



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής και Εξυπηρέτησης
Κλήσεων σε Ιεραρχικά Κυβελωτά Συστήματα
Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών*

Ζαχαρίας Ι. Καπελλάκης

Επιβλέπων : Συμεών Χ. Παπαβασιλείου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2006



Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής Και Εξυπηρέτησης Κλήσεων Σε Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα
Κινητών Και Προσωπικών Επικοινωνιών



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής και Εξυπηρέτησης Κλήσεων σε Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζαχαρία Ι. Καπελλάκη

Επιβλέπων : Συμεών Χ. Παπαβασιλείου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Ιουλίου 2006.

.....
Σ. Παπαβασιλείου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Β. Μάγκλαρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μ. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2006



.....
Ζαχαρίας Ι. Καπελλάκης

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

Copyright © Ζαχαρίας Ι. Καπελλάκης, 2006.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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



Αφιερώνεται στον πατέρα μου και τη μητέρα μου.



Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Σ. Παπαβασιλείου για τη βοήθεια του και την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Τιμόθεο Καστρινογιάννη διότι χωρίς τη βοήθεια και την καθοδήγηση του η παρούσα εργασία δεν θα ήταν ποτέ δυνατό να γίνει. Σίγουρα η συνεργασία μαζί του ήταν μια από τις προσοδοφόρες των φοιτητικών μου χρόνων.



Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των επιδόσεων διαφορών ευφύων – on line μοντέλων αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα (Hierarchical Cellular Systems) κινητών και προσωπικών επικοινωνιών. Η μελέτη τους έγινε μέσω της κατασκευής ενός προσομοιωτή στη γλώσσα προγραμματισμού C++.

Αρχικά, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση της δομής και των χαρακτηριστικών των Ιεραρχικών Κυψελωτών Συστημάτων, ενώ στη συνέχεια αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μη ευφύων μοντέλων αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων. Το κύριο μέρος της εργασίας είναι αφιερωμένο στην παρουσίαση πέντε ευφύων μοντέλων αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά συστήματα. Αυτά είναι τα: Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm, Adaptive Channel Partitioning, Velocity-based Assignment Strategy και Data-based Assignment Strategy. Τα μοντέλα αυτά χαρακτηρίζονται κυρίως από τη δυνατότητα τους on-line προσαρμογής στο φορτίο του συστήματος.

Μετά την παρουσίαση των μοντέλων, ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του HCS Simulator, ο οποίος υλοποιήθηκε με προοπτική τη μελέτη των επιδόσεων των παραπάνω μοντέλων. Για το σκοπό αυτό γίνονται δύο σειρές προσομοιώσεων για κάθε μοντέλο. Η πρώτη γίνεται για σταθερό προσφερόμενο φορτίο συστήματος, ενώ η δεύτερη για μεταβλητό φορτίο συστήματος.

Το τελευταίο κομμάτι της εργασίας είναι αφιερωμένο στην παρουσίαση και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων των παραπάνω προσομοιώσεων. Από τα αποτελέσματα αυτά μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά κάθε μοντέλου με βάση έναν αριθμό παραμέτρων ποιότητας ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών. Οι βασικότερες παράμετροι που εξετάζονται είναι η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability), η πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability) και ο αριθμός των διαπομπών που προκαλεί κάθε μοντέλο στο σύστημα.

- **Λέξεις Κλειδιά:** προσομοιωτής, Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα, Κινητές και Προσωπικές Επικοινωνίες, πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, πιθανότητα διακοπής κλήσεων, διαπομπή, κινητικότητα χρηστών, Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm, Adaptive Channel Partitioning, Velocity-based Assignment Strategy, Data-based Assignment Strategy.



Abstract

The main goal of this thesis was the comprehensive study of the performance of intelligent and on line call selection and admission schemes for Hierarchical Cellular Systems for mobile and personal communications. This study was performed through the development of a proper simulator in the C++ programming language.

The thesis starts with a relatively short presentation of the basic characteristics and the structure of the most common Hierarchical Cellular Systems. After a reference to the main characteristics of the, so far, proposed call admission schemes that do not have on line and adaptive capabilities, the main part of the thesis follows. This main part is dedicated to the presentation of five intelligent and on line call selection and admission schemes. These schemes are: Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm, Adaptive Channel Partitioning, Velocity-based Assignment Strategy and Data-based Assignment Strategy. These models are characterized by their ability to adapt on line to the variations of the offered system load.

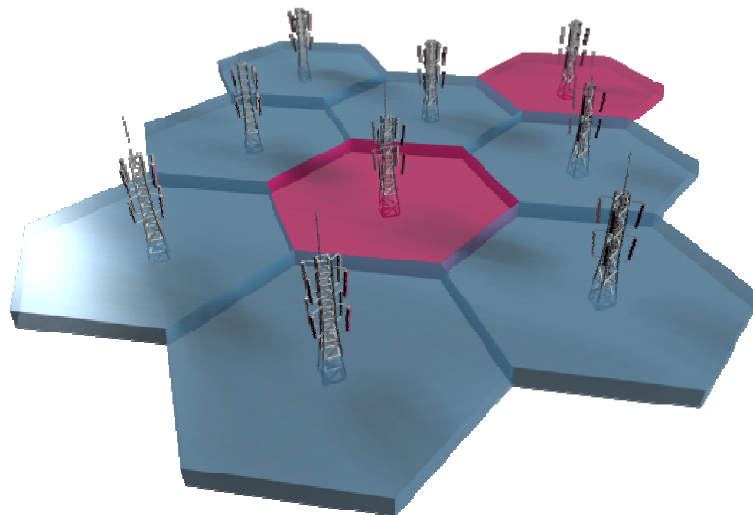
The main characteristics and the abilities of the HCS Simulator, which was developed for this project, are presented next. The HCS Simulator gives us the ability to study the schemes under different load conditions. More precisely, two series of simulations are conducted. One with constant offered system load and a second one with variable offered system load.

The last part of the thesis is dedicated to the presentation of the simulation results and the extraction of useful conclusions. The main quality indices of a Hierarchical Cellular System, i.e. the call blocking probability, the call dropping probability and the number of handoffs, are the ones mostly studied in the simulations.

- **Keywords:** simulator, Hierarchical Cellular Systems, Mobile and Personal Communications, blocking probability, dropping probability, handoff, user mobility, Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm, Adaptive Channel Partitioning, Velocity-based Assignment Strategy, Data-based Assignment Strategy.



Περιεχόμενα





Περιεχόμενα

1. Ιεραρχικά Κυψελωτά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών.....	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Πολυεπίπεδη Αρχιτεκτονική Κυψελών.....	6
1.3 Δομικές Μονάδες Ιεραρχικών Κυψελωτών Συστημάτων.....	8
1.4 Προφίλ Χρήστη Κινητής Τηλεφωνίας.....	13
1.5 Στόχοι και Διάρθρωση της Εργασίας.....	15
2. Προσδιορισμός της Κινητικότητας των Χρηστών.....	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Κατηγοριοποίηση μοντέλων εύρεσης της κινητικότητας.....	18
2.3 Προσδιορισμός της ταχύτητας μέσω του φαινομένου Doppler.....	19
2.4 Έμμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας με βάση την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος (Fading Distribution).....	21
2.5 Έμμεσος προσδιορισμός της ταχύτητας με βάση την χρονική διάρκεια που κάνει το κινητό να διανύσει κάποια περιοχή (Sojourn Time).....	22
2.5.1 RDT (Residual Dwell Time).....	23
2.5.2 PLO (Power Level Offset).....	24
2.5.3 EA (Exponential Average).....	25
2.5.4 ORST (Overlapping Region Sojourn Time).....	26
2.6 Συμπεράσματα.....	28
3. Ευφυή Μοντέλα Εξυπηρέτησης Κλήσεων.....	30
3.1 Εισαγωγή.....	30
3.2 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Φωνής.....	33
3.2.1 Repacking on Demand.....	33
3.2.1.1 Εισαγωγή.....	33
3.2.1.2 Λειτουργία του RoD.....	33
3.2.1.3 Αλγόριθμος.....	35
3.2.1.4 Ανασκόπηση.....	38
3.2.2 Maximum Packing Algorithm.....	40
3.2.2.1 Εισαγωγή.....	40
3.2.2.2 Maximum Packing σε κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών ενός επιπέδου.....	40



3.2.2.3 <i>Maximum Packing</i> σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών	42
3.2.2.4 Συμπεράσματα	45
3.2.3 <i>Adaptive Channel Partitioning</i>	46
3.2.3.1 Εισαγωγή.....	46
3.2.3.2 Αναλυτική Παρουσίαση	46
3.2.3.3 Συμπεράσματα	54
3.3 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Δεδομένων.....	54
3.3.1 Εισαγωγή.....	54
3.3.2 Θεωρητική Ανάλυση.....	55
3.3.2.1 Αλγόριθμοι <i>VAS</i> και <i>DAS</i>	57
4. Προσομοιωτής.....	61
4.1 Εισαγωγή.....	61
4.2 Υλοποίηση του χώρου.....	62
4.3 Υλοποίηση Χρηστών Και Της Κινητικότητας Τους.....	68
4.4 Περιβάλλον Προσομοίωσης.....	70
4.5 Παραγόμενα Αποτελέσματα	72
4.6 Υλοποίηση Των Μοντέλων Εξυπηρέτησης Κλήσεων	74
5. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Σταθερού Φορτίου.....	78
5.1 Εισαγωγή.....	78
5.2 Repacking on Demand	80
5.2.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων.....	81
5.2.2 Συμπεράσματα	83
5.3 Maximum Packing Algorithm.....	86
5.3.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων.....	86
5.3.2 Συμπεράσματα	90
5.4 Adaptive Channel Partitioning.....	92
5.4.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων.....	92
5.4.2 Συμπεράσματα	95
5.5 Velocity-based Assignment Strategy	97
5.5.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων.....	97
5.5.2 Συμπεράσματα	100
5.6 Data-based Assignment Strategy.....	102
5.6.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων.....	102
5.6.2 Συμπεράσματα	105
5.7 Συγκριτική Μελέτη	106

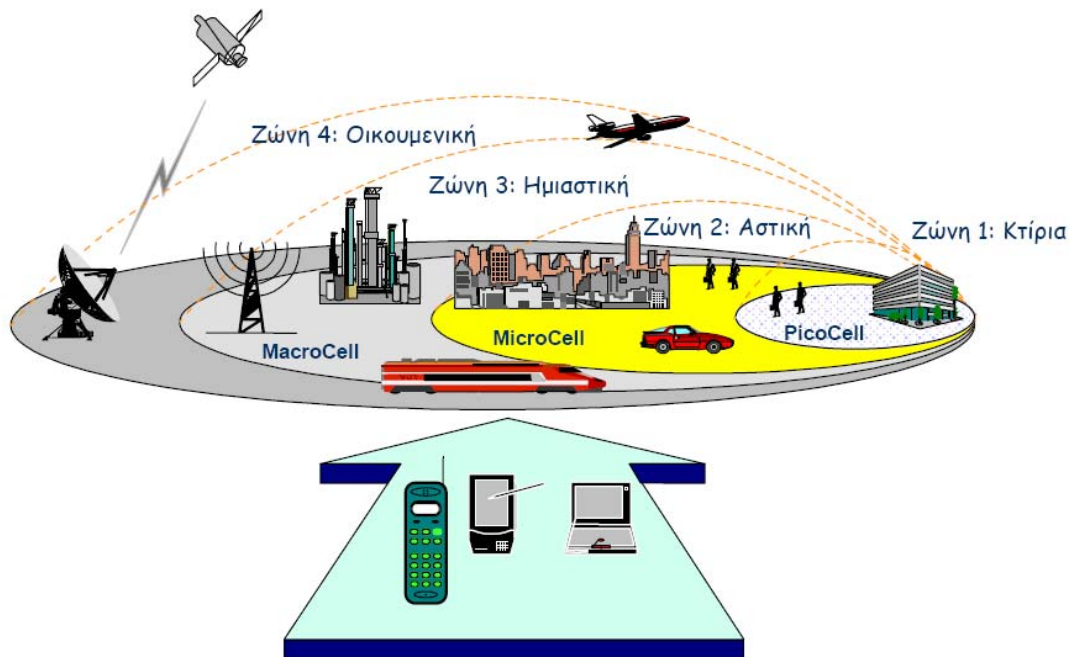


6. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Μεταβλητού Φορτίου	112
6.1 Εισαγωγή.....	112
6.2 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Φωνής.....	113
6.2.1 Εισαγωγή	113
6.2.2 Συμπεράσματα	118
6.2.2.1 <i>Repacking On Demand</i>	118
6.2.2.2 <i>Maximum Packing Algorithm</i>	119
6.2.2.3 <i>Adaptive Channel Partitioning</i>	119
6.2.3 Συγκριτική Μελέτη	120
6.3 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Δεδομένων.....	121
6.3.1 Εισαγωγή	121
6.3.2 Συμπεράσματα	128
6.3.3 Συγκριτική Μελέτη	129
6.4 Ανασκόπηση	130
7. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	133
7.1 Εισαγωγή.....	133
7.2 Ιεραρχικά Κυβελωτά Συστήματα.....	133
7.2 Προσδιορισμός Κινητικότητας	134
7.3 Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής και Εξυπηρέτησης Κλήσεων....	135
8. Βιβλιογραφία.....	137



Κεφάλαιο 1

Ιεραρχικά Κυψελωτά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών





Κεφάλαιο 1

Ιεραρχικά Κυψελωτά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

1. Ιεραρχικά Κυψελωτά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

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 αύξηση του αριθμού των συνδρομητών των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας κάνει επιτακτική την ανάγκη για αύξηση της χωρητικότητάς τους. Ταυτόχρονα δημιουργείται επιπλέον το πρόβλημα της διατήρησης και βελτίωσης της παρεχόμενης ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών. 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 υπηρεσιών δεδομένων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, όπως οι ροές πολυμέσων.

Το περιορισμένο εύρος ζώνης στο φάσμα των συχνοτήτων που εξακολουθεί να έχει στη διάθεση του ο εκάστοτε πάροχος κινητών επικοινωνιών, οδήγησε του σχεδιαστές στο να ανατρέξουν στον κλασσικό πλέον κανόνα σχεδίασης συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος. Ο κανόνας αυτός επιβάλλει την περαιτέρω μείωση του μεγέθους των κυψελών, ώστε να αυξηθεί η συχνότητα επαναχρησιμοποίησης των διαθέσιμων πόρων και κατά επέκταση να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος.

Η παραπάνω στρατηγική όμως έφτασε τα κλασσικά κυψελωτά συστήματα ενός επιπέδου στα όρια τους, όσον αφορά την αύξηση της χωρητικότητάς τους, με συνέπεια την εμφάνιση νέων προβλημάτων τα οποία προσπαθούν να αντιμετωπιστούν με την ανάπτυξη των ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας (Hierarchical Cellular Systems).

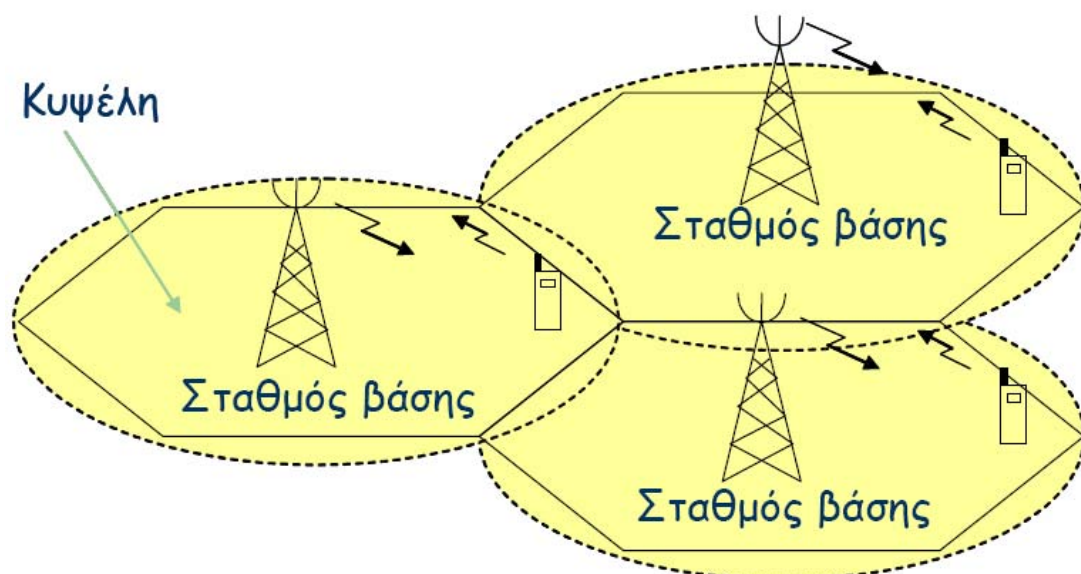
1.2 Πολυεπίπεδη Αρχιτεκτονική Κυψελών¹

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:

¹ Multitier Cell Architecture.

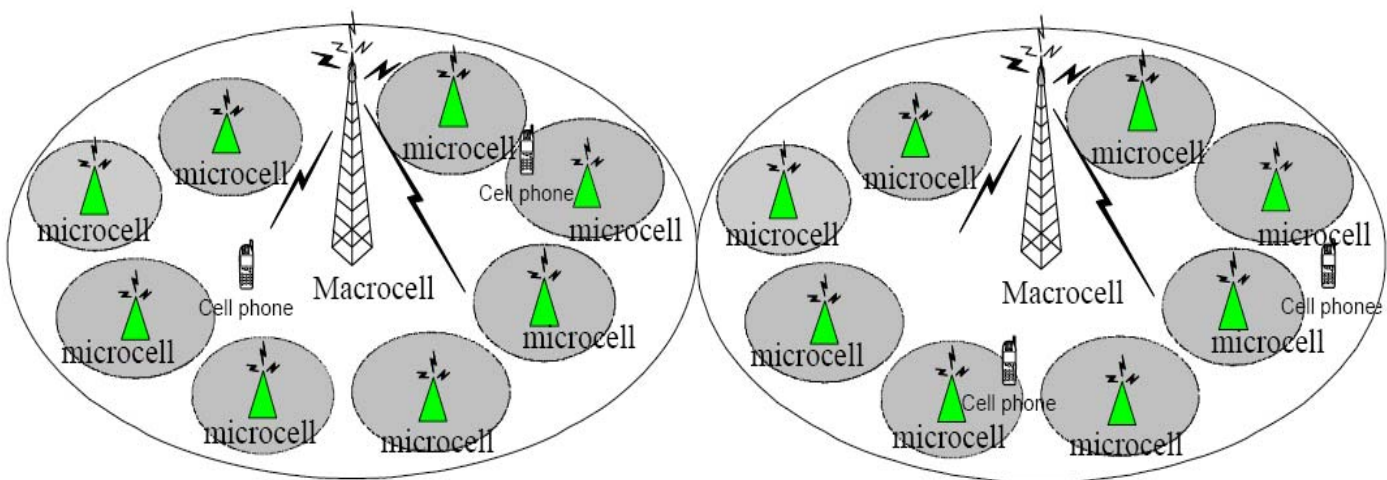


- Λόγω της μεγάλης ταχύτητάς τους, οι γρήγοροι χρήστες, αναγκάζονται να διασχίσουν τα όρια πολλών κυψελών κατά την διάρκεια της κλήσης τους και συνεπώς προκαλούν ένα μεγάλο αριθμό διαπομπών. Όμως για την εκτέλεση μιας διαπομπής χρειάζεται να γίνουν αρκετές ενέργειες από το σύστημα, οι οποίες απαιτούν 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 το σκοπό αυτό, είναι φανερό ότι η αύξηση του φορτίου σηματοδοσίας αποτελεί τροχοπέδη στην λειτουργία του συστήματος. Επιπροσθέτως, λόγω αυτής της αύξησης του αριθμού των διαπομπών αυξάνεται σημαντικά η τιμή της πιθανότητας διακοπής κλήσεων που το χαρακτηρίζει.
- Η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος είναι αναγκαία κυρίως στα αστικά κέντρα και σε άλλες περιοχές (π.χ. γήπεδα, αεροδρόμια, θέατρα), που χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα χρηστών. Σε ένα αστικό περιβάλλον η ύπαρξη υψηλών κτιρίων και πολλών δρόμων εντείνει το πρόβλημα της γωνίας δρόμου. Αναλυτικότερα, καθώς το κινητό τερματικό στρίβει στη 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, το οποίο είναι αποτέλεσμα της αύξησης της συχνότητας επαναχρησιμοποίησης, αντιλαμβάνεται κανείς τη δεδομένη επιπλέον αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλήσης.
- Ένα επιπλέον πρόβλημα ήταν η πλήρης ραδιοκάλυψη μιας περιοχής εξυπηρέτησης και η απουσία κενών χώρων 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 ύπαρξης περιοχών χωρίς κατάλληλο σήμα.



Σχήμα 1: Τοπική αρχιτεκτονική ενός επιπέδου.

Η λύση στα παραπάνω, ήταν η υιοθέτηση μεγαλύτερων κυψελών, υπερκείμενων σε ένα σύνολο μικρότερων, οι οποίες όχι μόνο θα μπορούν να παρέχουν ραδιοκάλυψη σε περιοχές όπου οι μικρότερες αδυνατούν, αλλά θα μπορούν και να εξυπηρετούν τους γρήγορους χρήστες, μειώνοντας έτσι κατά πολύ τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος και, κατά επέκταση, το φορτίο σηματοδότησής του. Χωρίζοντας λοιπόν τις κυψέλες σε ομάδες ανάλογα με το μέγεθός τους, κάθε ομάδα κυψελών που έχουν το ίδιο μέγεθος ανήκει 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.



Σχήμα 2: Multitier architecture.

1.3 Δομικές Μονάδες Ιεραρχικών Κυψελωτών Συστημάτων

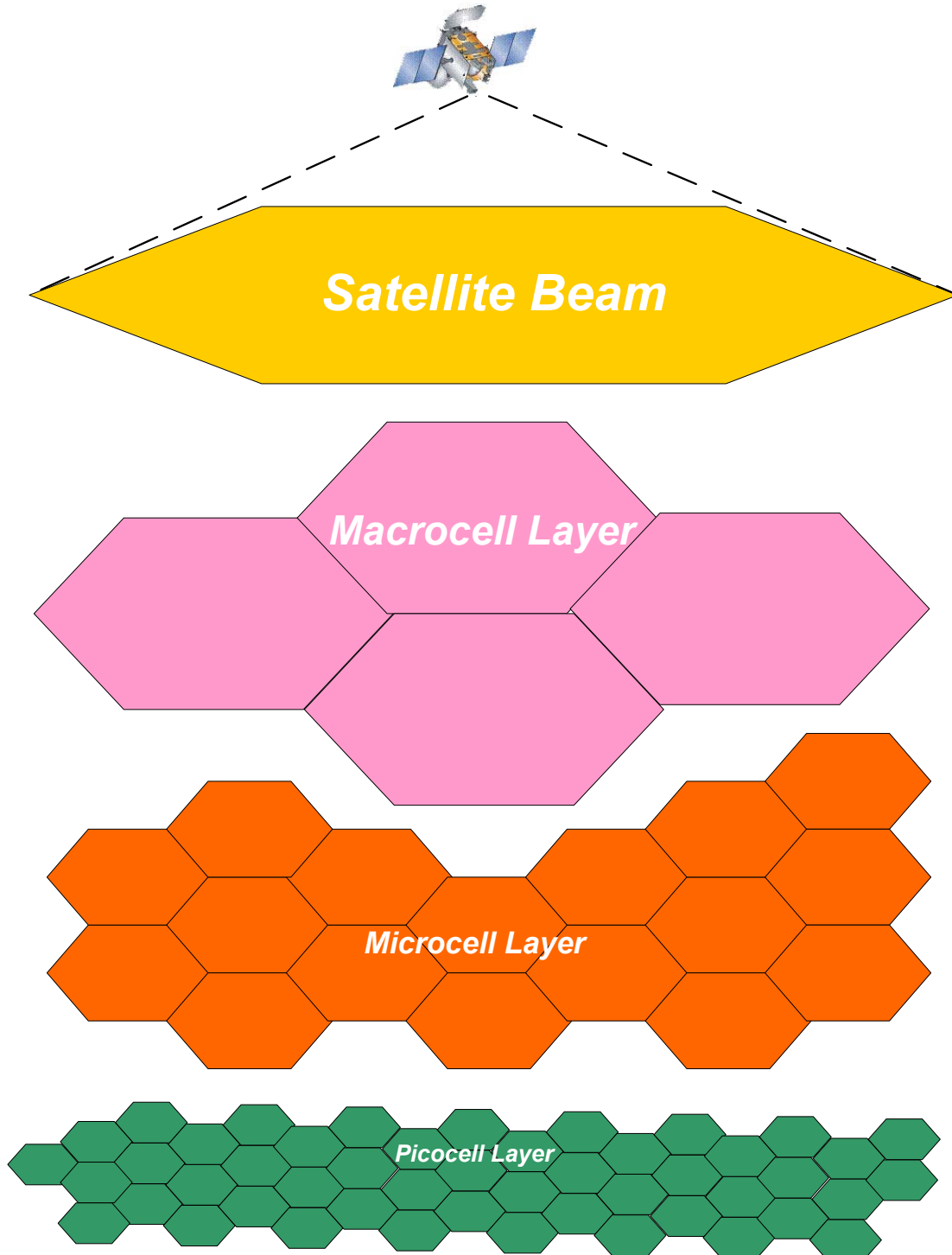
Με τον όρο δομικές μονάδες στα ιεραρχικά κυψελωτά δίκτυα αναφερόμαστε στα διάφορα είδη κυψελών που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους συστήματα. Όπως θα γίνει εμφανές και από τα ονόματά τους, το βασικό χαρακτηριστικό που διακρίνει αυτές τις δομικές μονάδες είναι το μέγεθός τους, δηλαδή η ακτίνα της περιοχής 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 (satellite beams). Εκτός του διαφορετικού μεγέθους τους, κάθε είδος κυψελών χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες ιδιότητες που τις κάνει κατάλληλες να εξυπηρετήσουν την τηλεπικοινωνιακή κίνηση που χαρακτηρίζει διαφορετικές περιοχές ή κατηγορίες χρηστών. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα ενός ιεραρχικού κυψελωτού συστήματος τεσσάρων επιπέδων και αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες για κάθε ένα από τα παραπάνω είδη κυψελών.

- **Πικοκυψέλες**



Οι πικοκυψέλες (picocells) είναι στοιχειώδεις κυψέλες και προορίζονται για την ασύρματη κάλυψη εσωτερικών χώρων (Indoor Wireless Communications). Το μέγεθός τους περιορίζεται σε μερικά μέτρα, συνήθως από *10 meters* έως *20 meters*. 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 milliwatts.



Σχήμα 3: Τα διάφορα πιθανά επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών.



Η ανάπτυξη ασύρματων συστημάτων εσωτερικών χώρων έχει γνωρίσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια, κυρίως σε κτίρια που φιλοξενούν εμπορικές και επαγγελματικές δραστηριότητες (π.χ. κτίρια γραφείων, κτίρια δημοσίων υπηρεσιών, εμπορικά κέντρα) λόγω της ευελιξίας που προσφέρει (κυρίως λόγω της απουσίας καλωδίωσης), αλλά και στη δυνατότητα συνδυασμού υπηρεσιών φωνής και υψηλού ρυθμού μετάδοσης υπηρεσιών δεδομένων. Πρέπει να επισημαίνουμε ότι σε αντίθεση με τα κυψελωτά δίκτυα εξωτερικών χώρων, η δομή και ο χώρος που καλύπτουν οι μικροκυψέλες 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 ιδιαίτερος έντονα. Επιβάλλεται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό 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 οι αστικές περιοχές. Η χρήση τους οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας των κυψελωτών συστημάτων, αυξάνοντας όμως παράλληλα την πολυπλοκότητα της διαχείρισης των ασύρματων πόρων του συστήματος. Μια μικροκυψέλη, ανάλογα με τη θέση της μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον (π.χ. η κεραία της μικροκυψέλης μπορεί να βρίσκεται στην κορυφή ενός στύλου φωτισμού ή στην ταράτσα ενός ουρανοξύστη), μπορεί να προορίζεται για την κάλυψη συγκεκριμένων περιοχών όπως δρόμους, διασταυρώσεις δρόμων ή πολυόροφα κτίρια.

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 $100 - 200\text{ m}$ προς κάθε κατεύθυνση του δρόμου, εξυπηρετώντας έτσι λίγα οικοδομικά τετράγωνα. Περιβάλλοντα διάδοσης όπως το παραπάνω παρουσιάζουν μικρή διασπορά καθυστέρησης γεγονός που καθιστά δυνατή την μετάδοση υψηλών ρυθμών δεδομένων σε αυτά.

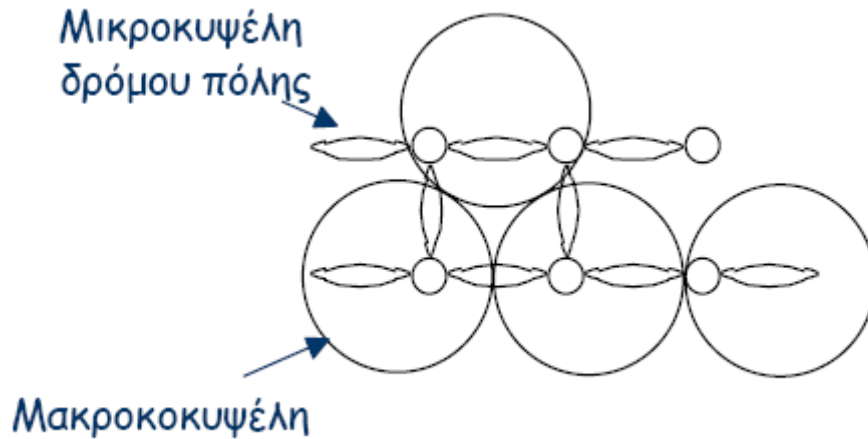
Στις μικροκυψέλες εμφανίζεται έντονα το φαινόμενο της γωνίας δρόμου. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από την απότομη πτώση της στάθμης του σήματος, την τάξης των $20-30\text{ dB}$ για διανυόμενη απόσταση $10-20\text{ meters}$, και εμφανίζεται όταν το κινητό τερματικό στρίβει στη γωνία του δρόμου και 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 3ης και 4ης γενιάς είναι εξίσου σημαντικές και μάλιστα έχουν πολλαπλούς ρόλους.



Σχήμα 4: Παράδειγμα χρήσης μακροκυψελών και μικροκυψελών μέσα σε μια τυπική αστική περιοχή.

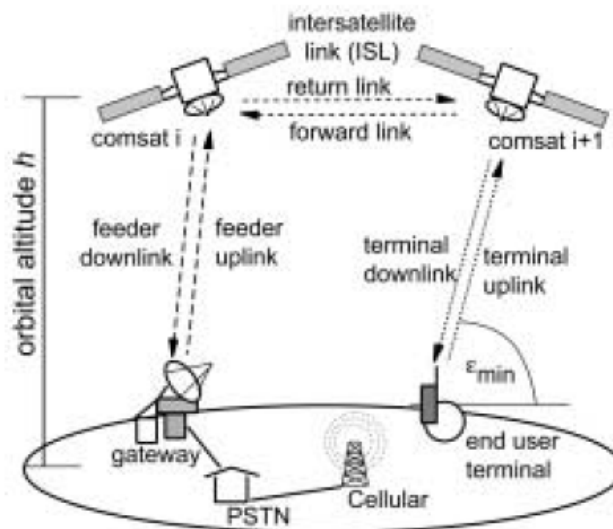
Σε ιεραρχικά μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων, η δομή που συναντάται συνήθως αποτελείται από δύο επίπεδα, το μικροκυψελικό ως το κατώτερο επίπεδο και το μακροκυψελικό ως το ανώτερο. Με απλά λόγια συναντάμε μικροκυψέλες και υπερκείμενες σε αυτές μακροκυψέλες. Για τον παραπάνω λόγο συχνά οι μακροκυψέλες αναφέρονται 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:



Σχήμα 5: Μακροκυψέλες σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας.

1. Να καλύψει τα κενά (όσον αφορά την ραδιοκάλυψη) που υπάρχουν μεταξύ των μικροκυψελών.
2. Να απορροφήσει μέρος της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
3. Να ικανοποιήσει διαπομπές, που προέρχονται από την μη διαθεσιμότητα πόρων της αντίστοιχης μικροκυψέλης.
4. 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 εάν εξυπηρετούνταν από το μικροκυψελικό επίπεδο.

- Δορυφορικές δέσμες



Σχήμα 6: Πιθανά σενάρια χρήσης δορυφόρων σε συστήματα κινητών επικοινωνιών.

Οι κυψέλες αυτές (satellite beams) έχουν ως σταθμούς βάσης γεωστατικούς δορυφόρους (GEO) οι οποίοι καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Η ύπαρξη τέτοιων «κυψελών» έχει ως σκοπό τη 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. Ο στόχος της μη ύπαρξης περιοχής χωρίς επαρκή ραδιοκάλυψη, που θέτουν οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση δορυφορικών συστημάτων.

Η χρήση όμως δορυφόρων γεωστατικής τροχιάς συναντά δύο σημαντικά προβλήματα. Το πρώτο είναι η μεγάλη καθυστέρηση μετάδοσης, κάτι που σε υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση του χρόνου μετάδοσης, όπως η μετάδοση φωνής, 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 ζητήματα, 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 γύρω από τη γη. Το δεύτερο πρόβλημα, το οποίο είναι γενικότερο των δορυφορικών επικοινωνιών, είναι ότι για την ζεύξη ανόδου από



το κινητό τερματικό προς το δορυφόρο απαιτούνται μεγάλες τιμές ισχύος μετάδοσης, οι οποίες είναι δύσκολο να επιτευχθούν με βάση την τωρινή τεχνολογία κατασκευής κινητών τερματικών μικρού μεγέθους προσωπικής χρήσης.

Συστήματα κινητών επικοινωνιών που εκμεταλλεύονται δορυφόρους LEO είναι για παράδειγμα τα Iridium και Globalstar. Τα κινητά τερματικά για αυτά τα συστήματα απέχουν κατά πολύ σε μέγεθος, χρηστικότητα και τιμή από τα αντίστοιχα των επίγειων συστημάτων κινητών επικοινωνιών.

Τα παραπάνω προβλήματα δυσχεραίνουν κατά πολύ τη χρήση δορυφόρων σε συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών, και για αυτό δεν έχουν γίνει μεγάλα βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση, με εξαίρεση τη χρησιμοποίησή τους για ειδικές περιπτώσεις.



Σχήμα 7: Τυπικό κινητό τερματικό του συστήματος Iridium.

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. Μια εκτενέστερη αναφορά επί του θέματος βρίσκεται στο [19].

Όσον αφορά την παρούσα μελέτη μας ενδιαφέρει το περιεχόμενο μιας τέτοια βάσης, και όχι η διαχείριση ή 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, ο προσδιορισμός του αν έχει το δικαίωμα κάποιος χρήστης να πραγματοποιήσει μια κλήση συγκεκριμένης κατηγορίας (π.χ. κλήση περιαγωγής) 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, αφού αποτελεί σημαντικό στοιχείο που καθορίζει, όχι



μόνο την ποιότητα των 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. Στοιχεία που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και τα οποία το σύστημα μπορεί να διατηρεί στις βάσεις δεδομένων του είναι τα ακόλουθα:

- Πιο πρόσφατη επικοινωνία: Υποδεικνύει την θέση που βρίσκονταν ο χρήστης, όταν επικοινωνήσε 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 λόγους, όπως στα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων που μελετάμε. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη που παρουσιάζεται στο [20] 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, το επίπεδο της ιεραρχικής δομής στο οποίο 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 κινητικότητα 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:

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

Γρήγοροί χρήστες: Είναι η χρήστες των οποίων 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.

- Το είδος αιτούμενης υπηρεσίας:

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

Voice users: Είναι οι χρήστες που ζητάνε υπηρεσίες φωνής, και η οποία αποτελεί υπηρεσία ευαίσθητη ως προς την καθυστέρηση του χρόνου μετάδοσης .

Data users: Είναι οι χρήστες που ζητάνε υπηρεσίες που απαιτούν μετάδοση πακέτων δεδομένων όπως SMS, MMS, video, e-mail και FTP, 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. Σε αυτό συμβάλλει και η ανάπτυξη των δικτύων τρίτης γενιάς (3G) από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας.

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 Διάθρωση 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.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να παρουσιάσει και να μελετήσει τα διάφορα ευφυή και on-line μοντέλα αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων που έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια. Τα μοντέλα αυτά έχουν ως κύριο στόχο τη βελτίωση των επιδόσεων των ιεραρχικών συστημάτων κυρίως όσον αφορά τις τιμές των πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και διακοπής κλήσεων (dropping probability).

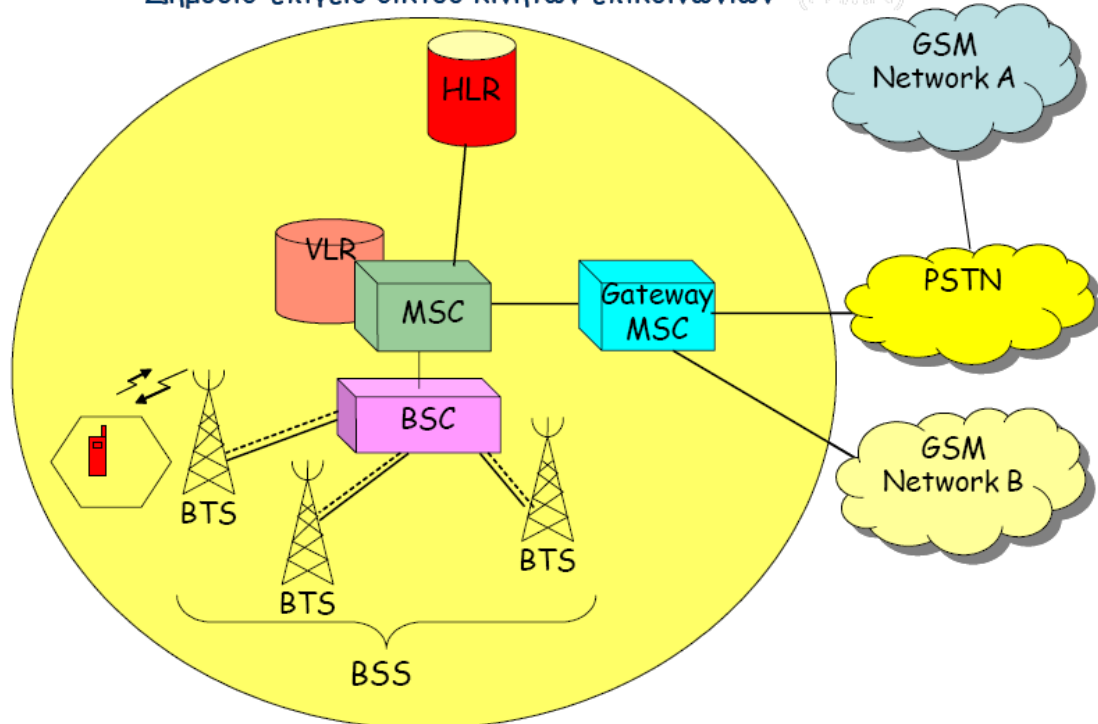
Η αρχή στη μελέτη αυτή έγινε με αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο, το οποίο περιέγραψε με συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται μια άλλη πολύ σημαντική λειτουργία όσον αφορά την εξυπηρέτηση των χρηστών, η οποία είναι ο προσδιορισμός της ταχύτητας τους. Αυτή η λειτουργία είναι πολύ σημαντική, γιατί η πλειοψηφία των μοντέλων συγκρίνει την ταχύτητα των χρηστών με ένα κατάλληλο κατώφλι ταχύτητας, ώστε να τους εντάξει στο κατάλληλο επίπεδο κατά την εξυπηρέτησή τους. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των πέντε μοντέλων που θα εξετάσουμε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής. Πρόκειται για τρία μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών φωνής και δύο μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του προσομοιωτή που υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++, ώστε να μελετηθούν οι επιδόσεις των διαφόρων μοντέλων. Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από μία σειρά προσομοιώσεων σταθερού προσφερόμενου φορτίου συστήματος για τα διάφορα μοντέλα. Στη συνέχεια, στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά την εκτέλεση προσομοιώσεων μεταβλητού προσφερόμενου φορτίου. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο, αναφέρονται μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω στα ιεραρχικά συστήματα κινητών επικοινωνιών.



Κεφάλαιο 2

Προσδιορισμός της Κινητικότητας των Χρηστών

Δημόσιο επίγειο δίκτυο κινητών επικοινωνιών (PLMN)



Κεφάλαιο 2

Προσδιορισμός της Κινητικότητας των Χρηστών

2. Προσδιορισμός της Κινητικότητας των Χρηστών

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 των χρηστών. 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 μη ξεχνάμε ότι τα μοντέλα προορίζονται για να εφαρμοστούν σε πραγματικά συστήματα, στα οποία οι δυνατότητες του εξοπλισμού είτε του σταθμού βάσης, είτε του κινητού τερματικού 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

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 η εξυπηρέτησή του από την πλειονοψηφία των μοντέλων εξυπηρέτησης κλήσεων και η τοποθέτησή του στο κατάλληλο επίπεδο της ιεραρχικής δομής. Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί και κυριαρχούν τρεις 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 περισσότερων 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,

Σε αυτούς πρέπει να προστεθούν και άλλοι παράγοντες που αποτελούν κυρίως χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής.

Αναφέρουμε 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 ανάλογη επιτυχία, αφού εκτός των άλλων η μικρή τιμή του κατωφλίου ταχύτητας σε συνδυασμό με την ύπαρξη πολλών χρηστών με μεγάλες ταχύτητες θα οδηγούσε στην υπερφόρτωση της μακροκυψέλης.

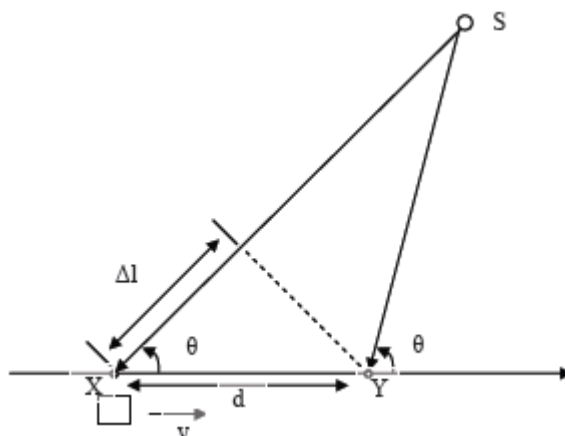
2.3 Προσδιορισμός της ταχύτητας μέσω του φαινομένου Doppler

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.

Θεωρούμε 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 9.



Σχήμα 8: Φαινόμενο Doppler.

Η διαφορά Δl των διαδρομών, από την πηγή S προς τις θέσεις X και Y του κινητού είναι $\Delta l = d \cdot \cos \theta = v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta$, 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 και για τις δύο θέσεις, καθότι η πηγή S είναι πολύ μακριά. Η διαφορά στη φάση του λαμβανόμενου σήματος, λόγω της διαφοράς μήκους των διαδρομών, είναι:

$$\Delta \phi = \frac{2\pi \Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cdot \cos \theta \quad (2.1)$$

ενώ η ολίσθηση Doppler δίνεται από την σχέση:

$$f_D = \frac{\Delta \phi}{2\pi v \Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos \theta \quad (2.2)$$

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 [21], 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 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, όπως:

- Σε περιπτώσεις όπου $\theta = 90^\circ$ 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 απαιτούν άλλες λιγότερο ακριβείς τεχνικές. Συνεπώς, ίσως είναι προτιμότερη η χρήση μια τεχνικής με όχι τόσο μεγάλη ακρίβεια αλλά με μεγαλύτερη απλότητα και οικονομία εξοπλισμού. 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 αυτήν την κατηγορία τεχνικών έμμεσου προσδιορισμού της ταχύτητας του κινητού χρήστη, κλειδί για τον προσδιορισμό της είναι η μέτρηση από το κινητό τερματικό της ισχύος ενός σήματος φάρου που λαμβάνει από τον σταθμό βάσης της μικροκυψέλης στην οποία χωρικά ανήκει αλλά και της υπερκείμενης μακροκυψέλης.

Η μέθοδος που προτείνεται στο [22] αφορά κυψελωτό σύστημα δύο επιπέδων και θεωρεί 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 θα προλαβαίνει να μειωθεί και έτσι ο γρήγορος χρήστης θα είναι συνέχεια ενταγμένος στο μακροκυψελικό επίπεδο. Αυτά ισχύουν, 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 υψηλή τιμή του και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Ο τρόπος προσδιορισμού του κατωφλίου ισχύος δίνεται στο [21] και εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής.

Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου είναι τα ακόλουθα:



- Οι μετρήσεις που χρειάζεται γίνονται στο κινητό τερματικό, το οποίο ανακοινώνει 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 ήδη από το σύστημα, ώστε το σύστημα να γνωρίζει 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. Για παράδειγμα:

- Από τη 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 Manhattan, 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)

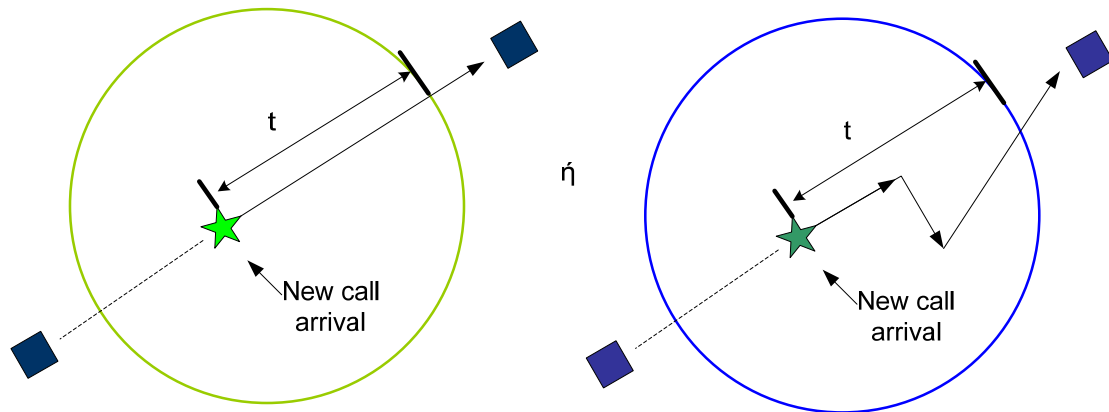
Τα μοντέλα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία χαρακτηρίζονται από την απλότητά τους όσον αφορά στην υλοποίησή τους, αφού η λειτουργία τους βασίζεται σε μετρητές χρόνου. Ειδικότερα, μετράνε το χρόνο που κάνει το κινητό τερματικό να διανύσει κάποια περιοχή. Με τον όρο να διανύσει μια περιοχή, είτε αυτή είναι μια ολόκληρη κυψέλη είτε ένα τμήμα της, δεν εννοούμε να τη 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 [22], όλοι οι χρήστες κατά την αρχικοποίηση τους, δηλαδή όταν ζητούν εξυπηρέτηση από το σύστημα εντάσσονται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Όταν η κλήση ενός χρήστη γίνει αποδεκτή από το σύστημα και εκχωρηθεί διάυλος σε αυτόν, 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 9: Residual Dwell Time.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου είναι τα εξής:

- Η πολύ μεγάλη εξάρτηση της 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 επαναπροσδιοριστεί 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 στη γενική περίπτωση, ακόμα και αν είναι γρήγορος, δύσκολα προλαβαίνει να κάνει και δεύτερη διαπομπή και με αποτέλεσμα να ολοκληρώνει 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.

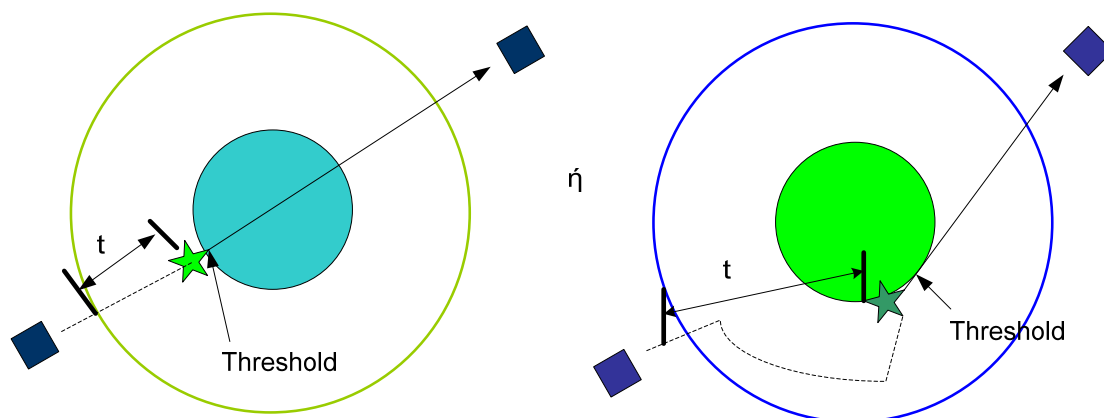
Διάφορες παραλλαγές του παραπάνω μοντέλου έχουν προταθεί, ως προς τον αριθμό των κυψελών που πρέπει να διασχίσει το κινητό προτού γίνει η σύγκριση του μετρούμενου χρόνου με το κατώφλι χρόνου. Αν ο αριθμός των κυψελών είναι μικρός παραμένει το πρόβλημα της αρχικής θέσης του κινητού ως προς την κυψέλη 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)

Στη 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 προκαθορισμένο κατώφλι χρόνου, 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.

Μπορούμε να φανταστούμε το άνω όριο ως ένα κυκλικό δίσκο με κέντρο το σταθμό βάσης της κυψέλης, ενώ 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 παρακάτω.



Σχήμα 10: Power Level Offset.

Το παραπάνω μοντέλο που έχει προταθεί στο [21], 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 αξιολογείται 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, τα βασικά προβλήματα που μπορεί να το οδηγήσουν σε αποτυχία δεν εξαλείφονται, όπως η περιμετρική κίνηση του χρήστη.

2.5.3 EA (Exponential Average)

Στο μοντέλο αυτό, που προτείνεται στο [22], ο υπολογισμός της ταχύτητας του χρήστη δεν γίνεται όταν ο χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα, αλλά καθόλη τη 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 τερματικό ενημερώνει το σύστημα επικοινωνώντας μέσω της πλησιέστερης μακροκυψέλης για το προφίλ κινητικότητας του χρήστη του, ώστε να γίνεται άμεση τοποθέτησή του στο κατάλληλο ιεραρχικό επίπεδο.

Αναλυτικότερα, από την στιγμή που το κινητό τερματικό ενεργοποιείται πραγματοποιεί συνεχείς 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 κάποιο συντελεστή στη μέση τιμή του αθροίσματος των προηγούμενων χρόνων που μετρήθηκαν. Δηλαδή για κάθε κυψέλη που διασχίζει ο χρήστης το κινητό τερματικό εκτελεί την πράξη:

$$T_{new} = (1 - a) \cdot T_{old} + a \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

όπου:

- T_{new} η νέα μέση τιμή του χρόνου διάσχισης κυψέλης από το χρήστη (New Mean Sojourn Time). Ισχύει ότι:
 - Αν $T_{new} \geq T_{threshold}$, τότε ο χρήστης θεωρείται αργός.



- Αν $T_{new} \leq T_{threshold}$, 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 κινητό τερματικό.
- a ο συντελεστής που καθορίζει την μνήμη του μοντέλου και δίνεται από την σχέση:

$$a = \frac{2}{N+1} \quad (2.4)$$

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

Αν $N=1$ τότε το σύστημα δεν έχει καθόλου μνήμη αφού $a=1$ 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.

Η παραπάνω παρατήρηση αποτελεί το πρώτο βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου ενώ το δεύτερο είναι ότι, καθώς η παραπάνω απλή διαδικασία εκτελείται από το κινητό όταν αυτό είναι απλά ενεργοποιημένο, ως αποτέλεσμα ο προσδιορισμός του προφίλ κινητικότητας του χρήστη και η κατάλληλη κατάταξη του από το σύστημα σε κάποιο επίπεδο γίνεται άμεσα από τη 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 ανήκει χωρικά ο χρήστης.
- Η 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.

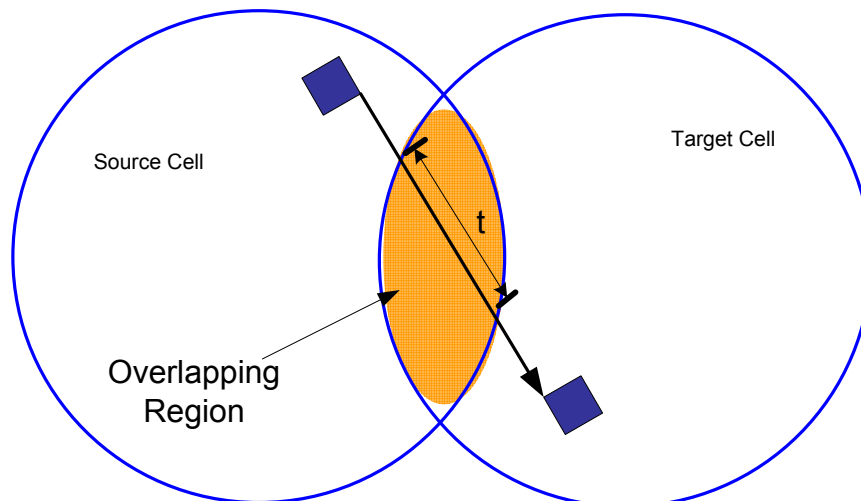
2.5.4 ORST (Overlapping Region Sojourn Time)

Το μοντέλο που περιγράφεται στο [21] 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 τη μέτρηση του χρόνου διάσχισης μιας περιοχής και τη σύγκρισή του με κάποιο κατώφλι χρόνου. Η περιοχή της οποίας ο χρόνος διάσχισης μετράται ονομάζεται Overlapping Region. Η περιοχή αυτή καθορίζεται ως εξής: Όταν ο χρήστης ζητήσει εξυπηρέτηση από το σύστημα τότε αρχικά εντάσσεται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Καθώς κινείται

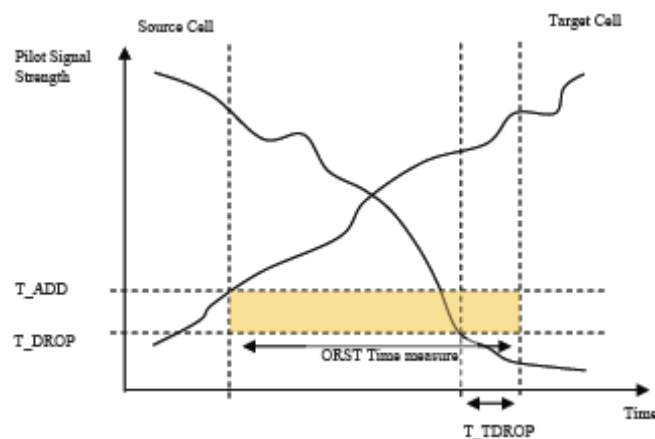


πλησιάζοντας τα όρια της μικροκυψέλης στην οποία ανήκει, η ισχύς του σήματος που λαμβάνει από το σταθμό βάσης της κυψέλης που κινείται μειώνεται και η ισχύς του σήματος από το σταθμό βάσης της κυψέλης προς την οποία κατευθύνεται αυξάνει. Όταν η ισχύς του σήματος από την κυψέλη στόχο ξεπεράσει το κατώφλι 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. Στη συνηθισμένη περίπτωση, 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.

Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 11: Overlapping Region.



Σχήμα 12: Overlapping Region Sojourn Time (ORST).

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 στο οποίο ο υπολογισμός της ταχύτητας του χρήστη γίνεται στην κυψέλη που αρχικοποιείται, μειώνοντας έτσι το 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 μικροκυβελικό 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 EA.

2.6 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκαν οι μέθοδοι μέσω των οποίων μπορεί το σύστημα να παράγει 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 τη 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 με πολύ μικρό χρόνο απόκρισης, αλλά ταυτόχρονα, η πολυπλοκότητα της υλοποίησής τους είναι μεγάλη και ίσως τα καθιστά μη πρακτικά. Από την άλλη μεριά, μοντέλα όπως το PLO και το RDT είναι πολύ απλά στην υλοποίησή τους, αφού το μόνο που χρειάζονται είναι ένας μετρητής χρόνου. Όμως ο προσδιορισμός της ταχύτητας του χρήστη είναι έμμεσος, με μεγάλη πιθανότητα σφάλματος και μεγάλο χρόνο απόκρισης.

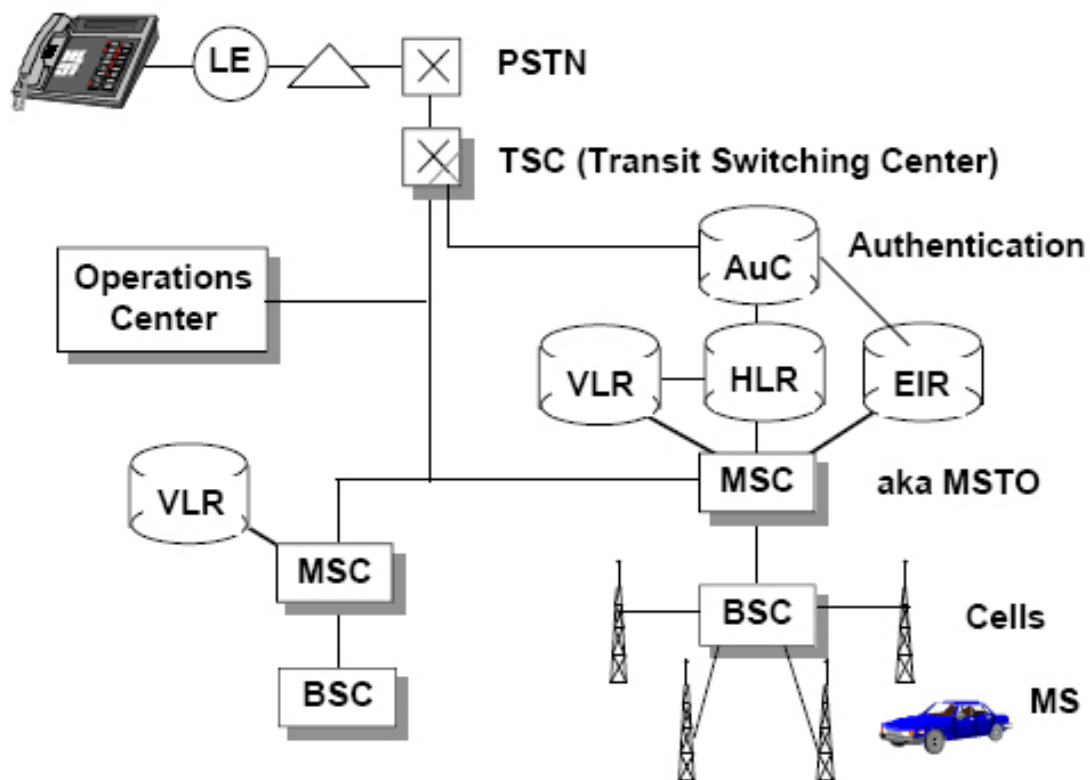
Είναι στη διακριτική ευχέρεια του σχεδιαστή του συστήματος εξυπηρέτησης κλήσεων ενός ιεραρχικού μοντέλου να επιλέξει το κατάλληλο μοντέλο προσδιορισμού του προφίλ κινητικότητας των χρηστών με βάση τις ανάγκες του, είτε για ακρίβεια, είτε για απλότητα, αλλά και με βάση τα χαρακτηριστικά της περιοχής που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



Κεφάλαιο 3

Ευφυή Μοντέλα Εξυπηρέτησης

Κλήσεων





Κεφάλαιο 3

Ευφυή Μοντέλα Εξυπηρέτησης Κλήσεων

3. Ευφυή Μοντέλα Εξυπηρέτησης Κλήσεων

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα πέντε υπό μελέτη μοντέλων αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Αυτά μπορούν αρχικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι η κατηγορία των μοντέλων εξυπηρέτησης υπηρεσιών φωνής και η δεύτερη αυτή των μοντέλων εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων. Τα τελευταία στηρίζονται στη μεταγωγή πακέτου. Βεβαίως, με τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και την προσπάθεια ολοκλήρωσης των δικτύων υπολογιστών με τα κλασσικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, αυτή η διάκριση δεν είναι απόλυτη.

Τα μοντέλα που εξετάζονται στο πλαίσιο αυτής της εργασίας είναι ευφυή. Η ευφυΐα τους έγκειται στο γεγονός ότι μπορούν να προσαρμόζονται κατάλληλα στις συνθήκες κινητικότητας των χρηστών και στο προσφερόμενο φορτίο του συστήματος ώστε να βελτιώνουν την απόδοσή τους σε σχέση με τα μη ευφυή μοντέλα² εξυπηρέτησης κλήσεων. Πρόκειται δηλαδή για on-line μοντέλα που προσαρμόζονται δυναμικά στις συνθήκες του συστήματος.

Στην αρχή της εμφάνισης των ιεραρχικών συστημάτων, τα πρώτα μη ευφυή μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την εξυπηρέτηση των κλήσεων προσανατολιζόνταν στην εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης. Δηλαδή ουσιαστικά ανέθεταν χρήστες στο μακροκυψελικό επίπεδο σε δύο μόνο περιπτώσεις. Κατά την πρώτη περίπτωση, ανάθεση κάποιου χρήστη στο μακροκυψελικό επίπεδο γινόταν όταν ο χώρος στον οποίο κινούνταν οι χρήστες δεν είχε επαρκή μικροκυψελική κάλυψη. Στη δεύτερη περίπτωση η ανάθεση κάποιου χρήστη στο μακροκυψελικό επίπεδο γινόταν όταν παρατηρούταν συμφόρηση σε συγκεκριμένα σημεία του μικροκυψελικού επιπέδου (υπήρχε δηλαδή εμφάνιση hot spots στο σύστημα). Όμως ένα τέτοιο μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη του ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας στα ιεραρχικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Ο παράγοντας αυτός είναι το φορτίο σηματοδότησης που προκαλείται από τις διαπομπές των γρήγορων χρηστών που εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο. Λόγω του μειωμένου μεγέθους των μικροκυψελών οι γρήγοροι χρήστες που εξυπηρετούνται από αυτές, αναγκάζονται να εκτελούν τη διαδικασία της διαπομπής με μεγάλη συχνότητα. Κάτι τέτοιο δημιουργεί πρόσθετο

² Με τον όρο «μη ευφυή» αναφερόμαστε στα μοντέλα αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων που αντιδρούν με τον ίδιο προκαθορισμένο τρόπο στην εξυπηρέτηση των κλήσεων, ακόμα και αν το προσφερόμενο φορτίο του συστήματος ή η κατανομή της κινητικότητας των χρηστών αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό.



φόρτο στο σύστημα, αφού αυτό πρέπει να εκτελεί πιο συχνά τις απαραίτητες ενέργειες που επιβάλλει η διαδικασία της διαπομπής (π.χ. εύρεση ελεύθερου διαύλου στη γειτονική μικροκυψέλη, διακοπή της σύνδεσης του κινητού τερματικού με την κυψέλη που εγκαταλείπει και επίτευξη νέας σύνδεσης με την κυψέλη στην οποία εισέρχεται). Αυτή η αυξημένη συχνότητα διαπομπών μπορεί να έχει αρκετές παρενέργειες στο σύστημα, με πιο σημαντική την αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (dropping probability).

Το πρόβλημα των διαπομπών γίνεται ακόμα εντονότερο σε ένα ιεραρχικό σύστημα εάν λάβουμε υπόψη μας ότι πλέον υπάρχουν τέσσερα βασικά είδη διαπομπών: από μικροκυψέλη σε μικροκυψέλη, από μακροκυψέλη σε μακροκυψέλη, από μικροκυψέλη σε μακροκυψέλη και από μακροκυψέλη σε μικροκυψέλη. Κάτι τέτοιο αυξάνει την πολυπλοκότητα του χειρισμού των διαπομπών.

Αφού κατανοήθηκε ότι τα προτεινόμενα μοντέλα εξυπηρέτησης με βάση την υπερροϊκή κίνηση δεν προσέφεραν τις καλύτερες επιδόσεις σε ένα ιεραρχικό σύστημα επικοινωνιών, άρχισαν να κάνουν την εμφάνισή τους μοντέλα εξυπηρέτησης που λαμβάνουν υπόψη το προφίλ κινητικότητας των χρηστών. Το κύριο χαρακτηριστικό των περισσότερων μη ευφυών μοντέλων αυτής της κατηγορίας, όσον αφορά την εξυπηρέτηση των κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών, είναι ότι προσπαθούν να εξυπηρετήσουν τους χρήστες με βάση την κινητικότητα τους. Για αυτό και στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε τρόπους προσδιορισμού της κινητικότητας των χρηστών. Στα μοντέλα αυτά η ταχύτητα των χρηστών συγκρίνεται με ένα κατάλληλα επιλεγμένο κατώφλι ταχύτητας ώστε στη συνέχεια αυτοί να ενταχθούν στο κατάλληλο επίπεδο του συστήματος. Η ιδέα με βάση την οποία λειτουργούν τα μοντέλα που στηρίζονται στο διαχωρισμό των χρηστών ως προς την κινητικότητα τους είναι η εξυπηρέτηση των γρήγορων χρηστών από το μακροκυψελικό επίπεδο, με στόχο τη μείωση του αριθμού των διαπομπών που προκαλούν στο σύστημα και επομένως της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (dropping probability) του συστήματος. Ταυτόχρονα μέσω του μικροκυψελικού επιπέδου επιτυγχάνεται εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού αργών χρηστών, που κατά κανόνα αποτελούν και την πλειοψηφία των χρηστών ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας.

Όπως και στην περίπτωση της υπερροϊκής κίνησης έτσι και αυτή η στρατηγική εξυπηρέτησης παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα. Το σοβαρότερο είναι ίσως ότι, ανάλογα με τα ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών που υπάρχουν τελικά στο σύστημα, μπορεί να αδικούνται ως προς την εξυπηρέτηση οι γρήγοροι χρήστες, αφού οι πόροι του μακροκυψελικού επιπέδου είναι περιορισμένοι σε σχέση με αυτούς του μικροκυψελικού. Αποτέλεσμα αυτής αδικίας είναι η εμφάνιση αυξημένων πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων για τους γρήγορους χρήστες. Στην προσπάθεια επίλυσης αυτού του προβλήματος έχουν εισαχθεί μερικές τεχνικές όπως το take back, και η εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου ποσοστού γρήγορων χρηστών (γνωστού ως παράμετρος P) αρχικά από το μακροκυψελικό επίπεδο.

Σύμφωνα με την τεχνική του take back, όταν κάποιος χρήστης αλλάξει επίπεδο εξυπηρέτησης λόγω έλλειψης πόρων στο φυσικό του επίπεδο³, ο χρήστης αυτός εξετάζει σε κάθε ευκαιρία (π.χ. σε μια προγραμματισμένη διαπομπή) αν μπορεί να επιστρέψει σε αυτό. Για παράδειγμα, ένας γρήγορος χρήστης που λόγω έλλειψης πόρων στη μακροκυψέλη του αναγκάζεται τελικά να εξυπηρετηθεί από την

³ Γενικώς στα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη την κινητικότητα των χρηστών, ως φυσικό επίπεδο των γρήγορων χρηστών θεωρείται το μακροκυψελικό, ενώ αντίστοιχα των αργών χρηστών το μικροκυψελικό.



υποκείμενη μικροκυψέλη, όταν περάσει τα όρια της δεν θα προσπαθήσει να εκτελέσει διαπομπή στη γειτονική μικροκυψέλη, αλλά στην υπερκείμενη της μακροκυψέλη. Προσπαθεί δηλαδή ο χρήστης να επιστρέψει στο φυσικό του επίπεδο.

Η παράμετρος P εκφράζει το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που προσπαθούν, κατά την είσοδο τους στο σύστημα, να ενταχθούν αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο. Η εμφάνιση της είναι αποτέλεσμα των πολλών διαφορετικών απόψεων που υπήρχαν σχετικά με το πιο είναι το καταλληλότερο επίπεδο ένταξης των γρήγορων χρηστών. Για τους αργούς χρήστες επικρατεί η άποψη ότι το καταλληλότερο επίπεδο για την εξυπηρέτησή τους είναι το μικροκυψελικό, αφού και πολλοί είναι στον αριθμό (και άρα επωφελούνται από την αυξημένη χωρητικότητα του μικροκυψελικού επιπέδου σε σχέση με το μακροκυψελικό) ενώ επιπλέον λόγω της μικρής ταχύτητάς τους δεν προκαλούν μεγάλο αριθμό διαπομπών στο σύστημα. Αντίθετα για το καταλληλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης των γρήγορων χρηστών οι απόψεις δίστανται. Έτσι οι διάφορες προτάσεις για την τιμή που πρέπει να έχει η παράμετρος P είναι αρκετές. Έχουν προταθεί οι δύο ακραίες τιμές (0%, άρα όλοι οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται αρχικά στο μικροκυψελικό επίπεδο, και 100%, οπότε όλοι οι γρήγοροι χρήστες εντάσσονται αρχικά στο μακροκυψελικό επίπεδο), χωρίς όμως να αποκλείονται και διάφορα ενδιάμεσα ποσοστά.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν μερικά ευφυή μοντέλα, τα οποία κατά ένα βαθμό στηρίζονται σε όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, εισάγοντας ταυτόχρονα μερικές καινοτομίες, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσής τους. Τα μοντέλα που θα παρουσιαστούν μπορούν αρχικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία, την οποία αποκαλούμε κατηγορία μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής, περιλαμβάνει τρία μοντέλα που λειτουργούν με βάση τη μεταγωγή κυκλώματος. Δηλαδή για τα μοντέλα αυτά απαιτείται η εκχώρηση στον υπό εξυπηρέτηση χρήστη ενός λογικού διαύλου⁴ του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια της κλήσης του. Στα μοντέλα αυτά δεν αποκλείεται η χρήση υπηρεσιών δεδομένων (π.χ. SMS, MMS). Σε κάθε περίπτωση όμως, η εξυπηρέτηση αυτών των υπηρεσιών δεδομένων θα γίνεται με μεταγωγή κυκλώματος.

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τα μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων. Η διαφορά αυτών των μοντέλων από τα προηγούμενα, είναι ότι αυτά στηρίζονται στη μεταγωγή πακέτου για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Στα μοντέλα αυτά γίνεται ανάθεση ρυθμού μετάδοσης στους χρήστες ανάλογα με την ποιότητα του σήματος τους. Η ανάθεση του ρυθμού μετάδοσης βασίζεται σε TDMA, και σε κάθε χρονοσχισμή (slot) μπορεί να εκχωρείται ρυθμός μετάδοσης σε έναν ή περισσότερους χρήστες σύμφωνα με τη διαθέσιμη χωρητικότητα της κυψέλης (π.χ. συνδυασμός του TDMA με CDMA σε μια χρονοσχισμή, οπότε έχουμε CDMA over TDMA). Σε αντιστοιχία με την πρώτη κατηγορία, στα μοντέλα αυτά δεν αποκλείεται η εξυπηρέτηση υπηρεσιών φωνής, σε κάθε περίπτωση όμως αυτή θα γίνεται με χρήση μεταγωγής πακέτου.

Στις σελίδες που ακολουθούν θα παρουσιάσουμε αρχικά τρία μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών φωνής. Αυτά είναι τα Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm και Adaptive Channel Partitioning. Θα ακολουθήσει η παρουσίαση δύο μοντέλων εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων, των Velocity-based Assignment Strategy και Data-based Assignment Strategy.

⁴ Με τον όρο λογικό δίαυλο εννοούμε έναν διπλό φυσικό δίαυλο, που περιλαμβάνει ένα δίαυλο για το uplink και ένα για το downlink. Η εκχώρηση των διαύλων του συστήματος στους χρήστες μπορεί να γίνεται με οποιοδήποτε σχήμα πολλαπλής πρόσβασης, όπως για παράδειγμα FDMA ή TDMA.



3.2 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Φωνής

3.2.1 Repacking on Demand

3.2.1.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ένα μοντέλο δυναμικής ανταλλαγής χρηστών μεταξύ των δύο επιπέδων, το Repacking on Demand (RoD). Το μοντέλο αυτό προτείνεται στα [10] και [11]. Με τον όρο “repacking” για το συγκεκριμένο μοντέλο, αποκαλείται η διαδικασία κατά την οποία εξετάζεται αν ένα κινητό τερματικό μπορεί να μεταφερθεί από το μακροκυψελικό επίπεδο στο μικροκυψελικό, ανεξάρτητα από αν αυτό είναι γρήγορο ή αργό, με σκοπό την απελευθέρωση πόρων στο μακροκυψελικό επίπεδο. Η ιδέα στην οποία στηρίζεται η διαδικασία του repacking είναι η αύξηση των ανενεργών διαύλων στη μακροκυψέλη έτσι ώστε οι υποκείμενες μικροκυψέλες να έχουν στη διάθεση τους περισσότερους μακροκυψελικούς διαύλους για την εξυπηρέτηση της υπερροϊκής κίνησης που προέρχεται από αυτές.

Έχουν προταθεί διάφορα στατικά μοντέλα repacking, όπως το NR (No Repacking) και το AR (Always Repacking). Από αυτά το πρώτο δεν εκτελεί ποτέ τη διαδικασία του repacking, ενώ το δεύτερο την εκτελεί αμέσως με το που απελευθερώνεται ένας δίαυλος στο μικροκυψελικό επίπεδο. ***Η διαφορά του RoD από τα υπόλοιπα μοντέλα που χρησιμοποιούν repacking, είναι ότι εκτελεί τη διαδικασία του repacking μόνο εφόσον αυτό απαιτείται για να εξυπηρετηθεί μια νέα κλήση ή μια κλήση προερχόμενη από διαπομπή.***

Τέλος σημειώνεται ότι η εκδοχή του RoD που θα εξετάσουμε λαμβάνει υπόψη της την ταχύτητα των χρηστών (speed sensitive RoD) ώστε να τους εξυπηρετήσει, χωρίζοντας τους σε δύο κατηγορίες ανάλογα με ένα κατάλληλα επιλεγμένο κατώφλι ταχύτητας.

3.2.1.2 Λειτουργία του RoD

Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητό το μοντέλο RoD αναφέρεται αρχικά η διαδικασία που ακολουθείται στην περίπτωση μη ευαίσθητου στην ταχύτητα RoD. Αρχικά μία νέα κλήση προσπαθεί να εξυπηρετηθεί από τη μικροκυψέλη στην οποία «γεννιέται». Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι δίαυλοι σε αυτήν τότε ψάχνει για διαύλους στην υπερκείμενη μακροκυψέλη. Εάν δεν βρει και εκεί διαθέσιμο δίαυλο, πρέπει να εκτελεστεί το repacking on demand, οπότε το σύστημα ψάχνει για υποψήφια κλήσεις για repacking. Οι κλήσεις αυτές πρέπει να πληρούν τα εξής δύο κριτήρια:

- Η υποψήφια κλήση καταλαμβάνει έναν δίαυλο στην υπό αναφορά μακροκυψέλη.
- Η μικροκυψέλη στην οποία ανήκει χωρικά αυτή η υποψήφια κλήση έχει διαθέσιμο ανενεργό δίαυλο.



Το ποίος υποψήφιος θα επιλεγεί τελικά μπορεί να προκύψει με δύο τρόπους.

- *Load Balancing RoD*, οπότε επιλέγεται ο υποψήφιος που ανήκει χωρικά στη μικροκυψέλη με τη μικρότερη κίνηση. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η τοποθέτηση χρηστών προερχόμενων από repacking σε μικροκυψέλες που βρίσκονται στα όρια του κορεσμού.
- *Random RoD*, οπότε και ο τελικός υποψήφιος επιλέγεται τυχαία με την ίδια πιθανότητα μεταξύ όλων των υποψηφίων που θα μπορούσαν να εκτελέσουν τη διαδικασία του repacking.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθείται κατά την εξυπηρέτηση των χρηστών από το ευαίσθητο στην ταχύτητα RoD. Το μοντέλο χωρίζει τους χρήστες σε δύο κατηγορίες, γρήγορους και αργούς, με βάση ένα κατάλληλα προκαθορισμένο κατώφλι ταχύτητας. Οι νέοι αργοί χρήστες προσπαθούν αρχικά να εξυπηρετηθούν από τη μικροκυψέλη στην οποία γεννήθηκε η κλήση τους. Εφόσον δεν καταφέρουν να εξυπηρετηθούν από τη μικροκυψέλη τους, αναζητούν πόρους στην υπερκείμενη μακροκυψέλη. Στην περίπτωση που και αυτή δεν έχει διαθέσιμους πόρους ενεργοποιείται η διαδικασία του repacking. Αρχικά αναζητείται ένας αργός χρήστης για να μεταφερθεί από τη μακροκυψέλη στην υποκείμενη μικροκυψέλη στην οποία ανήκει χωρικά, απελευθερώνοντας έτσι έναν δίαυλο στη μακροκυψέλη που θα αποδοθεί τελικά στο νέο χρήστη. Εάν δεν βρεθεί κάποιος αργός υποψήφιος για την εκτέλεση του repacking τότε αναζητείται ένας γρήγορος χρήστης που θα μπορούσε να μεταφερθεί από το μακροκυψελικό επίπεδο στο μικροκυψελικό. Στην περίπτωση που ούτε το τελευταίο είναι εφικτό το σύστημα αναγκάζεται να απορρίψει τον νέο αργό χρήστη. Η διαδικασία που ακολουθείται για τους νέους γρήγορους χρήστες περιλαμβάνει ουσιαστικά τα παραπάνω βήματα σε διαφορετική σειρά. Πιο συγκεκριμένα, ο νέος γρήγορος χρήστης αρχικά αναζητά πόρους στη μακροκυψέλη στην οποία γεννήθηκε η κλήση του. Εφόσον δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι σε αυτήν, αναζητούνται αργοί υποψήφιοι χρήστες για την εκτέλεση repacking. Στην περίπτωση που δεν βρεθεί κάποιος αργός υποψήφιος, ο νέος γρήγορος χρήστης αναζητά πόρους στην μικροκυψέλη στην οποία ανήκει χωρικά. Εάν δεν ευδοκιμήσει ούτε και αυτή η περίπτωση το μοντέλο καταφεύγει στην τελευταία του επιλογή που είναι η αναζήτηση υποψήφιου γρήγορου χρήστη για repacking. Στην περίπτωση που και πάλι δεν βρεθεί κάποιος υποψήφιος για repacking, η κλήση του γρήγορου χρήστη απορρίπτεται. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και στην περίπτωση μιας κλήσης προερχόμενης από διαπομπή.

Αυτό που πρέπει να παρατηρηθεί στην παραπάνω διαδικασία είναι ότι η σειρά των βημάτων που αυτή ακολουθεί έχει ως στόχο τη διατήρηση του αριθμού των διαπομπών του συστήματος σε όσο το δυνατό χαμηλότερα επίπεδα. Για αυτόν ακριβώς το λόγο εξετάζεται πρώτα αν υπάρχουν αργοί υποψήφιοι χρήστες για repacking και μόνο στην περίπτωση που δεν βρεθούν τέτοιοι, εξετάζεται αν υπάρχουν γρήγοροι υποψήφιοι χρήστες για την εκτέλεση repacking. Σε αυτό το σημείο δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η παρουσία γρήγορων χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο αυξάνει τη συχνότητα των διαπομπών που οφείλεται σε αυτούς, λόγω της μεγάλης ταχύτητας με την οποία κινούνται στις χωρικά περιορισμένες κυψέλες του επιπέδου αυτού.



Στην επόμενη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το RoD⁵ για την εξυπηρέτηση των χρηστών και λαμβάνει υπόψη του την κινητικότητα των χρηστών.

3.2.1.3 Αλγόριθμος

Λαμβάνοντας υπόψη την κινητικότητα των χρηστών τα δύο γενικά κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται από το μοντέλο είναι τα ακόλουθα:

- Κριτήριο 1: Οι κλήσεις από αργά τερματικά τείνουν να τοποθετηθούν σε μικροκυψελικούς διαύλους, έτσι ώστε οι δίαυλοι στο μακροκυψελικό επίπεδο να μπορούν να διαμοιράζονται αποτελεσματικά σε κλήσεις από κορεσμένες μικροκυψέλες.
- Κριτήριο 2: Οι κλήσεις από γρήγορα τερματικά τείνουν να τοποθετηθούν στο μακροκυψελικό επίπεδο, έτσι ώστε να μειωθεί ο αριθμός των διαπομπών.

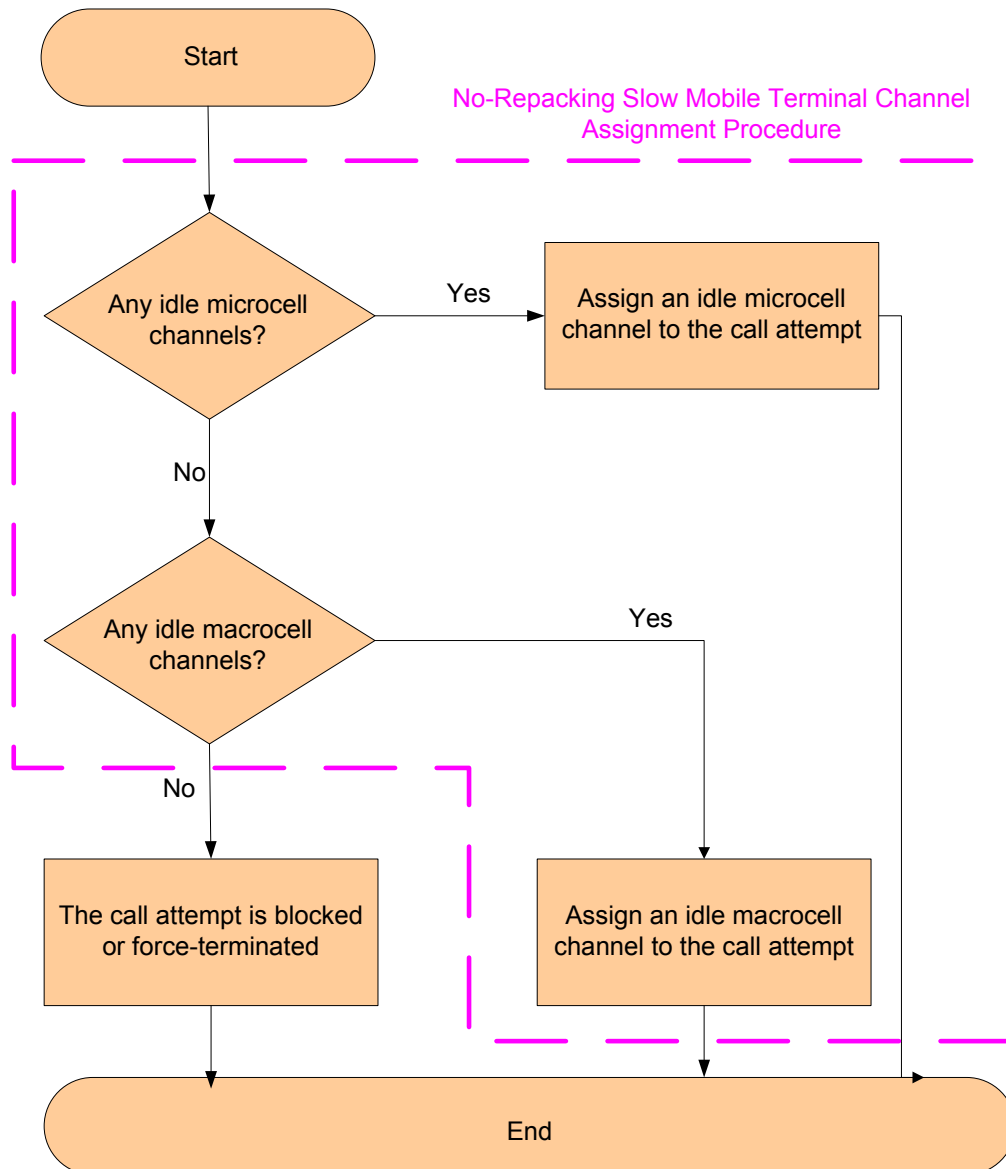
Από τα δύο προηγούμενα γενικά κριτήρια προκύπτει η ανάγκη για την ύπαρξη διαδικασιών με τις οποίες οι χρήστες, είτε γρήγοροι είτε αργοί θα επιστρέφουν στο επίπεδο από το οποίο τείνουν να εξυπηρετηθούν, εφόσον για κάποιο λόγο δεν εξυπηρετούνται από αυτό.

Με βάση το κριτήριο 1 προκύπτει η απαίτηση για repacking από Μάκρο-σε-μίκρο (M-to-m) επίπεδο, για να μπορεί να αλλάξει επίπεδο εξυπηρέτησης μια κλήση αργού τερματικού από τη μακροκυψέλη από την οποία εξυπηρετείται στην υποκείμενη μικροκυψέλη. Έτσι οι διαθέσιμοι πόροι των μακροκυψελών μπορούν να μοιραστούν μεταξύ των υποκείμενων μικροκυψελών πιο αποδοτικά. Αντίστοιχα, με βάση το κριτήριο 2, προκύπτει η απαίτηση για repacking από μικρο-σε-Μάκρο (m-to-M), με σκοπό να αλλάξει το επίπεδο εξυπηρέτησης μια κλήσης γρήγορου χρήστη από τη μικροκυψέλη από την οποία εξυπηρετείται στην υπερκείμενη μακροκυψέλη. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση του αριθμού των διαπομπών του συστήματος και συνεπώς μείωση του φορτίου σηματοδοσίας.

Το μοντέλο RoD χρησιμοποιεί μόνο την απαίτηση για repacking M-to-m. Μέσω της διαδικασίας repacking M-to-m, οι αργοί χρήστες επιστρέφουν στο φυσικό τους επίπεδο σύμφωνα με το κριτήριο 1 όταν τους δοθεί η ευκαιρία. Αυτές οι μετακινήσεις γίνονται με σκοπό την απελευθέρωση πόρων στο μακροκυψελικό επίπεδο.

Τελικά η διαδικασία που ακολουθεί το μοντέλο RoD για την εξυπηρέτηση νέων κλήσεων και κλήσεων προερχόμενων από διαπομπή έχει ως εξής:

⁵ Ο αλγόριθμος αυτός, ακριβώς όπως περιγράφεται εδώ υλοποιήθηκε και στον προσομοιωτή που κατασκευάστηκε.



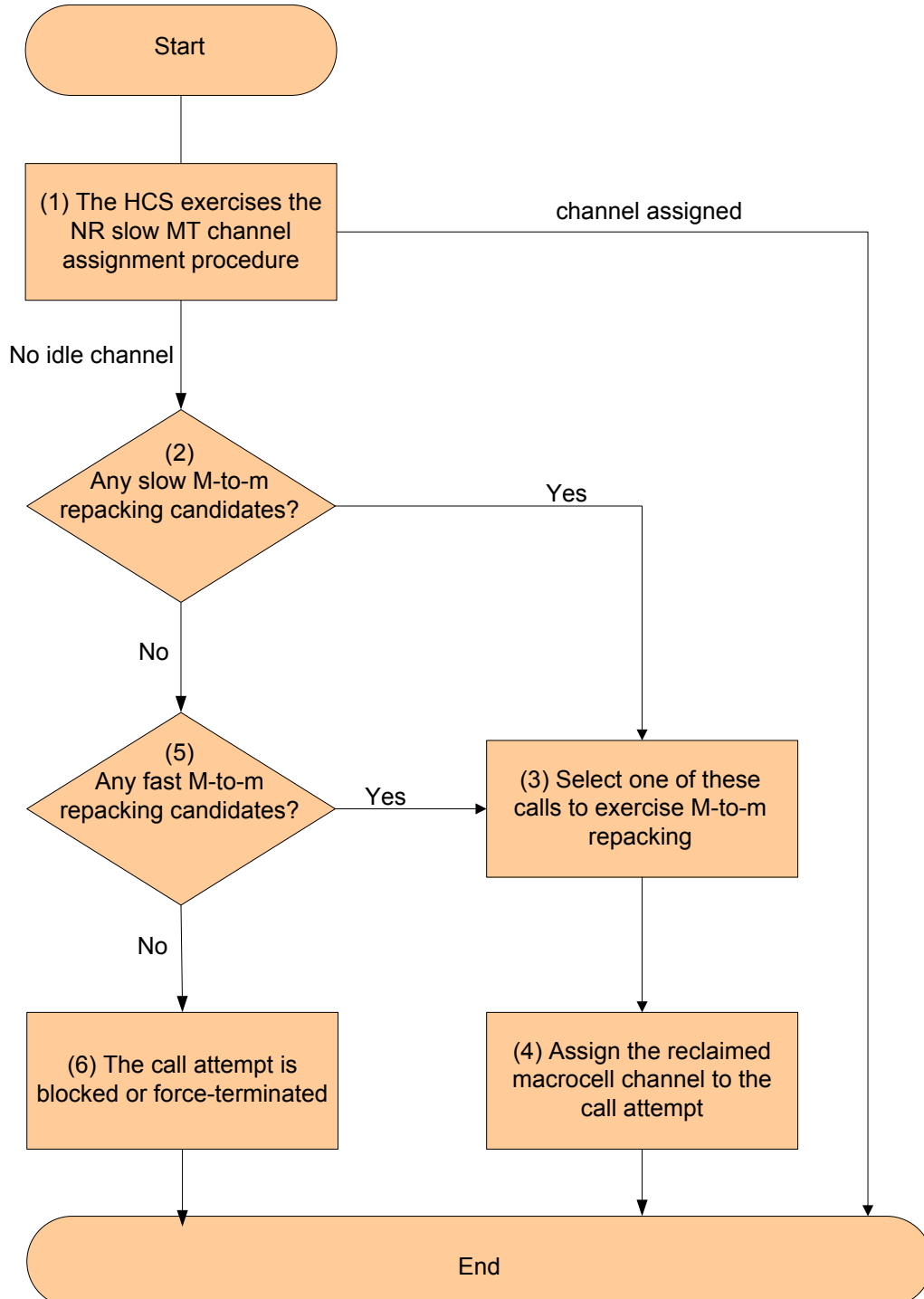
Σχήμα 13: Αρχική διαδικασία ανάθεσης της κλήσης.

RoD I: RoD για αργούς χρήστες:

- I.1:** Όταν μια νέα κλήση γεννιέται ή προέρχεται από διαπομπή στην κυψέλη i , το σύστημα εκτελεί πρώτα από όλα τη διαδικασία ανάθεσης που φαίνεται στο Σχήμα 13. Δηλαδή το σύστημα αναζητά αρχικά για τη νέα κλήση έναν δίαυλο στη μικροκυψέλη στην οποία γεννήθηκε. Εάν δεν βρεθεί σε αυτήν ελεύθερος δίαυλος, τότε το σύστημα αναζητά δίαυλο στην υπερκείμενη μακροκυψέλη. Εάν βρεθεί ελεύθερος δίαυλος η διαδικασία τερματίζει με αποδοχή της κλήσης.
- I.2:** Εάν δε βρεθεί ελεύθερο κανάλι στο βήμα I.1, ακολουθώντας το κριτήριο 1, το σύστημα ελέγχει αν υπάρχει κάποιο αργό τερματικό υποψήφιο για M-to-m repacking (βλέπε Σχήμα 14). Εάν ναι τότε εκτελείται το βήμα I.3, αλλιώς εκτελείται το βήμα I.5.
- I.3 και I.4:** Το σύστημα μας επιλέγει μια από τις υποψήφιες κλήσεις για να κάνει repacking και στη συνέχεια παραχωρεί τον ανακτημένο



μακροκυβελικό διάυλο στο αργό τερματικό. Η διαδικασία τερματίζει με αποδοχή της κλήσης.



Σχήμα 14: RoD για αργά τερματικά.

I.5 και I.6: Εάν δεν βρεθεί αργός υποψήφιος για M-to-m repacking, το σύστημα ελέγχει αν υπάρχει κάποιος γρήγορος υποψήφιος για M-to-m repacking. Εάν υπάρχει τότε εκτελείτε το βήμα I.3, αλλιώς η κλήση απορρίπτεται.

**RoD II: RoD για γρήγορους χρήστες:**

- II.1 και II.2:** Όταν μια νέα κλήση γεννιέται από ένα γρήγορο τερματικό ή διαπέμπεται χωρικά στη μικροκυψέλη i , το σύστημα προσπαθεί αρχικά να αποδώσει στο γρήγορο τερματικό ένα δίαυλο από την υπερκείμενη στη μικροκυψέλη i μακροκυψέλη, ακολουθώντας το κριτήριο 2. Εάν τελικά αποδοθεί δίαυλος στην κλήση του γρήγορου τερματικού η διαδικασία τερματίζει (βλέπε Σχήμα 15).
- II.3:** Εάν δε βρεθεί διαθέσιμος δίαυλος στο βήμα II.1, τότε ακολουθώντας το κριτήριο 1, το σύστημα ελέγχει αν υπάρχει κάποιο αργό τερματικό υποψήφιο για M-to-m repacking. Εάν υπάρχει προχωράμε στο βήμα II.4, αλλιώς στο βήμα II.6.
- II.4 και II.5:** Το σύστημα εκτελεί M-to-m repacking για να παράγει έναν ελεύθερο μακροκυψελικό δίαυλο για το γρήγορο τερματικό. Ο ανακτημένος δίαυλος αποδίδεται στην κλήση του γρήγορου τερματικού και η διαδικασία τερματίζεται.
- II.6 και II.7:** Εάν δε βρεθεί αργό τερματικό υποψήφιο για M-to-m repacking, το σύστημα προσπαθεί να βρει έναν δίαυλο στη μικροκυψέλη i για το γρήγορο τερματικό έτσι ώστε να το εξυπηρετήσει.
- II.8 και II.9:** Εάν δεν βρεθεί διαθέσιμος δίαυλος ούτε στην μικροκυψέλη, το σύστημα ελέγχει αν υπάρχει κάποιο γρήγορο τερματικό υποψήφιο για M-to-m repacking. Εάν ναι η διαδικασία περνάει στο βήμα II.4, αλλιώς η κλήση απορρίπτεται.

3.2.1.4 Ανασκόπηση

Η ευφυΐα του παραπάνω μοντέλου έγκειται στο γεγονός ότι παρακολουθεί δυναμικά το φορτίο του συστήματος (έστω και με έμμεσο τρόπο μέσω της διαθεσιμότητας των διαύλων) και προσπαθεί να ανακατανέμει τους χρήστες μεταξύ των δύο επιπέδων, έτσι ώστε κυρίως να καταπολεμήσει την εμφάνιση hot spots. Η διαδικασία του repacking εκτελείται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αναμενόμενος αριθμός διαπομπών του συστήματος.

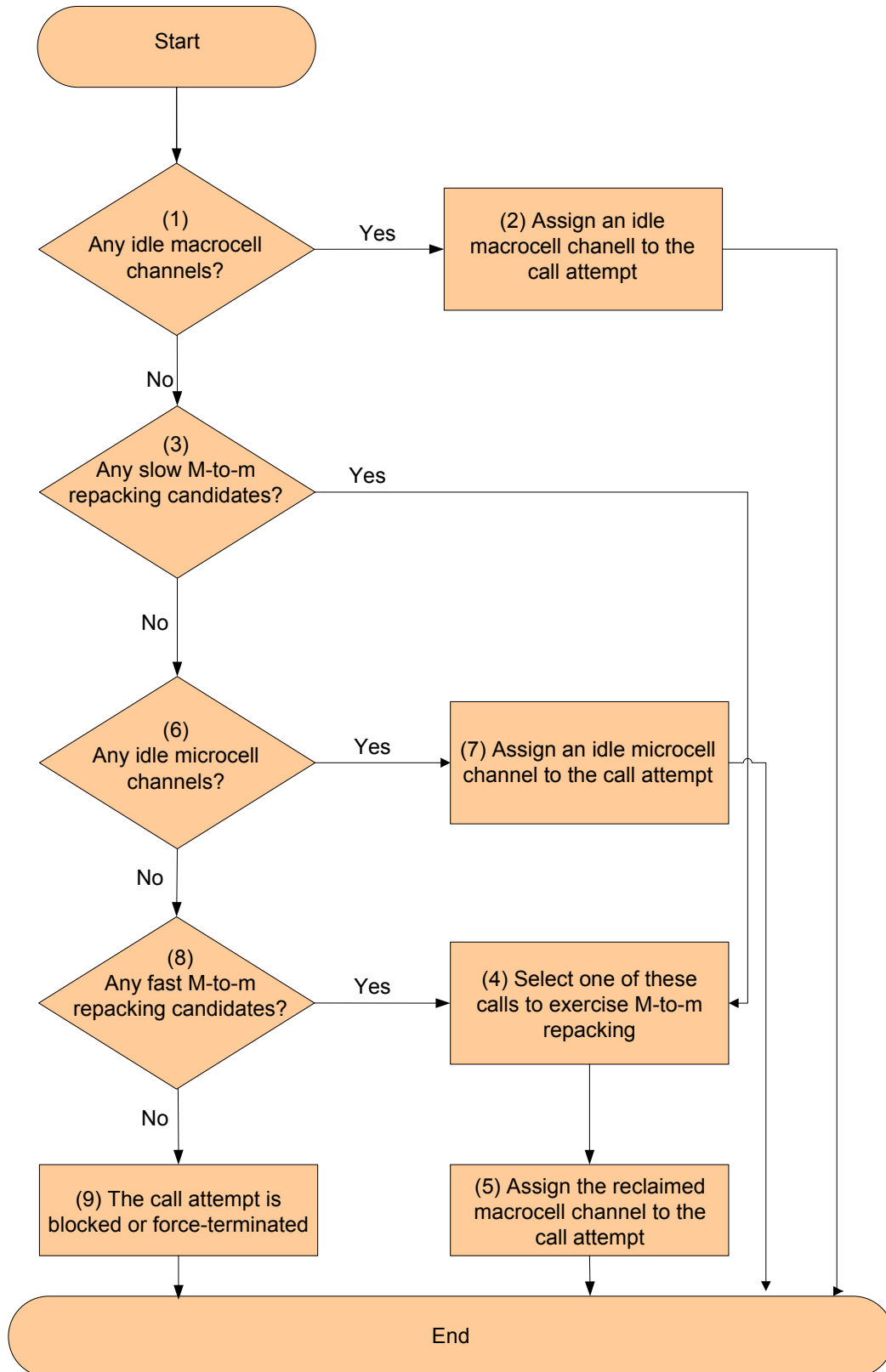
Το μοντέλο RoD κατηγοριοποιεί τους χρήστες ανάλογα με την ταχύτητα τους. Από εκεί και πέρα διαπιστώνουμε ότι συνδυάζει τα προτερήματα μη ευφυών μοντέλων εξυπηρέτησης της υπερροϊκής κίνησης για την εξυπηρέτηση των χρηστών σε σημεία που δημιουργούνται hot spots, απελευθερώνοντας διαύλους στη μακροκυψέλη όταν αυτό είναι απαραίτητο. Ταυτόχρονα μέσω του M-to-m repacking, το μοντέλο ακολουθεί τη διαδικασία του take back για τους αργούς χρήστες. Δηλαδή οι αργοί χρήστες που αλλάζουν επίπεδο προσπαθούν εμμέσως κάποια στιγμή να επιστρέψουν στο φυσικό τους επίπεδο.

Τέλος ένα άλλο σημείο στο οποίο θα θέλαμε να επεκταθούμε είναι το για ποίο λόγο γενικώς είναι προτιμότερη η υλοποίηση του RoD-R⁶, σε σχέση με του RoD-L. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις για την επιλογή του υποψηφίου για M-to-m repacking. Στο RoD, η μακροκυψέλη χρησιμεύει ουσιαστικά ως μια πηγή πόρων που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει το φορτίο κάθε μικροκυψέλης. Δηλαδή η διαδικασία του repacking, ουσιαστικά εκτελεί από μόνη της

⁶ Κατά την κατασκευή του προσομοιωτή ακολουθήθηκε το μοντέλο RoD-R.



το κύριο μέρος της εξισορρόπησης του φορτίου στο σύστημα, και έτσι η όποια βελτίωση θα προσέφερε πιθανών το RoD-L περνάει σχεδόν απαρατήρητη.



Σχήμα 15: RoD για γρήγορα τερματικά.



Έτσι οι διαφορές στις επιδόσεις μεταξύ RoD-L και RoD-R είναι πολύ μικρές. Αυτό το γεγονός δίνει σαφές προβάδισμα στο RoD-R και σε ένα πραγματικό σύστημα, αφού αυτό είναι πολύ πιο εύκολο να υλοποιηθεί σε σχέση με το RoD-L.

3.2.2 Maximum Packing Algorithm

3.2.2.1 Εισαγωγή

Τα κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς, χρησιμοποιούν σταθερή κατανομή διαύλων (FCA, Fixed Channel Allocation). Με την κατανομή αυτή, ξένα μεταξύ τους υποσύνολα του συνόλου των διαθέσιμων διαύλων κατανέμονται μόνιμα σε κυψέλες, σύμφωνα με την εκτιμώμενη τηλεπικοινωνιακή κίνηση της κάθε κυψέλης. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητος ένας νέος σχεδιασμός κατανομής συχνοτήτων (frequency planning) εφόσον επιθυμούμε να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε κυψέλες στο σύστημα, έτσι ώστε να αυξήσουμε τη χωρητικότητα του μέσω της αύξησης της συχνότητας επαναχρησιμοποίησης. Αντίθετα στα συστήματα δυναμικής κατανομής διαύλων (DCA, Dynamic Channel Allocation), δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ διαύλων και κυψελών. Όλοι οι δίαυλοι κρατούνται σε κεντρικό σημείο και εκχωρούνται δυναμικά στις κυψέλες καθώς ξεκινούν νέες κλήσεις στο σύστημα. Μετά το τέλος μιας κλήσης, ο δίαυλος που αποδεσμεύεται συγκαταλέγεται στους ελεύθερους διαύλους του κεντρικού σημείου διάθεσης. Ένα σημαντικό, λοιπόν, πλεονέκτημα των τεχνικών δυναμικής κατανομής διαύλων είναι το γεγονός ότι ελαττώνεται η κοπιαστική δουλειά του προγραμματισμού συχνοτήτων. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τον αλγόριθμο δυναμικής κατανομής διαύλων γνωστό ως «Μέγιστη Ομαδοποίηση» (Maximum Packing Algorithm ή MPA). Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, μια κλήση αποκλείεται μόνο όταν δεν μπορεί να γίνει ανακατανομή των κλήσεων σε όλους τους διαύλους του συστήματος ώστε να εξυπηρετηθεί. Για να επιτευχθεί η ανακατανομή απαιτείται ένας κεντρικός ελεγκτής, που λαμβάνει πληροφορίες από όλο το σύστημα και μπορεί ταυτόχρονα να κάνει την ανακατανομή των κλήσεων. Τελειώνοντας την εισαγωγή αυτή θα πρέπει να αναφέρουμε ότι λόγω του τρόπου λειτουργίας του ο MPA καταφέρνει να εξυπηρετεί ένα μεγάλο αριθμό κλήσεων χρησιμοποιώντας έναν ελάχιστο αριθμό διαύλων σε σχέση με άλλα μοντέλα.

3.2.2.2 Maximum Packing σε κυψελωτά συστήματα κινήτων επικοινωνιών ενός επιπέδου

Ο αλγόριθμος MPA παρουσιάστηκε το 1983⁷, αρκετά πριν τη χρησιμοποίηση των ιεραρχικών κυψελωτών δομών, που σήμερα αποτελούν ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Για αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε στην αρχική μορφή του αλγορίθμου και στη συνέχεια να επεκταθούμε και στη μορφή του στα ιεραρχικά συστήματα. Ο MPA είναι ένας άπληστος

⁷ D.E. Everitt and N.W. MacFayden, "Analysis of multicellular mobile radio-telephone systems: a model evaluation", British Telecom Tech. Journal, Vol. 1, pp. 37-45, 1983.



αλγόριθμος (greedy algorithm⁸), ο οποίος χαρακτηρίζεται από έναν αόριστο αριθμό πιθανών ανακατανομών διαύλων ανάμεσα στις κυψέλες κάθε επιπέδου. Το προηγούμενο είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι μια τυχαία κυψέλη μπορεί να εξυπηρετήσει μια αίτηση για κλήση εφόσον ο αριθμός των διαύλων που ήδη χρησιμοποιείται από την ομάδα επαναχρησιμοποίησης της κυψέλης είναι μικρότερος από τον αριθμό των διαθέσιμων διαύλων του συστήματος στο συγκεκριμένο επίπεδο, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη αν ικανοποιείται η ομοδιαυλική παρεμβολή σε κάποια παρακείμενη κυψέλη. Το γεγονός ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί ανακατανομή των διαύλων ανάμεσα στις τρέχουσες κλήσεις είναι και αυτό που διαφοροποιεί τον αλγόριθμο MPA από άλλους αλγορίθμους DCA, αφού στην πλειοψηφία αυτών οι κλήσεις σε εξέλιξη δεν επηρεάζονται καθόλου. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτή η ανακατανομή των διαύλων όταν χρειάζεται, δεν θα μας απασχολήσει στην παρούσα εργασία, αφού δεν χρειάζεται να τον γνωρίζουμε για την εξυπηρέτηση μιας νέας κλήσης. Ένας τέτοιος αλγόριθμος ανακατανομής παρουσιάζεται στο [4]. Επίσης, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο [4], σε σύγκριση με άλλους αλγορίθμους DCA, ο MPA εμφανίζεται πιο ελκυστικός λόγω του γεγονότος ότι εμφανίζει καλύτερη απόδοση σε χαμηλή και μέση προσφερόμενη κίνηση καθώς και λόγω της ικανότητας του να προσαρμόζεται αυτόματα σε μεταβολές της κίνησης. Μειονέκτημα του αλγορίθμου είναι πάντως το γεγονός ότι η απόδοση του είναι χειρότερη των άλλων αλγορίθμων κάτω από υψηλό φορτίο.

Ο αλγόριθμος MPA στηρίζεται στην ιδέα της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Σύμφωνα με αυτήν ένας διάυλος μπορεί να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από διαφορετικές κυψέλες, εφόσον τηρούνται κάποιοι περιορισμοί σχετικά με την ομοδιαυλική παρεμβολή⁹. Πιο συγκεκριμένα, η ομοδιαυλική παρεμβολή πρέπει να βρίσκεται κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι για να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος διάυλος από δύο κοντινές κυψέλες. Στον αλγόριθμο MPA, το σύνολο των διαύλων του συστήματος είναι διαθέσιμο σε κάθε κυψέλη. Όμως, υπάρχουν σύνολα κυψελών στα οποία δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι διάυλοι, αφού δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι απαραίτητες συνθήκες ομοδιαυλικής παρεμβολής. Αυτά τα σύνολα κυψελών ονομάζονται ομάδες επαναχρησιμοποίησης και αποτελούνται από ένα συγκεκριμένο αριθμό κυψελών. Στην ανάλυση που ακολουθεί, θεωρείται ότι μια ομάδα επαναχρησιμοποίησης αποτελείται από τρεις (3) κυψέλες που έχουν μια κοινή κορυφή (υποτίθεται εξαγωνικό σχήμα κυψελών). Συνεπώς, μια κυψέλη, αφού έχει έξι κορυφές, ανήκει αναγκαστικά σε περισσότερες από μία ομάδες επαναχρησιμοποίησης, και πιο συγκεκριμένα σε έξι ομάδες (βλέπε Σχήμα 16).

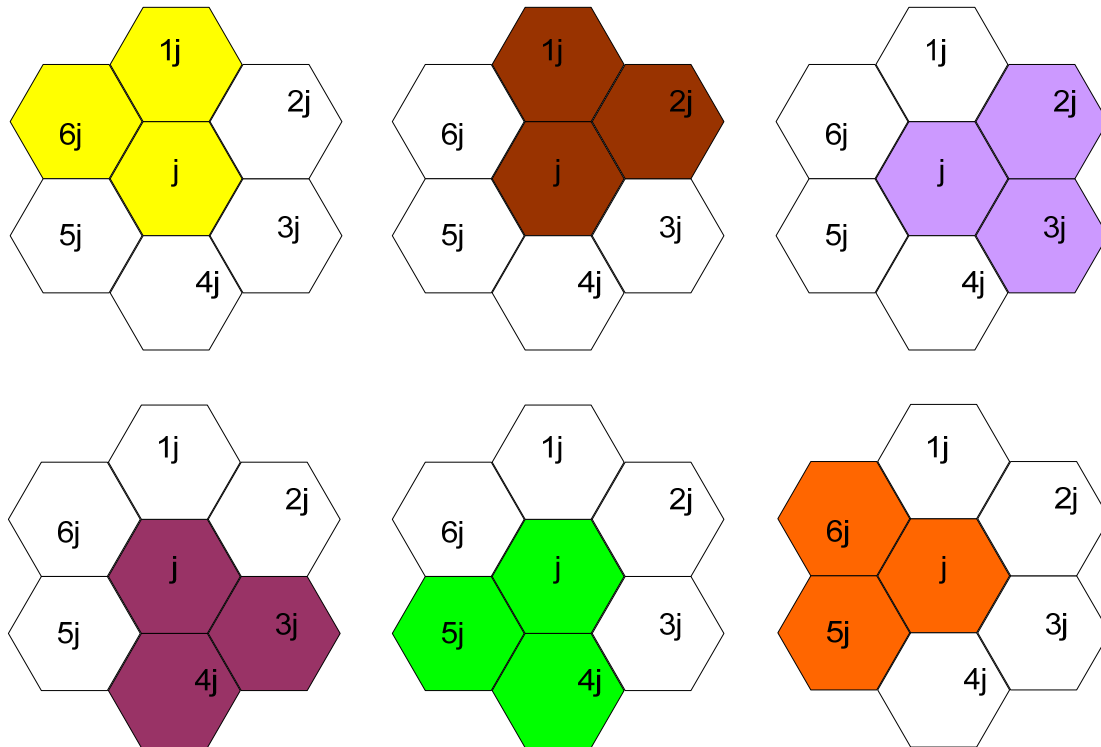
Έστω λοιπόν ένα κυψελωτό δίκτυο που αποτελείται από M κυψέλες. Το σύστημα έχει N χρήστες και C διαθέσιμους διαύλους συνολικά. Με τον όρο διάυλο αναφερόμαστε στη γενική μορφή του πόρου που χρησιμοποιείται για επικοινωνία, όπως για παράδειγμα ένας διπλός φυσικός διάυλος στη διεύθυνση του uplink και του downlink για μια μέθοδο πρόσβασης όπως FDMA ή TDMA. Σύμφωνα λοιπόν με τον MPA, μια κυψέλη μπορεί να εξυπηρετήσει μια αίτηση για κλήση, αν ο αριθμός των διαύλων

⁸ Ένας άπληστος αλγόριθμος πάντα κάνει την επιλογή που φαίνεται βέλτιστη τη δεδομένη χρονική στιγμή. Δηλαδή κάνει μια τοπικά βέλτιστη επιλογή, με την ελπίδα ότι η επιλογή αυτή θα οδηγήσει σε μια ολικά βέλτιστη λύση. Οι άπληστοι αλγορίθμοι δεν δίνουν πάντα βέλτιστες λύσεις. Επειδή δουλεύουν με κριτήριο τοπικής βελτιστότητας (local optimality measure), για να δίνουν βέλτιστη λύση για κάποιο πρόβλημα, θα πρέπει για το συγκεκριμένο πρόβλημα να ισχύει ότι η τοπικά βέλτιστη επιλογή είναι πράγματι και η ολικά βέλτιστη.

⁹ Με τον όρο αυτό εννοούμε την παρεμβολή που προκαλεί ο διάυλος X μιας κυψέλης Z στον ίδιο διάυλο X που χρησιμοποιείται από μία άλλη παρακείμενη κυψέλη Y του συστήματος.



που χρησιμοποιούνται από κάθε ομάδα επαναχρησιμοποίησης στην οποία ανήκει η κυψέλη, είναι μικρότερος από το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων διαύλων του συστήματος, ο οποίος ουσιαστικά συμπίπτει με τον αριθμό των διαύλων που έχει στη διάθεσή της μια ομάδα επαναχρησιμοποίησης (η οποία, υπενθυμίζουμε, ότι αποτελείται από τρεις (3) κυψέλες με μια κοινή κορυφή).



Σχήμα 16: Οι έξι ομάδες επαναχρησιμοποίησης στις οποίες ανήκει η κυψέλη j .

Τα παραπάνω μπορούν να περιγραφούν αναλυτικά ως εξής:

Έστω $s=(s_1, s_2, \dots, s_M)$ το διάνυσμα του αριθμού των ενεργών χρηστών σε κάθε κυψέλη. Με αναφορά στο Σχήμα 16, μια αίτηση για κλήση γίνεται αποδεκτή στην τυχαία κυψέλη j εφόσον ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη:

$$s_j + s_t + s_u \leq C - 1 \forall (t, u) \exists' (j, t, u) \in S_j^{10} \quad (3.1)$$

όπου t και u είναι οι δύο άλλες κυψέλες που ανήκουν στην ίδια ομάδα επαναχρησιμοποίησης με την κυψέλη j , και S_j είναι το σύνολο των ομάδων επαναχρησιμοποίησης στις οποίες ανήκει η κυψέλη j .

3.2.2.3 Maximum Packing σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών

¹⁰ Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι σε μερικές περιπτώσεις ο χώρος καταστάσεων που προκύπτει από τη σχέση (3.1) είναι μεγαλύτερος από τη συνθήκη του MPA, αλλά η διαφορά στην απόδοση μπορεί να αμεληθεί.



Ο αλγόριθμος της Μέγιστης Ομαδοποίησης επεκτάθηκε αργότερα και στα ιεραρχικά κυβελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Η υλοποίηση του προτάθηκε από τα [3]¹¹ και [5].

Σύμφωνα λοιπόν με όσα αναφέρονται στο [3], θεωρούμε ένα ιεραρχικό κυβελωτό σύστημα δύο επιπέδων. Έστω ότι υπάρχουν M μικροκυψέλες που καλύπτονται από M/L μακροκυψέλες. Στα δύο επίπεδα εκχωρούμε διαφορετικό μέρος του συνολικού φάσματος¹² του συστήματος και έτσι αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ των δύο επιπέδων, ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιείται η χωρητικότητα του δικτύου. Η μεγιστοποίηση αυτή της χωρητικότητας είναι αποτέλεσμα της δυνατότητας της μείωσης της συχνότητας επαναχρησιμοποίησης που μας παρέχει η ύπαρξη του μικροκυβελικού επιπέδου. Μπορεί συνεπώς το σύστημα να επαναχρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες σε μικρότερο χώρο και άρα τελικά μπορεί να εξυπηρετήσει μεγαλύτερο αριθμό χρηστών σε δεδομένο χώρο. Οι συνολικά διαθέσιμοι στο σύστημα δίαυλοι είναι C , από τους οποίους C_1 αντιστοιχούν στο μικροκυβελικό επίπεδο και C_2 στο μακροκυβελικό. Το ποσοστό των διαύλων που θα εκχωρηθεί σε κάθε επίπεδο θα πρέπει να προκύψει μετά από προσεκτική μελέτη των αναγκών και των ιδιαίτερων δεδομένων της περιοχής που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα (π.χ. αυτοκινητόδρομος, κέντρο πόλης, αγροτική περιοχή). Στο σύστημα υπάρχουν N χρήστες χωρισμένοι σε δύο ομάδες κινητικότητας: αργούς και γρήγορους χρήστες. Οι χρήστες τοποθετούνται στις δύο αυτές ομάδες με βάση ένα προκαθορισμένο κατώφλι ταχύτητας.

Οι αιτήσεις για νέες κλήσεις των γρήγορων χρηστών εξυπηρετούνται αποκλειστικά από το μακροκυβελικό επίπεδο. Αντίστοιχα οι νέες κλήσεις των αργών χρηστών εξυπηρετούνται από το μικροκυβελικό επίπεδο. Στην περίπτωση όμως που δεν βρεθούν διαθέσιμοι πόροι στο μικροκυβελικό επίπεδο, οι αργοί χρήστες μπορούν να εκμεταλλευτούν τους πόρους του μακροκυβελικού επιπέδου, έχουμε δηλαδή υπερροϊκή κίνηση, για την ανακούφιση περιοχών όπου εμφανίζονται hot spots. Οι αργοί χρήστες που τελικά εξυπηρετούνται από το μακροκυβελικό επίπεδο, προσπαθούν να επιστρέψουν στο μικροκυβελικό επίπεδο μόλις περάσουν τα όρια της μικροκυψέλης στην οποία ανήκουν χωρικά. Προφανώς η παραπάνω διαδικασία του take back, γίνεται αποδεκτή μόνο εφόσον υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο μικροκυβελικό επίπεδο, αλλιώς ο αργός χρήστης συνεχίζει να εξυπηρετείται από το μακροκυβελικό επίπεδο.

Όπως και στα κυβελωτά συστήματα ενός επιπέδου, σύμφωνα με τον αλγόριθμο MPA, μια κυψέλη j μπορεί να εξυπηρετήσει μια αίτηση για κλήση εφόσον ο αριθμός των κατειλημμένων διαύλων σε κάθε ομάδα επαναχρησιμοποίησης στην οποία ανήκει, είναι μικρότερος του συνολικού αριθμού διαύλων. Σε μαθηματική μορφή, και ανάλογα από το επίπεδο από το οποίο εξυπηρετείται η κλήση, αρκεί να ικανοποιείται η σχέση (3.2) που ακολουθεί:

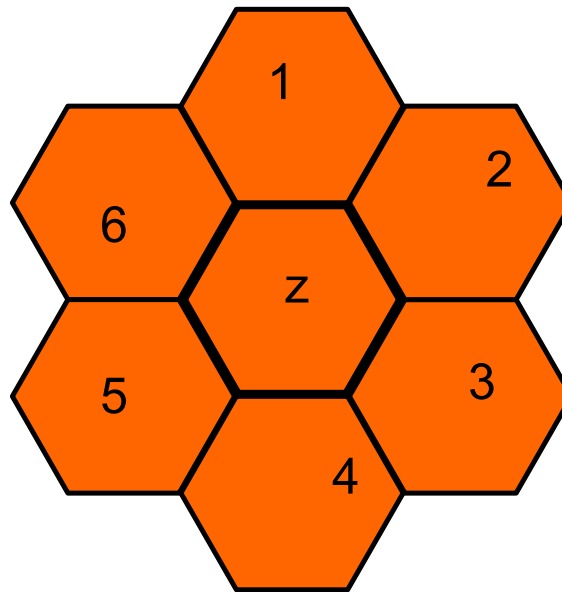
$$u(j) + u(t) + u(g) \leq C_k \forall (t, g) \exists' (j, t, g) \in S_j \quad (3.2)$$

¹¹ Αυτήν η υλοποίηση ακολουθήθηκε και στον προσομοιωτή που κατεσκευάστηκε.

¹² Γίνεται χρήση της τεχνικής orthogonal sharing. Σύμφωνα με αυτήν οι δίαυλοι συχνότητας διαχωρίζονται σε δύο ξένα μεταξύ τους σύνολα: ένα για τις μακροκυψέλες και ένα για τις μικροκυψέλες.

όπου $u(\cdot)$ ο αριθμός των ενεργών χρηστών στην αντίστοιχη κυψέλη, t και g είναι οι δύο άλλες κυψέλες οι οποίες ανήκουν στην ίδια ομάδα επαναχρησιμοποίησης με την κυψέλη j , και S_j το σύνολο των ομάδων επαναχρησιμοποίησης στις οποίες ανήκει η j . C_k είναι οι διαθέσιμοι δίαυλοι σε κάθε επίπεδο ($k=1$ για το μικροκυψελικό, $k=2$ για το μακροκυψελικό). Η πιθανότητα να μην αποκλειστεί μια κλήση, εφόσον ικανοποιείται η σχέση (3.2), δίνεται από τη σχέση (3.3). Στη συνέχεια, από τη σχέση (3.3) με αναφορά στο Σχήμα 17 προκύπτει η σχέση (3.4):

$$P_{NB1}(Z) = p\{((u(z) + u(t) + u(j) < C) \} \forall (t, j) \ni (z, t, j) \in S_z \tag{3.3}$$



Σχήμα 17

$$P \left\{ \begin{array}{l} (u_{1s}(z) + u_{1s}(1) + u_{1s}(2) < C_1) \\ \cap (u_{1s}(z) + u_{1s}(2) + u_{1s}(3) < C_1) \\ \cap (u_{1s}(z) + u_{1s}(3) + u_{1s}(4) < C_1) \\ \cap (u_{1s}(z) + u_{1s}(4) + u_{1s}(5) < C_1) \\ \cap (u_{1s}(z) + u_{1s}(5) + u_{1s}(6) < C_1) \\ \cap (u_{1s}(z) + u_{1s}(6) + u_{1s}(1) < C_1) \end{array} \right\} \tag{3.4}$$

Η παραπάνω σχέση (3.4) θα αναφέρεται από εδώ και πέρα για λόγους συντομίας ως «Κριτήριο των 6 Συγκρίσεων». Με βάση λοιπόν το παραπάνω μοντέλο προκύπτει ο εξής αλγόριθμος για την εξυπηρέτηση των κλήσεων νέων χρηστών και των κλήσεων διαπομπής.

• **Αργοί χρήστες:**

1.1 Μικροκυψελικό επίπεδο:

1.1.1 Εξετάζεται το κριτήριο των 6 συγκρίσεων για τη μικροκυψέλη στην οποία γεννιέται η κλήση του αργού χρήστη.



- 1.1.2 Αν ικανοποιείται ο χρήστης παίρνει διάυλο και καταχωρείται στην κυψέλη που έχει γεννηθεί.
 - 1.1.3 Αν δεν ικανοποιείται, ελέγχουμε αν ισχύει το κριτήριο των 6 συγκρίσεων για την υπερκείμενη μακροκυψέλη.
 - 1.1.4 Αν αυτό ικανοποιείται ο χρήστης παίρνει διαθέσιμο διάυλο και καταχωρείται στην υπερκείμενη μακροκυψέλη της μικροκυψέλης στην οποία γεννήθηκε.
 - 1.1.5 Αν δεν ικανοποιείται ούτε αυτό ο χρήστης απορρίπτεται.
- 1.2 Μακροκυψελικό επίπεδο:
- 1.2.1 Κάθε φορά που ο αργός χρήστης περνάει τα όρια μιας μικροκυψέλης εξετάζεται αν μπορεί να γυρίσει στο μακροκυψελικό επίπεδο. Εξετάζεται δηλαδή εκ νέου το κριτήριο των 6 συγκρίσεων για τη μικροκυψέλη στην οποία μεταβαίνει ο αργός χρήστης.
 - 1.2.2 Ομοίως όταν κάνει διαπομπή στο μακροκυψελικό επίπεδο, εξετάζεται πρώτα αν μπορεί να γυρίσει στο μικροκυψελικό επίπεδο.

• **Γρήγοροι χρήστες:**

2.1 Μακροκυψελικό επίπεδο:

- 2.1.1 Ελέγχεται αν ισχύει το κριτήριο των 6 συγκρίσεων για τη μακροκυψέλη στην οποία γεννιέται η κλήση του γρήγορου χρήστη.
- 2.1.2 Αν ικανοποιείται ο γρήγορος χρήστης παίρνει διάυλο και καταχωρείται στην κυψέλη που έχει γεννηθεί, αλλιώς απορρίπτεται.

3.2.2.4 Συμπεράσματα

Ο παραπάνω αλγόριθμος MPA για ιεραρχικά συστήματα, αν και δεν είναι πάντα τελείως εφικτός, αφού η ανακατανομή των διαύλων του συστήματος που μπορεί να χρειασθεί για την εξυπηρέτηση μιας νέας κλήσης είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία, είναι μια ενδιαφέρουσα λύση, γιατί είναι κατά μια έννοια βέλτιστος. Είναι βέλτιστος από την άποψη, ότι από τη στιγμή που θα δεχθεί μια νέα κλήση και υπάρχει έστω και ένας διαθέσιμος διάυλος στο σύστημα θα κάνει κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να την εξυπηρετήσει. Πράγματι, μια νέα κλήση απορρίπτεται μόνο όταν ο αριθμός των κατειλημμένων διαύλων για τις υπάρχουσες κλήσεις συν τον αριθμό των διαύλων που απαιτείται για την εξυπηρέτηση της καινούριας κλήσης υπερβαίνει τον αριθμό των διαθέσιμων διαύλων του αντίστοιχου επιπέδου που καλείται να εξυπηρετήσει την κλήση.

Στα αρνητικά σημεία της παραπάνω προτεινόμενης υλοποίησης έγκειται η εξυπηρέτηση των γρήγορων χρηστών μόνο από το μακροκυψελικό επίπεδο, το οποίο συνήθως διαθέτει περιορισμένους πόρους. Συνεπώς, ειδικά σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα γρήγορων χρηστών, αναμένεται το μακροκυψελικό επίπεδο να είναι κορεσμένο για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα την αύξηση των αριθμού των αποκλειόμενων από το σύστημα γρήγορων χρηστών. Αντίθετα το σύστημα φαίνεται να ευνοεί τους αργούς χρήστες, αφού τους παρέχει τη δυνατότητα υπερωϊκής κίνησης. Η δυνατότητα υπερωϊκής κίνησης αναμένεται να συμβάλει στην καταπολέμηση της εμφάνισης των λεγόμενων hot spots στο μακροκυψελικό επίπεδο. Ταυτόχρονα στους αργούς χρήστες παρέχεται και η δυνατότητα take back



ώστε να μπορούν να επιστρέψουν στο φυσικό τους επίπεδο, που είναι το μικροκυψελικό. Έτσι απελευθερώνονται πόροι στο μακροκυψελικό επίπεδο οι οποίοι στη συνέχεια μπορούν να εξυπηρετήσουν είτε νέους γρήγορους χρήστες είτε αργούς χρήστες προερχόμενους από υπερροϊκή κίνηση σε περιοχές όπου εμφανίζεται αυξημένο προσφερόμενο φορτίο.

3.2.3 Adaptive Channel Partitioning

3.2.3.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί ένας αλγόριθμος μεταβολής του ποσοστού των διαθέσιμων διαύλων σε κάθε ένα από τα επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος δύο επιπέδων, σε σχέση με το συνολικό αριθμό των διαύλων που είναι διαθέσιμοι στο ιεραρχικό σύστημα. Η μεταβολή αυτή στο διαθέσιμο αριθμό διαύλων σε κάθε επίπεδο γίνεται on-line ανάλογα με την εκτιμώμενη τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού (blocking probability) που αναμένεται να προκαλέσει μια μεταβολή του αριθμού των διαύλων σε κάθε επίπεδο. Ο αλγόριθμος αυτός λέγεται Adaptive Channel Partitioning ή ACP.

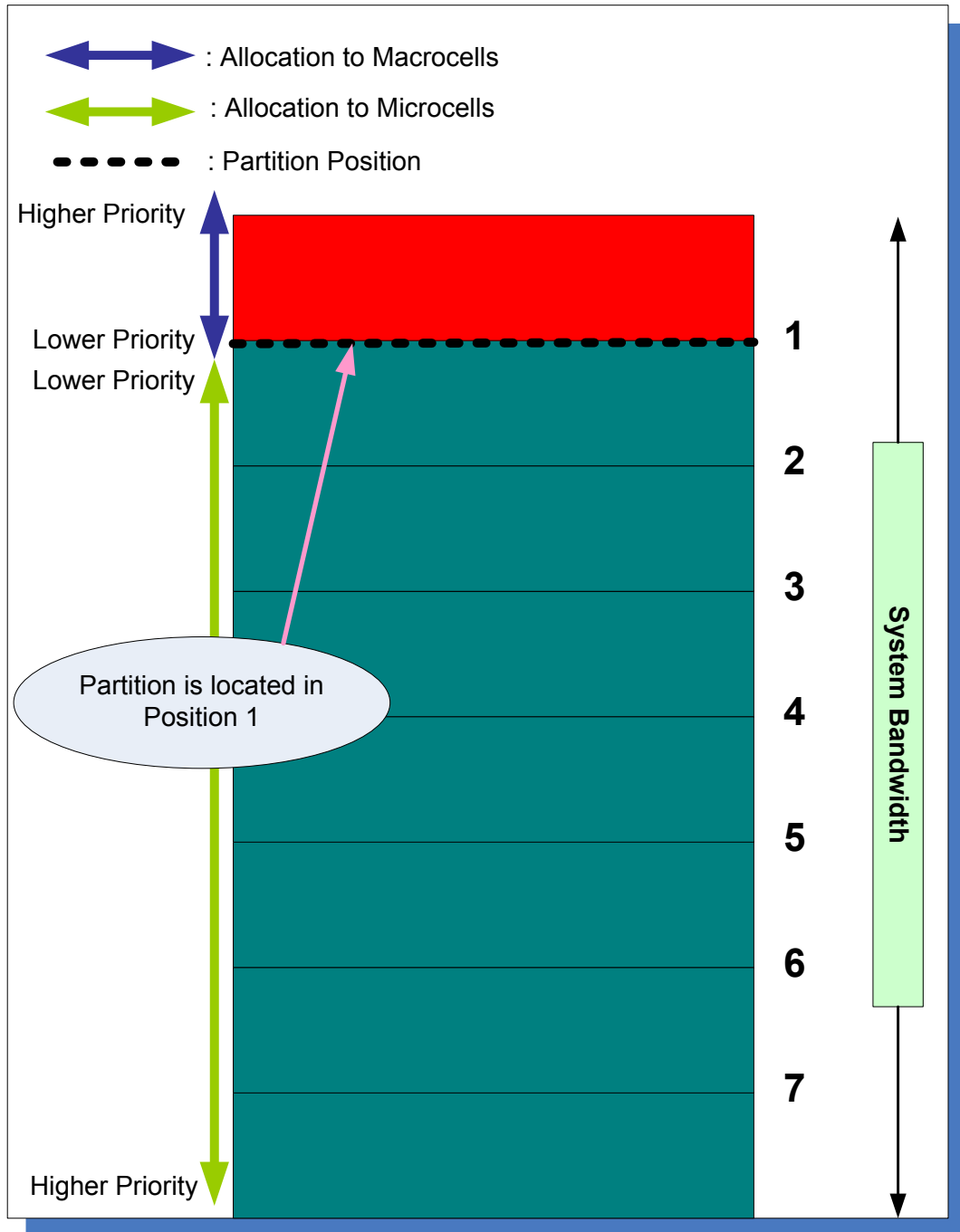
3.2.3.2 Αναλυτική Παρουσίαση

Το μοντέλο βασίζεται στις παραδοχές ότι τα κινητά τερματικά με χαμηλή κινητικότητα (αργά τερματικά) εξυπηρετούνται αποκλειστικά από τις μικροκυψέλες, ενώ τα τερματικά με υψηλότερη κινητικότητα (γρήγορα τερματικά) εξυπηρετούνται αποκλειστικά από τις μακροκυψέλες. Δηλαδή στο μοντέλο αυτό δεν υπάρχει η περίπτωση της εξυπηρέτησης υπερροϊκής κίνησης (overflow) μέσω του μακροκυψελικού επιπέδου. Ο διαχωρισμός των χρηστών σε αργούς και γρήγορους γίνεται με βάση ένα κατάλληλα προκαθορισμένο κατώφλι ταχύτητας.

Από εκεί και πέρα το μοντέλο ACP προτείνει μια μορφή δυναμικής ανταλλαγής συχνοτήτων – διαύλων από το ένα επίπεδο στο άλλο. Αρχικά θεωρείται ότι δίνεται στο μικροκυψελικό επίπεδο οκτώ φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ότι στο μακροκυψελικό. Αυτό γίνεται λαμβάνοντας υπόψη ότι η καθυστέρηση διάδοσης (delay spread) στις μακροκυψέλες είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μικροκυψελών, ενώ ταυτόχρονα θέλουμε το μικροκυψελικό επίπεδο να έχει αυξημένη χωρητικότητα ώστε να εξυπηρετεί μεγαλύτερο αριθμό χρηστών. Έτσι θεωρείται ότι οι μικροκυψέλες δύνανται να εξυπηρετήσουν υπηρεσίες υψηλού ρυθμού μετάδοσης (και συνεπώς απαιτούν μεγαλύτερο μέρος του φάσματος), ενώ οι μακροκυψέλες εξυπηρετούν αποκλειστικά υπηρεσίες στενής ζώνης. Η λογική που ακολουθείται για το διαμερισμό των διαύλων στα δύο επίπεδα απεικονίζεται στο Σχήμα 18. Όπως φαίνεται και στο σχήμα το διαθέσιμο φάσμα χωρίζεται από το διαμερισμό σε δύο μέρη. Από αυτά, το πάνω μέρος ανατίθεται στη μακροκυψέλη και το κάτω μέρος στις υποκείμενες μικροκυψέλες. Το μακροκυψελικό επίπεδο χρησιμοποιεί για το σύνολο των διαθέσιμων σε αυτό διαύλων σταθερή κατανομή διαύλων (FCA, Fixed Channel Allocation), ενώ το μικροκυψελικό επίπεδο χρησιμοποιεί αντίστοιχα δυναμική κατανομή διαύλων (DCA, Dynamic Channel



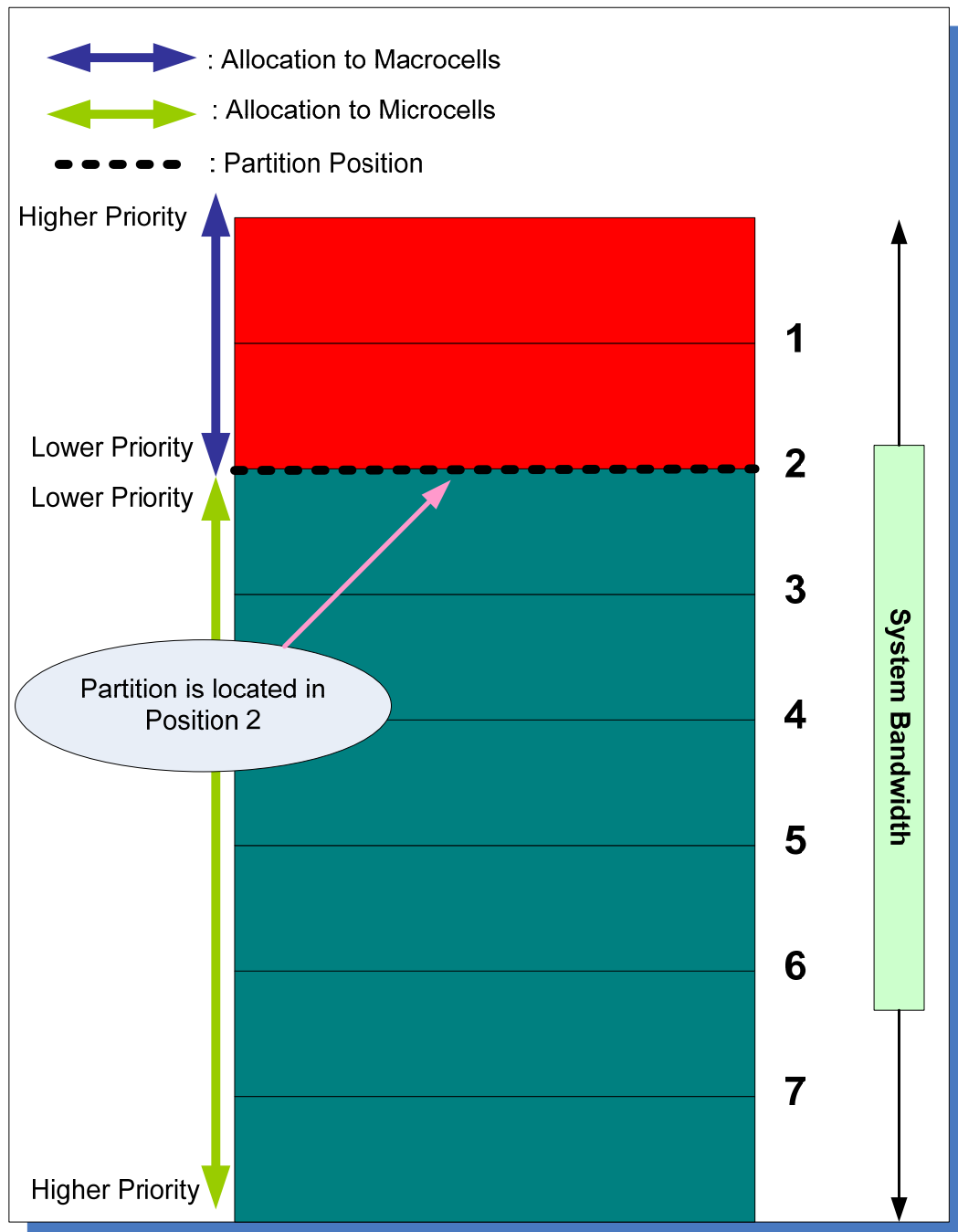
Allocation). Η DCA στο μικροκυψελικό επίπεδο υλοποιείται με τον αλγόριθμο ARP (Autonomous Reuse Partitioning).



Σχήμα 18: Χωρισμός του διαθέσιμου φάσματος του συστήματος σε ομάδες. Ανάλογα με τη θέση του διαμερισμού καθορίζεται και ο αριθμός των ομάδων διαύλων που ανήκουν σε κάθε επίπεδο του ιεραρχικού συστήματος. Εδώ ο διαμερισμός βρίσκεται στη θέση 1.

Το μοντέλο ACP εισάγει την έννοια της θέσης του διαμερισμού. Η θέση του διαμερισμού αρχικά είναι η 1, οπότε και με αναφορά στο Σχήμα 18, επτά ομάδες διαύλων ανατίθενται στο μικροκυψελικό επίπεδο και μία ομάδα στο μακροκυψελικό.

Η ελάχιστη θέση του διαμερισμού είναι η 1, ενώ η μέγιστη είναι η 7. Στη θέση 7, αντιστοιχούν επτά ομάδες διαύλων στο μακροκυψελικό επίπεδο και μόνο μια στο μικροκυψελικό. Η θέση του διαμερισμού μπορεί να μετακινηθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα, κατά μια θέση κάθε φορά, προς την κατεύθυνση που αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων του συστήματος. Αυτή η διαδικασία ανταλλαγής πόρων μεταξύ των δύο επιπέδων γίνεται κυρίως έτσι ώστε το μοντέλο να μπορεί να εξυπηρετεί αποτελεσματικά αυξημένα ποσοστά γρήγορων χρηστών μέσα στο σύστημα.



Σχήμα 19: Ο διαμερισμός βρίσκεται πλέον στη θέση 2.



Το πιο σημαντικό κομμάτι όμως αυτού του μοντέλου είναι ο τρόπος με τον οποίο αποφασίζεται προς τα ποια κατεύθυνση θα μετακινηθεί η θέση του διαμερισμού. Θεωρείται ότι η θέση του διαμερισμού μπορεί να λάβει μία από τις 7 πιθανές θέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 18. Στη συνέχεια εξηγείται πως μπορεί να μεταβληθεί η θέση του διαμερισμού ανάλογα με την αναμενόμενη πιθανότητα αποκλεισμού. Τρεις είναι οι επιτρεπτές ενέργειες σχετικά με τη θέση του διαμερισμού. Η πρώτη είναι να παραμείνουμε στην ίδια θέση διαμερισμού, η δεύτερη είναι ο διαμερισμός να κινηθεί προς μικρότερη θέση και η τρίτη να κινηθεί προς μεγαλύτερη θέση (βλέπε Σχήμα 20). Για να αποφασιστεί ποια ενέργεια θα πραγματοποιηθεί τελικά, πρέπει το σύστημα να υπολογίσει την αναμενόμενη τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων για την κάθε ενέργεια. Έτσι λοιπόν, ανά τακτά χρονικά διαστήματα στα οποία εξετάζεται αν πρέπει να αλλάξει η θέση του διαμερισμού (προτείνεται η επανεξέταση της θέσης του διαμερισμού κάθε 600 sec), οι σταθμοί βάσης των μακροκυψελών εκπέμπουν τον αριθμό των αποκλεισμένων και μη αποκλεισμένων κλήσεων (blocked and non-blocked calls) στις υποκείμενες μικροκυψέλες. Στη συνέχεια το μικροκυψελικό επίπεδο προσαρμόζει ανάλογα τη θέση του διαμερισμού ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων του συστήματος. Η πιθανότητα αποκλεισμού για όλο το σύστημα δίνεται από τη σχέση (3.5) και είναι:

$$P_{bl} = P_{bl\mu} \cdot (1 - p) + P_{blm} \cdot p \quad (3.5)$$

όπου $P_{bl\mu}$ και P_{blm} οι πιθανότητες αποκλεισμού στο μικροκυψελικό και μακροκυψελικό επίπεδο. Επίσης p είναι ο λόγος των κλήσεων του μακροκυψελικού επιπέδου προς τις συνολικές κλήσεις. Στη συνέχεια μπορούμε να ορίσουμε τις παραπάνω πιθανότητες ως εξής:

$$P_{bl\mu} = \frac{N_{bl\mu}}{N_{call\mu}} \quad (3.6)$$

$$P_{blm} = \frac{N_{blm}}{N_{callm}} \quad (3.7)$$

$$p = \frac{N_{callm}}{N_{call\mu} + N_{callm}} \quad (3.8)$$

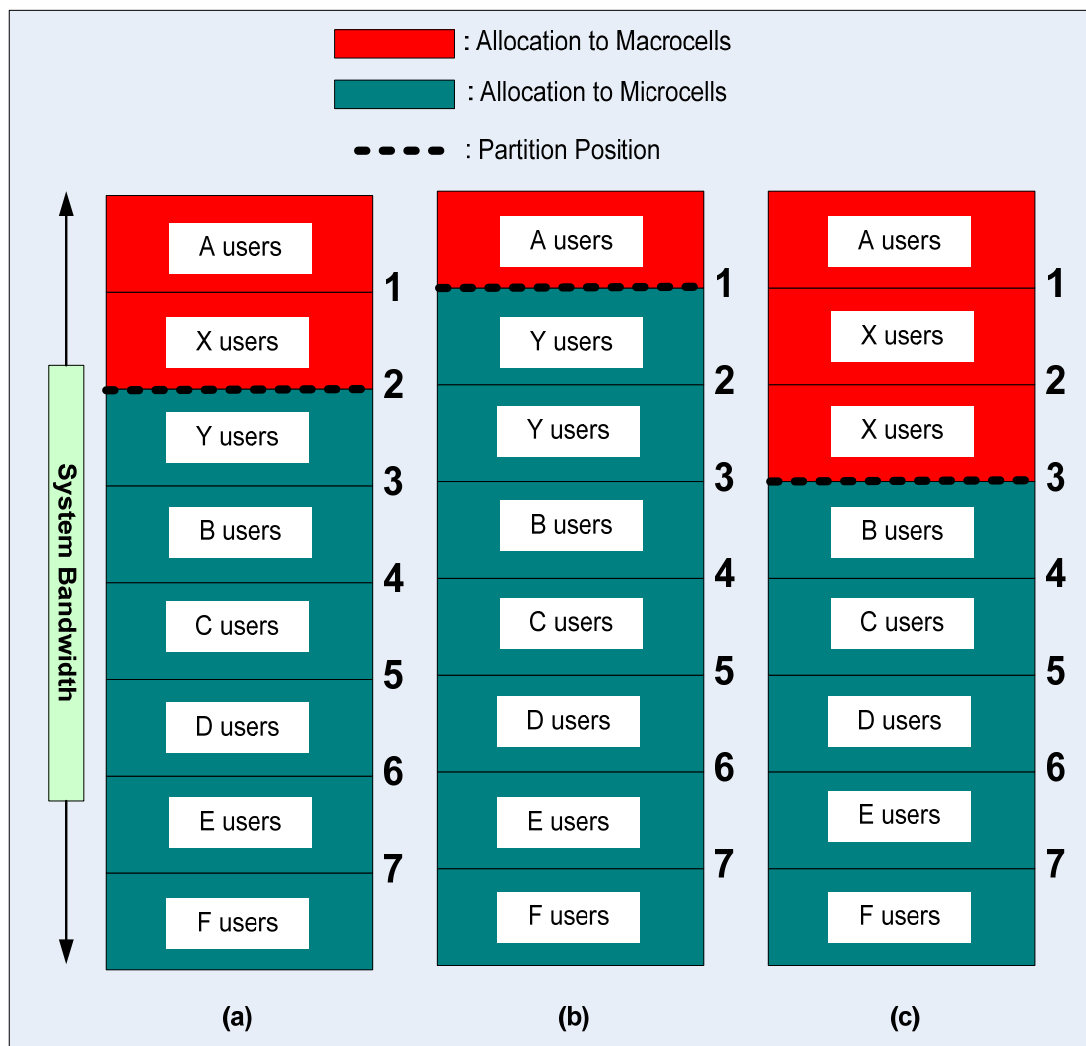
όπου $N_{bl\mu}$ και N_{blm} ο αριθμός των αποκλεισμένων κλήσεων σε κάθε επίπεδο και $N_{call\mu}$ και N_{callm} ο συνολικός αριθμός των κλήσεων σε κάθε επίπεδο. Με χρήση των σχέσεων (3.6), (3.7), (3.8), η συνολική πιθανότητα αποκλεισμού (3.5) γράφεται τελικά ως εξής:

$$P_{bl} = \frac{N_{bl\mu} + N_{blm}}{N_{call\mu} + N_{callm}} \quad (3.9)$$



Με βάση την προηγούμενη σχέση είναι προφανές ότι η πιθανότητα αποκλεισμού του συστήματος εξαρτάται τόσο από τις αποκλειόμενες κλήσεις στο μικροκυψελικό επίπεδο όσο και από αυτές στο μακροκυψελικό επίπεδο. Συνεπώς, για να ελαχιστοποιηθεί η συνολική πιθανότητα αποκλεισμού στο υπό εξέταση σύστημα, το μικροκυψελικό επίπεδο προβλέπει το συνολικό αριθμό των αποκλειόμενων κλήσεων που συνεπάγεται κάθε μία δυνατή μετακίνηση του διαμερισμού (κατά ένα βήμα πάντα), και επιλέγει εκείνη τη μετακίνηση που ελαχιστοποιεί τον αριθμό των αποκλειόμενων κλήσεων.

Στον Πίνακα I φαίνονται οι αναμενόμενες αποκλειόμενες κλήσεις σε κάθε επίπεδο καθώς και στο σύστημα συνολικά. Με αναφορά στο Σχήμα 20, P και Q είναι οι αποκλειόμενες κλήσεις σε κάθε επίπεδο, ενώ A, B, C, D, E, F, X, Y είναι ο αριθμός των χρηστών σε κάθε διάστημα συχνοτήτων. Ο αναμενόμενος αριθμός αποκλειόμενων κλήσεων για κάθε επιτρεπτή ενέργεια προκύπτει ως εξής:



Σχήμα 20: Πιθανές αλλαγές της θέσης του διαμερισμού (a) Hold, (b) Shifting toward smaller number, (c) Shifting toward larger number.

(i) *Hold*: Ο συνολικός αριθμός των αποκλειόμενων κλήσεων παραμένει σταθερός.



(ii) *Shifting toward smaller number*: Στο μακροκυψελικό επίπεδο τα κανάλια που εξυπηρετούσαν X χρήστες αποδίδονται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Συνεπώς στο μακροκυψελικό επίπεδο ο αριθμός των αποκλειόμενων κλήσεων γίνεται $P+X$. Από την άλλη μεριά, στο μικροκυψελικό επίπεδο ο αριθμός των αποκλειόμενων κλήσεων μειώνεται χάρη στα προστιθέμενα κανάλια. Στην περίπτωση του ARP που χρησιμοποιείται στο υπό μελέτη σύστημα, το κανάλι με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα εξυπηρετεί τους περισσότερους χρήστες. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το γεγονός, ο αριθμός των χρηστών που θα εξυπηρετηθούν από τα καινούρια κανάλια αναμένεται να είναι πολύ κοντά σε αυτόν των γειτονικών καναλιών τους στο μικροκυψελικό επίπεδο, δηλαδή Y χρήστες με αναφορά στο Σχήμα 20. Κατά συνέπεια, ο αριθμός των αποκλειόμενων χρηστών αναμένεται να μειωθεί σε $NN[Q-Y]$, όπου

$$NN[x] = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.10)$$

Η παραπάνω συνάρτηση εισάγεται έτσι ώστε να διατηρείται θετικός ο αριθμός των αποκλειόμενων κλήσεων.

(iii) *Shifting toward larger number*: Είναι η αντίθετη της προηγούμενης περίπτωσης. Για αυτό το λόγο ο αριθμός των αποκλειόμενων κλήσεων γίνεται $NN[P-X]$ και $Q+Y$ στο μακροκυψελικό και μικροκυψελικό επίπεδο αντίστοιχα.

	Expected Number of Blocked Calls (After moving the partition)		
	Macrocell	Microcell	Total
(i) (a) → (a) (hold partition position)	P	Q	$P+Q$
(ii) (a) → (b) (smaller partition position)	$P+X$	$NN[Q-Y]$	$(P+X)+NN[Q-Y]$
(iii) (a) → (c) (larger partition position)	$NN[P-X]$	$Q+Y$	$NN[P-X]+(Q+Y)$

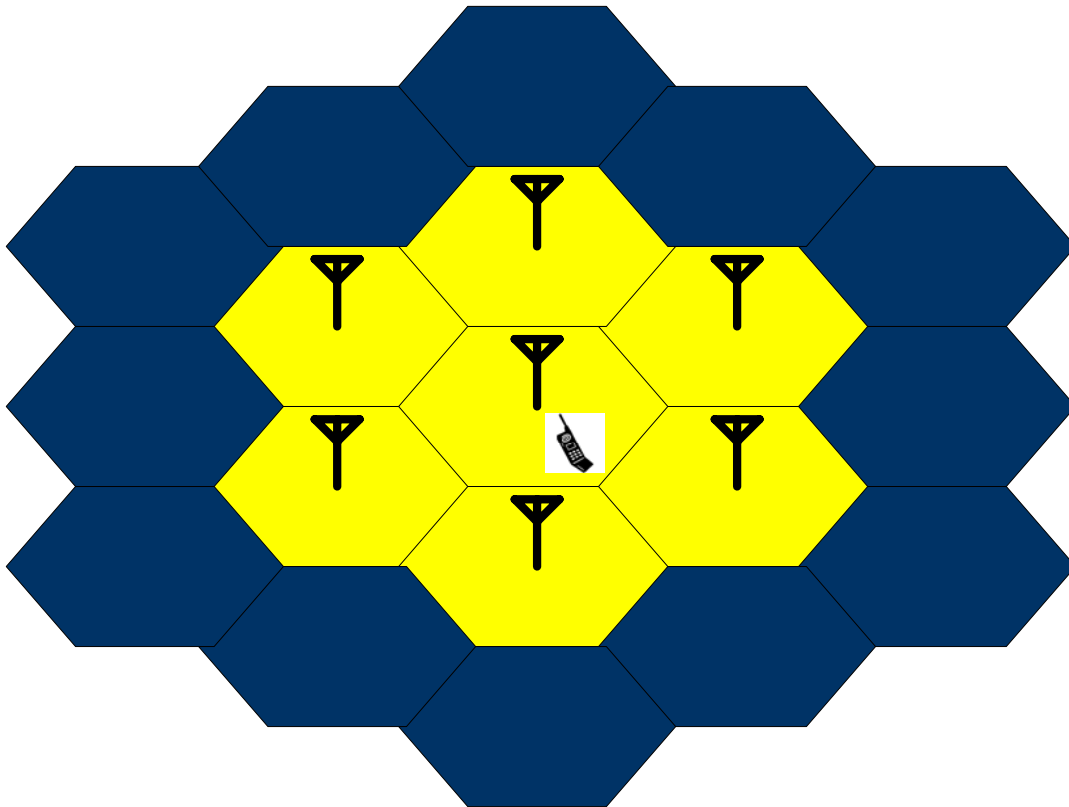
Πίνακας I

Σε κάθε επίπεδο τα κανάλια που βρίσκονται πιο κοντά στο διαμερισμό έχουν μικρότερη προτεραιότητα από τα υπόλοιπα, δηλαδή το σύστημα προτιμάει να γεμίζει πρώτα τα κανάλια που βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο μακριά από τη θέση του διαμερισμού.

Η διαδικασία με την οποία ένας συγκεκριμένος διάυλος ανατίθεται σε μια κλήση φαίνεται στα Σχήματα 21 και 22. Αρχικά, κάθε κινητό τερματικό μετράει το λαμβανόμενο σήμα από τους επτά (7) πιο ισχυρούς σταθμούς βάσης της περιοχής του. Στη συνέχεια φτιάχνει έναν πίνακα αυτών των μετρήσεων σε φθίνουσα σειρά. Το επόμενο βήμα είναι να πάρει κάθε κινητό τερματικό πληροφορία σχετικά με τη θέση του διαμερισμού από εκείνο το μικροκυψελικό σταθμό βάσης που εκπέμπει με τη μεγαλύτερη ισχύ. Στο σημείο αυτό, η επιλογή του μακροκυψελικού ή του



μικροκυψελικού επιπέδου καθορίζεται από την κινητικότητα των χρηστών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στη συνέχεια και με βάση τη θέση του διαμερισμού το κινητό τερματικό αρχίζει να ψάχνει για ελεύθερους διαύλους. Αν ανήκει στο μακροκυψελικό επίπεδο, εφόσον υπάρχουν ελεύθεροι διαύλοι σε αυτό εξυπηρετείται, αλλιώς απορρίπτεται. Στο μικροκυψελικό επίπεδο τώρα, ξεκινώντας από το σταθμό βάσης που βρίσκεται στην κορυφή του πίνακα που κατασκεύασε το κινητό τερματικό στην αρχή της διαδικασίας, αναζητείται σε αυτόν ελεύθερος δίαυλος σύμφωνα με τη σειρά προτεραιότητας που προκύπτει από το Σχήμα 19, τέτοιος ώστε να ικανοποιεί τις συνθήκες παρεμβολής του συστήματος τόσο στην άνω ζεύξη (uplink ή UL), όσο και στην κάτω ζεύξη (downlink ή DL). Εφόσον δεν βρεθούν ελεύθεροι δίαυλοι στον πρώτο σταθμό βάσης, η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται με τον επόμενο σταθμό βάσης του πίνακα. Όταν δε βρεθούν ελεύθεροι δίαυλοι σε κανένα από τους επτά σταθμούς βάσης του πίνακα η κλήση του κινητού τερματικού απορρίπτεται.

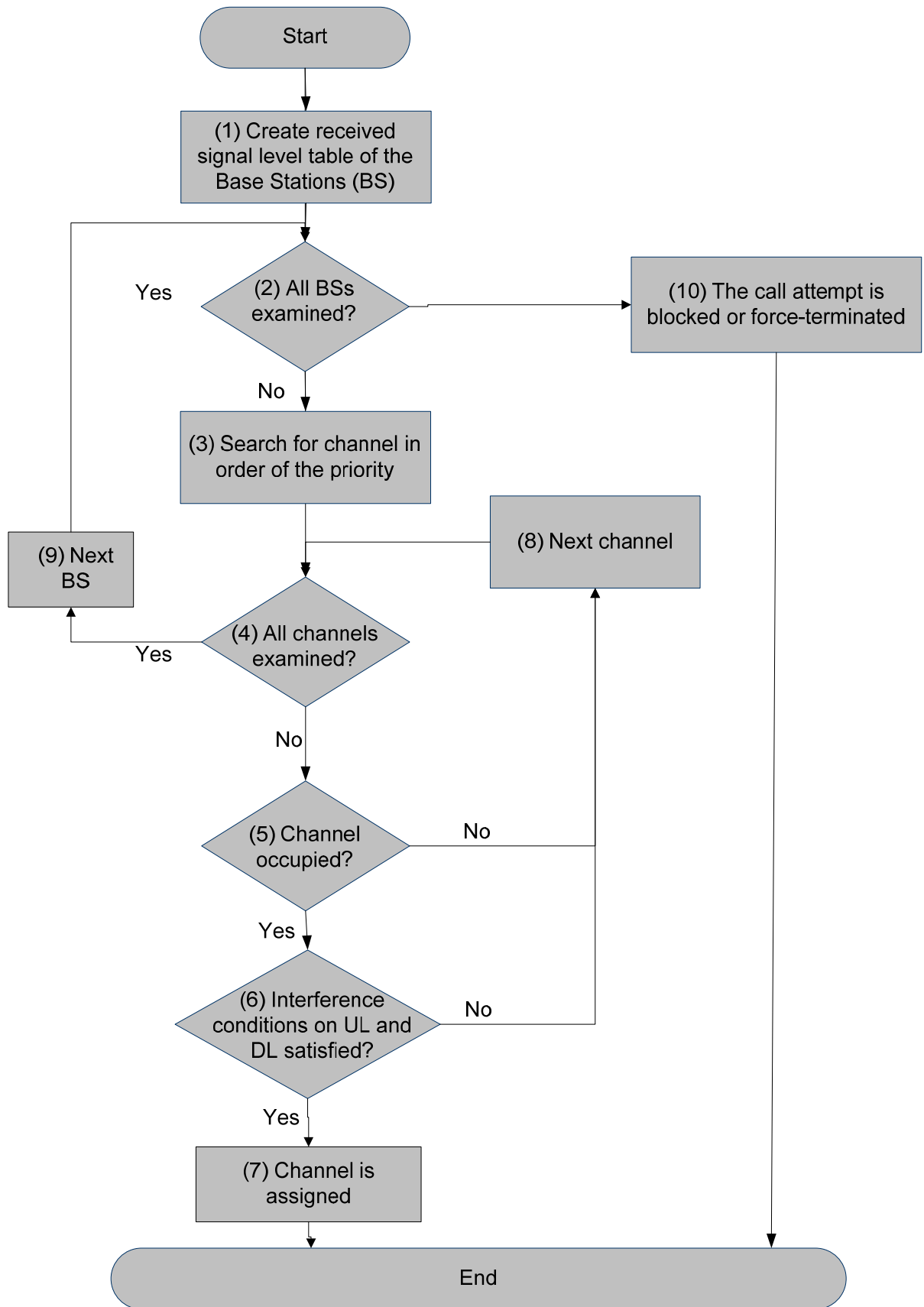


: Mobile Terminal



: Base Station

Σχήμα 21: Αρχικά το MT μετράει το λαμβανόμενο σήμα από τους επτά πιο ισχυρούς σταθμούς βάσης της περιοχής. Στη συνέχεια ακολουθείται η διαδικασία του σχήματος 22.



Σχήμα 22: Διαδικασία εύρεσης πόρων στο μικροκυψελικό επίπεδο.



Η παραπάνω διαδικασία ανάθεσης κλήσεων επεκτείνεται και στο φυσικό επίπεδο του συστήματος, ελέγχοντας την ισχύ του σήματος από διάφορες μικροκυψέλες καθώς και τους αντίστοιχους σηματοθορυβικούς λόγους ώστε να καταλήξει τελικά στο αν και από ποιο κανάλι μπορεί να εξυπηρετηθεί μια νέα κλήση.

3.2.3.3 Συμπεράσματα

Το μοντέλο που παρουσιάστηκε προηγουμένως αποτελεί ένα on-line μοντέλο διαχείρισης ραδιοδιαύλων για ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, το διαθέσιμο ραδιοφάσμα μοιράζεται αυτόνομα και με προσαρμόζόμενο τρόπο στα διάφορα επίπεδα ανάλογα με τις συνθήκες της προσφερόμενης κίνησης. Σε αυτό το μοντέλο παρατηρείται η έλλειψη της δυνατότητας υπερροϊκής κίνησης, σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα, αφού οι αργοί χρήστες εξυπηρετούνται αποκλειστικά από το μικροκυψελικό επίπεδο. Ένα επιπλέον σημείο που θα πρέπει να αναφερθεί είναι ότι το μοντέλο αυτό αναμένεται να επιβαρύνει με πρόσθετη σηματοδοσία το σύστημα, αφού οι μακροκυψέλες πρέπει να εκπέμπουν στις μικροκυψέλες των αριθμό των αποκλεισμένων και μη αποκλεισμένων κλήσεων, ώστε να προσαρμόζεται κατάλληλα η θέση του διαμερισμού. Επιπλέον στη συνέχεια οι μικροκυψέλες πρέπει να εκπέμπουν, μέσω των καναλιών σηματοδοσίας, σε κάθε κινητό τερματικό που προσπαθούν να εξυπηρετήσουν τη θέση του διαμερισμού. Τέλος η διαδικασία υπολογισμού του διαμερισμού απαιτεί οπωσδήποτε κάποια επιπλέον πολυπλοκότητα, τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό από τη μεριά των σταθμών βάσης.

3.3 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Δεδομένων

3.3.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε δύο στρατηγικές εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων που βασίζονται στην χρήση κατώφλιών για το διαχωρισμό των χρηστών σε κατηγορίες εξυπηρέτησης. Αυτές είναι οι στρατηγικές VAS (Velocity-based Assignment Strategy) και DAS (Data-based Assignment Strategy), οι οποίες προτείνονται στο [1]. Το μοντέλο VAS λειτουργεί με βάση ένα κατώφλι ταχύτητας και χωρίζει τους χρήστες σε γρήγορους και αργούς εξυπηρετώντας τους ανάλογα. Το μοντέλο DAS χωρίζει τους χρήστες σε δύο ομάδες ανάλογα με τη μεταφερόμενη ποσότητα δεδομένων τους, και στη συνέχεια τους εξυπηρετεί με βάση αυτό το διαχωρισμό. Η ευφυΐα των δύο παραπάνω μοντέλων έγκειται στο γεγονός ότι τα κατώφλια ταχύτητας και δεδομένων με τα οποία διαχωρίζονται οι χρήστες σε ομάδες δεν είναι σταθερά, αλλά προσαρμόζονται δυναμικά στις απαιτήσεις του συστήματος. Όπως έχει αναφερθεί πρόκειται για δύο μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων. Αυτά στηρίζονται σε μεταγωγή πακέτου και εκχωρούν σε έναν χρήστη έναν ρυθμό μετάδοσης, ο οποίος εξαρτάται από την ποιότητα του καναλιού, και όχι έναν διάυλο επικοινωνίας. Για να επιτευχθεί αυτό, σε κάθε διάυλο χρησιμοποιείται TDMA και σε κάθε slot ανατίθεται ένας ρυθμός μετάδοσης σε έναν ή περισσότερους χρήστες μέσω της τεχνικής CDMA. Τα δεδομένα που αποστέλλει ή λαμβάνει κάποιος



χρήστης τοποθετούνται σε μια ουρά δεδομένων, περιμένοντας να φτάσει η σειρά τους για μετάδοση. Λόγω της αυξημένης χωρητικότητας των σημερινών συστημάτων και των νέων αλγορίθμων ανάθεσης πόρων δίνεται η δυνατότητα στα μοντέλα αυτά να εξυπηρετήσουν και real time υπηρεσίες, όπως η μετάδοση φωνής.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι αν και οι δύο τεχνικές παρουσιάζονται μαζί, κάθε μια από αυτές βασίζεται μόνο σε μια παράμετρο του προφίλ των χρηστών, είτε στην ταχύτητα είτε στην ποσότητα δεδομένων που έχει ο χρήστης προς λήψη ή αποστολή, αλλά όχι και στα δύο. Είναι δηλαδή δύο ανεξάρτητες τεχνικές, οι οποίες όμως μοιράζονται τις ίδιες βασικές αρχές.

3.3.2 Θεωρητική Ανάλυση

Το μοντέλο VAS αναθέτει τις κλήσεις στα δύο επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος βασιζόμενο σε ένα κατώφλι ταχύτητας V_0 . Οι χρήστες με μέση ταχύτητα $V > V_0$ τοποθετούνται στο μακροκυψελικό επίπεδο. Αντίστοιχα οι χρήστες με μέση ταχύτητα $V < V_0$ τοποθετούνται στο μικροκυψελικό επίπεδο. Η ιδέα πίσω από το διαχωρισμό των χρηστών και την κατανομή τους στα δύο επίπεδα, είναι ότι η τοποθέτηση των γρήγορων χρηστών σε μακροκυψέλες και των αργών σε μικροκυψέλες μειώνει τον αριθμό των διαπομπών στο σύστημα.

Η δεύτερη στρατηγική DAS, δεν βασίζεται στην ταχύτητα των χρηστών αλλά στη μέση ποσότητα των δεδομένων που θα μεταφέρουν. Θεωρώντας λοιπόν ένα κατώφλι δεδομένων D_0 , μπορούμε να φανταστούμε μια στρατηγική που τοποθετεί χρήστες με μικρές ποσότητες δεδομένων προς μεταφορά στο μακροκυψελικό επίπεδο ($D < D_0$), ενώ αντίστοιχα, χρήστες με μεγάλες ποσότητες δεδομένων προς μεταφορά τοποθετούνται στο μικροκυψελικό επίπεδο ($D > D_0$). Τα παραπάνω στηρίζονται στο γεγονός ότι εκ των πραγμάτων η χωρητικότητα των μικροκυψελών είναι μεγαλύτερη από αυτή των μακροκυψελών, ενώ ταυτόχρονα στις μικροκυψέλες παρουσιάζεται μικρότερη διασπορά καθυστέρησης και μικρότερες απώλειες μετάδοσης. Όλα τα παραπάνω τελικά επιτρέπουν στις μικροκυψέλες να αποδίδουν στους χρήστες μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης. Έτσι χρήστες με ποσότητα δεδομένων μεγαλύτερη από το κατώφλι D_0 τοποθετούνται στο μικροκυψελικό επίπεδο με στόχο να εξυπηρετηθούν όσο πιο γρήγορα γίνεται από το σύστημα, ενώ χρήστες με ποσότητα δεδομένων μικρότερη από το κατώφλι D_0 τοποθετούνται στο μακροκυψελικό επίπεδο, το οποίο καλείται να λειτουργήσει περισσότερο σαν εξυπηρετητής υπερροϊκής κίνησης.

Θα παρουσιαστούν στη συνέχεια οι θεωρητικά υπολογιζόμενες τιμές των βέλτιστων κατωφλιών ταχύτητας και δεδομένων για τις δύο στρατηγικές. Με βάση την ανάλυση που ακολουθεί μπορούν στη συνέχεια να παραχθούν προσαρμοστικοί και on-line αλγόριθμοι για τον προσδιορισμό των βέλτιστων κατωφλιών σε ένα συγκεκριμένο ιεραρχικό σύστημα μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Όπως θα δούμε παρακάτω, οι θεωρητικά υπολογιζόμενες βέλτιστες τιμές των κατωφλιών ταχύτητας και δεδομένων απαιτούν την a priori γνώση των χωρητικοτήτων των μικροκυψελών και των μακροκυψελών, της κατανομής της ταχύτητας και της μεταφερόμενης ποσότητας δεδομένων στον πληθυσμό των χρηστών, καθώς και τους ρυθμούς άφιξης κλήσεων στις κυψέλες. Σε πραγματικά συστήματα όμως αυτές οι πληροφορίες δεν είναι πάντα γνωστές. Έτσι λοιπόν το πλεονέκτημα των προσαρμοστικών τεχνικών, σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές των κατωφλιών, είναι ότι δεν χρειάζεται να είναι εκ των



προτέρων γνωστά τα προφίλ των χρηστών, οι χωρητικότητες των κυψελών και ο ρυθμός άφιξης κλήσεων στο σύστημα.

Στηριζόμενοι στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των χρηστών στο σύστημα αποδεικνύεται ότι τα βέλτιστα κατώφλια ταχύτητας και δεδομένων, οδηγούν σε εξισορρόπηση του φορτίου μεταξύ του μικροκυψελικού και μακροκυψελικού επιπέδου. Οι βέλτιστες τιμές των κατωφλίων ταχύτητας και δεδομένων υπολογίζονται τελικά από τις επόμενες σχέσεις:

$$VAS: \frac{C_m - g_m(V_0^*)}{\sqrt{C_m}} = \frac{C_\mu - g_\mu(V_0^*)}{\sqrt{C_\mu}} \quad (3.11)$$

$$DAS: \frac{C_m - g_m(D_0^*)}{\sqrt{C_m}} = \frac{C_\mu - g_\mu(D_0^*)}{\sqrt{C_\mu}} \quad (3.12)$$

Στις προηγούμενες σχέσεις C_m και C_μ είναι οι χωρητικότητες των μακροκυψελών και μικροκυψελών, V_0^* , D_0^* είναι τα βέλτιστα κατώφλια ταχύτητας και δεδομένων και $g_m = \lambda_m \bar{D}_m$, $g_\mu = \lambda_\mu \bar{D}_\mu$, όπου \bar{D}_m και \bar{D}_μ είναι η μέση μεταφερόμενη ποσότητα δεδομένων σε κάθε επίπεδο.

Από τις σχέσεις (3.11) και (3.12) προκύπτει η έννοια των balancing metrics X_m και X_μ . Αυτά τα balancing metric δίνονται από τις σχέσεις $X_m = \frac{C_m - g_m}{\sqrt{C_m}}$ και

$X_\mu = \frac{C_\mu - g_\mu}{\sqrt{C_\mu}}$. Τα balancing metric χαρακτηρίζουν κατά μοναδικό τρόπο τα βέλτιστα

κατώφλια ταχύτητας και δεδομένων. Αυτό γίνεται όταν ισχύουν οι ισότητες (3.11) για το μοντέλο VAS και (3.12) για το μοντέλο DAS. Τα παραπάνω balancing metric παρουσιάζουν ένα σοβαρό μειονέκτημα εφόσον χρησιμοποιηθούν από ένα πραγματικό σύστημα κινητών επικοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση των παραπάνω balancing metric απαιτεί την α priori γνώση των χωρητικοτήτων των μικροκυψελών και των μακροκυψελών, της κατανομής της ταχύτητας και της μεταφερόμενης ποσότητας δεδομένων στον πληθυσμό των χρηστών, καθώς και τους ρυθμούς άφιξης κλήσεων στις κυψέλες. Σε πραγματικά συστήματα όμως αυτές οι πληροφορίες δεν είναι πάντα γνωστές.

Τα βέλτιστα κατώφλια, ουσιαστικά στοχεύουν στην ισοστάθμιση του αριθμού των χρηστών μεταξύ των δύο επιπέδων του συστήματος. Επειδή λοιπόν οι προηγούμενοι balancing metrics δεν είναι τόσο απλοί στη χρήση, εναλλακτικά χρησιμοποιείται ο μέσος αριθμός χρηστών ανά επίπεδο ως balancing metric. Πιο συγκεκριμένα θεωρούμε ότι $X_m = N_m$ και $X_\mu = N_\mu$, όπου N_m και N_μ είναι ο μέσος αριθμός των χρηστών στο μακροκυψελικό και μικροκυψελικό, αντίστοιχα, επίπεδο μέσα σε ένα κατάλληλο χρονικό ορίζοντα.

Οι εναλλακτικοί αυτοί balancing metrics δεν είναι βέλτιστοι στη γενική περίπτωση. Όμως στην περίπτωση που οι χωρητικότητες μακροκυψελών και μικροκυψελών είναι



ίσες¹³, τότε πράγματι εμφανίζουν την ίδια απόδοση με τους αρχικούς balancing metrics.

3.3.2.1 Αλγόριθμοι VAS και DAS

Από τη προηγούμενη ενότητα συμπεραίνουμε ότι ο θεωρητικός υπολογισμός των βέλτιστων κατωφλιών απαιτεί τη γνώση της χωρητικότητας των μακροκυβελών και μικροκυβελών, την κατανομή του προφίλ ταχύτητας και ποσότητας μεταφερόμενων δεδομένων των χρηστών και τέλος το ρυθμό άφιξης των κλήσεων. Τα δεδομένα αυτά, σπάνια, είναι διαθέσιμα σε πραγματικά συστήματα κινητών επικοινωνιών και έτσι προκύπτει η ανάγκη για προσαρμοστικές τεχνικές που μεταβάλλουν τα κατώφλια ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και τη συμπεριφορά των χρηστών. Με βάση την προηγούμενη θεωρητική ανάλυση παρουσιάζεται η στοχαστική διαδικασία σύγκλισης που ακολουθείται για τον υπολογισμό της τιμής των κατωφλιών ταχύτητας ή δεδομένων του συστήματος, ανάλογα με το αν αυτό χρησιμοποιεί VAS ή DAS. Αξίζει να αναφερθεί εδώ, ότι εφόσον αναφερόμαστε σε στοχαστική διαδικασία σύγκλισης, μεγάλη σημασία έχει ο αριθμός των βημάτων που απαιτούνται ώστε η διαδικασία να πετύχει τη σύγκλιση στο βέλτιστο κατώφλι.

Ο προσαρμοστικός αλγόριθμος για το μοντέλο VAS εξηγείται αμέσως παρακάτω.

- Θεωρούμε ένα διάστημα αναθεώρησης T_{update} . Στη διάρκεια του διαστήματος αυτού τα κατώφλια διατηρούνται σταθερά και αναθεωρούνται μόνο στην αρχή κάθε τέτοιου διαστήματος.
- Επίσης, $X_m[k]$ και $X_\mu[k]$ είναι οι μετρούμενες ή εκτιμούμενες τιμές των balancing metrics στις μακροκυβέλες και μικροκυβέλες στην αρχή του k -οστού διαστήματος αναθεώρησης. Οι τιμές αυτές των balancing metric χρησιμοποιούνται κάθε φορά για τον υπολογισμό του κατωφλίου.
- Το κατώφλι απόφασης ταχύτητας μεταβάλλεται ανάλογα με τη διαφορά ανάμεσα στα $X_m[k]$ και $X_\mu[k]$, και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$V_0[k+1] = \min \left\{ \max \left\{ 0, V_0[k] + \frac{\beta_u}{k^{\gamma_u}} (X_m[k] - X_\mu[k]) \right\}, V_{\max} \right\} \quad (3.13)$$

Στην παραπάνω εξίσωση β_u είναι η παράμετρος μεγέθους αναθεώρησης (update magnitude parameter), η οποία επιλέγεται έτσι ώστε να ρυθμίζει την ταχύτητα σύγκλισης του αλγορίθμου, δηλαδή τον αριθμό των βημάτων k που αυτός απαιτεί για να συγκλίνει στο βέλτιστο κατώφλι. γ_u είναι ο παράγοντας ρύθμισης κλίμακας χρόνου (time discounting factor) ο οποίος χρησιμοποιείται έτσι ώστε ο αλγόριθμος να κάνει μικρότερες ρυθμίσεις του κατωφλίου όσο ο αριθμός k των αναθεωρήσεων του κατωφλίου αυξάνει (και συνεπώς φτάνουμε πιο κοντά στην επιθυμητή τιμή του κατωφλίου ταχύτητας). Κάθε φορά που

¹³ Στις προσομοιώσεις μας έχουμε θεωρήσει ότι η χωρητικότητα μικροκυβελών και μακροκυβελών είναι ίδια.



αναθεωρείται η τιμή του κατωφλιού περιορίζεται, όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, μέσα στο διάστημα $[0, V_{\max}]$.

- Εναλλακτικά, επειδή η παραπάνω σχέση αντιδρά έντονα στις μετρήσεις του τελευταίου διαστήματος αναθεώρησης, κάτι ανεπιθύμητο όταν υπάρχουν έντονες στιγμιαίες μεταβολές στο υπό εξέταση σύστημά, ο υπολογισμός του κατωφλιού μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο πιο ομαλό τύπο αναθεώρησης, όσον αφορά τη διαφορά των balancing metrics:

$$\Delta[k+1] = (1 - a_u) [X_m[k] - X_\mu[k]] + a_u \Delta[k] \quad (3.14)$$

όπου $\Delta[0] = 0$ και $a_u \in [0, 1)$ ένας παράγοντας εξομάλυνσης (smoothing factor), ο οποίος μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να δίνει περισσότερο ή λιγότερο βάρος στις προηγούμενες μετρήσεις. Τελικά η αναθεώρηση της τιμής του κατωφλιού γίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$V_0[k+1] = \min \left\{ \max \left\{ 0, V_0[k] + \frac{\beta_u}{k^{\gamma_u}} \Delta[k+1] \right\}, V_{\max} \right\} \quad (3.15)$$

Οι σχέσεις (3.13) και (3.15) προφανώς ταυτίζονται για $a_u = 0$.

- Προφανώς ο αλγόριθμος έχει συγκλίνει στο επιθυμητό αποτέλεσμα όταν $\Delta[k] = 0$ ή $X_m[k] = X_\mu[k]$, οπότε και έχει καταλήξει στο βέλτιστο κατώφλι ταχύτητας για τις συγκεκριμένες παραμέτρους του συστήματος.
- Πρέπει να παρατηρηθεί ότι για να μπορεί ο αλγόριθμος να αντιδρά σχετικά γρήγορα στις αλλαγές του ρυθμού άφιξης κλήσεων ή του προφίλ των χρηστών, πρέπει να αποφεύγονται οι μικρές αυξητικές αναθεωρήσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με την περιοδική επανεκκίνηση του μετρητή k σε I . Στο $[1]$ το k τίθεται σε 1 όταν η διαφορά μεταξύ $X_m[k]$ και $X_\mu[k]$ γίνεται πολύ μικρή. Οπότε πριν από κάθε επανάληψη πρέπει να ελέγχεται η διαφορά $X_m[k] - X_\mu[k]$, για να δούμε αν χρειάζεται επαναρχικοποίηση του μετρητή k σε I . Μια πιο ιδανική λύση για ένα πραγματικό σύστημα είναι πάντως η περιοδική επανεκκίνηση του μετρητή k .

Στη συνέχεια παρατίθεται ο προσαρμοστικός αλγόριθμος DAS, ο οποίος ακολουθεί ακριβώς τα ίδια βήματα, με μόνη αλλαγή στο συμβολισμό που ακολουθείται για τον υπολογισμό του κατωφλιού δεδομένων.

- Ακολουθούνται τα ίδια βήματα με τον αλγόριθμο VAS. Το μόνο που αλλάζει είναι οι σχέσεις υπολογισμού οι οποίες δίνονται αμέσως παρακάτω.

$$D_0[k+1] = \min \left\{ \max \left\{ 0, D_0[k] - \frac{\beta_d}{k^{\gamma_d}} \Delta[k+1] \right\}, D_{\max} \right\} \quad (3.16)$$

$$\Delta[k+1] = (1 - a_d) [X_m[k] - X_\mu[k]] + a_d \Delta[k] \quad (3.17)$$

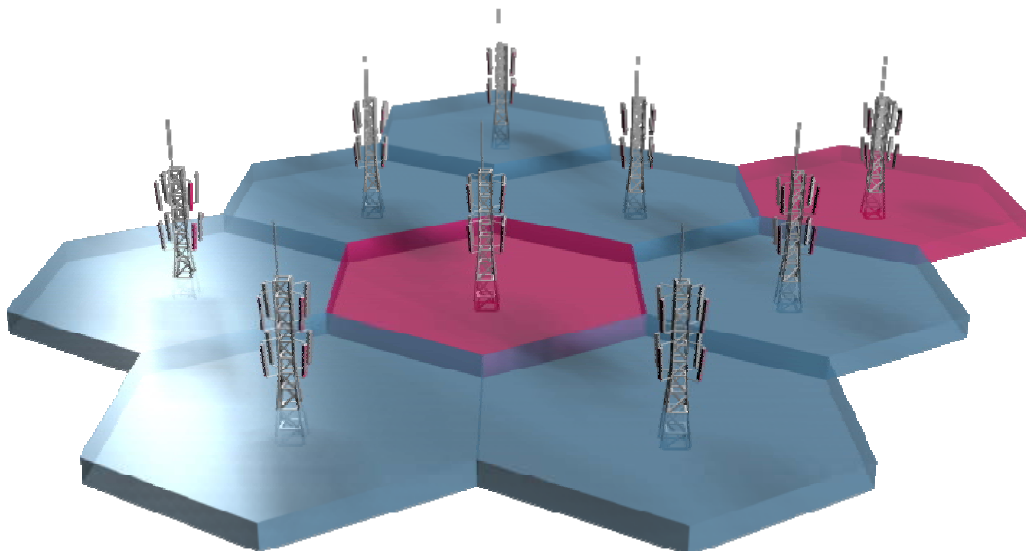


όπου $\Delta[f|0]=0$ και $a_d \in [0,1)$. Οι παράμετροι a_d , β_d και γ_d δεν πρέπει να συγγέονται με τις αντίστοιχες του VAS, και είναι εκ των προτέρων διαφορετικές για τις δύο περιπτώσεις, αν και καλύπτουν τις ίδιες ανάγκες για τα δύο μοντέλα.



Κεφάλαιο 4

Προσομοιωτής





Κεφάλαιο 4

Προσομοιωτής

4. Προσομοιωτής

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί ο προσομοιωτής που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες αυτής της διπλωματικής, ενώ ταυτόχρονα θα επεξηγηθούν και οι λειτουργίες του.

Η παρούσα έκδοση του προσομοιωτή HCS Simulator¹⁴ (Hierarchical Cellular System Simulator), αποτελεί μια αναβάθμιση της αρχικής έκδοσης που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας του υποψήφιου διδάκτορα Τιμόθεου Καστρινογιάννη. Ο προσομοιωτής έχει υλοποιηθεί στη γλώσσα προγραμματισμού C++. Η επιλογή της γλώσσας αυτής για την ανάπτυξη του προσομοιωτή δεν ήταν τυχαία, αφού εκτός από τα εγγενή χαρακτηριστικά της γλώσσας, που προσφέρουν πολύ περισσότερες δυνατότητες, από όσες τελικά χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του εν λόγω προσομοιωτή, υπάρχουν και πολύ καλά ολοκληρωμένα περιβάλλοντα ανάπτυξης (IDE), τα οποία, κυρίως με τις δυνατότητες εκσφαλμάτωσης (debugging) που διαθέτουν, συμβάλουν στην ορθότητα και την πληρότητα του παραγομένου κώδικα. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ως περιβάλλον ανάπτυξης το Microsoft® Visual Studio .NET.

Πριν αναφερθούνε πιο συγκεκριμένες λεπτομέρειες, ουσιαστικά μέσω του προσομοιωτή έχει υλοποιηθεί ένας εικονικός χώρος ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών (μακροκυψέλη και υποκείμενες μικροκυψέλες). Ο εικονικός αυτός χώρος συμπληρώνεται από τη δημιουργία εικονικών χρηστών (τυχαία κινούμενοι χρήστες οι οποίοι ζητούν υπηρεσίες φωνής ή δεδομένων από το σύστημα) και οι οποίοι αποτελούν το φορτίο που καλείται να εξυπηρετήσει το υπό μελέτη μοντέλο αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων. Κατά τη δημιουργία του προσομοιωτή καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε η προσομοίωση του χώρου και της κίνησης των χρηστών να είναι εντελώς ανεξάρτητη από το κάθε μοντέλο εξυπηρέτησης. Επίσης, ο προσομοιωτής έχει υλοποιηθεί με το μεγαλύτερο δυνατό ρεαλισμό, ώστε το φορτίο κίνησης του συστήματος να προσεγγίζει όσο το δυνατό καλύτερα τις συνθήκες φορτίου που καλείται να εξυπηρετήσει ένα πραγματικό σύστημα. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι ο προσομοιωτής μπορεί να εκτελέσει προσομοιώσεις για πολλές διαφορετικές καταστάσεις φορτίου και κίνησης των χρηστών αλλάζοντας απλώς τις αντίστοιχες μεταβλητές στην κονσόλα χειρισμού της προσομοίωσης.

¹⁴ The HCS Simulator, Version 2. © Copyright 2005-2006, Timos Kastrinogiannis & Zacharias Kapellakis.

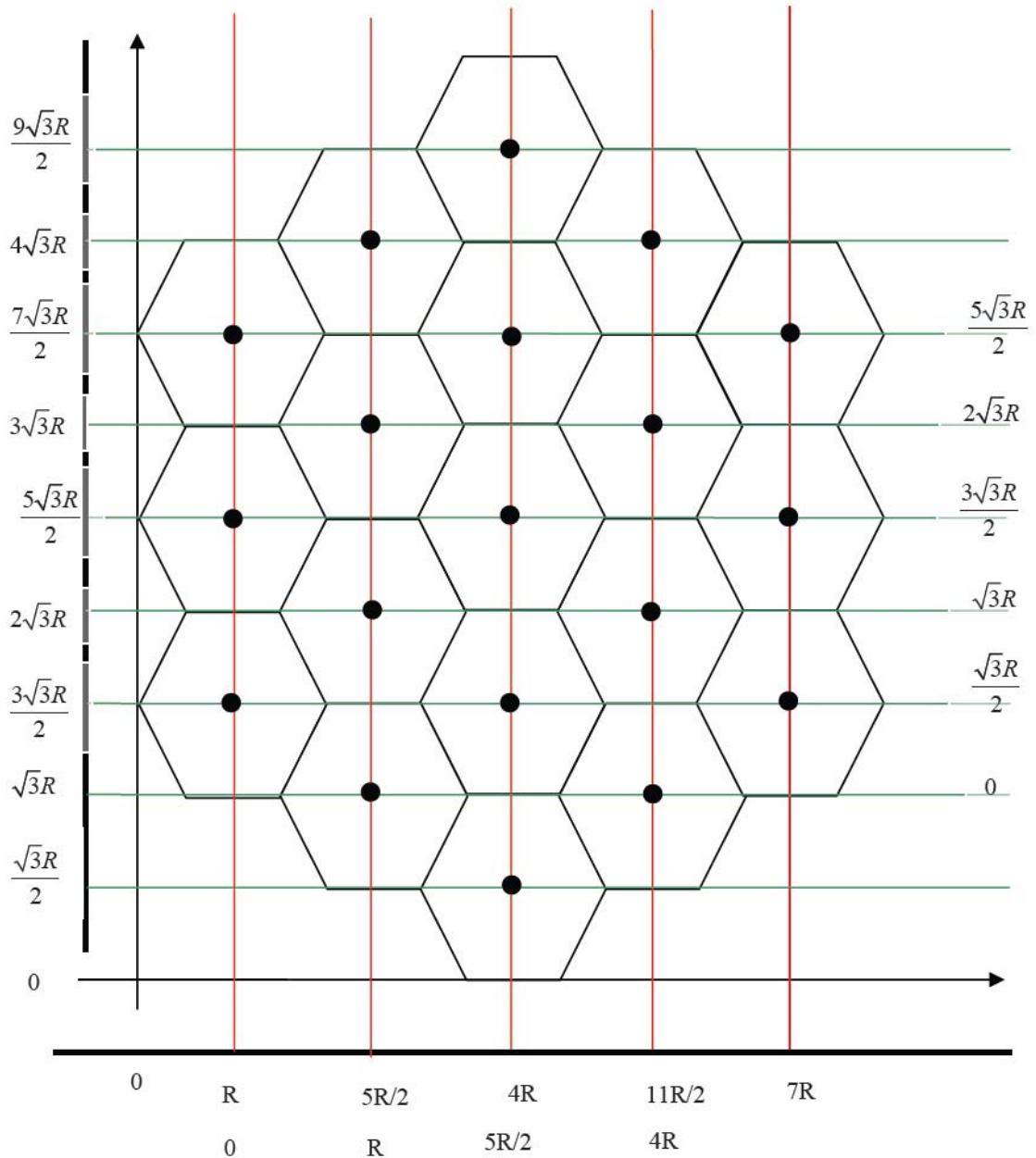


4.2 Υλοποίηση του χώρου

Ο εικονικός χώρος ο οποίος υλοποιήθηκε μέσω του προσομοιωτή και στον οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις για τα διάφορα μοντέλα αποτελείται από δεκαεννέα (19) μικροκυψέλες και την υπερκείμενη σε αυτές μακροκυψέλη. Με λίγα λόγια ο υπό μελέτη χώρος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τμήμα ενός ευρύτερου ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών, το οποίο έχει αποκοπεί και μελετάται ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για τα διάφορα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων.

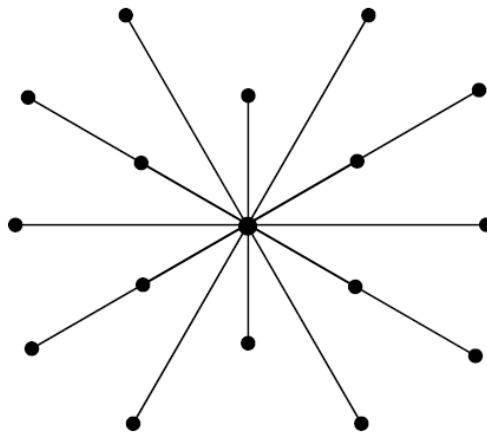
Το μικροκυψελικό επίπεδο αποτελείται από εξαγωνικές κυψέλες οι οποίες εφάπτονται πλήρως μεταξύ τους, χωρίς όμως να επικαλύπτονται και χωρίς να αφήνουν κενά σημεία. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ο εν λόγω χώρος δεν αποτελεί μια στατική αποθηκευμένη δομή, αλλά δημιουργείται δυναμικά στην αρχή της εκτέλεσης του προσομοιωτή. Αλλάζοντας μια σειρά παραμέτρων μπορεί να μεταβληθεί ο αριθμός των κυψελών του μικροκυψελικού επιπέδου καθώς και η ακτίνα τους. Πιο συγκεκριμένα η δημιουργία του μικροκυψελικού επιπέδου έχει ως σημείο αναφοράς το κέντρο της κεντρικής κυψέλης του συστήματος, γύρω από την οποία σχηματίζονται διαδοχικοί δακτύλιοι κυψελών. Για τις ανάγκες των προσομοιώσεων που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, κρίθηκε ως πιο αντιπροσωπευτικό ενός πραγματικού συστήματος η ύπαρξη δύο δακτυλίων (και άρα 19 μικροκυψελών) γύρω από την κεντρική. Ταυτόχρονα η μακροκυψέλη θεωρείται ότι καλύπτει το χώρο πάνω από όλο το μικροκυψελικό επίπεδο, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 23. Τέλος πριν παρουσιαστεί η διαδοχή των γεγονότων που δημιουργούν τον εικονικό χώρο της προσομοίωσης πρέπει να αναφερθεί ότι η ακτίνα των μικροκυψελών λαμβάνεται ίση με *200 meters*. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθεί το πρόγραμμα προσομοίωσης για την κατασκευή του εικονικού χώρου.

1. Με βάση τον αριθμό των επιθυμητών δακτυλίων η συνάρτηση *NumofCell* προσδιορίζει αναδρομικά τον αριθμό των κυψελών που θα πρέπει να υπάρχουν στο σύστημα.
2. 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 και στο Σχήμα 24 που ακολουθεί.



Σχήμα 23: Το μικροκυψελικό επίπεδο του εικονικού χώρου προσομοίωσης.

3. Επόμενος στόχος είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των κέντρων των υπόλοιπων κυψελών. Αυτό γίνεται με βάση τις συντεταγμένες του κέντρου της κεντρικής κυψέλης και τον αριθμό των δακτυλίων επιθυμούμε να έχει το σύστημα μας. Αυτός ο προσδιορισμός είναι η λειτουργία της συνάρτησης *Cell_Cord* και υλοποιείται με βάση την παρακάτω παρατήρηση:



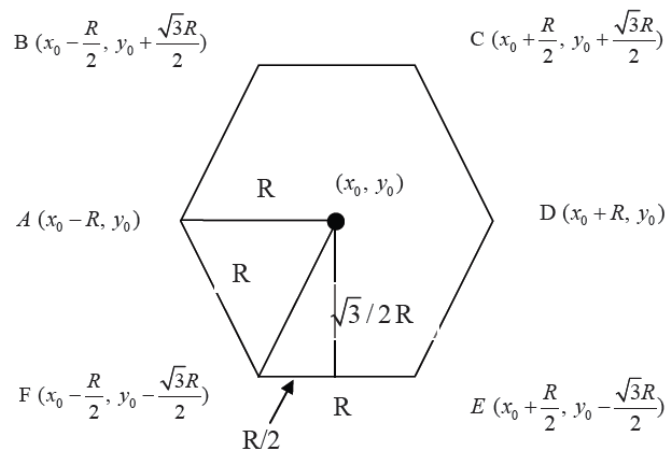
Σχήμα 24.

Για το πρώτο δακτύλιο έχουμε $Ring \times 6 = 6 Cell$ ανά $\Theta = 30^\circ + 60^\circ \times i$ με ακτίνα $\sqrt{3} R$.

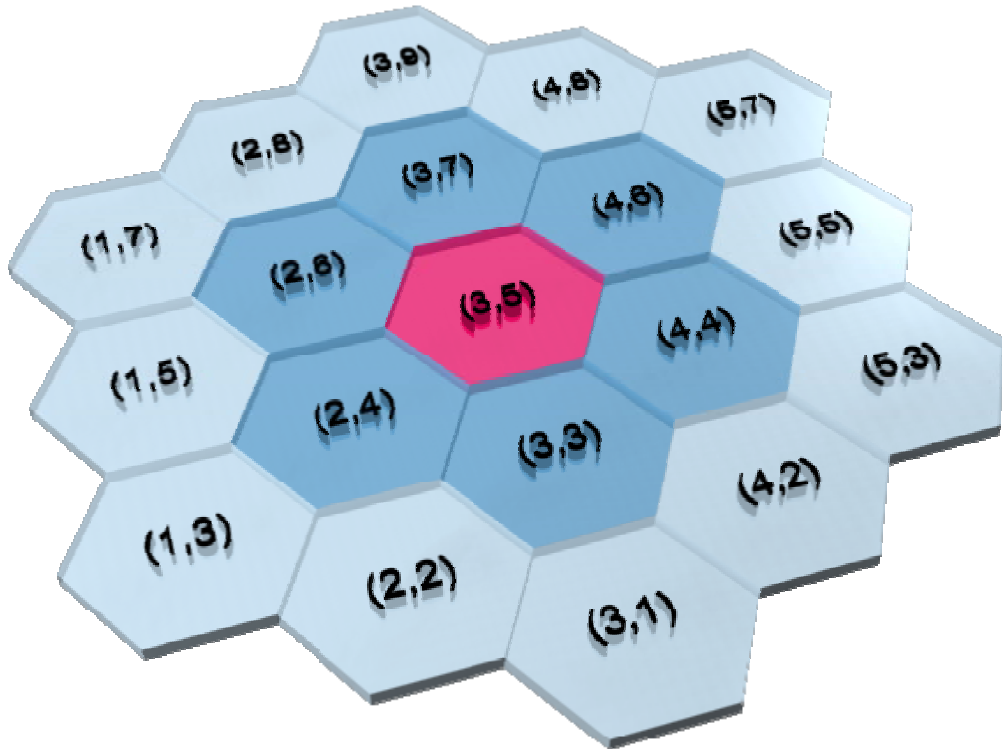
Για το δεύτερο δακτύλιο έχουμε $Ring \times 6 = 12 Cell$ ανά $\Theta = 30^\circ \times i$ με ακτίνα $3R$ και $\sqrt{3} R$ εναλλάξ και για μεγαλύτερο αριθμό δακτυλίων αντιστοίχως. Έτσι έχουν προσδιοριστεί τα κέντρα όλων των κυψελών.

4. Στην συνέχεια με βάση τις συντεταγμένες του κέντρου της κάθε κυψέλης υπολογίζονται οι ευθείες που ορίζουν μια κυψέλη ως εξής :
 1. Προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των έξι (6) κορυφών της όπως φαίνεται στο Σχήμα 26.
 2. Προσδιορίζονται οι ευθείες που διέρχονται από αυτά τα σημεία, και οι οποίες έχουν την μορφή $y = Kx + S$, 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 δύο πίνακες των έξι στοιχείων ο καθένας, μέσω των οποίων το σύστημα έχει όλη την πληροφορία που χρειάζεται για τις ευθείες που περιβάλλουν και ορίζουν τον χώρο της κάθε κυψέλης.



Σχήμα 25: Προσδιορισμός των συντεταγμένων των κορυφών των μικροκυψελών.



Σχήμα 26: Ονοματοδοσία κυψελών και εύρεση γείτονα.

5. Ακολουθεί η απόδοση ονομάτων στις κυψέλες, ώστε με ένα ευέλικτο και αποδοτικό τρόπο να μπορούν να προσδιοριστούν οι γείτονές κάθε κυψέλης. Καταλήξαμε στη μορφή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 26, δηλαδή σε μια τέτοια μορφή ονόματος έτσι ώστε τελικά κάθε κυψέλη να έχει δύο ονόματα. Με αυτό τον τρόπο γνωρίζοντας το όνομα της τρέχουσας κυψέλης και ένα δείκτη κίνησης μπορεί να προσδιοριστεί αμέσως το όνομα της κυψέλης που θέλουμε. Ο δείκτης κίνησης είναι ένας ακέραιος αριθμός με τιμές 0 έως 5, καθένας από τους οποίους συμβολίζει κίνηση προς την ακόλουθη κατεύθυνση:

$i = 0$ κίνηση πάνω αριστερά

$i = 1$ κίνηση πάνω

$i = 2$ κίνηση πάνω δεξιά

$i = 3$ κίνηση κάτω δεξιά

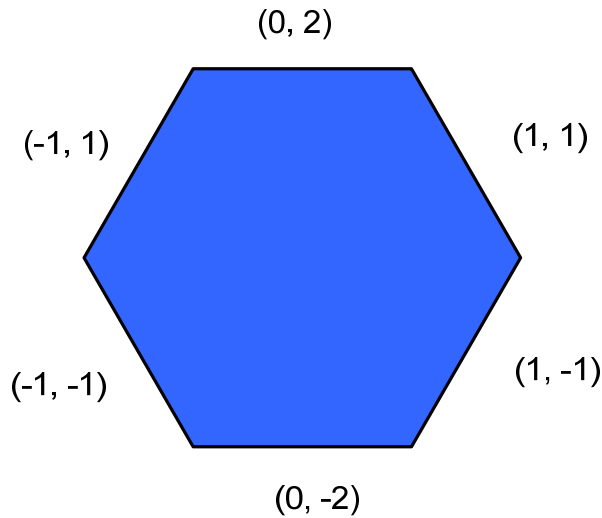
$i = 4$ κίνηση κάτω

$i = 5$ κίνηση κάτω αριστερά

Έτσι, με βάση την παραπάνω λογική, μπορεί πολύ εύκολα να βρεθεί οποιοσδήποτε γείτονας της τρέχουσας κυψέλης προσθέτοντας στο όνομα της



το αντίστοιχο διάνυσμα κίνησης. Οι τιμές του διανύσματος κίνησης φαίνονται στο Σχήμα 27.



Σχήμα 27: Διάνυσμα κίνησης.

Αν βρίσκομαι εκτός των ορίων του συστήματος τότε θεωρούμε ότι το διάνυσμα κίνησης παίρνει την τιμή $(0,0)$. Τα παραπάνω υλοποιεί η *NewCell_Finder*.

Μετά την εκτέλεση των πέντε παραπάνω βημάτων το σύστημα έχει πλέον καταφέρει να υλοποιήσει τον χώρο κίνησης των χρηστών και να προσδώσει στις κυψέλες του όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που τις προσδιορίζουν πλήρως. Το επόμενο βήμα είναι να υλοποιηθεί κατάλληλα μια διαδικασία εύρεσης ενός κινούμενου χρήστη μέσα σε μια κυψέλη.

Με βάση την προηγούμενη παρατήρηση, αρχικά ο νεοεισερχόμενος χρήστης θα τοποθετείται τυχαία σε μια κυψέλη και με τυχαίο τρόπο θα καθορίζεται η θέση του εντός αυτής, όπως επίσης και η ταχύτητα και η κατεύθυνσή του. Σε κάθε χρονική οι συντεταγμένες του στο σύστημα θα αλλάζουν με βάση τις ακόλουθες σχέσεις:

$$x = x_0 + vt \cdot \cos(d) \quad (4.1)$$

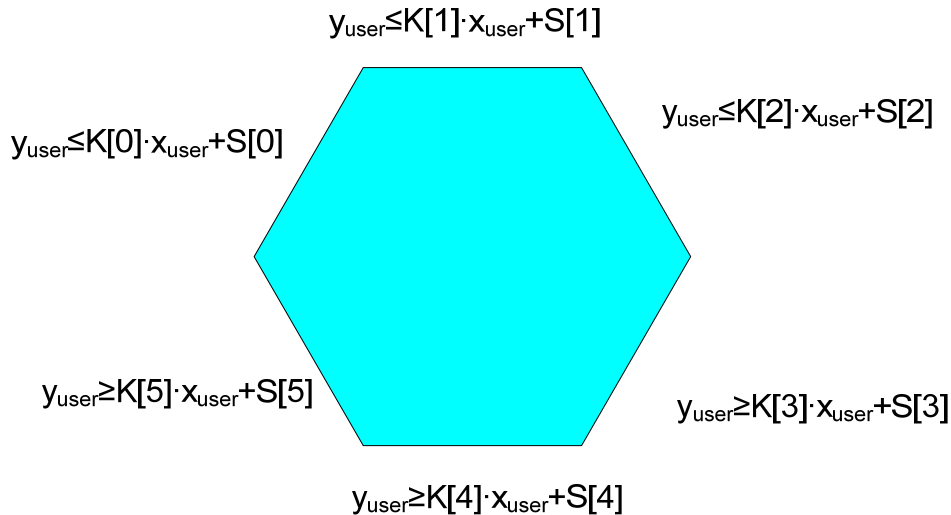
$$y = y_0 + vt \cdot \sin(d) \quad (4.2)$$

όπου (x_0, y_0) η αρχική θέση του χρήστη, v η ταχύτητα του και d η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα κίνησης με τον οριζόντιο άξονα.

Το βασικό πρόβλημα που πρέπει στη συνέχεια να επιλυθεί, είναι πως με βάση το όνομα της κυψέλης στην οποία βρισκόταν την τελευταία χρονική στιγμή ο χρήστης και τις συντεταγμένες της νέας του θέσης θα εντοπιστεί η νέα κυψέλη στην οποία βρίσκεται τώρα. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος δημιουργήθηκαν δύο συναρτήσεις που εκμεταλλεύονται όλη την παραπάνω δομή του μικροκυψελικού επιπέδου, όπως περιγράφηκε προηγουμένως.



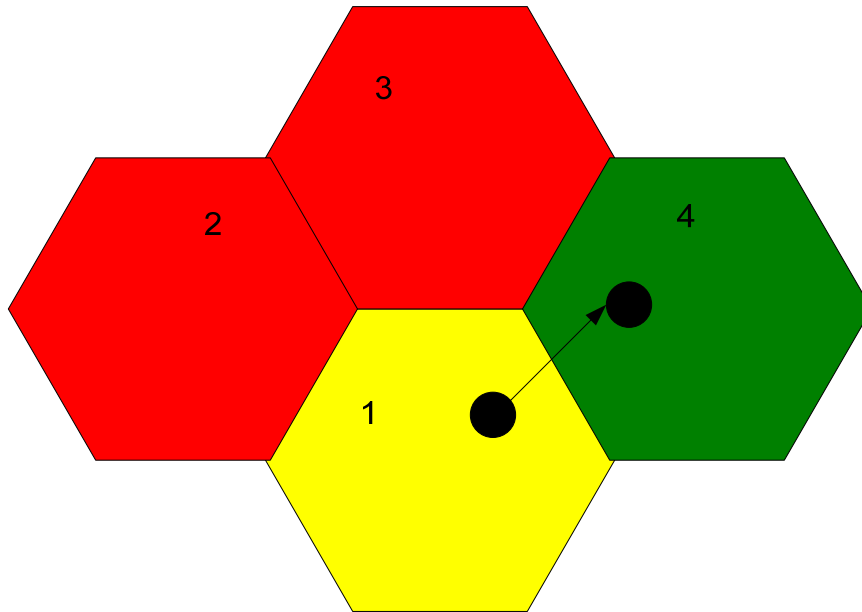
- **Inside_Cell:** Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως ορίσματα το όνομα μιας κυψέλης και τη θέση του χρήστη, και εξετάζει αν ο χρήστης βρίσκεται εντός αυτής με βάση την ικανοποίηση έξι ανισοτήτων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 28 που ακολουθεί.



Σχήμα 28: Ανισότητες που πρέπει να ικανοποιούνται για να βρίσκεται ο χρήστης εντός μιας κυψέλης.

- **User_Finder:** Δέχεται ως ορίσματα το όνομα της κυψέλης που ήταν ο χρήστης και τις νέες συντεταγμένες του, ενώ επιστρέφει το όνομα της κυψέλης που βρίσκεται τώρα. Αν βρίσκεται εκτός συστήματος επιστρέφει (0,0). Για να γίνει αυτό ακολουθείται η εξής διαδικασία: Από την δομή των χρηστών είναι γνωστό το όνομα της κυψέλης στην οποία βρισκόταν την τελευταία φορά ο χρήστης και οι νέες συντεταγμένες του. Στη συνέχεια μέσω της συνάρτησης **Inside_Cell** προσδιορίζεται αν βρίσκεται εντός της κυψέλης στην οποία βρισκόταν την προηγούμενη χρονική στιγμή. Αν όχι, ελέγχεται κυκλικά, δεξιόστροφα, ξεκινώντας από την πάνω αριστερά ευθεία της κυψέλης η ικανοποίηση των ευθειών της αρχικής κυψέλης. Αν αυτή ικανοποιείται συνεχίζει. Αν αυτή δεν ικανοποιείται μέσω της **NewCell_Finder** βρίσκεται το όνομα της κυψέλης που βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση με την ευθεία που ελέγχεται. Ακολούθως μέσω της συνάρτησης **Inside_Cell**, εξετάζεται αν ο χρήστης βρίσκεται εντός της προς εξέταση κυψέλης. Τέλος, αν ο χρήστης δεν βρεθεί πουθενά διαγράφεται από το σύστημα αφού έχει αποχωρήσει από την περιοχή του.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα εντοπισμού ενός χρήστη, ώστε να γίνει κατανοητή η προηγούμενη διαδικασία. Με αναφορά στο Σχήμα 30, θεωρείται ως αρχική θέση του χρήστη η κίτρινη κυψέλη. Την επόμενη χρονική στιγμή ο χρήστης μετακινείται και βρίσκεται στην πράσινη κυψέλη. Για να βρεθεί όμως αυτή η νέα θέση αρχικά ο προσομοιωτής εξετάζει αν βρίσκεται στην κίτρινη κυψέλη. Αφού το σύστημα πάρει αρνητική απάντηση για αυτό το ενδεχόμενο, εξετάζει αν βρίσκεται σε κάποια άλλη γειτονική κυψέλη. Αρχικά εξετάζεται η κυψέλη 2 και στη συνέχεια την 3 μέχρι να ελεγχθεί η κυψέλη 4 όπου και βρίσκεται ο χρήστης.



Σχήμα 29: Τμήμα του μικροκυψελικού επιπέδου. Η κίτρινη κυψέλη αντιπροσωπεύει την κυψέλη του χρήστη κατά την προηγούμενη χρονική στιγμή, ενώ οι κόκκινες αντιπροσωπεύουν την πρώτη κυψέλη και τη δεύτερη κυψέλη στην οποία ερευνάται αν μετακινήθηκε ο χρήστης. Στη συνέχεια εξετάζεται η πράσινη κυψέλη στη οποία πράγματι έχει μετακινηθεί και βρίσκεται ο χρήστης κατά την τρέχουσα χρονική στιγμή.

4.3 Υλοποίηση Χρηστών Και Της Κινητικότητας Τους

Κάθε χρήστης του συστήματος αποτελεί μια ξεχωριστή οντότητα (αντικείμενο κατά την ορολογία της C++). Στην οντότητα του χρήστη συμπεριλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την εξυπηρέτησή του. Αυτές οι πληροφορίες ονομαστικά είναι οι εξής:

- Αύξων αριθμός του χρήστη.
- Το όνομα της κυψέλης (κατά το Σχήμα 27) στην οποία βρίσκεται ο χρήστης, και στην οποία τοποθετείται με τυχαίο τρόπο.
- Οι συντεταγμένες του χρήστη στη διάταξη του χώρου όπως έχει υλοποιηθεί στο Σχήμα 24, και οι οποίες πάλι επιλέγονται με τυχαίο τρόπο.
- Η ταχύτητα του χρήστη, η οποία και πάλι επιλέγεται με τυχαίο τρόπο με την προϋπόθεση ότι τηρούνται τα εκ των προτέρων προσδιορισμένα ποσοστά γρήγορων και αργών χρηστών στο σύστημα, όπως επίσης και τα όρια μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας χρηστών.
- Η διεύθυνση κίνησης του μέσα στο χώρο, η οποία επιλέγεται τυχαία.
- Ο χρόνος που υπολείπεται για την επόμενη αλλαγή της κινητικής κατάστασης του χρήστη, δηλαδή για να μεταβληθεί η ταχύτητα ή η διεύθυνση κίνησης του ή και τα δύο.
- Πληροφορία σχετικά με το εάν ο χρήστης είναι παλιός (είναι ήδη στο σύστημα και εξυπηρετείται) ή νέος (ο χρήστης έχει ήδη εξυπηρετηθεί ή έχει εγκαταλείψει το σύστημα και είναι πλέον έτοιμος να ξαναζητήσει εξυπηρέτηση). Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού η



προτεραιότητα με την οποία εξετάζονται οι χρήστες του συστήματος έχει πολύ μεγάλη σημασία. Περισσότερες λεπτομέρειες θα δοθούν παρακάτω.

- Πληροφορία σχετικά με το αν ο χρήστης έχει κάνει διαπομπή (handoff). Η πληροφορία αυτή είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη σειρά με την οποία εξετάζονται οι χρήστες του συστήματος, αλλά και για το γεγονός ότι χρήστες που κάνουν διαπομπή πρέπει να εξυπηρετηθούν συνήθως κατά διαφορετικό τρόπο.
- Πληροφορία σχετικά με το εάν ο χρήστης είναι ενεργός χρήστης του συστήματος ή όχι. Η πληροφορία αυτή παίζει σημαντικό ρόλο κατά την διαδικασία τοποθέτησης καινούριων χρηστών στο σύστημα υπό τον επιθυμητό ρυθμό άφιξης.
- Πληροφορία σχετικά με το εάν ο χρήστης εξυπηρετείται από το μικροκυψελικό ή το μακροκυψελικό επίπεδο.
- Πληροφορία σχετικά με αν ο χρήστης αποκλείστηκε από το σύστημα ή διακόπηκε η κλήση του.
- Ο εναπομένον χρόνος εξυπηρέτησης του χρήστη από το σύστημα (για τα μοντέλα φωνής). Στην περίπτωση που εξετάζουμε μοντέλα δεδομένων η πληροφορία αυτή μας δίνει την υπολειπόμενη ποσότητα δεδομένων που έχει ο χρήστης προς αποστολή ή λήψη από το σύστημα. Για την περίπτωση των μοντέλων φωνής ο χρόνος ομιλίας κάθε χρήστη δίνεται από εκθετική κατανομή με μέση τιμή τα *100 seconds*, ενώ για την περίπτωση των μοντέλων δεδομένων η ποσότητα δεδομένων του χρήστη ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ *0 Mbit* και *5 Mbits*.
- Μόνο για την περίπτωση των μοντέλων δεδομένων, η οντότητα του χρήστη αποθηκεύει επιπλέον πληροφορία σχετικά με τη θέση του μέσα στην κυψέλη και το ρυθμό μετάδοσης που του έχει αποδοθεί.

Όσον αφορά την κινητικότητα των χρηστών μπορεί να παρατηρηθούν τα ακόλουθα. Οι αρχικές συντεταγμένες του χρήστη μεταβάλλονται κάθε δευτερόλεπτο (σε χρόνο προσομοιωτή) σύμφωνα με το διάνυσμα κίνησης που έχει ο χρήστης, δηλαδή με βάση το ζεύγος (**ταχύτητα, διεύθυνση κίνησης**) και με βάση τις σχέσεις (4.1) και (4.2), που αναφέρθηκαν παραπάνω.

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 ότι 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.

Με αυτήν τη δυνατότητα επιλογής ποσοστών γρήγορων και αργών χρηστών μπορεί να μελετηθεί η συμπεριφορά των μοντέλων για διάφορες τιμές αυτών όπως και οι επιδόσεις τους ανά περίπτωση. Επίσης δίνεται η δυνατότητα προσαρμογής της εικονικής περιοχής σε μια πραγματική προς εξέταση περιοχή. Ενδεικτικά, αναφέρεται, ότι αν η προς εξέταση περιοχή περιέχει αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας το ποσοστό των γρήγορων χρηστών αναμένεται να είναι αυξημένο, ενώ αντίστοιχα, αισθητά μειωμένο πρέπει να είναι στο κέντρο μιας πόλης.



Για επιπλέον αυτονομία και ελαστικότητα, ο προσομοιωτής δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή 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, πρέπει να αναφερθεί 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.

4.4 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Η ενότητα αυτή ξεκινάει από τον εικονικό χώρο προσομοίωσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο χώρος αυτός είναι μεταβλητός και επεκτάσιμος. Αυτό είναι εφικτό επιλέγοντας τον επιθυμητό αριθμό των δακτυλίων που υπάρχουν γύρω από την κεντρική κυσέλη καθώς και την επιθυμητή ακτίνα των μικροκυψελών. Ο λόγος ύπαρξης ενός τόσο μεταβλητού χώρου είναι για μπορεί ο χειριστής του προσομοιωτή 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. Στις προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν δύο δακτύλιοι γύρω από την κεντρική κυσέλη, με αποτέλεσμα το μικροκυψελικό επίπεδο να αποτελείται από δεκαεννέα (19) κυσέλες. Η ακτίνα κάθε μικροκυψέλης είναι *200 meters*.

Όσον αφορά το χρόνο προσομοίωσης, αυτός είναι μεταβλητός και μετρείται σε δευτερόλεπτα. Ένα δευτερόλεπτο σε χρόνο προσομοιωτή διαφέρει σε πραγματική διάρκεια και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το φορτίο που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα και η υπολογιστική πολυπλοκότητα του μοντέλου που υλοποιείται, και μπορεί να κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου ως και κάποια δευτερόλεπτα. Σημαντικό ρόλο βέβαια στην πραγματική διάρκεια ενός δευτερολέπτου προσομοίωσης παίζει και η επεξεργαστική ισχύ του υπολογιστή στον οποίο εκτελείται η προσομοίωση. Στις προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, η διάρκεια της προσομοίωσης ήταν *4000 seconds*, από τα οποία όμως λαμβάνονται υπόψη μετρήσεις μόνο από τα τελευταία *3600 seconds*. Αυτό γίνεται έτσι ώστε το σύστημα να έχει σταθεροποιηθεί όσο το δυνατόν πιο πολύ όταν αρχίζουμε να το μελετάμε. Δηλαδή, ουσιαστικά ο χρήσιμος χρόνος προσομοίωσης είναι μια ώρα.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η κατανομή των διαύλων του συστήματος προσομοίωσης. Σκοπός του προσομοιωτή είναι η προσομοίωση και μέτρηση των επιδόσεων μοντέλων που αφορούν την εξυπηρέτηση κλήσεων χρηστών σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα, χωρίς να εξετάζει το φυσικό επίπεδο του συστήματος. Συνεπώς, ο προσομοιωτής δεν έχει τη δυνατότητα να κάνει Frequency Planning, δηλαδή να κατανέμει συχνότητες ανάλογα με την περιοχή που ορίζει ο χειριστής του (η οποία είναι πλήρως μεταβαλλόμενη). Η εκχώρηση συχνοτήτων σε κυσέλες σύμφωνα με τα εκάστοτε κριτήρια ομοδιαυλικής παρεμβολής θεωρείται ότι έχει ήδη γίνει και δεν αφορά το μοντέλο εξυπηρέτησης που προσομοιώνεται.

Για τον παραπάνω λόγο το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή να επιλέξει τον αριθμό των διαύλων που θα έχουν οι μικροκυσέλες και η μακροκυσέλη. 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.. Σημειώνεται εδώ ότι στην περίπτωση των μοντέλων δεδομένων που εξετάστηκαν, και τα οποία στηρίζονται σε μεταγωγή πακέτου, οι διάυλοι αντικαταστάθηκαν από χωρητικότητα (μετρούμενη σε *Mbps*) που μπορούν να προσφέρουν οι μικροκυψέλες και η μακροκυψέλη.

Μια σημαντική καινοτομία της δεύτερης έκδοσης του HCS Simulator, και η οποία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής, είναι η αλλαγή στο τρόπο που αντιλαμβάνεται το σύστημα το προσφερόμενο φορτίο. Αρχικά ο προσομοιωτής είχε υλοποιηθεί έτσι ώστε να διατηρεί σταθερό τον αριθμό των ενεργών χρηστών του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή. Έτσι αναγκαστικά το φορτίο του συστήματος έπρεπε να μετρηθεί σε αριθμό χρηστών σε σχέση με τους διαθέσιμους διαύλους του συστήματος. Στη δεύτερη έκδοση του προσομοιωτή κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Αντίθετα το σύστημα προσπαθεί να εξυπηρετήσει συγκεκριμένο αριθμό χρηστών κάθε δευτερόλεπτο, ο οποίος ορίζεται από τον επιθυμητό ρυθμό άφιξης κλήσεων-χρηστών. Επίσης δεδομένης της εκθετικής κατανομής που ακολουθεί ο χρόνος ομιλίας των χρηστών είμαστε σε θέση τελικά (τουλάχιστον για τα μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής) να εκφράσουμε το προσφερόμενο φορτίο του συστήματος σε *erlangs*. Συνεπώς μετά από αυτήν την αλλαγή ο προσομοιωτής προσεγγίζει ακόμα περισσότερο ένα πραγματικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα και ειδικότερα ένα ιεραρχικό σύστημα κινητών επικοινωνιών.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στις υπηρεσίες που δύναται να εξυπηρετήσει ο προσομοιωτής. Θεωρούμε υπηρεσίες φωνής για τα τρία μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής (RoD, MPA, ACP) και υπηρεσίες δεδομένων για τα μοντέλα εξυπηρέτησης δεδομένων (VAS, DAS). Οι υπηρεσίες φωνής στηρίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος, και για τον λόγο αυτό θεωρείται ότι για τα μοντέλα φωνής ο προσομοιωτής εκχωρεί διαύλους στους εξυπηρετούμενους χρήστες. Οι υπηρεσίες δεδομένων από την άλλη, στηρίζονται σε μεταγωγή πακέτου και υλοποιούνται με βάση το πρότυπο CDMA/HDR, για το οποίο υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον τον τελευταίο καιρό. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το πρότυπο αυτό ένας χρήστης λαμβάνει ένα ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με την ποιότητα του σήματος¹⁵ που λαμβάνει από το σταθμό βάσης.

<i>A/A</i>	<i>Distance d from the center of the microcell (meters)</i>	<i>Data Rate (Kbps)</i>
1	0<d <5	2457
2	5<d<8	1843
3	8<d<11	1228
4	11<d<16	921
5	16<d<23	614
6	23<d<33	307
7	33<d<48	204
8	48<d<68	153
9	68<d<98	102
10	98<d<140	76
11	140<d<200	38

Πίνακας II: Μέγιστος εφικτός ρυθμός μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση από το κέντρο της μικροκυψέλης.

¹⁵ Η μέτρηση της ποιότητας του σήματος επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης του SNR του χρήστη.



<i>A/A</i>	<i>Distance d from the center of the macrocell (meters)</i>	<i>Data Rate (Kbps)</i>
1	0<d<6	2457
2	6<d<10	1843
3	10<d<16	1228
4	16<d<27	921
5	27<d<46	614
6	46<d<77	307
7	77<d<129	204
8	129<d<216	153
9	216<d<360	102
10	360<d<600	76
11	600<d<1000	38

Πίνακας III: Μέγιστος εφικτός ρυθμός μετάδοσης ανάλογα με την απόσταση από το κέντρο της μακροκυψέλης.

Απλοποιώντας λίγο το πρότυπο CDMA/HDR, θεωρείται ότι ένας χρήστης μπορεί να πάρει ένα ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τη θέση του μέσα σε μια κυψέλη, σύμφωνα με τους δύο πίνακες που προηγούνται.

Τελειώνοντας αυτήν την ενότητα, πρέπει να αναφερθεί ότι ο προσομοιωτής παράγει ανάλογα με τις παραμέτρους της προσομοίωσης και ένα κατάλληλο αρχείο που περιέχει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στην αμέσως επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν και θα εξηγηθούν τις καταγραφόμενες μεταβλητές και τα αποτελέσματα που αυτές τελικά παρέχουν.

4.5 Παραγόμενα Αποτελέσματα

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι μετρητές που βρίσκονται στο πρόγραμμα και η χρησιμότητα τους.

1. Total_Users

Μετράει το συνολικό αριθμό των χρηστών οι οποίοι απασχόλησαν το σύστημα. Στο άθροισμα τους περιλαμβάνονται οι νέοι χρήστες που τελικά εξυπηρετήθηκαν (πλήρως ή όχι) αλλά και οι νέοι χρήστες που πήγαν να εξυπηρετηθούν αλλά τελικά αποκλείστηκαν από το σύστημα (έγιναν blocked). Η μέτρησή τους γίνεται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability), αφού αποτελεί τον παρανομαστή του κλάσματος που δίνει την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων. Ο μετρητής 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 αποκλείστηκαν αλλά εξυπηρετήθηκαν εντελώς ή έως ένα σημείο). Η μέτρησή του γίνεται για τον προσδιορισμό της αύξησης ή της μείωσης του συνολικού φορτίου που εξυπηρετείται αναλόγως με το σύστημα για την ίδια χρονική περίοδο. Επίσης είναι ο παρανομαστής του κλάσματος που μου δίνει την πιθανότητα διακοπής κλήσεων (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 τον προσδιορισμό της κατηγορίας χρηστών, αργών ή γρήγορων, που ευνοείται από το εκάστοτε μοντέλο εξυπηρέτησης κατά την είσοδό τους στο σύστημα. Ενεργοποιούνται κάθε φορά που τελικά καταφέρνει να εξυπηρετηθεί ένας αργός ή γρήγορος χρήστης αντίστοιχα .

4. Blocked

Μετράει το συνολικό αριθμό των νέων χρηστών που εντάχθηκαν στο σύστημα και δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν, δηλαδή αποκλείστηκαν από το σύστημα. Η μέτρησή τους γίνεται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (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 έτσι ώστε να παρατηρηθεί ποια κατηγορία χρηστών έχει το μεγαλύτερο αποκλεισμό από το εκάστοτε μοντέλο εξυπηρέτησης. Ενεργοποιούνται κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια εισαγωγής νέου αργού ή γρήγορου χρήστη αντίστοιχα και αυτή αποτυγχάνει.

7. Dropped

Μετράει το συνολικό αριθμό των χρηστών που μπήκαν στο σύστημα και δεν μπόρεσαν να ολοκληρώσουν την εξυπηρέτησή τους, δηλαδή η κλήση τους διακόπηκε κατά την προσπάθειά τους να αλλάξουν κυψέλη εξυπηρέτησης ή αλλιώς κατά τη προσπάθεια να κάνουν διαπομπή. Η μέτρησή τους γίνεται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (dropping probability), αφού αποτελεί τον αριθμητή του κλάσματος που 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 έτσι ώστε να παρατηρηθεί ποια κατηγορία χρηστών έχει το μεγαλύτερο ποσοστό αποτυχίας κατά τις

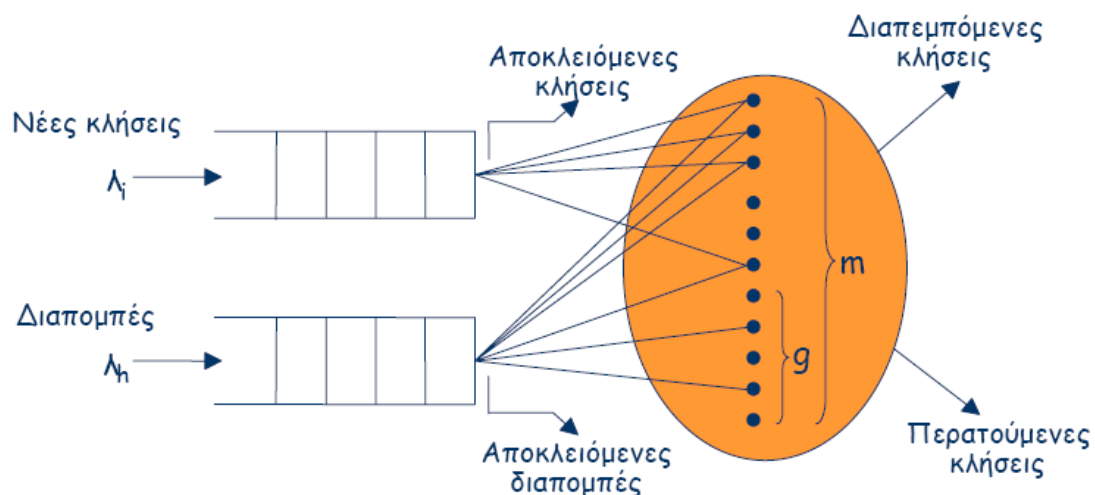
διαπομπές της από το εκάστοτε μοντέλο. Ενεργοποιούνται κάθε φορά που γίνεται προσπάθεια διαπομπής αργού ή γρήγορου χρήστη αντίστοιχα και αυτή αποτυγχάνει.

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 μικροκυβελικό 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 είναι γνωστό ότι μια αίτηση διαπομπής συνεπάγεται για το σύστημα επιπλέον σηματοδοσία. Η μείωση του αριθμού των διαπομπών και κατά επέκταση του φορτίου σηματοδοσίας του συστήματος αποτελεί ένα από τους κυριότερους λόγους ύπαρξης ιεραρχικών κυβελωτών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας και βασικό κριτήριο αξιολόγησης των διαφόρων μοντέλων.

10. *Total_Handoff_Users_Slow - Total_Handoff_Users_Fast*

Μετράει 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 μικροκυβελικό επίπεδο, είτε από το ένα επίπεδο στο άλλο και το αντίστροφο. Η μέτρησή τους γίνεται γιατί μέσω των μετρητών αυτών μπορεί να βρεθεί ποια κατηγορία χρηστών επιβαρύνει περισσότερο το σύστημα όσον αφορά το φορτίο σηματοδοσίας του.



Σχήμα 30: Σχηματική αναπαράσταση των βασικότερων μετρητών του προσομοιωτή HCS Simulator.

4.6 Υλοποίηση Των Μοντέλων Εξυπηρέτησης Κλήσεων

Το σημαντικότερο κομμάτι αυτής της διπλωματικής, από προγραμματιστικής άποψης, ήταν η υλοποίηση πέντε μοντέλων αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων σε



ιεραρχικά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Τα μοντέλα αυτά έχουν υλοποιηθεί έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν ανεξάρτητα από το εικονικό περιβάλλον προσομοίωσης και της κίνησης των χρηστών μέσα σε αυτό, αφού βασικός στόχος του προσομοιωτή κατά τα στάδια αρχικής δημιουργίας του ήταν η ανεξαρτησία του από το υπό εξέταση κάθε φορά μοντέλο. Τα πέντε μοντέλα που υλοποιήθηκαν είναι (κατά χρονική σειρά υλοποίησης) τα Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm, Adaptive Channel Partitioning, Velocity-based Assignment Strategy και Data-based Assignment Strategy.

Πώς όμως λειτουργούν και υλοποιούνται τα μοντέλα αυτά μέσα στο πλαίσιο του προσομοιωτή; Πρώτο βήμα είναι η προσπάθεια απόδοσης του μοντέλου από την φυσική-επιστημονική γλώσσα σε έναν αλγόριθμο που θα μπορούσε να εκτελεστεί από έναν υπολογιστή. Αυτό γίνεται αφαιρετικά έτσι ώστε να αντιστοιχούνται οι φυσικές οντότητες των αλγορίθμων στο αφαιρετικό μοντέλο του προσομοιωτή όπως έχει υλοποιηθεί στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής. Το δεύτερο βήμα είναι η μετάφραση του παραγόμενου αλγόριθμου για κάθε μοντέλο σε γλώσσα κατανοητή από έναν υπολογιστή, η οποία στην περίπτωση αυτής της εργασίας είναι η γλώσσα C++. Το δεύτερο βήμα, που είναι και το πιο σημαντικό ώστε να γίνει η εξαγωγή αποτελεσμάτων για το εκάστοτε μοντέλο, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας σειράς προγραμματιστικών συναρτήσεων της γλώσσας C++. Για το κάθε μοντέλο πάντα υπάρχουν τουλάχιστον δύο συναρτήσεις, οι οποίες αποτελούν και την «καρδιά» του μοντέλου. Αυτές είναι οι συναρτήσεις που καθορίζουν με ποίον τρόπο θα εξυπηρετηθεί ένας νέος χρήστης του συστήματος και με ποίο τρόπο ένας χρήστης που θέλει να πραγματοποιήσει διαπομπή (handoff). Στη συνέχεια ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου μπορεί να υπάρχουν και μερικές βοηθητικές συναρτήσεις που είτε ενσωματώνονται στις δύο κύριες συναρτήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως (όπως οι βοηθητικές συναρτήσεις που αναλαμβάνουν να κάνουν το repacking στο RoD), είτε καλούνται αυτόνομα στο περιβάλλον προσομοίωσης όταν ικανοποιείται μια κατάλληλη συνθήκη (όπως για παράδειγμα οι συναρτήσεις που αναθεωρούν τα κατώφλια ταχύτητας και ποσότητας δεδομένων για τα μοντέλα VAS και DAS).

Για τα τρία μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών φωνής, δηλαδή τα RoD, MPA και ACP, χρησιμοποιήθηκαν ως πόροι που παραχωρεί το σύστημα σε έναν χρήστη υποθετικοί τηλεπικοινωνιακοί δίαυλοι, όπως περιγράφεται στην ενότητα 4.4. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, θεωρήθηκε αρχικά ότι το μακροκυψελικό επίπεδο πρέπει να έχει στη διάθεση του 78 διαύλους και στο μικροκυψελικό επίπεδο κάθε κυψέλη να έχει στη διάθεση της 31 διαύλους. Τελικά όμως λόγω των ιδιαιτεροτήτων και του τρόπου λειτουργίας του κάθε μοντέλου προκύπτει η ακόλουθη κατανομή για τους δίαυλους του συστήματος.

A/A	Μοντέλο	Δίαυλοι μακροκυψέλης	Δίαυλοι μικροκυψελών
1	RoD	78	31
2	MPA	78	0-93, όπου 93=3x31
3	ACP	135	28

Πίνακας IV



Για λόγους πληρότητας, θεωρείται επίσης ότι η μακροκυψέλη αφιερώνει επιπλέον δύο διαύλους για τις διαδικασίες σχετιζόμενες με τη σηματοδότηση του συστήματος, ενώ για τον ίδιο λόγο κάθε μικροκυψέλη αφιερώνει έναν επιπλέον δίαυλο.

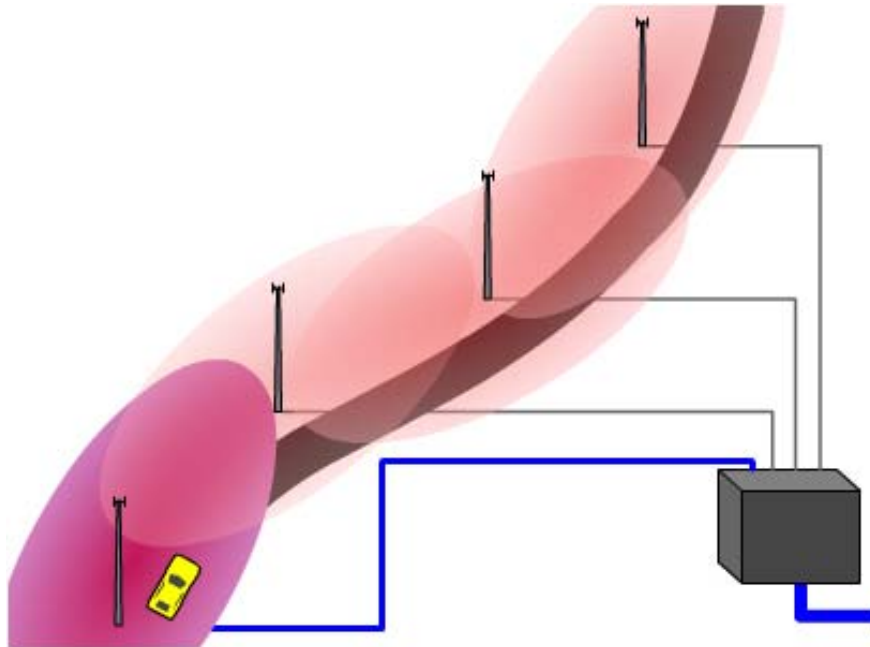
Τέλος, όσον αφορά τα δύο μοντέλα εξυπηρέτησης δεδομένων, δηλαδή τα VAS και DAS, θεωρείται ότι οι κυψέλες μπορούν να παραχωρήσουν στους χρήστες κάποιον συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης, ανάλογα με τη θέση τους μέσα στην κυψέλη και σύμφωνα με τους Πίνακες II και III. Η συνολική χωρητικότητα της μακροκυψέλης θεωρείται ίση με *5 Mbps* για τις ανάγκες των προσομοιώσεων μας. Την ίδια τιμή θεωρείται ότι λαμβάνει και η παρεχόμενη χωρητικότητα από μια μικροκυψέλη.



Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Σταθερού Φορτίου





Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Σταθερού Φορτίου

5. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Σταθερού Φορτίου

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη των επιδόσεων των πέντε ευφών μοντέλων, τα οποία στηρίζουν, κατά κύριο λόγο, τη λειτουργία τους στην κατηγοριοποίηση των χρηστών με βάση το προφίλ κινητικότητάς τους. Εξαιρέση αποτελεί το μοντέλο DAS, το οποίο και στηρίζει τη λειτουργία του στην ποσότητα δεδομένων που ένας χρήστης έχει προς λήψη ή αποστολή. Τα πρώτα τρία μοντέλα (RoD, MPA, ACP) παρέχουν στους χρήστες υπηρεσίες φωνής, ενώ τα άλλα δύο (VAS, DAS) και υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Το σύστημα αποτελείται από δύο επίπεδα, το μικροκυψελικό και το μακροκυψελικό.

Στο κεφαλαίο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων σταθερού φορτίου, δηλαδή, κατά τη διάρκεια της μιας ώρας της προσομοίωσης¹⁶ το προσφερόμενο φορτίο στο σύστημα παράμενε σταθερό. Οι τιμές του προσφερόμενου φορτίου για το οποίο έγιναν οι μετρήσεις φαίνονται στους Πίνακες V και VI. Οι προσομοιώσεις έχουν γίνει για τρία διαφορετικά ποσοστά αργών και γρήγορων χρηστών (90%-10%, 70%-30% και 50%-50% αντίστοιχα). Αυτές οι προσομοιώσεις έγιναν με σκοπό να μελετηθούν οι διάφοροι παράμετροι επίδοσης ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών τηλεπικοινωνιών κάτω από διαφορετικές συνθήκες προσφερόμενου φορτίου και κινητικότητας χρηστών, αλλά και για να αξιολογηθούν τα πέντε μοντέλα εξυπηρέτησης και ανεξάρτητα το ένα από τα άλλα, αλλά και μεταξύ τους. Σε επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί και μια συγκριτική μελέτη των διαφόρων μοντέλων για προσομοιώσεις μεταβλητού φορτίου.

Πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα, θα ήταν χρήσιμο να αναφερθούν οι βασικές παράμετροι επίδοσης που χαρακτηρίζουν ένα ιεραρχικό σύστημα κινητών επικοινωνιών.

- Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability): Υπολογίζεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό του συνολικού αριθμού των κλήσεων οι οποίες απορρίφθηκαν από το σύστημα ως προς το συνολικό αριθμό κλήσεων που ζήτησαν εξυπηρέτηση από αυτό.
- Πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability): Υπολογίζεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό του συνολικού αριθμού των κλήσεων οι οποίες απορρίφθηκαν κατά την προσπάθεια πραγματοποίησης διαπομπής ως προς το συνολικό αριθμό κλήσεων οι οποίες εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα ασχέτως αν ολοκληρώθηκαν.

¹⁶ 3600 sec χρήσιμου χρόνου προσομοίωσης, από τα 4000 sec συνολικού χρόνου προσομοίωσης.



- Συνολικός αριθμός διαπομπών (handoffs): Υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός διαπομπών που στέφθηκαν με επιτυχία κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης είτε μεταξύ κυψελών του ίδιου 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.

Επιπλέον είναι απαραίτητο να γίνει μια διευκρίνιση όσον αφορά το προσφερόμενο φορτίο του συστήματος. Η διευκρίνιση αυτή θα ξεκινήσει από τα τρία μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής όπου το προσφερόμενο φορτίο μετριέται σε erlangs. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο πριν την εκτέλεση της προσομοίωσης ο χειριστής μπορεί να επιλέξει επιθυμητό ρυθμό άφιξης κλήσεων – χρηστών λ (*users/sec*) του συστήματος, καθώς και το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης h (*seconds*) της εκθετικής κατανομής που ακολουθεί ο χρόνος ομιλίας των χρηστών. Έτσι με βάση τον γνωστό τύπο:

$$a = \lambda \cdot h \quad (5.1)$$

υπολογίζεται το προσφερόμενο φορτίο στο σύστημα σε erlangs. Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, που ακολουθεί, χρησιμοποιείται το ολικό προσφερόμενο φορτίο στο σύστημα. Για ευκολία και για να είναι απλή η αντιστοίχιση με ένα πραγματικό σύστημα, παρουσιάζεται στη συνέχεια ο πίνακας μετατροπής του ολικού φορτίου του συστήματος σε προσφερόμενο φορτίο ανά κυψέλη.

A/A	Προσφερόμενο Φορτίο Συστήματος (erlang)	Προσφερόμενο Φορτίο Ανά Κυψέλη (erlang)
1	0	0
2	100	5.3
3	200	10.5
4	300	15.8
5	400	21.1
6	500	26.3
7	600	31.6
8	700	36.8
9	800	42.1
10	900	47.4
11	1000	52.6
12	1100	57.9

Πίνακας V

Όσα αναφερθήκαν προηγουμένως δεν ισχύουν για την περίπτωση των δύο μοντέλων εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων, όπου το φορτίο δεν μπορεί να μετρηθεί σε erlangs, οπότε και χρησιμοποιείται ως μετρητής του προσφερόμενου φορτίου ο ρυθμός άφιξης κλήσεων στο σύστημα. Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας που αντιστοιχεί τον ρυθμό άφιξης κλήσεων του συστήματος σε ρυθμό άφιξης κλήσεων ανά κυψέλη.



A/A	Προσφερόμενο Φορτίο Συστήματος (users/sec)	Προσφερόμενο Φορτίο Ανά Κυψέλη (users/sec)
1	0	0.00
2	1	0.05
3	2	0.11
4	3	0.16
5	4	0.21
6	5	0.26
7	6	0.32
8	7	0.37
9	8	0.42
10	9	0.47
11	10	0.53
12	11	0.58
13	12	0.63
14	13	0.68
15	14	0.74
16	15	0.79

Πίνακας VI

Μπορεί πλέον να ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων για τα διάφορα μοντέλα. Η αρχή γίνεται με τα τρία μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών φωνής (RoD, MPA, ACP) και στη συνέχεια ακολουθούν τα δύο μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων (VAS, DAS).

5.2 Repacking on Demand

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αρχίζει με το μοντέλο Repacking on Demand. Πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα θα ήταν σκόπιμο να θυμηθούμε τον τρόπο λειτουργίας του συγκεκριμένου μοντέλου. Το μοντέλο αυτό προτείνει την εξυπηρέτηση των χρηστών μέσα από το διαχωρισμό τους σε δύο ομάδες ανάλογα με την κινητικότητα τους. Με βάση ένα κατάλληλα επιλεγμένο κατώφλι ταχύτητας οι χρήστες του συστήματος χωρίζονται σε γρήγορους και αργούς. Στη συνέχεια κάθε ομάδα χρηστών προσπαθεί αρχικά να εξυπηρετηθεί από το φυσικό της επίπεδο (μικροκυψελικό για τους αργούς χρήστες, μακροκυψελικό για τους γρήγορους χρήστες). Όμως ο διαχωρισμός των χρηστών ως προς την κινητικότητα τους δεν είναι απόλυτος. Έτσι κάποιος αργός χρήστης που δεν θα βρει πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο θα αναζητήσει ελεύθερους πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο. Κάτι αντίστοιχο μπορεί να κάνει και ένας γρήγορος χρήστης, με την προϋπόθεση όμως ότι και η διαδικασία εύρεσης αργών υποψήφιων για repacking θα έχει προηγουμένως αποτύχει να του βρει πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό όμως αυτού του μοντέλου είναι η δυνατότητα για repacking από το μακροκυψελικό στο μικροκυψελικό επίπεδο, την οποία παρέχει. Έτσι στην περίπτωση που οι αρχικές διαδικασίες εξυπηρέτησης αποτύχουν να βρουν ελεύθερους πόρους για τη νέα ή προερχόμενη από διαπομπή κλήση, τότε το μοντέλο RoD προσπαθεί να απελευθερώσει πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο ώστε να

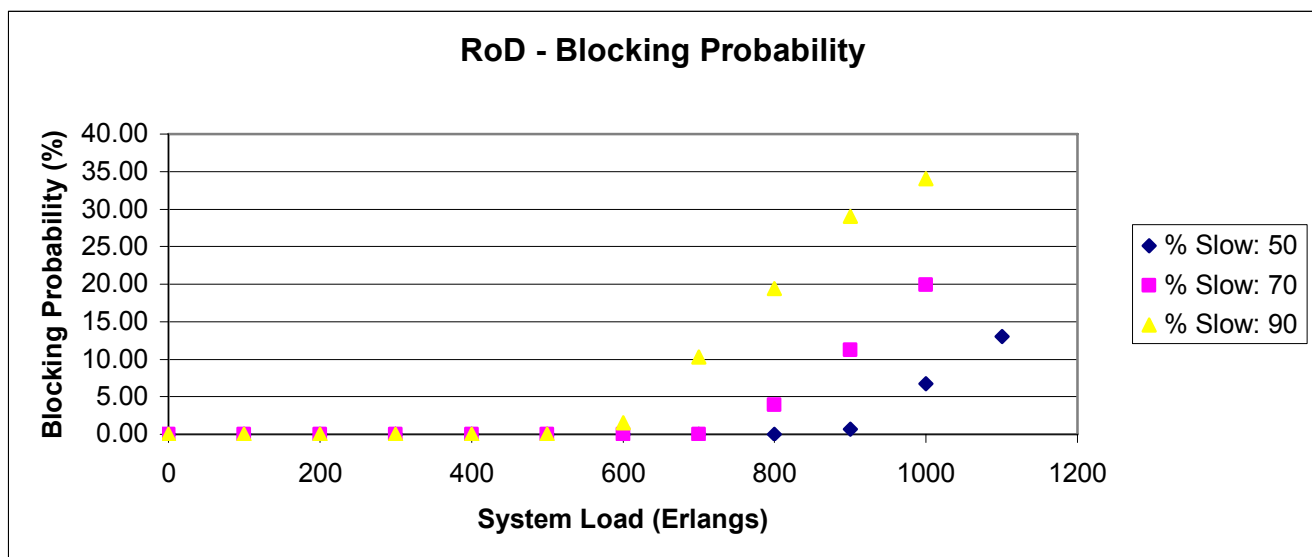


εξυπηρετήσει την κλήση αυτή. Η προσπάθεια αυτή γίνεται ψάχνοντας για υποψήφιους χρήστες για *reracking*, αρχικά αργούς και, εφόσον δεν βρεθούν τέτοιοι, γρήγορους, οι οποίοι μπορούν να μεταβούν από τη μακροκυβέλη από την οποία εξυπηρετούνται στην υποκείμενη μικροκυβέλη στην οποία ανήκουν χωρικά, απελευθερώνοντας έτσι πόρους στη μακροκυβέλη.

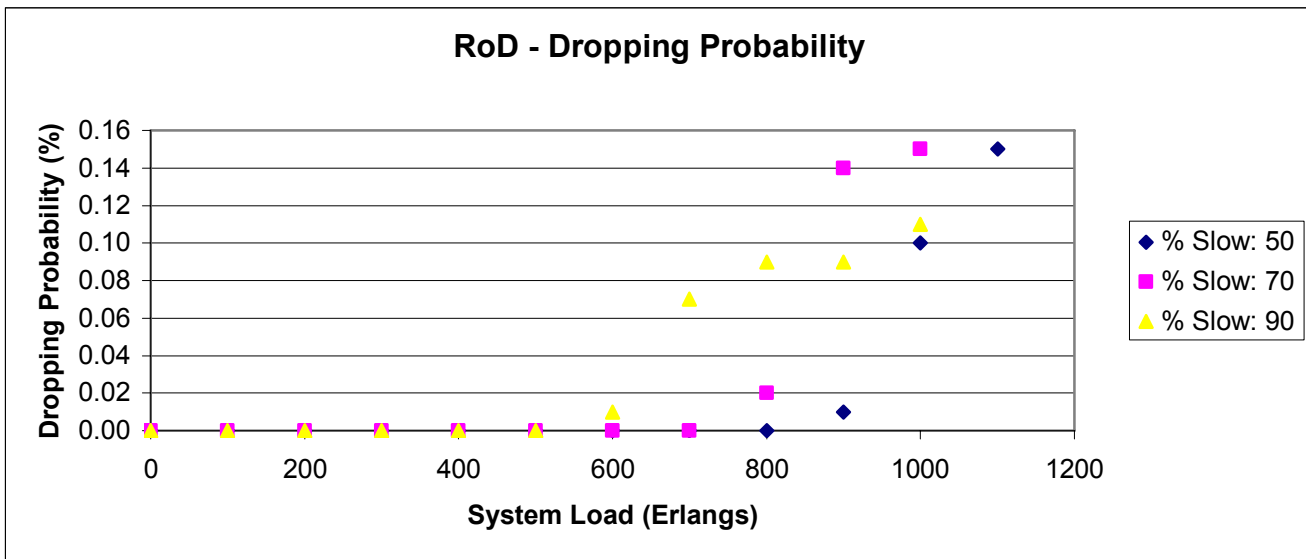
Το RoD προτείνει δηλαδή ένα μοντέλο δυναμικής ανταλλαγής των χρηστών μεταξύ των δύο επιπέδων, ανεξαρτήτως της κατηγορίας κινητικότητας στην οποία ανήκουν. Η σειρά των βημάτων που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία αυτής της δυναμικής ανταλλαγής είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να μειωθεί όσο περισσότερο γίνεται ο αριθμός των διαπομπών που προκαλούν οι γρήγοροι χρήστες στο σύστημα.

5.2.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

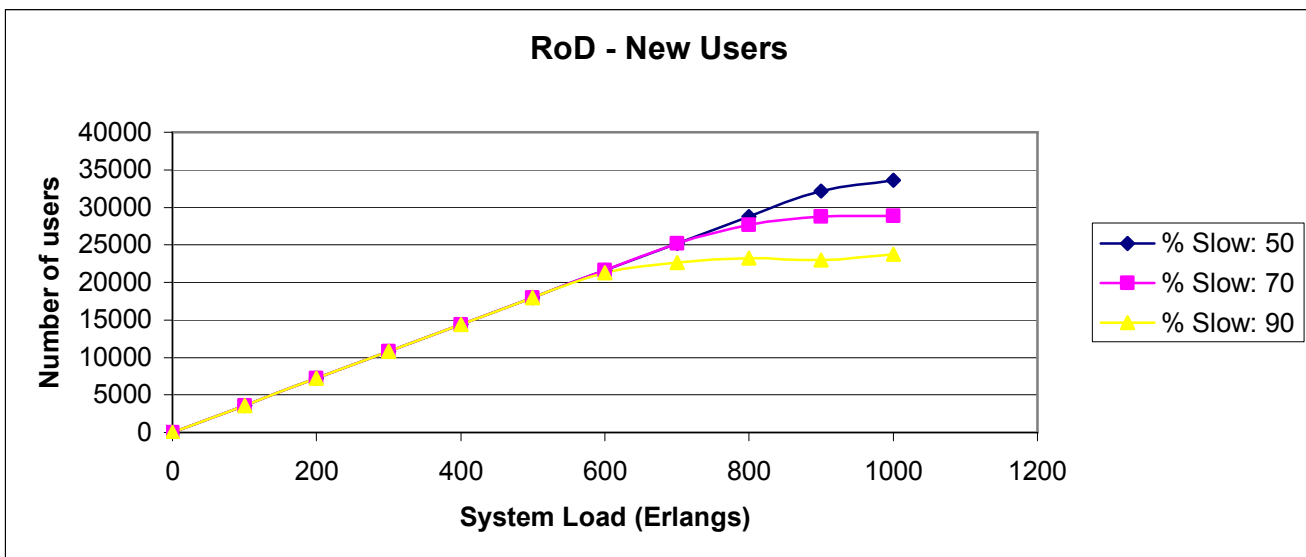
Η εκτέλεση των προσομοιώσεων έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα τα οποία βοηθούν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά του μοντέλου αυτού.



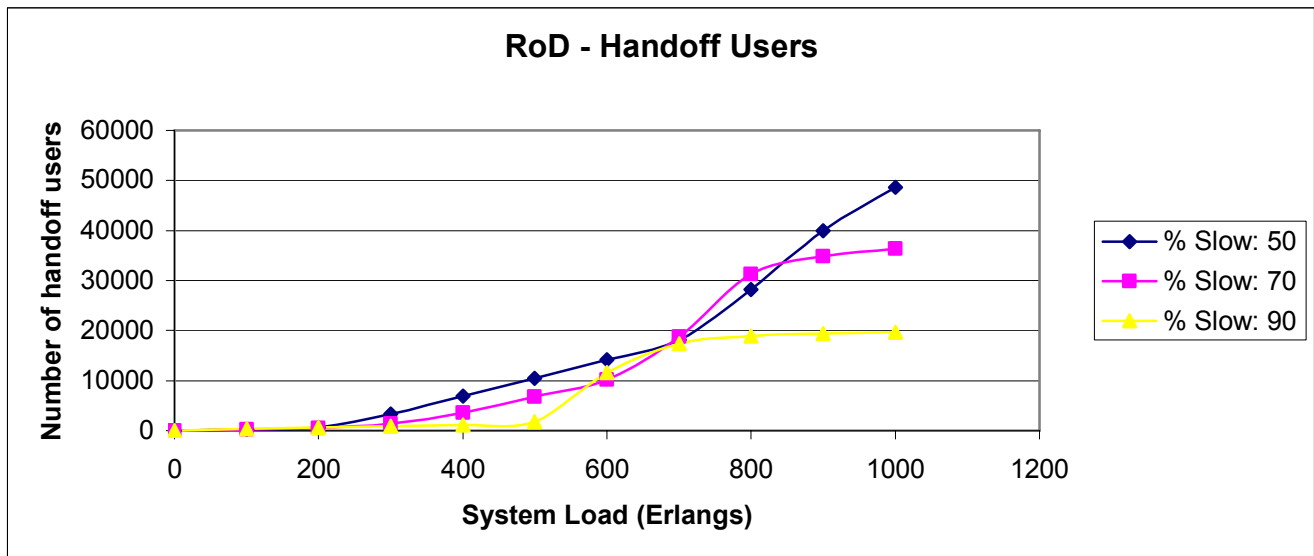
Γραφική Παράσταση 1: RoD, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.



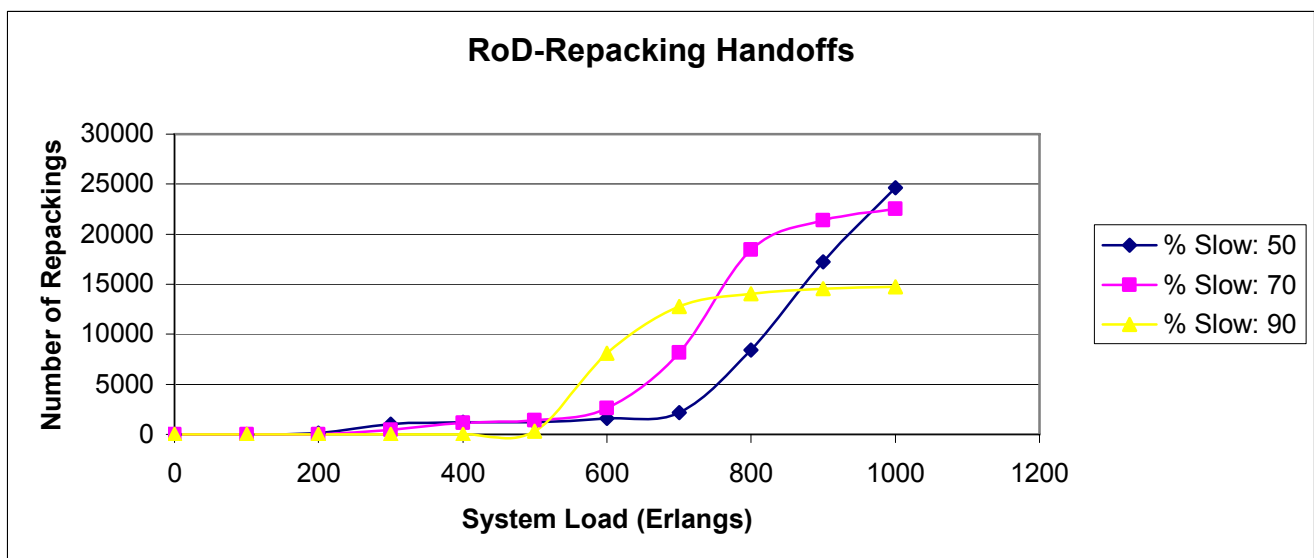
Γραφική Παράσταση 2: RoD, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.



Γραφική Παράσταση 3: RoD, αριθμός νέων (διαφορετικών χρηστών) που εξυπηρετεί το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.



Γραφική Παράσταση 4: RoD, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπής στις διάρκεια μιας ώρας.



Γραφική Παράσταση 5: RoD, αριθμός διαπομπών που οφείλονται στη διαδικασία του repacking.

5.2.2 Συμπεράσματα

Μετά από την εξέταση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις όσον αφορά τις επιδόσεις και τη συμπεριφορά του μοντέλου RoD.



- Το μοντέλο φαίνεται να εμφανίζει εξαιρετική συμπεριφορά όσον αφορά την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και την πιθανότητα διακοπής (dropping probability) των κλήσεων (Γραφικές Παραστάσεις 1, 2). Όπως είναι αναμενόμενο αυξανόμενου του φορτίου του συστήματος παρατηρείται και μια ανάλογη αύξηση στις τιμές αυτών των δύο παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα η πιθανότητα αποκλεισμού δεν υπερβαίνει το 35% για κανένα ποσοστό γρήγορων και αργών χρηστών, ακόμα και για φορτίο συστήματος που υπερβαίνει τα 1000 erlangs (ή πάνω από 52 erlang/cell). Η δε πιθανότητα διακοπής κλήσεων είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερη του 1%. Η διαφορά στη διακύμανση των τιμών των δύο παραμέτρων οφείλεται στην προτεραιότητα που δίνει το σύστημα στους χρήστες που ήδη εξυπηρετούνται από το σύστημα.
- Αυξανόμενου του ποσοστού των γρήγορων χρηστών δεν παρατηρείται όπως θα περίμενε κανείς (λόγω αύξησης του αριθμού των γρήγορων χρηστών και άρα των διαπομπών) χειροτέρευση των πιθανοτήτων αποκλεισμού και διακοπής κλήσεων, αλλά αντιθέτως, ειδικά όσον αφορά την πιθανότητα αποκλεισμού, εμφανίζονται σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα για μεγαλύτερα ποσοστά γρήγορων χρηστών (Γραφική Παράσταση 2). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, αν και μαζί με την αύξηση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών υπάρχει και μια ανάλογη αύξηση των διαπομπών, αυτή αντισταθμίζεται τελικά από τη δυνητική αύξηση των repackings, πράγμα που σημαίνει ότι τελικά οι κλήσεις θα απορρίπτονται δυσκολότερα χάρη στη μεγαλύτερη δυνατότητα για repacking που δίνει ένα σύστημα με μεγάλο ποσοστό γρήγορων χρηστών. Ο λόγος που συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι ο εξής:

Αυξημένο ποσοστό γρήγορων χρηστών συνεπάγεται μειωμένο αριθμό αργών χρηστών στο μικροκυβελικό επίπεδο, άρα και μικρό φόρτο στις κυψέλες αυτού, με αποτέλεσμα την αύξηση της δυνατότητας των γρήγορων χρηστών να κάνουν repacking κατεβαίνοντας από το μακροκυβελικό επίπεδο στο μικροκυβελικό, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητας επιτυχημένων διαπομπών κυρίως για τους αργούς χρήστες.

- Με την παραπάνω λογική εξηγείται και το γιατί αρχικά, για ποσοστό αργών χρηστών 90%, έχουμε αυξημένη πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability) σε σχέση με τις άλλες δύο κατανομές αργών – γρήγορων χρηστών. Οι γρήγοροι χρήστες είναι σημαντικά λιγότεροι, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν συχνά οι κατάλληλες συνθήκες στο μακροκυβελικό επίπεδο για την εκτέλεση repacking κατά τη διάρκεια μιας διαπομπής ενός ενεργού χρήστη του συστήματος. Αυτό ισχύει μέχρι ένα σημείο του φορτίου του συστήματος, έπειτα από το οποίο επέρχεται κορεσμός στο σύστημα (το σύστημα δεν είναι πλέον σε θέση να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες παράλληλα την αύξηση του προσφερόμενου φορτίου, βλέπε Γραφική Παράσταση 3) και τελικά η πιθανότητα διακοπής κλήσεων τείνει να σταθεροποιηθεί (κάτι που μαρτυρούν και οι Γραφικές Παραστάσεις 3 και 4 των νέων χρηστών και των διαπομπών, για ποσοστό αργών χρηστών 90%).
- Όσον αφορά τις διαπομπές παρατηρούμε, όπως είναι αναμενόμενο, την αύξηση του αριθμού τους με την αύξηση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών (Γραφική Παράσταση 4). Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο γιατί η αύξηση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών στο σύνολο των



εξυπηρετούμενων χρηστών, συνεπάγεται αύξηση του αριθμού των γρήγορων χρηστών στο μικροκυψελικό επίπεδο, με αποτέλεσμα να διασχίζουν πιο συχνά τα όρια των μικροκυψελών και να προκαλούν συχνότερα διαπομπές. Αξιοσημείωτο είναι πάντως το γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος των διαπομπών (που μπορεί να αγγίζει και το 50% ανάλογα με το φορτίο και την κατανομή αργών – γρήγορων χρηστών) δεν είναι διαπομπές που προέρχονται από την αλλαγή κυψέλης του χρήστη, αλλά αποτελούν διαπομπές μεταξύ των δύο επιπέδων, μακροκυψελικού και μικροκυψελικού, προερχόμενες από τη διαδικασία των *repacking* (Γραφικές Παραστάσεις 4, 5). Τελικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι:

*Η διαδικασία των **repacking** επιβαρύνει σε σημαντικό βαθμό το σύστημα λόγω της αύξησης των διαπομπών που οφείλονται σε αυτήν. Σε ένα πραγματικό σύστημα, μια τέτοια αύξηση των διαπομπών συνεπάγεται φυσικά και μια ανάλογη αύξηση του φορτίου σηματοδοσίας. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων και διακοπής κλήσεων, ενώ παράλληλα, ίσως δημιουργούσε και καταστάσεις αστάθειας για πολύ υψηλό φορτίο, λόγω της συχνότητας με την οποία θα εκτελούνται οι διαδικασίες διαπομπής μεταξύ των δύο επιπέδων και του πολύ αυξημένου φορτίου σηματοδοσίας.*

- Το γεγονός ότι το μοντέλο RoD εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις για αυξημένα ποσοστά γρήγορων χρηστών στο σύστημα, λόγω της μεγαλύτερης δυνατότητας για *repacking* που υπάρχει για αυτά τα ποσοστά, εξηγεί και γιατί το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει τελικά περισσότερους νέους χρήστες όσο αυξάνεται το ποσοστό των γρήγορων χρηστών. Από τη Γραφική Παράσταση 3 παρατηρούμε ότι για χαμηλά έως μέτρια φορτία συστήματος, μέχρι 600 *erlangs* ή περίπου 32 *erlangs/cell*, οπότε και οι πόροι του συστήματος εξαντλούνται σπάνια, ο αριθμός των νέων χρηστών που εξυπηρετούνται είναι ο ίδιος ανεξάρτητα από την κατανομή αργών – γρήγορων χρηστών. Στη συνέχεια όμως, παρατηρούμε ότι για υψηλά φορτία συστήματος, όποτε και οι ελεύθεροι δίαυλοι γίνονται ένα σπάνιο αγαθό, το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει μεγαλύτερο αριθμό νέων χρηστών, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό γρήγορων χρηστών. Συμπεραίνουμε δηλαδή ότι:

Ένα μεγάλο ποσοστό γρήγορων χρηστών δίνει τη δυνατότητα στο μοντέλο RoD να αξιοποιήσει καλύτερα τους πόρους του συστήματος εξυπηρετώντας τελικά περισσότερους χρήστες σε δεδομένο χρόνο.

- Ένα τελευταίο που θέμα που χρίζει σχολιασμού είναι η Γραφική Παράσταση 5, που περιέχει τις διαπομπές οφειλόμενες σε *repackings* και οι οποίες ουσιαστικά ταυτίζονται με τον αριθμό των *repackings* που εκτελούνται στο σύστημα. Πρώτα από όλα παρατηρούμε ότι για μικρά φορτία συστήματος μέχρι 200 *erlang* (περίπου 11 *erlangs/cell*) τα *repackings* είναι μηδενικά. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού το σύστημα έχει σε αυτήν την περίπτωση αρκετό αριθμό ελεύθερων διαύλων. Στη συνέχεια για μεσαία φορτία συστήματος (200-500 *erlangs* ή 11-26 *erlangs/cell*) και για ποσοστά αργών χρηστών 50% και 70% παρατηρούμε μια ταυτόσημη αυξητική πορεία των



repackings. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι έχει αρχίσει να μεγαλώνει ο αριθμός των γρήγορων χρηστών που εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο και πρέπει να κάνει διαπομπή. Αντίθετα για ποσοστό αργών χρηστών 90%, τα repackings παραμένουν αμελητέα, αφού η μακροκυψέλη δεν έχει κορεστεί ακόμα. Τέλος για υψηλό φορτίο συστήματος ο αριθμός των repackings αυξάνεται με έντονο ρυθμό, ειδικά για ποσοστά αργών χρηστών 50% και 70%.

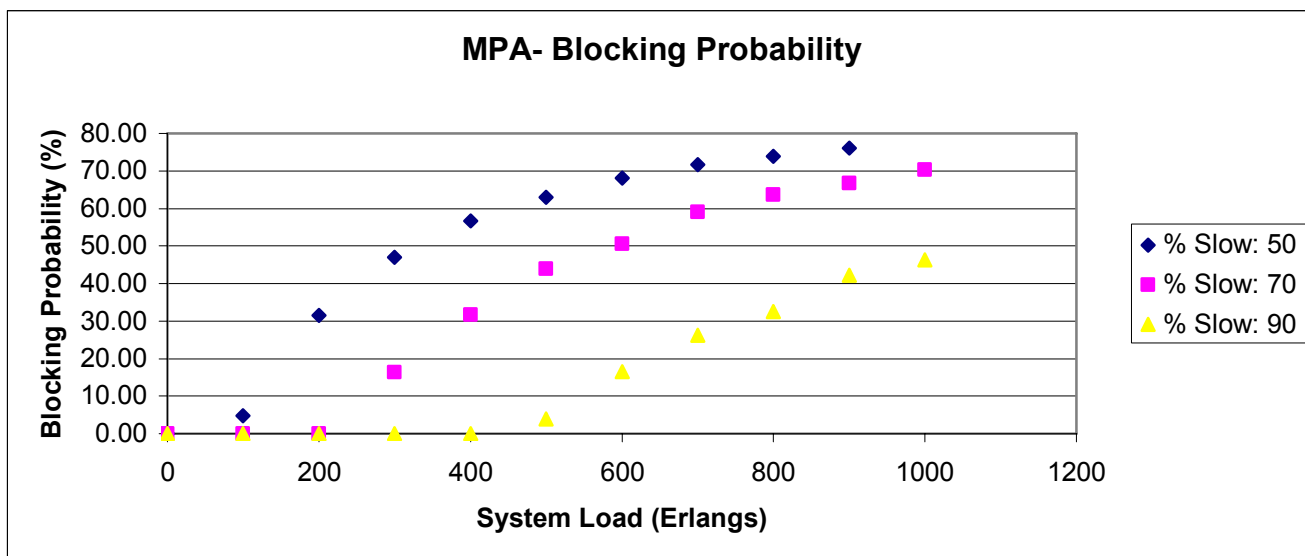
5.3 Maximum Packing Algorithm

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σταθερού φορτίου του μοντέλου Maximum Packing Algorithm για ιεραρχικά συστήματα κινητών επικοινωνιών.

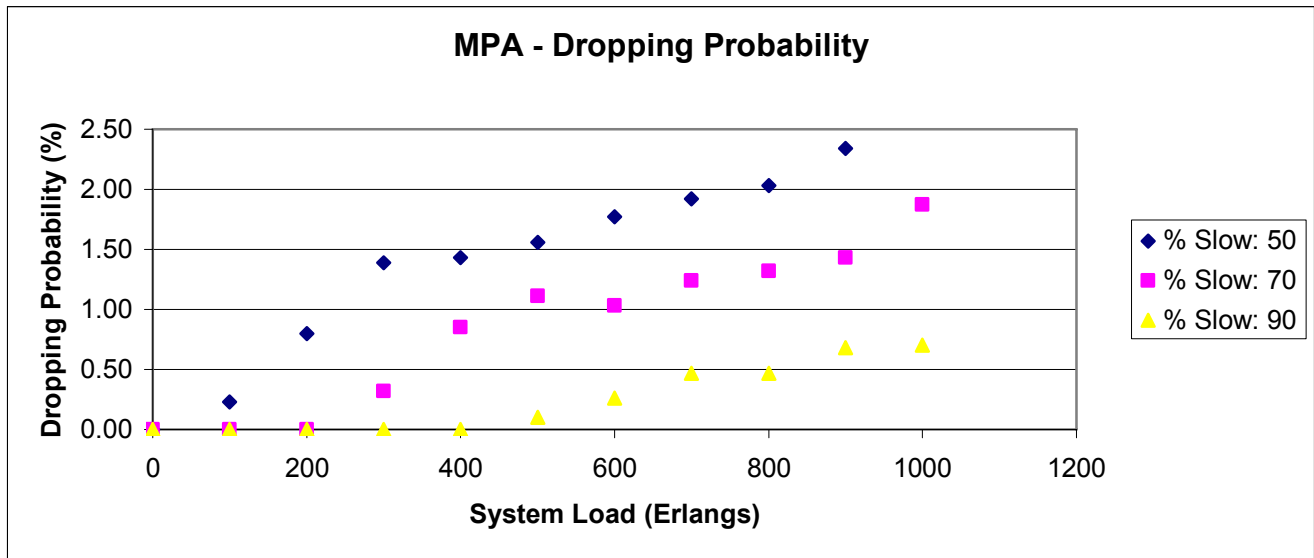
Το μοντέλο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο δυναμικής κατανομής διαύλων Maximum Packing Algorithm για την εξυπηρέτηση των χρηστών, αφού γίνει η τοποθέτησή τους σε κάποιο επίπεδο της ιεραρχίας. Η τοποθέτηση των χρηστών στο κατάλληλο επίπεδο της ιεραρχίας γίνεται με βάση ένα *σχετικό διαχωρισμό* των χρηστών σε δύο ομάδες κινητικότητας. Πιο αναλυτικά, οι γρήγοροι χρήστες εξυπηρετούνται αποκλειστικά από το μικροκυψελικό επίπεδο. Οι αργοί χρήστες εξυπηρετούνται κατά κύριο λόγο από το μικροκυψελικό επίπεδο, ενώ στην περίπτωση που αυτό είναι κορεσμένο τότε μπορούν να αναζητήσουν πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο. Από εκεί και πέρα ο αλγόριθμος Maximum Packing Algorithm προσπαθεί να καταναείμει τους διαθέσιμους πόρους κάθε επιπέδου όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά στις διάφορες κυψέλες, με απώτερο στόχο να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των αποκλειόμενων χρηστών.

5.3.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

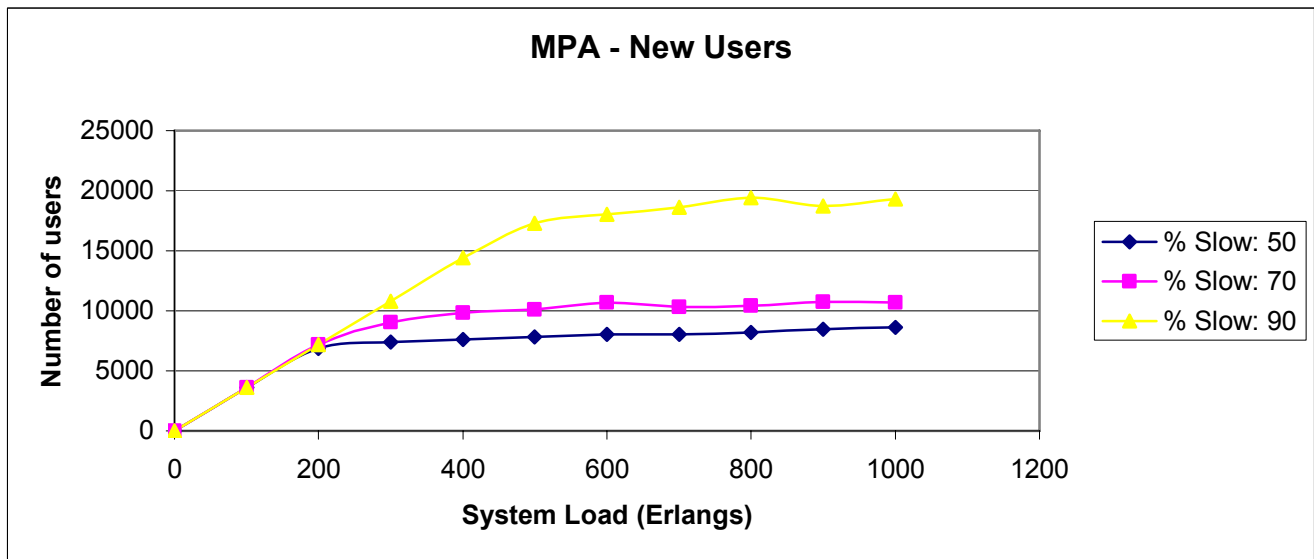
Η εκτέλεση των προσομοιώσεων έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



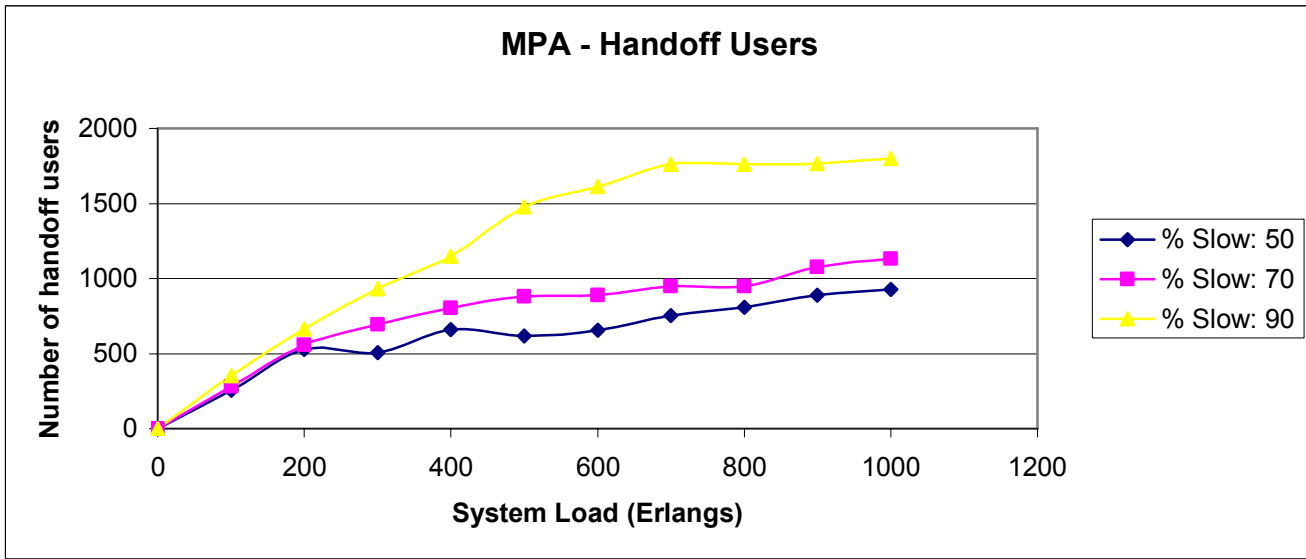
Γραφική Παράσταση 6: MPA, Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων.



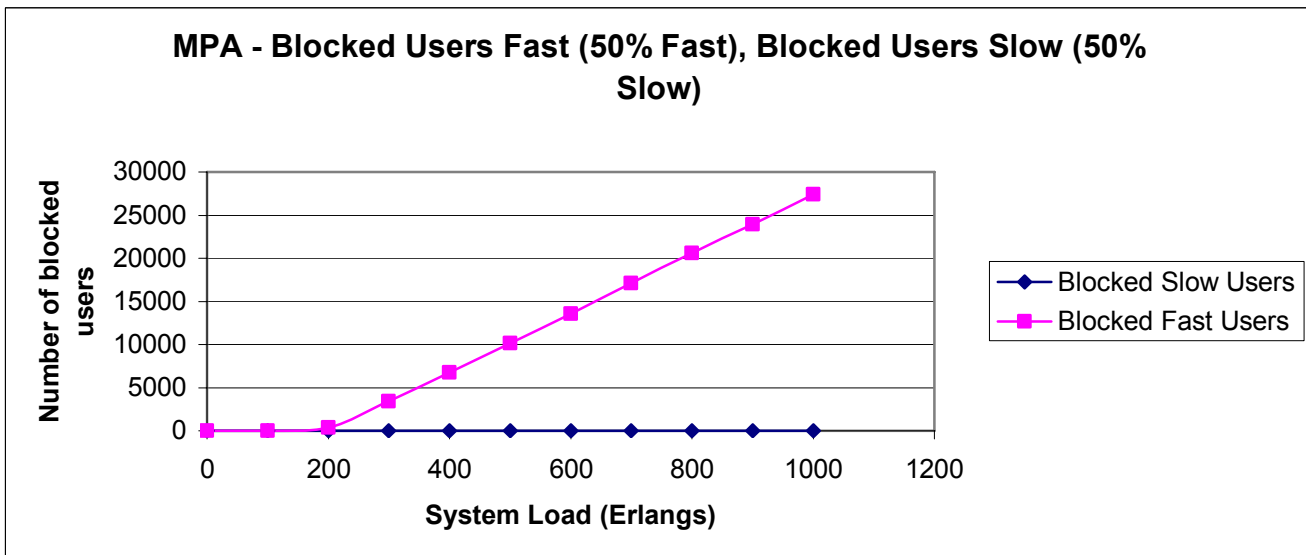
Γραφική Παράσταση 7: MPA, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.



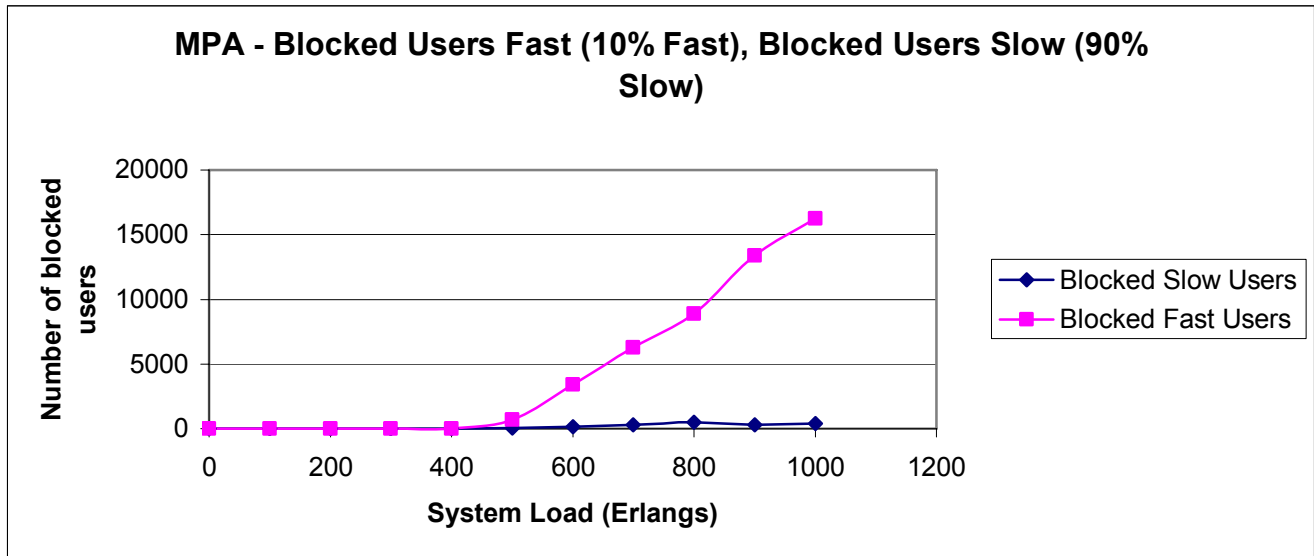
Γραφική Παράσταση 8: MPA, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.



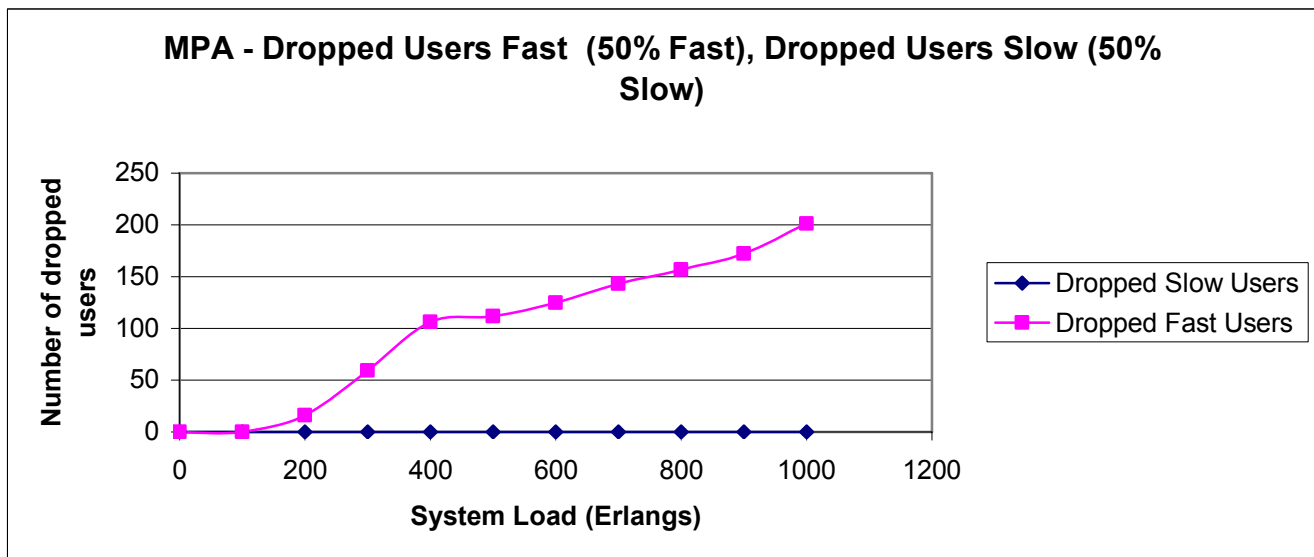
Γραφική Παράσταση 9: MPA, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπή στη διάρκεια μιας ώρας.



Γραφική Παράσταση 10: MPA, αριθμός νέων χρηστών που αποκλείονται από το σύστημα, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 50%. Όπως βλέπουμε στο συγκεκριμένο μοντέλο οι γρήγοροι χρήστες είναι σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνοι για την αυξημένη τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού του συστήματος.



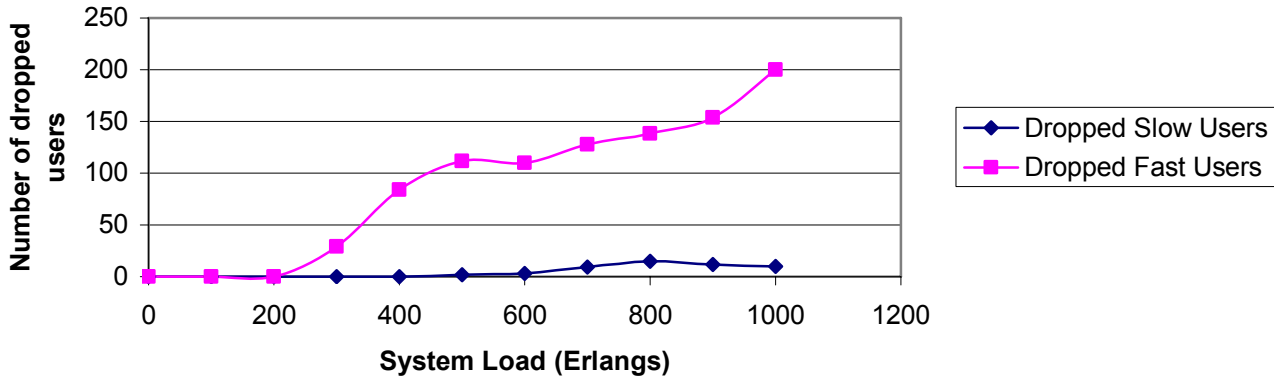
Γραφική Παράσταση 11: MPA, αριθμός νέων χρηστών που αποκλείονται από το σύστημα, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 90%.



Γραφική Παράσταση 12: MPA, αριθμός ενεργών χρηστών του συστήματος των οποίων η κλήση διακόπτεται, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 50%. Όπως βλέπουμε στο συγκεκριμένο μοντέλο οι γρήγοροι χρήστες είναι σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνοι για τη διαμόρφωση της τιμής της πιθανότητας διακοπής κλήσεων του συστήματος.



MPA - Dropped Users Fast (10% Fast), Dropped Users Slow (90% Slow)



Γραφική Παράσταση 13: MPA, αριθμός ενεργών χρηστών του συστήματος των οποίων η κλήση διακόπτεται, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 90%.

5.3.2 Συμπεράσματα

Πριν αρχίσει ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τον αλγόριθμο της Μέγιστης Ομαδοποίησης (Maximum Packing Algorithm), όπως εφαρμόζεται στα ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα, καλό είναι να θυμηθούμε τα ακόλουθα σημεία. Ο MPA διαχωρίζει σε μεγάλο βαθμό τους γρήγορους από τους αργούς χρήστες. Για την ακρίβεια οι γρήγοροι χρήστες εμφανίζονται αδικημένοι αφού δεν έχουν την δυνατότητα σε καμία περίπτωση να εξυπηρετηθούν από το μικροκυψελικό επίπεδο. Αντίθετα οι αργοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα υπερροϊκής κίνησης προς το μακροκυψελικό επίπεδο όταν δεν βρουν ελεύθερους πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο. Έτσι από τη στιγμή που εξαντλούνται οι δίαυλοι της μακροκυψέλης και για όση ώρα αυτοί είναι καταλυμένοι, όλοι οι νέοι γρήγοροι χρήστες θα αποκλείονται από το σύστημα. Ουσιαστικά έχουμε να κάνουμε με ένα μοντέλο που έχει ως σκοπό να εξυπηρετήσει περιοχές με μεγάλη πυκνότητα αργών χρηστών και πολύ μικρή πυκνότητα γρήγορων χρηστών.

Έχοντας τα προηγούμενα υπόψη μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις για τις επιδόσεις του MPA μετά τις προσομοιώσεις.

- Ξεκινώντας από την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability), παρατηρείται ότι αυξάνει με την αύξηση του φορτίου του συστήματος. Επίσης, για δεδομένο φορτίο συστήματος είναι μεγαλύτερη για μεγαλύτερο ποσοστό γρήγορων χρηστών (Γραφική Παράσταση 6). Κάτι τέτοιο είναι απολύτως αναμενόμενο αφού όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των γρήγορων χρηστών του συστήματος τόσο πιο σύντομα εξαντλούνται οι πόροι της μακροκυψέλης, και στη συνέχεια οι νέοι γρήγοροι χρήστες, μην μπορώντας να κάνουν διαφορετικά, απορρίπτονται μέχρι να βρεθεί ελεύθερος δίαυλος στη μακροκυψέλη. Ένα σημείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι ότι για ποσοστά αργών χρηστών 50% και 70% δεν αποκλείεται κανένας αργός



χρήστης από το σύστημα, ακόμα και για πολύ υψηλό φορτίο συστήματος (πάνω από 1000 erlangs ή 52 erlangs/cell). Ακόμα όμως και για ποσοστό αργών χρηστών 90% η συντριπτική πλειοψηφία των αποκλειόμενων χρηστών είναι γρήγοροι χρήστες (Γραφικές Παραστάσεις 10, 11). Δηλαδή, στην ουσία, ισχύει ότι:

Στο μοντέλο MPA, οι γρήγοροι χρήστες είναι αυτοί που σχεδόν αποκλειστικά συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των υψηλών πιθανοτήτων αποκλεισμού που παρατηρούμε σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα.

- Η πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability) ακολουθεί την ίδια πορεία με την πιθανότητα αποκλεισμού. Αυξάνει με την αύξηση του φορτίου του συστήματος και την αύξηση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών για δεδομένο φορτίο συστήματος (Γραφική Παράσταση 7). Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι χρήστες των οποίων διακόπτονται οι κλήσεις μετά από διαπομπή είναι κυρίως αργοί χρήστες που αλλάζουν κινητικότητα και συνεπώς ταχύτητα¹⁷ κατά τη διάρκεια της κλήσης τους με αποτέλεσμα να γίνουν γρήγοροι, και έτσι όταν περάσουν τα όρια της μικροκυψέλης τους είναι αναγκασμένοι, σύμφωνα με την τακτική εξυπηρέτησης του μοντέλου MPA, να ζητήσουν διαπομπή στο κορεσμένο (συνήθως) μακροκυβελικό επίπεδο (Γραφικές Παραστάσεις 12, 13). Συνεπώς, καταλήγουμε πάλι στο προηγούμενο συμπέρασμα, τροποποιημένο για την πιθανότητα διακοπής κλήσεων ως εξής:

Στο μοντέλο MPA, οι γρήγοροι χρήστες είναι αυτοί που σχεδόν αποκλειστικά συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των τιμών της πιθανότητας διακοπής κλήσεων. Επιπλέον, πρέπει να παρατηρηθεί, ότι αυτοί οι γρήγοροι χρήστες ήταν αρχικά, κατά τη γέννηση τους στο σύστημα, αργοί, οι οποίοι όμως άλλαξαν ταχύτητα κατά τη διάρκεια της κλήσης τους με αποτέλεσμα να γίνουν γρήγοροι, αφού οι γρήγοροι χρήστες που εξυπηρετούνται από την αρχή από το μακροκυβελικό επίπεδο δεν προκαλούν διαπομπές στο σύστημα μας.

- Όσον αφορά τον αριθμό των διαπομπών παρατηρείται ότι, αυξάνει φυσιολογικά, με την αύξηση του φορτίου του συστήματος. Επιπλέον, οι διαπομπές εμφανίζονται λιγότερες για μεγαλύτερο ποσοστό γρήγορων χρηστών (Γραφική Παράσταση 9). Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο κάτω από το συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας του μοντέλου αυτού. Δεδομένου ότι για μεγαλύτερα ποσοστά γρήγορων χρηστών (50% και 30% γρήγοροι χρήστες) η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές (Γραφική Παράσταση 8), αναπόφευκτα ο συνολικός αριθμός των νέων χρηστών του συστήματος που τελικά εξυπηρετούνται είναι πολύ μικρότερος από ότι για μικρότερα ποσοστά γρήγορων χρηστών (π.χ. 10% γρήγοροι). Ταυτόχρονα για ποσοστό αργών χρηστών 90% υπάρχουν πολύ περισσότεροι χρήστες στο μικροκυβελικό επίπεδο, από ότι για τις άλλες δύο περιπτώσεις

¹⁷ Και έτσι από αργοί χρήστες που ήταν κατά τη διάρκεια της αρχικής εξυπηρέτησης τους, γίνονται γρήγοροι χρήστες που στη συνέχεια ζητούν διαπομπή διασχίζοντας τα όρια της μικροκυψέλης αρχικής εξυπηρέτησης.



κατανομής κινητικότητας χρηστών. Καταλήγουμε δηλαδή στο ακόλουθο συμπέρασμα:

Γενικά, αφού στο σύστημα εξυπηρετούνται τελικά πολύ λιγότεροι νέοι χρήστες για μεγαλύτερο ποσοστό γρήγορων χρηστών, είναι φυσικό επακόλουθο ο αριθμός των χρηστών που θα επιχειρούν διαπομπή στη διάρκεια της προσομοίωσης να είναι επίσης μικρότερος για τα μεγαλύτερα ποσοστά γρήγορων χρηστών. Ταυτόχρονα υπάρχουν και πολύ λιγότεροι αργοί χρήστες, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι κατά κύριο λόγο για τις διαπομπές, αφού οι γρήγοροι χρήστες που εξυπηρετούνται από το μακροκυβελικό επίπεδο δεν προκαλούν διαπομπές.

5.4 Adaptive Channel Partitioning

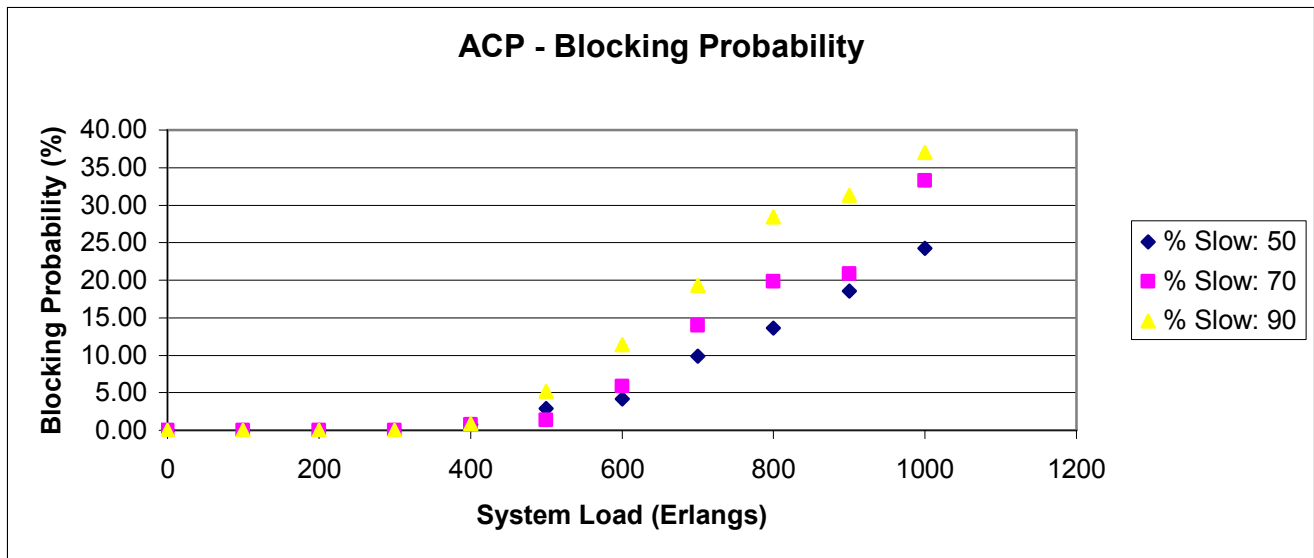
Το τρίτο μοντέλο αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων που εξετάστηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής είναι το Adaptive Channel Partitioning. Το μοντέλο αυτό προτείνει έναν απόλυτο διαχωρισμό των χρηστών σε δύο ομάδες κινητικότητας ως προς την εξυπηρέτησή τους. Ταυτόχρονα όμως συνδυάζει τον παραπάνω απόλυτο διαχωρισμό με μια διαδικασία δυναμικής ανταλλαγής πόρων μεταξύ των δύο επιπέδων του συστήματος.

Πιο αναλυτικά, οι χρήστες χωρίζονται σε δύο ομάδες ανάλογα με την ταχύτητά τους. Ο χωρισμός γίνεται με βάση ένα κατάλληλα προεπιλεγμένο κατώφλι ταχύτητας. Οι αργοί χρήστες εξυπηρετούνται αποκλειστικά από το μικροκυβελικό επίπεδο, ενώ αντίστοιχα, οι γρήγοροι χρήστες αποκλειστικά από το μακροκυβελικό επίπεδο. Η καινοτομία που εισάγει το μοντέλο ACP είναι η δυναμική ανταλλαγή πόρων μεταξύ των δύο επιπέδων του ιεραρχικού συστήματος. Αρχικά το διαθέσιμο φάσμα χωρίζεται σε οκτώ ομάδες. Εισάγεται η έννοια της θέσης του διαμερισμού, η οποία δείχνει πόσες ομάδες διαύλων αντιστοιχούν σε κάθε επίπεδο του συστήματος. Αρχικά ο διαμερισμός βρίσκεται στη θέση 1, που είναι και η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει. Συνεπώς αρχικά έχουμε μια ομάδα διαύλων που αντιστοιχεί στο μακροκυβελικό επίπεδο και επτά στο μικροκυβελικό. Η μεγαλύτερη θέση του διαμερισμού είναι η θέση 7, οπότε επτά ομάδες διαύλων αντιστοιχούν στο μακροκυβελικό επίπεδο και μία στο μικροκυβελικό. Η διαδικασία με την οποία αποφασίζεται αν θα μετακινηθεί η θέση του διαμερισμού και προς τα ποια κατεύθυνση, γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται η αναμενόμενη τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων του συστήματος για κάθε μια από τις τρεις επιτρεπτές ενέργειες ως προς τη θέση του διαμερισμού. Οι ενέργειες αυτές είναι: α) η θέση του διαμερισμού να παραμείνει σταθερή, β) η θέση του διαμερισμού να αυξηθεί, έτσι ώστε το μακροκυβελικό επίπεδο να αυξήσει τους διαθέσιμους πόρους του και γ) η θέση του διαμερισμού να μειωθεί έτσι ώστε να αυξηθούν οι διαθέσιμοι πόροι του μικροκυβελικού επιπέδου. Το σύστημα επιλέγει τελικά τη μετακίνηση που αναμένεται να ελαχιστοποιήσει την τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων.

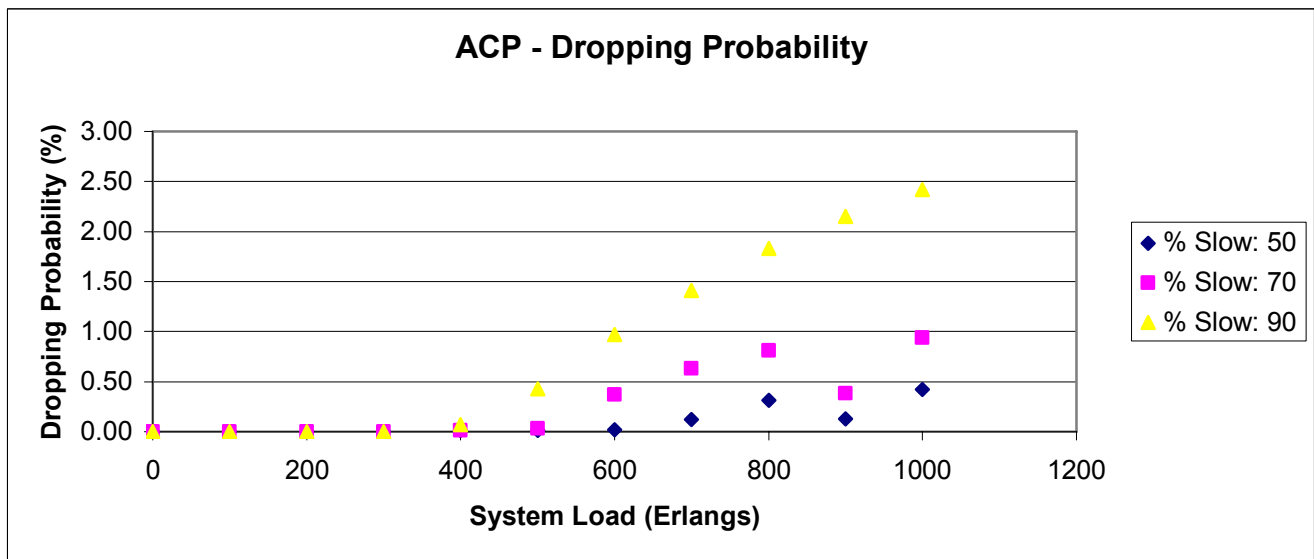
5.4.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων



Η εκτέλεση των προσομοιώσεων έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



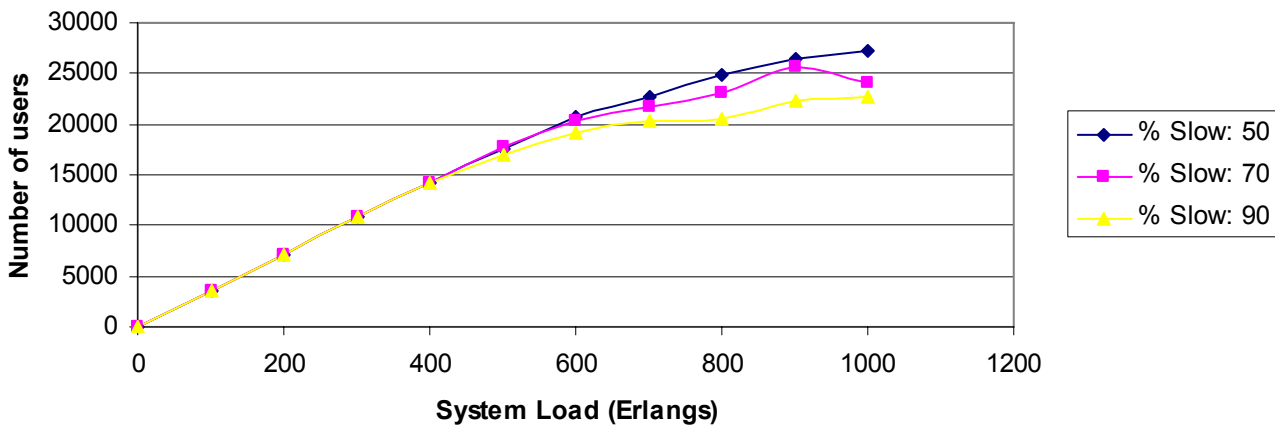
Γραφική Παράσταση 14: ACP, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.



Γραφική Παράσταση 15: ACP, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.

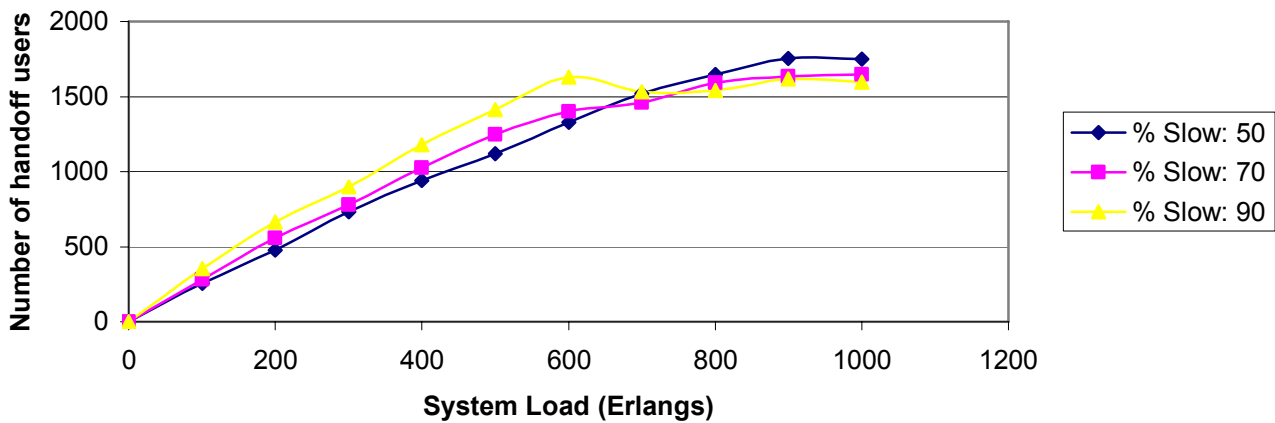


ACP - New Users



Γραφική Παράσταση 16: ACP, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.

ACP - Handoff Users



Γραφική Παράσταση 17: ACP, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διακοπή στο σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.

A/A	System Load (Erlangs)	Final Partition Position
1	0	1
2	100	1
3	200	1
4	300	2
5	400	3
6	500	3
7	600	3
8	700	3



9	800	3
10	900	4
11	1000	5

Πίνακας VII: Η θέση του διαμερισμού στο τέλος της προσομοίωσης για κατανομή κινητικότητας χρηστών 50% αργοί – 50% γρήγοροι.

A/A	System Load (Erlangs)	Final Partition Position
1	0	1
2	100	1
3	200	1
4	300	1
5	400	1
6	500	3
7	600	1
8	700	3
9	800	3
10	900	3
11	1000	2

Πίνακας VIII: Η θέση του διαμερισμού στο τέλος της προσομοίωσης για κατανομή κινητικότητας χρηστών 70% αργοί – 30% γρήγοροι.

A/A	System Load (Erlangs)	Final Partition Position
1	0	1
2	100	1
3	200	1
4	300	1
5	400	1
6	500	1
7	600	1
8	700	1
9	800	1
10	900	1
11	1000	1

Πίνακας IX: Η θέση του διαμερισμού στο τέλος της προσομοίωσης για κατανομή κινητικότητας χρηστών 90% αργοί – 10% γρήγοροι.

5.4.2 Συμπεράσματα

Μετά από την εξέταση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων μπορούν να εξαχθούν διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τις επιδόσεις και τη συμπεριφορά του μοντέλου Adaptive Channel Partitioning. Στο σημείο αυτό, είναι χρήσιμο να θυμηθούμε ότι το μοντέλο αυτό διαχωρίζει εντελώς τους αργούς από τους γρήγορους χρήστες. Έτσι οι γρήγοροι χρήστες εξυπηρετούνται αποκλειστικά από το



μακροκυψελικό επίπεδο και οι αργοί αποκλειστικά από το μικροκυψελικό επίπεδο. Βέβαια στην περίπτωση αυτού του μοντέλου υπάρχει μια δυναμική σχέση μεταξύ των διαύλων που ανήκουν σε κάθε επίπεδο, ο αριθμός των οποίων μπορεί να αυξομειώνεται προς όφελος του επιπέδου που τους έχει περισσότερο ανάγκη.

- Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι το μοντέλο αυτό εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις από το MPA, ενώ υστερεί έναντι του RoD όσον αφορά την πιθανότητα διακοπής νέων κλήσεων (dropping probability), και την πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων (dropping probability). Η πιο σημαντική, όμως, παρατήρηση είναι η κοινή πορεία που ακολουθούν τα μοντέλα RoD και ACP όσον αφορά τη σχέση ανάμεσα στις πιθανότητες αποκλεισμού και διακοπής των κλήσεων και τα ποσοστά αργών και γρήγορων χρηστών (Γραφικές Παραστάσεις 1, 2, 14, 15). Πιο συγκεκριμένα όπως και στο RoD, έτσι και στο ACP χαμηλότερο ποσοστό αργών χρηστών στο σύνολο των χρηστών του συστήματος συνεπάγεται χαμηλότερες τιμές για τις πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων και διακοπής των κλήσεων. Για το μοντέλο ACP κάτι τέτοιο αποδίδεται στο ότι όσο μειώνεται το ποσοστό (και συνεπώς ο εξυπηρετούμενος αριθμός) των αργών χρηστών στο σύστημα τόσο το μοντέλο έχει μεγαλύτερη ευελιξία ώστε να ρυθμίσει τη θέση του διαμερισμού και άρα να μοιράσει αποτελεσματικά τους διαύλους μεταξύ των δύο επιπέδων. Αυτό γίνεται με τη μετακίνηση του διαμερισμού σε μεγαλύτερη θέση, κίνηση η οποία παρέχει στο μακροκυψελικό επίπεδο περισσότερους πόρους και συνεπακόλουθα τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει περισσότερους γρήγορους χρήστες. Αντίθετα όταν, για παράδειγμα, το ποσοστό των αργών χρηστών είναι 90%, παρόλο που το μοντέλο θα επιθυμούσε να μειώσει τη θέση του διαμερισμού ώστε να δώσει περισσότερους διαύλους στο μικροκυψελικό επίπεδο για να εξυπηρετηθούν περισσότεροι αργοί χρήστες, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει αφού η ελάχιστη θέση του διαμερισμού είναι η 1, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται πάντα ένας ελάχιστος αριθμός διαύλων και για το μακροκυψελικό επίπεδο. Άρα λοιπόν από τα προηγούμενα προκύπτει ότι:

Το μοντέλο ACP εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις για αυξημένα ποσοστά γρήγορων χρηστών, διότι για αυτά τα ποσοστά του παρέχεται μεγαλύτερη ευχέρεια στο να μεταβάλλει τη θέση του διαμερισμού, και άρα τον αριθμό των διαύλων σε κάθε επίπεδο του συστήματος, τροφοδοτώντας με περισσότερους διαύλους το επίπεδο που τους έχει μεγαλύτερη ανάγκη.

- Με αναφορά στη Γραφική Παράσταση 16, μπορεί να παρατηρηθεί ότι το μοντέλο ACP, όπως και το RoD, λόγω του ότι προσαρμόζεται καλύτερα σε αυξημένο ποσοστό γρήγορων χρηστών, μπορεί τελικά να εξυπηρετεί μεγαλύτερο αριθμό χρηστών στη διάρκεια μιας ώρας όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των γρήγορων χρηστών του συστήματος. Η διαφορά, όμως ανάμεσα στους εξυπηρετούμενους χρήστες είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη που υπάρχει στο RoD, κυρίως διότι το τελευταίο μοντέλο εμφανίζει πολύ καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τις πιθανότητες αποκλεισμού και διακοπής κλήσεων.
- Η τελευταία παρατήρηση που πρέπει να γίνει για το μοντέλο ACP είναι σχετικά με τη θέση του διαμερισμού. Ως γνωστόν ο διαμερισμός μπορεί να πάρει τις τιμές 1 έως 7, δίνοντας αντίστοιχα το πολύ επτά ομάδες διαύλων σε



ένα επίπεδο και τουλάχιστον μία στο άλλο. Η θέση του εξαρτάται τόσο από το προσφερόμενο φορτίο του συστήματος όσο και από την κατανομή αργών – γρήγορων χρηστών στο σύστημα. Παρατηρείται ότι για ποσοστό αργών χρηστών 90%, καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης η θέση του διαμερισμού διατηρείται στη θέση 1, αφού το μικροκυβελικό επίπεδο θέλει να έχει στη διάθεση του όσο το δυνατόν περισσότερους διαύλους για να εξυπηρετήσει τον αυξημένο αριθμό αργών χρηστών του συστήματος. Αντίθετα για ποσοστό αργών χρηστών 50% παρατηρείται ότι αυξανόμενου του φορτίου του συστήματος αυξάνεται σιγά σιγά και η τελική θέση του διαμερισμού, η οποία για φορτίο συστήματος 1000 erlangs (52 erlangs/cell) είναι τελικά η θέση 5. Έτσι το μακροκυβελικό επίπεδο αποκτάει τους επιπλέον διαύλους που χρειάζεται για να εξυπηρετήσει τον αυξημένο αριθμό γρήγορων χρηστών του συστήματος.

5.5 Velocity-based Assignment Strategy

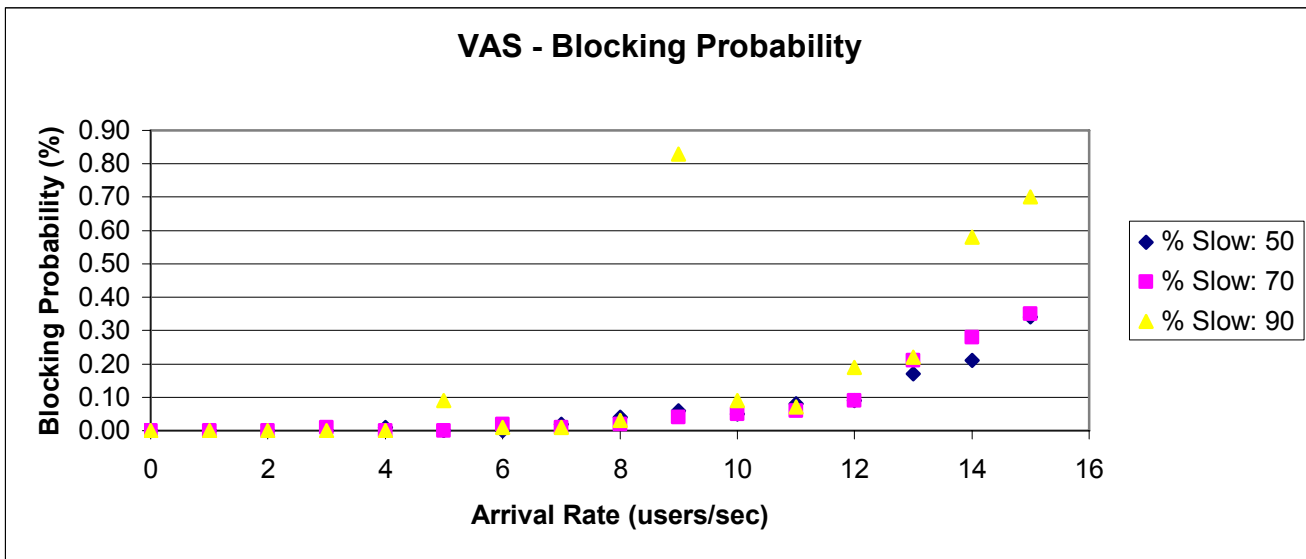
Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πρώτου από τα μοντέλα που προορίζονται για την εξυπηρέτηση υπηρεσιών δεδομένων. Η κύρια διαφορά αυτών των μοντέλων έναντι των προηγούμενων είναι ότι βασίζονται σε μεταγωγή πακέτου και όχι μεταγωγή κυκλώματος για την εξυπηρέτηση των χρηστών.

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του μοντέλου VAS. Το μοντέλο αυτό διαχωρίζει τους χρήστες σε δύο ομάδες ανάλογα με την ταχύτητά τους. Οι γρήγοροι χρήστες εξυπηρετούνται αποκλειστικά από το μακροκυβελικό επίπεδο και οι αργοί αποκλειστικά από το μικροκυβελικό. Η συγκεκριμένη στρατηγική εξυπηρέτησης ακολουθείται με στόχο τη μείωση του αριθμού των διαπομπών στο σύστημα.

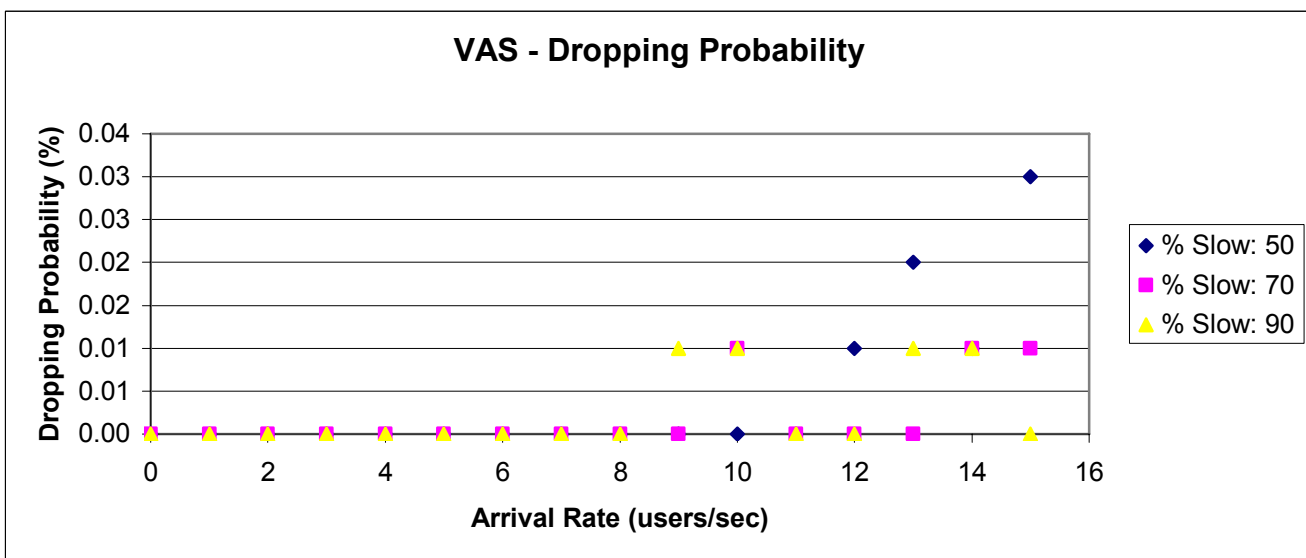
Η καινοτομία που εισάγει το μοντέλο αυτό σε σχέση με όλα τα προηγούμενα που στηρίζονται στην κινητικότητα των χρηστών για να καθορίσουν τη στρατηγική εξυπηρέτησης, είναι ότι ο διαχωρισμός των χρηστών σε αργούς και γρήγορους δεν γίνεται με βάση ένα προκαθορισμένο κατώφλι ταχύτητας. Αντίθετα το κατώφλι της ταχύτητας προσαρμόζεται δυναμικά στις απαιτήσεις του συστήματος (π.χ. φορτίο, κατανομή κινητικότητας των χρηστών). Έτσι ανά τακτά χρονικά διαστήματα υπολογίζεται η νέα τιμή του κατωφλιού μέσα από μια στοχαστική διαδικασία σύγκλισης.

5.5.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

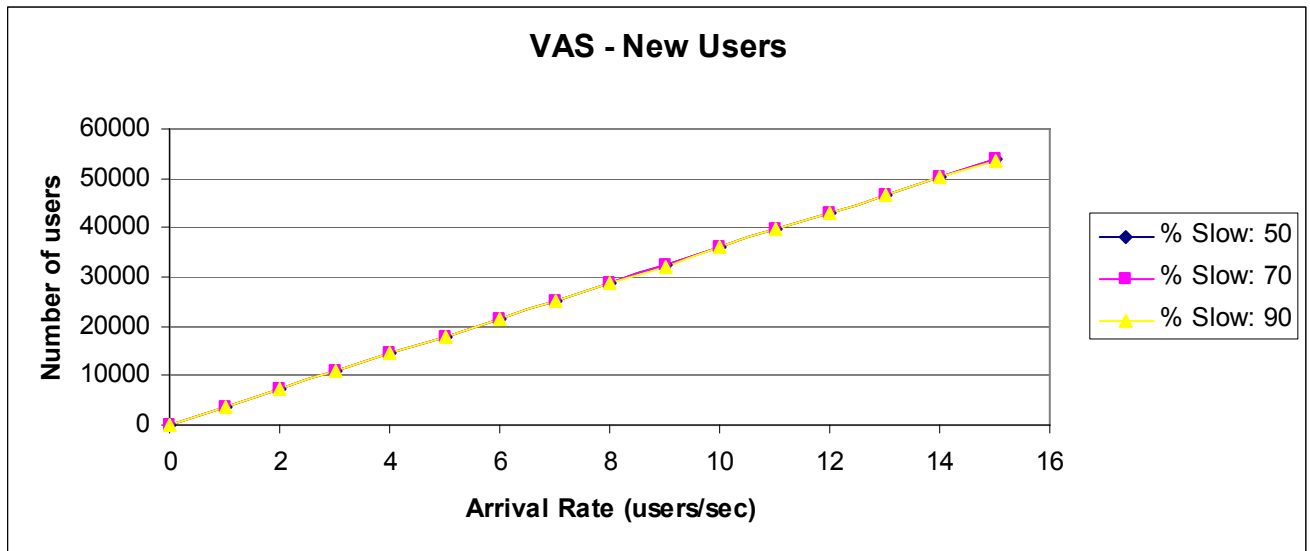
Η εκτέλεση των προσομοιώσεων έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



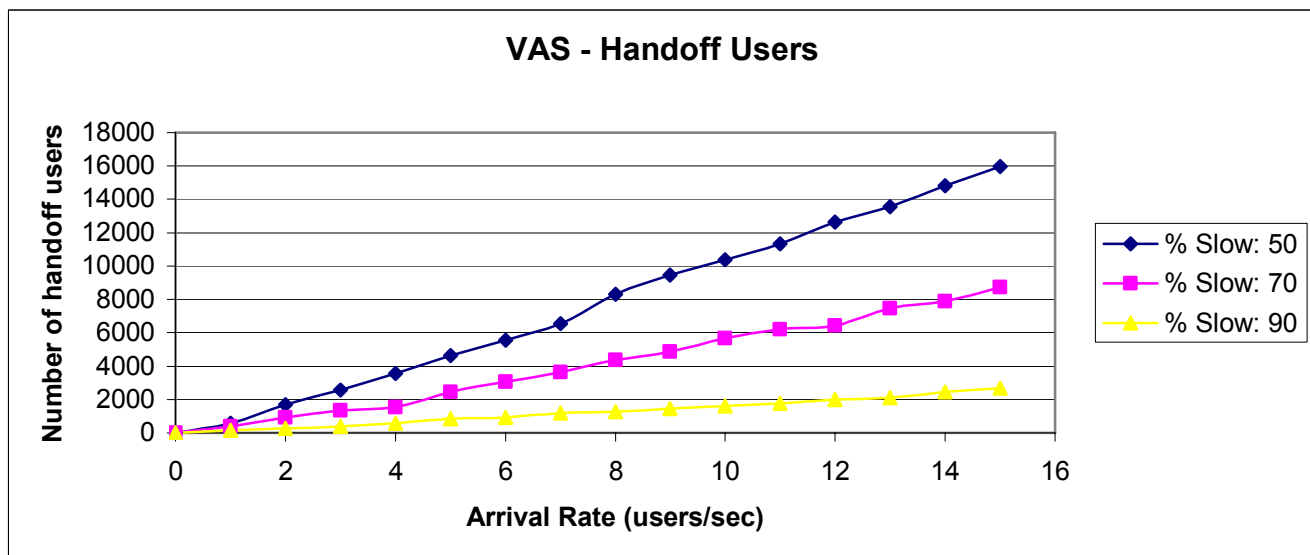
Γραφική Παράσταση 18: VAS, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.



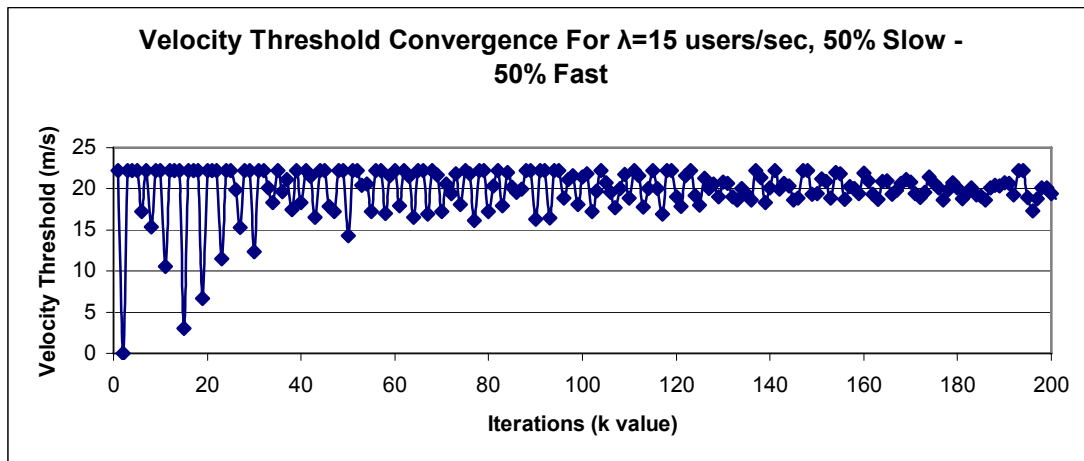
Γραφική Παράσταση 19: VAS, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.



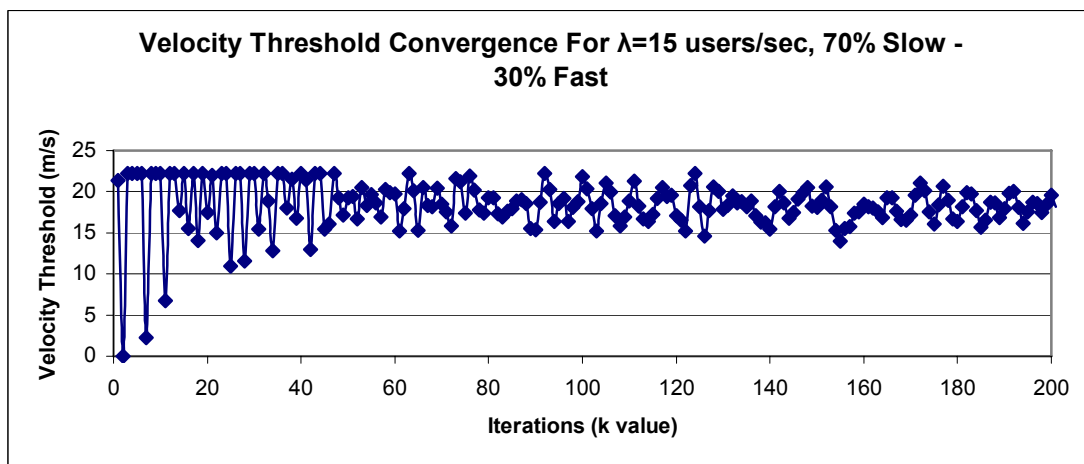
Γραφική Παράσταση 20: VAS, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.



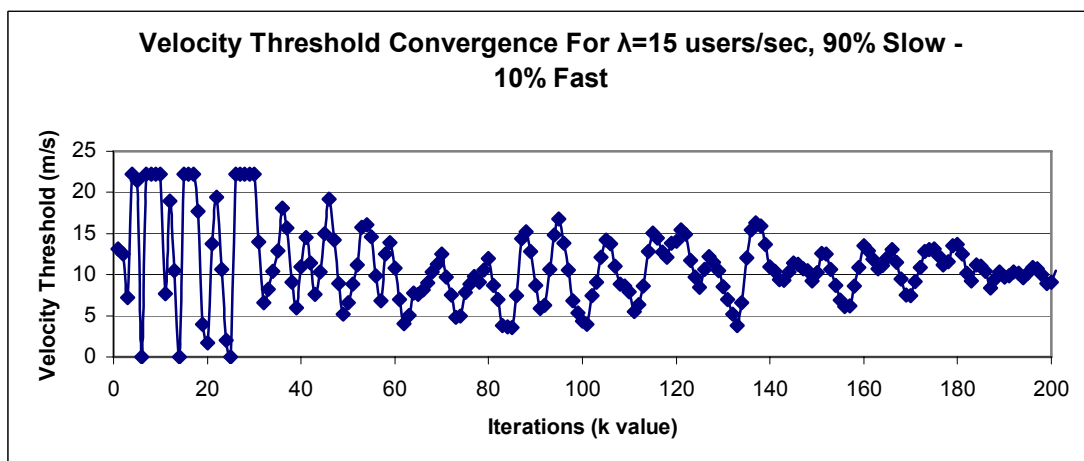
Γραφική Παράσταση 21: VAS, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διακοπή στο σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.



Γραφική Παράσταση 22: VAS, σύγκλιση κατωφλιού ταχύτητας.



Γραφική Παράσταση 23: VAS, σύγκλιση κατωφλιού ταχύτητας.



Γραφική Παράσταση 24: VAS, σύγκλιση κατωφλιού ταχύτητας.

5.5.2 Συμπεράσματα



Από τη μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα όσον αφορά το μοντέλο VAS.

- Η αρχή θα γίνει με τις Γραφικές Παραστάσεις 18 και 19 που απεικονίζουν την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και την πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability) αντίστοιχα. Σχετικά με την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων η πρώτη παρατήρηση είναι ότι αυτή αυξάνει με την αύξηση του προσφερόμενου φορτίου. Η πιο σημαντική παρατήρηση όμως είναι ότι το μοντέλο VAS έχει σχεδόν σταθερή απόδοση, ανεξάρτητα από τα ποσοστά αργών – γρήγορων χρηστών του συστήματος. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο, αφού το κατώφλι ταχύτητας με το οποίο αποφασίζεται από ποίο επίπεδο θα εξυπηρετηθεί ένας χρήστης προσαρμόζεται δυναμικά από το μοντέλο. Δηλαδή:

Το μοντέλο VAS με την on-line προσαρμογή του κατωφλιού ταχύτητας του συστήματος, καταφέρνει να παρέχει στο σύστημα μια σταθερή απόδοση όσον αφορά την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, η οποία είναι σχεδόν ανεξάρτητη των ποσοστών αργών – γρήγορων χρηστών του συστήματος.

Όσον αφορά την πιθανότητα διακοπής κλήσεων, η πρώτη σημαντική παρατήρηση είναι οι πολύ μικρές τιμές που αυτή λαμβάνει. Αυτές οφείλονται μεταξύ άλλων στο πρότυπο CDMA/HDR που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση του συστήματος μετάδοσης δεδομένων. Όταν ένας χρήστης κάνει αίτηση για διαπομπή από μια κυψέλη σε μια γειτονική της, αφού εγκαταλείψει την αρχική κυψέλη του θα βρεθεί με πολύ μεγάλη πιθανότητα στον εξωτερικό δακτύλιο της νέας κυψέλης. Έτσι θα απαιτήσει από την νέα κυψέλη έναν μικρό ρυθμό μετάδοσης (βλέπε Πίνακες II και III), τον οποίο η κυψέλη θα μπορεί να εκχωρήσει στο χρήστη με μεγάλη πιθανότητα. Μοναδική περίπτωση που θα αναγκάσει την νέα κυψέλη να απορρίψει το χρήστη διαπομπής είναι να είναι πλήρως κορεσμένη. Επίσης πλέον το σύστημα δεν έχει χρήστες ομιλίας που απασχολούν το σύστημα κατά μέσο όρο 100 sec. Αντίθετα έχει χρήστες δεδομένων οι οποίοι μεταφέρουν κατά μέσο όρο 2500 Mbit πληροφορίας και συνεπώς λόγω των εφικτών ρυθμών μετάδοσης απασχολούν το σύστημα για πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα. Το τελευταίο δικαιολογεί και τις χαμηλότερες τιμές πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων και διακοπής κλήσεων των μοντέλων δεδομένων σε σχέση με τα μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής.

- Στη συνέχεια με αναφορά στην Γραφική Παράσταση 21 και λαμβάνοντας υπόψη τις Γραφικές Παραστάσεις 22, 23 και 24, οι οποίες δείχνουν ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό των γρήγορων χρηστών του συστήματος αυξάνεται και η τιμή του κατωφλιού ταχύτητας του συστήματος, πράγμα που σημαίνει ότι στο μικροκυψελικό επίπεδο υπάρχει μεγάλος αριθμός γρήγορα κινούμενων χρηστών (με ταχύτητες αρκετά πάνω από 5 km/h), παρατηρείται ότι, σαν λογικό επακόλουθο, ο αριθμός των διαπομπών αυξάνει με την αύξηση του ποσοστού των γρήγορων χρηστών.
- Τέλος θα εξεταστούν οι Γραφικές Παραστάσεις 22, 23 και 24. Αυτές, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, απεικονίζουν τη διαδικασία σύγκλισης του



κατωφλιού ταχύτητας με το πέρασμα του χρόνου, για σταθερό φορτίο συστήματος. Παρατηρείται ότι η στοχαστική διαδικασία με την οποία υπολογίζεται κάθε φορά το κατώφλι ταχύτητας πράγματι συγκλίνει σε ένα κατάλληλο κατώφλι ταχύτητας ανάλογα με το ποσοστό αργών – γρήγορων χρηστών του συστήματος. Η γενική διαπίστωση για την τιμή σύγκλισης είναι ότι αυτή αυξάνει – όπως θα έπρεπε, εξάλλου – αυξανόμενου του ποσοστού των γρήγορων χρηστών του συστήματος.

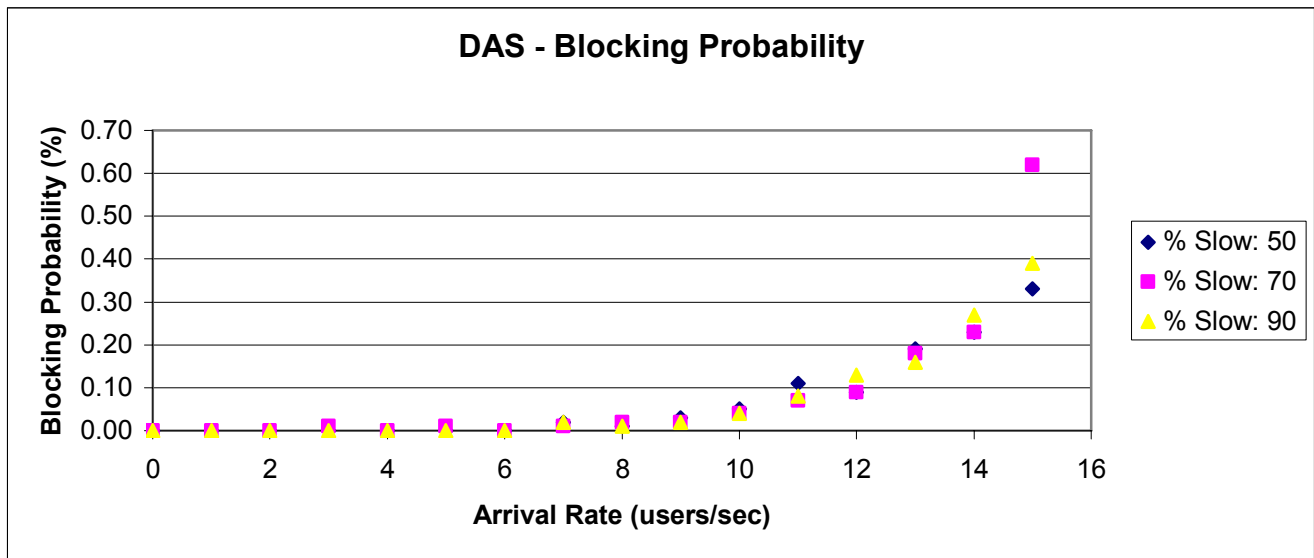
5.6 Data-based Assignment Strategy

Το δεύτερο μοντέλο που στηρίζεται στη μεταγωγή πακέτου είναι το DAS. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει μια ουσιώδη διαφορά σε σχέση με όλα τα προηγούμενα που μελετήθηκαν. Αν και αυτό διαχωρίζει τους χρήστες σε δύο ομάδες, ο διαχωρισμός αυτός δεν γίνεται με βάση την ταχύτητα των χρηστών, αλλά με βάση τη μεταφερόμενη ποσότητα δεδομένων των χρηστών. Στη θέση του κατωφλιού ταχύτητας εισάγεται ένα κατώφλι δεδομένων. Οι χρήστες που έχουν μεγαλύτερη ποσότητα δεδομένων προς μεταφορά από το κατώφλι εξυπηρετούνται από το μικροκυψελικό επίπεδο, λόγω της μεγάλης χωρητικότητας του η οποία συνεπάγεται και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης για τους χρήστες που εξυπηρετούνται από αυτό. Έτσι ελαχιστοποιείται ο χρόνος παραμονής τους στο σύστημα, με αποτέλεσμα ακόμα και οι γρήγοροι χρήστες να μην προλαβαίνουν να κάνουν μεγάλο αριθμό διαπομπών. Οι χρήστες με μικρότερη μεταφερόμενη ποσότητα δεδομένων από το κατώφλι εξυπηρετούνται από το μακροκυψελικό επίπεδο. Δηλαδή το μακροκυψελικό επίπεδο λειτουργεί περισσότερο σαν εξυπηρετητής υπερροϊκής κίνησης. Το κατώφλι δεδομένων προσαρμόζεται δυναμικά στις παραμέτρους του συστήματος μέσω μιας στοχαστικής διαδικασίας σύγκλισης, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το μοντέλο VAS.

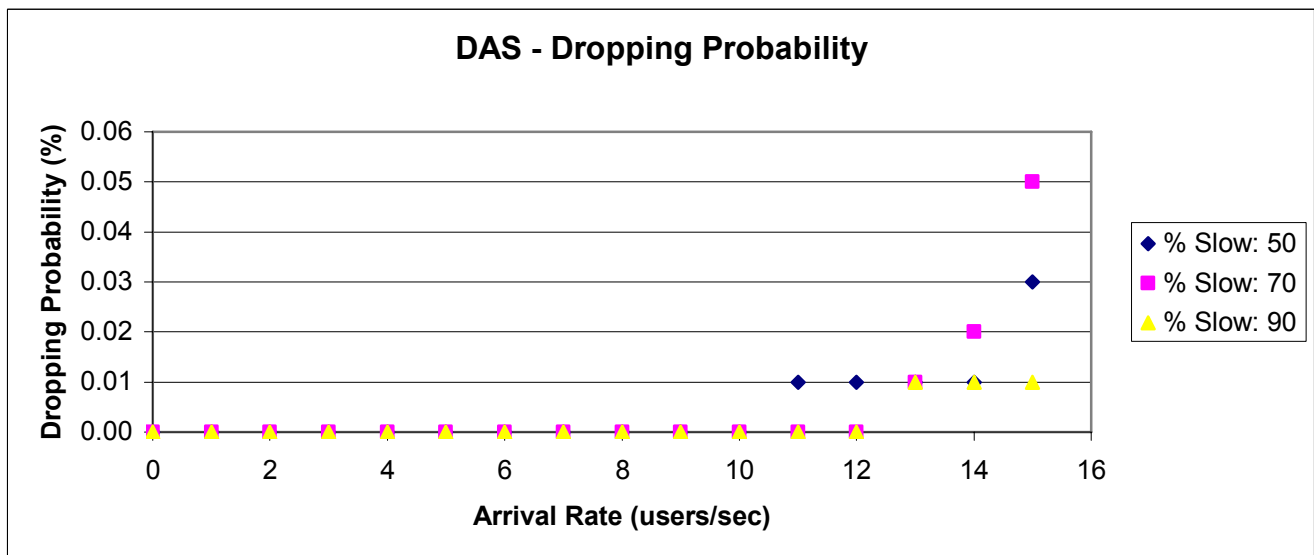
Από τα προηγούμενα γίνεται προφανές ότι παρόλο που το μοντέλο DAS εμφανίζει μια εντελώς διαφορετική φιλοσοφία στο διαχωρισμό των χρηστών σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα, τελικά καταφέρνει να επιλύσει τα ίδια βασικά προβλήματα που κλήθηκαν να εξυπηρετήσουν τα μοντέλα εξυπηρέτησης κλήσεων σε ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα καταφέρνει να κρατήσει χαμηλά τον αριθμό των διαπομπών, αφού οι χρήστες με μεγάλη ποσότητα δεδομένων εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν γρηγορότερα από το σύστημα, ενώ ταυτόχρονα εξυπηρετεί υπερροϊκή κίνηση μέσω του μακροκυψελικού επιπέδου.

5.6.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

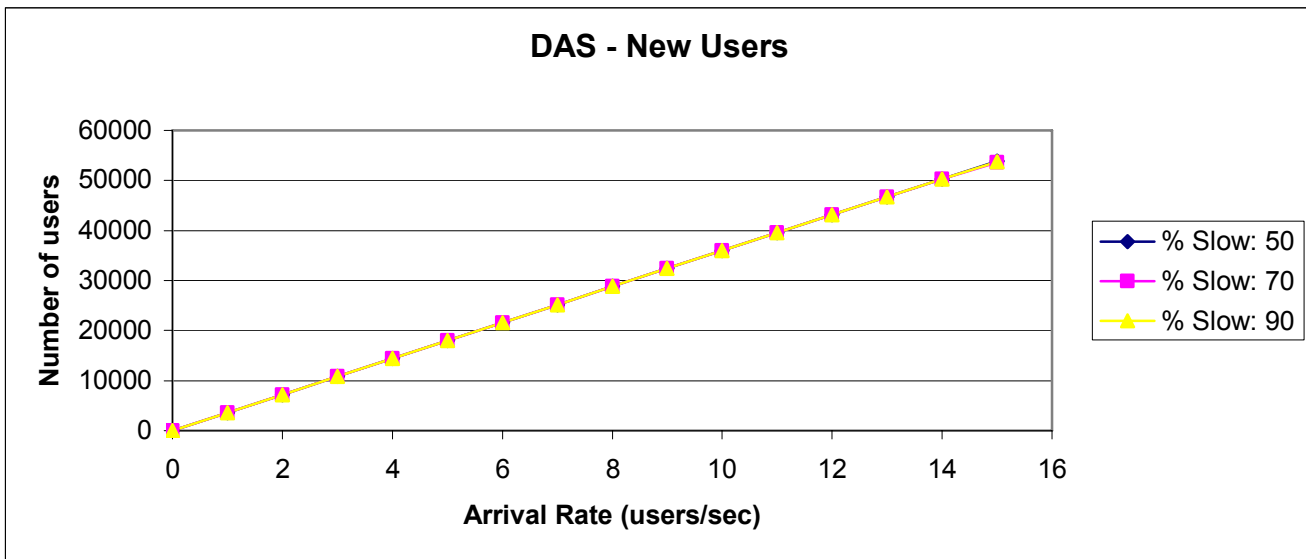
Η εκτέλεση των προσομοιώσεων έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



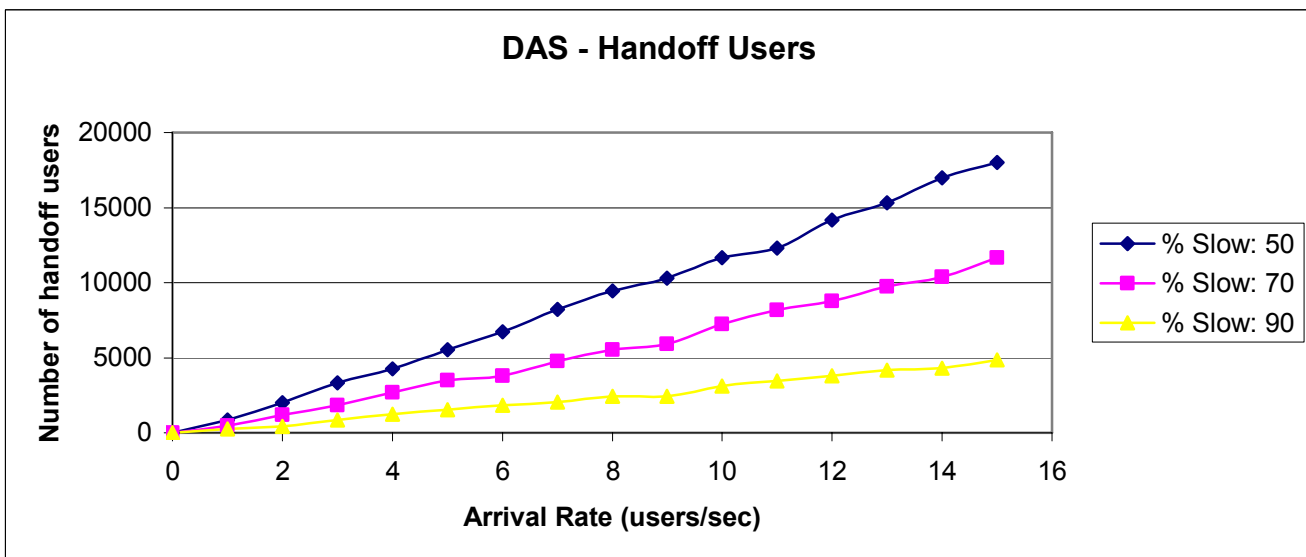
Γραφική Παράσταση 25: DAS, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.



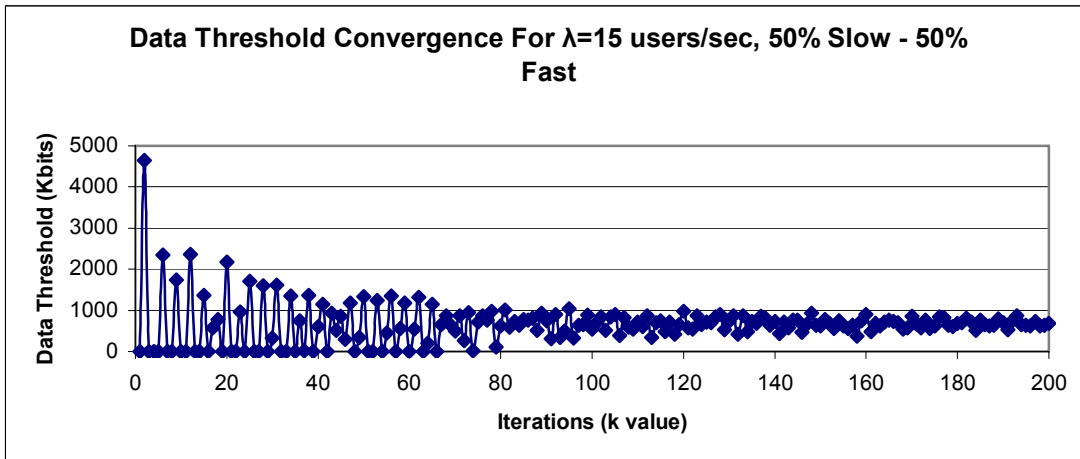
Γραφική Παράσταση 26: DAS, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.



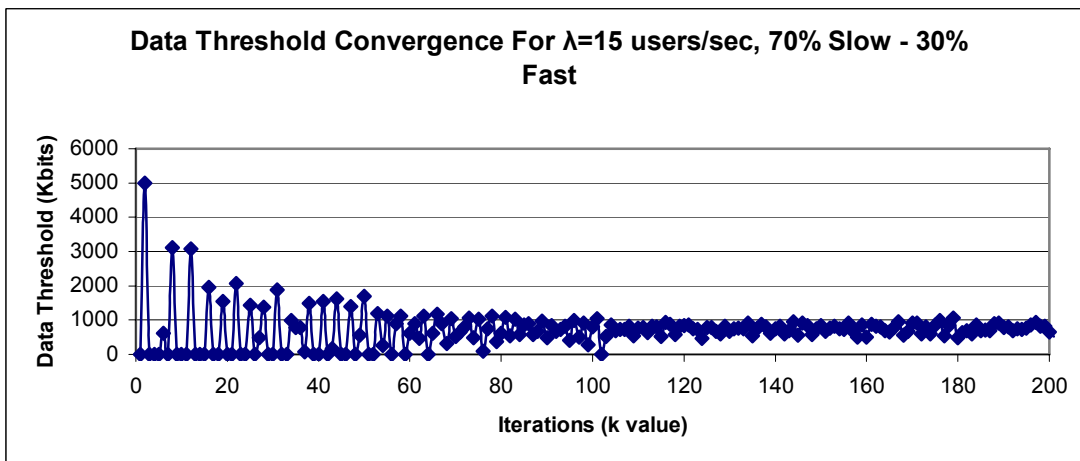
Γραφική Παράσταση 27: DAS, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.



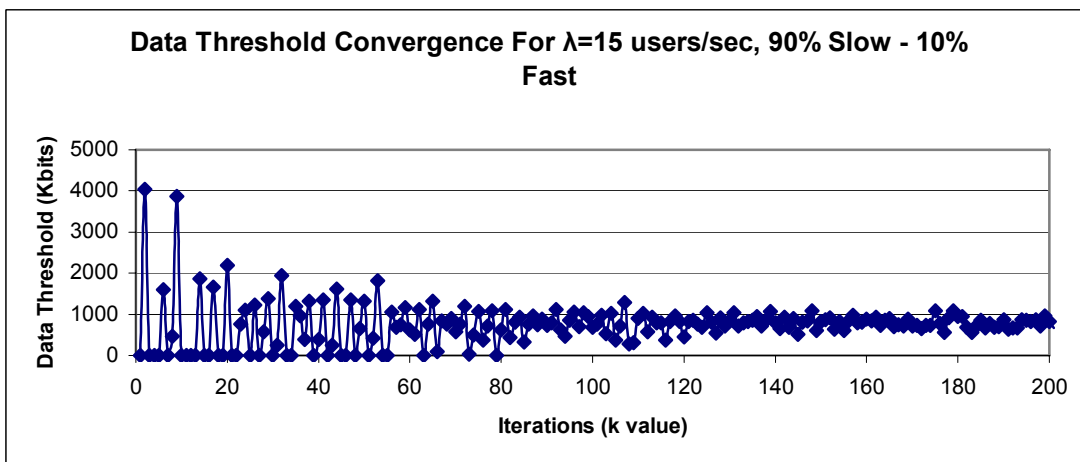
Γραφική Παράσταση 28: DAS, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διακοπή στο σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.



Γραφική Παράσταση 29: DAS, σύγκλιση κατωφλιού δεδομένων.



Γραφική Παράσταση 30: DAS, σύγκλιση κατωφλιού δεδομένων.



Γραφική Παράσταση 31: DAS, σύγκλιση κατωφλιού δεδομένων.

5.6.2 Συμπεράσματα



Από τη μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα όσον αφορά το μοντέλο DAS.

- Σχετικά με την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων η πρώτη παρατήρηση είναι ότι αυτή αυξάνει με την αύξηση του προσφερόμενου φορτίου (Γραφική Παράσταση 25). Η πιο σημαντική παρατήρηση όμως είναι, ότι το μοντέλο DAS, όπως και το VAS, έχει σχεδόν σταθερή απόδοση, ανεξάρτητα από τα ποσοστά αργών – γρήγορων χρηστών του συστήματος. Η παρατήρηση αυτή έχει μεγάλη σπουδαιότητα, αφού βλέπουμε ότι το μοντέλο αυτό καταφέρνει να εξυπηρετήσει πολύ αποδοτικά διαφορετικές ως προς την ταχύτητά τους κατηγορίες χρηστών δεδομένων (εμφανίζοντας μάλιστα παρόμοιες επιδόσεις με το VAS), χωρίς όμως να ενδιαφέρεται ή να προσπαθεί να υπολογίσει την ταχύτητα των χρηστών, μια διαδικασία που από μόνη της εισάγει πολυπλοκότητα σε ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Αντίθετα, το μοντέλο DAS χρησιμοποιεί μια πληροφορία την οποία ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας μπορεί εύκολα να προσδιορίσει, και δεν είναι άλλη από την ποσότητα των μεταφερόμενων δεδομένων. Τελικά συμπεραίνεται ότι:

Το μοντέλο DAS με την on-line προσαρμογή του κατωφλιού ταχύτητας του συστήματος, καταφέρνει να παρέχει στο σύστημα μια σταθερή απόδοση όσον αφορά την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων, η οποία είναι εντελώς ανεξάρτητη των ποσοστών αργών – γρήγορων χρηστών του συστήματος.

Αυτή η ανεξαρτησία από την κατανομή κινητικότητας των χρηστών οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι άσχετα από αυτήν, οι χρήστες του συστήματος ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή όσον αφορά τη μεταφερόμενη ποσότητα δεδομένων.

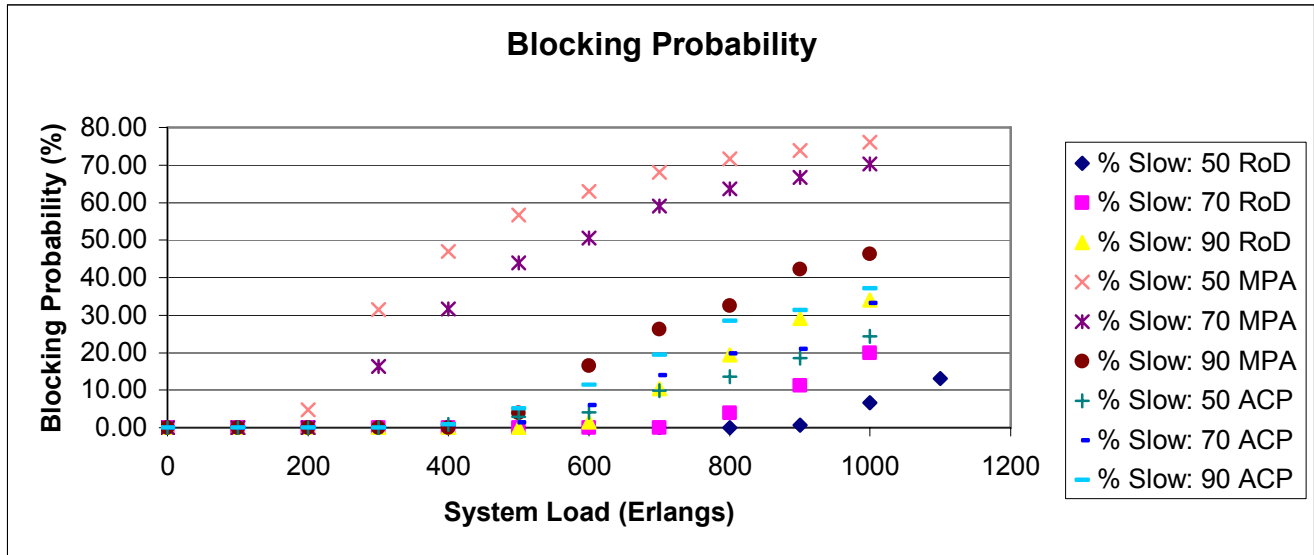
Όσον αφορά την πιθανότητα διακοπής κλήσεων, παρατηρείται ότι παρουσιάζει μια αυξητική τάση αυξανόμενου του φορτίου. Επιπλέον, όπως γίνεται και για το μοντέλο VAS, έτσι και στο DAS η πιθανότητα αποκλεισμού παίρνει πολύ μικρές τιμές. Αυτό οφείλεται ακριβώς στον ίδιο λόγο που εξηγήθηκε στην αντίστοιχη ενότητα για το μοντέλο VAS.

- Από τη Γραφική Παράσταση 28, η οποία απεικονίζει τις διαπομπές του συστήματος, παρατηρούμε ότι αυτές εμφανίζονται αυξημένες για μεγαλύτερα ποσοστά γρήγορων χρηστών. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο, αφού το μοντέλο διαχωρίζει τους χρήστες με βάση τα δεδομένα τους. Έτσι όσο αυξάνεται ο αριθμός των γρήγορων χρηστών του συστήματος, θα αυξάνεται αναπόφευκτα ο αριθμός των γρήγορων χρηστών στο μικροκυβελικό επίπεδο, οι οποίοι με τη σειρά τους θα προκαλούν αυξημένο αριθμό διαπομπών σε αυτό.
- Τέλος, μπορεί να παρατηρηθεί ότι και σε αυτό το μοντέλο, για σταθερό φορτίο συστήματος, το κατώφλι δεδομένων τείνει σε μια ιδανική τιμή (Γραφικές Παραστάσεις 29, 30, 31). Η τιμή αυτή εμφανίζεται ελαφρώς διαφοροποιημένη για διαφορετικά ποσοστά αργών – γρήγορων χρηστών.

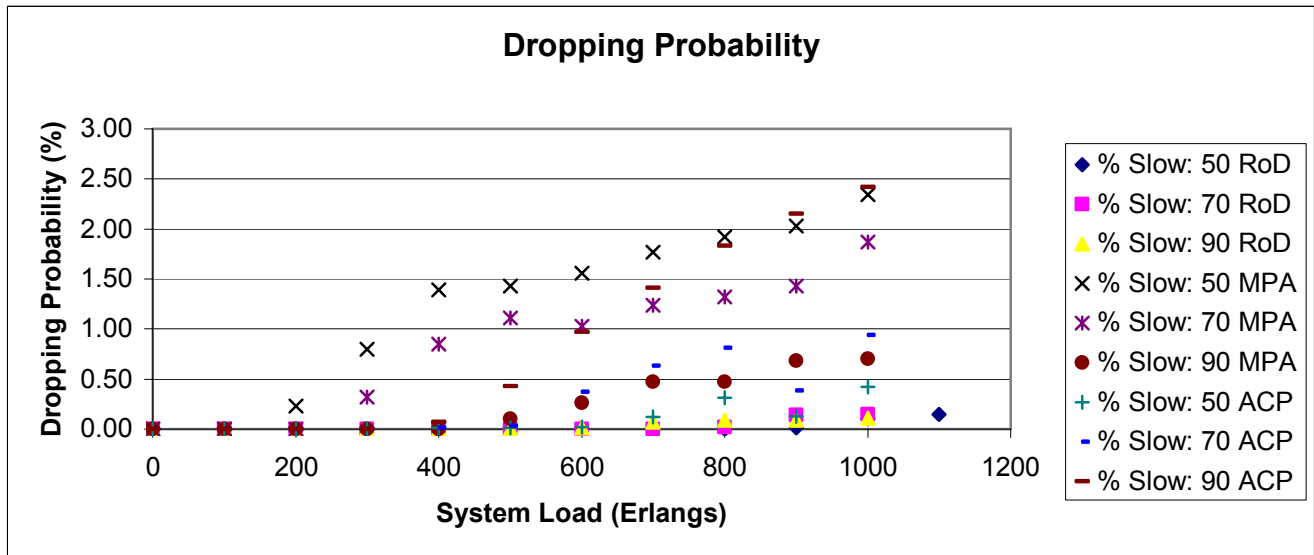
5.7 Συγκριτική Μελέτη



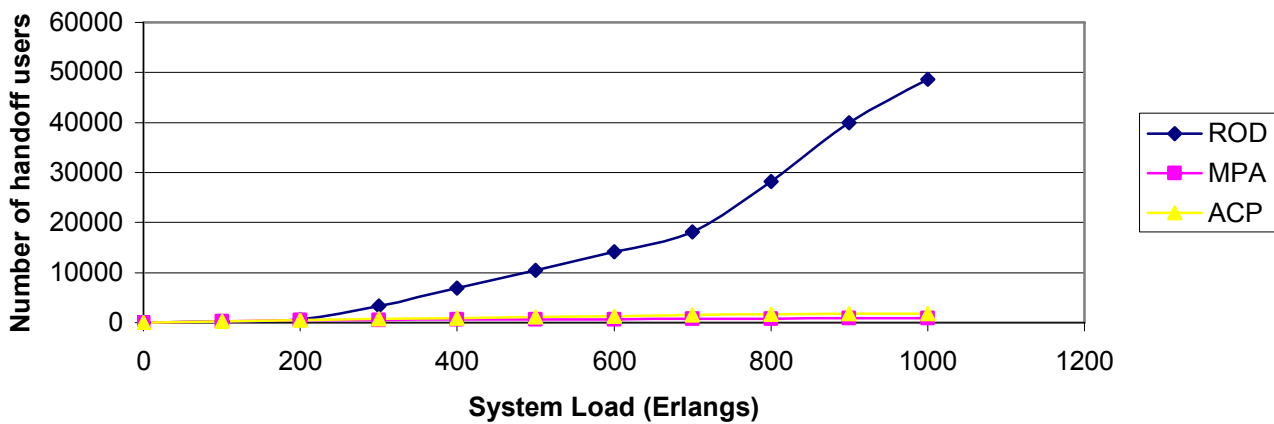
Τελειώνοντας αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν μερικά γενικά συμπεράσματα για τα υπό εξέταση μοντέλα όταν αυτά δουλεύουν κάτω από σταθερό προσφερόμενο φορτίο. Αρχικά παρουσιάζονται μερικές γραφικές παραστάσεις στις οποίες παρατίθενται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα για όλα τα μοντέλα.



Γραφική Παράσταση 32: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων για τα μοντέλα φωνής.



Γραφική Παράσταση 33: Πιθανότητα διακοπής κλήσεως για τα μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής.

**Handoff Users, Voice Models, 50% Slow - 50% Fast****Γραφική Παράσταση 34: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής.**

Το μοντέλο RoD εμφανίζει αυξημένη απόδοση σε σχέση με ένα κλασσικό μοντέλο, αλλά και με τα υπόλοιπα μοντέλα φωνής που εξετάστηκαν σε αυτήν την εργασία, ειδικά όσον αφορά τις πιθανότητες αποκλεισμού (blocking probability) και διακοπής κλήσεων (dropping probability). Με μια πρώτη ματιά το μοντέλο αυτό θα μπορούσε λόγω των επιδόσεων του να αποτελέσει μια εξαιρετική λύση για υπηρεσίες φωνής στα ιεραρχικά κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Σε μια πιο προσεχτική ανάλυση όμως, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η επιβάρυνση που προκαλεί το εν λόγω μοντέλο στο σύστημα σηματοδοσίας αλλά και στο σύστημα κινητών επικοινωνιών γενικότερα, λόγω του αυξημένου αριθμού διαπομπών, σε σχέση με όλα τα άλλα μοντέλα φωνής, αφού τα repackings είναι στην ουσία διαπομπές. Με λίγα λόγια το tradeoff που πληρώνουμε για τις εξαιρετικές επιδόσεις του μοντέλου αυτού είναι η μεγάλη αύξηση του αριθμού των διαπομπών, κάτι που συνεπάγεται και αυξημένο κόστος σηματοδοσίας για το σύστημα μας. Σε ένα πραγματικό σύστημα μια τέτοια αύξηση της σηματοδοσίας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλήσεων, ακόμα και αν υπάρχουν ελεύθεροι πόροι στο σύστημα, αφού οι πόροι που διατίθενται για σηματοδοσία είναι συγκεκριμένοι και περιορισμένοι στον αριθμό.

Ο συγκεκριμένος τρόπος υλοποίησης του μοντέλου MPA δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον για ένα ιεραρχικό σύστημα στο οποίο υπάρχουν πολλοί γρήγοροι χρήστες. Αντίθετα εμφανίζει εξαιρετικά χαρακτηριστικά για μικρά ποσοστά γρήγορων χρηστών (<10%), καθώς οι αργοί χρήστες πολύ δύσκολα απορρίπτονται από το σύστημα. Για παράδειγμα το μοντέλο MPA θα μπορούσε να εξυπηρετεί κλήσεις με μεγάλη επιτυχία στο κέντρο μιας πυκνοκατοικημένης πόλης όπως το Manhattan της Νέας Υόρκης, όπου οι ταχύτητες κίνησης των χρηστών είναι περιορισμένες και έτσι στην πλειοψηφία τους μπορούν να θεωρηθούν αργοί. Αυτό οφείλεται στην πολύ αποτελεσματική χρησιμοποίηση των διαύλων που κάνει το σύστημα στο μικροκυψελικό επίπεδο. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι ουσιαστικά το μοντέλο αυτό επιτυγχάνει τις εξαιρετικές επιδόσεις για τους αργούς χρήστες χρησιμοποιώντας πολύ λιγότερους διαύλους από τα άλλα δύο μοντέλα στο μικροκυψελικό επίπεδο. Παρ' όλες τις πολύ καλές επιδόσεις που παρουσιάζει ο MPA για τους αργούς χρήστες, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε ένα πραγματικό σύστημα



ίσως είναι δύσκολα υλοποιήσιμος, και σίγουρα θα προκαλεί μεγάλο φορτίο σηματοδοσίας, αφού, στη χειρότερη περίπτωση, μπορεί να χρειαστεί να αλλάξει διαύλους σε όλες τις τρέχουσες κλήσεις ώστε να μειώσει την ομοδιαυλική παρεμβολή και να εξυπηρετήσει μια νέα κλήση. Ακόμα θα πρέπει να προστεθεί ότι για να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος αυτός απαιτείται κεντρικός έλεγχος των διαύλων του συστήματος, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια, ειδικά εφόσον το φορτίο του συστήματος είναι πολύ υψηλό. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι επιπλέον απαιτείται πολύ καλός έλεγχος ισχύος ώστε να αποφεύγεται η ομοδιαυλική παρεμβολή μεταξύ των κυψελών.

Το μοντέλο Adaptive Channel Partitioning αποτελεί στην παρούσα υλοποίηση του μια ελκυστική λύση για την εξυπηρέτηση κλήσεων φωνής σε ένα ιεραρχικό κυψελωτό σύστημα. Παρουσιάζει καλές επιδόσεις όσον αφορά την πιθανότητα αποκλεισμού και διακοπής κλήσεων, ενώ ταυτόχρονα ο αριθμός των διαπομπών διατηρείται σε λογικά επίπεδα. Ένα μειονέκτημα του είναι, ίσως, το ότι χρειάζεται κεντρικό έλεγχο των διαύλων του συστήματος για να υλοποιηθεί.

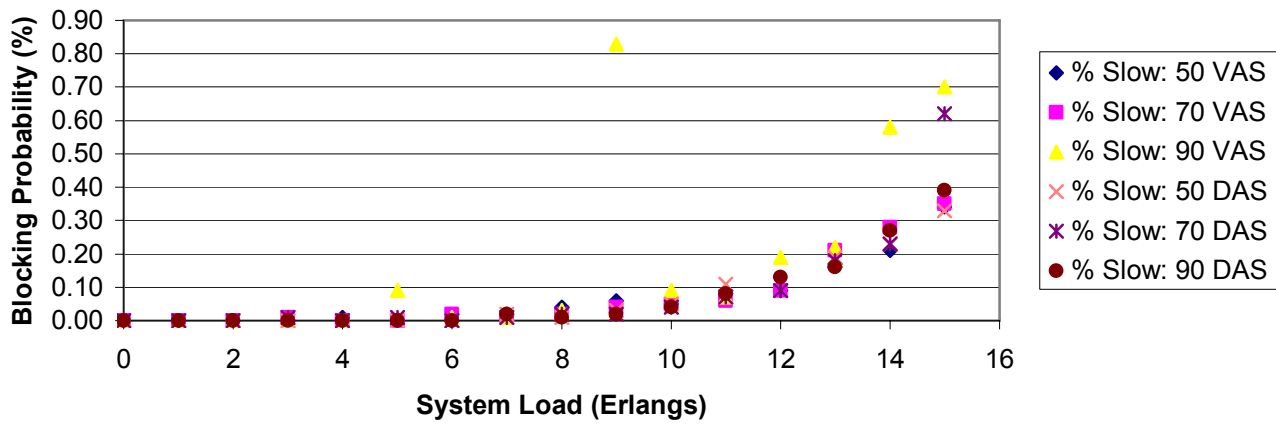
Η γενικότερη παρατήρηση που μπορεί να γίνει σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας των παραπάνω μοντέλων είναι ότι τελικά η ελκυστικότερη προσέγγιση δεν είναι απαραίτητα η δυναμική ανταλλαγή χρηστών μεταξύ των δύο επιπέδων της ιεραρχίας την οποία προτείνει το μοντέλο RoD. Αντίθετα κρίνοντας από τις τιμές της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων και διακοπής κλήσεων σε συνδυασμό με τον αριθμό των διαπομπών είναι προτιμότερη μια προσέγγιση που προτείνει αυστηρό διαχωρισμό των χρηστών του συστήματος, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει τη δυναμική ανταλλαγή πόρων μεταξύ των δύο επιπέδων. Την προσέγγιση αυτή προτείνει το μοντέλο ACP.

Μια ενδιαφέρουσα πρόταση για μελλοντική έρευνα θα ήταν να συνδυαστεί ο αλγόριθμος MPA με τον ACP έτσι ώστε να μπορεί ο πρώτος να εξυπηρετεί μεγαλύτερο αριθμό γρήγορων χρηστών εφόσον το απαιτούν οι συνθήκες του φορτίου του συστήματος.

Περνάμε τώρα στα μοντέλα εξυπηρέτησης δεδομένων VAS και DAS. Παρατηρήθηκε ότι τα δύο αυτά μοντέλα εμφανίζουν σχεδόν ταυτόσημες επιδόσεις όσον αφορά την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (Γραφική Παράσταση 35). Τα αποτελέσματα τους ταυτίζονται σε σημαντικό βαθμό και για την περίπτωση της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (Γραφική Παράσταση 36). Το πιο σημαντικό όμως είναι, ότι αυτή η εγγύτητα των επιδόσεων επιτυγχάνεται παρόλο που τα μοντέλα αντιμετωπίζουν τους χρήστες εκμεταλλευόμενοι διαφορετικές πληροφορίες. Το ένα χρησιμοποιεί την ταχύτητα των χρηστών, ενώ το άλλο την ποσότητα των δεδομένων που θέλουν οι χρήστες να μεταφέρουν. Δεδομένων των σχεδόν ίδιων επιδόσεων των δύο μοντέλων, από πρακτικής και εμπορικής άποψης, μάλλον είναι πιο επιθυμητό ένα μοντέλο σαν το DAS, αφού η μέτρηση της ταχύτητας των χρηστών δεν μπορεί να γίνει τόσο εύκολα και με τόσο μεγάλη ακρίβεια, όσο η μέτρηση της ποσότητας των προς μετάδοση ή λήψη δεδομένων.

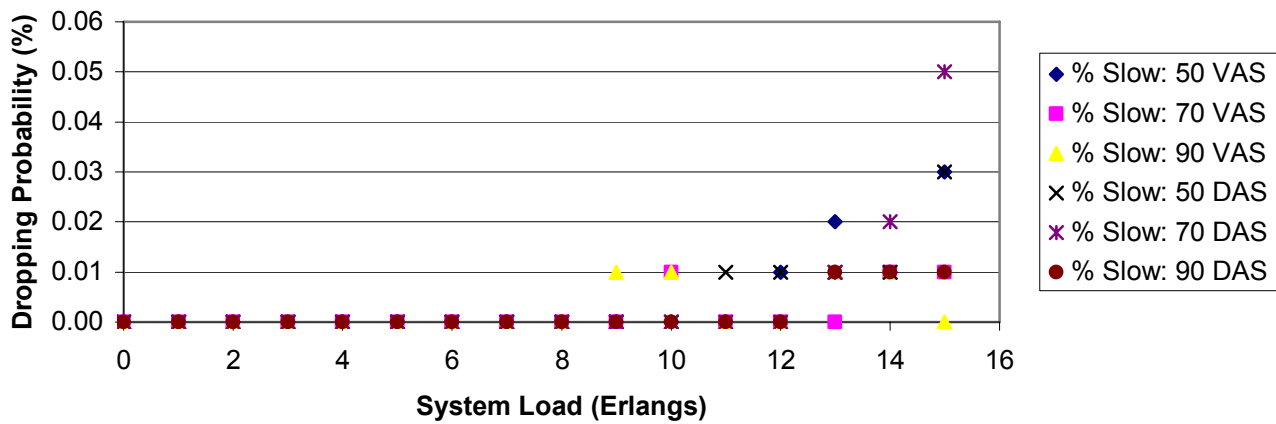


Blocking Probability, Data Models



Γραφική Παράσταση 35: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων για τα μοντέλα δεδομένων.

Dropping Probability, Data Models

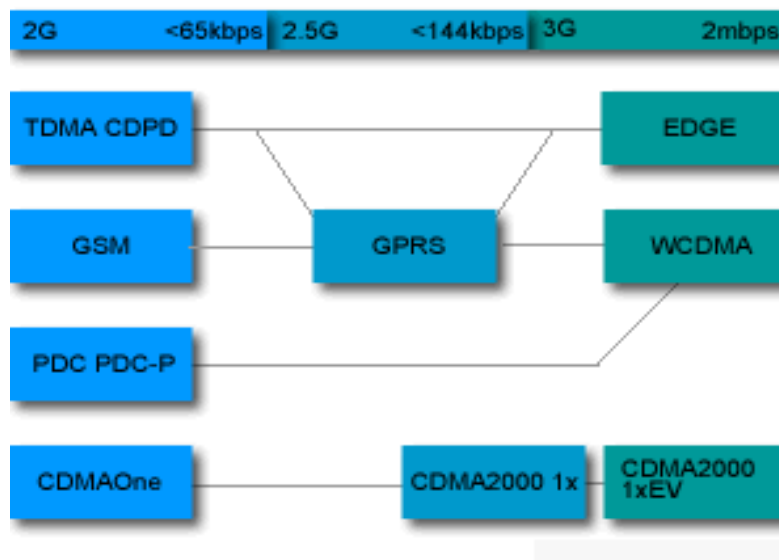


Γραφική Παράσταση 36: Πιθανότητα διακοπής κλήσεως για τα μοντέλα εξυπηρέτησης δεδομένων.



Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Μεταβλητού Φορτίου



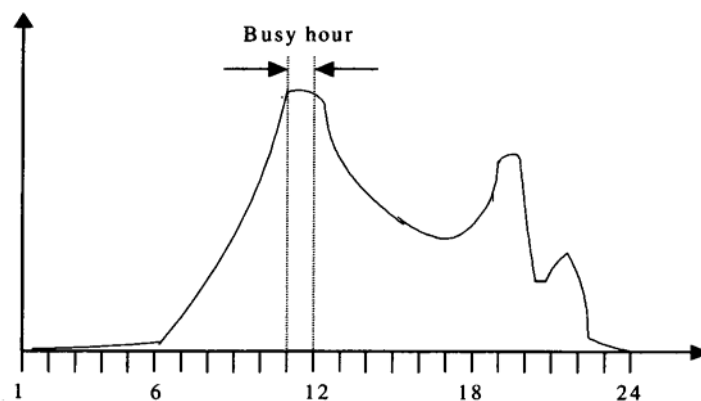
Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Μεταβλητού Φορτίου

6. Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Μεταβλητού Φορτίου

6.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάστηκαν τα πέντε μοντέλα αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων υπό συνθήκες σταθερού φορτίου. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνει μια συγκριτική μελέτη των πέντε αυτών μοντέλων κάτω από συνθήκες μεταβαλλόμενου φορτίου. Για να γίνει αυτό εφικτό έγιναν κάποιες αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας του προσομοιωτή. Αυτές είχαν σαν συνέπεια ο ρυθμός άφιξης κλήσεων να μην είναι πλέον μια σταθερά, την τιμή της οποίας ορίζει πριν από την προσομοίωση ο χειριστής, αλλά στο εξής έχει υλοποιηθεί ως μια μεταβλητή, η τιμή της οποίας μεταβάλλεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Έχοντας στο μυαλό μας ένα οποιοδήποτε τηλεφωνικό σύστημα στον κόσμο, είτε αυτό είναι ενσύρματο είτε ασύρματο, μπορούμε να φανταστούμε ότι η μεταβολή της προσφερόμενης κίνησης στη διάρκεια μιας ημέρας θα μοιάζει με την εικόνα που παρουσιάζει το Σχήμα 31 που ακολουθεί.



Σχήμα 31: Τυπικό διάγραμμα προσφερόμενης τηλεφωνικής κίνησης στη διάρκεια μιας ημέρας. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ώρα, ενώ στον κατακόρυφο ο αριθμός των κλήσεων.

Δηλαδή, η προσφερόμενη κίνηση είναι μέτρια έως χαμηλή το μεγαλύτερο μέρος της μέρας, και μόνο μία ή δύο ώρες τη μέρα, κατά τη διάρκεια του πρωινού και του απογεύματος, εμφανίζεται πολύ αυξημένη προσφερόμενη κίνηση. Αυτήν την εικόνα προσπαθεί να δημιουργήσει και ο προσομοιωτής. Πιο συγκεκριμένα στη διάρκεια μιας ώρας, ο προσομοιωτής ξεκινάει με χαμηλό προσφερόμενο φορτίο, το οποίο στη



συνέχεια αυξάνεται σταδιακά μέχρι μιας μέγιστης τιμής. Έπειτα και έως το τέλος της προσομοίωσης επιστρέφει με τον ίδιο ρυθμό στην αρχική του τιμή. Η μεταβολή του προσφερόμενου φορτίου υλοποιείται προγραμματιστικά στον προσομοιωτή μέσω της μεταβολής του ρυθμού άφιξης κλήσεων λ του συστήματος. Η ακριβής μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης φαίνεται στον Πίνακα X που ακολουθεί. Γίνεται λοιπόν προσπάθεια να προσομοιωθεί η προσφερόμενη κίνηση κατά τη διάρκεια μιας μέρας, ενός τυπικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος, που εμφανίζει μια μέγιστη τιμή για μικρή διάρκεια του συνολικού υπό μελέτη χρόνου.

A/A	Χρόνος Προσομοίωσης (sec)	λ (users/sec)
1	400-800	2
2	800-1200	4
3	1200-1600	6
4	1600-2000	8
5	2000-2400	10
6	2400-2800	8
7	2800-3200	6
8	3200-3600	4
9	3600-4000	2

Πίνακας X: Μεταβολή του ρυθμού άφιξης κλήσεων σε σχέση με το χρόνο.

Παρατηρώντας τον Πίνακα X, βλέπουμε ότι το φορτίο μεταβάλλεται κάθε 400 sec. Στη διάρκεια αυτών των 400 sec, παίρνονται τέσσερις διαφορετικές μετρήσεις της μέσης τιμής της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (dropping probability). Οι μέσες αυτές τιμές μετρώνται σε ένα διάστημα 100 sec. Επιπλέον, στις προσομοιώσεις που αφορούν τα δύο μοντέλα εξυπηρέτησης δεδομένων, αφού πλέον αυτές γίνονται για μεταβλητό φορτίο, ο μετρητής k των βημάτων της στοχαστικής διαδικασίας σύγκλισης επαναρχικοποιείται κάθε φορά που μεταβάλλεται το προσφερόμενο φορτίο, έτσι ώστε, σύμφωνα με όσα υποστηρίζονται στο [1], να μπορεί ο αλγόριθμος να αντιδρά σχετικά γρήγορα στις αλλαγές του ρυθμού άφιξης κλήσεων και να αποφεύγει τις μικρές αυξητικές αναθεωρήσεις.

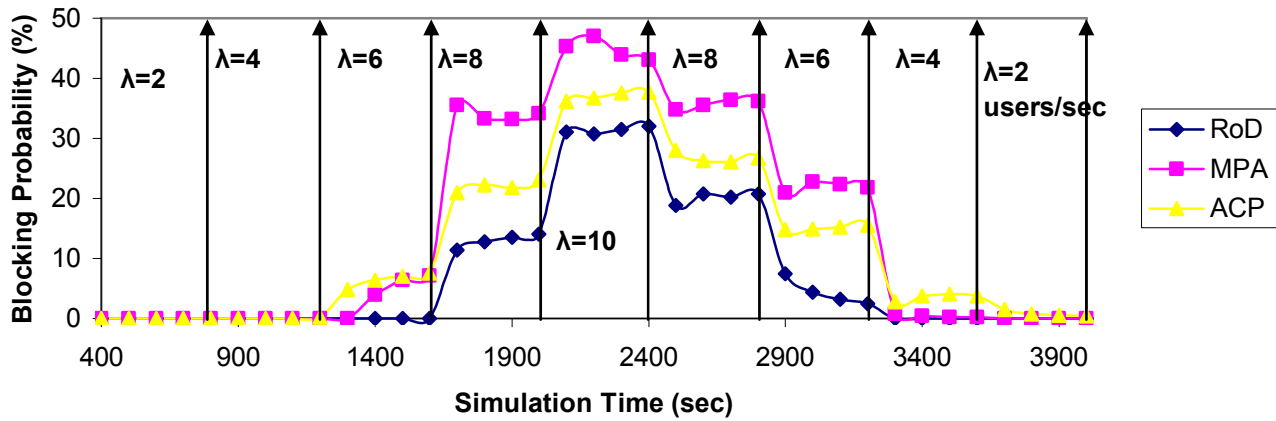
6.2 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Φωνής

6.2.1 Εισαγωγή

Η αρχή γίνεται με τη συγκριτική μελέτη μεταβλητού φορτίου για τα τρία μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής, δηλαδή τα Repacking on Demand, Maximum Packing Algorithm και Adaptive Channel Partitioning. Δίνεται βάρος στη μελέτη των πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability), διακοπής κλήσεων (dropping probability) και του αριθμού των διαπομπών (handoffs) για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Οι προσομοιώσεις έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

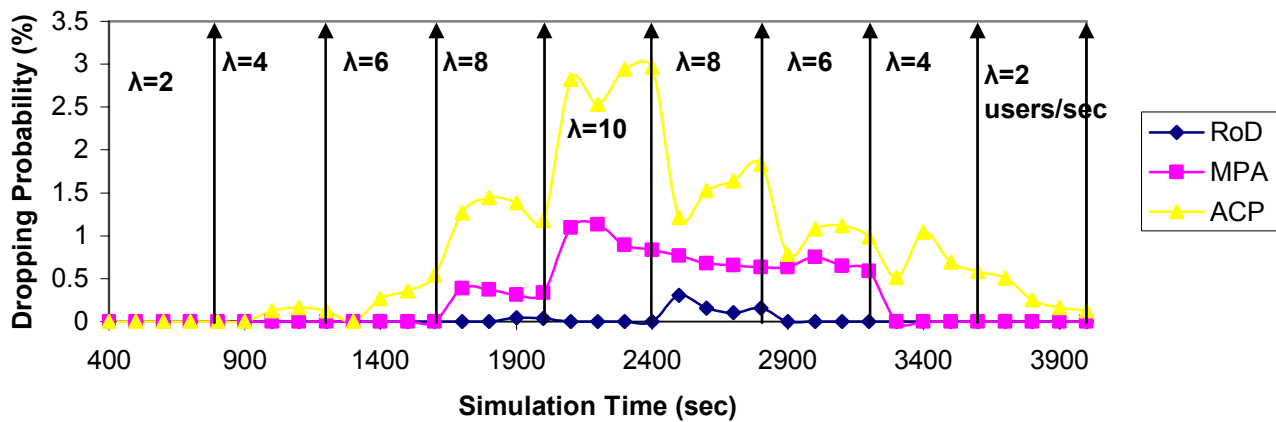


Blocking Probability, Voice Models, 90% Slow - 10% Fast

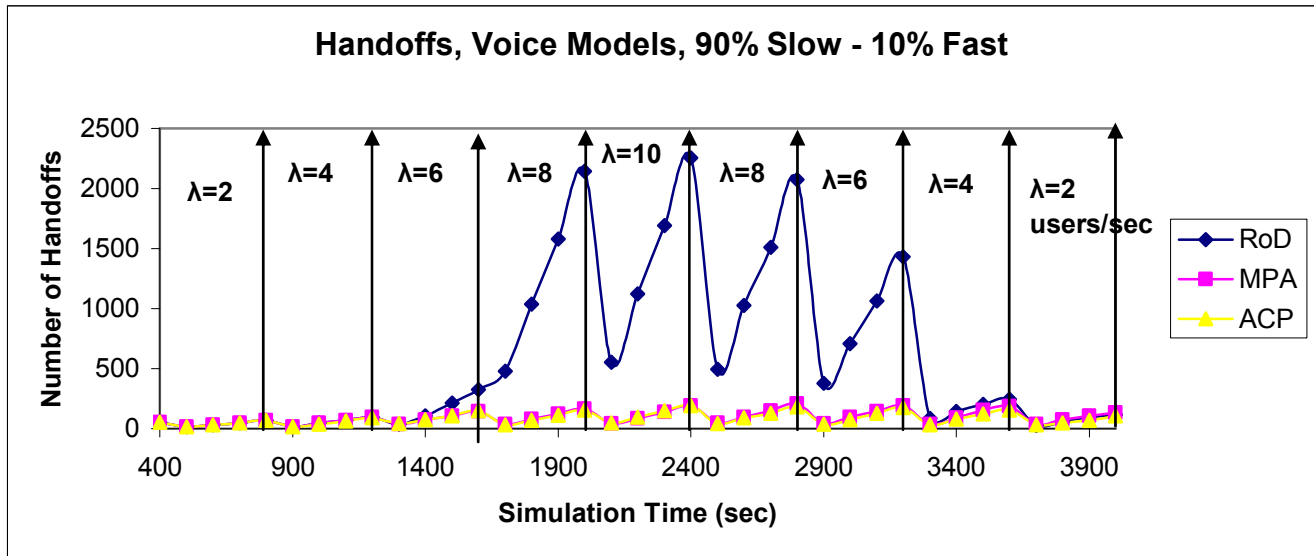


Γραφική Παράσταση 37: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.

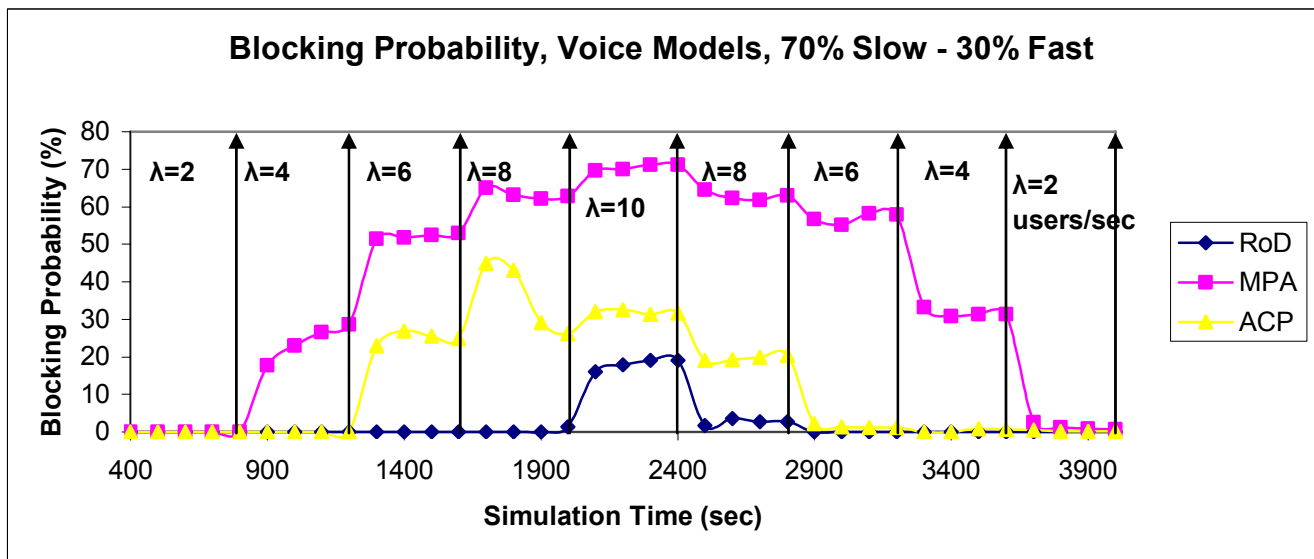
Dropping Probability, Voice Models, 90% Slow - 10% Fast



Γραφική Παράσταση 38: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.



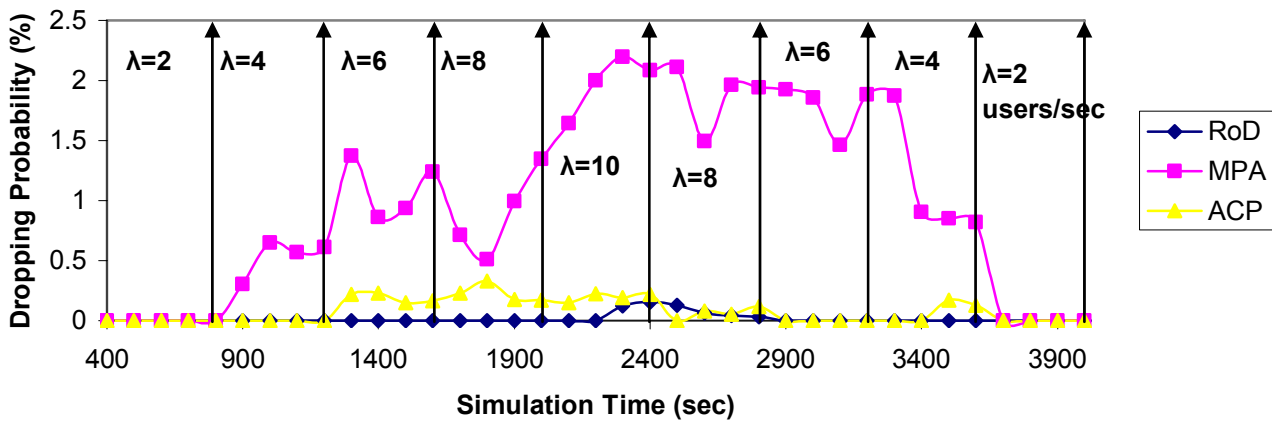
Γραφική Παράσταση 39: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 40: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.

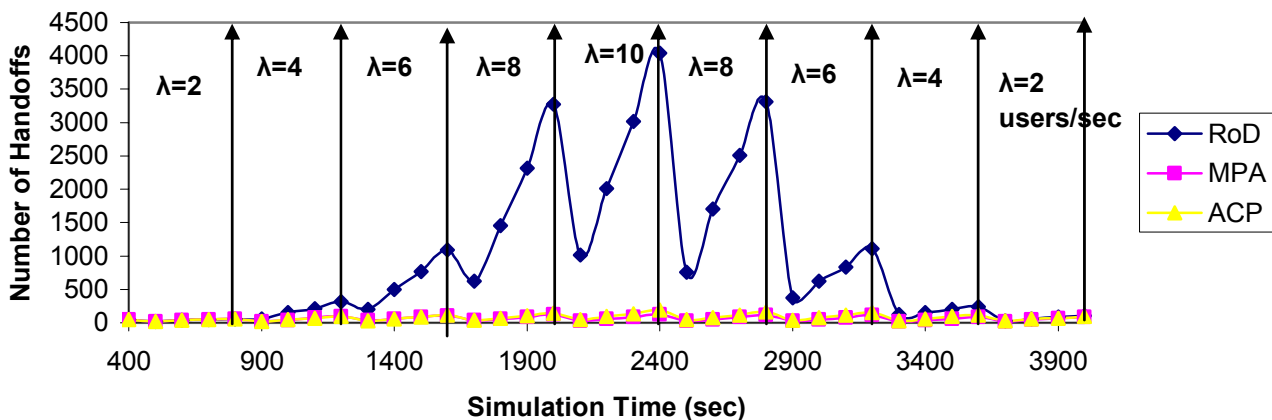


Dropping Probability, Voice Models, 70% Slow - 30% Fast

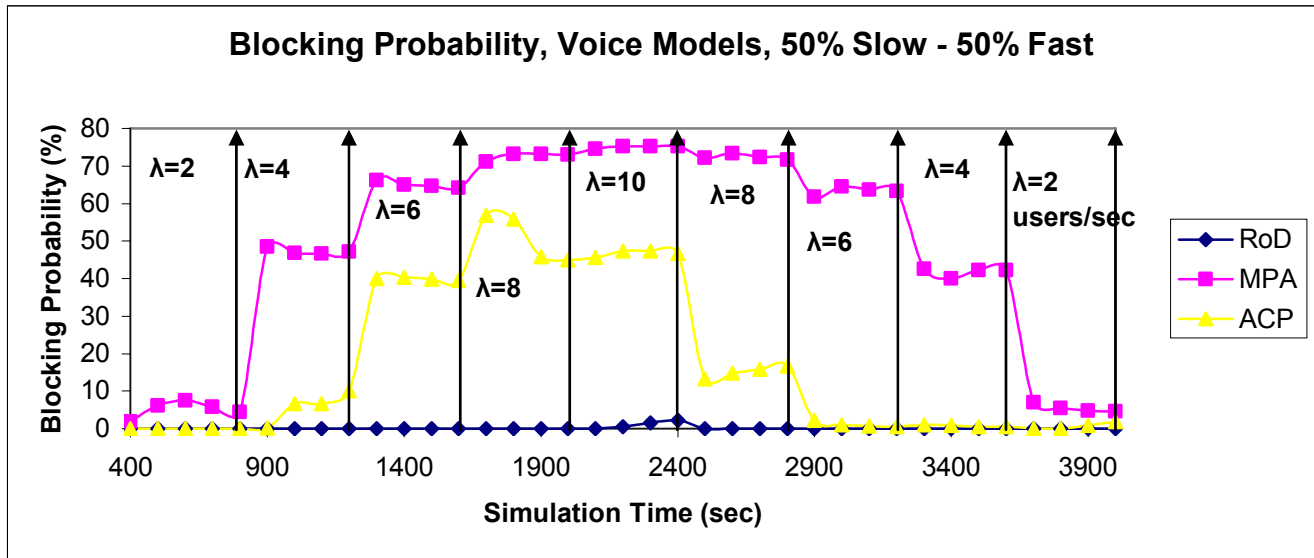


Γραφική Παράσταση 41: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.

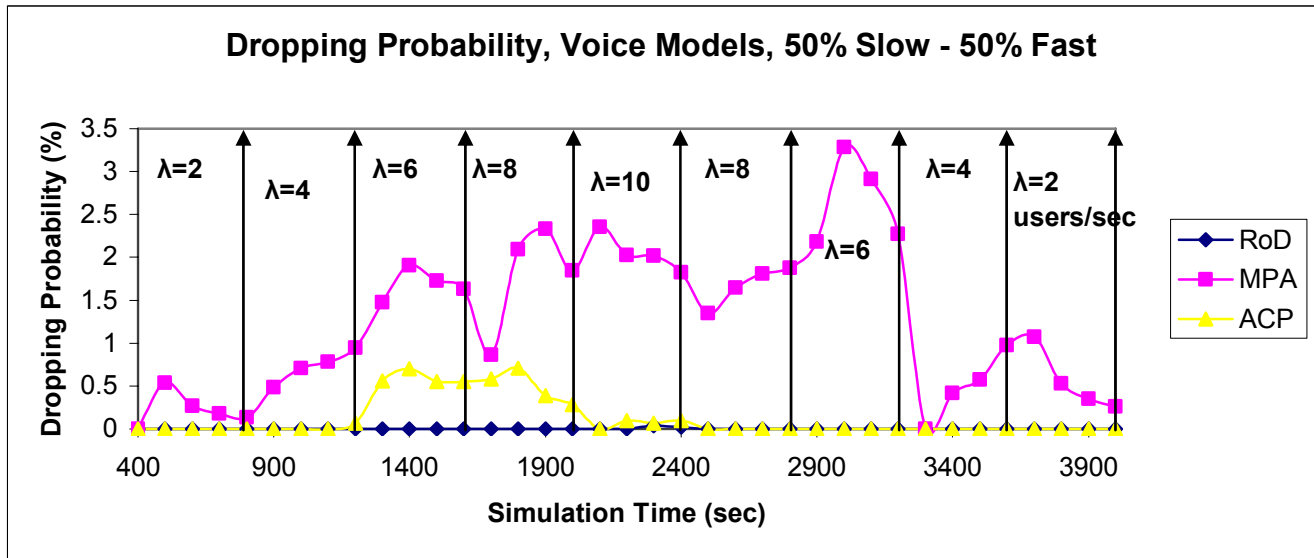
Handoffs, Voice Models, 70% Slow - 30% Fast



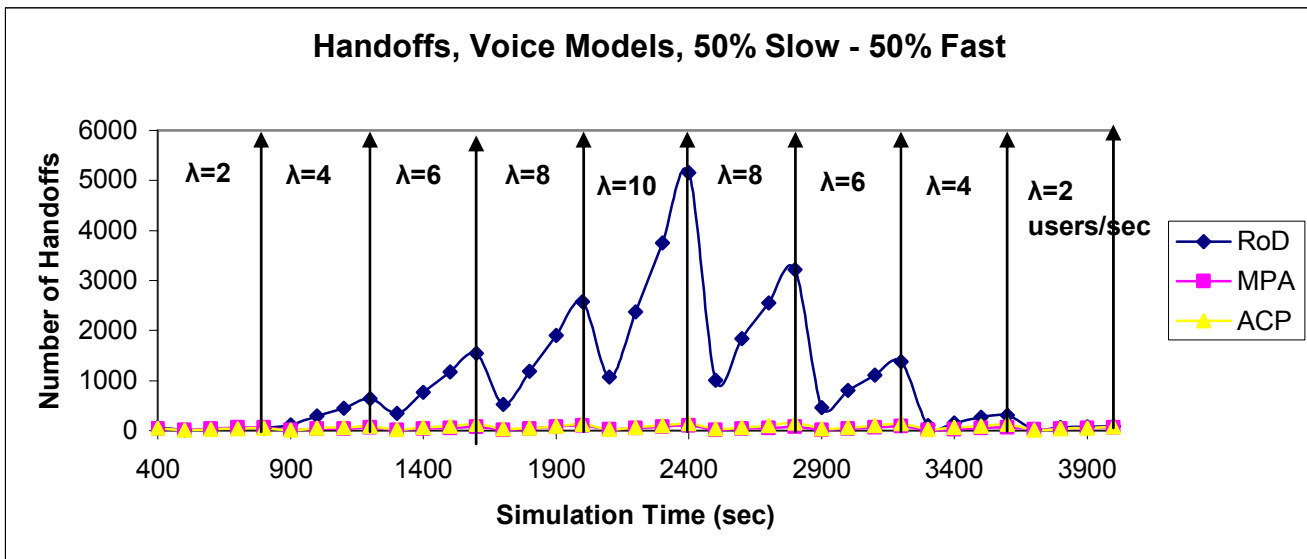
Γραφική Παράσταση 42: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 43: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 44: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 45: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.

6.2.2 Συμπεράσματα

Αρχικά θα αναφερθούν μερικές γενικές παρατηρήσεις για κάθε μοντέλο, και στη συνέχεια θα γίνει μια σύγκριση μεταξύ τους.

6.2.2.1 Repacking On Demand

Η ενότητα αυτή θα αναφερθεί στο μοντέλο Repacking on Demand (RoD). Η μορφή που παρουσιάζει η καμπύλη της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) σε σχέση με το χρόνο, είναι ίσως λίγο πολύ αναμενόμενη. Παρατηρείται ότι αυξανόμενου του προσφερόμενου φορτίου αυξάνεται και η πιθανότητα αποκλεισμού. Ένα σημείο το οποίο αξίζει προσοχής και το οποίο επιβεβαιώνει και τις παρατηρήσεις από τις προηγούμενες προσομοιώσεις σταθερού φορτίου, είναι ότι το μοντέλο αυτό παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά για αυξημένο ποσοστό γρήγορων χρηστών (Γραφικές Παραστάσεις 37, 40, 43). Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι με μεγαλύτερο ποσοστό γρήγορων χρηστών στο σύστημα υπάρχουν πιο πολύ υποψήφιοι γρήγοροι χρήστες για την εκτέλεση repacking, έτσι ώστε να μπορέσει να εξυπηρετηθεί ένας καινούριος χρήστης. Βέβαια, όπως φαίνεται και στις Γραφικές Παραστάσεις 39, 42 και 45, και σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μοντέλα, το κόστος αυτής της εξαιρετικής επίδοσης είναι ο τεράστιος αριθμός διαπομπών, κυρίως μεταξύ των δύο επιπέδων μακροκυψελικού και μικροκυψελικού, που προκαλεί αυτό το μοντέλο.

Περνώντας τώρα στην άλλη σημαντική παράμετρο ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών, την πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability), μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις (Γραφικές Παραστάσεις 38, 41 και 44):

- Για σημαντικά ποσοστά γρήγορων χρηστών (30% και 50%), η πιθανότητα αποκλεισμού ακολουθεί την αύξηση και τη μείωση του προσφερόμενου



φορτίου, αφού το μοντέλο είναι σε θέση να προσαρμοστεί εύκολα στις μεταβολές του φορτίου μέσω του μηχανισμού των *repackings* (αφού έχει στη διάθεση του πολλούς υποψήφιους χρήστες για *repacking*).

- Αντίθετα για μικρό ποσοστό γρήγορων χρηστών (10%) το μοντέλο δεν είναι σε θέση να προσαρμοστεί άμεσα στις μεταβολές του φορτίου με αποτέλεσμα οι μέγιστες τιμές της πιθανότητας διακοπής κλήσεων να εμφανίζονται καθυστερημένα σε ένα χρονικό διάστημα που ξεκινάει η μείωση του προσφερόμενου φορτίου και αφού έχουν ήδη προηγουμένως αυξηθεί οι χρήστες του συστήματος μπλοκάροντας τις διαπομπές άλλων χρηστών.

6.2.2.2 Maximum Packing Algorithm

Ξεκινώντας και πάλι από τη γραφική παράσταση της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (*blocking probability*), μπορεί να παρατηρηθεί ότι ο αλγόριθμος MPA ακολουθεί της αυξομειώσεις του προσφερόμενου φορτίου όσον αφορά την τιμή της (Γραφικές Παραστάσεις 37, 40, 43). Όπως και στις προσομοιώσεις υπό σταθερό προσφερόμενο φορτίο συστήματος, αυξανόμενου του ποσοστού των γρήγορων χρηστών αυξάνει και η τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων.

Παρατηρώντας τις Γραφικές Παραστάσεις 38, 41 και 44 της πιθανότητας διακοπής κλήσεων (*dropping probability*), βλέπουμε ότι αυτή φαίνεται να ακολουθεί την αυξομείωση του προσφερόμενου φορτίου, με εξαίρεση την περίπτωση για ποσοστό γρήγορων χρηστών 50%, όπου εμφανίζεται ένα μέγιστο στη φάση μείωσης του προσφερόμενου φορτίου κίνησης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί καταρχάς στο γεγονός ότι το σύστημα είχε εισέλθει και παραμένει ουσιαστικά σε κορεσμό μέχρι και τη στιγμή που ο ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων αποκτά την αρχική του τιμή $\lambda=2$ *users/sec* κατά το τελευταίο κομμάτι της προσομοίωσης. Επίσης, όπως είναι γνωστό ο αλγόριθμος MPA απορρίπτει όλους τους γρήγορους χρήστες, είτε νέους, είτε προερχόμενους από διαπομπή από τη στιγμή που η μακροκυψέλη δεν έχει ελευθέρους πόρους. Αυτή είναι και η περίπτωση σε ένα κορεσμένο σύστημα. Έτσι μια αλλαγή της κινητικής κατάστασης κάποιων ενεργών χρηστών που ήταν αρχικά αργοί σε γρήγορους (ώστε να διατηρηθεί το ποσοστό γρήγορων και αργών χρηστών στο σύστημα) και οι οποίοι στη συνέχεια σε κάποια στιγμή επιθυμούν να κάνουν διαπομπή (και άρα θα πρέπει να εξυπηρετηθούν από τη μακροκυψέλη μετά τη διαπομπή), είναι αυτό που πυροδοτεί αυτή την αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλήσεων κατά τη φάση μείωσης του φορτίου.

6.2.2.3 Adaptive Channel Partitioning

Από την παρατήρηση των γραφικών παραστάσεων για το τελευταίο μοντέλο εξυπηρέτησης φωνής προκύπτει ότι αυτό παρουσιάζει μια σημαντική διαφορά σε σχέση με τα προηγούμενα δύο. Το μοντέλο αυτό καταφέρνει, για μεγαλύτερα ποσοστά γρήγορων χρηστών, να έχει μικρότερες πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων (*blocking probability*) και διακοπής κλήσεων (*dropping probability*) κατά την περίοδο του μέγιστου προσφερόμενου φορτίου από ότι για το αμέσως μικρότερο προσφερόμενο φορτίο (Γραφικές Παραστάσεις 37, 40, 43, 38, 41, 44). Αυτό το παράδοξο μπορεί να εξηγηθεί από τη συμπεριφορά του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα:



Το μοντέλο ACP αντιλαμβάνεται άμεσα την τάση αύξησης στο προσφερόμενο φορτίο και προσπαθεί μεταβάλλοντας την θέση του διαμερισμού να δώσει περισσότερους πόρους στο επίπεδο που τους χρειάζεται περισσότερο. Έτσι, όταν το αυξανόμενο φορτίο φτάσει στη μέγιστη τιμή του, το μοντέλο ACP θα έχει ήδη χωρίσει κατάλληλα τους πόρους του συστήματος ώστε να είναι σε θέση να εξυπηρετεί το αυξημένο φορτίο και άρα να παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά, όσον αφορά τις πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και διακοπής κλήσεων (dropping probability), από την αμέσως προηγούμενη περίοδο όπου ακόμα προσπαθεί να προσαρμοστεί στην αύξηση του προσφερόμενου φορτίου.

Βέβαια η στρατηγική που περιγράφηκε προηγουμένως έχει τα όρια της τα οποία εμφανίζονται όταν το ποσοστό των αργών χρηστών είναι πολύ μεγάλο, όποτε το μοντέλο ACP δεν έχει περιθώρια ελιγμών. Στη Γραφική Παράσταση 37 της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων για ποσοστό αργών χρηστών 90%, παρατηρείται ότι σε αυτήν την περίπτωση η μέγιστη τιμή της πιθανότητας διακοπής κλήσεων εμφανίζεται κατά την περίοδο του μέγιστου προσφερόμενου φορτίου. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η θέση του διαμερισμού δεν μπορεί να μειωθεί περαιτέρω και να δοθούν περισσότεροι δίαυλοι στο μικροκυψελικό επίπεδο, αφού κάτι τέτοιο, εκτός του ότι δεν προβλέπεται από το μοντέλο, θα άφηνε το σύστημα χωρίς καθόλου πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο.

6.2.3 Συγκριτική Μελέτη

Η μορφή με την οποία παρουσιάζονται οι προηγούμενες γραφικές παραστάσεις επιτρέπει την εύκολη σύγκριση των μοντέλων μεταξύ τους.

- Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μοντέλα, το μοντέλο RoD εμφανίζει την καλύτερη συμπεριφορά, αφού έχει με μεγάλη διαφορά τις μικρότερες τιμές πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και διακοπής κλήσεων (dropping probability). Επίσης, οι επιδόσεις του μοντέλου RoD, σε σύγκριση με των άλλων δύο μοντέλων, γίνονται πολύ καλύτερες όσο αυξάνεται το ποσοστό των γρήγορων χρηστών του συστήματος. Ταυτόχρονα, το μοντέλο RoD έχει και την πιο άμεση και απότομη απόκριση στις μεταβολές του φορτίου, αφού εξατομικεύει την αντίδραση του στην αύξηση του φορτίου στο επίπεδο της νέας κλήσης, μέσω της διαδικασίας του repacking. Αντίθετα το μοντέλο ACP πρέπει να περιμένει να περάσει εύλογος χρόνος από την προηγούμενη φορά που έγινε η τελευταία αναθεώρηση της θέσης του διαμερισμού, έτσι ώστε να την ξαναπροσαρμόσει κατάλληλα στη νέα τιμή του φορτίου.
- Εξετάζοντας τώρα τον αριθμό των διαπομπών που προκαλούνται για κάθε μοντέλο στη διάρκεια της προσομοίωσης, παρατηρείται ότι αυτός είναι σχεδόν ίδιος για τα μοντέλα MPA και ACP. Ταυτόχρονα, σε κάθε περίπτωση κατανομής αργών – γρήγορων χρηστών, ο αριθμός αυτός κινείται σε λογικά πλαίσια, ενώ ακολουθεί μια φυσιολογική αύξηση όταν αυξάνεται το ποσοστό των γρήγορων χρηστών. Στον αντίποδα, σε σχέση με τα μοντέλα που μόλις αναφέρθηκαν, το μοντέλο RoD προκαλεί τεράστιο αριθμό διαπομπών (κυρίως



μεταξύ των δύο επιπέδων), ο οποίος γίνεται ακόμα μεγαλύτερος όσο μεγαλώνει το ποσοστό των γρήγορων χρηστών στο σύστημα (Γραφικές Παραστάσεις 39, 42 και 45). Είναι προφανές λοιπόν ότι οι διαπομπές είναι δίκικο μαχαίρι για το μοντέλο RoD: Από τη μια μεριά του εξασφαλίζουν τις κατά πολύ καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα, ενώ από την άλλη επιβαρύνουν το σύστημα με μεγάλη σηματοδοσία και υπολογιστικό φόρτο.

- Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι, ειδικά σε σχέση με το μοντέλο RoD αλλά και το ACP, ο αλγόριθμος MPA παρουσιάζει μια πολύ πιο ομαλή συμπεριφορά αποφεύγοντας τις απότομες αυξήσεις και μειώσεις στην τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability), κατά την αλλαγή της τιμής του προσφερόμενου φορτίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μοντέλο MPA δεν έχει κάποιον ουσιαστικό μηχανισμό αντίδρασης στη μεταβολή του φορτίου όπως τα repacking ή η μετακίνηση της θέσης του διαμερισμού. Προσπαθεί απλώς να μοιράσει τους διαθέσιμους πόρους κάθε επιπέδου μεταξύ των κλήσεων όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται. Όσον αφορά την πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability), παρατηρώντας τις Γραφικές Παραστάσεις 41 και 44, φαίνεται ότι αυτή παρουσιάζει μια έντονη διακύμανση σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι αυτή παίρνει αρκετά μεγαλύτερες τιμές για το μοντέλο MPA από ότι για τα άλλα δύο.

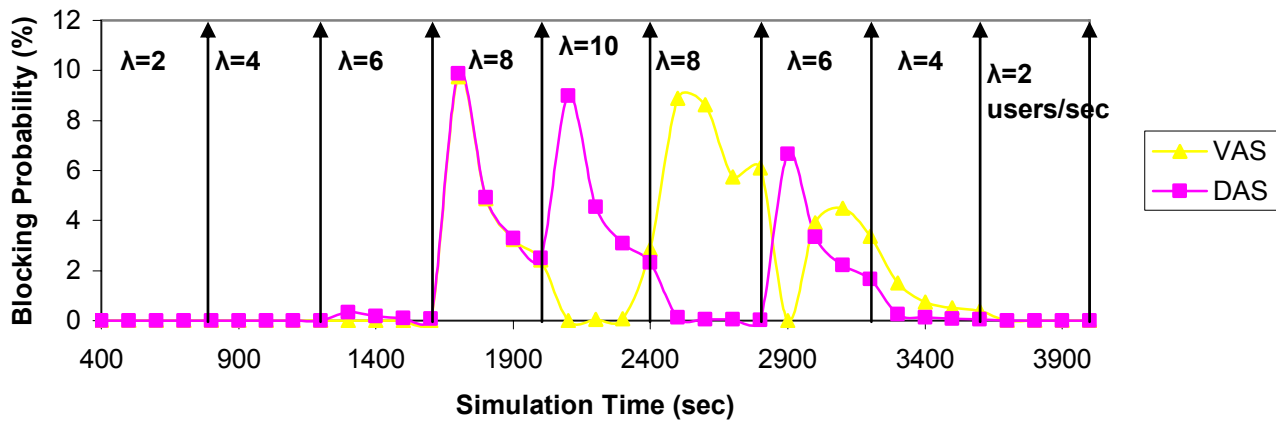
6.3 Μοντέλα Εξυπηρέτησης Δεδομένων

6.3.1 Εισαγωγή

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού γίνεται η μελέτη των επιδόσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων VAS και DAS κάτω από συνθήκες μεταβλητού φορτίου. Και πάλι δίνεται βάρος κυρίως στη μελέτη των πιθανοτήτων αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και διακοπής κλήσεων (dropping probability) για την εξαγωγή συμπερασμάτων, χωρίς όμως να παραμελείται η σημασία του αριθμού των διαπομπών. Οι προσομοιώσεις έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

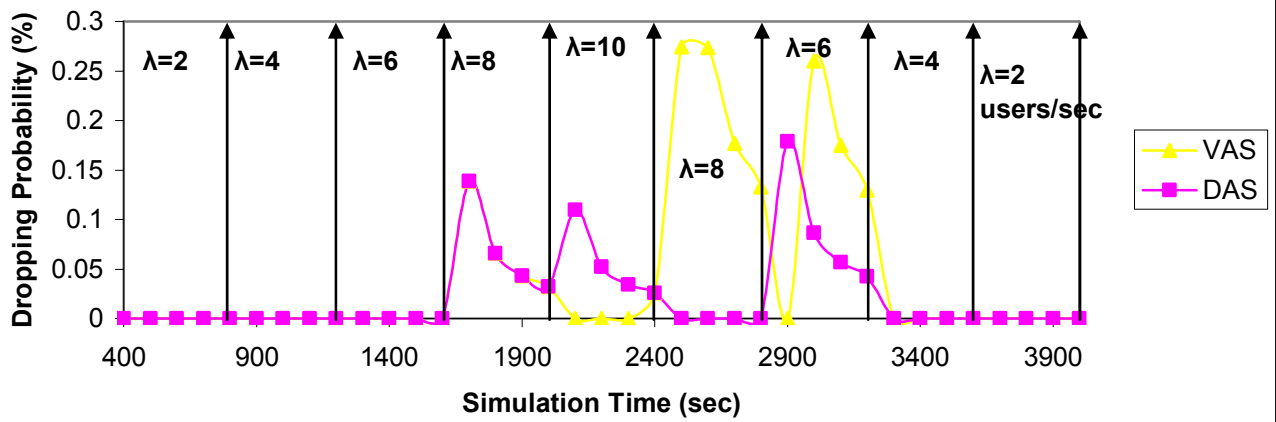


Blocking Probability, Data Models, 90% Slow - 10% Fast

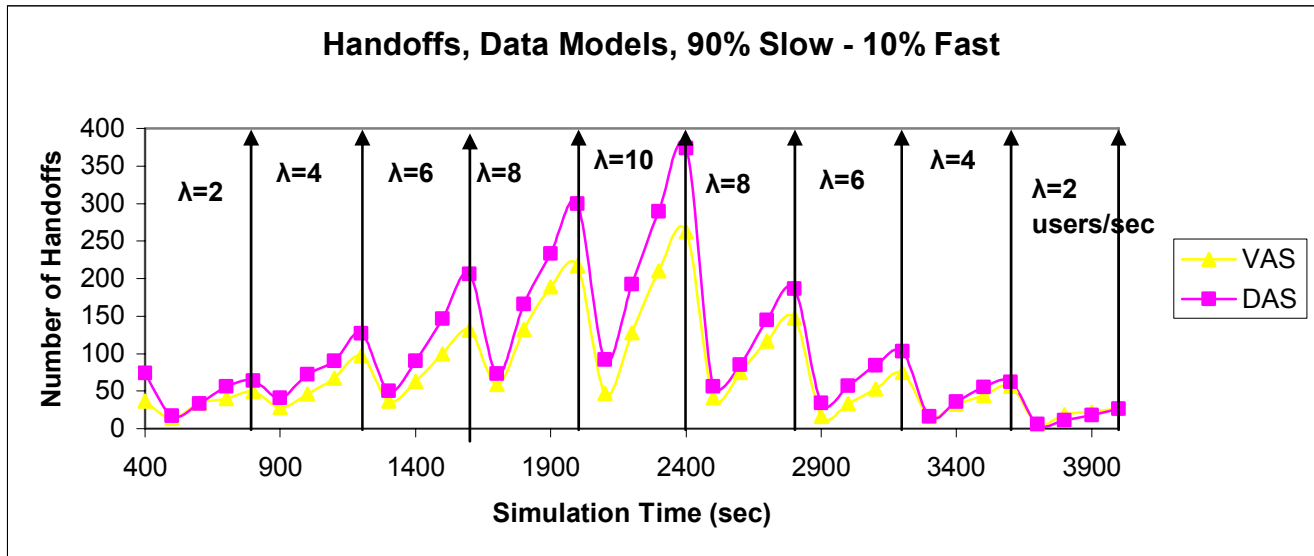


Γραφική Παράσταση 46: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.

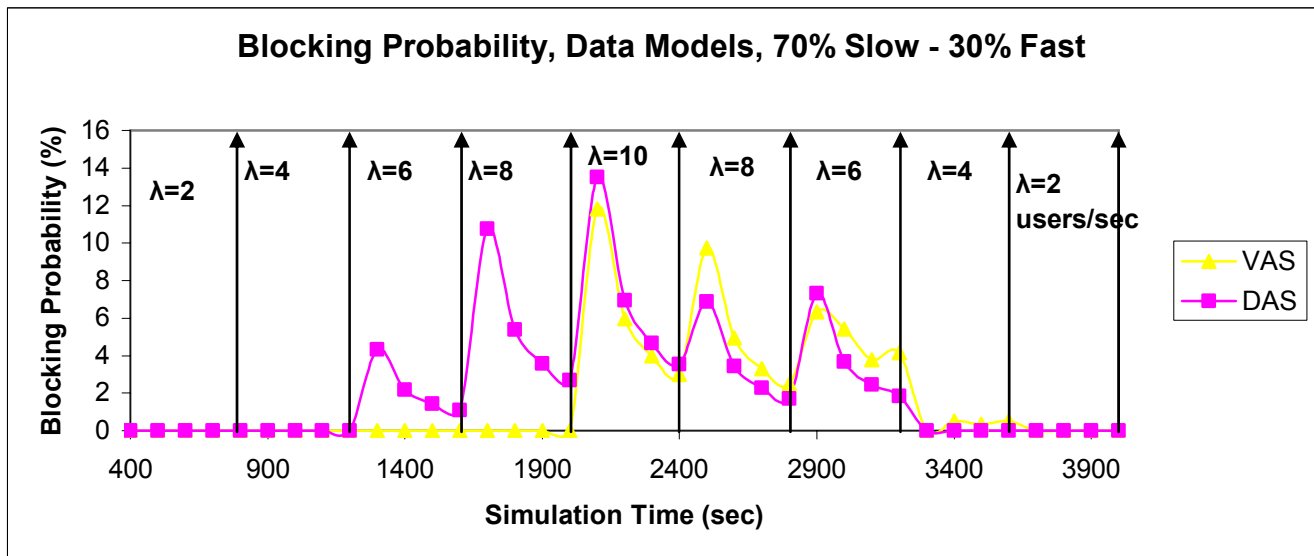
Dropping Probability, Data Models, 90% Slow - 10% Fast



Γραφική Παράσταση 47: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.



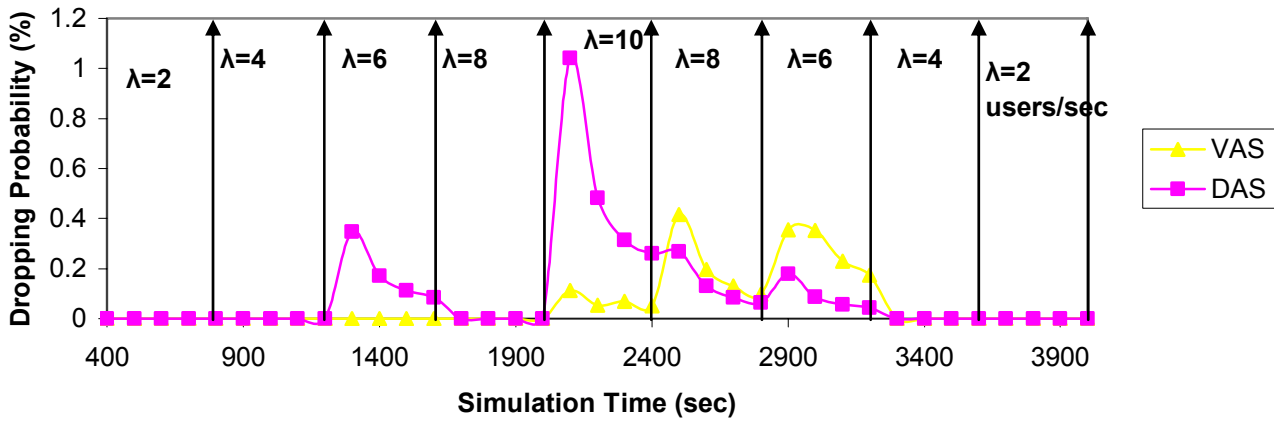
Γραφική Παράσταση 48: Αριθμός διατομών των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 49: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 70% γρήγοροι.

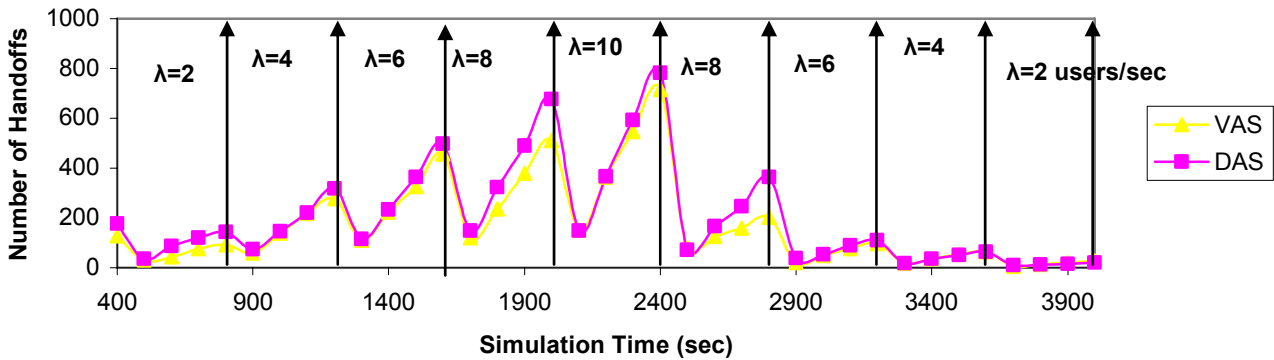


Dropping Probability, Data Models, 70% Slow - 30% Fast

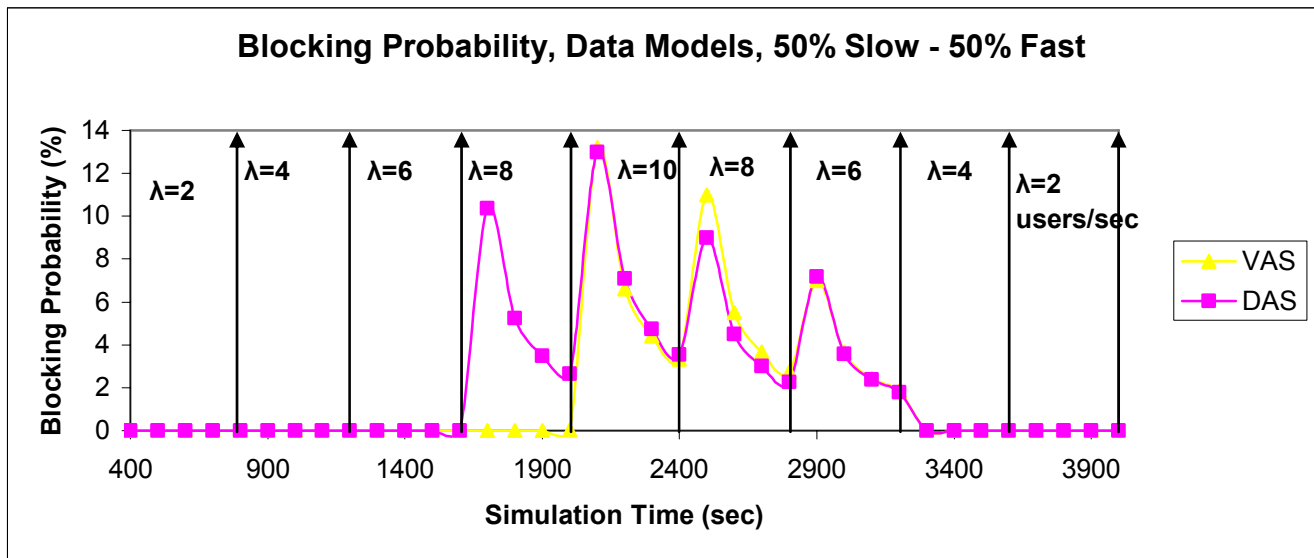


Γραφική Παράσταση 50: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 70% γρήγοροι.

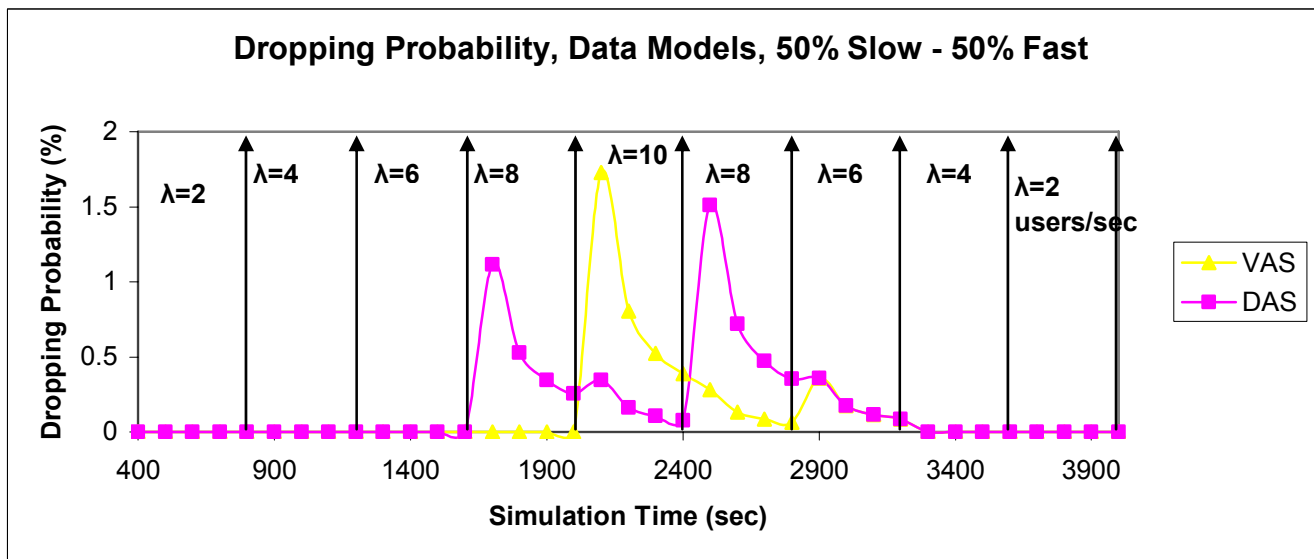
Handoffs, Data Models, 70% Slow - 30% Fast



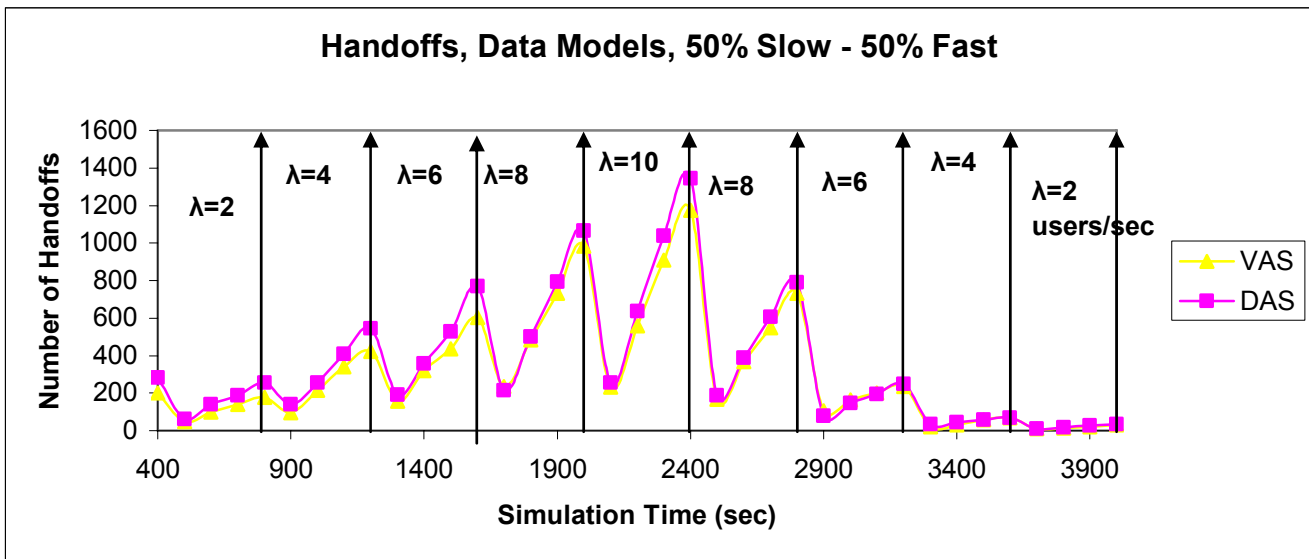
Γραφική Παράσταση 51: Αριθμός διακομών των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.



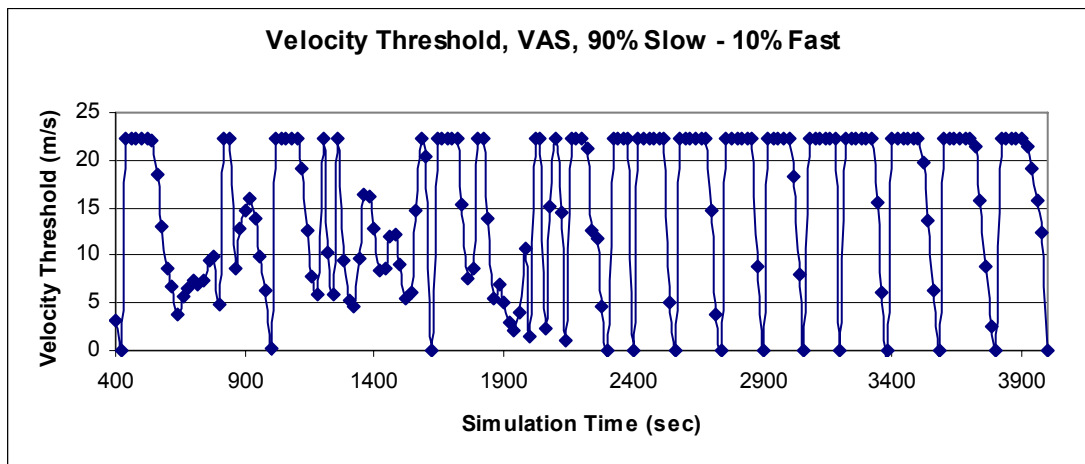
Γραφική Παράσταση 52: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργόι, 50% γρήγοροι.



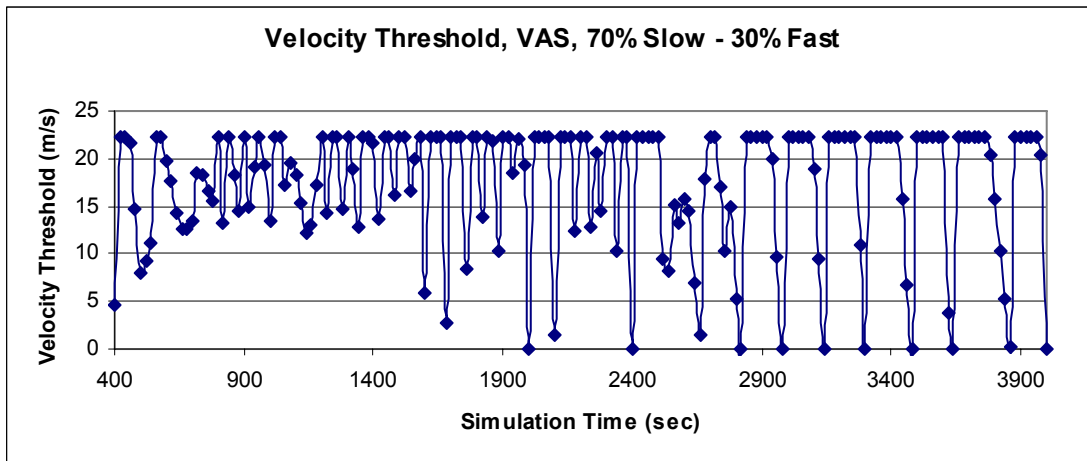
Γραφική Παράσταση 53: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργόι, 50% γρήγοροι.



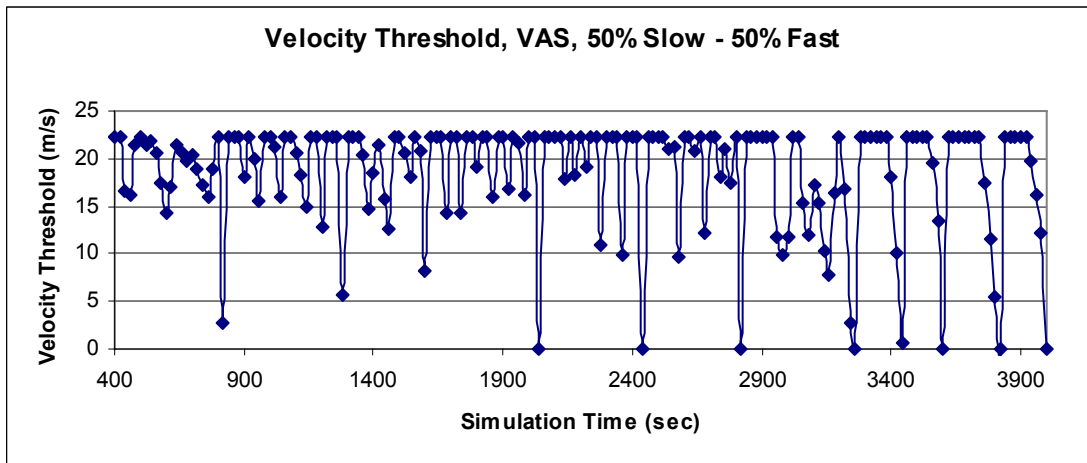
Γραφική Παράσταση 54: Αριθμός διατομών των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.



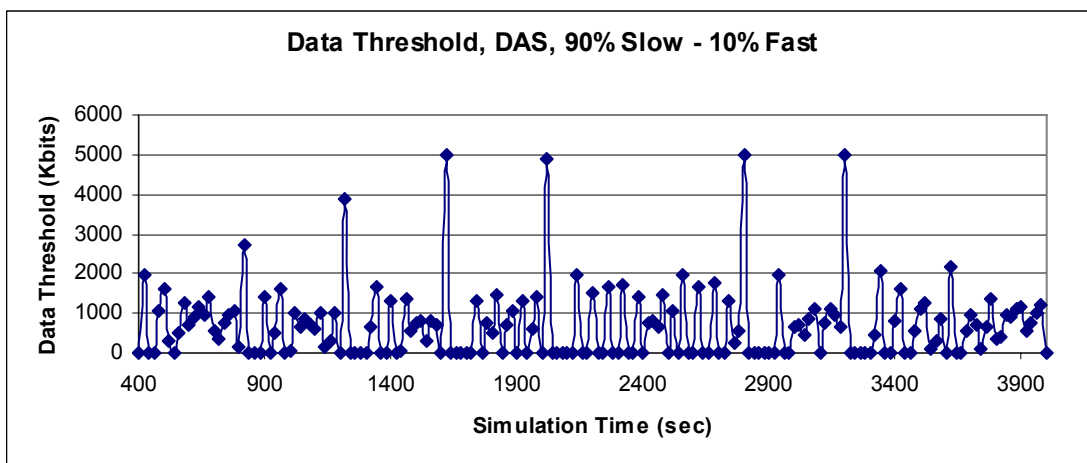
Γραφική Παράσταση 55: VAS, Μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.



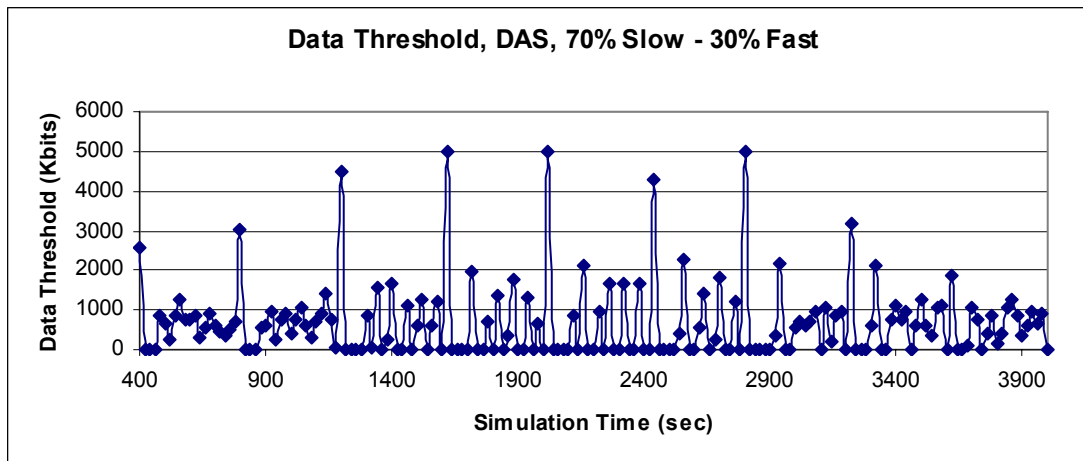
Γραφική Παράσταση 56: VAS, Μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.



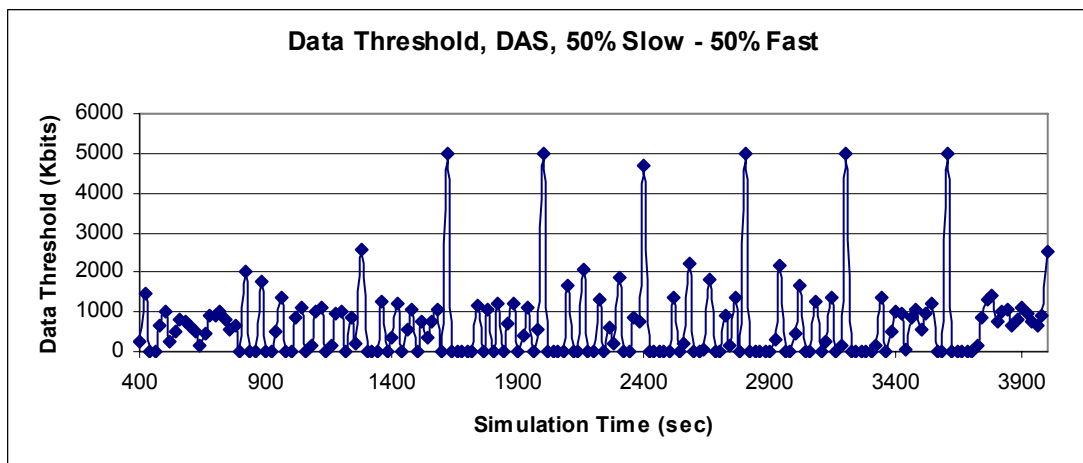
Γραφική Παράσταση 57: VAS, Μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 58: DAS, Μεταβολή του κατωφλιού ποσότητας δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 59: DAS, Μεταβολή του κατώφλιου ποσότητας δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.



Γραφική Παράσταση 60: DAS, Μεταβολή του κατώφλιου ποσότητας δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.

6.3.2 Συμπεράσματα

Η πρώτη σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι επιδόσεις των δύο μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων VAS και DAS, εμφανίζονται σημαντικά χειρότερες για μεταβλητό προσφερόμενο φορτίο, από ότι για σταθερό προσφερόμενο φορτίο. Αυτό είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι στην περίπτωση των προσομοιώσεων μεταβλητού φορτίου, τα κατώφλια ταχύτητας για τον VAS και δεδομένων για τον DAS δεν προλαβαίνουν συνήθως να συγκλίνουν ικανοποιητικά στην βέλτιστη κάθε φορά τιμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την λειτουργία των μοντέλων με μη βέλιστα κατώφλια για μεγάλο μέρος της προσομοίωσης, κάτι που με τη σειρά του οδηγεί σε μια αναμενόμενη χειροτέρευση των επιδόσεων των δύο μοντέλων σε σχέση με της προσομοιώσεις σταθερού προσφερόμενου φορτίου. Η διακύμανση των τιμών των δύο κατώφλιων φαίνεται στις Γραφικές Παραστάσεις 55-60.

Μια άλλη πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι, σε αντίθεση με τα προηγούμενα μοντέλα τα οποία δεν βασίζονται σε κατώφλια, τα δύο αυτά μοντέλα παρουσιάζουν



μια ενδιαφέρουσα ιδιαιτερότητα. Η ιδιαιτερότητα αυτή έγκειται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια του χρόνου που το φορτίο παραμένει σταθερό μετά από μια μεταβολή του, οι πιθανότητες αποκλεισμού νέων κλήσεων και διακοπής κλήσεων δεν παρουσιάζονται να έχουν μια σχεδόν σταθερή τιμή, αλλά αντίθετα η τιμή τους μειώνεται στο πέρασμα του χρόνου. Δηλαδή, ουσιαστικά στη διάρκεια του χρόνου που το φορτίο παραμένει σταθερό και καθώς περνάει ο χρόνος της προσομοίωσης τα μοντέλα VAS και DAS ρυθμίζουν σιγά σιγά την τιμή των κατωφλιών τους προς τη βέλτιστη τιμή για το δεδομένο φορτίο, καταφέροντας έτσι να εμφανίσουν καλύτερες επιδόσεις στο πέρασμα του χρόνου.

6.3.3 Συγκριτική Μελέτη

Η μορφή με την οποία παρουσιάζονται οι προηγούμενες γραφικές παραστάσεις μας επιτρέπει την εύκολη σύγκριση των μοντέλων μεταξύ τους.

- Αρχικά θα μελετηθεί η επίδοση των μοντέλων όσον αφορά τον αριθμό των διαπομπών. Παρατηρείται (Γραφικές Παραστάσεις 48, 51, 54) ότι τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν παραπλήσιες επιδόσεις, με το μοντέλο VAS όμως να παρουσιάζει συστηματικά ελάχιστα μικρότερο αριθμό διαπομπών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο μοντέλο, σε αντίθεση με το DAS, λαμβάνει υπόψη του τον κυριότερο παράγοντα που ρυθμίζει τον αριθμό των διαπομπών σε ένα ιεραρχικό σύστημα. Αυτός δεν είναι άλλος από την ταχύτητα των χρηστών. Το μοντέλο VAS καταφέρνει έτσι να χωρίσει πιο αποτελεσματικά τους χρήστες στα δύο επίπεδα ώστε οι περισσότεροι γρήγοροι χρήστες να βρίσκονται στο μακροκυβελικό επίπεδο και έτσι να ελαχιστοποιείται τελικά ο αριθμός των διαπομπών. Αντίθετα ένα μοντέλο όπως το DAS, μπορεί να επιτρέψει σε αρκετούς γρήγορους χρήστες με μεγάλη ποσότητα δεδομένων να εξυπηρετηθούν από το μικροκυβελικό επίπεδο, μια κίνηση που θα αυξήσει τον αριθμό των διαπομπών, και συνακόλουθα το φορτίο σηματοδότησης του συστήματος.
- Εξετάζοντας τώρα την πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (dropping probability) από τις Γραφικές Παραστάσεις 46, 49 και 52, προκύπτει ότι τα δύο μοντέλα εμφανίζουν παρόμοιες επιδόσεις, τόσο όσον αφορά τις τιμές που παίρνει η πιθανότητα αποκλεισμού όσο και η μορφή των καμπυλών της σε σχέση με το χρόνο. Εξαιρέση αποτελούν μερικά σημεία στα οποία το μοντέλο VAS «δυσκολεύεται» στη σύγκλιση του κατωφλιού ταχύτητας με αποτέλεσμα να εμφανίζει χειρότερες επιδόσεις για κάποιο μικρό διάστημα (π.χ. Γραφική Παράσταση 46, για χρόνο προσομοίωσης 2400-3400 sec). Από την τελευταία παρατήρηση προκύπτει ότι η ανεξαρτησία του μοντέλου DAS από τη ταχύτητα των χρηστών που είναι τυχαία, και η εξάρτηση του μόνο από την ποσότητα δεδομένων προς μετάδοση ή λήψη των χρηστών, η οποία ακολουθεί μια δεδομένη κατανομή¹⁸ το βοηθάει να συγκλίνει πιο ομαλά στην επιθυμητή βέλτιστη τιμή. Αντίθετα το μοντέλο VAS λόγω της

¹⁸ Για την περίπτωση του προσομοιωτή η κατανομή αυτή είναι ομοιόμορφη μεταξύ 0 και 5 Mbits. Γενικά όμως, σύμφωνα με όσα προτείνονται στη βιβλιογραφία, θα μπορούσε να είναι και λογαριθμοκανονική ή ακόμα και κανονική.



αδράνειας ως προς την κατανομή κινητικότητας των χρηστών που εμφανίζει το σύστημα καθώς μειώνεται το προσφερόμενο φορτίο, δυσκολεύεται να συγκλίνει ικανοποιητικά στο βέλτιστο κατώφλι κατά τη φάση μείωσης του φορτίου (Γραφικές Παραστάσεις 55, 56, 57).

- Τέλος εξετάζεται η πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability). Στην περίπτωση της, το μοντέλο VAS φαίνεται να παρουσιάζει κατά μέσο όρο λίγο καλύτερες επιδόσεις από το DAS. Η εξήγηση αυτού του γεγονότος πρέπει να αναζητηθεί σε όσα ειώθηκαν προηγουμένως όταν εξετάστηκαν οι διαπομπές. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο VAS, επειδή χρησιμοποιεί την ταχύτητα των χρηστών ως παράγοντα λήψης αποφάσεων, καταφέρνει να χωρίσει πιο αποτελεσματικά τους χρήστες στα δύο επίπεδα ώστε οι περισσότεροι γρήγοροι χρήστες να βρίσκονται στο μακροκυβελικό επίπεδο και να ελαχιστοποιείται τελικά ο αριθμός των διαπομπών και συνεπώς και ο αριθμός των χρηστών των οποίων η κλήση διακόπτεται κατά τη διαπομπή. Αντίθετα ένα μοντέλο όπως το DAS, μπορεί να επιτρέψει σε αρκετούς γρήγορους χρήστες με μεγάλη ποσότητα δεδομένων να εξυπηρετηθούν από το μικροκυβελικό επίπεδο, μια κίνηση που θα αυξήσει τον αριθμό των διαπομπών, και κατά πάσα πιθανότητα και τον αριθμό των χρηστών των οποίων η κλήση διακόπτεται κατά τη διαδικασία της διαπομπής.

6.4 Ανασκόπηση

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής διεξήχθησαν δύο σειρές προσομοιώσεων με σκοπό τη μελέτη των επιδόσεων πέντε μοντέλων εξυπηρέτησης και αποδοχής κλήσεων σε ιεραρχικά κυβελωτά συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών. Η πρώτη σειρά προσομοιώσεων έγινε κάτω από συνθήκες σταθερού προσφερόμενου φορτίου. Η δεύτερη σειρά προσομοιώσεων έγινε κάτω από συνθήκες μεταβλητού προσφερόμενου φορτίου.

Οι δύο πιο σημαντικοί παράμετροι QoS (Quality of Service) που απασχολούν της εταιρίες κινητής τηλεφωνίας σήμερα είναι η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων (blocking probability) και η πιθανότητα διακοπής κλήσεων (dropping probability). Κάθε εταιρία επιθυμεί για το ιεραρχικό κυβελωτό δίκτυο της αυτοί οι δύο παράμετροι να παίρνουν όσον το δυνατόν μικρότερες τιμές μέσω της χρήσης ενός κατάλληλου μοντέλου αποδοχής και εξυπηρέτησης κλήσεων. Βέβαια κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει κάτω από οποιοδήποτε κόστος. Για παράδειγμα ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας είναι οι επενδύσεις σε πάγιο εξοπλισμό, η υπολογιστική ισχύς και η πολυπλοκότητα που εισάγει κάθε μοντέλο εξυπηρέτησης κλήσεων που υπόσχεται βελτίωση των επιδόσεων.

Στο πλαίσιο των προσομοιώσεων που έγιναν σε αυτήν τη διπλωματική, βρέθηκε ότι, όσον αφορά τις υπηρεσίες εξυπηρέτησης φωνής, το μοντέλο RoD υπόσχεται με διαφορά τις καλύτερες επιδόσεις από τα τρία μοντέλα που εξετάστηκαν. Βέβαια, αυτές οι εξαιρετικές επιδόσεις έχουν ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση του συστήματος και με έναν «εξαιρετικό» αριθμό διαπομπών μεταξύ των δύο επιπέδων ενός ιεραρχικού συστήματος. Κάτι τέτοιο είναι ανεπιθύμητο σε ένα πραγματικό σύστημα κινητών επικοινωνιών, λόγω της μεγάλης αύξησης του φορτίου σηματοδοσίας που προκαλεί η αύξηση του αριθμού των διαπομπών. Αυτή με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε άλλα προβλήματα, όπως η αύξηση της τιμής της πιθανότητας διακοπής κλήσεων, λόγω έλλειψης καναλιών σηματοδοσίας.

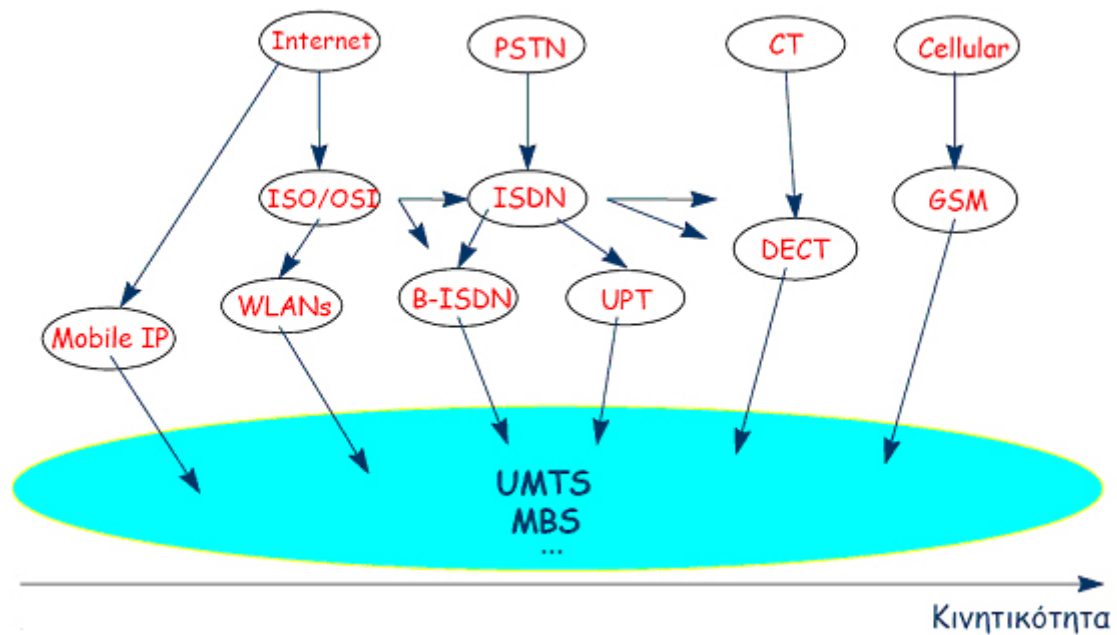


Για τον παραπάνω λόγο ίσως η καλύτερη επιλογή μεταξύ των μοντέλων που στηρίζονται σε μεταγωγή κυκλώματος είναι το μοντέλο ACP, το οποίο εμφανίζει ελαφρώς χειρότερες επιδόσεις από το RoD, αλλά ταυτόχρονα καταφέρνει να διατηρήσει τον αριθμό των διαπομπών σε χαμηλά επίπεδα, μέσω του απόλυτου διαχωρισμού των χρηστών στα δύο επίπεδα.

Όσον αφορά τώρα τα δύο μοντέλα εξυπηρέτησης υπηρεσιών δεδομένων αυτά εμφανίζουν παραπλήσιες επιδόσεις χωρίς να υπάρχει ξεκάθαρος νικητής. Εάν κριτήριο επιλογής αποτελεί η ομαλότητα της απόκρισης του συστήματος στις μεταβολές του φορτίου τότε θα πρέπει να προτιμηθεί το DAS το οποίο δεν εξαρτάται από την τυχαία ταχύτητα των χρηστών. Αντίθετα εάν ενδιαφέρει περισσότερο ο αριθμός των διαπομπών να είναι ο μικρότερος δυνατός, θα πρέπει προτιμηθεί το μοντέλο VAS, αφού ακριβώς επειδή στηρίζεται στην ταχύτητα των χρηστών για να αποφασίσει πως θα τους εξυπηρετήσει, καταφέρνει να τους χωρίσει στα δύο επίπεδα επιτυγχάνοντας τελικά μικρότερο αριθμό διαπομπών από το μοντέλο DAS. Ένα πλεονέκτημα του μοντέλου DAS όμως σε σχέση με το VAS είναι ότι το πρώτο δεν χρειάζεται να υπολογίσει την ταχύτητα των χρηστών με κάποιον τρόπο για να τους εξυπηρετήσει. Αντίθετα χρησιμοποιεί τη μεταφερόμενη ποσότητα δεδομένων κάθε χρήστη, μια πληροφορία που είναι εύκολα και άμεσα διαθέσιμη στο σύστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ευκολία υλοποίησης του DAS σε ένα πραγματικό σύστημα.

Κεφάλαιο 7

Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα





Κεφάλαιο 7

Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

7. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

7.1 Εισαγωγή

Από την εμπειρία που αποκομίσθηκε κατά τη μελέτη των ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων κινητών και προσωπικών επικοινωνιών, στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, έγινε φανερό ότι παρόλο που έχει γίνει μεγάλη ερευνητική προσπάθεια στον τομέα αυτό, σίγουρα υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης.

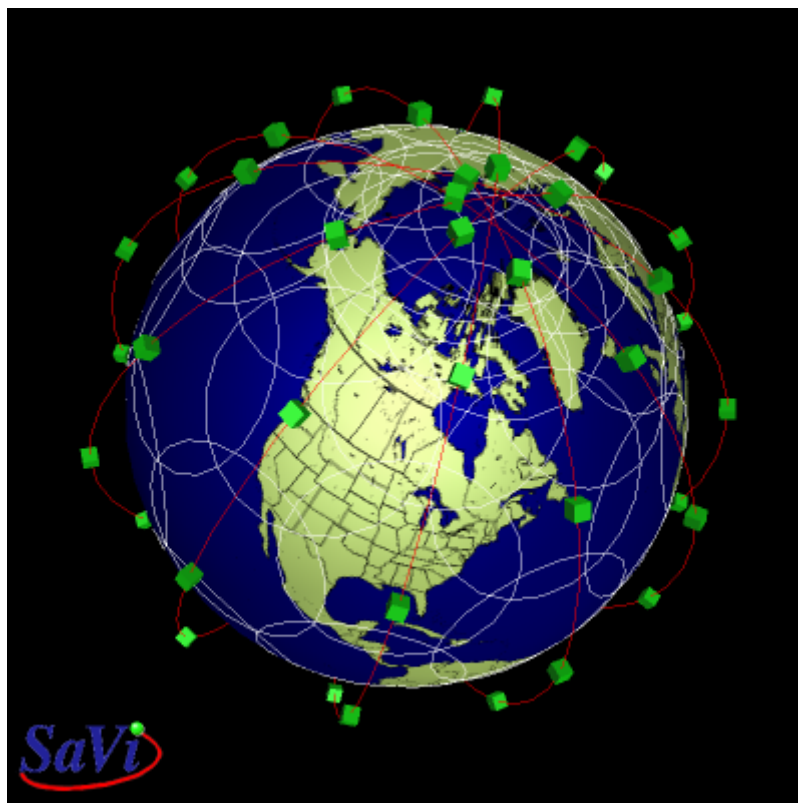
7.2 Ιεραρχικά Κυψελωτά Συστήματα

Ξεκινώντας από τη χρήση δορυφορικών δεσμών σε ιεραρχικά συστήματα κινητών επικοινωνιών, είναι προφανές ότι παράγοντες όπως το κόστος εκτόξευσης των δορυφόρων, η καθυστέρηση που εισάγει η απόσταση τους από τη γη και το μέγεθος των συσκευών που είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τα διάφορα δορυφορικά συστήματα κινητών επικοινωνιών (π.χ. Iridium, Globalstar), δυσχεραίνουν κατά πολύ τη μαζική διάδοση και εμπορική επιτυχία τους. Σε αυτόν τομέα η έρευνα θα πρέπει να κινηθεί σε τομείς όπως η βελτίωση του παρεχόμενου QoS και η κατασκευή πιο εξελιγμένων, μικρότερων και χρηστικότερων κινητών τερματικών.

Τον τελευταίο καιρό έχει αρχίσει να κάνει την εμφάνισή της μια πολύ ενδιαφέρουσα ιδέα όσον αφορά τα διάφορα επίπεδα των ιεραρχικών κυψελωτών συστημάτων. Η ιδέα αυτή έχοντας ως στόχο κυρίως την εξυπηρέτηση των λεγόμενων hot spots, που εμφανίζονται σε σημεία αυξημένης πυκνότητας χρηστών ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας, προτείνει τη χρησιμοποίηση on-off μικροκυψελών. Οι μικροκυψέλες αυτές δεν αποτελούν μόνιμο κομμάτι ενός ιεραρχικού συστήματος, αλλά έχουν τη δυνατότητα να ενεργοποιούνται όταν κριθεί απαραίτητο. Αντιστοίχως, μπορούν να απενεργοποιηθούν όταν η χρησιμοποίησή τους δεν είναι πλέον απαραίτητη. Επιπλέον, προτείνεται αυτές οι μικροκυψέλες να μην έχουν απαραίτητα σταθερή θέση. Για παράδειγμα έχει προταθεί η τοποθέτησή τους σε αστικά λεωφορεία, έτσι ώστε να είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν την αυξημένη πυκνότητα χρηστών στους δρόμους των αστικών κέντρων. Ίσως όμως πιο μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρησιμοποίηση τέτοιων διατάξεων σε τοποθεσίες όπως μεγάλα εμπορικά κέντρα ή στάδια, σε τοποθεσίες δηλαδή που παρουσιάζουν αυξημένο φορτίο σε πολύ συγκεκριμένες χρονικές περιόδους όπως οι εκπτώσεις ή η διοργάνωση μεγάλων αθλητικών γεγονότων.

7.2 Προσδιορισμός Κινητικότητας

Όσον αφορά τώρα τον προσδιορισμό της κινητικότητας των χρηστών, είδαμε ότι τα περισσότερα μοντέλα προσδιορισμού που έχουν προταθεί έχουν πολλά εγγενή προβλήματα, όπως η έλλειψη ακρίβειας ή εισαγωγή μεγάλης υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Το τελευταίο καιρό έχουν κάνει την εμφάνισή τους πολλά κινητά τηλέφωνα που προσφέρουν υπηρεσίες εντοπισμού θέσης μέσω του συστήματος GPS. Τα κινητά αυτά είναι πλέον ευρέως διαθέσιμα και σε λογικές τιμές. Δηλαδή το πρώτο βήμα για μια νέα μέθοδο προσδιορισμού της κινητικότητας, αυτό της εισαγωγής της αναγκαίας υπολογιστικής πολυπλοκότητας έχει ήδη γίνει. Επιπλέον το κόστος αυτών των κινητών τηλεφώνων κυμαίνεται σε λογικά επίπεδα. Το πιο ενδιαφέρον κομμάτι είναι όμως, ότι πλέον έχει αρχίσει να ενσωματώνεται στα κινητά τηλέφωνα ένα σύστημα που προσφέρει εγγενώς την υπηρεσία προσδιορισμού της ταχύτητας του χρήστη που το χρησιμοποιεί. Επιπλέον αυτός ο προσδιορισμός είναι άμεσος και μεγάλης ακρίβειας. Σίγουρα η χρήση του εξοπλισμού GPS που θα φέρουν τα μελλοντικά κινητά τηλέφωνα θα πρέπει να μην αμεληθεί όσον αφορά τη δυνατότητα προσδιορισμού της ταχύτητας του κινητού τερματικού. Στα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου συγκαταλέγεται και το γεγονός ότι δεν απασχολεί καθόλου το σύστημα από πλευράς σηματοδότησης, αφού όλες οι απαραίτητες ενέργειες γίνονται από το κινητό τερματικό. Ακόμα και κάποια μειονεκτήματα του συστήματος GPS, όπως ότι δεν προσφέρει κάλυψη εντός κτιρίων αποτελεί πλεονέκτημα στον προσδιορισμό της κινητικότητας, αφού εκ των πραγμάτων ένας χρήστης μέσα σε ένα κτίριο είναι αναγκαστικά αργός.



Σχήμα 32: Iridium, ένα δορυφορικό σύστημα κινητών επικοινωνιών, που αποτελείται από 66 δορυφόρους LEO. Αρχικά είχε σχεδιαστεί να έχει 77 δορυφόρους, όσους και ο ατομικός αριθμός του στοιχείου ιρίδιο, κάτι το οποίο δεν έγινε ποτέ λόγω της εμπορικής του αποτυχίας.



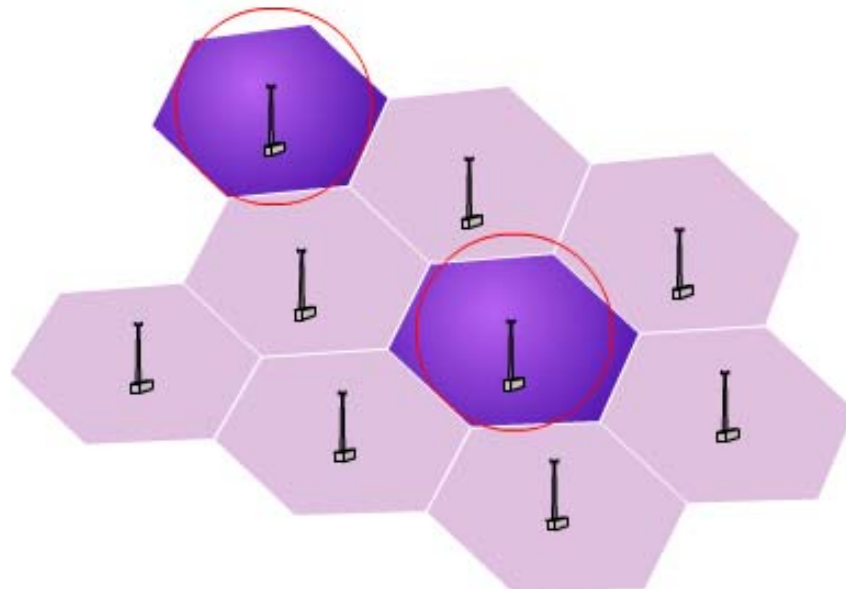
7.3 Ευφυή Μοντέλα Αποδοχής και Εξυπηρέτησης Κλήσεων

Στο σημείο αυτό θα προταθούν μερικές τροποποιήσεις που εκ πρώτης όψεως θα πρέπει να βελτιώσουν τις επιδόσεις των μοντέλων Maximum Packing Algorithm και Adaptive Channel Partitioning.

Βασικά αυτό που προτείνεται είναι ένας συνδυασμός των δύο μοντέλων. Κάτι τέτοιο θα είναι, πρώτον αρκετά εύκολο να υλοποιηθεί, αφού ο ACP είναι σχεδιασμένος να χρησιμοποιεί DCA στο μικροκυψελικό επίπεδο, ενώ δεύτερον αναμένεται να μειώσει αρκετά την αδικία που πραγματοποιείται σε βάρος των γρήγορων χρηστών στο MPA και να βελτιώσει σημαντικά τις επιδόσεις του συνδυασμένου μοντέλου. Το συνδυασμένο μοντέλο που θα προκύψει θα χρησιμοποιεί FCA στο μακροκυψελικό επίπεδο και DCA μέσω του Maximum Packing Algorithm στο μικροκυψελικό επίπεδο. Ταυτόχρονα οι πόροι του συστήματος θα μοιράζονται ανάμεσα στα δύο επίπεδα δυναμικά, ανάλογα με τις ανάγκες που δημιουργούνται και όπως ορίζεται στο μοντέλο ACP.

Σίγουρα οι επιδόσεις του MPA θα μπορούσαν να βελτιωθούν και με έναν πιο απλό τρόπο, όπως η εισαγωγή ενός ποσοστού P γρήγορων χρηστών, οι οποίοι αρχικά αναζητούνε πόρους στο μακροκυψελικό επίπεδο, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό γρήγορων χρηστών θα αναζητήσει πόρους στο μικροκυψελικό επίπεδο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να μειώσει το ποσοστό των γρήγορων χρηστών που απορρίπτονται από το σύστημα, αυξάνοντας όμως τον αριθμό των διαπομπών του συστήματος.

Βιβλιογραφία





Βιβλιογραφία

8. Βιβλιογραφία

- [1] “*Assignment Strategies for Mobile Data Users in Hierarchical Overlay Networks: Performance of Optimal and Adaptive Strategies*”, Thierry E. Klein and Seung-Jae Han. IEEE Journal On Selected Areas In Communications, vol. 22, No. 5, June 2004.
- [2] “*Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio Systems*”, Kwan L. Yeung and Sanjiv Nanda. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 45, No. 4, November 1996.
- [3] “*Teletraffic Analysis of Hierarchical Cellular Communications Networks*”, G. Boggia, P. Camarda and Nicola Di Fonzo. IEEE Transactions On Vehicular Technology, vol. 52, No. 4, July 2003.
- [4] “*Maximum Packing Channel Assignment in Cellular Networks*”, A. Kulshreshtha and K. N. Sivarajan. IEEE Transactions On Vehicular Technology, vol. 48, No. 3, May 1999.
- [5] “*Modeling Dynamic Channel Allocation in Multicellular Communication Networks*”, G. Boggia and P. Camarda. IEEE Journal On Selected Areas In Communications, vol. 19, No. 11, November 2001.
- [6] «*Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών*», Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Μάρτιος 2004.
- [7] “*An Intelligent Radio Resource Management Scheme for Multilayered Cellular System with Different Bandwidths*”, Fumihide Kojima, Seiichi Sampei, and Norihiko Mcirinaga, IEEE VTC `98.
- [8] “*An Intelligent Radio Resource Management Scheme for Multi-layered Cellular System with Different Assigned Bandwidths under Nonuniform Traffic Conditions*”, Fumihide Kojima, Seiichi Sampei, and Norihiko Mcirinaga, IEEE 1998.
- [9] «*Ιεραρχικές Αρχιτεκτονικές στα Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών*», Τιμόθεος Ι. Καστρινογιάννης, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Σεπτέμβριος 2005.
- [10] “*Channel Assignment for Hierarchical Cellular Networks*”, Hsien-Ming Tsai, Ai-Chun Pang, Yung-Chun Lin, and Yi-Bing Lin. Proceedings of the 2003 International Conference on Parallel Processing (ICPP’03).
- [11] “*Repacking On Demand for Speed Sensitive Channel Assignment*”, Hsien-Ming Tsai, Ai-Chun Pang, Yung-Chun Lin, and Yi-Bing Lin. July 26, 2004.
- [12] “*Personal Communication Systems Using Multiple Hierarchical Cellular Overlays*”, S.S. Rappaport and L.R. Hu, IEEE J. Selected Areas Comm., vol. 13, pp. 406-415, May 1995.
- [13] “*Personal Communication Systems Using Multiple Hierarchical Cellular Overlays*”, S.S. Rappaport and L.R. Hu, IEEE J. Selected Areas Comm., vol. 13, pp. 406-415, May 1995.



- [14] “*A microcell overlaid with umbrella cell system*”, H. Furukawa and Y. Akiwa, *IEEE Veh. Technol. Conf.*, 1994, pp. 1455–1459.
 - [15] “*A microcell/macrocell cellular architecture for low- and high-mobility wireless users*”, C. L. I, L. J. Greenstein, and R. Gitlin, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, pp. 885–891, 1993.
 - [16] “*Performance analysis of microcellization with channel reservation for supporting two mobility classes in cellular wireless networks*,” S. B. Tripathi and A. Kumar, in *IEEE Conf. Personal Wireless Commun.*, Mumbai, India, Dec. 1997, pp. 9–18.
 - [17] “*Performance analysis of microcellization with channel reservation in a cellular wireless network*,” S. B. Tripathi, Master’s thesis, Indian Instit. Sci., Bangalore, India, June 1997.
 - [18] “*Autonomous reuse partitioning in cellular systems*”, T. Kanai, *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 782-785, May 1992.
 - [19] “*Modeling and analysis of layered cellular mobile networks*”, W. M. Jolley and R. E. Warfield, *Teletraffic Datatraffic Period Change*, vol. ITC-13, pp. 161-166, 1991.
 - [20] “*Quantifying the Benefits of Exploiting User Profiles in Cellular Networks*”, Vijoy Pandey, Dipak Ghosal, and Biswanath Mukherjee, *GLOBECOM 2000*.
 - [21] “*Microcell/Macrocell Selection Scheme Based on a New Velocity Estimation in Multitier Cellular System*”, Young Uk Chung, Dong Jun Lee and Dong Ho Cho, *IEEE Trans Veh. Technol.*, vol. 51, pp. 893-903, Sep. 2002.
 - [22] “*Channel management in micro/macrocellular radio systems*”, K. L. Yeung and S. Nanda, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, pp. 601-612, Nov. 1996.
 - [23] “*CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users*”, Paul Bender, Peter Black, Matthew Grob, Roberto Padovani, Nagabhushana Sindhushayana and Andrew Viterbi, *IEEE Communications Magazine*, July 2000.
-



Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Τυπική αρχιτεκτονική ενός επιπέδου.....	7
Σχήμα 2: Multitier architecture.....	8
Σχήμα 3: Τα διάφορα πιθανά επίπεδα ενός ιεραρχικού συστήματος κινητών επικοινωνιών.....	9
Σχήμα 4: Παράδειγμα χρήσης μακροκυψελών και μικροκυψελών μέσα σε μια τυπική αστική περιοχή.....	11
Σχήμα 5: Μακροκυψέλες σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας.....	11
Σχήμα 6: Πιθανά σενάρια χρήσης δορυφόρων σε συστήματα κινητών επικοινωνιών.....	12
Σχήμα 7: Τυπικό κινητό τερματικό του συστήματος Iridium.....	13
Σχήμα 8: Φαινόμενο Doppler.....	20
Σχήμα 9: Residual Dwell Time.....	23
Σχήμα 10: Power Level Offset.....	24
Σχήμα 11: Overlapping Region.....	27
Σχήμα 12: Overlapping Region Sojourn Time (ORST).....	27
Σχήμα 13: Αρχική διαδικασία ανάθεσης της κλήσης.....	36
Σχήμα 14: RoD για αργά τερματικά.....	37
Σχήμα 15: RoD για γρήγορα τερματικά.....	39
Σχήμα 16: Οι έξι ομάδες επαναχρησιμοποίησης στις οποίες ανήκει η κυψέλη j.....	42
Σχήμα 17	44
Σχήμα 18: Χωρισμός του διαθέσιμου φάσματος του συστήματος σε ομάδες. Ανάλογα με τη θέση του διαμερισμού καθορίζεται και ο αριθμός των ομάδων διαύλων που ανήκουν σε κάθε επίπεδο του ιεραρχικού συστήματος. Εδώ ο διαμερισμός βρίσκεται στη θέση 1.....	47
Σχήμα 19: Ο διαμερισμός βρίσκεται πλέον στη θέση 2.....	48
Σχήμα 20: Πιθανές αλλαγές της θέσης του διαμερισμού (a) Hold, (b) Shifting toward smaller number, (c) Shifting toward larger number.....	50
Σχήμα 21: Αρχικά το MT μετράει το λαμβανόμενο σήμα από τους επτά πιο ισχυρούς σταθμούς βάσης της περιοχής. Στη συνέχεια ακολουθείται η διαδικασία του σχήματος 22.....	52
Σχήμα 22: Διαδικασία εύρεσης πόρων στο μικροκυψελικό επίπεδο.....	53
Σχήμα 23: Το μικροκυψελικό επίπεδο του εικονικού χώρου προσομοίωσης.....	63
Σχήμα 24	64
Σχήμα 25: Προσδιορισμός των συντεταγμένων των κορυφών των μικροκυψελών.....	64
Σχήμα 26: Ονοματοδοσία κυψελών και εύρεση γείτονα.....	65
Σχήμα 27: Διάνυσμα κίνησης.....	66
Σχήμα 28: Ανισότητες που πρέπει να ικανοποιούνται για να βρίσκεται ο χρήστης εντός μιας κυψέλης.....	67
Σχήμα 29: Τμήμα του μικροκυψελικού επιπέδου. Η κίτρινη κυψέλη αντιπροσωπεύει την κυψέλη του χρήστη κατά την προηγούμενη χρονική στιγμή, ενώ οι κόκκινες αντιπροσωπεύουν την πρώτη κυψέλη και τη δεύτερη κυψέλη στην οποία ερευνάται αν μετακινήθηκε ο χρήστης. Στη συνέχεια	



εξετάζεται η πράσινη κυψέλη στη οποία πράγματι έχει μετακινηθεί και βρίσκεται ο χρήστης κατά την τρέχουσα χρονική στιγμή.	68
Σχήμα 30: Σχηματική αναπαράσταση των βασικότερων μετρητών του συστήματος μας.	74
Σχήμα 31: Τυπικό διάγραμμα προσφερόμενης τηλεφωνικής κίνησης στη διάρκεια μιας ημέρας. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ώρα, ενώ στον κατακόρυφο ο αριθμός των κλήσεων.	112
Σχήμα 32: Iridium, ένα δορυφορικό σύστημα κινητών επικοινωνιών, που αποτελείται από 66 δορυφόρους LEO. Αρχικά είχε σχεδιαστεί να έχει 77 δορυφόρους, όσους και ο ατομικός αριθμός του στοιχείου ιρίδιο, κάτι το οποίο δεν έγινε ποτέ λόγω της εμπορικής του αποτυχίας.	134

Ευρετήριο Γραφικών Παραστάσεων

Γραφική Παράσταση 1: RoD, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.	81
Γραφική Παράσταση 2: RoD, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.	82
Γραφική Παράσταση 3: RoD, αριθμός νέων (διαφορετικών χρηστών) που εξυπηρετεί το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	82
Γραφική Παράσταση 4: RoD, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπής στη διάρκεια μίας ώρας.	83
Γραφική Παράσταση 5: RoD, αριθμός διαπομπών που οφείλονται στη διαδικασία του repacking.	83
Γραφική Παράσταση 6: MPA, Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων.	86
Γραφική Παράσταση 7: MPA, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.	87
Γραφική Παράσταση 8: MPA, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	87
Γραφική Παράσταση 9: MPA, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπή στη διάρκεια μιας ώρας.	88
Γραφική Παράσταση 10: MPA, αριθμός νέων χρηστών που αποκλείονται από το σύστημα, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 50%. Όπως βλέπουμε στο συγκεκριμένο μοντέλο οι γρήγοροι χρήστες είναι σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνοι για την αυξημένη τιμή της πιθανότητας αποκλεισμού του συστήματος.	88
Γραφική Παράσταση 11: MPA, αριθμός νέων χρηστών που αποκλείονται από το σύστημα, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 90%.	89
Γραφική Παράσταση 12: MPA, αριθμός ενεργών χρηστών του συστήματος των οποίων η κλήση διακόπτεται, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 50%. Όπως βλέπουμε στο συγκεκριμένο μοντέλο οι γρήγοροι χρήστες είναι σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνοι για τη διαμόρφωση της τιμής της πιθανότητας διακοπής κλήσεων του συστήματος.	89
Γραφική Παράσταση 13: MPA, αριθμός ενεργών χρηστών του συστήματος των οποίων η κλήση διακόπτεται, ανάλογα με την ταχύτητά τους, για ποσοστό αργών χρηστών 90%.	90



Γραφική Παράσταση 14: ACP, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.	93
Γραφική Παράσταση 15: ACP, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.	93
Γραφική Παράσταση 16: ACP, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	94
Γραφική Παράσταση 17: ACP, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπή στο σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	94
Γραφική Παράσταση 18: VAS, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.	98
Γραφική Παράσταση 19: VAS, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.	98
Γραφική Παράσταση 20: VAS, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	99
Γραφική Παράσταση 21: VAS, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπή στο σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	99
Γραφική Παράσταση 22: VAS, σύγκλιση κατωφλιού ταχύτητας.	100
Γραφική Παράσταση 23: VAS, σύγκλιση κατωφλιού ταχύτητας.	100
Γραφική Παράσταση 24: VAS, σύγκλιση κατωφλιού ταχύτητας.	100
Γραφική Παράσταση 25: DAS, Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων.	103
Γραφική Παράσταση 26: DAS, Πιθανότητα διακοπής κλήσεων.	103
Γραφική Παράσταση 27: DAS, αριθμός νέων χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	104
Γραφική Παράσταση 28: DAS, αριθμός χρηστών που επιχειρούν διαπομπή στο σύστημα στη διάρκεια μιας ώρας.	104
Γραφική Παράσταση 29: DAS, σύγκλιση κατωφλιού δεδομένων.	105
Γραφική Παράσταση 30: DAS, σύγκλιση κατωφλιού δεδομένων.	105
Γραφική Παράσταση 31: DAS, σύγκλιση κατωφλιού δεδομένων.	105
Γραφική Παράσταση 32: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων για τα μοντέλα φωνής.	107
Γραφική Παράσταση 33: Πιθανότητα διακοπής κλήσεως για τα μοντέλα εξυπηρέτησης φωνής.	107
Γραφική Παράσταση 34: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής.	108
Γραφική Παράσταση 35: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων για τα μοντέλα δεδομένων.	110
Γραφική Παράσταση 36: Πιθανότητα διακοπής κλήσεως για τα μοντέλα εξυπηρέτησης δεδομένων.	110
Γραφική Παράσταση 37: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι. ..	114
Γραφική Παράσταση 38: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι. ..	114
Γραφική Παράσταση 39: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.	115
Γραφική Παράσταση 40: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι. ..	115
Γραφική Παράσταση 41: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι. ..	116
Γραφική Παράσταση 42: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.	116
Γραφική Παράσταση 43: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι. ..	117



Γραφική Παράσταση 44: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι. ...	117
Γραφική Παράσταση 45: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης φωνής για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.	118
Γραφική Παράσταση 46: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.	122
Γραφική Παράσταση 47: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.	122
Γραφική Παράσταση 48: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.....	123
Γραφική Παράσταση 49: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 70% γρήγοροι.	123
Γραφική Παράσταση 50: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 70% γρήγοροι.	124
Γραφική Παράσταση 51: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.....	124
Γραφική Παράσταση 52: Πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.	125
Γραφική Παράσταση 53: Πιθανότητα διακοπής κλήσεων των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.	125
Γραφική Παράσταση 54: Αριθμός διαπομπών των μοντέλων εξυπηρέτησης δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.....	126
Γραφική Παράσταση 55: VAS, Μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.	126
Γραφική Παράσταση 56: VAS, Μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.	127
Γραφική Παράσταση 57: VAS, Μεταβολή του κατωφλιού ταχύτητας για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.	127
Γραφική Παράσταση 58: DAS, Μεταβολή του κατωφλιού ποσότητας δεδομένων για ποσοστά χρηστών 90% αργοί, 10% γρήγοροι.	127
Γραφική Παράσταση 59: DAS, Μεταβολή του κατωφλιού ποσότητας δεδομένων για ποσοστά χρηστών 70% αργοί, 30% γρήγοροι.	128
Γραφική Παράσταση 60: DAS, Μεταβολή του κατωφλιού ποσότητας δεδομένων για ποσοστά χρηστών 50% αργοί, 50% γρήγοροι.	128