



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και Πληροφορίας & Δικτύων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Σχεδίαση και Μελέτη Ευέλικτου Πρωτοκόλλου Πρόσπελασης και Χρονοπρογραμματισμού σε Ασύρματα Δίκτυα Κινητών Χρηστών”

Τσιάτσης Βλάσιος

Επιβλέπων : Αν. Καθ. Πατεράκης Μιχάλης
Επιτροπή : Αν. Καθ. Μαράς Ανδρέας
Επικ. Καθ. Τριανταφύλλου Παναγιώτης

Χανιά, Αύγουστος 1998



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

“Σχεδίαση και Μελέτη Ευέλικτου Πρωτοκόλλου Πρόσπελασης και Χρονοπρογραμματισμού σε Ασύρματα Δίκτυα Κινητών Χρηστών”

Τσιάτσης Βλάσιος

Τρίτη 11 Αυγούστου 1998, Ωρα 10:00, π.μ.
Αίθουσα E33.01

Επιβλέπων: Αν. Καθ. Πατεράκης Μιχάλης
Επιτροπή: Αν. Καθ. Μαράς Ανδρέας
 Επικ. Καθ. Τριανταφύλλου Παναγιώτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόσβαση σταθερών δικτύων επικοινωνίας χρησιμοποιώντας κινητά προσωπικά μέσα πρόσβασης από «οποιαδήποτε τοποθεσία» αποτελεί στόχο των προσωπικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών του μέλλοντος (Personal Communication Services). Τέτοιου είδους υπηρεσίες αναμένεται να στηριχθούν σε ασύρματα δίκτυα κινητών χρηστών τρίτης γενεάς, το πρότυπο των οποίων βρίσκεται ακόμα υπο μελέτη, και τα οποία βασίζονται στην ιδέα των κυψελίδων. Τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν είτε τεχνολογία TDMA, είτε τεχνολογία CDMA για την πολλαπλή προσπέλαση του ασύρματου καναλιού, με την TDMA τεχνική να κυριαρχεί στην Ευρώπη. Η παρούσα εργασία επεκτείνει το μοντέλο της κυψελίδας βάζοντας και στην κίνηση των σταθερών χρηστών φωνής, χρήστες οι οποίοι εμφανίζουν κινητικότητα και μεταβαίνουν από κυψελίδα σε κυψελίδα (handover χρήστες) και μελετά την επίδραση τους στην ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας τόσο των σταθερών χρηστών φωνής όσο και των χρηστών δεδομένων. Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετούμε την απόδοση ενός πρωτοκόλλου προσπέλασης μέσου τύπου Reservation Random Access με ξεχωριστό τμήμα κρατήσεων και τμήμα μετάδοσης πληροφορίας, σε συνδυασμό με την τεχνική TDMA, που υποστηρίζει την εξυπηρέτηση 3 διαφορετικών κλάσεων χρηστών (σταθεροί χρήστες φωνής, handover χρήστες και χρήστες δεδομένων). Στο τμήμα κρατήσεων εφαρμόζεται μια καινούργια ιδέα για κινητά όρια των τμημάτων κρατήσεων μεταξύ των διαφορετικών κλάσεων χρηστών, ενώ κατά ο χρονοπρογραμματισμός του βασικού σταθμού λαμβάνει υπ' όψη του τις διαφορετικές κλάσεις των χρηστών. Ειδικά για τους χρήστες δεδομένων εφαρμόζεται η πολιτική χρονοπρογραμματισμού πολλαπλών πακέτων ανά χρήστη και ανά πλαίσιο, που πετυχαίνει καλύτερη χρήση του καναλιού από ότι η πολιτική χρονοπρογραμματισμού ενός πακέτου ανά χρήστη και ανά πλαίσιο.

*Αφιερώνεται σε αυτούς που η δίψα για γνώση αποτελεί
καθημερινή ανάγκη...*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα τον επιβλέπων αναπληρωτή καθηγητή Πατεράκη Μιχάλη για όλη τη βοήθεια και τη στήριξη που είχα καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης και την εξεταστική επιτροπή, αποτελούμενη από τον αναπληρωτή καθηγητή Μαρά Ανδρέα και τον επίκουρο καθηγητή Τριανταφύλλου Παναγιώτη για την ανάγνωση της διπλωματικής εργασίας και τις χρήσιμες υποδείξεις τους.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την οικογένειά μου για την πολύτιμη συμπαράστασή τους και την ηθική και υλική υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια σπουδών στα Χανιά.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω αυτούς που βοήθησα και αυτούς που με βοήθησαν γιατί και οι μεν και οι δε συνέβαλλαν στην προσπάθειά μου να γίνω καλύτερος, όχι μόνο ως φοιτητής αλλά και ως άνθρωπος.

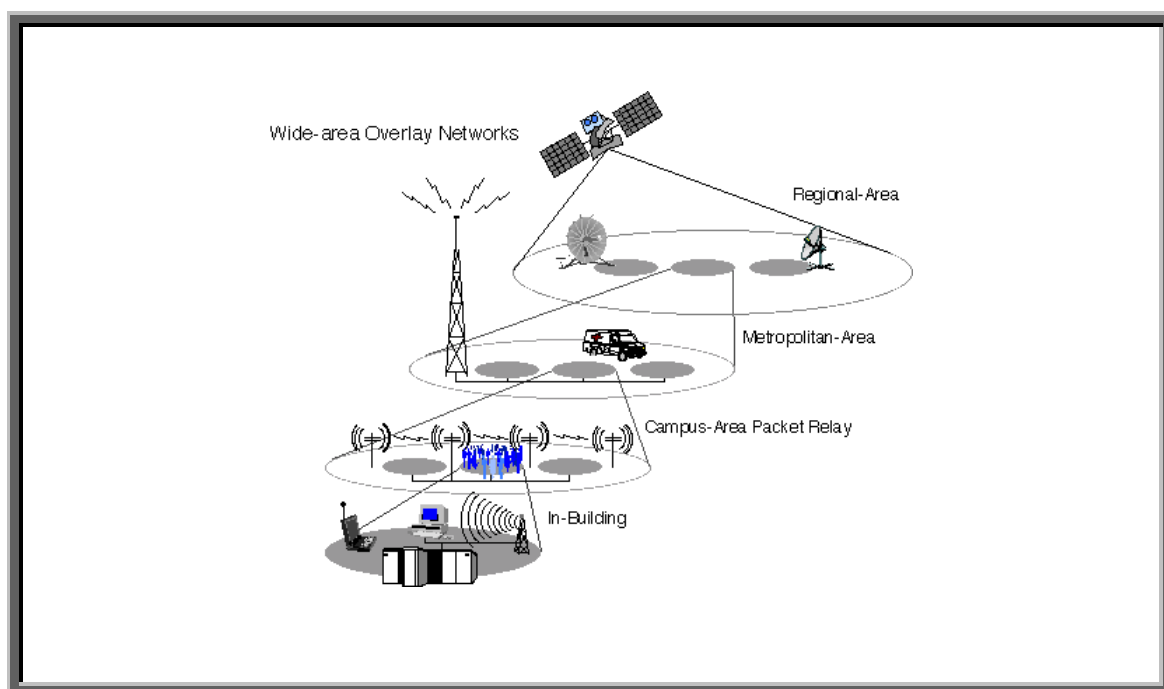
Χανιά 11 Αυγούστου 1998.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	
Εισαγωγή.....	1
1.1 Εξέλιξη Κυψελιδικών Συστημάτων.....	2
1.2 Περιγραφή Προβλήματος.....	4
1.3 Προσέγγιση.....	5
1.4 Σχετικές Εργασίες.....	8
1.5 Δομή Εργασίας.....	9
Κεφάλαιο 2	
2.1 Δομή πλαισίου καναλιού.....	12
2.2.1 Μοντέλα Χρηστών.....	14
2.2.1 Χρήστες φωνής.....	14
2.2.2 Handover Χρήστες.....	17
2.2.3 Χρήστες δεδομένων.....	19
2.3 Πρωτόκολλα μετάδοσης.....	21
2.3.1 Πρωτόκολλο RRA.....	21
2.3.2 Χρονοπρογραμματισμός βασικού σταθμού.....	22
2.3.3 Πρωτόκολλα μετάδοσης – προσπέλασης μέσου.....	23
2.3.3.1 Χρήστες φωνής.....	23
2.3.3.2 Χρήστες δεδομένων.....	25
2.4 Μετρικές Απόδοσης.....	26
2.4.1 Σταθεροί Χρήστες φωνής.....	26
2.4.1.1 Πιθανότητα απόρριψης πακέτου.....	26
2.4.1.2 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού.....	27
2.4.1.3 Μέγιστο throughput.....	27
2.4.2 Μεταβαίνοντες χρήστες φωνής.....	28
2.4.2.1 Πιθανότητα απόρριψης πακέτου.....	28
2.4.2.1 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού.....	28
2.4.3 Χρήστες δεδομένων.....	29
2.4.3.1 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού.....	29
2.4.3.2 Μέση καθυστέρηση μετάδοσης μηνύματος.....	29
2.5 Παράμετροι Συστήματος.....	29
Κεφάλαιο 3	
3.1 Περίπτωση κίνηση σταθερών χρηστών φωνής.....	32
3.2 Περίπτωση ολοκλήρωσης σταθερών πηγών φωνής και δεδομένων.....	35
3.3 Περίπτωση κίνηση σταθερών χρηστών φωνής και handover χρηστών..	39
3.4 Περίπτωση κίνηση χρηστών δεδομένων παρουσία σταθερών χρηστών φωνής και handover χρηστών.....	46
Κεφάλαιο 4	
4.1 Συμπεράσματα.....	47
4.2 Μελλοντικές προσπάθειες.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Εισαγωγή



1	Εισαγωγή
1.1	Εξέλιξη Κυψελιδικών Συστημάτων
1.2	Περιγραφή Προβλήματος
1.3	Προσέγγιση
1.4	Σχετικές Εργασίες
1.5	Δομή Εργασίας

Κεφάλαιο 1ο

Εισαγωγή

Η πρόσβαση σταθερών δικτύων επικοινωνίας χρησιμοποιώντας κινητά προσωπικά μέσα πρόσβασης από «οποιαδήποτε τοποθεσία» αποτελεί στόχο των προσωπικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών του μέλλοντος (Personal Communication Services). Με τον όρο «οποιαδήποτε τοποθεσία» εννοούμε τις τοποθεσίες εκείνες στις οποίες κρίνεται συμφέρουσα μια εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Ένας σημαντικός αριθμός εργασιών που περιλαμβάνει μελέτες από την αύξηση της ζωής της μπαταρίας του κινητού τηλεφώνου μέχρι την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων, κάνουν προσπάθειες να πραγματοποιήσουν τις προσωπικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες του μέλλοντος. Οι προσωπικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες απαιτούν μια καινούρια γενιά τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών που θα παρέχει μια πλειάδα υπηρεσιών όπως paging, μεταφορά μηνυμάτων, υπηρεσίες δεδομένων απλών (εικόνες, κείμενο κ.λ.π.) ή πολλαπλών μέσων (video on demand, video conferencing, τηλε-ιατρική κ.λ.π.).

Τα υπάρχοντα και τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα βασίζονται στην ιδέα των κυψελίδων [2]. Σύμφωνα με αυτή μια μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης, όπως είναι μια πόλη, χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές (κυψελίδες) σε κάθε μια από τις οποίες θα υπάρχει ένας βασικός σταθμός μέσω του οποίου θα έχουν πρόσβαση στο σταθερό δίκτυο τα κινητά τερματικά που βρίσκονται εντός των ορίων της κυψελίδας. Ο χωρισμός μια μεγάλης περιοχής σε μικρότερες, δίνει την δυνατότητα χρήσης βασικών σταθμών με μικρότερη ισχύ και όγκο. Αφού παρόμοιες ραδιοσυχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κυψελίδες που βρίσκονται αρκετά μακριά μεταξύ τους, για να εξαλειφθεί η παρεμβολή, πολλαπλές συνδιαλέξεις μεταξύ βασικού σταθμού και κινητών τερματικών μπορούν να χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες ταυτόχρονα (επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων) . Η διαδικασία μετάβασης από μια κυψελίδα σε μια άλλη αποκαλείται handover ή handoff και εφαρμόζεται έτσι ώστε να παρέχεται συνεχής κάλυψη σε όλη την περιοχή εξυπηρέτησης, παρά την τμηματοποίησή της σε κυψελίδες [3]. Η σπουδαιότητα της ιδέας των κυψελίδων βρίσκεται στο γεγονός ότι η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων επιτυγχάνεται σε πολύ μικρότερες γεωγραφικά περιοχές. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι το μέγεθος των κυψελίδων έχει ένα κατώτατο όριο που καθορίζεται από το ρυθμό με τον οποίο οι χρήστες μεταβαίνουν από την μια στην άλλη. Όσο το μέγεθος της κυψελίδας μικραίνει, ο ρυθμός αυτός μεγαλώνει και το

χρονικό overhead των μηνυμάτων που πρέπει να ανταλλάγουν μεταξύ των βασικών σταθμών είναι μεγάλο σε σχέση με την διάρκεια της συνδιάλεξης. Η δυνατότητα να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα του συστήματος με την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων, μαζί με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των μικροηλεκτρονικών, κατέστησε τις κινητές τηλεπικοινωνίες πολύ ελκυστικές και στον παροχέα υπηρεσιών και στον καταναλωτή.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι θα χρειαστεί μια ιεραρχική αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου, για να ικανοποιήσει ταυτόχρονα τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών μικρής και μεγάλης κινητικότητας, και να αυξήσει τη χωρητικότητα του συστήματος και την περιοχή κάλυψης[11 - 12].

Στην ιεραρχική αρχιτεκτονική των κυψελίδων ένας χρήστης χαμηλής κινητικότητας εξυπηρετείται από μικροκυψελίδες (που έχουν ακτίνα της τάξεως των 100 μέτρων), ενώ οι χρήστες υψηλής κινητικότητας συνεχίζουν να εξυπηρετούνται από τις μακροκυψελίδες (που έχουν ελάχιστη ακτίνα της τάξεως του 1 χιλιομέτρου). Μεταβάσεις χρηστών από κυψελίδα σε κυψελίδα (handovers) συμβαίνουν όταν ένας πεζός διασχίζει τα όρια της μικροκυψελίδας και όταν ένας χρήστης υψηλής κινητικότητας διασχίζει τα όρια μιας μακροκυψελίδας. Για να εκμεταλλευτούμε την υπάρχουσα κυψελιδική δομή, πολλές μικροκυψελίδες ενσωματώνονται σε μια μακροκυψελίδα. Οι βασικοί σταθμοί των μακροκυψελίδων είναι συνδεδεμένοι σε δίκτυο με τοπολογία αστέρα, κεντρικός κόμβος του οποίου είναι ένα κέντρο μεταγωγής της κίνησης από τους ασύρματους βασικούς σταθμούς στο υπάρχον ενσύρματο δίκτυο. Οι ομαδοποιημένες μικροκυψελίδες από την πλευρά τους είναι συνδεδεμένες με τον βασικό σταθμό της μακροκυψελίδας με ένα τοπικό ή αστικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας (π.χ. FDDI, Fiber Distributed Data Interface, ή DQDB, Distributed Queue Dual Bus [13]).

1.1 Εξέλιξη των Κυψελιδικών Συστημάτων

Τα κυψελιδικά συστήματα τηλεπικοινωνιών για κινητούς χρήστες δεν αποτελούν μια καινούρια ιδέα. Έχουν περάσει μέσα από συνεχή στάδια εξέλιξης, οι σημαντικότεροι περίοδοι των οποίων ονομάστηκαν γενεές.

Τα κυψελιδικά συστήματα πρώτης γενεάς είχαν σχεδιαστεί για κινητούς χρήστες φωνής μεγάλης κινητικότητας ταυτόχρονα και μεγάλης ισχύς, και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα. Η πρόσβαση του καναλιού στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση αναλογικής FM τεχνολογίας και την εφαρμογή της πολυπλεξίας στην συχνότητα. Το πρώτο τέτοιο σύστημα της πρώτης γενεάς στην Βόρειο Αμερική, ονομαζόμενο Advanced Mobile Phone Service (AMPS), εμφανίστηκε το 1983 και χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα. Άλλα συστήματα πρώτης γενεάς βασισμένα σε

διαφορετικά πρότυπα, χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες χώρες της Ευρώπης και η Ιαπωνία έχει τουλάχιστον ένα τέτοιο σύστημα.

Τα κυψελιδικά συστήματα δεύτερης γενεάς χρησιμοποιούν ψηφιακή τεχνολογία σχετικά υψηλής ισχύος (0.5 - 5 Watt) για να αυξήσουν την χωρητικότητα του συστήματος, ενώ συνεχίζουν να εστιάζουν το ενδιαφέρον τους κυρίως στους κινητούς χρήστες μέσα σε οχήματα. Το δεύτερης γενεάς πανευρωπαϊκό σύστημα, GSM (Global System for Mobile communications), είναι βασισμένο στην τεχνολογία της πολλαπλής πρόσβασης σε κοινό κανάλι με διαίρεση χρόνου (TDMA, Time Division Multiple Access)[24]. Το GSM εμφανίστηκε στην αγορά το 1993 και υιοθετήθηκε από πάνω από πενήντα χώρες, από τις οποίες περίπου οι μισές δεν είναι ευρωπαϊκές. Σήμερα το GSM έχει εξαπλωθεί σε παραπάνω από 100 χώρες παγκοσμίως και αναμένεται να λειτουργήσει σε παραπάνω από 130 χώρες μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Το GSM λειτουργεί σε συχνότητες 900MHz, 1800 MHz και 1900 MHz. Οι δύο βασικοί ασύρματοι παροχείς στην χώρα μας (Panafon, Telestet) χρησιμοποιούν GSM στη συχνότητα των 900 MHz, ενώ ο ΟΤΕ χρησιμοποιεί το σύστημα DCS 1800 (Digital Cellular System 1800), που είναι GSM σε συχνότητα 1.8 GHz [4]. Στην Βόρειο Αμερική υπάρχουν αρκετά πρότυπα για τα κυψελιδικά συστήματα δεύτερης γενεάς : τα συστήματα IS-54/IS-36 είναι βασισμένα σε τεχνολογία TDMA [5], και IS-95 χρησιμοποιεί την τεχνική CDMA (Code Division Multiple Access) που είναι βασισμένη σε τεχνολογία μετάδοσης ευρέως φάσματος [6 - 7]. Το IS-54 εισήχθη το 1996 στις μεγαλύτερες αγορές κυψελιδικών συστημάτων και το IS-95 εμφανίστηκε την ίδια χρονιά στο Λος Άντζελες. Τέλος αναφέρουμε ότι η Ιαπωνία έχει προωθήσει ένα δικό της σύστημα, το PDC (Personal Digital Cellular), που κάνει χρήση της τεχνικής TDMA[8].

Στην ιδανική περίπτωση, χρησιμοποιώντας ψηφιακή τεχνολογία, τα ασύρματα δίκτυα τρίτης γενεάς θα ολοκληρώσουν διάφορους τύπους υπηρεσιών όπως τα cordless τηλέφωνα, τους βομβητές, τα ασύρματα δίκτυα δεδομένων κ.α. Τουλάχιστον δύο σημαντικές προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για να αναπτύξουν πρότυπα κινητής τηλεφωνίας για την τρίτη γενεά. Το σύστημα UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) αναπτύσσεται ως ένα πανευρωπαϊκό πρότυπο και το σύστημα FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System) αναπτύσσεται ως ένα παγκόσμιο πρότυπο από την ITU (International Telecommunications Union)[9 - 10] που θα πάρει το όνομα IMT-2000. Το γεγονός ότι στις χώρες της Ευρώπης και στην Βόρειο Αμερική υπήρχαν τεχνολογίες δεύτερης γενεάς, που δεν ήταν συμβατές μεταξύ τους (TDMA/CDMA), δεν βοήθησε στην σύγκλιση των δύο διαφορετικών τύπων συστημάτων σε ένα κοινό παγκόσμιο πρότυπο. Πρόσφατα όμως το ινστιτούτο ETSI (European Telecommunications Standards Institute) υιοθέτησε την τεχνολογία CDMA σαν το νέο μέσο ραδιοζεύξης για το τηλεπικοινωνιακό πρότυπο τρίτης γενεάς UMTS, συμβάλλοντας έτσι στην σύγκλιση των διαφόρων προτύπων σε ένα κοινό

παγκόσμιο πρότυπο, παρόλο που υπάρχουν μερικά ακόμα προβλήματα να λυθούν μέχρις ότου τα δύο πρότυπα IS-95 και UMTS γίνουν πλήρως συμβατά [25] (π.χ. το IS-95 απαιτεί εξωτερικό συγχρονισμό από GPS ενώ το UMTS δεν προβλέπεται να βασίζεται σε GPS, τα δύο πρότυπα χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες και το χρησιμοποιούμενο εύρος των συχνοτήτων είναι διαφορετικό).

1.2 Περιγραφή προβλήματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάζουμε και μελετούμε ένα μηχανισμό πολλαπλής προσπέλασης που να πολυπλέκει και να ολοκληρώνει φωνή και δεδομένα σε μικροκυψελιδικά περιβάλλοντα. Μαζί με τα παραπάνω είδη κίνησης, που θεωρούμε ότι εξυπηρετούνται από το υπό μελέτη ασύρματο δίκτυο, θεωρούμε ότι και οι χρήστες που εισέρχονται στην μικροκυψελίδα (handover users) χρησιμοποιούν μια παρόμοια με τους σταθερούς χρήστες φωνής διαδικασία προσπέλασης του καναλιού. Στα σημερινά κυψελιδικά συστήματα η εξυπηρέτηση των handover χρηστών περνάει από τον βασικό σταθμό της μιας κυψελίδας στον βασικό στάθμο της άλλης με την βοήθεια μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των βασικών σταθμών. Στην παρούσα εργασία μελετούμε κατά πόσο είναι δυνατό να αποδεσμευτούν οι βασικοί σταθμοί από τους χρήστες αυτούς, να μην τους αντιμετωπίζουν με ιδιαίτερο τρόπο και να απαλλαχθούν από τα μηνύματα που στέλνουν μεταξύ τους για να τους εξυπηρετήσουν.

Ένας καλά σχεδιασμένος αλγόριθμος προσπέλασης θα πρέπει να μειώνει το κόστος του συστήματος, μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την χωρητικότητα του. Επιπρόσθετα θα πρέπει να ικανοποιεί απαιτήσεις ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας (Quality of Service), όπως η πιθανότητα απόρριψης πακέτων και η καθυστέρηση πρόσβασης στο δίκτυο. Τέλος, θα πρέπει να ολοκληρώνει διαφορετικές κλάσεις κίνησης (φωνή και δεδομένα). Γενικότερα οι παραπάνω στόχοι είναι δύσκολο να επιτευχθούν λόγω των περιορισμών στη χωρητικότητα των ασύρματων διαύλων και τις αντιφατικές απαιτήσεις ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας από φωνή και δεδομένα.

Τα τερματικά που είναι διασκορπισμένα μέσα στην μικροκυψελίδα μοιράζονται ένα κοινό κανάλι το οποίο τα συνδέει με το βασικό σταθμό. Ο βασικός σταθμός κατανέμει τους πόρους τους συστήματος, παραδίδει πληροφορία ανάδρασης καναλιού στα κινητά τερματικά και είναι ο ενδιαμέσος σταθμός μεταξύ κινητού τερματικού και του κέντρου μεταγωγής (mobile switching center). Το κέντρο μεταγωγής παρέχει πρόσβαση στο υπάρχον ενσύρματο δίκτυο. Επειδή η επικοινωνία μεταξύ βασικού σταθμού και κινητού είναι μια μετάδοση από ένα πομπό (βασικός σταθμός) σε πολλούς δέκτες (κινητά), συνήθως διενεργείται πάνω από ένα κανάλι πολυπλεγμένης εκπομπής TDM χωρίς ανταγωνισμό[13]. Έτσι η παρούσα

διπλωματική εργασία εστιάζει κυρίως στο κανάλι από τα κινητά τερματικά προς το βασικό σταθμό

Υποθέτουμε ότι κάθε τερματικό φωνής είναι εξοπλισμένο με ένα ανιχνευτή ομιλίας (VAD, Voice Activity Detector), ο οποίος παράγει πακέτα κατά την διάρκεια μιας περιόδου ομιλίας (talkspurt) και όχι κατά την διάρκεια των περιόδων σιωπής. Έτσι αφού ένα τερματικό φωνής χρειάζεται να μεταδώσει μόνο κατά τις περιόδους ομιλίας, ο χρόνος που αντιστοιχεί στις περιόδους σιωπής μέσα σε μια συνδιάλεξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις μεταδόσεις πακέτων από άλλα τερματικά φωνής. Δηλαδή η πολυπλεξία λαμβάνει χώρα σε επίπεδο περιόδων ομιλίας.

Οι απαιτήσεις στην καθυστέρηση πακέτου φωνής είναι γενικά πιο αυστηρές από τις αντίστοιχες για πακέτα δεδομένων, διότι η καθυστέρηση σε επικοινωνία φωνής είναι ενοχλητική στον ακροατή. Έτσι κάθε πακέτο φωνής πρέπει να παραδοθεί στον προορισμό του μέσα σ' ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, D_{max} . Όταν η καθυστέρηση ενός πακέτου φωνής ξεπεράσει το όριο D_{max} το πακέτο απορρίπτεται. Για να μην έχουμε μεγάλη υποβάθμιση της ποιότητας και για να μπορεί η ομιλία να γίνεται κατανοητή στον ακροατή, πρέπει το ποσοστό των πακέτων που απορρίπτονται να μην υπερβαίνει το 1% με 2% [14]. Από την άλλη πλευρά οι εφαρμογές δεδομένων είναι πολύ πιο ανεκτικές σε καθυστερήσεις (καθυστερήσεις της τάξεως των 200ms είναι γενικά αποδεκτές), αλλά συχνά απαιτούν επιτυχή παράδοση όλων των πακέτων του μηνύματος στον προορισμό (π.χ. μεταφορά ενός αρχείου).

1.3 Προσέγγιση

Τα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης έχουν σχεδιαστεί να πολυπλέκουν κίνηση που παράγεται από διαφορετικές πηγές σε ένα κοινό κανάλι. Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε σαν πρωτόκολλα βασισμένα σε ανταγωνισμό, είτε σαν πρωτόκολλα απαλλαγμένα από συγκρούσεις [15]. Τα απαλλαγμένα από συγκρούσεις πρωτόκολλα εγγυώνται ότι ένα τερματικό μπορεί να μεταδώσει το πακέτο του χωρίς παρεμβολή, αναθέτοντας ένα τμήμα του φάσματος ή του χρόνου του καναλιού σε κάθε τερματικό (FDMA ή TDMA). Αντίθετα τα πρωτόκολλα που βασίζονται στον ανταγωνισμό δίνουν την δυνατότητα στα τερματικά να έχουν πρόσβαση στο κανάλι κατ' απαίτηση. Αφού τα τερματικά προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι τυχαία, υπάρχει περίπτωση να μεταδοθούν πολλαπλά πακέτα ταυτόχρονα (σύγκρουση) και έτσι να χρειαστεί η εφαρμογή κάποιου αλγορίθμου επίλυσης της σύγκρουσης (π.χ. Aloha [16]). Για να αποφύγουμε τις

μεγάλες καθυστερήσεις πακέτων και την ασταθή λειτουργία κάτω από υψηλό φορτίο, η επίλυση της σύγκρουσης απαιτεί προσεκτική σχεδίαση.

Τα πρωτόκολλα RRA (Reservation Random Access), παρέχουν βασισμένο σε ανταγωνισμό μαζί με την τεχνική TDMA για την πολλαπλή προσπέλαση ενός χρονικά κβαντισμένου καναλιού. Ο χρόνος του καναλιού χωρίζεται σε πλαίσια σταθερής διάρκειας τα οποία με την σειρά τους αποτελούνται από ένα σταθερό αριθμό από χρονοθυρίδες που μπορούν να είναι είτε θυρίδες πληροφορίας είτε θυρίδες αιτήσεων. Οι θυρίδες πληροφορίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σαν δεσμευμένες (κρατημένες) ή διαθέσιμες. Τα ανταγωνιζόμενα τερματικά (αυτά που έχουν πακέτα και δεν έχουν κράτηση) κάνουν χρήση ενός αλγορίθμου τυχαίας προσπέλασης για να ανταγωνισθούν για τους πόρους του συστήματος. Όταν υπάρξει επιτυχής μετάδοση της αίτησης, το τερματικό λαμβάνει μια κράτηση για μια χρονοθυρίδα πληροφορίας κατά τα επόμενα πλαίσια. Ένα τερματικό που έχει κράτηση μεταδίδει ελεύθερα κατά την διάρκεια της κρατημένης χρονοθυρίδας και η κράτηση διατηρείται για τα επόμενα πλαίσια στα οποία το τερματικό έχει πακέτα να μεταδώσει.

Η λειτουργία ενός RRA πρωτοκόλλου είναι παρόμοια με τη λειτουργία του γνωστού πρωτοκόλλου PRMA (Packet Reservation Multiple Access)[17 - 18] που φαίνεται στο σχήμα 1.1. Για πιο απλή περιγραφή του σχήματος, υποθέτουμε ότι όλα τα τερματικά που λαμβάνουν μέρος στον αλγόριθμο που περιγράφει το σχήμα είναι τερματικά φωνής. Κάθε πλαίσιο καναλιού περιέχει 6 χρονοθυρίδες πληροφορίας και κάθε χρονοθυρίδα έχει διάρκεια ίση με την διάρκεια μετάδοσης ενός πακέτου συγκεκριμένου μεγέθους. Τα ανταγωνιζόμενα τερματικά χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο τυχαίας προσπέλασης βασισμένο στο πρωτόκολλο Aloha με σταθερή πιθανότητα επαναμετάδοσης, για να ανταγωνισθούν για τις διαθέσιμες χρονοθυρίδες. Ένα ανταγωνιζόμενο τερματικό που θα καταφέρει να μεταδώσει επιτυχώς το πακέτο του κατά τη διάρκεια μιας διαθέσιμης χρονοθυρίδας, αποκτά μια κράτηση για την συγκεκριμένη χρονοθυρίδα για κάθε επόμενο πλαίσιο στο οποίο έχει πακέτα μέχρι αυτά να εξαντληθούν.

Η ανάδραση του βασικού σταθμού που παρατηρείται κατά την διάρκεια του πλαισίου $k-1$ δείχνει ότι στο πλαίσιο k : οι χρονοθυρίδες 1,3,4, και 6 είναι κρατημένες, αντιστοίχως, από τα τερματικά 3, 9, 1 και 2, και οι χρονοθυρίδες 2 και 5 είναι διαθέσιμες. Στην αρχή του πλαισίου k τα τερματικά 4 και 8 ανταγωνίζονται για πρόσβαση στο κανάλι. Τα γεγονότα που συμβαίνουν κατά την διάρκεια του πλαισίου k εξηγούνται ως εξής : το τερματικό 3 μεταδίδει το πακέτο του αποκλειστικά στην πρώτη χρονοθυρίδα αφού κατέχει κράτηση για αυτή. Επειδή κανένα τερματικό δεν μεταδίδει κατά την διάρκεια της χρονοθυρίδας 2,

συμπεραίνουμε ότι και τα δύο ανταγωνιζόμενα τερματικά δεν μετέδωσαν σε αυτή την χρονοθυρίδα. Επειδή έχουν κρατήσεις, τα τερματικά 9 και 1 μεταδίδουν τα πακέτα τους στις χρονοθυρίδες 3 και 4, αντίστοιχα. Στην χρονοθυρίδα 5 το τερματικό 4 μεταδίδει επιτυχώς το πακέτο του και αποκτά κράτηση για την συγκεκριμένη χρονοθυρίδα και ο βασικός σταθμός μαρκάρει την χρονοθυρίδα σαν κρατημένη. Τέλος το τερματικό 2 μεταδίδει ένα πακέτο στην κρατημένη γι' αυτό χρονοθυρίδα 6. Στο τέλος του πλαισίου k , τα τερματικά 6 και 8 καταγράφονται σαν ανταγωνιζόμενα και συμπεραίνουμε ότι το τερματικό 6 έχει εισέλθει σε κατάσταση ομιλίας κατά την διάρκεια του πλαισίου.

Πλαίσιο	Αρχή	Μεταδόσεις	Τέλος												
k	Ανταγωνιζόμενα : 4 , 8 Μεταδίδουν : 3	<table><tr><td>R3</td><td>A</td><td>R9</td><td>R1</td><td>A</td><td>R2</td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>9</td><td>1</td><td>4</td><td>2</td></tr></table>	R3	A	R9	R1	A	R2	3		9	1	4	2	Ανταγωνιζόμενα : 6 , 8
R3	A	R9	R1	A	R2										
3		9	1	4	2										
k+1	Ανταγωνιζόμενα : 6, 8 Μεταδίδουν : 3	<table><tr><td>R3</td><td>A</td><td>R9</td><td>R1</td><td>R4</td><td>R2</td></tr><tr><td>3</td><td>6,8</td><td>9</td><td>1</td><td>4</td><td>2</td></tr></table>	R3	A	R9	R1	R4	R2	3	6,8	9	1	4	2	Ανταγωνιζόμενα : 6 , 8 Τερματικό 1, μεταδίδει τελευταίο πακέτο
R3	A	R9	R1	R4	R2										
3	6,8	9	1	4	2										
k+2	Ανταγωνιζόμενα : 6, 8 Μεταδίδουν : 3	<table><tr><td>R3</td><td>A</td><td>R9</td><td>A</td><td>R4</td><td>R2</td></tr><tr><td>3</td><td>6</td><td>9</td><td></td><td>4</td><td>2</td></tr></table>	R3	A	R9	A	R4	R2	3	6	9		4	2	Ανταγωνιζόμενα : 8
R3	A	R9	A	R4	R2										
3	6	9		4	2										

Σχήμα 1.1

Ομοίως, τα γεγονότα κατά την διάρκεια του πλαισίου $k+1$ εξηγούνται όπως παρακάτω. Το τερματικό 3 μεταδίδει το πακέτο του στη χρονοθυρίδα 1. Στην χρονοθυρίδα 2 αφού και τα δύο ανταγωνιζόμενα τερματικά μεταδίδουν τα πακέτα τους, συμβαίνει μια σύγκρουση και η χρονοθυρίδα παραμένει διαθέσιμη. Τα τερματικό 9 μεταδίδει στη χρονοθυρίδα 3. Κατά την διάρκεια της χρονοθυρίδας 4, το τερματικό 1 μεταδίδει το τελευταίο πακέτο της τρέχουσας περιόδου ομιλίας του και απελευθερώνει την κράτηση για αυτή τη χρονοθυρίδα. Έτσι ο βασικός σταθμός αναγνωρίζει τη χρονοθυρίδα 4 σαν διαθέσιμη στο επόμενο πλαίσιο. Τέλος τα τερματικά 4 και 2 μεταδίδουν στις δικές τους κρατημένες χρονοθυρίδες.

Κατά τη διάρκεια του πλαισίου $k+2$ το τερματικό 6 μεταδίδει το πακέτο του επιτυχώς στην πρώτη διαθέσιμη χρονοθυρίδα. Στα τέλος του πλαισίου $k+2$ το τερματικό 8 συνεχίζει να βρίσκεται στην κατάσταση ανταγωνισμού αφού δεν κατάφερε να μεταδώσει επιτυχώς το πακέτο του κατά τη διάρκεια του πλαισίου. Το πρωτόκολλο τύπου RRA που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.

1.4 Σχετικές Εργασίες

Επειδή τα πρωτόκολλα τύπου RRA παρέχουν έναν αποδοτικό τρόπο για μετάδοση πακέτων πηγών φωνής εκμεταλλευόμενα την ιδιότητα των πηγών φωνής να βρίσκονται σε δύο καταστάσεις, σιωπής και ομιλίας, ποικίλες μορφές τους έχουν προταθεί και μελετηθεί για εφαρμογή σε μελλοντικά ασύρματα δίκτυα τρίτης γενεάς. Οι παρακάτω αναφορές έχουν άμεση σχέση με την παρούσα διπλωματική εργασία και δεν εξαντλούν όλο το πεδίο της έρευνας γύρω από τα RRA πρωτόκολλα.

Σε μια τροποποίηση του PRMA, γνωστή ως PRMA++ [20 - 21], όλες οι χρονοθυρίδες στο πλαίσιο είναι ίσου μεγέθους αλλά μερικές από αυτές είναι χρονοθυρίδες αιτήσεων και οι υπόλοιπες χρονοθυρίδες πληροφορίας. Τα ανταγωνιζόμενα τερματικά φωνής ακολουθούν ένα γενικευμένο slotted Aloha αλγόριθμο για να μεταδώσουν τις αιτήσεις τους κατά την διάρκεια των χρονοθυρίδων αιτήσεων. Με την επιτυχή λήψη ενός πακέτου αίτησης ο βασικός σταθμός είτε κάνει κράτηση μιας χρονοθυρίδας στο τερματικό που είχε επιτυχή μετάδοση, είτε εισάγει την αίτησή του σε μια ουρά. Στην δεύτερη περίπτωση το τερματικό παρακολουθεί συνεχώς το κανάλι από το βασικό σταθμό προς τα κινητά τερματικά μέχρι να λάβει κράτηση.

Στα πρωτόκολλα τύπου RRA που προτείνονται στα [22 - 23] υπάρχει η ιδέα του χωρισμού των χρονοθυρίδων αιτήσεων σε μικροχρονοθυρίδες (minislots) ενώ οι υπόλοιπες είναι χρονοθυρίδες πληροφορίας. Τα ανταγωνιζόμενα τερματικά χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο slotted Aloha για να μεταδώσουν πακέτα μέσα στις μικροχρονοθυρίδες. Ο βασικός σταθμός παρέχει επιβεβαιώσεις και αναθέτει πόρους του συστήματος. Στην αναφορά [19], η ολοκλήρωση φωνής και δεδομένων επιτυγχάνονται με τον διαχωρισμό των χρονοθυρίδων πληροφορίας σε δύο τμήματα : ένα για τα τερματικά φωνής και ένα για τα τερματικά δεδομένων. Στην ίδια αναφορά αναλύεται η απόδοση των τερματικών φωνής ενώ στο αναφορά [20] μελετάται μια τροποποίηση του δυναμικού TDMA.

Ένα μειονέκτημα των πρωτοκόλλων που περιγράφονται στις αναφορές [20 - 23] είναι το σταθερό overhead που οφείλεται στην ενσωμάτωση των χρονοθυρίδων αιτήσεων (για

σηματοδοσία ελέγχου και όχι για μετάδοση πληροφορίας). Παρόλα αυτά ένα θετικό στοιχείο για τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα είναι ότι ο βασικός σταθμός ελέγχει την ανάθεση των πόρων του συστήματος. Αυτός ο κεντριοποιημένος έλεγχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υλοποιηθούν διάφορες πολιτικές ελέγχου πρόσβασης (access control policies), δυναμική ανάθεση των πόρων του καναλιού και για την ολοκλήρωση κλάσεων κίνησης με διαφορετικές προτεραιότητες.

1.5 Δομή Εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στα κυβελιδικά συστήματα, την ιεραρχική δομή των κυβελιδικών συστημάτων και μια ιστορική αναδρομή των γενεών αυτών των συστημάτων. Επίσης παρατίθεται η περιγραφή του προβλήματος που μελετάμε η προσέγγιση που χρησιμοποιούμε και οι σχετικές εργασίες που πραγματεύονται μελέτη παρόμοιων συστημάτων.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει την περιγραφή του μοντέλου του συστήματος που μελετούμε. Η περιγραφή περιλαμβάνει την δομή του πλαισίου του καναλιού, τα μοντέλα των σταθερών χρηστών φωνής, των handover χρηστών και χρηστών δεδομένων. Στη συνέχεια περιγράφονται τα πρωτόκολλα προσπέλασης μέσου και μετάδοσης που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες καθώς και ο χρονοπρογραμματισμός του βασικού σταθμού. Τέλος παρατίθενται οι μετρικές απόδοσης και οι παράμετροι του συστήματος μας.

Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για περιπτώσεις κίνησης μόνο χρηστών δεδομένων, μόνο σταθερών χρηστών φωνής, σταθερών χρηστών φωνής και χρηστών δεδομένων, σταθερών χρηστών φωνής και handover χρηστών και τέλος σταθερών χρηστών φωνής, handover χρηστών και χρηστών δεδομένων.

Το τέταρτο κεφάλαιο παραθέτει τα συμπεράσματα που βγαίνουν μελετώντας τις προσομοιώσεις καθώς και τις μελέτες που μπορεί να γίνουν στο μέλλον βασιζόμενες στο υπάρχον μοντέλο.

Αναφορές

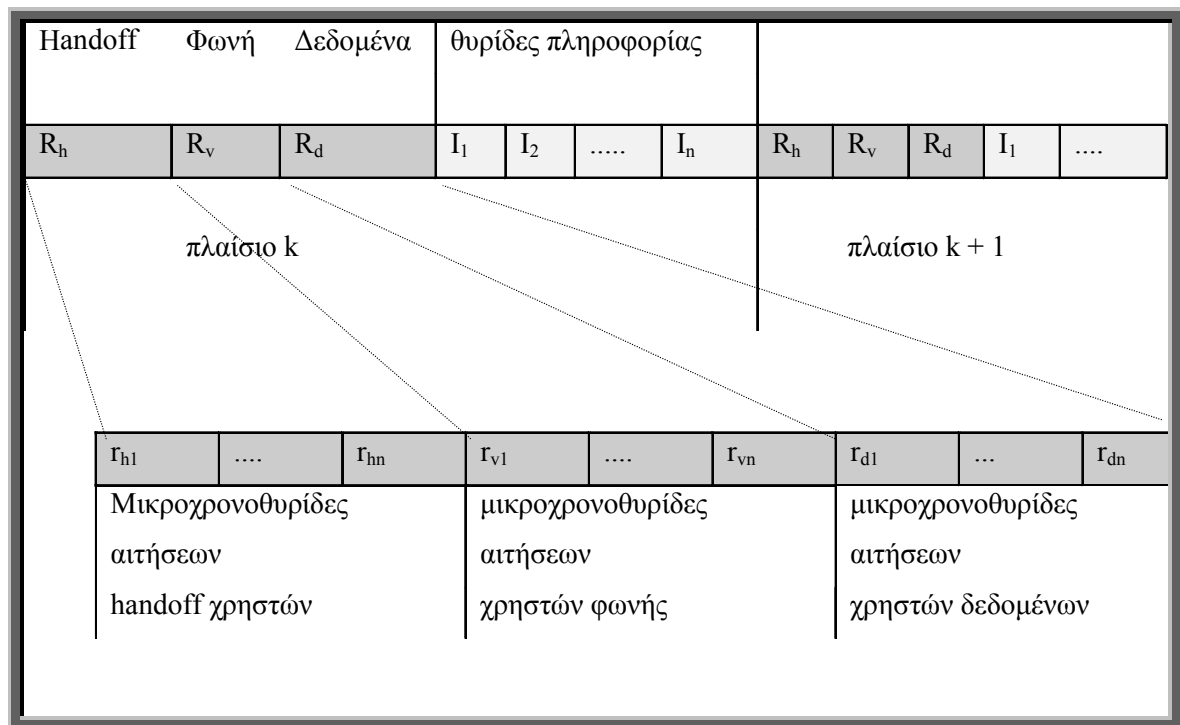
- [1] D. C. Cox, “Wireless Personal Communications: What is it? “, *IEEE Pers. Commun.*, Vol. 2, No. 2, Apr. 1995, pp. 20-35.
- [2] V. H. MacDonald, “The Cellular Concept”, *Bell Sys. Tech. Journal*, Vol. 58, No. 1, Jan. 1979, pp. 15-41.
- [3] G. P. Pollini, “Trends in Handover Design”, *IEEE Commun. Mag.*, May 1996, pp. 82-90.
- [4] P.A Rahnema, “Personal Communications in the UK – Implementation of PCN using DCS 1800”, *Int. J. Wireless Info. Networks*, Vol. 1, No. 1, Jan. 1994, pp. 29-36.
- [5] TIA/EIA, IS-54, “Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard”, Telecommunications Industry Association, Apr. 1992.
- [6] A.J.Viterbi, “Spread Spectrum Communications - Myths and Realities”, *IEEE Commun. Mag.*, May 1979, pp. 11-18.
- [7] R. Kohno, R. Meidan and L.B. Milstein, “Spread Spectrum Access Methods for Wireless Communications”, *IEEE Commun. Mag.*, Jan. 1995, pp. 58-67.

- [8] K. Kinoshita, M. Kuramoto and N. Nakajima, “Development of a TDMA Digital Cellular System Based on Japanese Standard”, *Proc. 41st IEEE Veh. Technol. Conf.*, VTC 1991, pp. 642-645.
- [9] C. C. Evci, “RACE-UMTS for Third Generation Wireless Networks, *Ann Telecommun.*, Vol. 47, No. 7-8, Jul.-Aug. 1992, pp. 267-281.
- [10] R. Pandya, “Emerging Mobile and Personal Communication Systems”, *IEEE Commun. Mag.*, Jun. 1995, pp. 44-51.
- [11] C.L.I., L.J. Greenstein and R. D. Gitlin, “A Microcell/Macrocell Architecture for Low- and High-Mobility Users”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 11, No. 6, Aug. 1993, pp. 885-891.
- [12] J. F. Rizzo and N. Sollenberger, “Multitier Wireless Access”, *IEEE Pers. Commun.*, Vol. 2, No. 3, Jun. 1995, pp. 18-30.
- [13] D. Bertsekas and R. Gallager, “Data Networks”, 2nd Ed., Prentice Hall Inc., 1992.
- [14] B. Mukherjee, “Integrated Voice-Data Communication Over High Speed Fiber Optic Networks”, *IEEE Computer Mag.*, Vol. 24, No. 2, Feb. 1991, pp. 49-58.
- [15] R. Rom and M. Sidi, “Multiple Access Protocols: Performance and Analysis”, *Springer Verlag*, 1990.
- [16] N. Abrahamson, “The ALOHA System – Another Alternative for Computer Communications”, *AFIPS Conf. Proc. Fall Joint Computer Conf.*, Vol. 37, 1970, pp. 281-285.
- [17] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela, K.T. Gaylard and B. Ramamurthi, “Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications”, *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-37, No. 8, Aug. 1989, pp. 885-890.
- [18] D.J. Goodman, “Cellular Packet Communications”, *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-38, No. 8, Aug. 1990, pp. 1272-1280.
- [19] A. C. Cleary and M. Paterakis, “Voice-Data Integrated Channel Access for Microcellular Networks Using Splitting RRA Algorithms”, In *High-Speed Networking for Multimedia Applications*, W. Effelsberg, O. Spaniol, A. Danthine, D. Ferrari (eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 1996 (book chapter)
- [20] J. M. DeVile, “A Reservation Based Multiple Access Scheme for a Future Universal Mobile Telecommunications System”, *Proc. of the 7th IEE Conf. on Mobile and Personal Commun.*, Brighton, UK, Dec. 1993, pp. 210-215.
- [21] J. Dunlop, J. Irvine, D. Robertson and P. Cosimini, “Performance of a Statistically Multiplexed Access Mechanism for a TDMA Radio Interface”, *IEEE Pers. Commun.*, Vol. 2, No. 3, Jun. 1995, pp. 56-64.

- [22] N.M. Mitrou, T.D. Orinos and E.N. Protonotarios, “A Reservation Multiple Access Protocol for Microcellular Mobile Communication Systems”, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 39, No. 4, Aug. 1990, pp. 340-351.
- [23] N.D. Wilson, R. Ganesh, J. Kuriacose and D. Raychaudhuri, “ Packet CDMA versus Dynamic TDMA for Multiple Access in an Integrated Voice/Data PCN”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 11, No. 6, Aug. 1993, pp.870-884.
- [24] M. Rahnema, “Overview of the GSM System and Protocol Architecture”, *IEEE Commun Mag.*, Apr. 1993, pp. 92-100.
- [25] European Telecommunications Standards Institute Press Releases , <http://www.etsi.org/>, NewsStand/Technical News, Jan. 29 1998.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Περιγραφή Μοντέλου Συστήματος



-
- 2.1 Δομή πλαισίου καναλιού
 - 2.2 Μοντέλα Χρηστών
 - 2.3 Πρωτόκολλα μετάδοσης
 - 2.4 Μετρικές Απόδοσης
 - 2.5 Παράμετροι Συστήματος
-

Κεφάλαιο 2ο

Περιγραφή Μοντέλου Συστήματος

2.1 Δομή πλαισίου καναλιού

Το κανάλι από τους κινητούς χρήστες προς τον βασικό σταθμό είναι οργανωμένο σε περιοδικά χρονικά πλαίσια σταθερής διάρκειας (time frames). Η διάρκεια ενός πλαισίου καθορίζεται έτσι ώστε ένας χρήστης φωνής που βρίσκεται σε κατάσταση ομιλίας (ενεργός χρήστης) να παράγει ένα πακέτο φωνής σε κάθε πλαίσιο. Η διάρκεια του πλαισίου εξαρτάται από την ποσότητα της πληροφορίας που περιέχει ένα πακέτο και το ρυθμό κωδικοποίησης της φωνής. Η δομή ενός πλαισίου αναπαριστάται στο σχήμα 2.1.

Το πλαίσιο με την σειρά του χωρίζεται σε έναν αριθμό από χρονοθυρίδες ίσης διάρκειας (time-slots). Οι χρονοθυρίδες έχουν διάρκεια ίση με το χρόνο μετάδοσης ολόκληρου πακέτου (επικεφαλίδα και πληροφορία) πάνω στο κανάλι. Η διάρκεια μιας χρονοθυρίδας καθορίζεται από το μήκος του πακέτου και την ταχύτητα μετάδοσης του καναλιού.

Το πλαίσιο αποτελείται από δύο κύρια τμήματα. Το πρώτο είναι το τμήμα κρατήσεων το οποίο προηγείται χρονικά από το δεύτερο, το τμήμα της μετάδοσης πληροφορίας. Κατά την διάρκεια του τμήματος κρατήσεων οι χρήστες ακολουθούν ένα αλγόριθμο πολλαπλής προσπέλασης μέσου ο οποίος περιγράφεται παρακάτω, για να μεταδώσουν τις αιτήσεις τους στον βασικό σταθμό για κράτηση μιας χρονοθυρίδας μετάδοσης πληροφορίας. Αν καταφέρουν να μεταδώσουν την αίτηση τους επιτυχώς, η τελευταία εισέρχεται σε μια ουρά προτεραιότητας στον βασικό σταθμό και εξυπηρετείται σύμφωνα με ένα αλγοριθμό χρονοπρογραμματισμού που λαμβάνει υπ' όψη του τις προτεραιότητες των χρηστών.

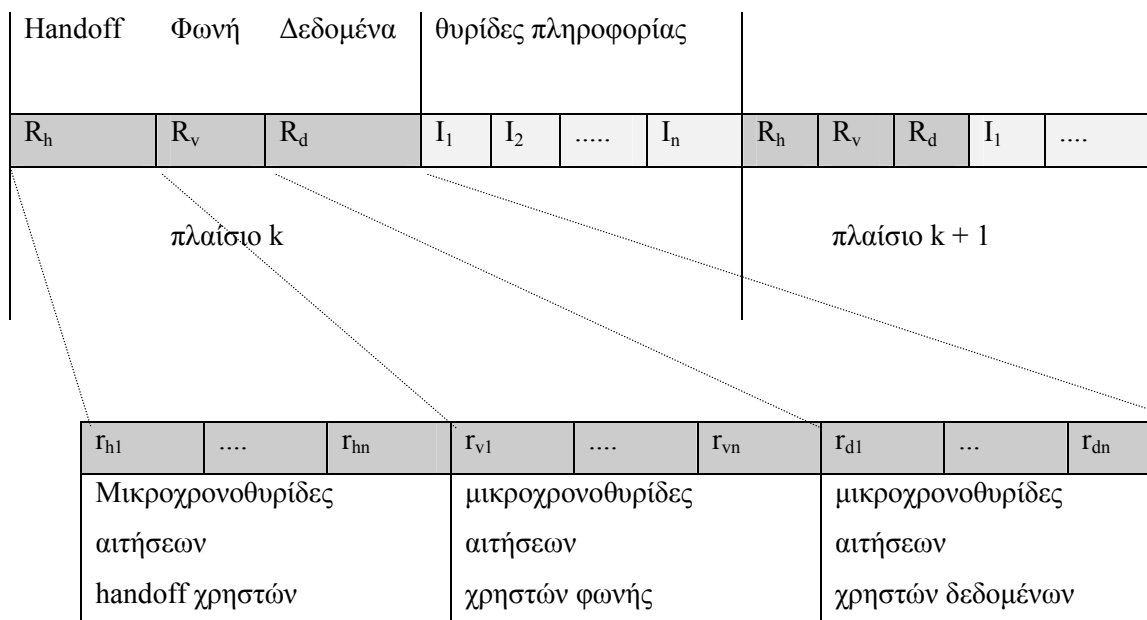
Κατά την διάρκεια του τμήματος των χρονοθυρίδων πληροφορίας, δίδεται το δικαίωμα σε όσα τερματικά έχουν κάνει κράτηση να μεταδώσουν το πακέτο που έχουν στην αντίστοιχη κρατημένη χρονοθυρίδα.

Στο μοντέλο του καναλιού που χρησιμοποιούμε, το τμήμα κρατήσεων αποτελείται από τρία τμήματα που αντιστοιχούν ανα ένα σε κάθε μια από τις κλάσεις των χρηστών που εξυπηρετούνται από το σύστημα. Το πρώτο χρονικά τμήμα προορίζεται για τις κρατήσεις των χρηστών που βρίσκονται στην διαδικασία της μετάβασης από κυψελίδα σε κυψελίδα (handover ή

handoff users), Το επόμενο τμήμα για τους σταθερούς χρήστες φωνής που βρίσκονται στην κυψελίδα και, το τελευταίο τμήμα δίδεται στους χρήστες δεδομένων που υπάρχουν στην κυψελίδα. Τα τμήματα αυτά αποτελούνται από ένα αριθμό χρονοθυρίδων που αποτελεί παραμέτρο του συστήματος.

Τα όρια μεταξύ των τμημάτων αυτών είναι μεταβλητά για να μεταβάλλεται η συμπεριφορά του συστήματος ανάλογα με την κίνηση των χρηστών. Τα όρια των περιοχών μπορούν να μετακινούνται προς τα αριστερά όταν δεν υπάρχουν χρήστες κάποιας κατηγορίας, ώστε να δίνουν στους χρήστες της επόμενης κατηγορίας τις μικροχρονοθυρίδες που δεν χρησιμοποιήθηκαν, παραχωρώντας τους, δηλαδή, το αχρησιμοποίητο bandwidth του καναλιού.

Οι χρονοθυρίδες των τμημάτων κρατήσεων είναι χωρισμένες σε μικρότερες χρονοθυρίδες (mini-slots), η διάρκεια των οποίων είναι ίση με την διάρκεια μεταδόσεως μίας αίτησης κράτησης. Η αίτηση κράτησης περιέχει ένα αναγνωριστικό του χρήστη είτε αυτός είναι χρήστης σε διαδικασία μετάβασης, είτε είναι χρήστης φωνής, είτε χρήστης δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζει ο βασικός σταθμός σε ποιούς χρήστες έχει αναθέσει τις χρονοθυρίδες πληροφορίας, και τους ειδοποιεί να μεταδώσουν μέσα σε αυτές. Οι χρήστες δεδομένων μπορούν να περιλάβουν στην αίτησή τους και των αριθμό των χρονοθυρίδων που απαιτούν στο συγκεκριμένο πλαίσιο αφού αυτοί μπορούν να μεταδώσουν περισσότερα του ενός πακέτα σε κάθε χρονικό πλαίσιο.



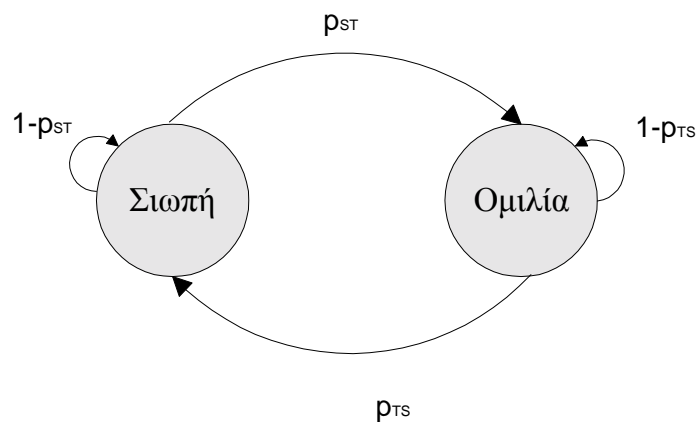
Σχημα 2.1

2.2 Μοντέλα Χρηστών

2.2.1 Χρήστες Φωνής

Οι βασικές υποθέσεις που χρησιμοποιούνται στο προσέγγιστικό Μαρκοβιανό μοντέλο για την γέννηση πληροφορίας των χρηστών φωνής είναι οι παρακάτω :

- (1) Τα τερματικά φωνής είναι εξοπλισμένα με αργούς ανιχνευτές ομιλίας (Voice Activity Detectors, VADs),[1,40], οι οποίοι ανταποκρίνονται μόνο σε βασικές περιόδους ομιλίας (μεγαλύτερες των 20 ms), και σιωπής που οφείλονται σε παύσεις του χρήστη για να ακούσει ή να σκεφτεί (διάρκειας μεγαλύτερης των 200 ms) . Έτσι οι πηγές φωνής αλλάζουν κατάσταση από ομιλία σε σιωπή με τέτοιο τρόπο ώστε η δραστηριότητα της πηγής φωνής να μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν μια μαρκοβιανή αλυσίδα διακριτού χρόνου, δύο καταστάσεων όπως φαίνεται στο σχήμα:



Σχήμα 2.2

Η πιθανότητα της μετάβασης από ομιλία σε σιωπή είναι συμβολίζεται με p_{TS} και η πιθανότητα της μετάβασης από σιωπή σε ομιλία με p_{ST} . Οι περίοδοι ομιλίας και σιωπής

είναι γεωμετρικά κατανομημένες με μέση διάρκεια $1/p_{TS}$ και $1/p_{ST}$ χρονικές μονάδες, αντίστοιχα.

Σε μόνιμη κατάσταση (steady state) οι πιθανότητες ενα τερματικό να είναι σε κατάσταση ομιλίας p_T ή σε κατάσταση σιωπής p_S δίδονται από τις σχέσεις :

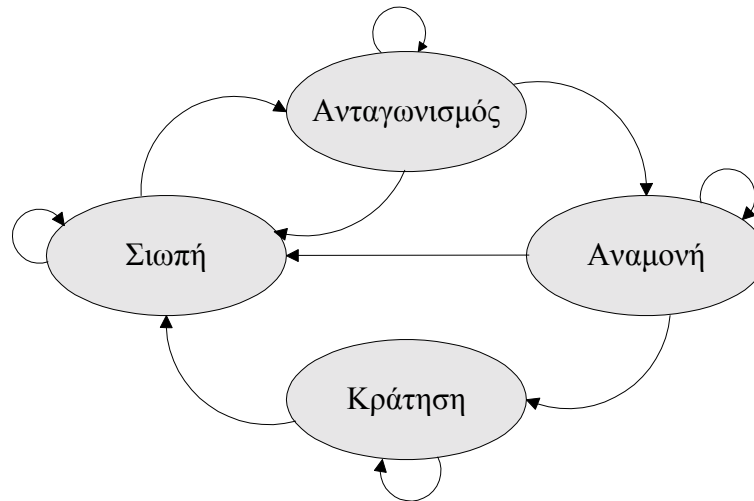
$$p_T = \frac{p_{ST}}{(p_{ST} + p_{TS})}, \quad p_S = 1 - p_T \quad (2.1)$$

- (2) Ο αριθμός των αρχικών τερματικών φωνής, N , στο σύστημα της κυψελίδας είναι σταθερός, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι θεωρούμε ότι όταν τελειώνει την συνδιάλεξή του ένας χρήστης A την θέση του την παίρνει ένας άλλος χρήστης B , έτσι ώστε ο αριθμός των ενεργών τερματικών φωνής να παραμένει σταθερός. Δηλαδή τα N τερματικά φωνής δεν είναι τα ίδια από την αρχή μέχρι το τέλος της προσομοίωσης.
- (3) Οι μεταβάσεις των ενεργών χρηστών φωνής από ομιλία σε σιωπή και αντίστροφα πραγματοποιούνται στην αρχή κάθε χρονικού πλαισίου του καναλιού. Γι' αυτό και η χρονική μονάδα μέτρησης της διάρκειας των περιόδων ομιλίας-σιωπής ορίζεται ίση με ένα πλαίσιο.
- (4) Όσον αφορά τους χρήστες φωνής, υπάρχει ένα άνω όριο στην καθυστέρηση προσπέλασης του καναλιού, το οποίο θεωρείται ίσο με την διάρκεια δυο πλαίσια του καναλιού. Επειδή ένα τερματικό κατ' ελάχιστο μπορεί να λάβει κράτηση στο επόμενο πλαίσιο από αυτό που καθίσταται ενεργό, το πακέτο που παράγει το τερματικό φωνής θα πεταχθεί αν το τερματικό δεν λάβει κράτηση για το επόμενο πλαίσιο ή δεν καταφέρει να μεταδώσει την αίτηση του στον παρόν πλαίσιο.
- (5) Το κανάλι θεωρείται ιδανικό, χωρίς θόρυβο, και χωρίς την δυνατότητα του βασικού σταθμού να διακρίνει την αίτηση έστω και ενός τερματικού φωνής όταν υπάρχει πολλαπλή ταυτόχρονη μετάδοση αιτήσεων στην ίδια μικροχρονοθυρίδα (minislot) (χωρίς δηλαδή capture). Επιπροσθέτως ο βασικός σταθμός μεταδίδει σωστά την πληροφορία για τις κρατήσεις των χρονοθυρίδων πληροφορίας, πριν την αρχή του επόμενου πλαισίου. Άρα λάθη μέσα στο σύστημα μπορούν μόνο να συμβούν όταν δυο ή περισσότερες αιτήσεις

μεταδοθούν κατά την διάρκεια της ίδιας μικροχρονοθυρίδας στο τμήμα του πλαισίου όπου γίνονται οι κρατήσεις.

- (6) Κρατημένες χρονοθυρίδες πληροφορίας αποδεσμεύονται αμέσως μόλις δεν χρειάζονται. Αυτό απαιτεί ένα τερματικό που έχει στην κατοχή του μια κράτηση, να ειδοποιήσει τον βασικό σταθμό όταν τελειώνει η περίοδος ομιλίας ή το μήνυμα δεδομένων ώστε ο βασικός σταθμός να αναθέσει την χρονοθυρίδα σε άλλο τερματικό. Αν θέλαμε να εφαρμόσουμε ένα σχέδιο καθυστερημένης αποδέσμευσης χρονοθυρίδας θα θεωρούσαμε ότι ο βασικός σταθμός καταλαβαίνει την αποχώρηση ενός χρήστη με το να ανιχνεύει άδεια μια κρατημένη χρονοθυρίδα πληροφορίας. Όμως τα αποτελέσματα δεν θα άλλαζαν αισθητά αφού το μοντέλο καθυστερημένης αποδέσμευσης ανάγεται εύκολα στο μοντέλο φωνής και δεδομένων που χρησιμοποιούμε.

Τα τερματικά φωνής στο σύστημα μας χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Τα τερματικά φωνής μπορούν να βρίσκονται σε : κατάσταση σιωπής, κατάσταση ανταγωνισμού (καταστάση στην οποία τα τερματικά φωνής αγωνίζονται με χρήση κάποιου αλγορίθμου προσέλασης μέσου να μεταδώσουν την αίτηση κράτησης τους), κατάσταση αναμονής (κατάσταση στην οποία έχουν μεταδώσει την αίτηση κράτησης και αυτή βρίσκεται στις ουρές αναμονής του βασικού σταθμού) και κατάσταση κράτησης (κατάσταση στην οποία τα τερματικά έχουν πετύχει κράτηση). Ένα τερματικό φωνής που βρίσκεται σε σιωπή δεν έχει πακέτα να μεταδώσει και δεν έχει κατά συνέπεια απαιτήσεις για πόρους του συστήματος. Παραμένει στην κατάσταση σιωπής μέχρι να παράγει πακέτα προς μετάδοση οπότε η πηγή φωνής περνάει στην κατάσταση ομιλίας και το τερματικό περνάει στην κατάσταση ανταγωνισμού. Αν το τερματικό πετύχει να μεταδώσει την αίτηση κράτησης χρονοθυρίδας πληροφορίας, τότε περνάει στην κατάσταση αναμονής, και αν υπάρχουν επαρκείς πόροι στο σύστημα πραγματοποιείται κράτηση, και το τερματικό μεταβαίνει στην κατάσταση κράτησης. Σε οποιαδήποτε κατάσταση εκτός της σιωπής το τερματικό μπορεί να μεταβεί στην κατάσταση σιωπής. Αν η μετάβαση αυτή πραγματοποιηθεί από τις καταστάσεις ανταγωνισμού και αναμονής τότε συμπεραίνουμε ότι το τερματικό έχει αποτύχει να μεταδώσει όλα τα πακέτα της κατάστασης ομιλίας (talkspurt) και έχει πληγεί σοβαρά η ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας που του προσφέρεται από το σύστημα. Το διάγραμμα καταστάσεων που παριστάνει τις καταστάσεις των χρηστών φωνής καθώς και τις αλλαγές καταστάσεων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.3

2.2.2 Μεταβαίνοντες χρήστες απο κυψελίδα σε κυψελίδα (Handover Users)

Οι βασικές υποθέσεις που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουμε τα μοντέλο χρηστών που μεταβαίνουν απο κυψελίδα σε κυψελίδα είναι οι παρακάτω :

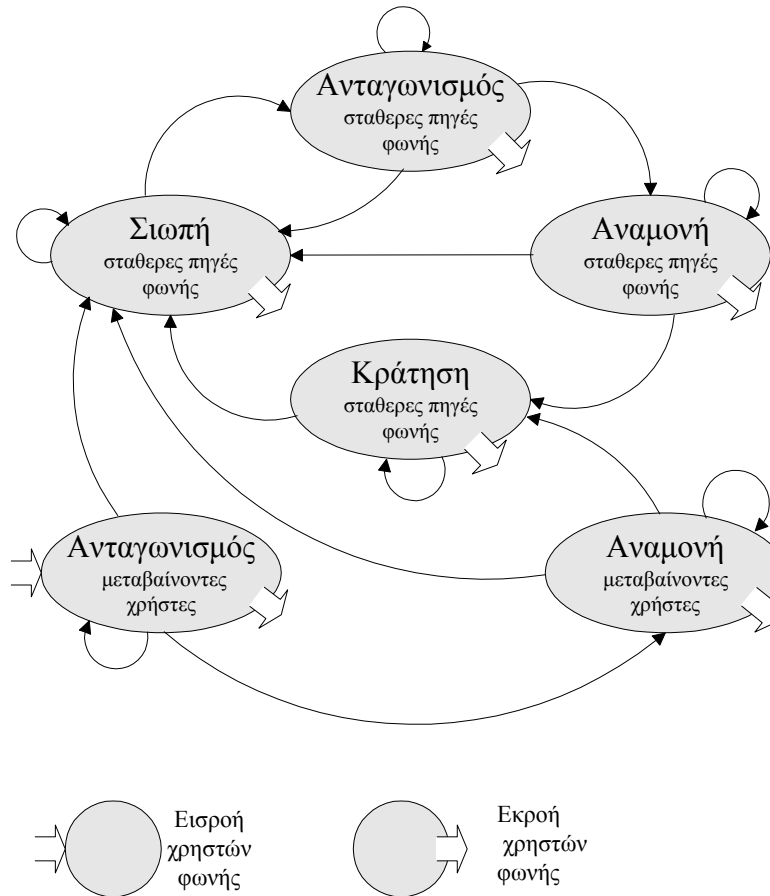
- (1) Τερματικά φωνής προστίθενται στο σύστημα κατα την διάρκεια της προσομοίωσης, στην αρχή κάθε χρονικού πλαισίου με την διαδικασία της εισροής χρηστών από άλλες κυψελίδες στην κυψελίδα που μελετούμε, και αφαιρούνται στο τέλος κάθε πλαισίου με την διαδικασία αποχώρησης απο την κυψελίδα μας σε άλλες κυψελίδες.
- (2) Στην αρχή κάθε πλαισίου εισρέουν τερματικά φωνής στο συστημά, με μια διαδικασία Poisson με ρυθμό εισαγωγής που αποτελεί παράμετρο του συστήματος. Τα τερματικά χωρίζονται σε αυτά που κατά τη διαδικασία της μετάβασης βρίσκονται σε κατάσταση σιωπής και σε αυτά που βρίσκονται σε ομιλία. Τα τερματικά που βρίσκονται σε σιωπή δεν διαφέρουν καθόλου από τα σταθερά τερματικά φωνής της κυψελίδας που βρίσκονται σε σιωπή γι' αυτό αντιμετωπίζονται με το ίδιο τρόπο. Είναι φανερό ότι τα τερματικά που βρίσκονται σε διαδικασία ομιλίας κατα την μετάβασή τους απο κυψελίδα σε κυψελίδα, βρίσκονται σε δύσκολη κατάσταση αφού υπάρχει περίπτωση να χάσουν πακέτα και γι' αυτό το λόγο πρέπει να εξυπηρετηθούν άμεσα. Τα τερματικά αυτά χρησιμοποιούν κάποιο

συγκεκριμένο αλγόριθμο πολλαπλής προσπέλασης μέσω ο οποίος θα περιγραφεί παρακάτω, ώστε να μεταδώσουν την αίτησή τους για κράτηση χρονοθυρίδας πληροφορίας στο σύστημα.

- (3) Τα τερματικά φωνής που κατά την εισροή τους στο σύστημα βρίσκονται σε κατάσταση ομιλίας, θεωρούνται σταθερά τερματικά φωνής μόλις περιπέσουν σε κατάσταση σιωπής, άσχετα με το εάν έχουν καταφέρει να μεταδώσουν κάποια ή κανένα από τα πακέτα τους.
- (4) Τα τερματικά φωνής που βρίσκονται σε διαδικασία εξόδου από το σύστημα ακολουθούν μια κατανομή Poisson με ρυθμό εξαγωγής αριθμητικά ίσο με το ρυθμό εισαγωγής χρηστών στο σύστημα, ώστε σε μόνιμη κατάσταση να υπάρχει ισορροπία στο σύστημα όσον αφορά τον αριθμό χρηστών φωνής. Οι χρήστες που θα εξέλθουν από το σύστημα επιλέγονται τυχαία. Το μοντέλο της τυχαίας επιλογής χρηστών είναι αφενός το απλούστερο δυνατό και αφετέρου, προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματικότητα, αφού οι χρήστες φωνής έχουν συμπεριφορά που ποικίλει: υπάρχουν χρήστες που φεύγουν σπάνια από την κυψελίδα τους, άλλοι που μετακινούνται αργά και άλλοι που μετακινούνται γρήγορα από κυψελίδα σε κυψελίδα. Αυτό σημαίνει ότι καθένας από τους χρήστες που βρίσκονται κάθε στιγμή στην κυψελίδα έχει την ίδια πιθανότητα να εξέλθει από αυτή, άσχετα από το πόσο χρόνο έχει παραμείνει μέσα σε αυτή.
- (5) Οι μεταβαίνοντες χρήστες μοντελοποιούνται όπως και οι κανονικοί χρήστες φωνής (υποθέσεις (1), (3), (4), (5) και (6) της παραγράφου 2.2.1).

Οι μεταβαίνοντες χρήστες μπορούν να χωριστούν και αυτοί σε κατηγορίες ανάλογα με την κατάσταση που βρίσκονται. Οι μεταβαίνοντες χρήστες οι οποίοι κατά την είσοδό τους βρίσκονται σε σιωπή μπαίνουν κατευθείαν στην κατηγορία των χρηστών φωνής που βρίσκονται σε κατάσταση σιωπής. Οι μεταβαίνοντες χρήστες που βρίσκονται σε ομιλία είναι σε κατάσταση ανταγωνισμού για να μεταδώσουν την αίτηση κράτησης στον βασικό σταθμό και αν καταφέρουν να την μεταδώσουν περνούν σε κατάσταση αναμονής. Αν υπάρχουν αρκετοί ποροί στο σύστημα οι αιτήσεις κράτησης στην ουρά αναμονής του βασικού σταθμού εξυπηρετούνται **πρώτες** από όλες τις αιτήσεις, και τα τερματικά περνούν στην κατάσταση κράτησης των κανονικών τερματικών φωνής αλλά συνεχίζουν να χαρακτηρίζονται σαν μεταβαίνοντα τερματικά φωνής για λόγους συλλογής μετρήσεων. Τα μεταβαίνοντα τερματικά μετασχηματίζονται σε κανονικά τερματικά φωνής όταν μεταβούν από την κατάσταση κράτησης στην κατάσταση σιωπής. Το

παρακάτω σχήμα απεικονίζει την προσθήκη του διαγράμματος καταστάσεων των χρηστών που μεταβαίνουν απο κυψελίδα σε κυψελίδα, στο διάγραμμα καταστάσεων των κανονικών τερματικών φωνής.

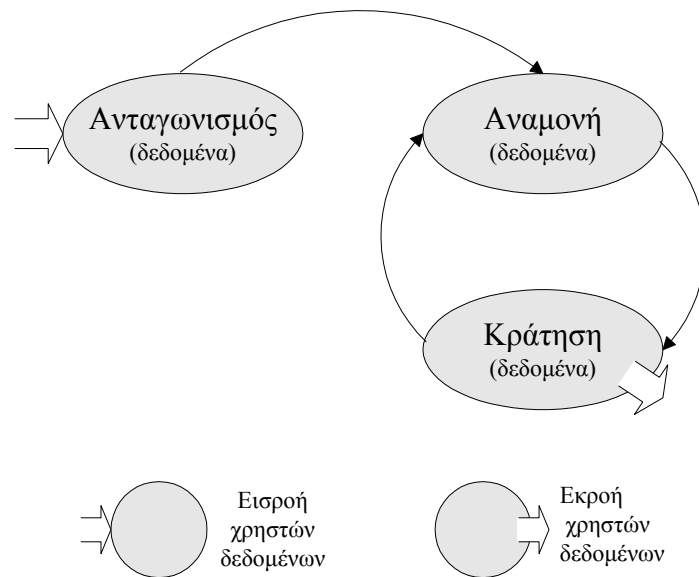


Σχήμα 2.4

2.2.3 Χρήστες δεδομένων

Θεωρούμε ότι τα μηνύματα δεδομένων παραγονται απο ένα μεγάλο αριθμό χρηστών δεδομένων (θεωρητικά άπειρο) και οι αφίξεις των μηνυμάτων δεδομένων ακολουθούν διαδικασία Poisson με μέσο όρο λ μηνύματα ανα πλαίσιο. Επίσης υποθέτουμε ότι τα μηνύματα έχουν μήκος (εκφρασμένο σε ακέραιο αριθμό πακέτων) που είναι γεωμετρικά κατανομημένο με παράμετρο q και μέσο $B = 1/q$. Έτσι τα αφικνούμενα μηνύματα αποτελούνται γενικά από έναν αριθμό πακέτων και ο συνολικός ρυθμός άφιξης πακετων δεδομένων στο σύστημα είναι λB πακετά ανα πλαίσιο .

Οι χρήστες δεδομένων χωρίζονται και αυτοί σε κατηγορίες ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Οι χρήστες δεδομένων μπορούν να βρίσκονται σε κατάσταση ανταγωνισμού στην οποία ανταγωνίζονται και με άλλα τερματικά δεδομένων ακολουθώντας κάποιο αλγόριθμο προσπέλασης μέσου για να μεταδώσουν την αίτηση κράτησης στον βασικό σταθμό. Επίσης υπάρχει περίπτωση να βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής στον βασικό σταθμό όσο η αίτηση κράτησης χρονοθυρίδας πληροφορίας περιμένει στις ουρές αναμονής του βασικού σταθμού, ή τέλος να βρίσκονται σε κατάσταση κράτησης και να έχουν λάβει μια χρονοθυρίδα ή πολλαπλές χρονοθυρίδες πληροφορίας για να εξυπηρετηθούν. Ένα τερματικό δεδομένων μεταβαίνει από την κατάσταση ανταγωνισμού στην κατάσταση αναμονής με την επιτυχή μετάδοση της αίτησής του στον βασικό σταθμό. Επίσης μεταβαίνει από την κατάσταση αναμονής στην κατάσταση κράτησης όταν υπάρχουν αρκετοί πόροι στο σύστημα ώστε να εξυπηρετηθεί το τερματικό και παραμένει σε αυτή μέχρι να εξαντληθούν τα πακέτα του μηνύματος που έχει να μεταδώσει ή η κράτησή του να ακυρωθεί και να αντικατασταθεί από κράτηση μεταβαίνοντας τερματικού ή τερματικού φωνής που έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα, οπότε το τερματικό δεδομένων περιέρχεται ξανά σε κατάσταση αναμονής. Το παρακάτω σχήμα παριστάνει το διάγραμμα καταστάσεων των τερματικών δεδομένων στο σύστημα.



Σχήμα 2.5

2.3 Πρωτόκολλα μετάδοσης

2.3.1 Πρωτόκολλο RRA (Reservation Random Access Protocol)

Οι μεταβαίνοντες χρήστες φωνής, οι σταθεροί χρήστες φωνής και οι χρήστες δεδομένων που έχουν πακέτα και δεν έχουν καταφέρει να κάνουν κράτηση χρονοθυρίδας πληροφορίας, αγωνίζονται για να λάβουν πόρους του συστήματος χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο πολλαπλής προσπέλασης μέσου με σκοπο να μεταδώσουν τις αιτήσεις τους κατα την διάρκεια των αντιστοιχών για κάθε χρήστη χρονοθυρίδων κρατήσης. Ο βασικός σταθμός μεταδίδει σε όλους τους χρήστες ένα μικρό πακέτο ανάδρασης στο τέλος κάθε μικροχρονοθυρίδας (minislot), με το οποίο δηλώνει την παρουσία ή την απουσία συγκρούσης αιτήσεων χρηστών στην μικροχρονοθυρίδα(σήμα σύγκρουσης C ή μη σύγκρουσης NC). Αφού το πακέτο ανάδρασης είναι μικρό (μερικά μονο bits) και η καθυστέρηση διάδοσης μέσα στην κυψελίδα αμελητέα, θεωρούμε ότι η πληροφορία της ανάδρασης λαμβάνεται αμέσως από τα τερματικά πριν από την επόμενη μικροχρονοθυρίδα. Όταν ένα τερματικό καταφέρει να μεταδώσει επιτυχώς την αίτησή του, περιμένει μέχρι το τέλος του πλαισίου για να μάθει την χρονοθυρίδα πληροφορίας που του ανατέθηκε (αν του έχει ανατεθεί κάποια). Αν το τερματικό δεν σημειώσει επιτυχία στην μεταδοσή του, ξαναπροσπαθεί στο επόμενο πλαίσιο. Ένα τερματικό με κράτηση μεταδίδει σε κάθε πλαίσιο στη χρονοθυρίδα που έχει κρατηθεί γι' αυτό.

Για να αναθέσει πόρους του συστήματος, ο βασικός σταθμός κρατά ένα δυναμικό πίνακα με τα ενεργά τερματικά μέσα στην κυψελίδα. Για παράδειγμα οι εγγραφές του πίνακα για καθένα τερματικό μπορούν να περιλαμβάνουν το αναγνωριστικό του τερματικού (terminal identifier), το αναγνωριστικό του ιδεατού κυκλώματος (virtual circuit identifier), τους πόρους του συστήματος που έχει δεσμεύσει για το συγκεκριμένο τερματικό και παραμέτρους ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας. Όταν ο βασικός σταθμός λάβει επιτυχώς την αίτηση κράτησης από ένα τερματικό, επιβεβαιώνει την επιτυχία και τοποθετεί την αίτηση σε μια ουρά αναμονής για να εξυπηρετηθεί στο τέλος του πλαισίου, αν βέβαια υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο σύστημα. Αν δεν υπάρχουν πόροι για να ανατεθούν στα τερματικά που περιμένουν, οι αιτήσεις τους παραμένουν στις ουρές αναμονής. Τερματικά φωνής και δεδομένων με αιτήσεις που περιμένουν στις ουρές πρέπει να παρακολουθούν συνεχώς το κανάλι από το βασικό σταθμό προς τα τερματικά για να μάθουν την χρονοθυρίδα πληροφορίας που έχουν κράτηση, αν τελικά υπάρξουν πόροι για να εξυπηρετηθούν οι αιτήσεις τους. Με την ολοκλήρωση της συνδιάλεξης, ή όταν ένα ενεργό τερματικό εξέρχεται

από την κυψελίδα, ο βασικός σταθμός σβήνει την πληροφορία που διατηρεί για αυτό το τερματικό μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

2.3.2 Χρονοπρογραμματισμός του Βασικού Σταθμού

Θεωρούμε ότι ο βασικός σταθμός ακολουθεί τους παρακάτω κανόνες όσον αφορά την εξυπηρέτηση των τερματικών.

- (1) Όταν εξυπηρετεί μια αίτηση, ο βασικός σταθμός αναθέτει χρονοθυρίδα πληροφορίας που βρίσκεται όσο το δυνατό πιο κοντά στην αρχή του πλαισίου.
- (2) Θεωρούμε ότι οι χρήστες του συστήματος χωρίζονται σε τρεις κλάσεις οι οποίες έχουν διαφορετική προτεραιότητα εξυπηρέτησης. Οι χρήστες που βρίσκονται σε διαδικασία μετάβασης από κυψελίδα σε κυψελίδα εξυπηρετούνται πρώτοι. Οι πόροι που τους δίδονται δεν μπορούν να αφαιρεθούν από το βασικό σταθμό, παρά μόνο όταν τα τερματικά αυτά περιπέσουν σε σιωπή. Οι κανονικοί χρήστες φωνής έρχονται δεύτεροι στην σειρά προτεραιότητας και οι χρήστες δεδομένων τρίτοι. Τα τερματικά φωνής έχουν τόσο μεγάλη προτεραιότητα ώστε μπορούν να καταλάβουν χρονοθυρίδες που ήταν κρατημένες για τα τερματικά δεδομένων αφαιρώντας το δικαίωμα από τα τελευταία να μεταδώσουν ξανά στις χρονοθυρίδες που είχαν κρατημένες. (Data Preemption). Όταν ένα τερματικό δεδομένων χάνει αυτό το δικαίωμα, ειδοποιείται από το βασικό σταθμό και η αίτησή του τοποθετείται στην αρχή της ουράς αναμονής των τερματικών δεδομένων. Τέλος αφαίρεση κρατημένης χρονοθυρίδας από χρήστη φωνής δεν μπορεί να γίνει από μεταβαίνοντα χρήστη, γιατί αυτή η ενέργεια θα ισοδυναμούσε με διακοπή της συνομιλίας ενός χρήστη φωνής για να μπει στο σύστημα ένας άλλος χρήστης φωνής που βρίσκεται στο μέσο της συνομιλίας του. Η δρομολόγηση των αιτήσεων γίνεται με την σειρά προτεραιότητας που αναφέρθηκε παραπάνω. Αξίζει να σημειώσουμε ότι, αφής στιγμής έχουν ανατεθεί χρονοθυρίδες πληροφορίας σε τερματικά δεδομένων τουλάχιστον για το επόμενο πλαίσιο οι κρατήσεις τους δεν μπορούν αναιρεθούν.
- (3) Μεταξύ τερματικών της ίδιας προτεραιότητας ακολουθείται πολιτική εξυπηρέτησης σύμφωνα με το χρόνο άφιξης την αίτησης στο σύστημα (First Come First Serve).

2.3.3 Πρωτόκολλα μετάδοσης - προσπέλασης μέσου

2.3.3.1 Χρήστες φωνής (Σταθεροί - Μεταβαίνοντες)

Οι σταθεροί χρήστες φωνής που βρίσκονται μέσα στην κυψελίδα και αυτοί που μεταβαίνουν από κυψελίδα σε κυψελίδα, για την μετάδοση της αίτησης κράτησης τους ακολουθούν τον αλγόριθμο 2 cell stack με κάποια μικρή τροποποίηση για να μπορεί να εφαρμοστεί η ιδέα των κινητών ορίων μεταξύ τμημάτων κρατήσεων στο τμήμα κρατήσεων κάθε πλαισίου. Ο κανονικός αλγόριθμος περιγράφεται παρακάτω, και η παραπάνω τροποποίησή του καθώς και η χρησιμότητά της αμέσως μετά.

Αλγόριθμος 2 Cell Stack

Κάθε τερματικό που παίρνει μέρος στη μετάδοση στο κοινό κανάλι (ανταγωνιζόμενο τερματικό) κάνει χρήση ενός δυαδικού μετρητή R για να υλοποιήσει τον αλγόριθμο. Επίσης θεωρούμε ότι ο αλγόριθμος εφαρμόζεται σε κανάλι χωρισμένο σε θυρίδες (slots) είτε αυτές είναι χρονοθυρίδες είτε μικροχρονοθυρίδες (minislots).

Τα βήματα του αλγορίθμου είναι:

1. Στην αρχή κάθε πλαισίου κάθε ανταγωνιζόμενο τερματικό αρχικοποιεί τον μετρητή R στην τιμή 0 ή 1 με ίδια πιθανότητα.
2. Τα ανταγωνιζόμενα τερματικά με τιμή μετρητή $R = 0$ έχουν το δικαίωμα να μεταδώσουν στην αμέσως επόμενη θυρίδα. Μετά την μετάδοση των τερματικών ο βασικός σταθμός εκπέμπει σε όλα τα τερματικά την ανάδραση του καναλιού, ένα δυαδικό σήμα Σύγκρουσης (C) ή Μη Σύγκρουσης (NC), δηλώνοντας αντιστοίχως, ότι μόνο ένα τερματικό μετέδωσε και μπόρεσε να λάβει σωστά την αίτηση του, ή συνέβει πολλαπλή μετάδοση αιτήσεων τερματικών και δεν μπόρεσε να λάβει σωστά καμία αίτηση.

Αν συμβολίσουμε με F την ανάδραση του βασικού σταθμού η ενημέρωση του μετρητή καθενός τερματικού πραγματοποιείται με το παρακάτω τρόπο.

α. αν $F = \text{Σύγκρουση (C)}$:

αν $R = 0$, τότε επαναρχικόποισε τον μετρητή στο 0 ή το 1 με ίδια πιθανότητα.

αν $R = 1$, τότε $R = 1$.

β. αν $F = \text{Μη Σύγκρουση (NC)}$:

αν $R = 0$, τότε το τερματικό έχει μεταδώσει σωστά την αίτησή του.

αν $R = 1$, τότε $R = 0$.

3. Επανάλαβε το βήμα 2 μέχρι να τελειώσουν οι θυρίδες μέσα στις οποίες εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ή μέχρι να έχουμε δύο σήματα ανάδρασης μη σύγκρουσης σε συνεχόμενες θυρίδες.

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου μπορεί να παρασταθεί με μια στοίβα δυο θέσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 στο οποίο υπάρχει και παράδειγμα λειτουργίας του αλγορίθμου με 3 τερματικά. Ο αριθμός σε κάθε θέση της στοίβας δηλώνει τον αριθμό των τερματικών που έχουν την αντίστοιχη τιμή μετρητή.

θέση 1	<div>0</div>	<div>1</div>	<div>2</div>	<div>0</div>	<div>1</div>	<div>0</div>	<div>0</div>
θέση 0	<div>3</div>	<div>2</div>	<div>1</div>	<div>2</div>	<div>1</div>	<div>1</div>	<div>0</div>
F	C	C	NC	C	NC	NC	
slot	1	2	3	4	5	6	7

Σχήμα 2.6

Η θέση 0 βρίσκεται στο κάτω μέρος, και η θέση 1 βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας. Τα τερματικά που έχουν τιμή μετρητή 0 έχουν δικαίωμα να μεταδώσουν στην αμέσως επόμενη χρονοθυρίδα, ενώ τα τερματικά που έχουν τιμή μετρητή 1 περιμένουν μέχρι ο μετρητής τους να πάρει την τιμή 0. Η ενδιαφέρουσα ιδιότητα αυτού του αλγορίθμου είναι ότι με δύο συνεχόμενα σήματα ανάδρασης Μη Σύγκρουσης (NC) η στοίβα έχει αδειάσει, άρα όλοι οι ανταγωνιζόμενοι χρήστες έχουν μεταδώσει επιτυχώς τις αιτήσεις κράτησης στον βασικό σταθμό.

Η τροποποίηση του αλγορίθμου για να υποστηρίζει την ιδέα των κινητών ορίων του τμήματος κρατήσεων σε κάθε πλαίσιο, είναι η αρχικοποίηση του μετρητή που γίνεται στην αρχή κάθε πλαισίου, στο 0, έτσι ώστε όλοι οι ανταγωνιζόμενοι χρήστες κάθε κατηγορίας να μεταδίδουν στην πρώτη μικροχρονοθυρίδα του δικού τους τμήματος κρατήσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σπατάλη της πρώτης μόνο θυρίδας στις περιπτώσεις που υπάρχει το πολύ ένας ανταγωνιζόμενος χρήστης αυτής της κατηγορίας. Αν συμβαίνει αυτό, τότε η αρχή του τμήματος κρατήσεων της επόμενης κατηγορίας χρηστών μεταφέρεται αριστερά και οι θυρίδες αιτήσεων κρατήσεων της κατηγορίας που έχει ένα το πολύ ανταγωνιζόμενο χρήστη ανατίθενται αυτόματα, εκτός βέβαια της πρώτης που έχει παρέλθει, στους χρήστες της επόμενης κατηγορίας. Για παράδειγμα, αν στην αρχή κάποιου πλαισίου δεν υπάρχουν εισερχόμενοι χρήστες στην κυψελίδα τότε οι θυρίδες αιτήσεων κράτησης εκτός της πρώτης, ανατίθενται στους σταθερούς χρήστες φωνής που αρχίζουν να εφαρμόζουν τον τροποποιημένο αλγόριθμο 2 cell stack στην δεύτερη θυρίδα των handover χρηστών.

2.3.3.2 Χρήστες Δεδομένων

Για να μεταδώσουν τις αιτήσεις κράτησης στον βασικό σταθμό τα τερματικά δεδομένων ακολουθούν τον αλγόριθμο 2 cell stack κατά τις μικροχρονοθυρίδες του τμήματος κρατήσεων των χρηστών δεδομένων. Ο αλγόριθμος έχει επιλεγεί λόγω της απλότητας λειτουργίας, της ευστάθειας και της σχετικά μεγάλης απόδοσης[4].

Ένας μηχανισμός περιορισμένης πρόσβασης χρησιμοποιείται από τα τερματικά που έχουν φρέσκο μήνυμα για μετάδοση. Με τη γέννηση ενός μηνύματος εννοούμε την γέννηση πολλαπλού αριθμού πακέτων από ένα χρήστη δεδομένων. Τα τερματικά με καινούρια μηνύματα δεν μπορούν να μεταδώσουν κατά την διάρκεια μιας περιόδου επίλυσης σύγκρουσης (Collision Resolution Period, CRP). Μια CRP ορίζεται σαν η χρονική περίοδος που αρχίζει με μια αρχική σύγκρουση (αν υπάρξει κάποια) και τελειώνει με την επιτυχή μετάδοση όλων των αιτήσεων κράτησης από τους χρήστες δεδομένων που λαμβάνουν μέρος στην σύγκρουση. Αν δεν υπάρξει σύγκρουση η CRP τελειώνει με την ίδια θυρίδα που άρχισε. Στην θυρίδα που ακολουθεί μια CRP, όλα τα τερματικά των οποίων τα μηνύματα έφθασαν κατά τη διάρκεια μιας προκαθορισμένης χρονικής περιόδου με μέγιστη τιμή Δ χρονικές μονάδες, μεταδίδουν με πιθανότητα 1. Τα τερματικά που εμπλέκονται σε μια σύγκρουση, ακολουθούν τους κανόνες 2-3 του αλγορίθμου 2 cell stack που ακολουθούν οι χρήστες φωνής και το τέλος μιας CRP αναγνωρίζεται με δύο συνεχόμενα σήματα ανάδρασης Μη Σύγκρουσης (NC).

Γι' αυτό τον αλγόριθμο, η μέγιστη απόδοση (throughput) $\tilde{\lambda}$ που είναι 0.429 πακέτα ανα θυρίδα, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας σαν περίοδο $\tilde{\Delta}$ 2.33 θυρίδες[4-5]. Θεωρούμε ότι το μέγιστο throughput επιτυγχάνεται όταν έχουμε το γινόμενο των δύο παραπάνω παραμέτρων να ισούται με 1. Επειδή στις προσομοιώσεις ο ρυθμός άφιξης μηνυμάτων δεδομένων (λ) είναι εκφρασμένος σε μηνύματα ανα χρονικό πλαίσιο, η παράμετρος Δ (σε πλαίσια) υπολογίζεται ως εξής :

$$\Delta = \frac{\tilde{\lambda} \cdot \tilde{\Delta}}{\lambda} = \frac{1.0}{\lambda} \text{ πλαίσια.} \quad (2.2)$$

Τέλος, ο αλγόριθμος 2 cell stack είναι ανθεκτικός (δηλαδή έχει θετική μέγιστη απόδοση και δεν οδηγεί σε αδιέξοδο όπως κάποιοι άλλοι αλγόριθμοι τυχαίας προσπέλασης) παρουσία λαθών στα μηνύματα ανάδρασης από τον βασικό σταθμό, κατα τα οποία μια άδεια θυρίδα εκλαμβάνεται σαν θυρίδα μέσα στην οποία υπάρχει σύγκρουση μεταδιδόμενων πακέτων.

2.4 Μετρικές Απόδοσης

2.4.1 Σταθεροί Χρήστες Φωνής

2.4.1.1 Πιθανότητα απορρίψης πακέτων

Για τους σταθερούς χρήστες φωνής ενδιαφερόμαστε κυρίως να διατηρεί το συστημά ένα απόδεκτό άνω όριο στο ποσοστό των πακέτων που απορρίπτονται λόγω ανεπαρκών πόρων του συστήματος. Για να μετρήσουμε το ποσοστό αυτό ορίζουμε τη μετρική "πιθανότητα απόρριψης πακέτου" (Pdrop), ως το ποσοστό των πακέτων που απορρίπτονται στο σύνολο των πακέτων που παράγονται κατά την διάρκεια των περιόδων ομιλίας των τερματικών στην κυψελίδα. Η παραπάνω μετρική αποδुकνύεται ίση με το κλάσμα του μέσου αριθμού πακέτων που απορρίπτονται ανα πλαίσιο προς το μέσο αριθμό των συνολικών πακέτων που παράγονται ανα πλαίσιο από τους σταθερούς χρήστες φωνής. Σύμφωνα με τις υποθέσεις για αυτή την κατηγορία χρηστών, πακέτα μπορούν να απορριφθούν κατά την διάρκεια κάποιου συγκεκριμένου πλαισίου, στην περίπτωση που ένας χρήστης δεν κατορθώσει να μεταδώσει την αίτηση κράτησης στο

συγκεκριμένο πλαίσιο κατα την διάρκεια του ανταγωνισμού , ή στην περίπτωση που ο χρήστης ενώ βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής δεν καταφέρει να λάβει κράτηση για το επόμενο πλαίσιο.

Αν συμβολίσουμε με $E[T_v]$ τον μέσο αριθμό πακέτων που έχουν μεταδοθεί, με $E[C_v]$ το μέσο αριθμό πακέτων που απορρίπτονται κατά την διάρκεια του ανταγωνισμού και με $E[Q_v]$ τον μέσο αριθμό πακέτων που απορρίπτονται κατά την αναμονή του χρήστη στην ουρά του βασικού σταθμού, τότε η πιθανότητα απόρριψης πακέτου ορίζεται ως :

$$P_{drop} = 100 \cdot \left(\frac{E[C_v] + E[Q_v]}{E[T_v]} \right) \quad (2.3)$$

2.4.1.2 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού

Ως καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού ορίζουμε το χρόνο μεταξύ της αρχής μιας περιόδου ομιλίας και του τέλους μετάδοσης του πρώτου πακέτου σε κρατημένη χρονοθυρίδα. Εν γένει το πρώτο πακέτο της περιόδου ομιλίας δεν είναι και το πρώτο που θα μεταδοθεί σε κρατημένη χρονοθυρίδα λόγω του ανταγωνισμού και της αναμονής στην ουρά του βασικού σταθμού.

Η μέση καθυστέρηση πρόσβασης, D , για το σύστημα που μελετούμε μπορεί να εκφραστεί ως :

$$D = D_c + D_q + D_r \quad (2.4)$$

όπου : D_c είναι η μέση καθυστέρηση τυχαίας προσπέλασης, D_q η μέση καθυστέρηση αναμονής στην ουρά του βασικού σταθμού και D_r ο μέσος χρόνος μεταξύ της αρχής του πλαισίου στο οποίο υπάρχει κράτηση και του τέλους μετάδοσης πακέτου στη συγκεκριμένη κρατημένη χρονοθυρίδα.

2.4.1.3 Μέγιστη απόδοση τερματικών φωνής (Throughput)

Ως throughput ορίζεται ο αριθμός των χρονοθυρίδων πληροφορίας ανα πλαίσιο, στις οποίες τα τερματικά που έχουν κανει κράτηση μεταδίδουν επιτυχώς πακέτα πληροφορίας προς το βασικό σταθμό. Επειδή τα τερματικά που βρίσκονται σε κατάσταση ανταγωνισμού ή αναμονής

σε μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα δεν μπορούν να μεταδώσουν πακέτα πληροφορίας, τουλάχιστον μέχρι την επόμενη χρονοθυρίδα, τα πακέτα που θα μεταδοθούν κατά τη διάρκεια ενός πλαισίου προέρχονται αποκλειστικά από τα τερματικά φωνής που βρίσκονται ήδη στην κατάσταση κράτησης.

2.4.2 Μεταβαίνοντες Χρήστες

2.4.2.1 Πιθανότητα απόρριψης πακέτων

Για τους μεταβαίνοντες χρήστες ορίζουμε τη μετρική "πιθανότητα απόρριψης πακέτου" (P_{drop}), ως το ποσοστό των πακέτων (των χρηστών που εισρέουν στην κυψελίδα) που απορρίπτονται στο σύνολο των πακέτων που παράγονται κατά την εισρόη των χρηστών στην κυψελίδα και μέχρι αυτοί να χαρακτηριστούν σαν σταθεροί χρήστες φωνής. Η παραπάνω μετρική αποδुकνύεται ίση με το κλάσμα του μέσου αριθμού πακέτων που απορρίπτονται ανα πλαίσιο προς το μέσο αριθμό των συνολικών πακέτων που παράγονται ανα πλαίσιο από τους μεταβαίνοντες χρήστες.

Αν συμβολίσουμε με $E[T_h]$ τον μέσο αριθμό πακέτων που έχουν μεταδοθεί, με $E[C_h]$ το μέσο αριθμό πακέτων που απορρίπτονται κατά την διάρκεια του ανταγωνισμού και με $E[Q_h]$ τον μέσο αριθμό πακέτων που απορρίπτονται κατά την αναμονή του χρήστη στην ουρά του βασικού σταθμού, τότε η πιθανότητα απόρριψης πακέτου ορίζεται ως :

$$P_{drop} = 100 \cdot \left(\frac{E[C_h] + E[Q_h]}{E[T_h]} \right) \quad (2.9)$$

2.4.2.2 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού

Ανάλογα με τους σταθερούς χρήστες φωνής η καθυστέρηση πρόσβασης ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ της αρχής μιας περιόδου ομιλίας, που είναι σύμφωνα με το μοντέλο εισροής χρηστών το πλαίσιο στο οποίο εισέρχεται ο χρήστης στην κυψελίδα, και του τέλους μετάδοσης του πρώτου πακέτου σε κρατημένη χρονοθυρίδα.

2.4.3 Χρήστες Δεδομένων

2.4.3.1 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού

Ορίζουμε ως μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού χρήστη δεδομένων, το μέσο χρόνο μεταξύ της γέννησης ενός μηνύματος δεδομένων και του τέλους της μετάδοσης του πρώτου πακέτου του μηνύματος σε κρατημένη χρονοθυρίδα. Είναι φανερό ότι η καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού εξαρτάται από την καθυστέρηση ανταγωνισμού για την επιτυχη μετάδοση της αίτησης κράτησης, την χρονοθυρίδα κράτησης και τον φόρτο του συστήματος απο εισρέοντες και σταθερούς χρήστες φωνής, που καθορίζουν τον χρόνο αναμονής των αιτήσεων δεδομένων στην ουρά του βασικού σταθμού.

2.4.3.2 Μέση καθυστέρηση μηνύματος

Ορίζουμε ως μέση καθυστέρηση μηνύματος χρήστη δεδομένων, το μέσο χρόνο μεταξύ της γέννησης ενός μηνύματος δεδομένων και του τέλους της μετάδοσης του τελευταίου πακέτου του μηνύματος σε κρατημένη χρονοθυρίδα. Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την καθυστέρηση μηνύματος είναι ο φόρτος του συστήματος, γιατί μια κράτηση χρήστη δεδομένων μπορεί να αντικατασταθεί από μια κράτηση μεταβαίνοντας η σταθερού χρήστη φωνής λόγω της μικρής προτεραιότητας των χρηστών δεδομένων. Η αντικατάσταση της κράτησης σε ένα πλαίσιο έχει σαν αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση της καθυστέρησης του μηνύματος.

2.5 Παράμετροι Συστήματος

Για τις προσομοιώσεις χρησιμοποιούμε τις παραμετρους του παρακάτω πίνακα. Η ταχύτητα του καναλιού (3.6 Mb/s) έχει υποτεθεί διπλάσια αυτής στα [2-3], λόγω των αυξημένων αναγκών του συστήματος. Όσον αφορά τις πηγές φωνής, υποθέτουμε κωδικοποίηση με την τεχνική της προσαρμοζόμενης παλμοκωδικής διαμόρφωσης (ADPCM) με ρυθμό κωδικοποίησης 32 Kb/s. Το μέγεθος του πακέτου (53 bytes) επιλέχθηκε για να διατηρηθεί η συμβατότητα του συστήματος με δίκτυα ATM. Οι τιμές της μέσης διάρκειας ομιλίας/σιωπής δίνουν ένα ποσοστό ενεργού ομιλίας 44 %. Αξίζει να σημειωθεί ότι δραστηριότητες όπως η κλήση μιας υπηρεσίας για λήψη voice mail οδηγεί σε διαφορετικές τιμές για τις μέσες διάρκειες ομιλίας/σιωπής. Παρόλα αυτά οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν περιπτώσεις αργής αντίχρευσης ομιλίας.

Για παράδειγμα για μέση διάρκεια ομιλίας/σιωπής 1.0/1.35 sec [1] και 1.41/1.74 sec, έχουμε αντιστοίχως ποσοστά ενεργού ομιλίας 43 % και 45 %.

Δεδομένων των παραπάνω τιμών των παραμέτρων η διάρκεια του πλαισίου είναι 12 ms και προκύπτει και από τον παρακάτω τύπο:

$$FrameDuration = \frac{Payload}{SpeechRate} = \frac{384bits}{32Kb / s} = 12ms$$

και περιλαμβάνει αριθμό χρονοθυρίδων που δίνεται από τον τύπο:

$$SlotsPerFrame = \left\lfloor \frac{FrameDuration}{\frac{PacketLength}{ChannelRate}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{FrameDuration}{\frac{Header + Payload}{ChannelRate}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{12ms}{\frac{424bits}{3.6Mb / s}} \right\rfloor = 101 \text{ θυρίδες}$$

Μεριμνώντας για overhead συγχρονισμού, θεωρούμε ότι κάθε πλαίσιο αποτελείται από 100 χρονοθυρίδες.

Το άνω όριο για την καθυστέρηση ενός πακέτου φωνής, 24 ms, είναι ίσο με την χρονική διάρκεια δύο πλαισίων. Οι πρώτες 4 χρονοθυρίδες χρησιμοποιούνται για το τμήμα κρατήσεων των χρηστών που εισέρχονται στην κυψελίδα, των σταθερών χρηστών φωνής και των χρηστών δεδομένων, με κατανομή 1, 2, και 1 χρονοθυρίδα, αντίστοιχα. Κάθε χρονοθυρίδα στο τμήμα κρατήσεων χωρίζεται σε 6 τον αριθμό μικροχρονοθυρίδες (minislots), οι οποίες χωρούν να μεταδώσουν περίπου 70 bits. Ο μικρός αριθμός των μικροχρονοθυρίδων ανα χρονοθυρίδα, δίνει την δυνατότητα να υπάρχει αρκετός χρόνος για συγχρονισμό του πομπού και του δέκτη και για την μετάδοση ενός πακέτου αίτησης που περιέχει αναγνωριστικό πηγής μαζί με άλλα δεδομένα όπως προτεραιότητα, αριθμός χρονοθυρίδων που απαιτεί ο χρήστης κ.α. Οι υπόλοιπες 96 χρονοθυρίδες του πλαισίου είναι χρονοθυρίδες πληροφορίας και χρησιμοποιούνται μεταδόσεις πακέτων χρηστών με κράτηση.

Παράμετρος	Τιμή
Ταχύτητα καναλιού	3.6 Mb/s
Ρυθμός κωδικοποίησης φωνής	32 Kb/s
Μήκος Πακέτου : (Επικεφαλίδα/Μήκος Πληροφορίας)	424bits (40/384 bits)
Διάρκεια πλαισίου	12ms
Όριο καθυστέρησης χρηστών φωνής	24ms
Χρονοθυρίδες αιτήσεων εισρέοντων χρηστών φωνής (ανα πλαίσιο)	1 χρονοθυρίδα
Χρονοθυρίδες αιτήσεων χρηστών φωνής	2 χρονοθυρίδες
Χρονοθυρίδες αιτήσεων χρηστών δεδομένων (ανα πλαίσιο)	1 χρονοθυρίδα
Χρονοθυρίδες πληροφορίας (ανα πλαίσιο)	96 χρονοθυρίδες
Μικροχρονοθυρίδες ανα θυρίδα	6
Μέση χρονική διάρκεια ομιλίας	1.41s
Μέση χρονική διάρκεια σιωπής	1.78s
Πιθανότητα γεωμετρικής κατανομής για μηκός πακέτου δεδομένων	0.125
Μέσος αριθμός πακέτων ανα μήνυμα δεδομένων	8

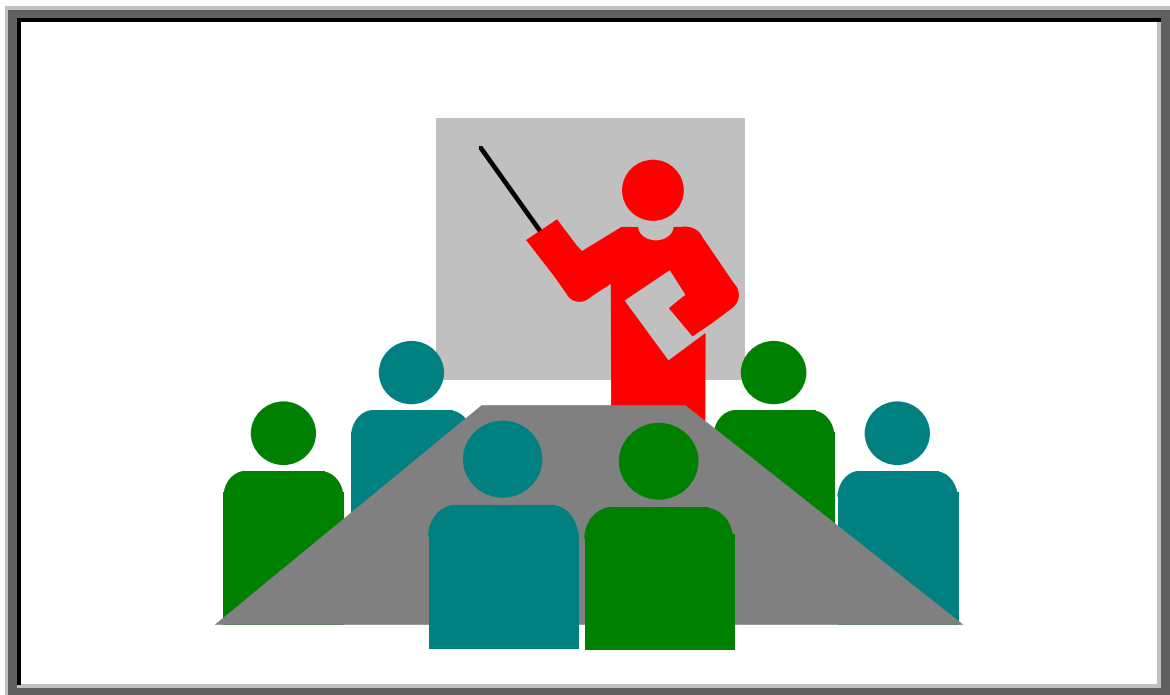
Πίνακας 2.1

Αναφορές

- [1] S. Nanda, D.J. Goodman and U. Timor, " Performance of PRMA : A Packet Voice Protocol for Cellular Systems", *IEEE Trans. Veh. Technol.* , Vol. 40, Aug 1991, pp. 584-598.
- [2] J. M. DeVile, "A Reservation Based Multiple Access Scheme for a Future Universal Mobile Telecommunications System", *Proc. of the 7th IEEE Conf. on Mobile and Personal Commun.*, Brighton UK, Dec. 1993, pp. 210-215.
- [3] J. Dunlop, J. Irvine, D. Robertson and P. Cosimini, "Performance of Statistically Multiplexed Access Mechanism for a TDMA Radio Interface", *IEEE Pers. Commun.*, Vol. 2, No. 3, Jun. 1995, pp. 56-64.
- [4] M. Paterakis, L. Georgiadis and P.Papantoni-Kazakos, "A Full Sensing Window RA Algorithm for Networks With Strict Delay Constraints", *Algorithmica*, Vol. 4, 1989, pp. 313-328.
- [5] A.C. Cleary and M. Paterakis, "An Investigation for Stack Based Algorithms for Voice Packet Transmission in Microcellular Wireless Environments", *Proc ICC '9*, Seattle, WA, Jun. 1995, pp. 1375-1381.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Αποτελέσματα



-
- | | |
|-----|---|
| 3.1 | Περίπτωση κίνησης χρηστών φωνής |
| 3.2 | Περίπτωση ολοκλήρωσης σταθερών πηγών φωνής και δεδομένων |
| 3.3 | Περίπτωση κίνησης σταθερών χρηστών φωνής και handover χρηστών |
| 3.4 | Περίπτωση ολοκλήρωσης σταθερών πηγών φωνής , handover χρηστών, και χρηστών δεδομένων. |
-

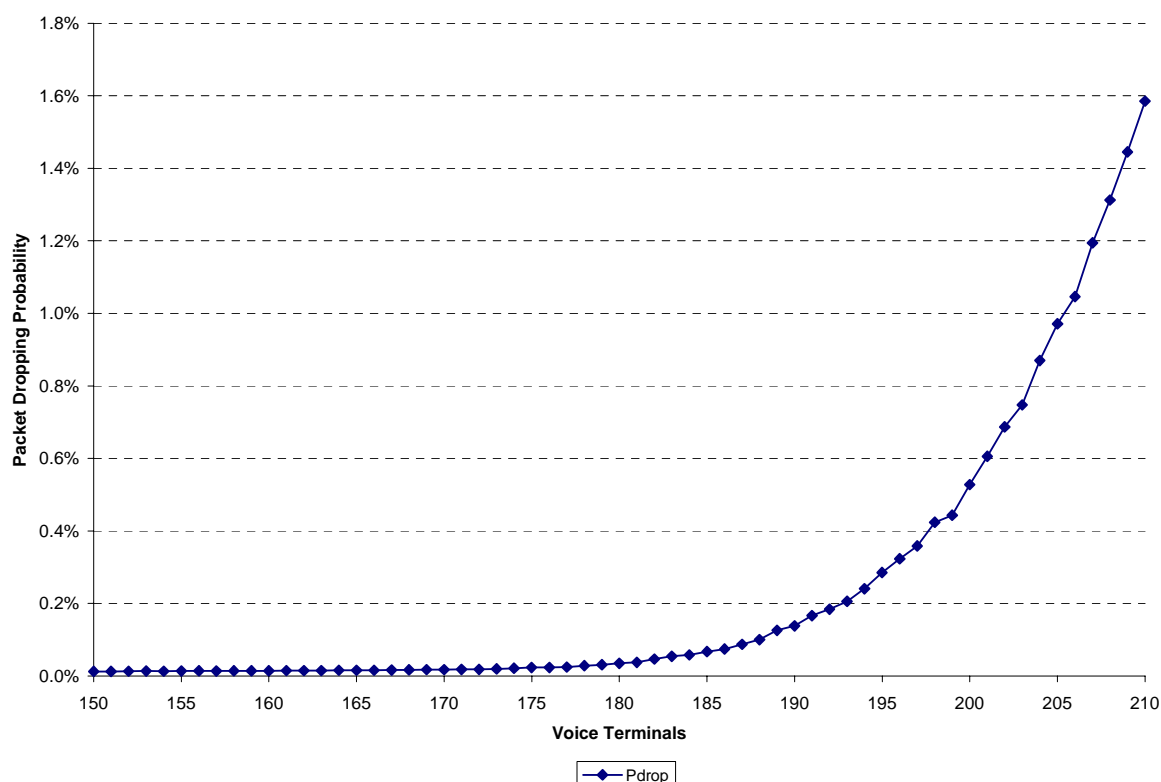
Κεφάλαιο 3ο

Αποτελέσματα

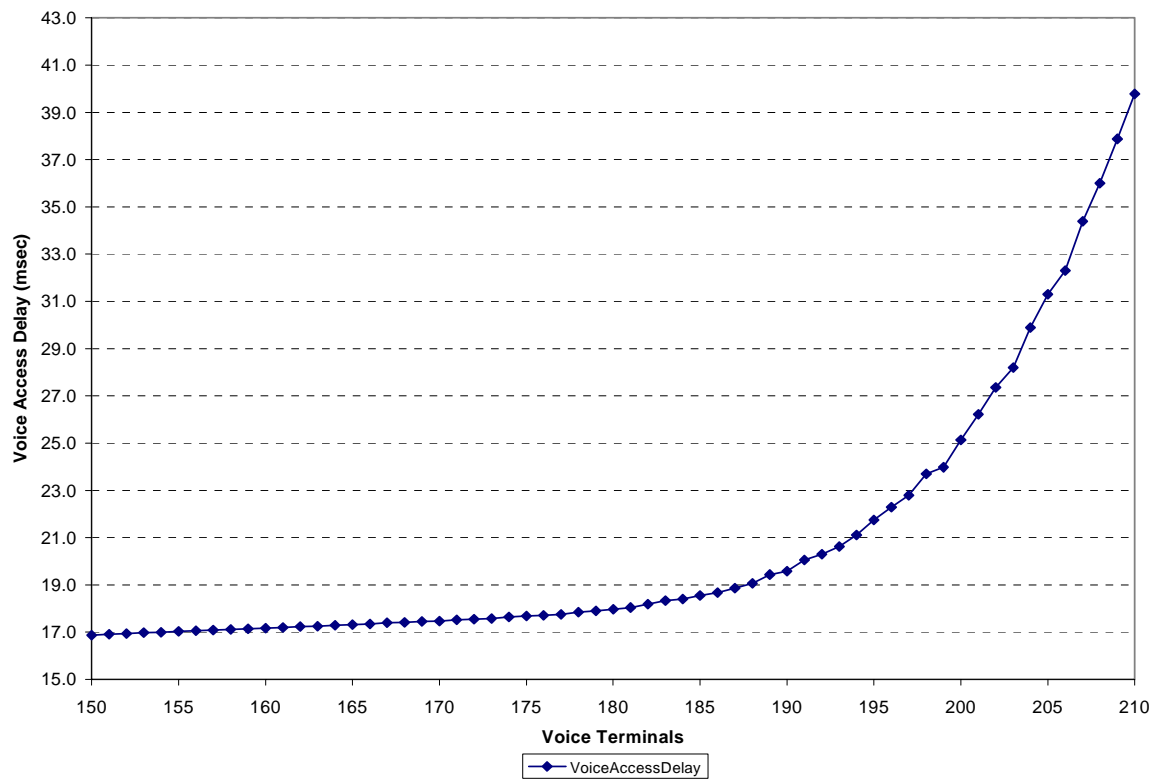
3.1 Περίπτωση κίνησης σταθερών χρηστών φωνής

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις μετρικές των σταθερών πηγών φωνής : πιθανότητα απόρριψης πακέτου, μέση καθυστέρηση πρόσβασης του καναλιού και throughput, σαν συνάρτηση του αριθμού των σταθερών τερματικών φωνής στο σύστημα, απεικονίζονται στα σχήματα 3.1-3.

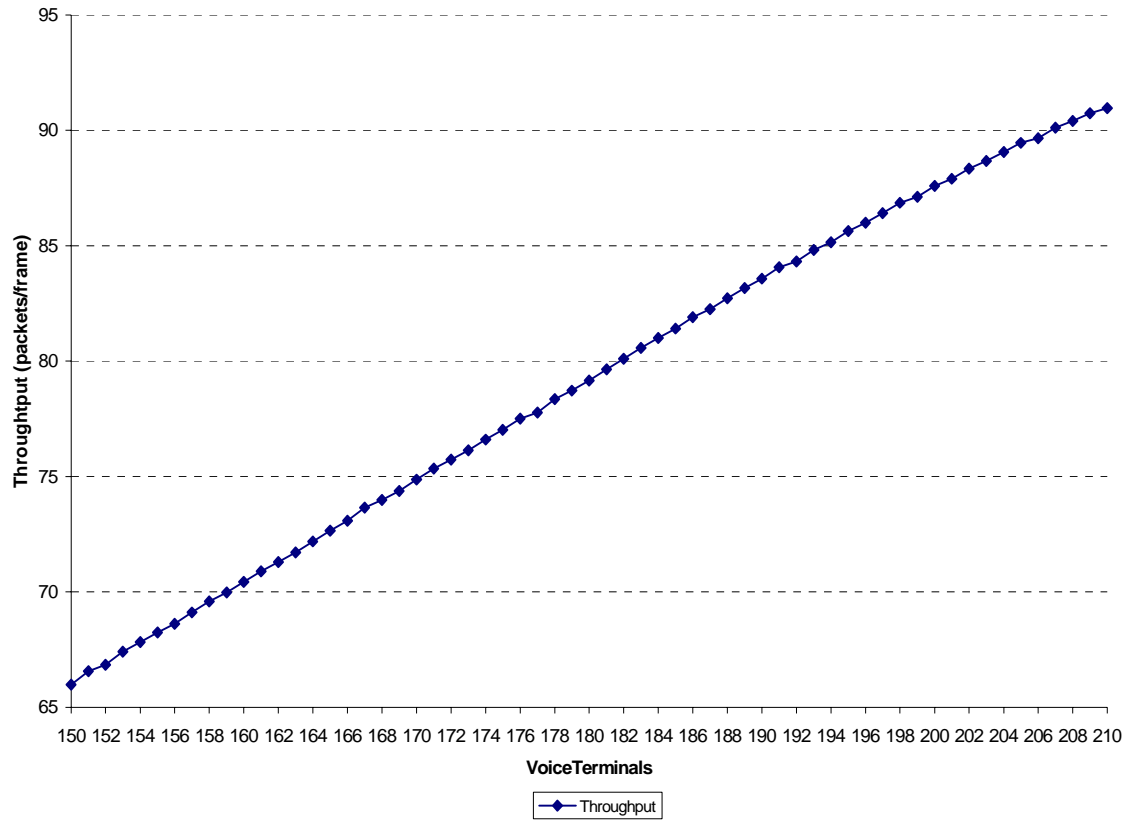
Για το σύστημα που μελετάμε η πιθανότητα απόρριψης πακέτου σε μόνιμη κατάσταση αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των σταθερών τερματικών φωνής. Ένα κοινό μέτρο σύγκρισης για τα RRA τύπου πρωτόκολλα που λειτουργούν σε μικροκυψελιδικά περιβάλλοντα είναι ο μέγιστος αριθμός τερματικών φωνής για τον οποίο έχουμε πιθανότητα απόρριψης πακέτου φωνής μικρότερη από 1%. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στην χωρητικότητα του καναλιού.



Σχήμα 3.1 Πιθανότητα απόρριψης πακέτου σε σχέση με το αριθμό των σταθερών τερματικών φωνής.



Σχήμα 3.2 Καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού σε σχέση με τον αριθμό των σταθερών τερματικών φωνής.



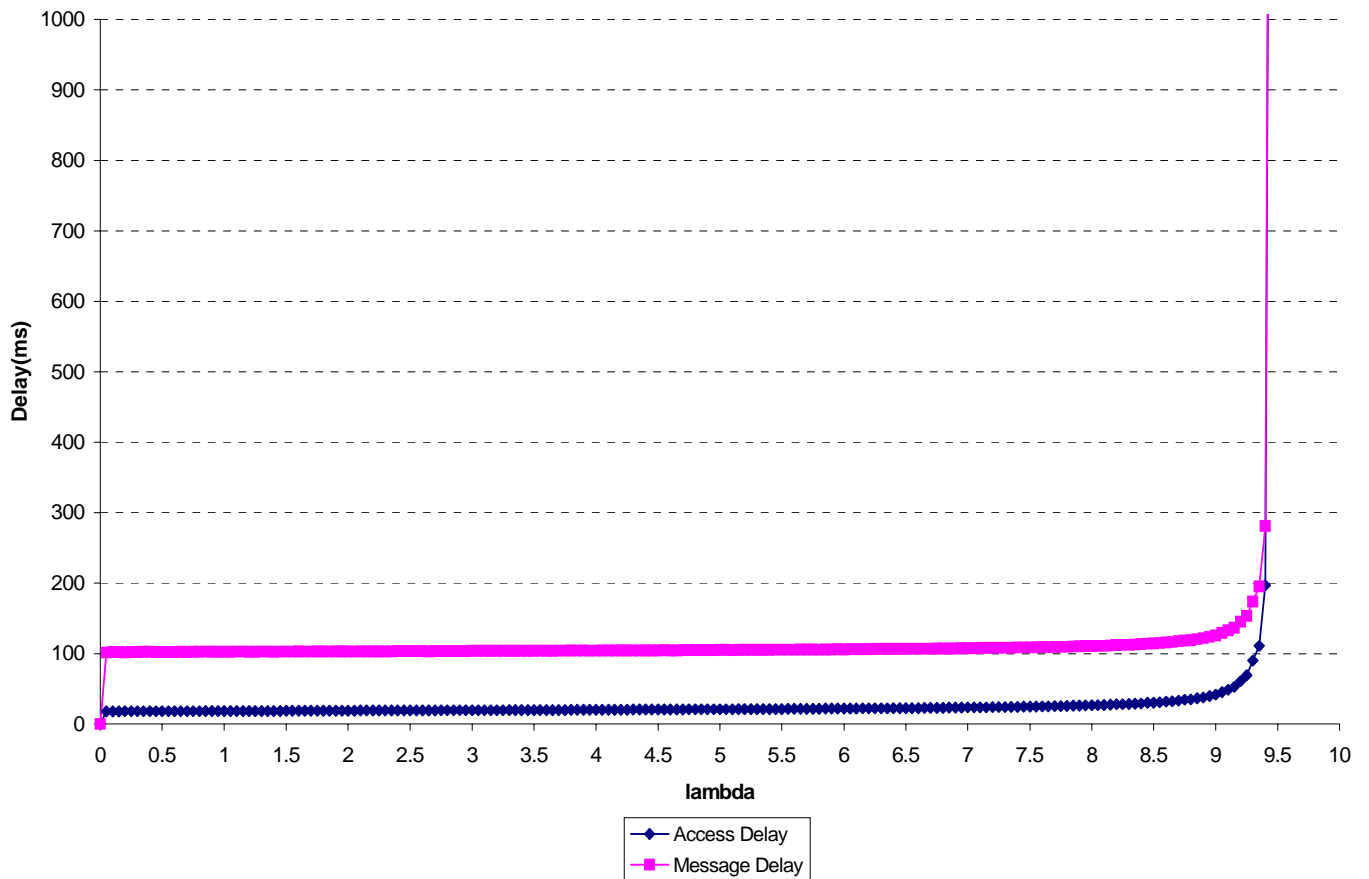
Σχήμα 3.3 Throughput καναλιού(επιτυχή πακέτα ανά πλαίσιο) σε σχέση με τον αριθμό των σταθερών τερματικών φωνής.

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 3.1-3.2 η χωρητικότητα του καναλιού είναι $N = 205$ τερματικά φωνής με πιθανότητα απόρριψης πακέτου φωνής περίπου 0.97 %μ και η αντίστοιχη μέση καθυστέρηση πρόσβασης του καναλιού είναι ίση με περίπου 31 msec .

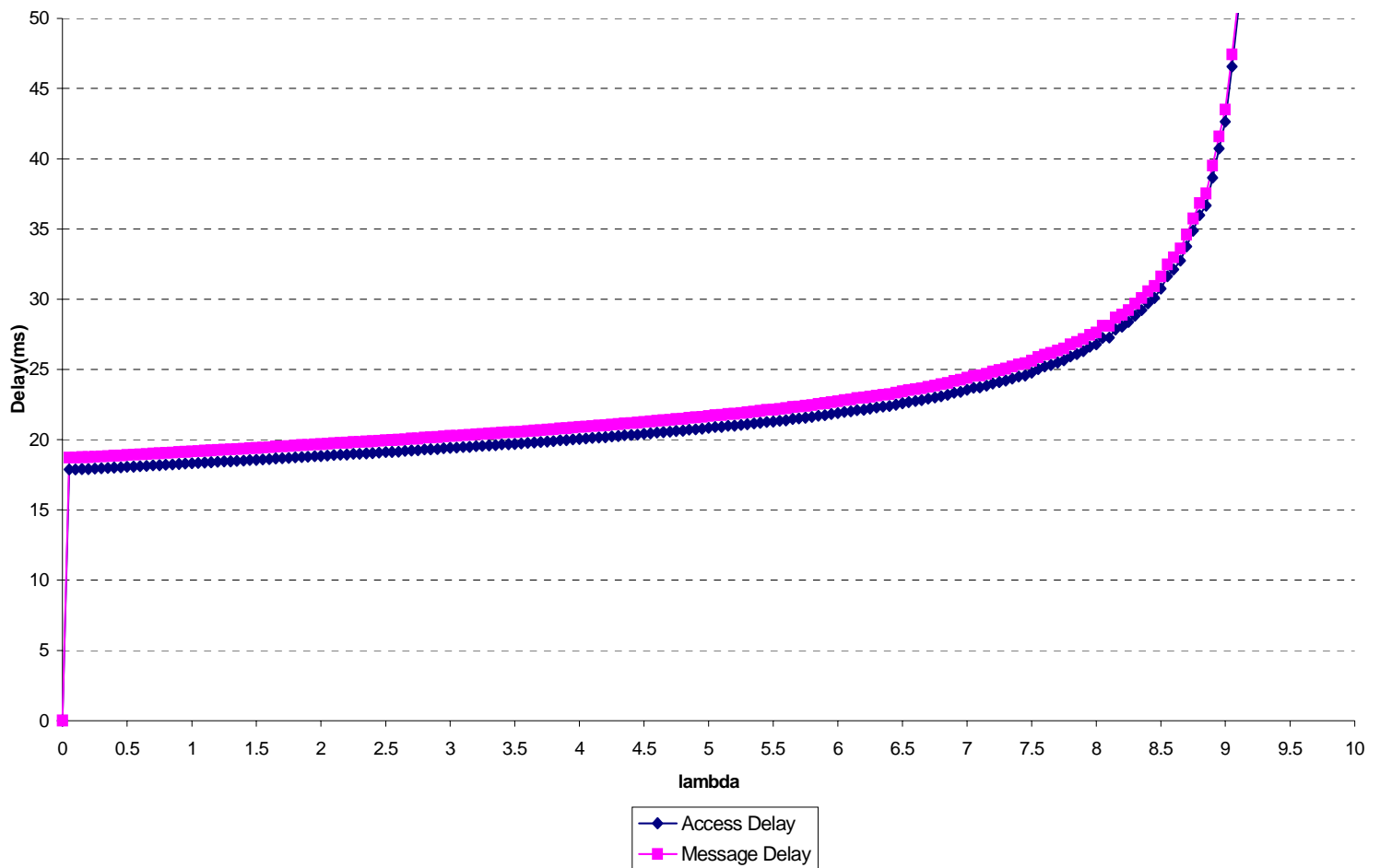
3.2 Περίπτωση ολοκλήρωσης σταθερών πηγών φωνής και δεδομένων

Τα αποτελέσματα προσομοιώσεων για την περίπτωση που έχουμε μόνο κίνηση χρηστών δεδομένων φαίνονται στα σχήματα 3.4 , 3.5. Το πρώτο σχήμα παρουσιάζει τις καμπύλες μέσης καθυστέρησης πρόσβασης καναλιού και μέσης καθυστέρησης μετάδοσης μηνύματος για χρονοπρογραμματισμό των μηνυμάτων δεδομένων με βάση την πολιτική ενός πακέτου ανά χρήστη και ανά πλαίσιο. Ο μέγιστος ρυθμός πάνω από τον οποίο τα δύο αυτά μεγέθη παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές είναι 9.438 μηνύματα ανά πλαίσιο και υπολογίζεται θεωρητικά ως εξής : η απόδοση του αλγορίθμου 2-C Stack για τα δεδομένα είναι 0.429 μηνύματα ανά θυρίδα. Επειδή ο αλγόριθμος εφαρμόζεται στα τμήματα των κρατήσεων του πλαισίου η απόδοσή του είναι 0.429 μηνύματα ανά μικροχρονοθυρίδα (minslot). Επίσης ο αλγόριθμος, απουσία χρηστών φωνής (σταθερών και μεταβαλλόντων), δίνει στους χρήστες δεδομένων 22 μικροχρονοθυρίδες σύμφωνα με την ιδέα των κινητών ορίων των τμημάτων κρατήσεων (σύνολο $24 - 1(\text{φωνή}) - 1(\text{handover}) = 22 (\text{data})$). Έτσι ο μέγιστος ρυθμός είναι $\lambda_{\max} = 0.429 \times 22 = 9.438$ μηνύματα ανά πλαίσιο, που αντιστοιχούν $9.438 \times 8 = 75.5$ πακέτα ανά πλαίσιο ή περίπου 2.41 Mbps. Παρατηρούμε επίσης ότι για τιμές του λ μικρότερες της μέγιστης η διαφορά των δύο καθυστερήσεων είναι 84 ms. Αυτό συμβαίνει διότι, σύμφωνα με την πολιτική χρονοπρογραμματισμού που αναφέρθηκε παραπάνω, η μέση καθυστέρηση μηνύματος θα ισούται με την μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού συν την ποσότητα $(B-1) \times F$. Υπενθυμίζεται ότι το B είναι ο μέσος αριθμός πακέτων ανά μήνυμα δεδομένων που είναι 8 και F η διάρκεια του πλαισίου που είναι 12 ms.

Το δεύτερο σχήμα παρουσιάζει τις γραφικές παραστάσεις της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης καναλιού και της μέσης καθυστέρησης μηνύματος για πολιτική χρονοπρογραμματισμού των πακέτων δεδομένων που προσπαθεί να δώσει κράτηση σε κάθε χρήστη δεδομένων, εί δυνατόν, για όλα τα πακέτα του μηνύματος του στο ίδιο πλαίσιο. Ο μέγιστος ρυθμός μηνυμάτων ανά πλαίσιο είναι πάλι 9.438 αφού το μόνο που αλλάζει είναι ο χρονοπρογραμματισμός του βασικού σταθμού. Το τέλος της κλίμακας μέσης καθυστέρησης είναι στα 50ms για να φανεί η πολύ μικρή διαφορά των δύο αυτών μέσων καθυστερήσεων. Οι δύο καθυστερήσεις διαφέρουν κατά $(B-1) \times S$, όπου S είναι η διάρκεια μιας χρονοθυρίδας και είναι ίση με $12\text{ms} / 100 = 0.00012 \text{ sec}$. Άρα η διαφορά των δύο καθυστερήσεων είναι περίπου 0.84ms. Το κόστος που πληρώνουμε για την παραπάνω δραματική μείωση της καθυστέρησης μηνύματος είναι η πολύ μικρή αύξηση της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης του καναλιού. Είναι φανερό ότι παρουσία και των άλλων κλάσεων χρηστών η διαφορά των δύο αυτών καθυστερήσεων δεν θα είναι τόσο μικρή όσο στην περίπτωση της κίνησης μόνο από χρήστες δεδομένων. Στις προσομοιώσεις του συστήματος που μελετάμε χρησιμοποιούμε την δεύτερη πολιτική χρονοπρογραμματισμού για τους χρήστες δεδομένων.



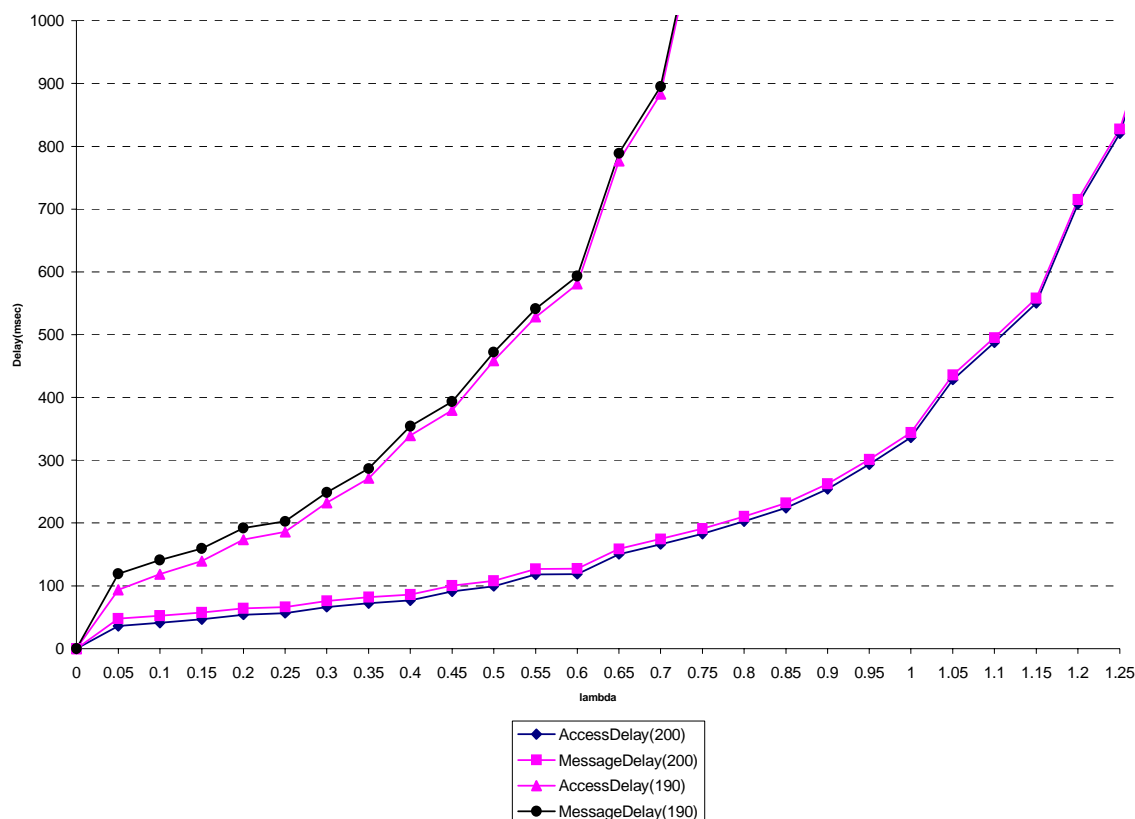
Σχήμα 3.4 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού και μέση καθυστέρηση μηνύματος με την πολιτική χρονοπρογραμματισμού ενός πακέτου ανά χρήστη και ανά πλαίσιο.



Σχήμα 3.5 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού και μέση καθυστέρηση μηνύματος με την πολιτική χρονοπρογραμματισμού πολλών πακέτων ανά χρήστη και ανά πλαίσιο.

Στην περίπτωση που έχουμε ολοκλήρωση πηγών φωνής και δεδομένων τα πράγματα δυσκολεύουν για τα δεδομένα όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6. Στο σχήμα παρουσιάζονται οι μέσες καθυστερήσεις πρόσβασης καναλιού και μηνύματος για δύο τιμές του αριθμού σταθερών τερματικών στο σύστημα, $N = 190$ και $N = 200$. Οι καθυστερήσεις χειροτερεύουν όσο ο αριθμός των σταθερών τερματικών φωνής αυξάνει και πλησιάζει την χωρητικότητα του καναλιού και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι πηγές φωνής έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα από τους χρήστες δεδομένων και καταλαμβάνουν όσους διαθέσιμους πόρους υπάρχουν. Μόνο εάν περισσεύουν καθόλου διαθέσιμες χρονοθυρίδες αυτές χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση των χρηστών δεδομένων. Όσο πλησιάζουμε στην χωρητικότητα του καναλιού τόσο οι διαθέσιμοι πόροι του συστήματος εξαντλούνται και οι χρήστες δεδομένων περιμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στις ουρές αναμονής του βασικού σταθμού. Μπορούμε να παρατηρήσουμε παρόλα αυτά ότι αν θέσουμε ως άνω όριο μέσης καθυστέρησης τα 200ms πρόσβασης για την περίπτωση, $N=190$ αυτό πετυχαίνεται με ρυθμό άφιξης μηνυμάτων $\lambda = 0.75$ μηνύματα ανά πλαίσιο, και στην περίπτωση $N=200$ $\lambda = 0.25$ μηνύματα ανά πλαίσιο. Αυτοί οι ρυθμοί αντιστοιχούν σε 192Kbps και 64Kbps, αντίστοιχα, διόλου ευκαταφρόνητοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.

Σχήμα 3.6 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού και μέση καθυστέρηση μηνύματος για

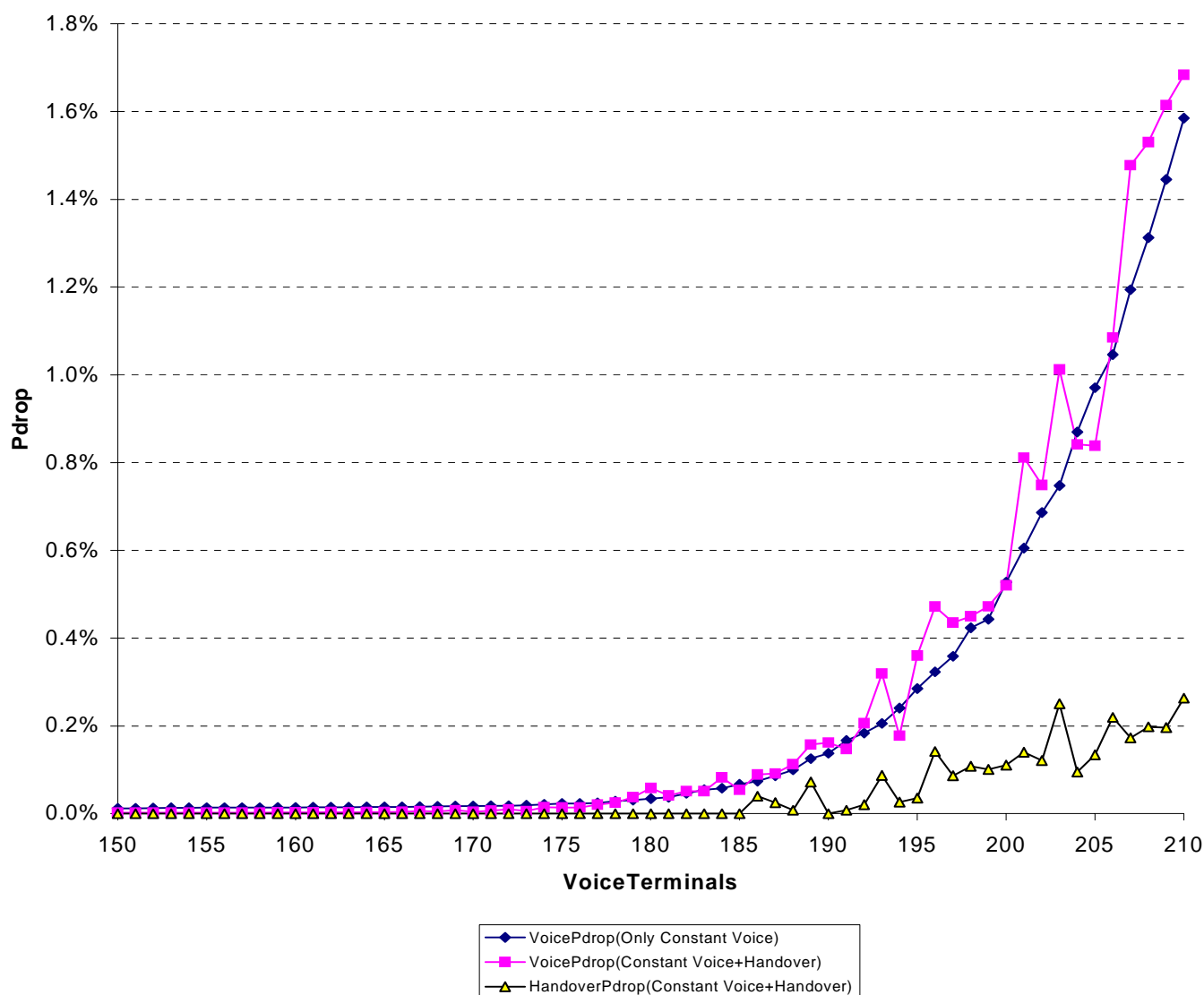


δύο τιμές του αριθμού σταθερών τερματικών φωνής στο σύστημα .

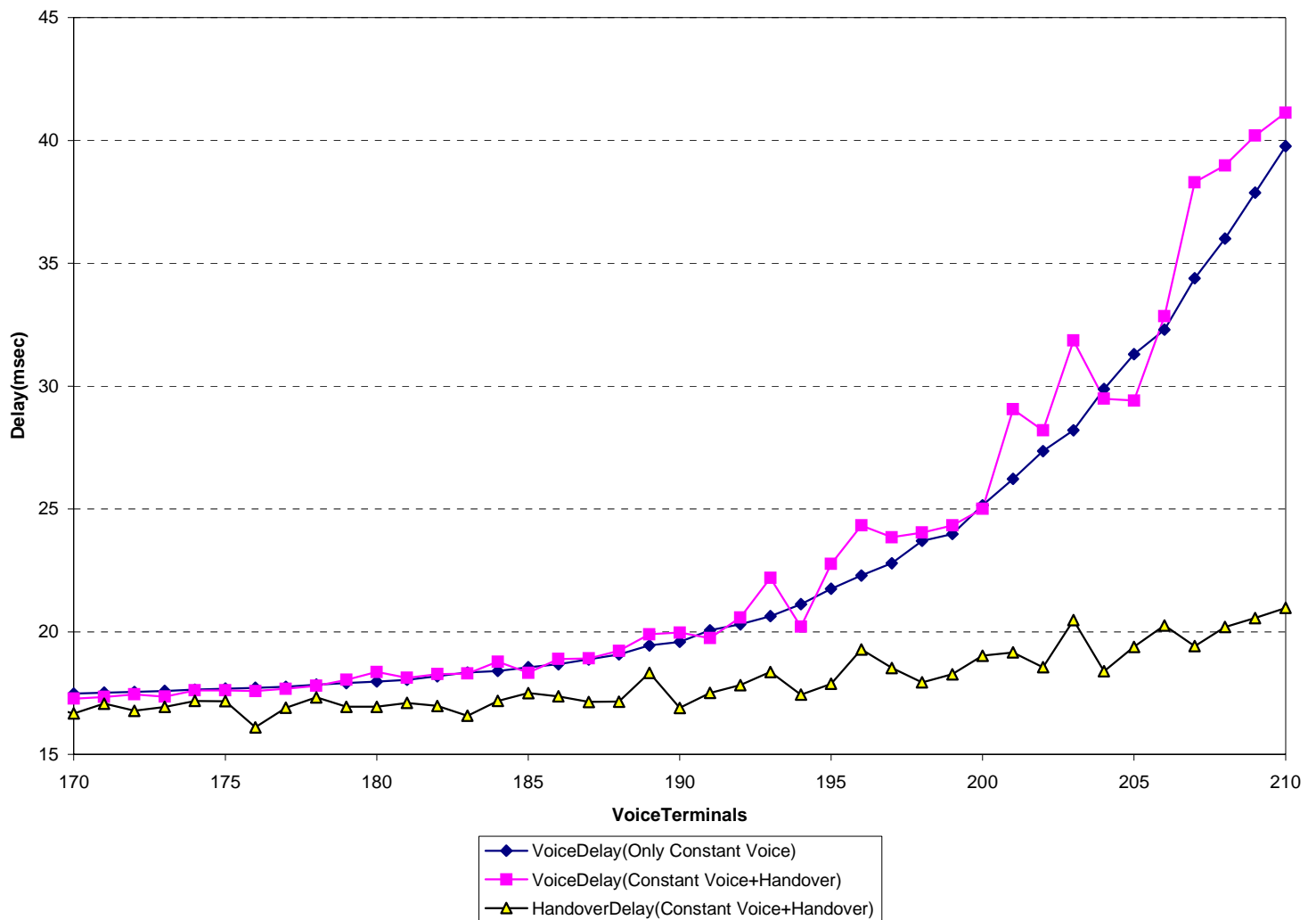
3.3 Περίπτωση κίνησης σταθερών χρηστών φωνής και handover χρηστών

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζουμε αποτελέσματα προσομοιώσεων στις οποίες λαμβάνουν μέρος σταθεροί χρήστες φωνής μαζί με χρήστες φωνής που μεταβαίνουν από κυψελίδα σε κυψελίδα.

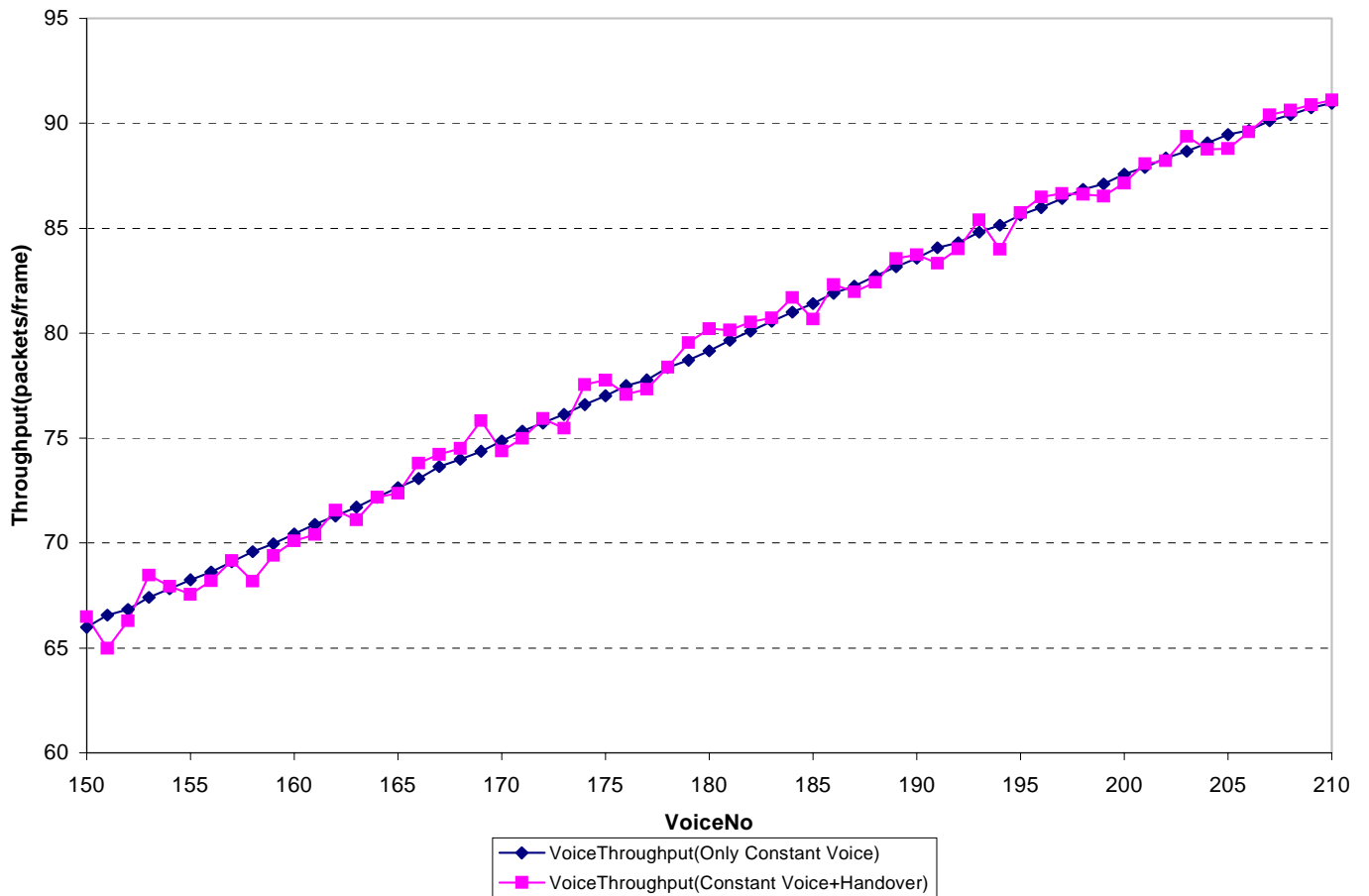
Στα σχήματα 3.7 - 3.12 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι καμπύλες της πιθανότητας απόρριψης πακέτου, της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης καναλιού και του throughput για ρυθμούς μετάβασης handover χρηστών 1 χρήστης ανά 2 λεπτά και 5 χρήστες ανά 2 λεπτά. Σε κάθε σχήμα υπάρχει και η αντίστοιχη καμπύλη μόνο για σταθερούς χρήστες φωνής για να μπορεί να γίνει σύγκριση με το στατικό μοντέλο του συστήματος.



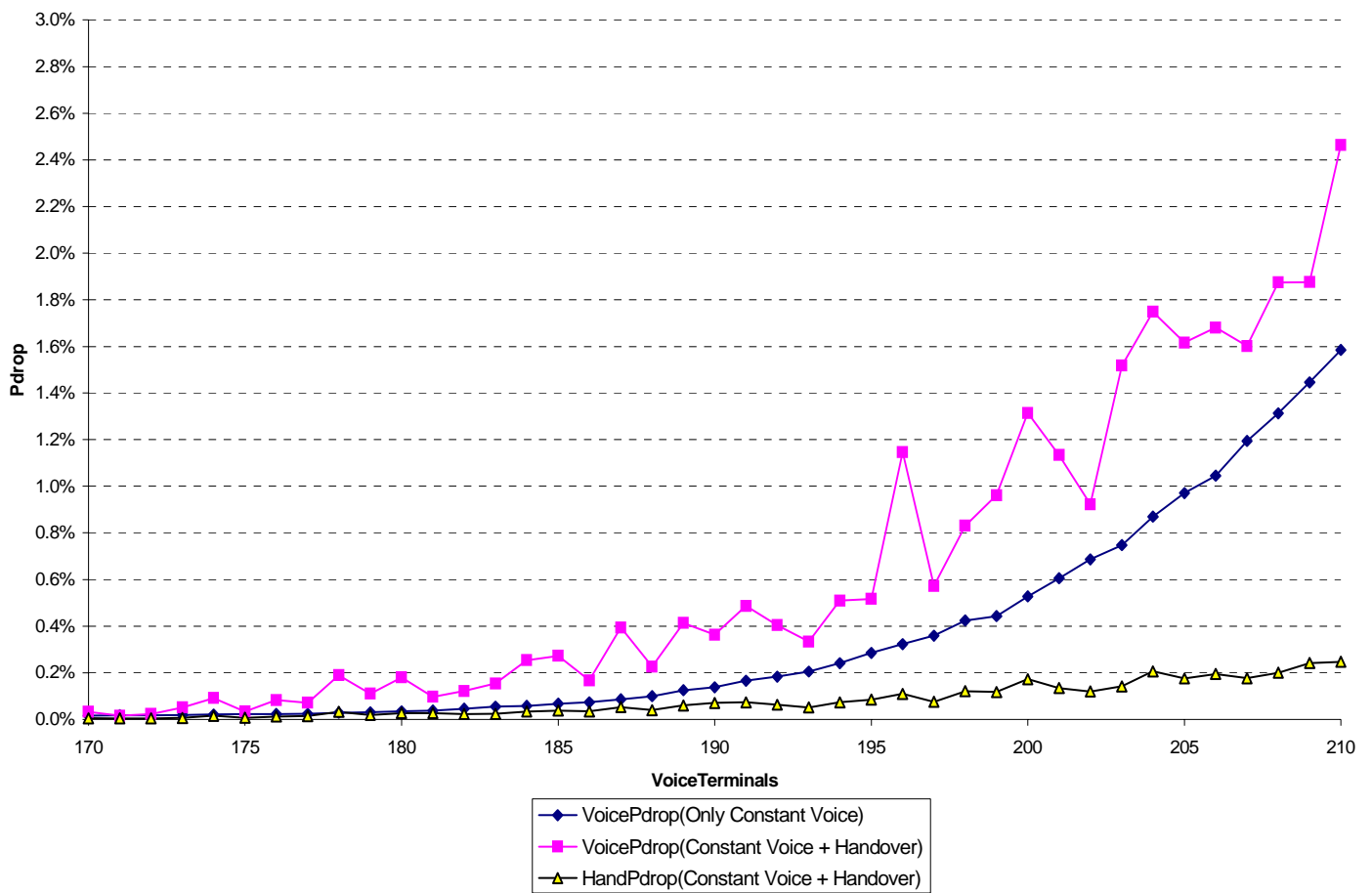
Σχήμα 3.7 Πιθανότητα απόρριψης πακέτου για σταθερούς χρήστες φωνής και για handover χρήστες με ρυθμό εισόδου-εξόδου $\lambda = 1$ χρήστης ανά 2 λεπτά, σε σχέση με το αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής.



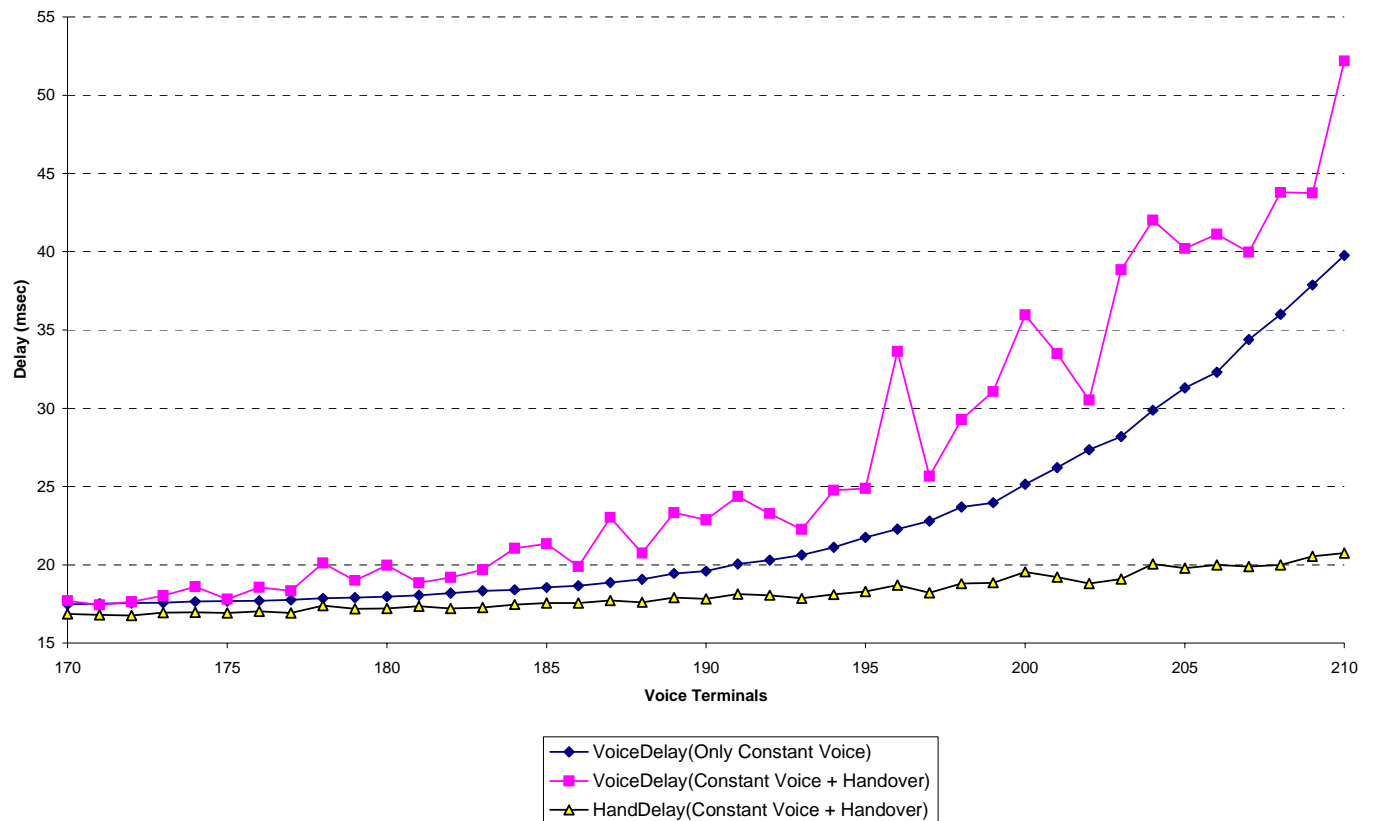
Σχήμα 3.8 Καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού για σταθερούς χρήστες φωνής και για handover χρήστες με ρυθμό εισόδου-εξόδου $\lambda = 1$ χρήστης ανά 2 λεπτά, σε σχέση με το αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής.



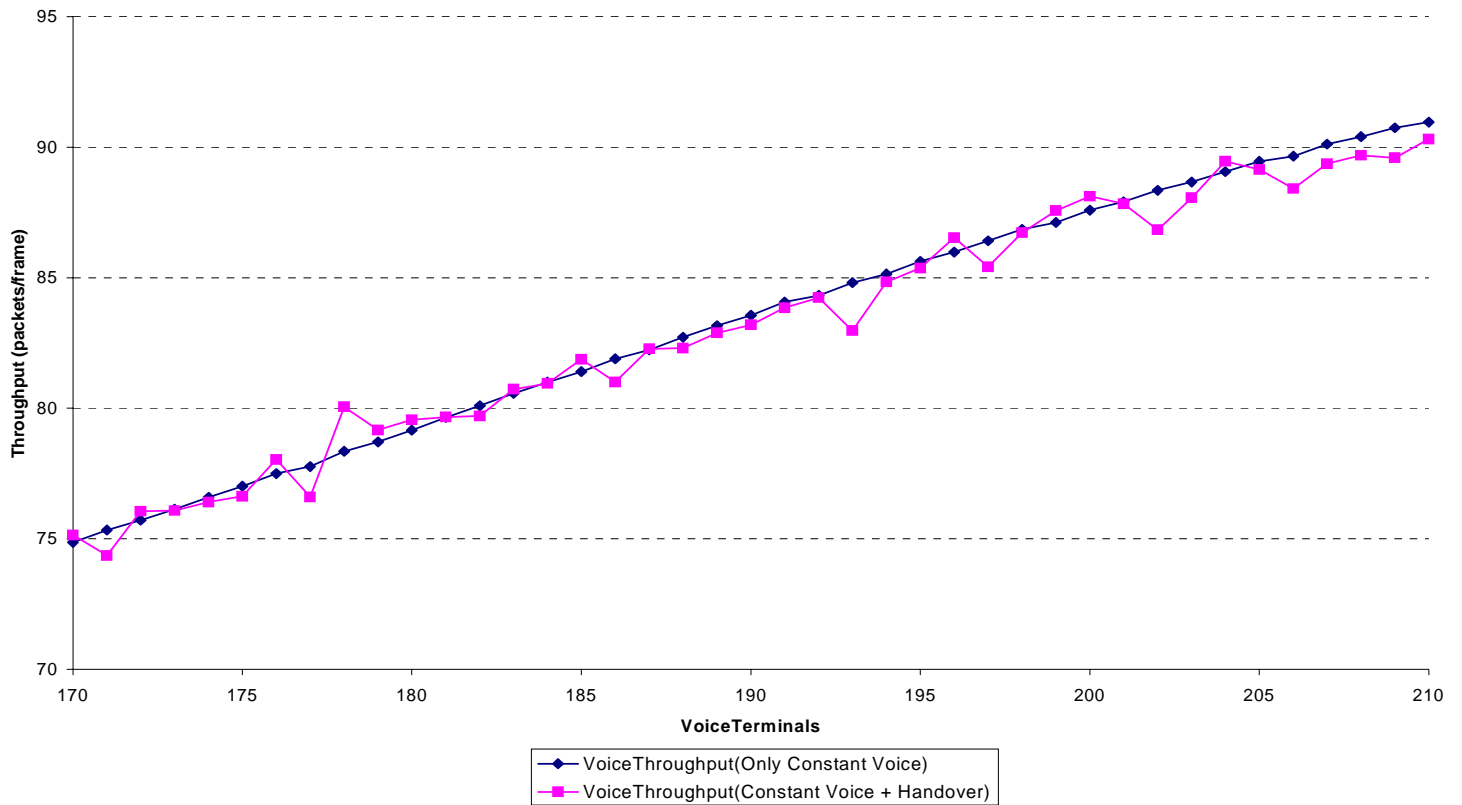
Σχήμα 3.9 Throughput σε πακέτα ανά πλαίσιο για σταθερούς χρήστες φωνής σε σχέση με το αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής. Οι handover χρήστες με ρυθμό εισόδου-εξόδου $\lambda=1$ χρήστης ανά 2 λεπτά..



Σχήμα 3.10 Πιθανότητα απόρριψης πακέτου για σταθερούς χρήστες φωνής και για handover χρήστες με ρυθμό εισόδου-εξόδου $\lambda = 5$ χρήστες ανά 2 λεπτά, σε σχέση με το αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής.



Σχήμα 3.11 Καθυστερήση πρόσβασης καναλιού για σταθερούς χρήστες φωνής και για handover χρήστες με ρυθμό εισόδου-εξόδου $\lambda = 5$ χρήστης ανά 2 λεπτά, σε σχέση με το αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής.



Σχήμα 3.12 Throughput σε πακέτα ανά πλαίσιο για σταθερούς χρήστες φωνής σε σχέση με το αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής. Οι handover χρήστες με ρυθμό εισόδου-εξόδου $\lambda=5$ χρήστης ανά 2 λεπτά..

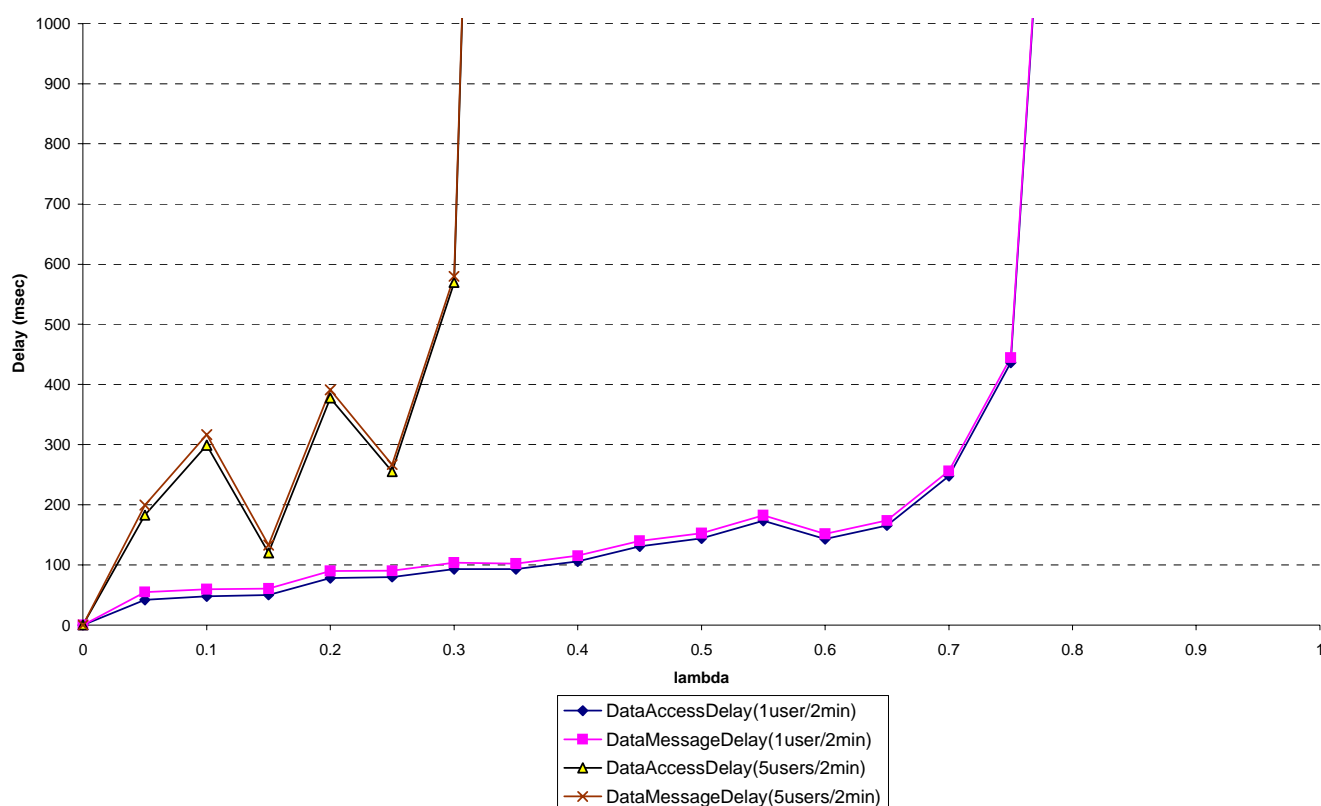
Από τις γραφικές παραστάσεις για ρυθμό άφιξης handover χρηστών $\lambda = 1$ χρήστης ανά 2 λεπτά παρατηρούμε τα εξής:

- (1) Στην γραφική παράσταση της πιθανότητας απόρριψης πακέτου (Pdrop) (σχήμα 3.7), η ποσότητα Pdrop για τους σταθερούς χρήστες φωνής παραμένει περίπου σταθερή και ίση με την αντίστοιχη ποσότητα στην περίπτωση που έχουμε μόνο σταθερούς χρήστες φωνής (καμπύλη αναφοράς) μέχρι τα 190 σταθερά τερματικά φωνής. Στη συνέχεια παρατηρούμε ορισμένες αυξομειώσεις, πάντα όμως, γύρω από την καμπύλη αναφοράς, που εξηγούνται από το γεγονός ότι το σύστημα πλησιάζει κοντά στην χωρητικότητά του και την εκρηκτικότητα της κατανομής Poisson που μοντελοποιεί τις αφίξεις και αναχωρήσεις handover χρηστών. Αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η αντίστοιχη ποσότητα Pdrop για τους handover χρήστες, παρόλη την μεταβολή της δεν ξεπερνάει το 0.3%.
- (2) Στην γραφική παράσταση της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης καναλιού (σχήμα 3.8) μπορούμε να κάνουμε την ίδια παρατήρηση για τους σταθερούς χρήστες φωνής όπως και στην περίπτωση του Pdrop. Η μέση καθυστέρηση των χρηστών αυτών για αριθμό αρχικών χρηστών κοντά στην χωρητικότητα του καναλιού είναι μεταξύ 30 ms και 35 ms, μεγαλύτερη δηλαδή από το όριο των 24 ms που σημαίνει ότι οι χρήστες αυτοί απορρίπτουν πακέτα με μεγαλύτερο ρυθμό όσο ο αριθμός τους πλησιάζει την χωρητικότητα του καναλιού. Επίσης για τους handover χρήστες διαπιστώνουμε ότι η μέση καθυστέρηση πρόσβασης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των σταθερών χρηστών και μάλιστα μικρότερη και από το όριο των 24 ms, που σημαίνει ότι οι χρήστες αυτοί δεν απορρίπτουν πολλά πακέτα αφού εξυπηρετούνται πρώτα από όλους και λαμβάνουν διαθέσιμες χρονοθυρίδες πριν από όλους τους σταθερούς χρήστες φωνής.
- (3) Στην καμπύλη του throughput (σχήμα 3.9) πρέπει να σημειωθεί ότι το throughput των σταθερών χρηστών φωνής παραμένει περίπου σταθερό (με αυξομειώσεις το πολύ δύο τερματικών) και ακολουθεί την καμπύλη αναφοράς, αφού ο αριθμός των handover χρηστών είναι πολύ μικρός και το αντίστοιχο throughput είναι πολύ μικρό (της τάξεως του 0.004 πακέτα ανά πλαίσιο).

Από την δεύτερη ομάδα σχημάτων (σχήματα 3.10 - 3.12) για ρυθμό άφιξης handover χρηστών 5 χρήστες ανά 2 λεπτά, μπορούμε να κάνουμε παρόμοιες παρατηρήσεις όπως με τις παραπάνω. Ένα πράγμα όμως που συνάγεται από την σύγκριση των δύο ομάδων σχημάτων είναι το γεγονός ότι με την αύξηση του ρυθμού άφιξης των handover χρηστών πλήττεται μόνο η ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας (Pdrop, μέση καθυστέρηση πρόσβασης) των σταθερών χρηστών φωνής, ενώ η αντίστοιχη των handover χρηστών παραμένει πρακτικά αναλλοίωτη. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι χρήστες αυτοί έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα από τους σταθερούς χρήστες και λαμβάνουν τους πόρους του συστήματος πρώτοι. Οι εναπομείναντες πόροι, οι οποίοι με μεγαλύτερο ρυθμό άφιξης handover χρηστών θα είναι σίγουρα λιγότεροι, διατίθενται στους σταθερούς χρήστες φωνής.

3.4 Περίπτωση ολοκλήρωσης σταθερών πηγών φωνής, handover χρηστών, και δεδομένων.

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε τις καμπύλες μέσης καθυστέρησης πρόσβασης καναλιού και μέσης καθυστέρησης μηνύματος για τους χρήστες δεδομένων που ολοκληρώνονται με σταθερά τερματικά φωνής και handover χρήστες. Μελετούμε τις περιπτώσεις για αρχικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής $N=190$ ρυθμούς άφιξης handover χρηστών $\lambda_h = 1$ χρήστης ανά 2 λεπτά και $\lambda_h = 5$ χρήστες ανά 2 λεπτά, με μεταβαλλόμενο το ρυθμό άφιξης μηνυμάτων δεδομένων. Οι μετρικές των σταθερών χρηστών φωνής και των handover χρηστών δεν περιμένουμε να αλλάξουν αφού οι δύο αυτές κλάσεις έχουν απόλυτη προτεραιότητα έναντι των δεδομένων, τα οποία λαμβάνουν τους εναπομείναντες πόρους του συστήματος και επιπλέον οι κρατήσεις τους μπορούν να αναιρεθούν από χρήστες των δύο παραπάνω κλάσεων (data preemption). Οι καμπύλες φαίνονται στο σχήμα 3.13 για τους δύο ρυθμούς άφιξης handover χρηστών και για μεταβλητό ρυθμό άφιξης μηνυμάτων δεδομένων.

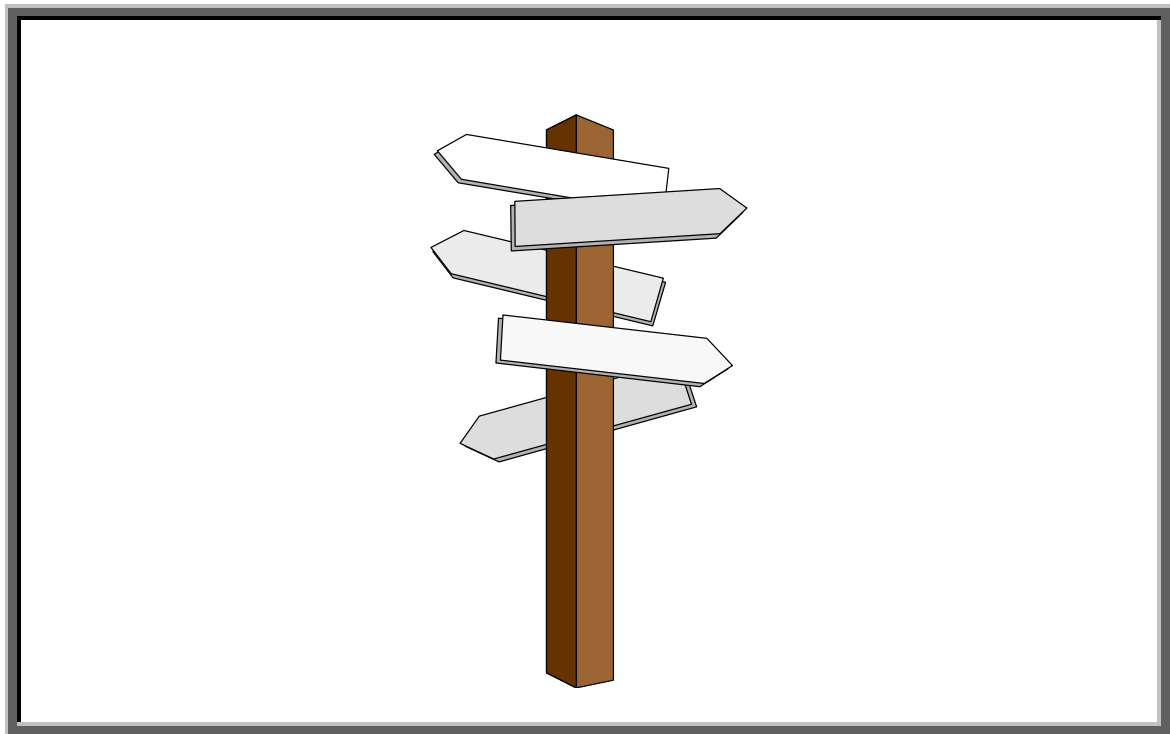


Σχήμα 3.13 Μέση καθυστέρηση πρόσβασης καναλιού και μέση καθυστέρηση μηνύματος δεδομένων παρουσία σταθερών πηγών φωνής και handover χρηστών, για ρυθμούς άφιξης handover χρηστών $\lambda_h=1$ χρήστης ανά 2 λεπτά και $\lambda_h=5$ χρήστες ανά 2 λεπτά.

Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι ότι όσο αυξάνει ο ρυθμός άφιξης μηνυμάτων δεδομένων, αυξάνουν και οι μέσες καθυστερήσεις των χρηστών δεδομένων. Για την περίπτωση που ο ρυθμός των handover χρηστών είναι $\lambda_h=1$ χρήστης ανά 2 λεπτά, ο μέγιστος ρυθμός είναι 0.65 μηνύματα ανά πλαίσιο, ή 166.4Kbps. Η αστάθεια που παρατηρείται για ρυθμό άφιξης handover χρηστών $\lambda_h=5$ χρήστες ανά 2 λεπτά, εξηγείται από το γεγονός ότι τα δεδομένα επηρεάζονται από την αστάθεια της συμπεριφοράς των σταθερών χρηστών φωνής λόγω της παρουσίας των handover χρηστών. Για ρυθμό άφιξης μηνυμάτων δεδομένων 0.3 μηνύματα ανά πλαίσιο έχουμε 76.8Kbps.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συμπεράσματα – Μελλοντικές Προσπάθειες



-
- | | |
|-----|---|
| 4.1 | Κίνηση Χρηστών φωνής |
| 4.2 | Ολοκλήρωση σταθερών πηγών φωνής και δεδομένων |
-

Κεφάλαιο 4ο

Συμπεράσματα - Μελλοντικές Προσπάθειες

4.1 Συμπεράσματα

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- (1) Η περίπτωση χρονοπρογραμματισμού των χρηστών δεδομένων με πολλά πακέτα ανά πλαίσιο και ανά χρήστη αυξάνει τη μέση καθυστέρηση πρόσβασης του καναλιού και μειώνει την μέση καθυστέρηση μηνύματος για τους χρήστες δεδομένων ώστε οι δύο αυτές καθυστερήσεις να πλησιάσουν πολύ κοντά αριθμητικά. Η αντιδιαστολή με το αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού με την εξυπηρέτηση ενός πακέτου ανά χρήστη και ανά πλαίσιο γίνεται για ναδειχθεί ότι η πρώτη πολιτική είναι καλύτερη όσον αφορά την χρήση του καναλιού με κόστος την πολύ μικρή αύξηση της μέσης καθυστέρησης πρόσβασης.
- (2) Η μελέτη της περίπτωσης του συστήματος με σταθερούς χρήστες φωνής και handover χρήστες έγινε για να μελετήσουμε την επίδραση που έχουν οι τελευταίοι στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας των πρώτων. Όπως είδαμε η πιθανότητα απόρριψης πακέτου των σταθερών χρηστών, είναι μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση του συστήματος με μόνο σταθερούς χρήστες φωνής και αυτό φαίνεται καλύτερα για ρυθμό άφιξης handover χρηστών 5 χρήστες ανά 2 λεπτά. Όσον αφορά τη μετρική μέση καθυστέρηση πρόσβασης, αυτή παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με την πιθανότητα απόρριψης πακέτου αφού απόρριψη πακέτου σε ένα πλαίσιο οδηγεί σε αύξηση της μέσης καθυστέρησης κατά ένα πλαίσιο. Για το throughput μπορούμε να πούμε ότι δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές λόγω του ότι ο αριθμός των handover χρηστών στο σύστημα είναι μικρός και το throughput τους αμελητέο. Η ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας των handover χρηστών είναι πολύ καλύτερη από αυτή των σταθερών χρηστών φωνής, πράγμα αναμενόμενο αφού οι πρώτοι έχουν προτεραιότητα έναντι των δεύτερων κατά τον χρονοπρογραμματισμό του βασικού σταθμού.

- (3) Η περίπτωση της ολοκλήρωσης φωνής και δεδομένων που παρουσιάζεται τελευταία μελετάται για να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε κατά πόσο είναι δυνατό να υποστηριχθούν και υπηρεσίες δεδομένων στο σύστημα μας. Η παρουσία των χρηστών δεδομένων δεν επηρεάζει την ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας των σταθερών χρηστών φωνής και των handover χρηστών αφού οι δύο τελευταίες κλάσεις χρηστών έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα στην εξυπηρέτησή τους και επιπλέον μπορούν να αναιρέσουν κράτηση των χρηστών δεδομένων. Έτσι στην περίπτωση αυτή μελετάμε μόνο τις μέσες καθυστερήσεις των χρηστών δεδομένων. Διαπιστώνουμε ότι οι καθυστερήσεις αυξάνουν όσο αυξάνει ο ρυθμός άφιξης μηνυμάτων δεδομένων στο σύστημα και, είναι εν γένει μεγαλύτερες από την περίπτωση που έχουμε μόνο σταθερούς χρήστες και χρήστες δεδομένων. Διαπιστώνουμε με αυτό τον τρόπο ότι το σύστημα είναι σε θέση να υποστηρίξει ένα υψηλά ικανοποιητικό αριθμό σταθερών χρηστών φωνής (μέχρι 190 χρήστες), ένα σχετικά ρυθμό άφιξης handover χρηστών (5 χρήστες ανά 2 λεπτά), και ένα ικανοποιητικό ρυθμό χρηστών δεδομένων.
- (4) Οι αυξομειώσεις των σημείων των καμπύλων (π.χ. δεξ σχήματα 3.7, 3.8, 3.10, 3.11 και 3.13) οφείλονται στο μικρό μήκος των προσομοιώσεων και στην εκρηκτικότητα της κατανομής Poisson και πιθανά στην διάρκεια της προσομοίωσης. Παρόλα αυτά όλες οι καμπύλες εμφανίζουν μια τάση (trend) από την οποία μπορούμε με ασφάλεια να εξάγουμε τα παραπάνω συμπεράσματα.

4.2 Μελλοντικές Προσπάθειες

Οι μελλοντικές προσπάθειες χρησιμοποιώντας, το προτεινόμενο μοντέλο μπορούν να κατευθυνθούν :

- (1) Στην μελέτη επίδρασης διαφορετικών κατανομών εισόδου και εξόδου handover χρηστών. Επίσης μπορεί να μελετηθεί η επίδραση κατανομών χρονικά μεταβαλλόμενων ώστε να προσεγγίσει το μοντέλο όσο το δυνατό τη καθημερινή ζωή.
- (2) Στην μελέτη επίδρασης χρονοπρογραμματισμού Shortest Job First με μηχανισμό expiring όσον αφορά την εξυπηρέτηση χρηστών δεδομένων, αφού ο βασικός σταθμός γνωρίζει το

μήκος των πακέτων των μηνυμάτων δεδομένων από την αίτηση των χρηστών δεδομένων. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να εφαρμοστεί για μειωθούν ακόμα περισσότερο οι μέσες καθυστερήσεις πρόσβασης και μηνύματος χρηστών δεδομένων. Ο μηχανισμός expiring είναι αναγκαίος ώστε να μην υπάρξουν στις ουρές αναμονής του βασικού σταθμού χρήστες δεδομένων που περιμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, λόγω του γεγονότος ότι θα έχουν μεγάλα μηνύματα. Ένας μηχανισμός expiration θα μπορούσε να υλοποιηθεί ως εξής : Η ουρά των δεδομένων θα είναι μια ουρά διατεταγμένη με αύξουσα σειρά σύμφωνα με το μήκος των πακέτων του μηνύματος δεδομένων που έχει ο κάθε χρήστης . Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, η διάρκεια των οποίων θα αποτελεί παράμετρο προς βελτιστοποίηση, και πριν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού εξετάζεται η ουρά των χρηστών δεδομένων και μεταφέρονται οι χρήστες που έχουν περισσότερο χρόνο παραμονής στις ουρές από ένα συγκεκριμένο όριο, που επίσης μπορεί να αποτελεί παράμετρο για βελτιστοποίηση, σε μια ουρά άμεσης εξυπηρέτησης. Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού θα εξυπηρετεί πρώτα τους χρήστες από την ουρά άμεσης εξυπηρέτησης και στη συνέχεια τους χρήστες που βρίσκονται στην κανονική ουρά αναμονής

- (3) Στην προσπάθεια ανάπτυξης κατανεμημένου συστήματος που θα προσομοιώνει ένα σύστημα αποτελούμενο από μια κεντρική κυψελίδα και τις γειτονικές της, ώστε να είναι πιο ρεαλιστικό το μοντέλο εισαγωγής – εξαγωγής handover χρηστών στην υπό μελέτη κυψελίδα.
- (4) Στην επανάληψη των runs της προσομοίωσης για εκείνα τα σενάρια με handover χρήστες για τα οποία παρατηρούνται έντονες αυξομειώσεις στα αποτελέσματα (π.χ. η περίπτωση $\lambda_h=5$ χρήστες ανά 2 λεπτά στο σχήμα 3.13). Τα νέα runs θα είναι πολύ μεγαλύτερης διάρκειας (π.χ. υπερδεκαπλάσιας από τα ήδη εκτελεσθέντα).