που οδηγεί στη μείωση των διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση στην μείωση του φορτίου σηματοδοσίας του, κρίνεται πλέον ακατάλληλη και αποτελεί τροχοπέδη στην προσπάθεια του συστήματος να εξυπηρετήσει το μεγάλο φορτίο που δέχεται.

Εξετάζοντας την γενικότερη εικόνα του συστήματος αποδεικνύεται ότι η μακροκυψέλη κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου προσπαθεί με κάθε τρόπο να εξυπηρετήσει την υπερροϊκή κίνηση η οποία δεν προέρχεται τώρα πια από μεμονωμένες υπερφορτωμένες κυψέλες (hot spot) αλλά σχεδόν από όλο το μικροκυψελικό επίπεδο το οποίο ασφυκτιά λόγω του υψηλού φορτίου που δέχεται. Για τον παραπάνω λόγο όλοι οι πόροι της μακροκυψέλης είναι προτιμότερο να δίνονται για την εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης από το μικροκυψελικό επίπεδο παρά να δεσμεύονται από γρήγορους χρήστες, των οποίων η εξυπηρέτηση αποτελεί το βασικό της μέλημα κάτω από ηπιότερες συνθήκες φορτίου.

Με βάση τα παραπάνω παρατηρούμε ότι :

1. Τα μοντέλα με την δυνατότατη take back, η οποία τα έκανε κυρίαρχους για ηπιότερες συνθήκες φορτίου κρίνονται πλέον ακατάλληλα και αδυνατούν να αντεπεξέλθουν στις συνθήκες που μελετάμε. Η αιτία είναι ότι η take back ιδιότητα που έχουν, η οποία αχρηστεύει την δυνατότητα της παραμέτρου P να πάρει την τιμή 0% , έχει ως αποτέλεσμα οι γρήγοροι χρήστες να συνεχίζουν να κυριαρχούν στην μακροκυψέλη επιστρέφοντας συνέχεια σε αυτή. Αυτή με την σειρά της δεν μπορεί να εξυπηρετήσει την μεγάλη υπερροϊκή κίνηση με αποτέλεσμα το σύστημα να καταρρέει.

2. Για τον ίδιο λόγο το μοντέλο χωρίς take back που όμως $(P \rightarrow 100\%)$ αδυνατεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις του υψηλού φορτίου. Βέβαια παρουσιάζει κάποια βελτίωση σε σχέση με τα προηγούμενα, λόγω του ότι όποιοι γρήγοροι κατέβουν στο μικροκυψελικό επίπεδο ολοκληρώνουν την κλήση τους εκεί μην επιβαρύνοντας και αυτοί την μακροκυψέλη με την παρουσία τους .

Στην συνέχεια παρουσιάζω συνοπτικά τις τιμές Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων που δίνουν τα τέσσερα μοντέλα για κάθε αναλογία ποσοστών γρήγορων και αργών χρηστών (5.8) (5.9) (5.10) και για το ίδιο συνολικά φορτίο εξυπηρέτησης.

Πίνακας 5.4

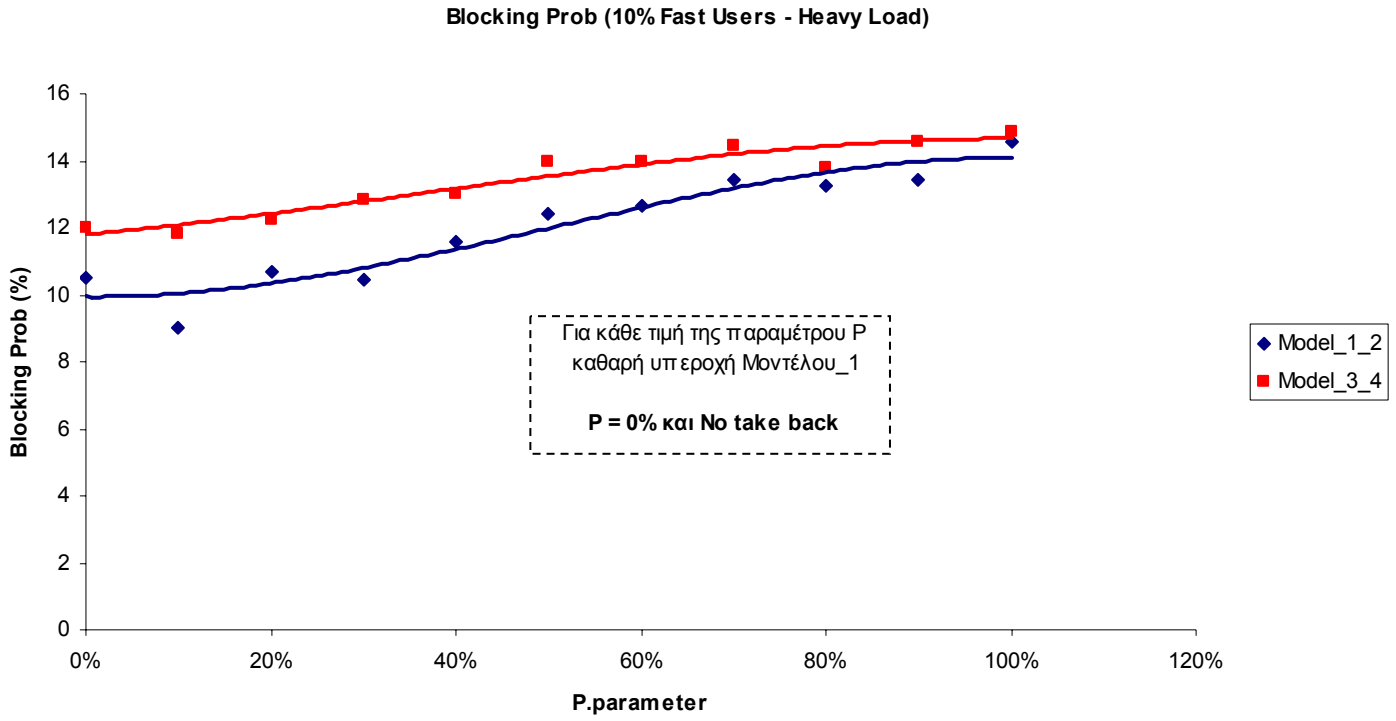
% Slow - % Fast	Μοντέλο 1 ($P \rightarrow 0\%$)	Μοντέλο 2 ($P \rightarrow 100\%$)	Μοντέλο 3 ($P \rightarrow 0\%$)	Μοντέλο 4 ($P \rightarrow 100\%$)
90 % - 10 %	**10,5%**	14,57%	12,01%	14,86%
70 % - 30 %	**11,85%**	15,9%	17,35%	18,58%
50 % - 50 %	**11,98%**	18,6%	18,32%	18,74%

Παρατηρούμε την κυριαρχία του μοντέλου χωρίς take back και ($P \rightarrow 0\%$). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο λόγος επιτυχίας αυτού, του πιο απλού σε σχέση με τα προηγούμενα, είναι ότι εκμεταλλεύεται με τον κατάλληλο τρόπο τις δυνατότητες της μακροκυψέλης και την αφήνει έχοντας ($P \rightarrow 0\%$) να ασχοληθεί αποκλειστικά με την εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης που προέρχεται από το μικροκυψελικό επίπεδο με εμφανή από την στήλη 2 του παραπάνω πίνακα, τα πλεονεκτήματα από κάτι τέτοιο.

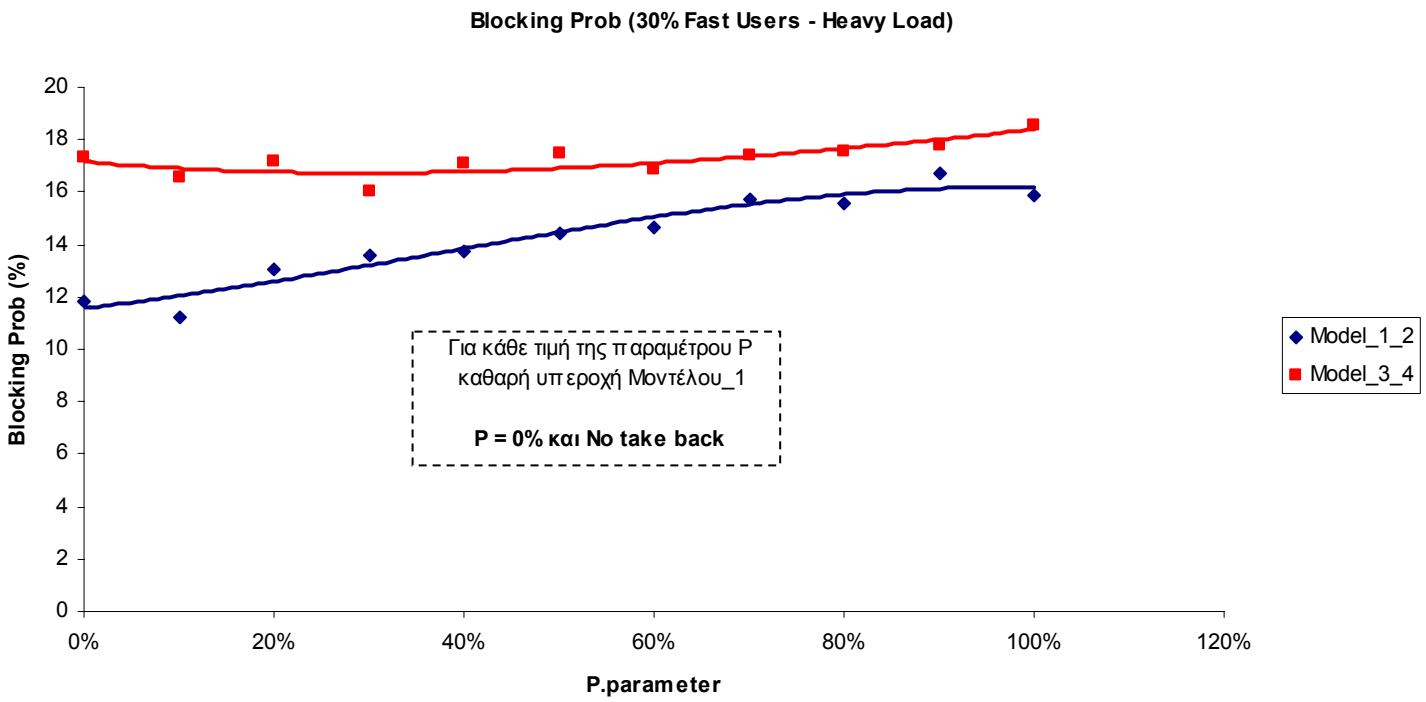
Γενικά μπορούμε να αναφέρουμε το εξής συμπέρασμα:

Σε συνθήκες υψηλού φόρτου του συστήματος, είναι σημαντικότερη η εξυπηρέτηση των χρηστών και άρα η μείωση του Blocking probability, από την μείωση των διαπομπών του συστήματος και κατ' επέκταση του φόρτου σηματοδοσίας που αυτές συνεπάγονται, σε ένα σύστημα που είναι ήδη υπερβολικά φορτωμένο λόγω των συνθηκών που επικρατούν.

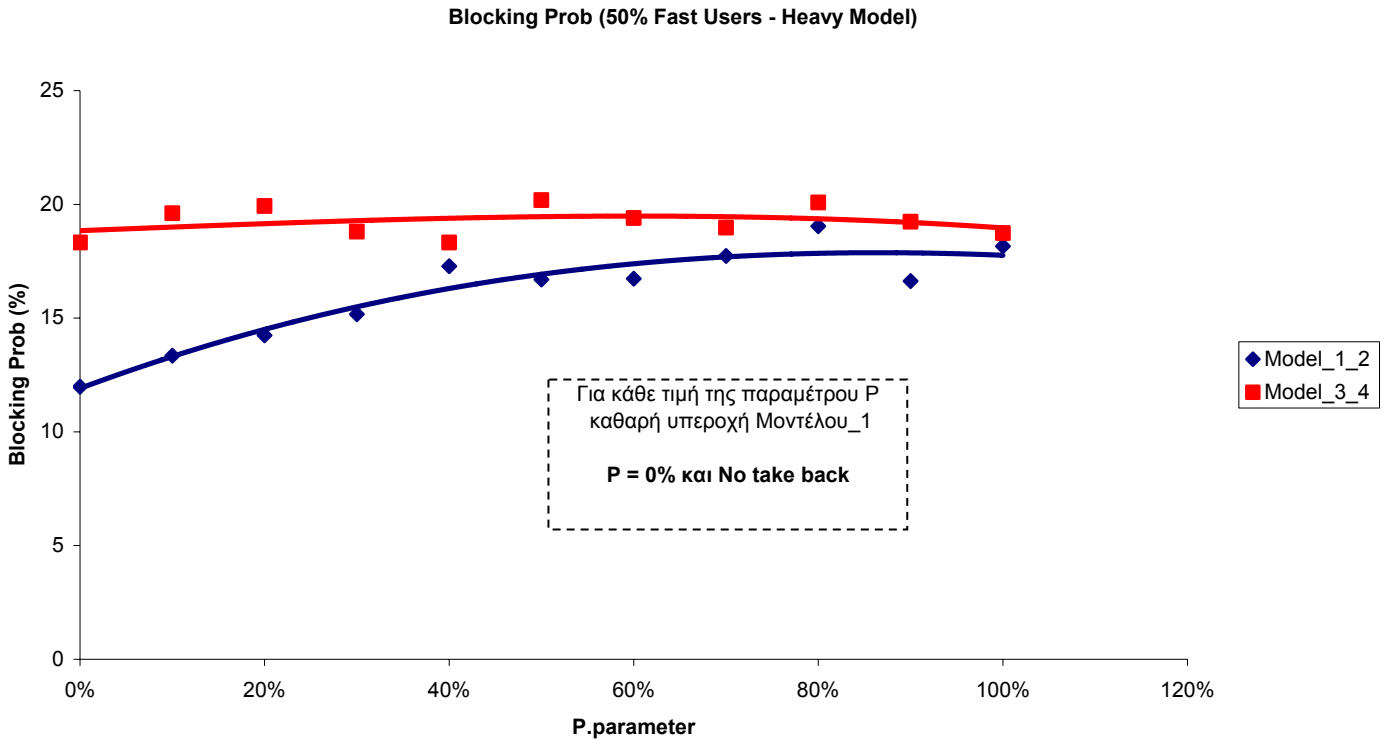
Στην συνέχεια παραθέτουμε τις γραφικές που τεκμηριώνουν τα παραπάνω.



Γράφημα 5.8: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλου_1_2 και Μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο και 10% γρήγορους χρήστες .



Γράφημα 5.9: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλου_1_2 και Μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο και 30% γρήγορους χρήστες .



Γράφημα 5.10: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλου_1_2 και Μοντέλου_3_4 με υψηλό φορτίο και 50% γρήγορους χρήστες .

5.5.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά και το πέρας της συγκριτικής μελέτης όλων των μοντέλων και κατ΄ επέκταση των στρατηγικών εξυπηρέτησης που αυτά αντιπροσωπεύουν καταλήξαμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Κάτω από συνθήκες χαμηλού και μέτριου φορτίου η στρατηγική take back με ($P \rightarrow 100\%$) πλεονεκτεί αφού δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στον συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος και συνεπώς το επιβαρύνει με το μικρότερο φόρτο σηματοδοσίας. Η κύρια αιτία που τη κάνει να πλεονεκτεί είναι ο σχεδόν πλήρης διαχωρισμός των χρηστών που επιτυγχάνει σε δύο κατηγορίες, αργών και γρήγορων, οι οποίες μοιάζουν να εξυπηρετούνται από δύο διαφορετικά επίπεδα, το μικροκυψελικό και το μακροκυψελικό αντίστοιχα.

- Κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου πλεονεκτεί η στρατηγική χωρίς take back με ($P \rightarrow 0\%$) λόγω του ότι εκμεταλλεύεται πλήρως τους πόρους της μακροκυψέλης στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης που προέρχεται από το μικροκυψελικό επίπεδο, θέτοντας όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως κατηγορίας στην ίδια μοίρα.

Για λόγους αξιοκρατίας και παραθέτοντας όλα τα αποτελέσματα της έρευνάς μου επί του θέματος, πρέπει να επισημάνω ότι παρόλα τα πλεονεκτήματα της στρατηγικής take back η πολυπλοκότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από ότι ενός χωρίς αυτή την ικανότητα. Δεν ξέρω κατά πόσο η δυνατότητα των χρηστών να ελέγχουν το φυσικό τους επίπεδο για να επιστρέψουν σε αυτό όταν βρουν διαθέσιμους πόρους δημιουργεί τέτοια πολυπλοκότητα στο σύστημα, που το πλεονέκτημα της μείωσης των διαπομπών που προσφέρει μια τέτοια στρατηγική εξανεμίζεται.

Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να ελεγχθεί με τις υπάρχουσες δυνατότητες του προσομοιωτή, πόσο μάλλον στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας, αφού άπτεται στην μελέτη των δυνατοτήτων hardware και software όχι μόνο των σταθμών βάσης, αλλά και των ίδιων των κινητών τερματικών.

5.6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ HCS - NHCS

Τελικά έγινε και σύγκριση μέσω του προσομοιωτή, για κάθε είδος φορτίου των επιδόσεων των καλύτερων εκπροσώπων ιεραρχικού μοντέλου και του αντίστοιχου μη ιεραρχικού. Επί της ουσίας απενεργοποιήσαμε τη μακροκυψέλη και το βάρος της εξυπηρέτησης των χρηστών έπεσε στις μικροκυψέλες. Βέβαια η απενεργοποίηση της μακροκυψέλης έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συνολικού αριθμού των διαύλων που υπάρχουν στο σύστημα, γι' αυτό έγινε και κανονικοποίηση του συνολικού αριθμού των χρηστών που υπάρχουν στο σύστημα για κάθε είδος φορτίου. Αναλυτικότερα:

LOAD	Users Num	Hierarchical Cellular Systems (669 channels)	NO Hierarchical Cellular Systems (591 channels)
LOW		200	177
MEDIUM		400	353
HEAVY		600	530

Η σύγκριση έγινε με βάση την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking Prob), την πιθανότητα διακοπής κλήσης (Dropping Prob) και τον συνολικό αριθμό διαπομπών (Handoffs) στο σύστημα για ιεραρχικό μοντέλο και μη ιεραρχικό μοντέλο. Για μοντέλο με ιεραρχική δομή επιλέχθηκε ο καλύτερος εκπρόσωπος από τα μοντέλα που εξετάστηκαν προηγουμένως για την κάθε κατηγορία φορτίου κίνησης. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά και παραθέτονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες όπου είναι εμφανής η βελτίωση των επιδόσεων του συστήματος με την χρήση ιεραρχικών μοντέλων για κάθε κατηγορία φορτίου.

Πίνακας 6.1 Χαμηλό Φορτίο Κίνησης

	Hierarchical Cellular Systems (Model_4 με P → 100%,Take Back)				NO Hierarchical Cellular Systems		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	0	0	885 63% (Μείωση)		0	0	2413
70%	0	0	1291 79% (Μείωση)		0	0	6209
50%	0	0	3483 65% (Μείωση)		0	0	9973

Πίνακας 6.2 Μέτριο Φορτίο Κίνησης

	Hierarchical Cellular Systems (Model_4 με → 100%,Take Back)				NO Hierarchical Cellular Systems		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	0,11 87%(Μείωση)	0,01 97%(Μείωση)	1791 64%(Μείωση)		0,89	0,44	4991
70%	0,26 79%(Μείωση)	0,03 96%(Μείωση)	6338 48,7% (Μείωση)		1,23	0,93	12357
50%	0,14 91%(Μείωση)	0,06 95%(Μείωση)	14433 26,6%(Μείωση)		1,48	1,25	19664

Πίνακας 6.3 Υψηλό Φορτίο Κίνησης

	Hierarchical Cellular Systems (Model_1με P → 0%, NoTake Back)				NO Hierarchical Cellular Systems		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	10,5 70%(Μείωση)	2,75 65%(Μείωση)	6844 9%(Μείωση)		35,13	7,81	7522
70%	11,85 68%(Μείωση)	4,08 73%(Μείωση)	17495 8,5% (Μείωση)		37	15,26	19113
50%	11,98 69%(Μείωση)	4,09 78%(Μείωση)	27632 8%(Μείωση)		38,39	18,91	30104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΦΩΝΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1. Εισαγωγή

Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η σύγκριση των επιδόσεων των μοντέλων που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με την διαφορά ότι τώρα οι χρήστες εκτός από υπηρεσίες φωνής έχουν και την δυνατότητα υπηρεσιών δεδομένων. Με τον όρο υπηρεσίες δεδομένων υποδηλώνεται η μεταφορά πακέτων πληροφορίας τα οποία δεν είναι ευαίσθητα ως προς την συνολική καθυστέρηση μετάδοσής τους, δηλαδή τον χρόνο που απαιτείται από την αποστολή μέχρι την λήψη τους (non time critical). Η μετάδοση της πληροφορίας δεδομένων θεωρούμε στο παρόν κεφάλαιο ότι γίνεται με μεταγωγή κυκλώματος και πάλι το σύστημα αποτελείται από δύο επίπεδα ιεραρχίας, το μικροκυψελικό και το μακροκυψελικό.

Πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι πλέον η εξυπηρέτηση των χρηστών δεν γίνεται με βάση μόνο το προφίλ κινητικότητάς τους, αλλά το γενικότερο προφίλ τους στο οποίο υπάρχει και το είδος της υπηρεσίας το οποίο ζητείται (φωνή ή δεδομένα). Δύο είναι τα βασικά θέματα τα οποία μας απασχολούν στην παρακάτω μελέτη:

- Να βρεθεί ο αποδοτικότερος τρόπος εξυπηρέτησης του εκάστοτε χρήστη με βάση το γενικότερο προφίλ του.

- Να εξεταστεί αν τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για τα μοντέλα όταν το σύστημα παρείχε μόνο υπηρεσίες φωνής ισχύουν και όταν παρέχει και υπηρεσίες δεδομένων.

6.2. Μεταγωγή Κυκλώματος

Η μετάδοση των πακέτων δεδομένων στο σύστημα θεωρήθηκε ότι γίνεται με μεταγωγή κυκλώματος. Αναλυτικότερα θεωρήθηκε ότι η μεταφορά της πληροφορίας γίνεται με μετάδοση ολόκληρου του πακέτου και για αυτό εκχωρείται ολόκληρο κανάλι στον χρήστη για όσο χρόνο χρειαστεί.

Ο χρόνος που απαιτείται είναι συνάρτηση του μεγέθους της πληροφορίας είτε αυτή μεταδίδεται από ένα πακέτο ή περισσότερα και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων πάνω στον εναέριο ραδιοδίαυλο. Για να προσεγγίσουμε της απαιτήσεις των συστημάτων μετά το GSM θεωρήσαμε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 56 kbps ο οποίος είναι σταθερός για κάθε κανάλι οποιουδήποτε από τα δύο επίπεδα.

Ακόμα θεωρήσαμε τρία διαφορετικά πακέτα πληροφορίας με βάση το μέγεθός τους. Τα μεγέθη τους και ο χρόνος κατάληψης του καναλιού που απαιτεί η μετάδοσή τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1

Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων (kbps)	**Μέγεθος Πληροφορίας (kbytes)**	**Χρόνος Κατάληψης Διαύλου (sec)**
56	14	2
56	35	5
56	70	10

Πρέπει να επισημάνουμε ότι η μεταγωγή κυκλώματος εξασφαλίζει την ύπαρξη διαθέσιμων πόρων καθ΄ όλη την διάρκεια της κλήσης και μάλιστα σταθερού QoS. Κάτι τέτοιο ευνοεί την μετάδοση ροών δεδομένων ευαίσθητων ως προς την καθυστέρηση όπως real time video. Όμως τέτοιου είδους δεδομένα δεν εξετάστηκαν γιατί δεν αρκούν μόνο τα παραπάνω για την μετάδοσή τους. Εκτός της μεγαλύτερης χωρητικότητας απαιτείται συγχρονισμός που για την επίτευξή του χρειάζεται επιπλέον σηματοδοσία κάτι που ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

6.3. Προφίλ Χρηστών

Η παροχή υπηρεσιών δεδομένων από το σύστημα, οδηγεί στην ανάγκη ύπαρξης ενός γενικότερου προφίλ για τον κάθε χρήστη, με βάση το οποίο θα γίνεται και η εξυπηρέτησή του, στο οποίο δεν θα λαμβάνεται υπόψη μόνο η κινητικότητά του, αλλά και είδος της υπηρεσίας που ζητάει. Το ερώτημα που τίθεται είναι το πώς επηρεάζει το είδος της υπηρεσίες τον τρόπο εξυπηρέτησης του χρήστη; Η άποψη που κυριαρχεί είναι η εξής:

Οι χρήστες που ζητούν υπηρεσίες φωνής, η οποία είναι ευαίσθητη ως προς την χρονική καθυστέρηση μετάδοσης (time critical) είναι προτιμότερο να εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο, όπου λόγω του μικρού μεγέθους των μικροκυψελών υπάρχει και μικρή καθυστέρηση στην διάδοση της πληροφορίας αλλά και μικρότερη πιθανότητα σφαλμάτων κατά την μετάδοση, λόγω μικρότερης επίδρασης του θορύβου και της ομοδιαυλικής παρεμβολής. Στον αντίποδα οι υπηρεσίες δεδομένων (non time critical) είναι προτιμότερο να εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο όχι μόνο επειδή δεν είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις μετάδοσης αλλά και επειδή έχουν μεγάλη ανοχή σε σφάλματα μετάδοσης αφού η χρήση προσωρινών καταχωρητών αποθήκευσης επιτρέπει την αναμετάδοση εκείνων των πακέτων τα οποία καταστράφηκαν.

Έτσι το γενικευμένο προφίλ χρηστών δημιουργεί τέσσερις κατηγορίες χρηστών (αργοί – δεδομένα) , (αργοί – φωνή) , (γρήγοροι – δεδομένα) , (γρήγοροι – φωνή) όπου πρέπει για κάθε κατηγορία να προσδιορίσουμε ποιο είναι το καταλληλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης αλλά και τρόπος αντιμετώπισης από το σύστημα. Με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου έχουμε ότι:

Χαμηλό – Μέτριο Φορτίο

Κάτω από συνθήκες χαμηλού ή μέτριου φορτίου κίνησης είναι καλύτερο το μοντέλο 4, δηλαδή P = 100% όπου οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο και οι αργοί στο μικροκυψελικό και υπάρχει η δυνατότητα take back, όπου οι χρήστες προσπαθούν να επιστρέψουν στο φυσικό επίπεδο εξυπηρέτησής του όταν δεν βρίσκονται σε αυτό. Με τις παραπάνω δύο απόψεις για την κάθε μία από τις δύο παραμέτρους που συνθέτουν το γενικότερο προφίλ του χρήστη επικρατεί η παρακάτω άποψη ως προς το επίπεδο εξυπηρέτησης της κάθε κατηγορίας.

- Αργοί – Φωνή: Εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο

- Αργοί – Δεδομένα: Εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο αφού μπορεί να ζητάνε υπηρεσίες δεδομένων αλλά ο μικρός χρόνος εξυπηρέτησής τους και η μικρή τους ταχύτητα συμβάλουν στο να θεωρείται σχεδόν βέβαιο ότι δεν θα κάνουν διαπομπή κατά την κλήση τους, και άρα είναι προτιμότερο να εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο και να μην σπαταλούν τους πολύτιμους πόρους της μακροκυψέλης.

- Γρήγοροι – Φωνή: Εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο για την μείωση του αριθμού των διαπομπών στο σύστημα λόγω της ταχύτητάς τους.

- Γρήγοροι – Δεδομένα:

Για αυτή την κατηγορία χρηστών υπάρχουν δύο απόψεις:

- **FDD (Fast Data Dawn)**
  Η πρώτη υποστηρίζει ότι παρότι έχουμε γρήγορους χρήστες, λόγω του σύντομου χρόνου απασχόλησης του συστήματος, δηλαδή κατάληψης του δίαυλου, επειδή οι υπηρεσίες δεδομένων αυτής της κατηγορίας χρειάζονται μικρό χρόνο εξυπηρέτησης, ο χρήστης δεν θα προλαβαίνει συνήθως να εκτελέσει διαπομπή κατά την διάρκεια της κλήσης του. Άρα καθώς οι πόροι του μακροκυψελικού επίπεδου είναι πολύτιμοι (Εξυπηρέτηση Α. Υπερροϊκής κίνησης Β. Γρήγορων χρηστών με voice για μείωση διαπομπών) είναι προτιμότερο αυτοί οι χρήστες, αφού συνήθως δεν θα προλαβαίνουν να κάνουν διαπομπή ακόμα και στο μικροκυψελικό επίπεδο, να εξυπηρετούνται από αυτό.

- **FDU (Fast Data Up)**
  Η δεύτερη άποψη είναι ότι κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, οι γρήγοροι χρήστες με non time critical υπηρεσίες εξακολουθούν να αυξάνουν τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος κατά πολύ αν εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο και πρέπει να εντάσσονται στις μακροκυψέλες.

Ποια από τις παραπάνω δύο απόψεις υπερισχύει τελικά είναι και ο βασικός στόχος της μελέτης που ακολουθεί. Για την ευκολότερη αναφορά μας στις δύο παραπάνω τεχνικές χρησιμοποιήσαμε την εξής ορολογία FDD (Fast Data Dawn) για τα μοντέλα που υιοθετούν την πρώτη άποψη και FDU (Fast Data Up) για τα μοντέλα που υιοθετούν την δεύτερη άποψη.

Για τις προηγούμενες τρεις κατηγορίες χρηστών η άποψη για τον τρόπο εξυπηρέτησής τους στηρίχθηκαν και στα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου αλλά και στην επικρατούσα στην βιβλιογραφία άποψη. Αυτό όμως δεν εξασφαλίζει την ορθότητα τους. Για αυτό για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες φορτίου:

- Χαμηλό (Low) με 200/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)
- Μέτριο (Medium)με 400/667 (Συνολικός # χρηστών / Συνολικός # διαύλων)

και για κάθε ένα από τα ποσοστά γρήγορων και αγρών χρηστών :

- 90 % Αργοί – 10 % Γρήγοροι
- 70 % Αργοί – 30 % Γρήγοροι
- 50 % Αργοί – 50 % Γρήγοροι

εξετάστηκαν 8 μοντέλα.

Τα κλασικά τέσσερα του προηγούμενου κεφαλαίου

Κωδικό Όνομα Μοντέλου	**Μοντέλο – Στρατηγικές Λειτουργίας**
Μοντέλο 1	Χωρίς take back και $P \rightarrow 0\%$
Μοντέλο 2	Χωρίς take back και $P \rightarrow 100\%$
Μοντέλο 3	Με take back και $P \rightarrow 0\%$
Μοντέλο 4	Με take back και $P \rightarrow 100\%$

επί δύο αφού σε όλα έγινε προσαρμογή και διάσπασή τους σε δύο παράγωγα μοντέλα όπου το ένα ακολουθεί την FDD στρατηγική και το άλλα την FDU, άρα συνολικά οκτώ μοντέλα.

Βασική Παρατήρηση

Πρέπει να γίνει πλήρως κατανοητό ότι πλέον η παράμετρος P αφορά μόνο την κατηγορία των γρήγορων χρηστών οι οποίοι ζητούν υπηρεσίες φωνής ενώ αυτοί που θέλουν υπηρεσίες δεδομένων προσπαθούν πάντα να κλειδώσουν στο επίπεδο που καθορίζεται από την κατηγορία μοντέλων που εξετάζουμε και δεν επηρεάζονται καθόλου από την παράμετρο P. Δηλαδή, αν έχω FDD προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν πάντα στο μικροκυψελικό επίπεδο, ενώ αν έχω FDU προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μακροκυψελικό ασχέτως της τιμής της παραμέτρου P..

Υψηλό φορτίο

Αποδείξαμε ότι κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου πλεονεκτεί η στρατηγική χωρίς take back με ($P \rightarrow 0\%$) (μοντέλο 1) λόγω του ότι εκμεταλλεύεται πλήρως τους πόρους της μακροκυψέλης στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης που προέρχεται από το μικροκυψελικό επίπεδο, θέτοντας όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως κατηγορίας στην ίδια μοίρα. Η παραπάνω άποψη τίθεται και αυτή υπό αμφισβήτηση τώρα που υπάρχουν υπηρεσίες δεδομένων. Επομένως, τόσο για αυτή την κατηγορία φορτίου όσο και για κάθε ένα από τα ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών τα οποία εξετάζουμε, μελετήσαμε και τα οκτώ παραπάνω μοντέλα.

Τα κριτήρια με βάση τα οποία έγινε η σύγκριση των μοντέλων είναι τα ίδια με αυτά του προηγούμενου κεφαλαίου τα οποία επιγραμματικά είναι:

- *Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking Probability)*
- *Πιθανότητα διακοπής κλήσεων (Dropping Probability)*
- *Συνολικός αριθμός διαπομπών (Handoffs)*

Η ανάλυση για κάθε είδος φορτίου (χαμηλό – μέτριο – υψηλό) ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Για κάθε ποσοστό γρήγορων χρηστών συγκρίνονται και τα τέσσερα μοντέλα με την FDU στρατηγική

- Για κάθε ποσοστό γρήγορων χρηστών συγκρίνονται και τα τέσσερα μοντέλα με την FDD στρατηγική

- Οι καλύτεροι εκπρόσωποι – μοντέλα των δύο στρατηγικών συγκρίνονται μεταξύ τους και καταλήγουμε στο πιο αποδοτικό.

6.4. Low Load (200 Users/667 Channels)

Υπό συνθήκες χαμηλού φορτίου παρατηρούμε μηδενικές τιμές στην Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (Blocking Probability) και στην Πιθανότητα διακοπής κλήσης (Dropping Probability) για κάθε ένα από τα οκτώ μοντέλα και για κάθε ένα από τα τρία ποσοστά γρήγορων χρηστών. Για αυτό η σύγκρισή τους θα γίνει μόνο ως προς το συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος, που το κάθε ένα από αυτά έχει κάτω από τις ίδιες συνθήκες φορτίου κίνησης και κατ΄ επέκταση με βάση το φορτίο σηματοδοσίας με το οποίο το κάθε μοντέλο επιβαρύνει το σύστημα. Επίσης λόγω των μηδενικών τιμών των παραπάνω πιθανοτήτων παραλείπουμε τις αντίστοιχες γραφικές.

- Μοντέλα FDU (Fast Data Up)

Επισημαίνουμε ότι σε κάθε ένα από τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας η παράμετρος P επηρεάζει μόνο το επίπεδο εξυπηρέτησης των γρήγορων χρηστών που ζητούν υπηρεσίες φωνής, ενώ οι γρήγοροι με υπηρεσίες δεδομένων προσπαθούν πάντα αρχικά να ενταχθούν στο μακροκυψελικό επίπεδο. Στον παρακάτω πίνακα (4.1) παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος για τα τέσσερα μοντέλα καθώς η παράμετρος P μεταβάλλεται από το 0% (μοντέλα 1 και 3) στο 100% (μοντέλα 2 και 4).

Πίνακας 4.1

% Slow	**Μοντέλα 1_2**	**Μοντέλα 3_4**
90%	2726 → 1237 54,6% (Μείωση)	1551 → 832 46,36% (Μείωση)
70%	6827 → 1696 75,2% (Μείωση)	3338 → 957 71,33% (Μείωση)
50%	10739 → 3243 69,8% (Μείωση)	5119 → 3082 39,8% (Μείωση)

Παρατηρούμε ότι μεταξύ του μοντέλου 1 και 2 καλύτερες επιδόσεις έχει το 2 και μεταξύ του μοντέλου 3 και 4 καλύτερες επιδόσεις έχει το 4, γενικότερα είναι καλύτερα όταν το P τείνει στο 100% και όλοι οι γρήγοροι με υπηρεσίες φωνής εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο.

Μεταξύ τώρα του μοντέλου 2, το οποίο δεν διαθέτει τη δυνατότητα take back και του μοντέλου 4, το οποίο τη διαθέτει, καλύτερες επιδόσεις έχει το μοντέλο 4 κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του πίνακα (4.2)

Πίνακας 4.2

% Slow	Handoffs Μοντέλο_2	Handoffs Μοντέλο _4	(Για P → 100%)
90%	1237	832	32,7% (Μείωση)
70%	1696	957	43,57% (Μείωση)
50%	3243	3082	4,96% (Μείωση)

Άρα επιβεβαιώνεται εν μέρει ο κανόνας στον οποίο καταλήξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ότι για χαμηλό φορτίο πλεονεκτεί το μοντέλο 4, δηλαδή ότι οι γρήγοροι χρήστες με υπηρεσίες φωνής πρέπει να προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μακροκυψελικό επίπεδο και το μοντέλο να έχει την ιδιότητα take back. Αυτό βέβαια για μοντέλα FDU.

- Μοντέλα FDD (Fast Data Down)

Σε αυτή την κατηγορία μοντέλων οι γρήγοροι χρήστες με υπηρεσίες δεδομένων προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο. Στον παρακάτω πίνακα (4.3) παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος για τα τέσσερα μοντέλα καθώς η παράμετρος P μεταβάλλεται από το 0% (μοντέλα 1 και 3) στο 100% (μοντέλα 2 και 4).

Πίνακας 4.3

% Slow	Μοντέλα 1_2	Μοντέλα 3_4
90%	2726 → 1275 53,2 % (Μείωση)	1551 → 869 44% (Μείωση)
70%	6827 → 1946 71% (Μείωση)	3338 → 1187 64,4% (Μείωση)
50%	10739 → 3550 66,9% (Μείωση)	5119 → 3265 36% (Μείωση)

Παρατηρούμε και πάλι ότι μεταξύ του μοντέλου 1 και 2 καλύτερες επιδόσεις έχει το 2 και μεταξύ του μοντέλου 3 και 4 καλύτερες επιδόσεις έχει το 4.

Μεταξύ τώρα του μοντέλου 2, το οποίο δεν διαθέτει τη δυνατότητα take back και του μοντέλου 4, το οποίο τη διαθέτει, καλύτερες επιδόσεις έχει το μοντέλο 4 κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του πίνακα (4.4)

Πίνακας 4.4

% Slow	**Handoffs Μοντέλο_2**	**Handoffs Μοντέλο _4**	**(Για P → 100%)**
90%	1275	869	31,8% (Μείωση)
70%	1946	1187	38,96% (Μείωση)
50%	3550	3265	8,02% (Μείωση)

Έως τώρα έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι και για τις δύο στρατηγικές εξυπηρέτησης των γρήγορων χρηστών με υπηρεσίες δεδομένων (FDU και FDD) καλύτερες επιδόσεις έχουμε όταν η παράμετρος P τείνει στο 100% και το σύστημα διαθέτει την ιδιότητα take back. Απομένει τώρα να δούμε ποια από τις δύο στρατηγικές δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στον συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος κάτω από συνθήκες χαμηλού φορτίου.

- Σύγκριση FDU και FDD

Στον παρακάτω πίνακα (4.5) παραθέτω τον συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος για το μοντέλο 4 και για τις δύο στρατηγικές.

Πίνακας 4.5

	Total Handoffs Μοντέλο 4 Take back και P→100%		
% Slow	**FDU**	**FDD**	% Μείωση
90%	832	869	4,25 %
70%	957	1187	19,37%
50%	3082	3265	5,06%

Παρατηρούμε ότι πλεονεκτεί ελαφρώς η μέθοδος ένταξης των γρήγορων-data στην μακροκυψέλη, δηλαδή το FDU. Άρα η άποψη, ότι λόγω του μικρού χρόνου εξυπηρέτησης τους, η ένταξή των γρήγορων-data στο μικροκυψελικό επίπεδο (για αύξηση της χωρητικότητας της μακροκυψέλης, για την εξυπηρέτηση των γρήγορων voice ακόμα περισσότερο), δεν είναι σωστή αφού τελικά αυξάνεται ο συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος. Άρα παρά το μικρό χρόνο εξυπηρέτησης τους, η ένταξη των γρήγορων-data στις μικροκυψέλες συνεπάγεται και αύξηση του συνολικού αριθμού διαπομπών.

Τα παραπάνω αποδεικνύονται και από τα γραφήματα (4.1), (4.2) και (4.3) όπου παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός των διαπομπών του συστήματος για τα μοντέλα 4 με FDU και FDD για κάθε ποσοστό γρήγορων χρηστών.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε είναι ότι:

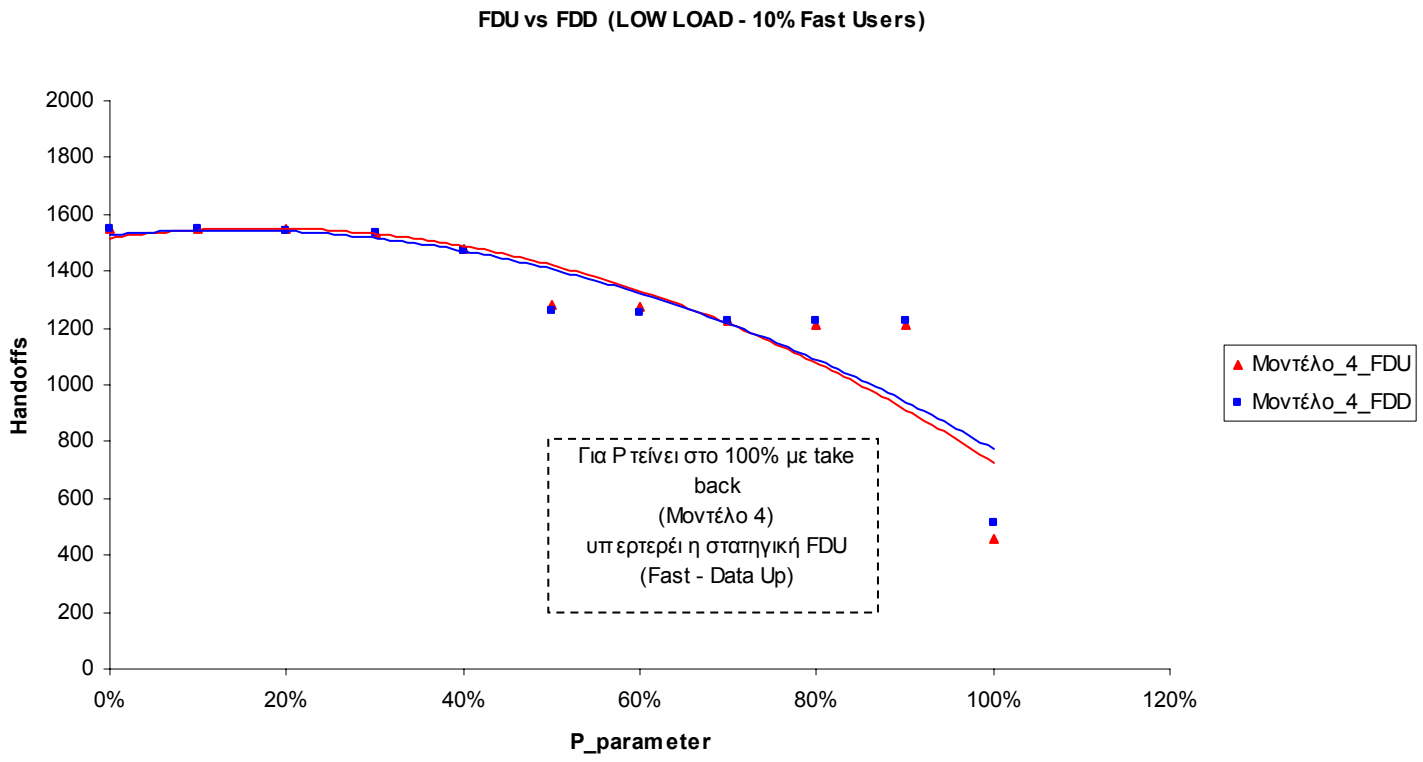
- Κατά την ένταξή τους στο σύστημα οι χρήστες θα πρέπει με βάση το προφίλ του να εντάσσονται σε επίπεδο εξυπηρέτησης σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. (4.6). (Το βελάκι προς τα πάνω (κάτω) υποδηλώνει αρχική προσπάθεια ένταξης της αντίστοιχης κατηγορίας χρηστών στο μακροκυψελικό (μικροκυψελικό) επίπεδο)

Πίνακας 4.6

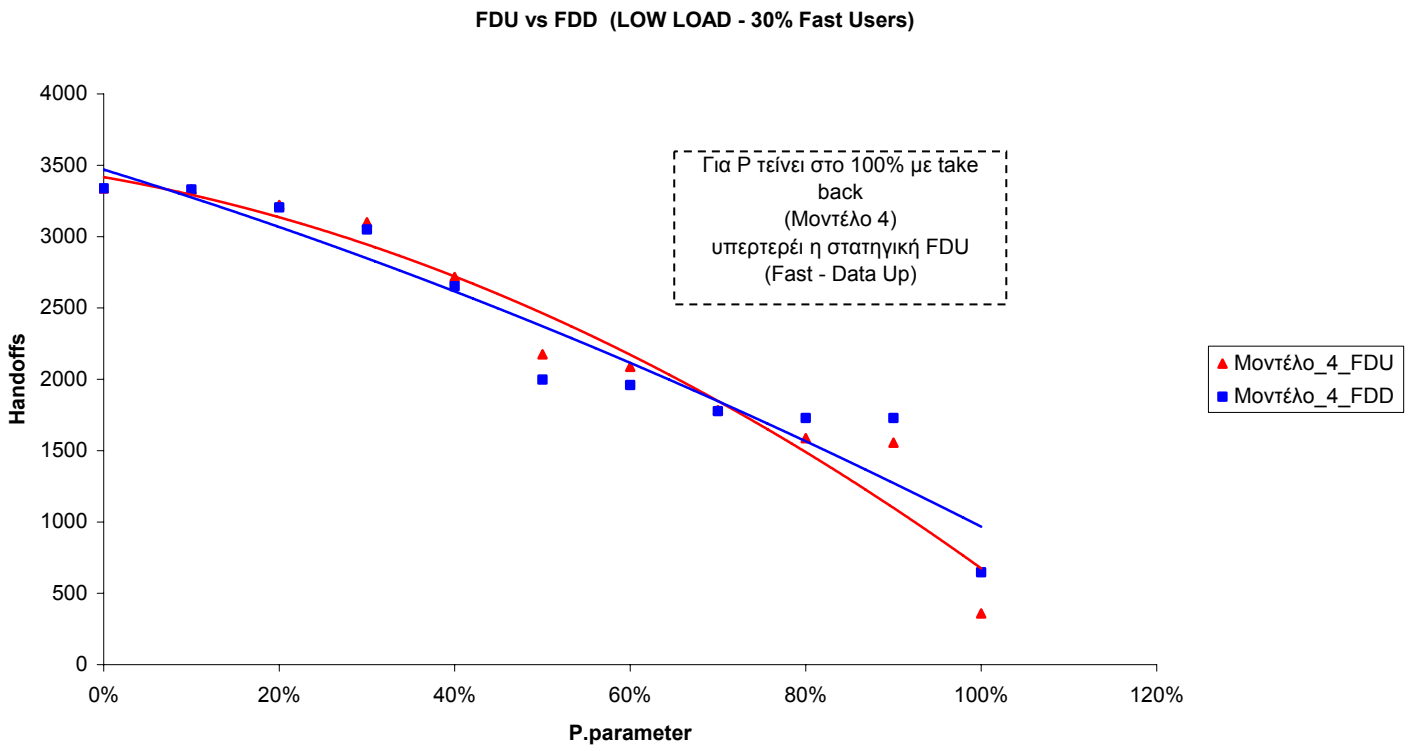
Service	Voice	Data
Speed		
Slow	↓	↓
Fast	↑	↑

Παρατηρούμε ότι υπερισχύει το προφίλ κινητικότητας του χρήστη.

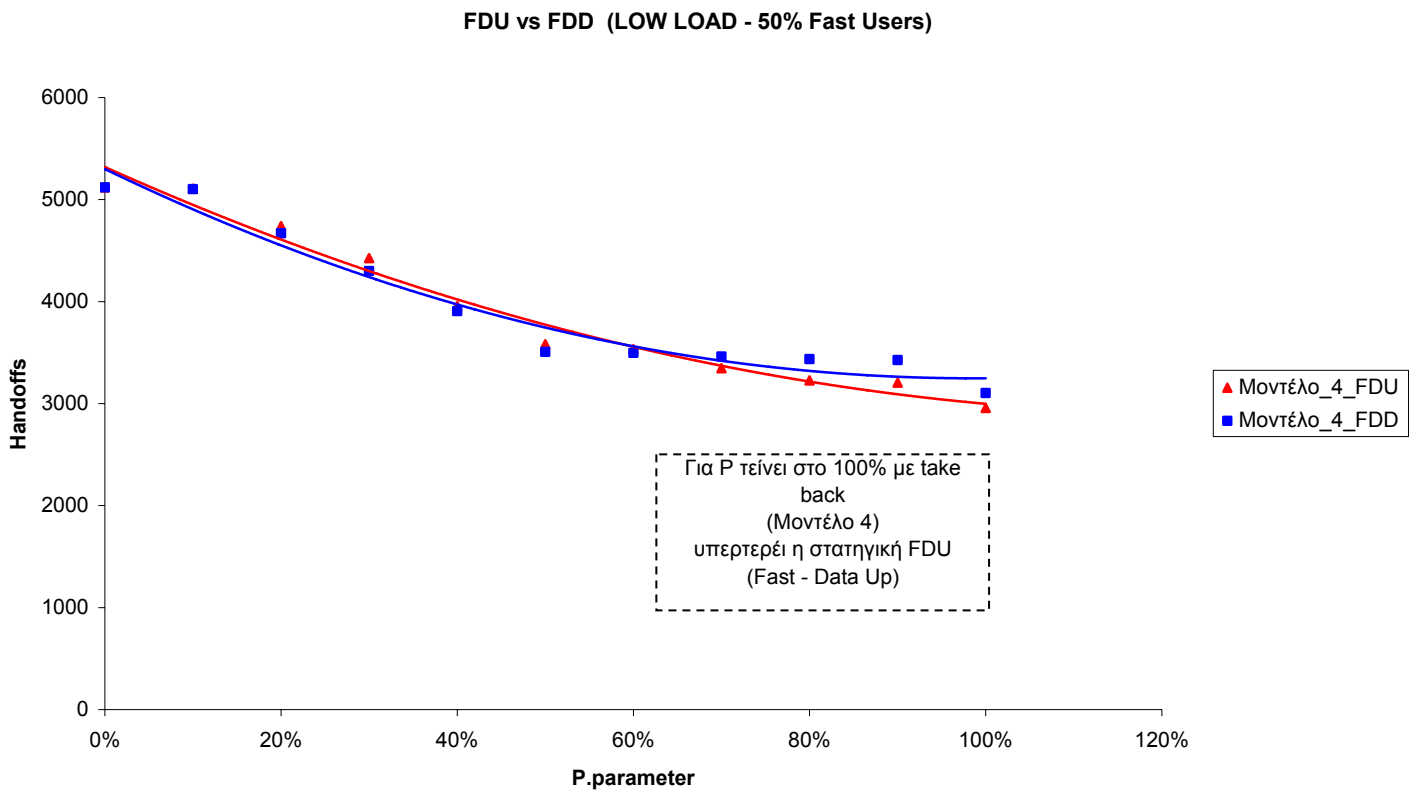
- Υπάρχει δυνατότητα take back στο σύστημα δηλαδή να προσπαθούν οι χρήστες να επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο εξυπηρέτησης (που καθορίζεται από τον παραπάνω πίνακα) αν αυτοί βρεθούν σε διαφορετικό.



Γράφημα 4.1: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_3_4 με FDU και Μοντέλων_3_4 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 10% και χαμηλό φορτίο.



Γράφημα 4.2: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_3_4 με FDU και Μοντέλων_3_4 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 30% και χαμηλό φορτίο.



Γράφημα 4.3: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_3_4 με FDU και Μοντέλων_3_4 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 50% και χαμηλό φορτίο.

ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΕΛΑΦΡΙΑ ΥΠΕΡΟΧΗ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ FDU ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΓΡΗΓΟΡΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΧΑΜΗΛΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΙΝΗΣΗΣ

6.5. Medium Load (400 Users/667 Channels)

Υπό συνθήκες μέτριου φορτίου παρατηρούμε για αυξημένα ποσοστά γρήγορων χρηστών εμφανίζονται μικρά ποσοστά στις Πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων και στις Πιθανότητες διακοπής κλήσης. Άρα στη σύγκριση των μοντέλων πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων εκτός από τον αριθμό των διαπομπών στο σύστημα.

- Μοντέλα FDU (Fast Data Up)

Ακολουθεί σύγκριση των τεσσάρων μοντέλων στα οποία οι γρήγοροι χρήστες οι οποίοι ζητάνε υπηρεσίες δεδομένων προσπαθούν να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο. Στον πίνακα (5.1) παραθέτω αναλυτικά αποτελέσματα για τις επιδόσεις των Μοντέλων_1_2 (χωρίς take back) και των Μοντέλων_3_4 (με take back) στις αριστερές και δεξιές στήλες του αντίστοιχα. Τα δύο αποτελέσματα που εμφανίζονται αφορούν τις δύο ακραίες τιμές της παραμέτρου P, 0 % και 100 %, μοντέλα 1 και 2 αντίστοιχα ή μοντέλα 3 και 4 αντίστοιχα. Τα ποσοστά που εμφανίζονται υποδηλώνουν ποσοστιαία μείωση της αντίστοιχης παραμέτρου καθώς η P καταβάλλεται από 0 σε 100 %.

Όσον αφορά τα ποσοστά των τιμών των Πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων παρατηρούμε ελαφριά υπεροχή των μοντέλων 1 και 3 όπου P τείνει στο 0%. Όμως τα ποσοστά είναι σε τόσο μικρά επίπεδα που μπορούμε να πούμε ότι τα δύο μοντέλα είναι ισοδύναμα. Ακόμα όσον αφορά την Πιθανότητα διακοπής κλήσης τα μοντέλα είναι επίσης ισοδύναμα δίνοντας μάλιστα μηδενικές τιμές στις αντίστοιχες πιθανότητες.

Όμως όσον αφορά τον συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος και κατ΄ επέκταση του φορτίου σηματοδοσίας του παρατηρούμε μεγάλη υπεροχή των μοντέλων 2 και 4 όπου P τείνει στο 100% και όλοι οι γρήγοροι χρήστες με υπηρεσίες δεδομένων προσπαθούν να ενταχθούν στα μακροκυψελικό επίπεδο. Άρα υπερισχύουν και πάλι τα μοντέλα με P τείνει στο 100%.

Η σύγκριση τώρα μεταξύ των 2 και 4 παρουσιάζεται στον πίνακα (5.2). Τα μοντέλα είναι σχεδόν ισοδύναμα και μόνο για μικρά ποσοστά γρήγορων χρηστών έχουμε υπεροχή του $4^{ου}$ μοντέλου (με take back) όσον αφορά στην μείωση των συνολικών διαπομπών στο σύστημα που προσφέρει.

Παρατηρούμε δηλαδή, όπως είχαμε επισημάνει και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών στο σύστημα και το ποσοστό των γρήγορων χρηστών, ο αριθμών των διαπομπών που κάνουν στο μοντέλο 4 επιστρέφοντας στο μακροκυψελικό επίπεδο πλησιάζει τον αντίστοιχο αριθμό διαπομπών που θα έκαναν αν παρέμεναν μέχρι την ολοκλήρωση της κλήσης τους στο μικροκυψελικό επίπεδο. Βέβαια, όσο μειώνεται το ποσοστό των γρήγορων χρηστών, η συνεχής προσπάθειά τους να βρίσκονται στη μακροκυψέλη έχει αποτέλεσμα και βοηθάει το σύστημα από την στιγμή που οι πόροι της, λόγω του μικρού αριθμού τους, μπορούν να εξυπηρετήσουν τους περισσότερους από αυτούς.

Άρα ως καλύτερο μοντέλο μπορούμε να ισχυριστούμε ότι είναι το 4 (με take back) παρά την μικρή του υπεροχή και κυρίως για μικρά ποσοστά γρήγορων χρηστών.

Πίνακας 5.1

	Μοντέλα 1_2 FDU			**Για P $0 \rightarrow 100$ %**	**Μοντέλα 3_4 FDU**		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	$0 \rightarrow 0{,}08$	0	$5351 \rightarrow 2080$ 61%		$0 \rightarrow 0{,}08$	0	$3141 \rightarrow 1549$ 50,68%
70%	$0 \rightarrow 0{,}3$	0	$12837 \rightarrow 5765$ 55%		$0 \rightarrow 0{,}7$	$0{,}02 \rightarrow 0{,}04$	$6976 \rightarrow 5872$ 15,8%
50%	$0 \rightarrow 0{,}4$	0	$19925 \rightarrow 13280$ 33%		$0{,}43 \rightarrow 1{,}06$	$0{,}07 \rightarrow 0{,}13$	$13723 \rightarrow 13607$ 0,8%

Καλύτερο το 2 δηλαδή $P \rightarrow 100\%$

Καλύτερο το 4 δηλαδή $P \rightarrow 100$

Πίνακας 5.2

	% Slow	Μοντέλο 2 FDU	Μοντέλο 4 FDU	Για P → 100%
Blocking Prob. (%)	**90%**	0,08	0,08	
	70%	0,3	0,7	
	50%	0,4	1,06	
Dropping Prob. (%)	**90%**	0	0	
	70%	0	0,04	
	50%	0	0,13	
Handoffs	**90%**	2080	1549	25,52% (Μείωση)
	70%	5765	5872	1,8% (Αύξηση)
	50%	13280	13607	2,46% (Αύξηση)

- Μοντέλα FDD (Fast Data Down)

Στην συνέχεια ακολουθεί η σύγκριση των τεσσάρων μοντέλων στα οποία οι γρήγοροι χρήστες που ζητούν υπηρεσίες δεδομένων προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο. Με βάση τις επιδόσεις τους καταλήγουμε στα ίδια συμπεράσματα με την προηγούμενη σύγκριση και μοντέλο με καλύτερες επιδόσεις είναι το μοντέλο 4 με την παράμετρο P να τείνει στο 100% και να έχει την ιδιότητα take back. Αναλυτικότερα στον πίνακα (5.3) παραθέτουμε αναλυτικά αποτελέσματα για τις επιδόσεις των Μοντέλων_1_2 (χωρίς take back) και των Μοντέλων_3_4 (με take back) στις αριστερές και δεξιές στήλες του αντίστοιχα με εμφανή την υπεροχή των μοντέλων 2 και 4 όπου η P τείνει στο 100%. Στον πίνακα (5.4), που ακολουθεί γίνεται σύγκριση των μοντέλων 2 και 4 με μικρή πάλι υπεροχή του 4 ως προς των συνολικό αριθμό διαπομπών στο σύστημα για μικρά ποσοστά γρήγορων χρηστών κυρίως. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό αναλύθηκαν προηγουμένως απλά επιβεβαιώνονται και σε αυτή την κατηγορία μοντέλων.

Πίνακας 5.3

	Μοντέλα 1_2 FDD			**Για P $0 \rightarrow 100$ %**	**Μοντέλα 3_4 FDD**		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	$0 \rightarrow$ 0,17	0	5351 $\rightarrow$ 2424 54,69%		$0 \rightarrow$ 0,13	0	3141 $\rightarrow$ 1814 42,2%
70%	$0 \rightarrow$ 0,13	0,01	12837 $\rightarrow$ 6496 49,39%		$0 \rightarrow$ 0,51	0,02	6976 $\rightarrow$ 6309 9,56%
50%	$0 \rightarrow$ 0,69	0,05	19925 $\rightarrow$ 13285 33,32%		0,43 $\rightarrow$ 0,93	0,07 $\rightarrow$ 0,14	13723 $\rightarrow$ 13613 0,79%

Καλύτερο το 2 δηλαδή P $\rightarrow$ 100%

Καλύτερο το 4 δηλαδή P $\rightarrow$ 100%

Πίνακας 5.4

	% Slow	Μοντέλο 2 FDD	Μοντέλο 4 FDD	Για P → 100%
Blocking Prob. (%)	**90%**	0,17	0,13	
	70%	0,13	0,51	
	50%	0,69	0,93	
Dropping Prob. (%)	**90%**	0	0	
	70%	0,01	0,02	
	50%	0,05	0,14	
Handoffs	**90%**	2424	1814	25% (Μείωση)
	70%	6496	6309	2,87% (Μείωση)
	50%	13285	13613	2,5% (Αύξηση)

- Σύγκριση FDU και FDD

Καταλήξαμε ότι για μέτριο φορτίο και για τις δύο τεχνικές καλύτερες επιδόσεις, κυρίως λόγω του μειωμένου αριθμού των διαπομπών, έχουν τα μοντέλα 4 όπου P τείνει στο 100% και έχουν την ιδιότητα take back. Πρέπει βέβαια να επισημάνουμε ότι η υπεροχή τους είναι πολύ μικρή και κυρίως είναι εμφανής μόνο όταν τα ποσοστά των γρήγορων χρηστών είναι μικρά. Στον πίνακα (5.5) που ακολουθεί γίνεται τελικά η σύγκριση των δύο μοντέλων 4 τα οποία ακολουθούν διαφορετική στρατηγική ως προς την εξυπηρέτηση των γρήγορων χρηστών με υπηρεσίες δεδομένων.

Πίνακας 5.5

	% Slow	Μοντέλο 4 FDU	Μοντέλο 4 FDD	Για P → 100%
Blocking Prob. (%)	**90%**	0,08	0,13	Ισοδυναμία των δύο μοντέλων
	70%	0,7	0,51	
	50%	1,06	0,93	
Dropping Prob. (%)	**90%**	0	0	Ισοδυναμία των δύο μοντέλων
	70%	0,04	0,02	
	50%	0,13	0,14	

Handoffs	**90%**	1549	1814	14,6% Λιγότερες διαπομπές στο μοντέλο FDU
	70%	5872	6309	6,9% Λιγότερες διαπομπές στο μοντέλο FDU
	50%	13607	13613	Ισοδυναμία των δύο μοντέλων

Παρατηρούμε ότι οι δύο στρατηγικές είναι σχεδόν ισοδύναμες σε συνθήκες μέτριου φορτίου με ελαφρά υπεροχή στο μοντέλο που εντάσσει τους γρήγορους χρήστες με υπηρεσίες δεδομένων στο μακροκυψελικό επίπεδο κυρίως για μικρά ποσοστά γρήγορων χρηστών.

Τα παραπάνω αποδεικνύονται και από τα γραφήματα (5.1), (5.2) και (5.3) όπου παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός των διαπομπών του συστήματος για τα μοντέλα 4 με FDU και FDD για κάθε ποσοστό γρήγορων χρηστών.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε είναι ότι:

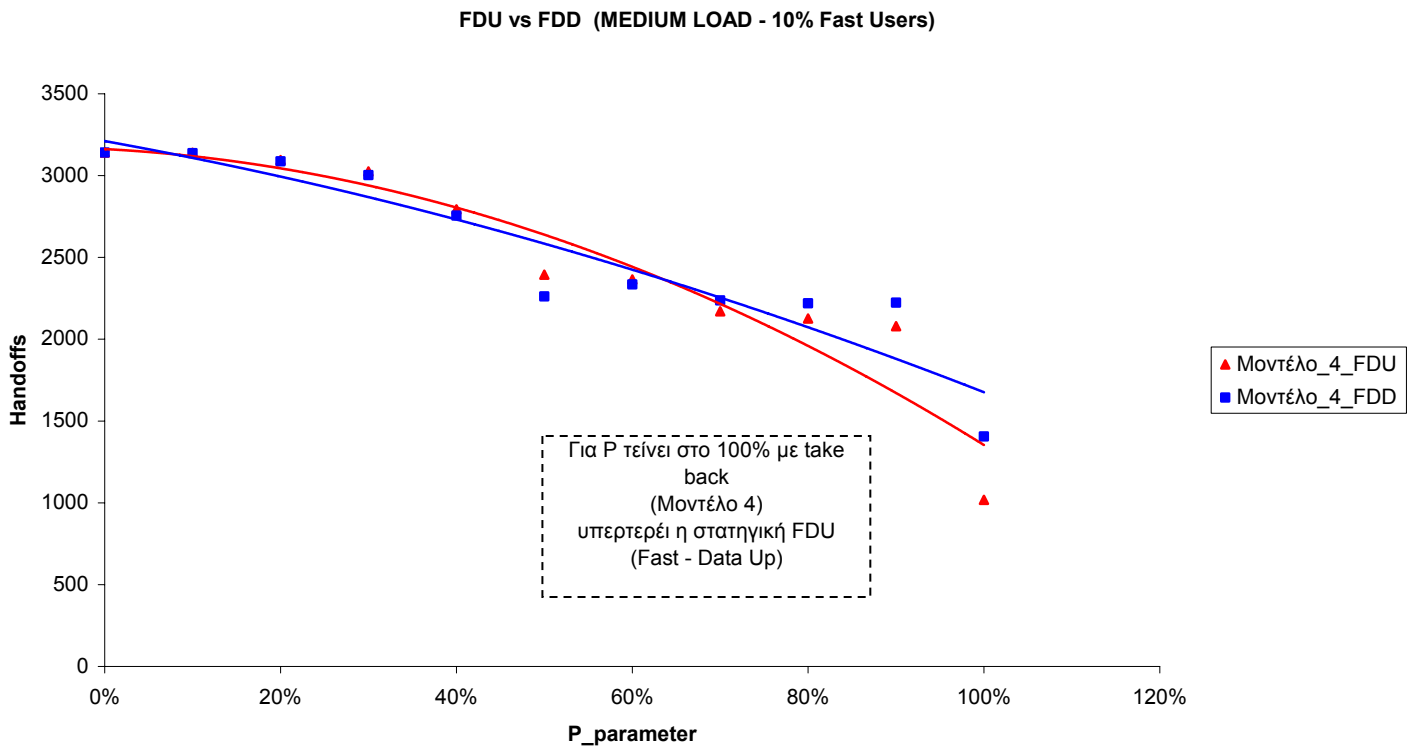
- Κατά την ένταξή τους στο σύστημα οι χρήστες θα πρέπει με βάση το προφίλ τους να εντάσσονται σε επίπεδο εξυπηρέτησης σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα. (5.6). (Το βελάκι προς τα πάνω (κάτω) υποδηλώνει αρχική προσπάθεια ένταξης της αντίστοιχης κατηγορίας χρηστών στο μακροκυψελικό (μικροκυψελικό) επίπεδο)

Πίνακας 5.6

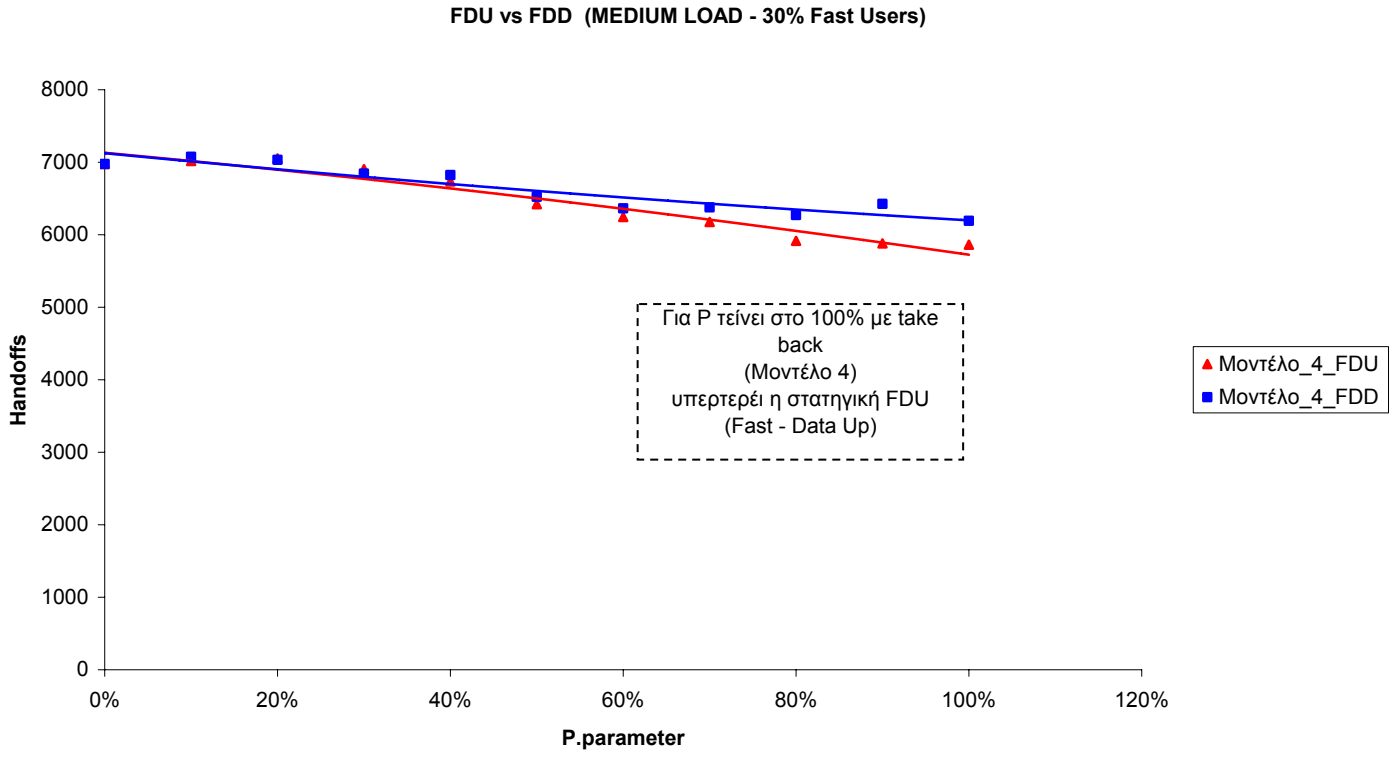
Service	Voice	Data
Speed		
Slow	↓	↓
Fast	↑	↑

Παρατηρούμε και πάλι ότι υπερισχύει το προφίλ κινητικότητας του χρήστη.

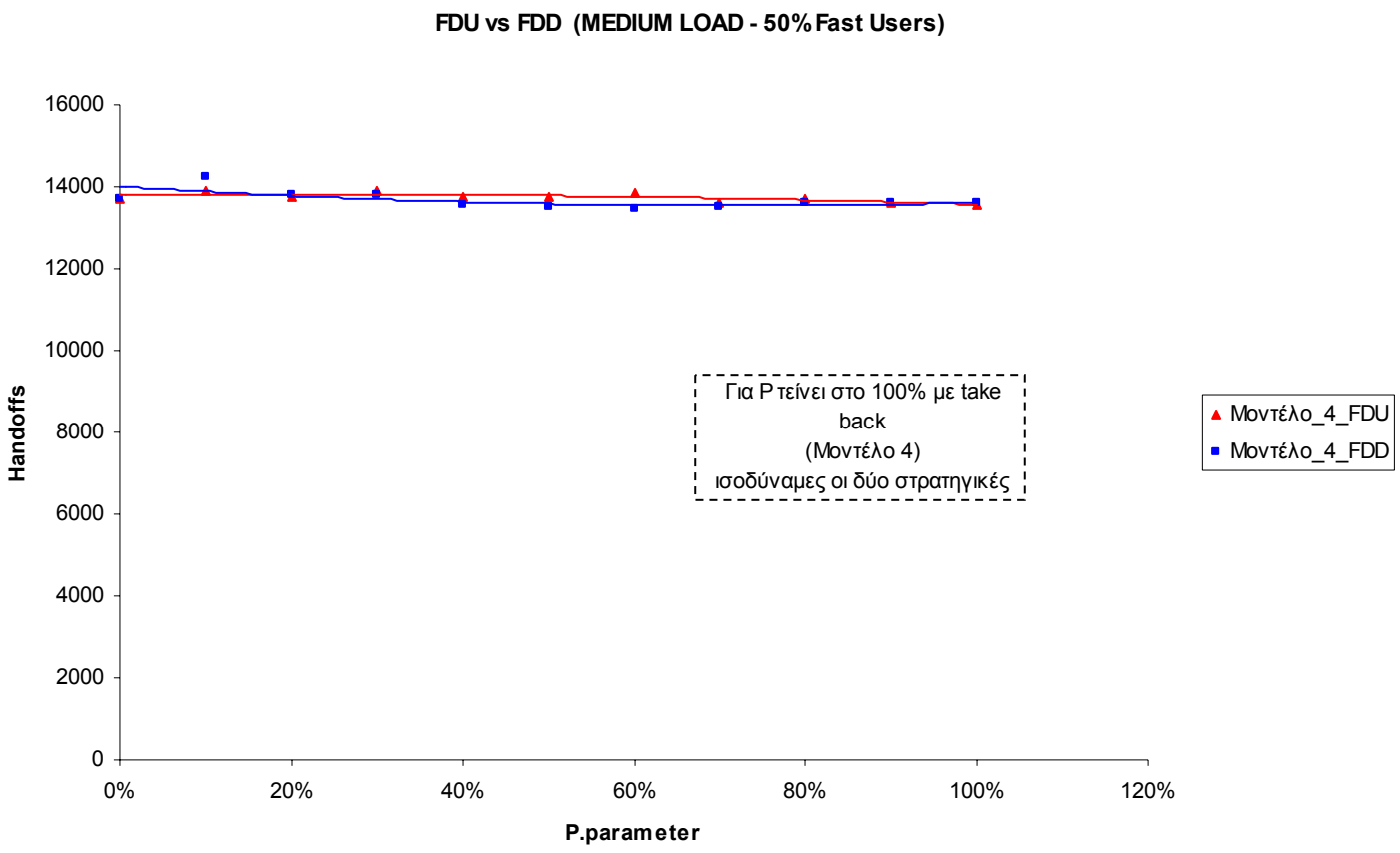
- Υπάρχει δυνατότητα take back στο σύστημα δηλαδή να προσπαθούν οι χρήστες να επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο εξυπηρέτησης (που καθορίζεται από τον παραπάνω πίνακα) αν αυτοί βρεθούν σε διαφορετικό.



Γράφημα 5.1: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_3_4 με FDU και Μοντέλων_3_4 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 10% και μέτριο φορτίο.



Γράφημα 5.2: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_3_4 με FDU και Μοντέλων_3_4 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 30% και μέτριο φορτίο.



Γράφημα 5.3: Συνολικός αριθμός διαπομπών του συστήματος συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_3_4 με FDU και Μοντέλων_3_4 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 50% και μέτριο φορτίο.

ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ Η ΕΛΑΦΡΙΑ ΥΠΕΡΟΧΗ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ FDU ΚΥΡΙΩΣ ΓΙΑ ΜΙΚΡΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΓΡΗΓΟΡΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΙΝΗΣΗΣ

6.6. Heavy Load (600 Users/667 Channels)

Ακολουθεί η μελέτη των επιδόσεων των μοντέλων κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου κίνησης. Το κύριο συμπέρασμα στο οποίο είχαμε καταλήξει κατά την μελέτη των μοντέλων κάτω από τέτοιου είδους φορτίο κίνησης ήταν ότι πλέον όλοι οι χρήστες πρέπει να εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Ο λόγος είναι ότι όλοι οι διαθέσιμοι πόροι της μακροκυψέλης πρέπει να αφιερώνονται αποκλειστικά στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης από το μικροκυψελικό επίπεδο η οποία δεν προέρχεται πλέον μόνο από μεμονωμένες κυψέλες. Αυτό συνεπάγεται ότι όλοι χρήστες θα έχουν την ίδια πιθανότητα εξυπηρέτησης και δεν γίνεται σπατάλη των πολύτιμων πόρων της μακροκυψέλης, η οποία λειτουργεί πλέον ως κυψέλη ομπρέλα.

Παρατηρήσαμε ότι κάτι τέτοιο οδηγεί σε μεγάλη μείωση της Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων στο σύστημα σε σχέση με τις άλλες στρατηγικές κάτι το οποίο είναι πολύ πιο σημαντικό από την αύξηση των διαπομπών στο σύστημα η οποία είναι λογικό επακόλουθο της ένταξης των γρήγορων χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο.

Τα παραπάνω συμπεράσματα παρατηρούνται και από την εξέταση των μοντέλων σε αυτή την ενότητα όπου τώρα πλέον παρέχονται και υπηρεσίες δεδομένων και για τις δύο στρατηγικές FDD και FDU. Τα αποτελέσματα των επιδόσεων των μοντέλων παρουσιάζονται αναλυτικά στους συνοπτικούς πίνακες (6.1) και (6.2) για τα μοντέλα με FDU και FDD αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι το μοντέλο 1 στο οποίο η παράμετρος P έχει την τιμή 0%, δηλαδή όλοι οι γρήγοροι χρήστες με υπηρεσίες φωνής προσπαθούν αρχικά να ενταχθούν στο μικροκυψελικό επίπεδο, και δεν διαθέτει την ιδιότητα take back μειώνει κατά πολύ τις τιμές της Πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων με ποσοστά μείωσης από 20% έως και 30% σε ορισμένες περιπτώσεις. Επίσης τα μοντέλα με take back (Μοντέλα_3_4), τα οποία λόγω αυτής της ιδιότητάς τους δεν μπορούν να κρατήσουν τους χρήστες στο μικροκυψελικό επίπεδο, φτάνουν σε ποσοστά αποκλεισμού κλήσεων της τάξεως του 25%.

Πίνακας 6.1

	Μοντέλα 1_2 FDU			**Για P** $0 \rightarrow 100$ **%**	**Μοντέλα 3_4 FDU**		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	$10{,}51 \rightarrow 14{,}79$ 24% (Αύξηση)	$0{,}38 \rightarrow 0{,}05$	$6548 \rightarrow 3026$ 53,7% (Μείωση)		$13{,}12 \rightarrow 15{,}83$	$0{,}38 \rightarrow 0{,}07$	$4868 \rightarrow 2872$ 41% (Μείωση)
70%	$11{,}69 \rightarrow 17{,}07$ 44% (Αύξηση)	$0{,}7 \rightarrow 0{,}39$	$16159 \rightarrow 12233$ 24% (Μείωση)		$16{,}13 \rightarrow 17{,}79$	$1{,}42 \rightarrow 1{,}18$	$13699 \rightarrow 12804$ 6,5% (Μείωση)
50%	$14{,}13 \rightarrow 18{,}96$ 24% (Αύξηση)	1	$26284 \rightarrow 23769$ 9,54% (Μείωση)		$19{,}5 \rightarrow 21{,}87$	$2{,}8 \rightarrow 3{,}27$	$24440 \rightarrow 24024$ 1,7% (Μείωση)

Πίνακας 6.2

	Μοντέλα 1_2 FDD			**Για P $0 \rightarrow 100$ %**	**Μοντέλα 3_4 FDD**		
% Slow	**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**		**Blocking Prob. (%)**	**Dropping Prob. (%)**	**Handoffs**
90%	$10,46 \rightarrow 14,2$ 23,3% (Αύξηση)	$0,38 \rightarrow 0,23$	$6548 \rightarrow 4109$ 37,24% (Μείωση)		$13,12 \rightarrow 17,45$	$0,38 \rightarrow 0,23$	$4868 \rightarrow 3464$ 28,85% (Μείωση)
70%	$13,139 \rightarrow 16,74$ 29,27% (Αύξηση)	0,7	$16159 \rightarrow 12272$ 24% (Μείωση)		$16,13 \rightarrow 20,55$	$1,42 \rightarrow 1,51$	$13699 \rightarrow 12724$ 7,18% (Μείωση)
50%	$14,83 \rightarrow 19,18$ 28,9% (Αύξηση)	$1,15 \rightarrow 1,38$	$26284 \rightarrow 23717$ 9,76% (Μείωση)		$19,5 \rightarrow 20,43$	2,8	$24440 \rightarrow 24118$ 1,31% (Μείωση)

- Σύγκριση FDU και FDD

Προχωρώντας στην σύγκριση των δύο στρατηγικών, που αφορούν το επίπεδο εξυπηρέτησης των γρήγορων χρηστών με υπηρεσίες δεδομένων εξετάζουμε τις επιδόσεις των μοντέλων 1, τις οποίες και παραθέτουμε στον παρακάτω πίνακα (6.3).

Πίνακας 6.3

	% Slow	**Μοντέλο 1 FDU**	**Μοντέλο 1 FDD**
Blocking Prob. (%)	**90%**	10,51	10,46
	70%	11, 69	13,139
	50%	14,13	14,83
Dropping Prob. (%)	**90%**	0,38	0,38
	70%	0,7	0,7
	50%	1	1,15
Handoffs	**90%**	6538	6548
	70%	16146	16159
	50%	26285	26284

Παρατηρούμε ότι και οι δύο στρατηγικές είναι ισοδύναμες. Βέβαια υπάρχει μια ελαφριά υπεροχή στην στρατηγική που θέλει τους γρήγορους χρήστες με υπηρεσίες δεδομένων να εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο, κυρίως για μεγάλα ποσοστά γρήγορων χρηστών. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τα γραφήματα (6.1), (6.2) και (6.3).

Είναι η πρώτη φορά που σε συνθήκες υψηλού φορτίου είναι προτιμότερη η ένταξη κάποιων χρηστών στο μακροκυψελικό επίπεδο. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι λόγω του μικρού τους χρόνου εξυπηρέτησης, οι γρήγοροι χρήστες που εντάσσονται στο μακροκυψελικό επίπεδο δεν επιβαρύνουν το σύστημα δεσμεύοντας τους πόρους της μακροκυψέλης, διατηρώντας τα πλεονεκτήματα που είχε η ένταξή τους σε αυτό το επίπεδο κάτω από ηπιότερες συνθήκες φορτίου.

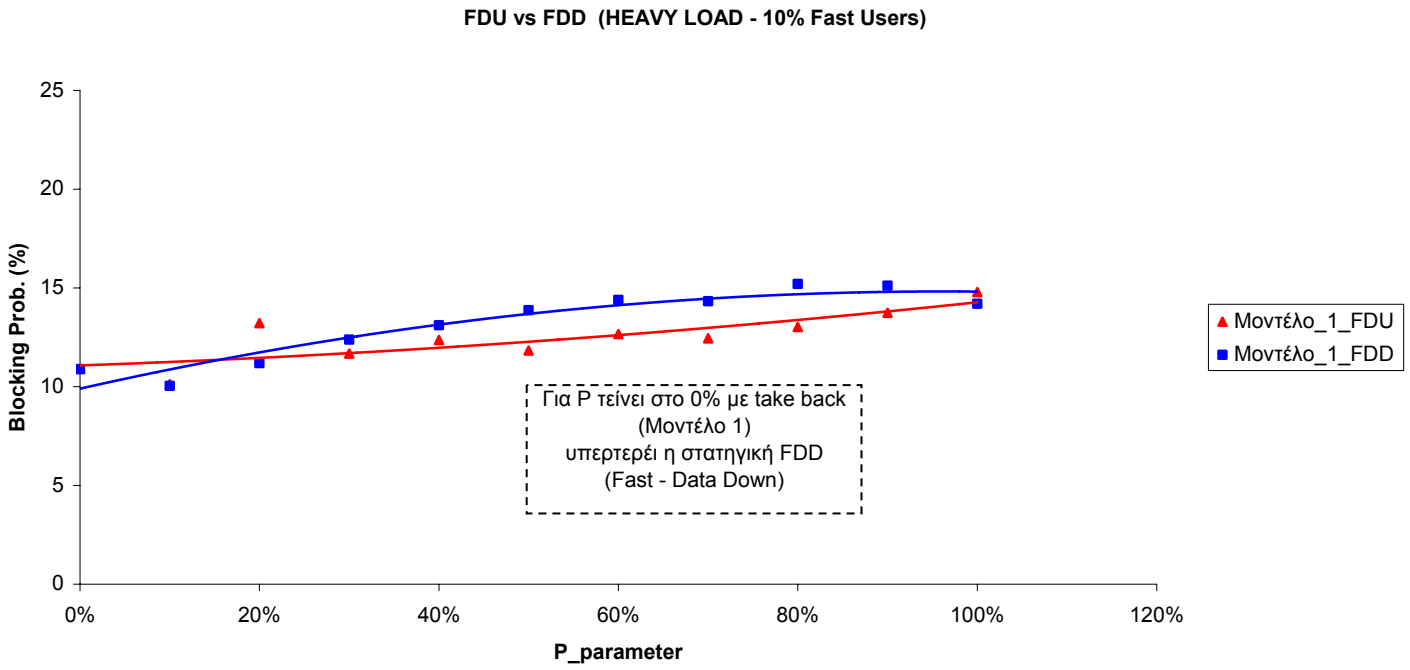
Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε είναι ότι:

- Κατά την ένταξή τους στο σύστημα οι χρήστες θα πρέπει με βάση το προφίλ τους να εντάσσονται σε επίπεδο εξυπηρέτησης σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα. (6.4). (Το βελάκι προς τα πάνω (κάτω) υποδηλώνει αρχική προσπάθεια ένταξης της αντίστοιχης κατηγορίας χρηστών στο μακροκυψελικό (μικροκυψελικό) επίπεδο)

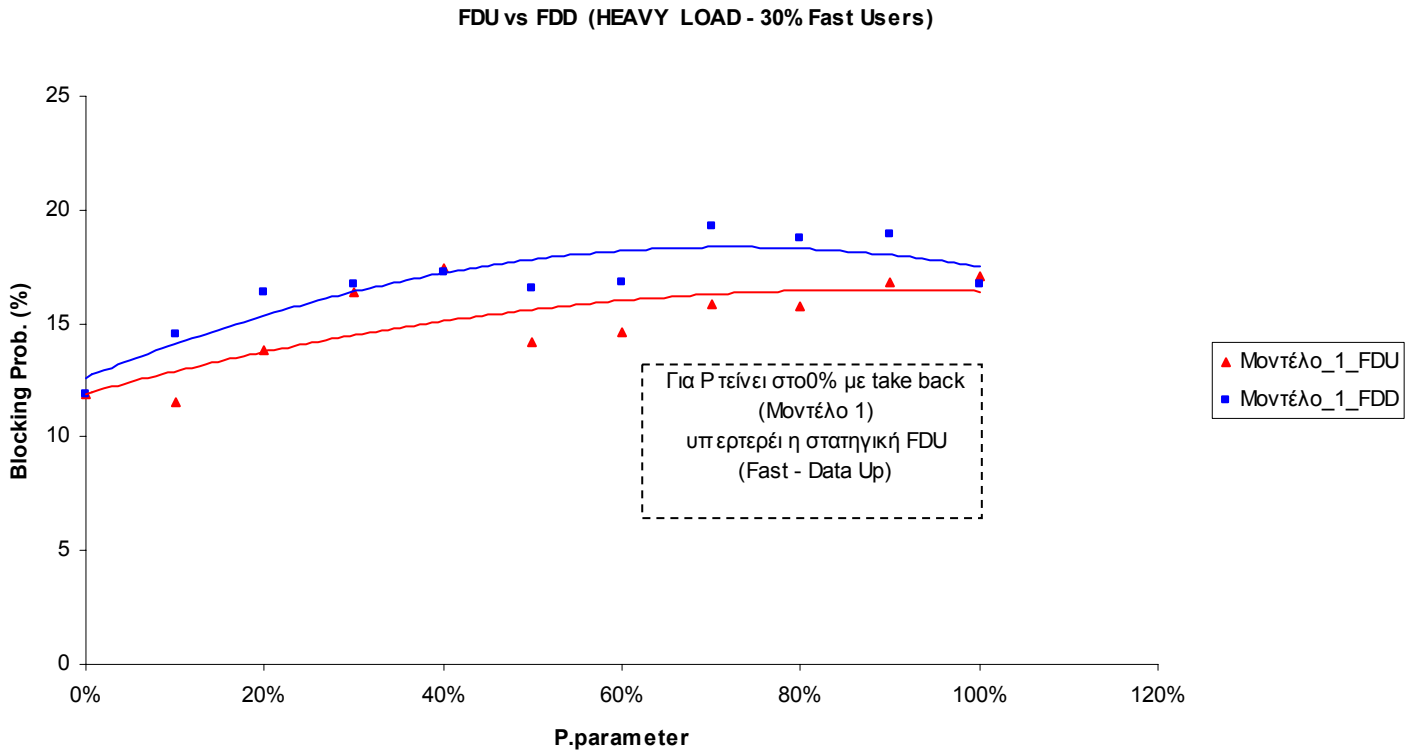
Πίνακας 6.4

Service	Voice	Data
Speed		
Slow	↓	↓
Fast	↓	↑

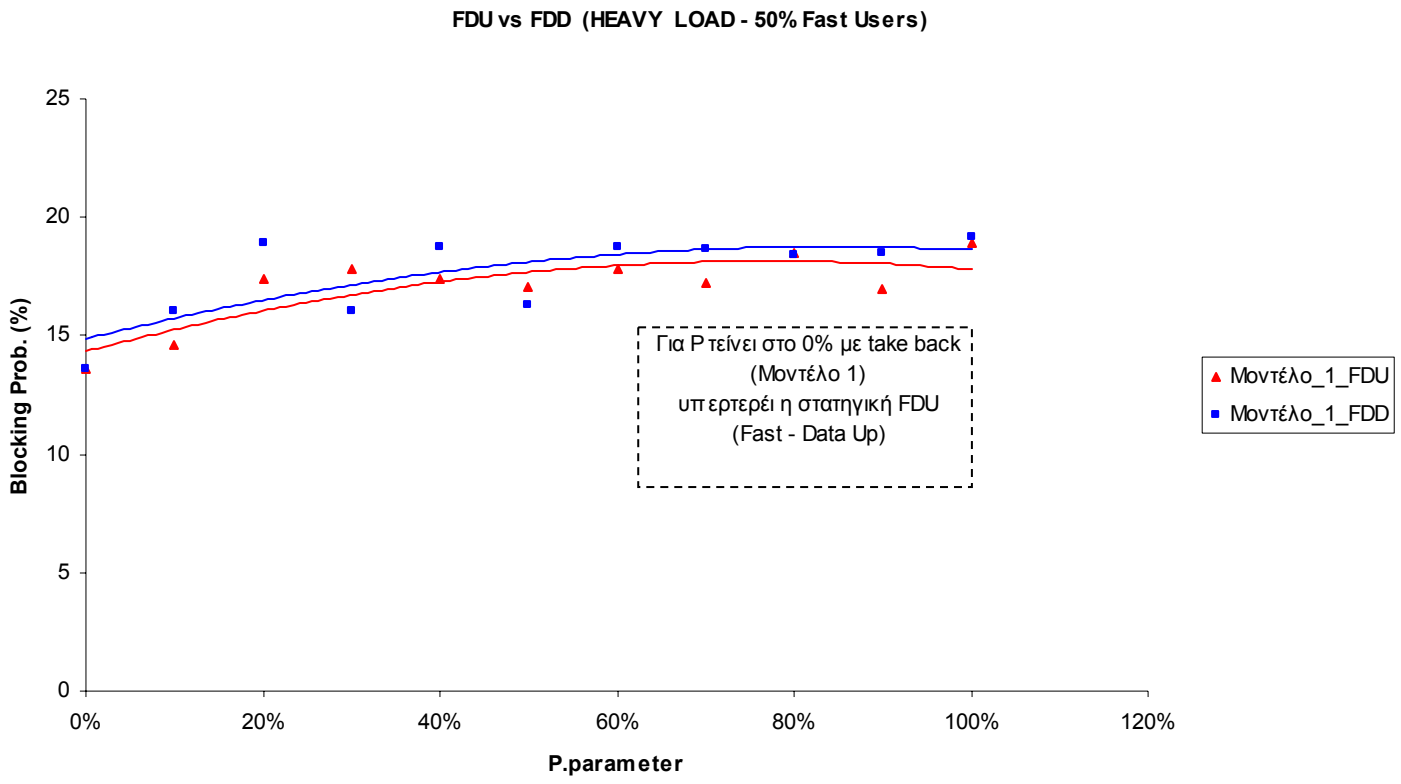
- Δεν υπάρχει δυνατότητα take back στο σύστημα δηλαδή οι χρήστες παραμένουν στο επίπεδο ένταξής τους καθ΄ όλη την διάρκεια της κλήσης τους, εκτός και αν λόγω υψηλού φορτίου στην κυψέλη προς την οποία κατευθύνονται αναγκαστούν να αλλάξουν επίπεδο εξυπηρέτησης.



Γράφημα 6.1: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_1_2 με FDU και Μοντέλων_1_2 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 10% και υψηλό φορτίο.



Γράφημα 6.2: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_1_2 με FDU και Μοντέλων_1_2 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 30% και υψηλό φορτίο.



Γράφημα 6.3: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων συναρτήσει της P παραμέτρου για την περίπτωση Μοντέλων_1_2 με FDU και Μοντέλων_1_2 με FDD για ποσοστό γρήγορων χρηστών 50% και υψηλό φορτίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΤΟ AD.I.LO.P

7.1. Εισαγωγή

« Imagination is more important than knowledge »
Albert Einstein

Τα ιεραρχικά μοντέλα κινητών και προσωπικών τηλεπικοινωνιών αποτελούν ένα ευρύτερο θέμα έρευνας, πολλά υποσχόμενο και κατά πολλούς το μέλλον των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν οι βασικές αρχές σχεδίασης και λειτουργίας τέτοιων συστημάτων και έγινε ανασκόπηση και μελέτη, μέσω κατάλληλου προσομοιωτή, των κυριότερων τεχνικών αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων.

Τα παραπάνω αποτελούν ένα τμήμα του όλου θέματος και για αυτό, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα και μελέτη, οι οποίες προέκυψαν από την γενικότερη ενασχόλησή μου με αυτό. Επίσης, γίνεται αναφορά σε ένα νέο μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων (ADILOP) του οποίου η σχεδίαση και υλοποίηση βασίζονται στην πεποίθησή μου για κάτι καλύτερο.

7.2 AD.I.LO.P (ADapting In LOad Protocol)

Τα περισσότερα από τα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων που έχουν προταθεί έως τώρα και αφορούν ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της μη προσαρμοστικότητας. Παρουσιάζουν δηλαδή καλές επιδόσεις κάτω από ορισμένες συνθήκες, ενώ αποτυγχάνουν αν αλλάξουν κάποια δεδομένα, όπως το συνολικό φορτίο που καλείται να αντιμετωπίσει το σύστημα, η αναλογία αργών και γρήγορων χρηστών ή η κατανομή των πόρων του συστήματος.

Αν επικεντρώσουμε την προσοχή μας και παρατηρήσουμε κατά την διάρκεια της ημέρας το φορτίο κίνησης που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα σε μια μεμονωμένη περιοχή, θα διαπιστώσουμε ότι αυτό μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Υπάρχουν χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες είναι χαμηλό και άλλες στις οποίες είναι υψηλό. Οι όροι χαμηλό και υψηλό φορτίο είναι υποκειμενικοί, χαρακτηρίζουν την εκάστοτε περιοχή και διαμορφώνονται από την αναλογία διαθέσιμων πόρων και αριθμού χρηστών σε αυτή, αλλά και από την Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, την οποία εμφανίζει το σύστημα σε κάθε αναλογία αυτών.

Λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα, έρχεται να δώσει η ανάπτυξη ευφυών συστημάτων, τα οποία θα προσαρμόζονται και θα αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας τους, ανάλογα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες καλούνται να δράσουν, με απώτερο στόχο την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

Υιοθετώντας την παραπάνω άποψη, σχεδιάσαμε το μοντέλο αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας **AD.I.LO.P**. Αποτελεί ένα ευφυές μοντέλο, το οποίο, όπως φαίνεται και από τα αρχικά των λέξεων που συνθέτουν το όνομά του, προσαρμόζει την λειτουργία του με βάση το φορτίο κίνησης που προσφέρεται στο σύστημα την εκάστοτε στιγμή.

Αναλυτικότερα, η λειτουργία του βασίζεται στα εξής συμπεράσματα, που προέκυψαν από την μελέτη των μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων (4° Κεφάλαιο):

- **Στρατηγική Α:**

  Κάτω από συνθήκες χαμηλού και μέτριου φορτίου η στρατηγική take back με ($P \rightarrow 100\%$) πλεονεκτεί αφού δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στον συνολικό αριθμό διαπομπών του συστήματος και συνεπώς το επιβαρύνει με το μικρότερο φόρτο σηματοδοσίας. Η κύρια αιτία που την κάνει να πλεονεκτεί είναι ο σχεδόν πλήρης διαχωρισμός των χρηστών που επιτυγχάνει σε δύο κατηγορίες, αργών και γρήγορων, οι οποίες μοιάζουν να εξυπηρετούνται από δύο διαφορετικά επίπεδα, το μικροκυψελικό και το μακροκυψελικό αντίστοιχα.

- **Στρατηγική Β:**

  Κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου πλεονεκτεί η στρατηγική χωρίς take back με ($P \rightarrow 0\%$) λόγω του ότι εκμεταλλεύεται πλήρως τους πόρους της μακροκυψέλης στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης που προέρχεται από το μικροκυψελικό επίπεδο, θέτοντας όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως κατηγορίας στην ίδια μοίρα.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι διαφορετικές στρατηγικές, ως προς τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα αντιμετωπίζει τους χρήστες, κρίνονται αποδοτικότερες, κάτω από διαφορετικές συνθήκες φορτίου κίνησης. Ο σχεδιασμός του AD.I.LO.P. έγινε έτσι, ώστε να μπορεί να εφαρμόζει την εκάστοτε στρατηγική ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα της κάθε μιας.

Η λειτουργία του μοντέλου βασίζεται στην μέτρηση του φορτίου κίνησης που επικρατεί στο σύστημα, με βάση το οποίο εφαρμόζεται η καταλληλότερη από τις δύο στρατηγικές (A,B). Το ερώτημα όμως που πρέπει να απαντηθεί, είναι με βάση ποιες μετρήσεις γίνεται αντιληπτό από το σύστημα το είδος του φορτίου που επικρατεί την εκάστοτε χρονική στιγμή.

Το AD.I.LO.P. αντιλαμβάνεται δύο ήδη φορτίου, χαμηλό και υψηλό. Ο καθορισμός του δεν γίνεται άμεσα από την μέτρηση των χρηστών ανά χρονική στιγμή, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των διαύλων που διαθέτει το σύστημα, αλλά έμμεσα, από την μέτρηση δύο παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν:

- Την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων. Υπολογίζεται από το ποσοστό επί της εκατό των χρηστών που αποκλείονται από το σύστημα, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των χρηστών που προσπαθούν να ενταχθούν σε αυτό. Η μέτρησή της γίνεται περιοδικά ανά Δτ.
- Την πιθανότητα διακοπής κλήσης. Υπολογίζεται από το ποσοστό επί της εκατό των χρηστών των οποίων διακόπτεται η κλήση τους, ενώ αυτή βρίσκεται σε εξέλιξη, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των χρηστών που επιχειρούν διαπομπή κατά την εξυπηρέτησή τους από αυτό. Η μέτρησή της γίνεται επίσης περιοδικά ανά Δτ.

Και οι δύο μετρήσεις γίνονται εύκολα από το σύστημα, χωρίς την επιβάρυνσή του με επιπλέον φορτίο σηματοδοσίας, αφού απλά απαιτείται η ύπαρξη μετρητών.

Αν η τιμή κάποιας από τις παραπάνω πιθανότητες ξεπεράσει προκαθορισμένο κατώφλι, A_{Bl} και A_{Dr} αντίστοιχα, τότε το σύστημα θεωρεί ότι βρίσκεται σε κατάσταση υψηλού φορτίου κίνησης. Στην αντίθετη περίπτωση βρίσκεται σε κατάσταση χαμηλού φορτίου κίνησης. Ανάλογα με την κατάσταση το σύστημα εφαρμόζει την καταλληλότερη στρατηγική.

Από την εξέταση όμως των μεταβολών του φορτίου συναρτήσει του χρόνου, σε ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας, παρατηρούνται δύο είδη μεταβολών:

Βραχυπρόθεσμες Μεταβολές

Αποτελούν απότομες αυξομειώσεις του φορτίου που εμφανίζει κάποια περιοχή και η διάρκειά τους είναι μικρή. Παρουσιάζονται λόγω υπερφόρτωσης μεμονωμένων κυψελών, επηρεάζοντας κυρίως την τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων της περιοχής. Το σύστημα αποσυμφορίζεται μόνο του, σε σύντομο χρονικό διάστημα, λόγω της φυσικής κίνησης των χρηστών, που τους οδηγεί εκτός της περιοχής συμφόρησης.

Μακροπρόθεσμες Μεταβολές

Προκαλούνται από την γενικότερη αύξηση του φορτίου που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα και η οποία αφορά μια ευρύτερη περιοχή κυψελών. Η χρονική διάρκεια μιας τέτοιας συμφόρησης είναι μεγάλη διατηρώντας τις τιμές της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων και πιθανότητας διακοπής κλήσεων σε υψηλές τιμές.

Για να δώσουμε μια τάξη μεγέθους, οι πρώτες διαρκούν μερικά λεπτά ενώ οι δεύτερες κάποιες ώρες. Στόχος μας, είναι η αντιμετώπιση των μακροπρόθεσμων αλλαγών και όχι των βραχυπρόθεσμων, γιατί η αλλαγή του τρόπου εξυπηρέτησης των χρηστών αποτελεί μια διαδικασία που απαιτεί χρόνο και σηματοδοσία.

- Ο χρόνος απαιτείται, γιατί η μείωση της παραμέτρου P, η οποία θα μεταβεί από το 100% (συνθήκες χαμηλού φορτίου) στο 0% (συνθήκες υψηλού φορτίου) επηρεάζει την είσοδο νέων χρηστών. Αναλυτικότερα, πρέπει, όταν το σύστημα αντιληφθεί υψηλό φορτίο κίνησης, να αρχίσει να μεταφέρει και τους γρήγορους χρήστες στο μικροκυψελικό επίπεδο, ώστε να χρησιμοποιείται η μακροκυψέλη μόνο ως δέκτης της υπερροϊκής κίνησης και να μειωθεί η τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων του συστήματος. Αυτό θα γίνει με τον αντίστοιχο μηδενισμό της παραμέτρου P και της μη ύπαρξης δυνατότητας take back. Όμως, η παράμετρος P καθορίζει το επίπεδο ένταξης των **νέων** γρήγορων χρηστών. Άρα από την στιγμή του μηδενισμού της και δεδομένου ότι ο μέσος χρόνος διάρκειας μιας κλήσης είναι περίπου ένα λεπτό, γίνεται κατανοητό ότι απαιτείται χρόνος μεγαλύτερος του ενός λεπτού για να αρχίσει η πλήρης ένταξη των γρήγορων χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο.
  Άρα, αν το σύστημα άλλαζε στρατηγική εξυπηρέτησης κατά τις βραχυπρόθεσμες μεταβολές, αυτό δεν θα είχε κανένα αποτέλεσμα, αφού η χρονική τους διάρκεια είναι μικρότερη του χρόνου αντίδρασης του συστήματος. Το μόνο που θα συνέβαινε, θα ήταν άσκοπη και επιπλέον σηματοδοσία.

- Επίσης, για να γίνει η παραπάνω αλλαγή, απαιτείται επιπλέον χρόνος λόγω της σηματοδοσίας η οποία θα ενημερώσει το σύστημα. Πρέπει να τονίσουμε σε αυτό το σημείο, ότι η απαιτούμενη σηματοδοσία δεν αφορά τα κινητά τερματικά, αλλά γίνεται μόνο μεταξύ των σταθμών βάσης και του κέντρου ελέγχου της εκάστοτε περιοχής. Παρόλα αυτά, απαιτείται κάποιος χρόνος, ο οποίος αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα που καθιστά μη αποδοτική την προσπάθεια καταπολέμησης βραχυπρόθεσμων αλλαγών.

Άρα, δεν αρκεί η ύπαρξη μόνο των κατωφλίων για τις προς μέτρηση πιθανότητες, για την λήψη της απόφασης αλλαγής στρατηγικής εξυπηρέτησης, γιατί τότε οι συνεχείς αλλαγές στην συμπεριφορά του συστήματος λόγω των βραχυπρόθεσμων μεταβολών του φορτίου θα οδηγούσαν σε αποτυχία.

Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων, υιοθετήσαμε δύο δικλείδες ασφαλείας:

1. *Critical time*
Από τη στιγμή της υπέρβασης της τιμής κατωφλίου, είτε της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων, είτε της πιθανότητας διακοπής κλήσης, το σύστημα παραμένει αδρανές για ένα χρονικό διάστημα T_{ct}. Αν και μετά το πέρας του, εξακολουθεί να βρίσκεται σε κατάσταση υψηλού φορτίου, τότε μόνο αλλάζει στρατηγική.

2. *Μνήμη*
Ο περιοδικός υπολογισμός των πιθανοτήτων δεν γίνεται μόνο με βάση τις μετρήσεις της προηγούμενης περιόδου Δτ, αλλά η νέα τιμή προκύπτει ως αποτέλεσμα άθροισης της μετρούμενης τιμής της εκάστοτε πιθανότητας την προηγούμενη Δτ περίοδο πολλαπλασιασμένη με ένα ποσοστό 1-α (%) και του μέσου όρου των προηγούμενων τιμών πολλαπλασιασμένου με ένα ποσοστό α (%). Το ποσοστό συμβολής του προηγούμενου μέσου όρου α (%), καλείται μνήμη του συστήματος.

Το τελευταίο ζήτημα που πρέπει να διευκρινιστεί είναι το πως μετά την αποσυμφόρηση θα επανερχόμαστε στην αρχική μας κατάσταση δηλαδή P=100% και οι γρήγοροι θα ανεβαίνουν στο μακροκυψελικό επίπεδο με τα γνωστά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής, όταν το σύστημα δεν αντιμετωπίζει ακραία φαινόμενα φόρτου σε κάποια περιοχή.

Καταλήξαμε ότι το καλύτερο θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε μια είδη δοκιμασμένη και επιτυχημένη τεχνική :

Έλεγχος συμφόρησης στο TCP που αναλύεται στο [20].

SLOW START

Περιληπτικά, αυτό που προτείνεται, είναι ότι μετά την απότομη πτώση της παραμέτρου P για την άμεση ανακούφιση του συστήματος θα την αυξάνουμε σιγά σιγά με εκθετικό βήμα έως ότου επανέρθει στα αρχικά της επίπεδα (P=100). Αν κατά την αύξησή της παρατηρούμε και πάλι βαρύ φορτίο, θα την ξανά μειώνουμε (P=0) και η ίδια διαδικασία θα επαναλαμβάνεται.

Το μοντέλο και ο καθορισμός των τιμών των παραμέτρων που παρουσιάστηκαν για την βελτιστοποίηση της επίδοσής του βρίσκεται σε εξέλιξη.

Το μοντέλο αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων (ADILOP), το οποίο παρουσιάστηκε παραπάνω, αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του Τιμόθεου Ι. Καστρινογιάννη, Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών Ε.Μ.Π. και του Παναγιώτη Τ. Βλαχέα, υποψήφιου διδάκτορα της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π. Απαγορεύεται οποιαδήποτε αντιγραφή ή χρήση, ολόκληρου ή μέρους του, χωρίς προηγούμενη έγκριση.

7.3 Προτάσεις Για Μελλοντική Έρευνα

Ακολουθεί η αναφορά μιας σειράς σημαντικών θεμάτων, τα οποία αποτελούν ή μπορεί να αποτελέσουν μελλοντικά θέματα έρευνας στο τομέα των ιεραρχικών μοντέλων κινητής τηλεφωνίας. Η παρουσίασή τους είναι επιγραμματική και δεν γίνεται προσπάθεια περαιτέρω ανάλυσής τους.

- Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, ο προσδιορισμός της κινητικότητας του χρήστη αποτελεί έναν από τους θεμέλιους λίθους, πάνω στον οποίο στηρίζεται όλο το οικοδόμημα ενός συστήματος ιεραρχικής αρχιτεκτονικής. Η ακρίβεια στην μέτρηση της ταχύτητας δεν είναι τόσο σημαντική, όσο ο γρήγορος προσδιορισμός της, έμμεσος ή άμεσος, ώστε το σύστημα να μπορεί να παίρνει όσο το δυνατό πιο γρήγορα αποφάσεις για τον τρόπο εξυπηρέτησής του. Εκτός των μεθόδων που παρουσιάστηκαν, μελετώνται και νέοι, όπως η χρήση του GPS μέσω του οποίου δύο σημεία της τροχιάς του χρήστη και η χρονική διάρκεια διάσχισής τους θα μας δίνουν με ακρίβεια την ταχύτητά του. Το θέμα όμως παραμένει ανοικτό και χρήζει περαιτέρω έρευνας και βελτίωσης.

- Μετά τον προσδιορισμό της ταχύτητας του χρήστη, το σύστημα πρέπει να τον κατατάξει, με βάση αυτή, σε κάποια κατηγορία κινητικότητας. Αυτό γίνεται με την ύπαρξη κατωφλίων ταχύτητας, σταθερές για την εκάστοτε περιοχή. Οι τιμές των κατωφλιών πρέπει να εναρμονίζονται με τα χαρακτηριστικά της περιοχής εξυπηρέτησης, αλλιώς δημιουργούνται διάφορα προβλήματα. Για παράδειγμα, αν ο μέσος όρος ταχύτητας μιας περιοχής είναι υψηλός, αν για παράδειγμα αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας διέρχεται από αυτή, το κατώφλι διαχωρισμού γρήγορων και αργών πρέπει να είναι υψηλό. Αν δεν γίνει αυτό, τότε ένας δυσανάλογος αριθμός χρηστών, σε σχέση με τις δυνατότητες της μακροκυψέλης θα θεωρούνται γρήγοροι, με αποτέλεσμα αυτή να είναι διαρκώς υπερφορτωμένη. Δεν υπάρχει αλγόριθμος ή μοντέλο, το οποία να δέχεται ως παραμέτρους τα χαρακτηριστικά της περιοχής που μας ενδιαφέρει και να δίνει κατάλληλες τιμές κατωφλίων. Η ύπαρξή του θα απλοποιούσε κατά πολύ τον σχεδιασμό του συστήματος.

- Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται κυρίως με μοντέλα αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα. Όμως, υπάρχουν και άλλες βασικές διαδικασίες που χαρακτηρίζουν την λειτουργία συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, όπως αυτές της ενημέρωσης θέσης, αναζήτησης και εντοπισμού των χρηστών. Με την εισαγωγή ιεραρχικών δομών χρειάζονται αναθεώρηση και έρευνα για την ένταξή τους σε αυτές και την περαιτέρω βελτιστοποίησή τους.

- Έως τώρα, το μεγαλύτερο τμήμα της έρευνας, αφορούσε ιεραρχικά συστήματα με δύο επίπεδα, το μικροκυψελικό και το μακροκυψελικό, λόγω των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζουν οι πικοκυψέλες και οι δορυφορικές δέσμες. Η πλήρης ένταξη και αυτών στο σύστημα, μπορεί να αποτελεί ένα πολύπλοκο θέμα, αλλά οι προοπτικές και οι βελτιώσεις που μπορεί να προκύψουν από κάτι τέτοιο σίγουρα αποτελούν αίτιο για περαιτέρω μελέτη.

- Η διαδικασία του take back, δηλαδή της επιστροφής των χρηστών στο φυσικό τους επίπεδο, παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως αναλύθηκε, όμως απαιτεί διαρκή παρακολούθηση από το κινητό τερματικό του επιπέδου στόχου, για να μπορεί ο χρήστης να επιστρέψει σε αυτό. Μια τέτοια ενέργεια επιβαρύνει με επιπλέον φορτίο σηματοδοσίας το σύστημα. Η εύρεση τρόπων υλοποίησης της παραπάνω διαδικασίας, με τη λιγότερο δυνατή επιβάρυνση του συστήματος, είναι πολύ σημαντική.

- Η πολυεπίπεδη δομή θα μπορούσε να βελτιώσει κατά πολύ την παροχή υπηρεσιών πολυμέσων, με την κατάλληλη εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών και ιδιαιτεροτήτων των κυψελών που αποτελούν το κάθε επίπεδο.

- Τέλος, η ιεραρχία και η ένταξη των χρηστών σε διαφορετικά επίπεδα, μπορεί να βοηθήσει και στην υλοποίηση προτεραιοτήτων και στην παροχή νέων υπηρεσιών.

[1] ¨Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών¨ Μ.Ε. Θεολόγου

[2] Vijoy Pandey, Dipak Ghosal, and Biswanath Mukherjee, 'Quantifying the Benefits of Exploiting User Profiles in Cellular Networks' GLOBECOM 2000.

[3] K. Kawabata, T. Nakamura, and E. Fukuda "Estimating Velocity Using Diversity Reception", Proc. Vehicular Tech. Conf. 1994, Stockholm, Sweden, June 1997, pp. 371-374

[4] M. Benveniste, "Cell selection in two-tier microcellular/macrocellular systems" in Proc. IEEE GLOBECOM, 1995, pp.1532 – 1536

[5] C. W. Sung and W. S. Wong, "User speed estimation and dynamic channel allocation in hierarchical cellular system" in Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. 1994, pp .91-95

[6] W. M. Jolley and R. E. Warfield, "Modeling and analysis of layered cellular mobile networks" Teletraffic Datatraffic Period Change, vol. ITC-13, pp. 161-166, 1991.

[7] Unite "Idle mode cell reselection for microcell" in Proc. ETSI GSM2, Ronneby, Sweden, Sept. 1991.

[8] K. L. Yeung and S. Nanda, : "Channel management in micro/macrocellular radio systems" IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 45, pp. 601-612, Nov. 1996

[9] Young-uk Chung, Dong-Jun Lee and Dong_Ho Cho, : "Microcell/Macrocell Selection Scheme Based on a New Velocity Estimation in Multitier Cellular System" IEEE Trans Veh. Technol., vol. 51, pp. 893-903, Sep. 2002

[10] M.E. Anagnostou and G.C. Manos, "Handover related performance of mobile communication networks'', Proceedings of 44th IEEE VTC, pp. 111-114, 1994

[11] Sung-Hong Wie, Jae-Shin Jang, Byung-Cheol Shin and Dong-Ho Cho, "Handoff Analysis of the Hierarchical Cellular Systems", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 49, No. 5 Sept 2000 pp. 2027-2036.

[12] S. B. Tripathi and A. Kumar, "Performance analysis of microcellization with channel reservation for supporting two mobility classes in cellular networks" in IEEE conf. Personal Wireless Communications, Mumbai India, Dec. 1997, pp. 9 – 18.

[13] Kuen-Rong Lo, Chung-Ju Chang and C. Bernard Shung, " A neural Fuzzy Resource Manager for Hierarchical Cellular Systems Supporting

Multimedia Services" IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 52, No. 5 Sept 2003 pp. 1196-1206.

[14] A. Iera, S. Marano, and A. Molinaro, "Transport and control issues in multimedia wireless networks", ACM Wireless Networks Journal, 2 (2), Baltzer Science Pub., Special Issue on Wireless Multimedia Networking, 1996.

[15] A. Iera, S. Marano, and A. Molinaro, "Multimedia services management in next generation mobile networks", IEEE ICUPC'95 , November 1995.

[16] A. Iera, A. Modafferi and A. Molinario, "Access Control and Handoff Management in Multi-tier Multimedia Wireless Systems" IEEE 0-7803-5669 1998

[17] T.Klein and Seung-Jae Han, "Assignment Strategies for Mobile Data Users in Hierarchical Overlay Networks: Performance of Optimal Adaptive Strategies" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol 22, No.5 June 2004.

[18] G. Boggia, P. Camabra and N. Di Fonzo, " Teletraffic Analysis of Hierarchical Cellular Communication Networks" IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 52, No. 4 July 2003 pp. 931-946.

[19] Kwan L. Yeung and S. Nanda, " Channel management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems" IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 45, No. 4 Nov. 2003 pp. 601-612.