



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &**  
**ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Συγκριτική Μελέτη Μεθόδων Βελτιστοποίησης με Εφαρμογή σε  
Κυψελωτά Δίκτυα

**Πιστόλας Ιωάννης**

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Επίκουρος Καθηγητής - Σαρηγιαννίδης  
Παναγιώτης

Κοζάνη,

Μάρτιος 2018

.....  
Πιστόλας Ιωάννης  
Διπλωματούχος Μηχανικός Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών ΠΔΜ.

Copyright © Πιστόλας Ιωάννης 2018  
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 Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα τον Επίκουρο Καθηγητή, κύριο Παναγιώτη Σαρηγιαννίδη για την εξαιρετη καθοδήγησή του, την συνεχή επίβλεψη, την υπομονή, καθώς επίσης και τη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, αλλά και των σπουδών.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους που έκανα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε, καθώς και την ψυχολογική υποστήριξη. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τους Βεντούρη Αντώνη, Ελληνίδου Τάνια, Ζησάκη Αναστασία, Μπαγανά Ειρήνη, Μπαντή Ντίνα, Μπουγιουκλή Γιώργο, Σμιάρη Βιβή, Ταμπάκη Ειρήνη οι οποίοι με βοήθησαν με τα σχόλια τους, την κριτική τους και τις γνώσεις τους να αντιμετωπίσω τις δυσκολίες που εμφανιστήκανε τόσο στην συγγραφή του παρόντος κειμένου αλλά και στην πορεία μου ως φοιτητής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Νίκο και Τζούλια καθώς και την αδερφή μου Ελένη που μου σταθήκανε σε κάθε δυσκολία που είχα όλα αυτά τα χρόνια και που με βοήθησαν να πετύχω τους στόχους μου.

## **Πρόλογος**

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη, σχεδίαση και αποτίμηση με μεθόδους προσομοίωσης της δυναμικής κατανομής πόρων ενός ασύρματου περιβάλλοντος δικτύωσης Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX). Το περιβάλλον προσομοίωσης στο οποίο υλοποιήθηκε το συγκεκριμένο δίκτυο είναι η γλώσσα προγραμματισμού C, ενώ η αρχιτεκτονική δικτύου καθώς και όλα τα σενάρια προσομοίωσης αναπτύχθηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει το πρότυπο IEEE 802.16

## Περίληψη

Η εξέλιξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει με καταγιστικό ρυθμό κυρίως χάρη στην εξάπλωση του Διαδικτύου. Η ανάγκη όμως για αποδοτικότερες υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών σε χρήστες εν κινήσει εισήγαγε νέες τεχνολογίες. Η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιείται και αναπτύσσεται αυτή τη στιγμή στις ασύρματες ευρυζωνικές συνδέσεις είναι τα δίκτυα 4ης γενιάς. Επιτρέπουν σε έναν μεγάλο αριθμό χρηστών να κάνουν χρήση του μεγάλου εύρους ζώνης. Ειδικότερα για το WiMAX, οι συνδρομητές αυτοί μπορούν να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον σταθμό βάσης. Το πρότυπο του WiMAX δίνει τη δυνατότητα να καταναμηθούν δυναμικά οι πόροι του δικτύου, ανάλογα με τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα δίκτυο WiMAX με κινητούς συνδρομητές, στο οποίο γίνεται προσπάθεια για δυναμική κατανομή εύρους ζώνης με την χρήση αλγορίθμων.

Στο μοντέλο προσομοιώνονται δύο αλγόριθμοι. Ο πρώτος είναι ένα αυτόματο μάθησης (Learning Automata) το οποίο χρησιμοποιεί τις αντιδράσεις από τις προηγούμενες επιλογές της κατανομής, για να προβλέψει την συμπεριφορά του δικτύου στο μέλλον. Ο δεύτερος είναι ο αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization) ο οποίος μιμείται την συμπεριφορά των μυρμηγκιών για να επιλέξει μια αποδεκτή επιλογή. Η καταλληλότερη επιλογή είναι αυτή που εξυπηρετεί τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό συνδρομητών, φροντίζοντας ταυτόχρονα για την εξισορρόπηση του συστήματος. Επομένως, με την χρήση αυτών των μηχανισμών επιτυγχάνεται η δυναμική κατανομή εύρους ζώνης στο κάθε πλαίσιο.

Για την αξιολόγηση των αλγορίθμων προσομοιώθηκε η χρήση τους σε ένα σύστημα με τον αριθμό των συνδρομητών να μεταβάλλεται. Στο σύστημα αυτό πάρθηκαν μετρήσεις κάποιων μεταβλητών οι οποίες συγκρίθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Οι μεταβλητές αυτές είναι ο αριθμός των αδρανών θυρίδων, ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών και θυρίδων καθώς και τα απορριφθέντα πακέτα

### Λέξεις κλειδιά

WiMAX, Δυναμική Κατανομή Εύρους Ζώνης, Αυτόματο Μάθησης, Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών

## **Abstract**

The evolution of telecommunications networks in the last few decades is rapid, mostly because of the spread of the Internet, as the need for more efficient mobile telecommunications introduced new technologies. The main technology used at this moment in wireless broadband connections is 4G technology, which allows a large number of users to utilize the bandwidth. This Thesis is focused on WiMAX technology, where the subscribers are located far from the base station. The WiMAX standard enables the resources of the network to be dynamically allocated, depending on the needs that could arise at any given moment. This Thesis aims to study a WiMAX network, where mobile users are connected to a distant base station while moving around. To be more precise, two dynamic bandwidth allocation algorithms are examined which use machine learning for fair and efficient resource allocation.

The context of this Thesis includes two resource allocation algorithms which are studied, simulated and evaluated. The first algorithm incorporates a learning automaton which utilizes the reactions from of the history choices of bandwidth allocation, to predict the network behaviour in the future. The second algorithm applied is based on the Ant Colony Optimization concept which mimics the ant's behaviour to pick an acceptable choice for bandwidth allocation. The two algorithms are assessed in terms of service utilization, while taking care of balancing the system. Therefore, by using this type of optimization the dynamic bandwidth allocation is achieved in a dynamic manner.

For the algorithms to be evaluated their performance was simulated in a system with a gradual change in the number of subscribers. In this particular system measurements were collected from a variety of variables which were later compared to extract the results.

## **Keywords**

WiMAX, Dynamic Bandwidth Allocation, Learning Automata, Ant Colony Optimization

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	3
Πρόλογος .....	4
Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
1 Εισαγωγή στα δίκτυα και τις τηλεπικοινωνίες .....	9
1.1 Εισαγωγή .....	9
1.2 Τύποι Δικτύων .....	10
1.2.1 Τρόπος Σύνδεσης .....	10
1.2.2 Μέγεθος .....	14
1.3 Τοπολογίες Δικτύων .....	17
1.4 Πρωτόκολλα και Υπηρεσίες .....	19
2 Ασύρματα Δίκτυα 4G .....	21
2.1 Συστήματα 1ης Γενιάς .....	21
2.2 Συστήματα 2ης Γενιάς .....	22
2.3 Συστήματα 2.5G και 2.75G .....	22
2.4 Συστήματα 3ης Γενιάς .....	23
2.5 Διαφορετικοί Τύποι Συστημάτων 4G .....	24
2.6 WiMAX .....	25
2.6.1 Χαρακτηριστικά του WiMAX .....	25
2.6.2 Πρότυπα .....	26
2.6.3 Τεχνολογίες του WiMAX .....	26
2.6.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου .....	26
2.6.5 Πως δουλεύει το WiMAX .....	28
2.6.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	29
3 Διαχείριση πόρων σε δίκτυα 4G .....	31
3.1 Μέθοδοι Διαχείρισης .....	31
3.1.1 TDM .....	31
3.1.2 FDM .....	32
3.1.3 OFDM .....	33
3.1.4 OFDMA .....	34
3.2 Ιδιότητες WiMAX .....	35
3.2.1 Πλαίσιο WiMAX .....	35

3.2.2	OFDMA στο WiMAX .....	37
3.2.3	Προσαρμοσμένη Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση .....	37
3.2.4	Δυναμική Κατανομή Εύρους .....	39
4	Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης.....	41
4.1	Πως Λειτουργούν οι Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης .....	41
4.2	Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού σε δίκτυα WiMAX .....	42
4.3	Αυτόματο Μάθησης .....	43
4.4	Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών .....	51
5	Συγκριτικά αποτελέσματα και ανάλυση αποτελεσμάτων .....	55
5.1	Περιβάλλον Προσομοίωσης.....	55
5.1.1	Μεταβλητές Απόδοσης Συστήματος .....	56
5.2	Σενάρια.....	57
5.2.1	Σενάριο 1ο.....	57
5.2.2	Σενάριο 2ο + 3ο .....	57
5.3	Υλοποίηση Προσομοίωσης.....	58
5.4	Εξαγωγή αποτελεσμάτων .....	61
5.5	Αποτελέσματα και Ανάλυση LA .....	61
5.6	Αποτελέσματα και Ανάλυση ACO .....	73
5.7	Σύγκριση LA με ACO.....	85
6	Συμπεράσματα - Μελλοντικές Επεκτάσεις .....	98
6.1	Συμπεράσματα .....	98
6.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	100
7	Κατάλογος Σχημάτων.....	101
8	Πίνακας Συντμήσεων .....	103
9	Βιβλιογραφία .....	105



# 1 Εισαγωγή στα δίκτυα και τις τηλεπικοινωνίες

## 1.1 Εισαγωγή

Ως ένα δίκτυο υπολογιστών χαρακτηρίζεται μία συλλογή από υπολογιστές, σέρβερ, δικτυακές συσκευές και άλλες συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους με κάποιον τρόπο με σκοπό την αποστολή δεδομένων μεταξύ τους. Στην πιο απλή μορφή του αποτελείται από δύο κόμβους οι οποίοι ανταλλάσσουν ανάμεσα τους δεδομένα. Το πιο μεγάλο και ευρέως διαδεδομένο δίκτυο είναι το "Διαδίκτυο", μέσω του οποίου αλληλεπιδρούν εκατομμύρια δίκτυα και δικτυακές συσκευές. Ο τρόπος με τον οποίο συνδέεται η μία συσκευή με την άλλη στα δίκτυα αυτά μπορεί να είναι μέσω δικτύων χαλκού, τηλεφωνικών γραμμών, ραδιοκυμάτων, δορυφορικών συνδέσεων ή μέσω υπέρυθρων ακτινών.

Το πρώτο δίκτυο ονομαζόταν ARPANET και το πρώτο μήνυμα στάλθηκε μέσα από αυτό το 1969, από έναν υπολογιστή του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, προς έναν κόμβο του Ερευνητικού Ινστιτούτου του Στάφορντ. Τα δίκτυα που αναπτύχθηκαν μετά από αυτό επέτρεπαν την μεταγωγή πακέτων χρησιμοποιώντας μια ποικιλία πρωτοκόλλων. Τα πρωτόκολλα που αναπτύχθηκαν εξ αιτίας του ARPANET επέτρεψαν σε διαφορετικά δίκτυα να ενωθούν σε ένα δίκτυο από δίκτυα.

Ο όρος τηλεπικοινωνίες αναφέρεται στην ανταλλαγή πληροφορίας μέσω ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών μέσων σε μια δεδομένη απόσταση. Χρησιμοποιείται για ένα μεγάλο φάσμα τεχνολογιών μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ συσκευών όπως τηλέφωνα, τηλεγράφοι, ραδιόφωνα και συσκευές μικροκυμματικής, οπτικής ή δορυφορικής επικοινωνίας. Για να υπάρξει επιτυχής ανταλλαγή πληροφοριών υπάρχει ανάγκη για δύο ή παραπάνω σταθμούς εξοπλισμένους με συσκευές αποστολής και λήψης δεδομένων ή με έναν πομποδέκτη. Τα δεδομένα μεταδίδονται με την μορφή ηλεκτρικών σημάτων τα οποία διαμορφώνονται αναλογικά ή ψηφιακά, ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιείται και υπόκεινται σε κανονισμούς τους οποίους ορίζει η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU).

Τα δίκτυα έχουν βοηθήσει σημαντικά στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Μέσω αυτών οι συσκευές μπορούν να στέλνουν μεταξύ τους δεδομένα, να μοιράζονται πόρους και υπηρεσίες. Η πρόοδος της πληροφορικής στην σύγχρονη μορφή της έχει την βάση της στην ανάπτυξη των δικτύων. Η ανάπτυξη αυτή έκανε δυνατή την συνεργασία ατόμων από όλο τον κόσμο σε μικρές ή μεγάλες ομάδες τις οποίες ένωνε ένα κοινό ενδιαφέρον ή ένας κοινός σκοπός. Επέτρεψε σε επιστήμονες να χρησιμοποιήσουν εργαλεία, λογισμικό και συστήματα τα οποία βρίσκονται απομακρυσμένα, τα οποία βοηθούν σε έρευνες από την ανάπτυξη της ιατρικής επιστήμης και της μετεωρολογίας έως την επίλυση των μυστηρίων του σύμπαντος.

## 1.2 Τύποι Δικτύων

Τα δίκτυα χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης, με την απόσταση που καλύπτει το κάθε ένα ή την αρχιτεκτονική του δικτύου. Η κατηγοριοποίηση αυτή συμβάλει στην ευκολότερη ανάλυση και διαχείριση τους.

### 1.2.1 Τρόπος Σύνδεσης

Η κατηγοριοποίηση των δικτύων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης έχει ως εξής:

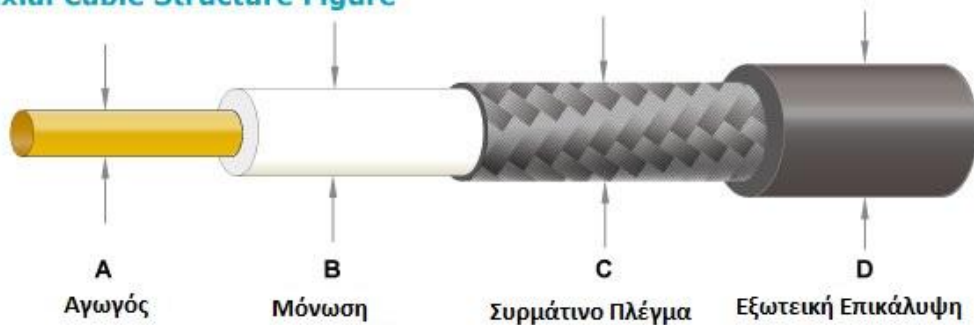
**Α. Ενσύρματα Δίκτυα:** Από την έλευση του τηλεφώνου, πάνω από 100 χρόνια πριν, ο κυρίαρχος τρόπος για να γίνει η τηλεφωνική καλωδίωση σε ένα σπίτι ήταν με την χρήση καλωδίων χαλκού. Τα χάλκινα τηλεφωνικά καλώδια είναι αποτελεσματικά στην μετάδοση σήματος φωνής σε κοντινές σχετικά αποστάσεις, κάτι για το οποίο και προοριζόταν. Παρόλα αυτά, προσφέρει περιορισμένο εύρος ζώνης για ψηφιακά δεδομένα και περιορισμένη απόσταση στην οποία μπορεί να μεταδοθεί το σήμα χωρίς απώλειες. Επίσης έχει αυξημένη ευαισθησία σε παρεμβολές και θόρυβο καθώς δεν έχει κάποιο είδος θωράκισης/μόνωσης και για αυτό δεν ενδείκνυται για μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν η αύξηση της χρήσης του ομοαξονικού καλωδίου σε περιπτώσεις που υπήρχε ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Αυτού του είδους τα καλώδια περιέχουν θωράκιση απέναντι στις παρεμβολές και στο θόρυβο ενώ το σήμα μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερη απόσταση χωρίς την χρήση επαναληπτών. Αυτό είναι εφικτό λόγω του ότι το καλώδιο στο οποίο περιέχεται ο εσωτερικός αγωγός περιβάλλεται από ένα εύκαμπτο σωληνοειδές μονωτικό στρώμα πλαστικού το οποίο με την σειρά του περιβάλλεται από ένα σωληνωτό συρμάτινο πλέγμα. Έξω από αυτές τις στρώσεις υπάρχει μία μόνωση από φύλλο αλουμινίου και καλύπτεται εξωτερικά από ένα πλαστικό κυλινδρικό και συνήθως δύσκαμπτο πλαστικό κυλινδρικό φύλλο. [1] [2]



**Εικόνα 1 Απλό Καλώδιο Χαλκού [3]**

**Coaxial Cable Structure Figure**



Copyright © 2010 Wellshow Technology. All rights reserved

**Εικόνα 2 Ομοαξονικό Καλώδιο [4]**

**Β. Ασύρματα Δίκτυα:** Ασύρματα είναι τα δίκτυα στα οποία οι κόμβοι δεν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κάποιου είδους καλώδιο. Αντ' αυτού χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να επικοινωνήσουν με τις υπόλοιπες συσκευές του δικτύου. Μερικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ασύρματες συνδέσεις είναι το Wi-Fi, Bluetooth, 3G και 4G κυψελωτά δίκτυα καθώς και κάποια νέα πρότυπα όπως το ZigBee και Z-Wave. Στο κοντινό μέλλον αναμένεται να αναπτυχθούν πλήρως τεχνολογίες οι οποίες βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη όπως 5G δίκτυα και Li-Fi.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ασύρματων συνδέσεων επί των ενσύρματων είναι η φορητότητα. Δεν υπάρχει ανάγκη για κάποιο καλώδιο μεταξύ των συσκευών του δικτύου και η εγκατάσταση του εξοπλισμού είναι πιο εύκολη, ενώ η προσθήκη μιας καινούργιας συσκευής στο δίκτυο είναι πιο απλή διαδικασία σε σχέση με μια ενσύρματη σύνδεση. Η συσκευή επικοινωνεί με τις υπόλοιπες μέσω ενός

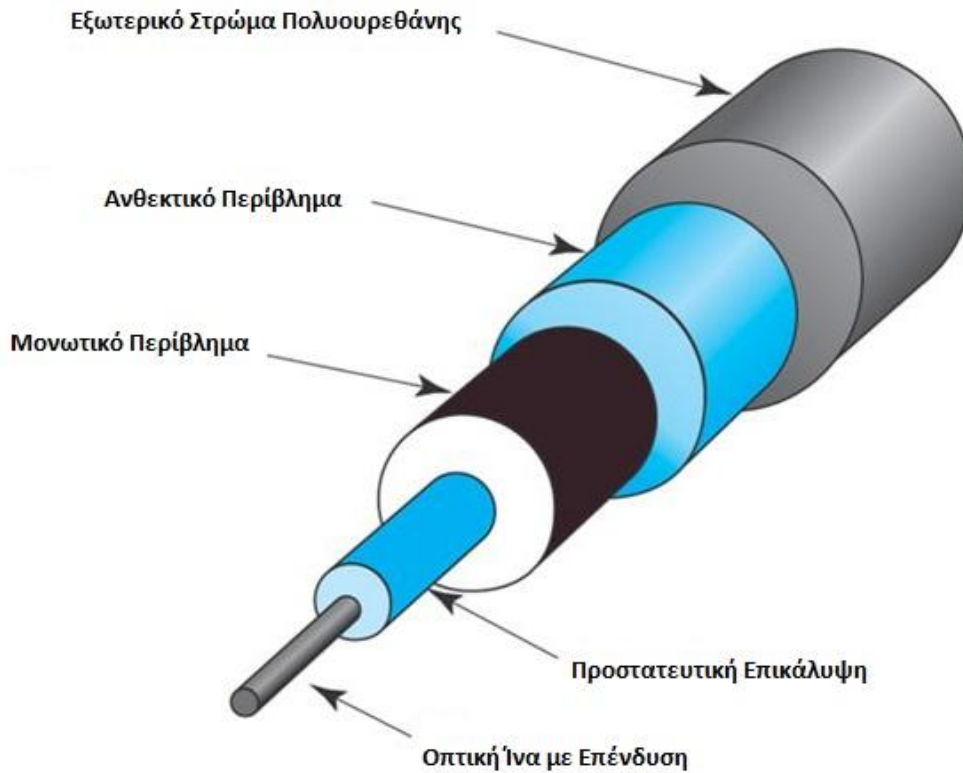
πομποδέκτη/πομπού/δέκτη ο οποίος είναι απαραίτητος για την αποστολή και λήψη δεδομένων, ενώ ο χρήστης μπορεί να μετακινείται ελεύθερα μέσα στην περιοχή κάλυψης του συγκεκριμένου δικτύου.

Παρόλο που προσφέρουν μεγάλη διευκόλυνση στις μετακινήσεις, έχουν αρκετά μειονεκτήματα. Το εύρος ζώνης είναι σε πολλές περιπτώσεις μικρότερο από αυτό των ενσύρματων συνδέσεων και εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την απόσταση που έχουν οι συσκευές μεταξύ τους καθώς και από εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα σε αυτές(τοιχοί, βουνά κλπ). Ακόμα, είναι περισσότερο επιρρεπή σε παρεμβολές και θόρυβο από ότι τα ενσύρματα δίκτυα και λιγότερο ασφαλή καθώς οποιοσδήποτε εντός της περιοχής κάλυψης μπορεί να κλέψει ή/και να στείλει ψευδή δεδομένα έχοντας τον κατάλληλο εξοπλισμό. [1] [2]

**Γ. Οπτικά Δίκτυα:** Η πρώτη μορφή οπτικής επικοινωνίας για μεταφορά δεδομένων υπήρξε στην Κίνα, και πιο συγκεκριμένα στα παρατηρητήρια του Σινικού Τείχους. Τα παρατηρητήρια χρησιμοποιούσαν φωτιά και καπνό σε συνδυασμό με σημαίες, με σκοπό να προειδοποιούν τα υπόλοιπα παρατηρητήρια για πιθανή εισβολή καθώς και τον αριθμό των εχθρών.

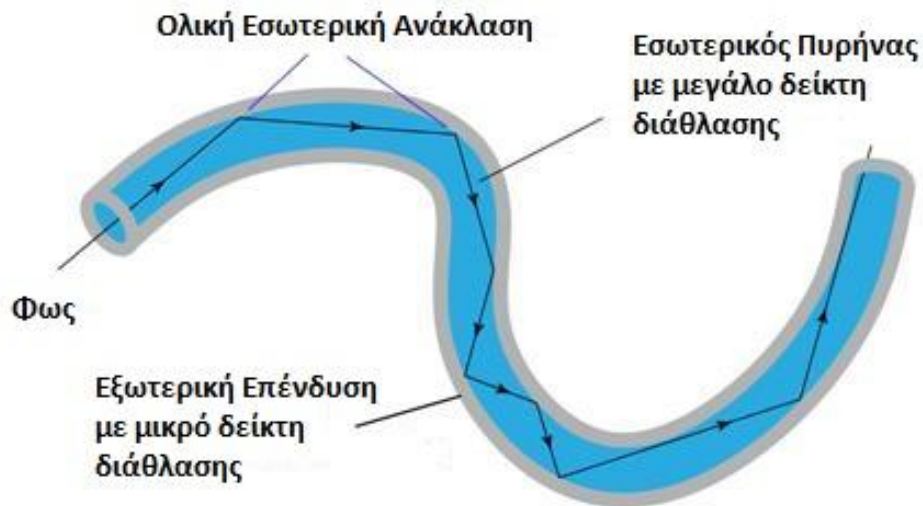
Το 1950 άρχισαν να αναπτύσσονται ενδοσκοπία με την χρήση οπτικών ινών ώστε να μπορέσουν οι γιατροί να δουν το εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος χωρίς να δημιουργηθεί η ανάγκη να προβούν σε κάποια μεγάλη τομή. Το 1960 οι μηχανικοί βρήκαν έναν τρόπο να χρησιμοποιήσουν αυτήν την ιδιότητα των οπτικών ινών για να μεταδώσουν τηλεφωνικές κλήσεις με την ταχύτητα του φωτός.

Οι οπτικές ίνες είναι μακριά, εξαιρετικά λεπτά νήματα καθαρού γυαλιού ή πλαστικού με διάμετρο όσο μια ανθρώπινη τρίχα και είναι διατεταγμένα σε δέσμες που αποκαλούνται οπτικά καλώδια. Το εσωτερικό της οπτικής ίνας ονομάζεται πυρήνας. Μέσα στον πυρήνα ταξιδεύει το φως ενώ γύρω από τον πυρήνα υπάρχει ένα περίβλημα το οποίο έχει την ιδιότητα να αντανακλά το φως και να μην το απορροφάει. Εξωτερικά από αυτό το περίβλημα υπάρχουν αρκετές στρώσεις με υλικά για την μόνωση και την ενδυνάμωση της ίνας. Οι οπτικές επικοινωνίες βασίζονται στις ιδιότητες των οπτικών ινών να επιτρέπουν στο φως να ταξιδέψει μέσα τους. Μέσω αυτών των ινών μεταδίδονται οπτικά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις.



**Εικόνα 3 Εσωτερική Δομή Οπτικής Ίνας [5]**

Η λειτουργία των οπτικών ινών βασίζεται στην ολική ανάκλαση του φωτός. Πιο συγκεκριμένα, το οπτικό σήμα δημιουργείται από κάποια πηγή φωτός (συνήθως λέιζερ), εισέρχεται στην οπτική ίνα και ταξιδεύει κατά μήκος της ίνας. Ανακλάται διαδοχικά στα τοιχώματα μέχρι να φτάσει στην έξοδο της ίνας όπου ο δέκτης θα συλλέξει το οπτικό σήμα. Η γωνία με την οποία θα χτυπήσει το φως στα τοιχώματα της ίνας πρέπει να είναι μικρότερη των  $42^\circ$ . Εξ αιτίας αυτής της γωνίας αλλά και της ευαισθησίας του γυαλιού εσωτερικά, οι οπτικές ίνες είναι αρκετά σκληρές και δεν λυγίζουν εύκολα.



**Εικόνα 4 Ανάκλαση Φωτός μέσα στην Ίνα[6]**

Συγκριτικά με τα καλώδια χαλκού οι οπτικές ίνες προσφέρουν λιγότερη εξασθένηση του σήματος. Υπάρχει φυσικά και σε αυτές εξασθένηση αλλά σε μικρότερο βαθμό, τόση που το σήμα ταξιδεύει 10 φορές μεγαλύτερη απόσταση από ότι τα καλώδια χαλκού πριν χρειαστεί ενίσχυση. Ακόμα σε αντίθεση με τον χαλκό, δεν υπάρχουν παρεμβολές και θόρυβος από το περιβάλλον, οπότε το σήμα έχει καλύτερη ποιότητα. Είναι δυνατή και η ταυτόχρονη μετάδοση πολλών οπτικών σημάτων σε διαφορετικές συχνότητες μέσα στην ίδια ίνα χωρίς να προκαλούν παρεμβολές το ένα στο άλλο αυξάνοντας σημαντικά τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα. Στο τελευταίο συμβάλει και το γεγονός ότι οι οπτικές ίνες είναι αρκετά πιο λεπτές από τα συμβατικά καλώδια χαλκού επιτρέποντας πολλές οπτικές ίνες στο μέγεθος ενός καλωδίου. Τέλος, το οπτικό σήμα χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να δημιουργηθεί ή και να ενισχυθεί σε σχέση με το ηλεκτρικό, και δε υπάρχει κίνδυνος για φωτιά ή ηλεκτροπληξία από το ρεύμα που είτε χρειάζονται τα μηχανήματα για να δημιουργήσουν/ενισχύσουν το σήμα είτε το ρεύμα που διέρχεται του καλωδίου.

Στα μειονεκτήματα των οπτικών ινών συγκαταλέγονται το κόστος των ινών και του εξοπλισμού αλλά και η δυσκολία στην εγκατάσταση πάνω σε ένα προϋπάρχων δίκτυο καλωδίων χαλκού. Ακόμα επειδή η οπτική ίνα είναι συνήθως φτιαγμένη από γυαλί, είναι πολύ εύθραυστη και μπορεί να επηρεαστεί από διάφορα χημικά όπως είναι το αέριο υδρογόνο. Τέλος, υπάρχει η περίπτωση να κοπεί η ίνα αν τοποθετηθεί σε καμπύλη. Στην περίπτωση που επιδιορθωθεί, λόγω της επανασύνδεσης, θα υπάρχει απώλεια φωτός στο συγκεκριμένο σημείο εξ αιτίας της σκέδασης του φωτός. [1] [2]

### 1.2.2 Μέγεθος

**Α. Τοπικό Δίκτυο:** Ένα Τοπικό Δίκτυο (LAN) είναι ένα δίκτυο το οποίο καλύπτει μια σχετικά μικρή γεωγραφική περιοχή όπως ένα σπίτι, γραφείο ή ένα σύμπλεγμα κτηρίων. Αποτελείται συνήθως από προσωπικούς υπολογιστές και σταθμούς

εργασίας, οι οποίοι μπορούν να έχουν πρόσβαση και κοινή χρήση δεδομένων και συσκευών όπως εκτυπωτές, σκάνερ ή και συσκευές αποθήκευσης δεδομένων από οποιοδήποτε σημείο του τοπικού δικτύου. Το δίκτυο αυτό εκτείνεται σε μια απόσταση μέχρι 1000 μέτρα και μπορεί να συνδεθεί με άλλα τοπικά, μητροπολιτικά δίκτυα ή με δίκτυα ευρείας περιοχής όπως το Internet.

Ένα τοπικό δίκτυο επιτρέπει μεταφορές δεδομένων σε μεγάλες ταχύτητες και μπορεί να είναι ασύρματο, ενσύρματο ή υβριδικό, χρησιμοποιώντας και τους 2 τύπους σύνδεσης. Συνήθως ελέγχεται και διαχειρίζεται από ένα πρόσωπο ή οργανισμό. Για την δικτύωση των κόμβων του δικτύου χρησιμοποιούνται routers, Ethernet switches, hubs, repeaters και bridges. Τα 2 κύρια πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται είναι το Ethernet (IEEE 802.3 - ενσύρματα) και το Wi-Fi (IEEE 802.11 - ασύρματα) και κάθε κόμβος που θέλει να συνδεθεί στο τοπικό δίκτυο πρέπει να έχει μια κάρτα δικτύου (NIC) συμβατή με το πρωτόκολλο με το οποίο θα συνδεθεί.

Στα αρνητικά των τοπικών δικτύων συγκαταλέγονται ότι καλύπτουν σχετικά μικρή γεωγραφική έκταση και υπάρχει η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο θα τα διαχειρίζεται. Αυτό είναι δύσκολο σε οικιακά ή μικρά δίκτυα. Η ανάγκη για διαχείριση έγκειται στο γεγονός ότι οι χρήστες συνδέονται μεταξύ τους και πρέπει να υπάρχει κάποιος έλεγχος στο ποιός κόμβος θα έχει πρόσβαση σε ποια δεδομένα. Τέλος, σε περίπτωση που κάποια υπηρεσία που χρησιμοποιείται από τους χρήστες του δικτύου εμφανίσει βλάβη, θα επηρεαστούν όλοι οι χρήστες σε αντίθεση με το αν λειτουργούσε η υπηρεσία στον κάθε χρήστη ξεχωριστά.

**B. Μητροπολιτικά Δίκτυα:** Τα μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) είναι δίκτυα μεγάλα σε μέγεθος, τα οποία αναπτύχθηκαν το 1980 και καλύπτουν συνήθως την έκταση μιας ολόκληρης πόλης. Αποτελούνται από μικρότερα LAN και κατά κανόνα χρησιμοποιούν ασύρματες υποδομές ή οπτικές ίνες για να συνδέσουν τις επιμέρους τοποθεσίες τους. Η απόσταση που καλύπτουν μπορεί να φτάσει μέχρι και 50 Km. Έχουν βελτιστοποιηθεί για μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή από ότι τα τοπικά δίκτυα και εξαρτώνται από κανάλια επικοινωνίας μέτριας έως μεγάλης ταχύτητας και εύρους ζώνης. Το μητροπολιτικό δίκτυο μπορεί να ανήκει και να το διαχειρίζεται ένας οργανισμός αλλά συνήθως το χρησιμοποιούν πολλά άτομα και οργανισμοί και συχνά παρέχουν τρόπους για διασύνδεση τοπικών δικτύων. Είναι ένα μεγάλο δίκτυο υπολογιστών που εκτείνεται σε ένα μεγάλο συγκρότημα κτηρίων ή μια πανεπιστημιούπολη και το μέγεθος του βρίσκεται ανάμεσα στα LAN και στα WAN. Συνήθως παρέχει στους χρήστες του γρήγορη πρόσβαση σε περιφερειακούς πόρους καθώς και συνδεσιμότητα με WAN.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των μητροπολιτικών δικτύων είναι το μεγάλο εύρος ζώνης που προσφέρει στους χρήστες του. Επιτρέπει τον διαμοιρασμό πόρων όπως τα αρχεία και οι βάσεων δεδομένων σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ότι τα τοπικά δίκτυα αλλά και τα δίκτυα ευρείας περιοχής. Ταυτόχρονα επιτρέπει σε αρκετούς χρήστες να μοιράζονται την ίδια ευρυζωνική σύνδεση στο Internet ενώ μοιράζονται ταυτόχρονα και το κόστος της.

Στα μειονεκτήματα των μητροπολιτικών δικτύων βρίσκεται το κόστος του σύγχρονου εξοπλισμού που θα χρειαστεί για να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες. Ο εξοπλισμός αυτός θα εγκατασταθεί από την αρχή καθώς τα παλιάς τεχνολογίας καλώδια χαλκού δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις αυτών των δικτύων. Ακόμα, είναι δύσκολο να διαχειριστεί αυτό το δίκτυο από την στιγμή που θα γίνει πολύ μεγάλο και ακόμα πιο δύσκολο να γίνει ασφαλές για τους χρήστες του. Αυτό χρειάζεται κατάλληλα εκπαιδευμένους τεχνικούς και διαχειριστές οι οποίοι αυξάνουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

**Γ. Δίκτυα Ευρείας Περιοχής:** Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN) συνδέει πόλεις, χώρες ακόμα και ηπείρους. Χρησιμοποιεί κυρίως routers για την μεταφορά των δεδομένων εντός του αλλά και συσκευές όπως switches, firewalls και modems ενώ το μεγαλύτερο και πιο γνωστό WAN δίκτυο είναι το Internet. Στα WAN, τα οποία μερικές φορές είναι κατασκευασμένα από τους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου, συνδέονται τα τοπικά και άλλοι τύποι δικτύων, για να αποκτήσουν πρόσβαση στο Internet. Κάποια άλλα WAN κατασκευάζονται για συγκεκριμένους οργανισμούς και είναι ιδιωτικά. Συχνά κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας μισθωμένα κυκλώματα και στο ένα άκρο του κυκλώματος συνδέεται το κάθε τοπικό δίκτυο και στο άλλο άκρο του κυκλώματος ένας κόμβος του WAN. Λόγω του υψηλού κόστους των μισθωμένων κυκλωμάτων, μερικά WAN χρησιμοποιούν δημόσια δίκτυα ή το Internet. Οι ενσύρματες συνδέσεις παραμένουν οι προτιμώμενες επιλογές για την δικτύωση των WAN αλλά οι ασύρματες τεχνολογίες 4G κερδίζουν σημαντικό έδαφος με τον καιρό.

Η μεγάλη περιοχή που καλύπτουν είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα των WAN, καθώς επιτρέπουν σε ένα πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών να συνδεθούν στο ίδιο δίκτυο. Το δίκτυο που θα συνδεθούν αυτοί οι χρήστες μπορεί να είναι πιο μεγάλο και πιο πολύπλοκο από αυτά των μικρότερων τύπων προσφέροντας λύσεις σε προβλήματα τοπολογίας και συνδεσιμότητας που υπό άλλες συνθήκες δεν θα ήταν δυνατό. Κεντριοποιούν όλη την υποδομή του οργανισμού επιτρέποντας τον διαμοιρασμό πόρων κατά μήκος του δικτύου και λόγω των πολύπλοκων συνδέσεων προσφέρουν εφεδρικές συνδέσεις μεταξύ των κύριων κόμβων. Τέλος, επειδή τα δεδομένα μεταφέρονται μόνο μέσω του ιδιωτικού δικτύου χωρίς να υπάρχει ανάγκη για δρομολόγηση μέσω του Internet, προστίθεται ένα ακόμα στρώμα προστασίας σε αυτά.

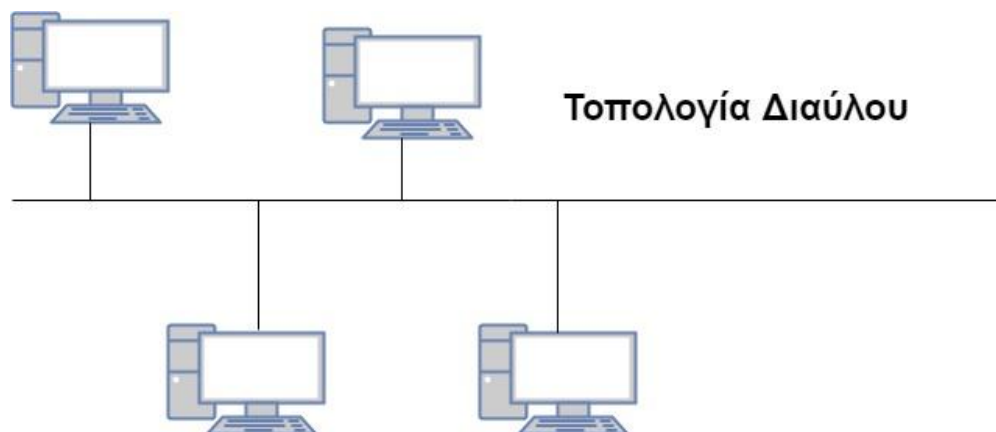
Το κόστος όμως για μια τέτοια εγκατάσταση εξοπλισμού και καλωδίωσης είναι σημαντικά υψηλό. Επειδή είναι πιο πολύπλοκα σε σχέση με τα μικρότερα σε μέγεθος δίκτυα, υπάρχουν μερικές φορές δυσκολίες στην χρήση τους αλλά και στην συντήρησή τους. Ακόμα, επειδή είναι μεγάλα και χρησιμοποιούνται από πολλούς χρήστες, προσφέρουν μεγαλύτερη επιφάνεια για επιθέσεις και υποκλοπές δεδομένων από τις υπηρεσίες που περιλαμβάνουν. [2]



### 1.3 Τοπολογίες Δικτύων

**A. Τοπολογία Διαύλου:** Τοπολογία διαύλου ονομάζεται η τοπολογία στην οποία όλοι οι υπολογιστές είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με ένα κεντρικό καλώδιο, το οποίο αποκαλείται δίαυλος. Έτσι κάθε υπολογιστής που θέλει να επικοινωνήσει με κάποιον άλλον υπολογιστή εντός του δικτύου στέλνει τα δεδομένα στο κεντρικό καλώδιο και τα λαμβάνουν όλοι οι υπόλοιποι. Τα δεδομένα αυτά τα αποδέχεται όμως μόνο αυτός για τον οποίο προορίζονται.

Η συγκεκριμένη τοπολογία είναι πολύ εύκολη στην εγκατάσταση και δε χρειάζεται μεγάλες ποσότητες εξοπλισμού. Είναι πιο εύκολα κατανοητή και μπορεί να μεγαλώσει σε μέγεθος συνδέοντας απλά δύο καλώδια. Όμως είναι πολύ εύκολο να σταματήσει η λειτουργία ολόκληρου του δικτύου αν κοπεί το καλώδιο σε ένα σημείο. Λόγω του καλωδίου που χρησιμοποιείται συνήθως (χαλκός) υπάρχει περιορισμένη απόσταση στην οποία μπορεί να εκτείνεται το δίκτυο. Όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο και όσο πιο πολλοί υπολογιστές συνδέονται, τόσο ελαττώνεται η απόδοση καθώς υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των συσκευών για την αποστολή δεδομένων. Τέλος, δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου ασφάλεια καθώς τα δεδομένα που στέλνουν δύο υπολογιστές μεταξύ τους τα λαμβάνουν και οι υπόλοιποι.

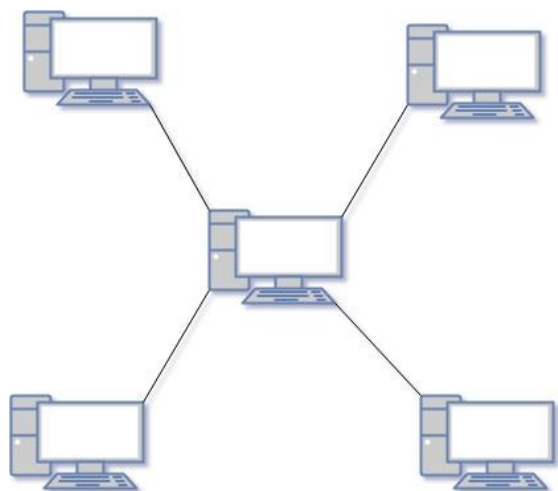


**Εικόνα 5 Τοπολογία Διαύλου**

**B. Τοπολογία Αστέρα:** Αστέρα ονομάζεται η τοπολογία στην οποία όλοι οι υπολογιστές συνδέονται σε έναν κεντρικό υπολογιστή ή κόμβο. Είναι η συνηθισμένη τοπολογία για τα οικιακά τοπικά δίκτυα, που συνδέονται στο modem/router.

Έχει πολύ καλή απόδοση όταν υπάρχουν λίγες συσκευές και περιορισμένη κίνηση. Είναι εύκολο να εγκατασταθεί και να τροποποιηθεί ενώ μπορεί να αναβαθμιστεί εύκολα αναβαθμίζοντας τον κεντρικό κόμβο. Παράλληλα αν κοπεί το καλώδιο σε κάποιο σημείο δεν επηρεάζονται όλοι οι χρήστες. Τέλος, είναι εύκολο να βρεθεί κάποιο πρόβλημα που θα προκύψει και να αντιμετωπιστεί. Ωστόσο, το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλότερο από του απλού διαύλου και η απόδοση εξαρτάται από τις δυνατότητες του κεντρικού κόμβου και παρόλο που δεν επηρεάζονται όλοι οι

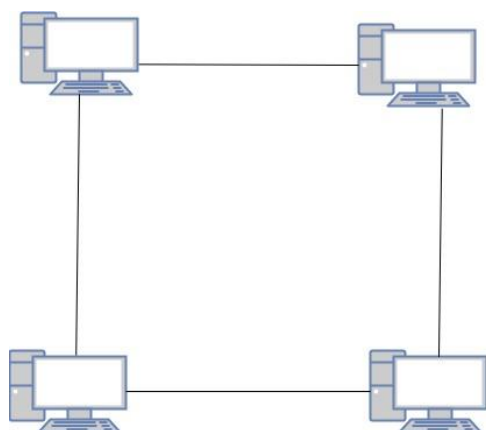
χρήστες αν κοπεί κάποιο καλώδιο, όλο το δίκτυο θα σταματήσει να λειτουργεί αν παρουσιάσει πρόβλημα ο κεντρικός κόμβος.



**Τοπολογία Αστέρα**

**Εικόνα 6 Τοπολογία Αστέρα**

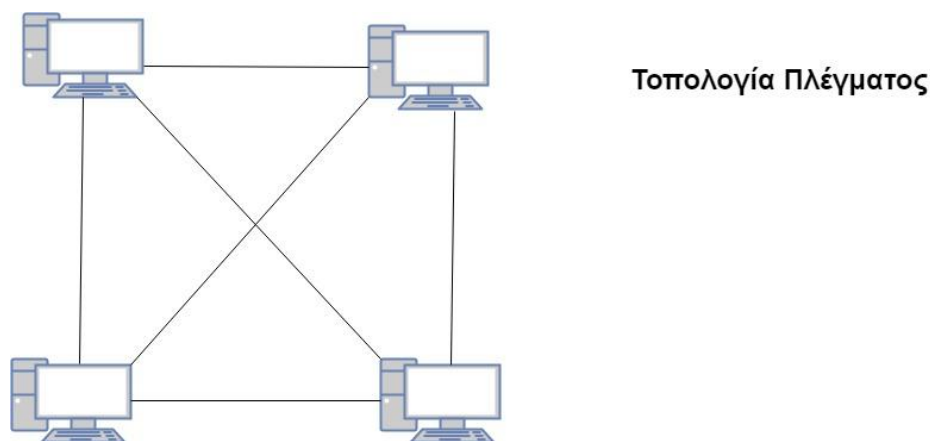
**Γ. Τοπολογία Δακτυλίου:** Στην τοπολογία δακτυλίου κάθε κόμβος έχει δύο γειτονικούς κόμβους για να καταφέρει να επικοινωνήσει με το υπόλοιπο δίκτυο. Οι συσκευές ενώνονται δημιουργώντας ένα κυκλικό δίκτυο. Όλα τα μηνύματα ταξιδεύουν προς μία κατεύθυνση μέσω των "γειτόνων" μέχρι να φτάσουν στον παραλήπτη. Τέτοιες τοπολογίες συνήθως βρισκόταν σε κτήρια γραφείων ή σε πανεπιστημιούπολεις. Η μετάδοση δεδομένων εντός του δικτύου δεν επηρεάζεται από πολύ κίνηση ή από προσθήκη επιπλέον κόμβων και το κόστος εγκατάστασης και επέκτασης είναι μικρό. Εντούτοις, σε περίπτωση αστοχίας ενός υπολογιστή πέφτει όλο το δίκτυο και είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί και να αντιμετωπιστεί ένα πρόβλημα. Ακόμα, η προσθήκη ή αφαίρεση ενός υπολογιστή διαταράσσει την ομαλή λειτουργία του δικτύου.



**Τοπολογία Δακτυλίου**

**Εικόνα 7 Τοπολογία Δακτυλίου**

**Δ. Τοπολογία Διαύλου:** Η τοπολογία πλέγματος αποτελείται από υπολογιστές που είναι όλοι συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Στην συγκεκριμένη τοπολογία εφαρμόζεται δρομολόγηση για να παραδοθούν τα δεδομένα στον παραλήπτη. Μπορεί να είναι πλήρης ή μερική. Στην πλήρη όλοι οι υπολογιστές συνδέονται μεταξύ τους ενώ στην μερική, κάποιιοι από τους υπολογιστές δεν συνδέονται με όλους τους υπόλοιπους. Στα θετικά συγκαταλέγονται η δυνατότητα να μεταφέρονται τα δεδομένα κάθε σύνδεσης μόνο μέσω αυτής, ότι είναι ανθεκτική, τα προβλήματα βρίσκονται εύκολα και παρέχει ασφάλεια και εμπιστευτικότητα. Στα αρνητικά είναι η δύσκολη εγκατάσταση, το πολύ μεγάλο κόστος του εξοπλισμού αλλά και της καλωδίωσης. [1] [2]



**Εικόνα 8 Τοπολογία Πλέγματος**

#### **1.4 Πρωτόκολλα και Υπηρεσίες**

**Α. Πρωτόκολλα του Internet:** Η οικογένεια των πρωτοκόλλων του Διαδικτύου περιλαμβάνει ένα σύνολο από πρωτόκολλα. Εκτός από το IP (Πρωτόκολλο Διαδικτύου) καθ'εαυτό, το οποίο είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζουν πως λειτουργούν τα πράγματα, πρωτόκολλα όπως το TCP, UDP, HTTP/HTTPS, FTP, SSH και πολλά άλλα αλληλεπιδρούν με το IP για να προσθέσουν επιπλέον δυνατότητες στο Διαδίκτυο. Επίσης, υπάρχουν μέσα στο IP πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου όπως τα ARP και ICMP. Σε γενικές γραμμές τα πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου αλληλεπιδρούν με τις εφαρμογές και το λογισμικό ενώ τα χαμηλότερου αλληλεπιδρούν με τις κάρτες δικτύου και το υπόλοιπο υλικό του υπολογιστή.

**Β. Πρωτόκολλα Ασύρματης Δικτύωσης:** Συχνά οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το όνομα Wi-Fi όταν αναφέρονται σε ασύρματα δίκτυα ακόμα και όταν είναι άσχετη τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης. Παρόλο που θα ήταν ιδανικό να χρησιμοποιείται μόνο ένα πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης, αυτό δεν είναι δυνατό. Οι λόγοι είναι ότι δεν υπάρχει ένα πρωτόκολλο που να παρέχει την βέλτιστη λύση για όλες τις χρήσεις και καταστάσεις. Μερικά είναι προσανατολισμένα για να εξοικονομούν μπαταρία στις φορητές συσκευές ενώ άλλα προσφέρουν μεγαλύτερες ταχύτητες σε συνδέσεις μεγάλης απόστασης. Μερικά από αυτά τα πρωτόκολλα είναι το Bluetooth (IEEE 802.15.1), Wi-Fi (IEEE 802.11), LTE καθώς και WiMAX (IEEE 802.16).

**Γ. Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Δικτύου:** Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούνται από τα routers. Μέσω αυτών των πρωτοκόλλων τα router μπορούν να αναγνωρίσουν άλλα router, να διαχειριστούν τις διαδρομές μεταξύ της αφετηρίας και του προορισμού ενός πακέτου και να πάρουν απόφαση για αυτές τις διαδρομές δυναμικά. Μερικά από τα πρωτόκολλα αυτά είναι τα EIGRP, OSPF, IS-IS, BGP και EGP. [1]

## 2 Ασύρματα Δίκτυα 4G

Οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας μπορεί να υποστηρίζουν σήμερα τεχνολογίες 3G ή 4G οι οποίες προσφέρουν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων όμως δεν ήταν πάντα έτσι.

### 2.1 Συστήματα 1ης Γενιάς

Τα συστήματα 1ης γενιάς (1G) ήταν η πρώτη προσπάθεια για κινητή τηλεφωνία. Παρουσιάστηκαν το 1980 και η κύρια διαφορά των συστημάτων τηλεπικοινωνίας που προϋπήρχαν με αυτά του 1G ήταν η εφεύρεση της κυψελοειδούς τεχνολογίας. Στα ασύρματα δίκτυα αυτής της τεχνολογίας το δίκτυο περιέχει πολλές κυψέλες. Κυψέλη ονομαζόταν η περιοχή την οποία κάλυπτε ένα δίκτυο ραδιοφωνίας με έναν πομποδέκτη. Έτσι η ίδια συχνότητα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές, κάτι που αύξανε σημαντικά το φάσμα της χρήσης και την χωρητικότητα του δικτύου καθώς η ίδια συχνότητα χρησιμοποιούνταν σε πολλές κυψέλες. Κάτι επίσης καινούργιο που δεν το είχαν τα προηγούμενα συστήματα ήταν η δυνατότητα να μεταφερθεί η κλήση από την μία κυψέλη στην άλλη καθώς ο χρήστης μετακινούνταν.

Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης οι οποίες μεταδίδανε φωνητικά σήματα. Αποτελούνταν από διάφορα πρότυπα μεταξύ των οποίων τα πιο δημοφιλή ήταν το AMPS (Εξελιγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας), NMT (Σκανδιναβική Κινητή Τηλεφωνία) και TACS (Συστήματα Επικοινωνίας Πλήρους Πρόσβασης). Όλα αυτά τα πρότυπα χρησιμοποιούσαν τεχνικές διαμόρφωσης συχνότητας για τα σήματα φωνής. Το φάσμα των συχνοτήτων εντός της κυψέλης χωριζόταν σε κανάλια και κάθε κλήση λάμβανε 2 κανάλια. Η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ της ενσύρματης σύνδεσης και της ασύρματης γινόταν χρησιμοποιώντας δίκτυο μεταγωγής πακέτων.

Η ταχύτητα του συγκεκριμένου συστήματος ήταν 2.4 kbps, λειτουργούσε στην μπάνα των 900MHz και επιτρεπόταν κλήσεις μόνο σε μία χώρα. Η ποιότητα κλήσεων ήταν πολύ χαμηλή, τα πρότυπα που χρησιμοποιούνταν δεν ήταν αποδοτικά και επειδή οι συσκευές της εποχής δεν είχαν μεγάλη μπαταρία η διάρκεια της ήταν πολύ περιορισμένη. Εκτός από τα πρότυπα, ούτε τα τηλέφωνα της εποχής ήταν τόσο αποδοτικά και για αυτό ήταν πολύ μεγάλα σε μέγεθος, συχνά με μεγάλες κεραιές να προεξέχουν από το σώμα τους. Η χωρητικότητα των δικτύων ήταν σχετικά μικρή, παρόλη την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων και οι μεταβιβάσεις των κλήσεων από την μία κυψέλη στην άλλη δεν ήταν πάντα αξιόπιστες. Σε αυτό συμβάλανε και οι παρεμβολές, που επηρεάζουν σημαντικά τα αναλογικά σήματα. Τέλος, δεν υπήρχε ασφάλεια στα συγκεκριμένα συστήματα καθώς τα αναλογικά σήματα δεν επιτρέπουν προηγμένες μεθόδους κρυπτογράφησης. Έτσι ο οποιοσδήποτε μπορούσε να παρακολουθήσει τις κλήσεις με απλές τεχνικές. [2]

## 2.2 Συστήματα 2ης Γενιάς

Τα συστήματα δεύτερης γενιάς βασίζονται στο πρότυπο GSM που σημαίνει Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών. Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στην Φιλανδία το 1991 και μετέτρεψαν τις κλήσεις από αναλογικές, που χρησιμοποιούσαν τα συστήματα πρώτης γενιάς, σε ψηφιακές. Η ψηφιακή αυτή εποχή εισήγαγε την δυνατότητα αποστολής γραπτών μηνυμάτων SMS καθώς και μηνυμάτων πολυμέσων MMS. Χάρη σε αυτές τις προσθήκες, σε αυτήν την γενιά έγινε η έλευση και η ραγδαία αύξηση των προπληρωμένων κινητών τηλεφώνων.

Η χαρακτηριστικότερη αναβάθμιση ήταν η δυνατότητα ψηφιακής κρυπτογράφησης των κλήσεων και η καλύτερη αποδοτικότητα του φάσματος των συχνοτήτων. Η ταχύτητα μετάδοσης αυξήθηκε από τα 2.4 στα 64 kbps και τα συστήματα προσέφεραν καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και μεγαλύτερη χωρητικότητα. Αυτό έγινε χάρη στους αλγορίθμους CODEC (Συμπίεση-Αποσυμπίεση) για να συμπεστούν και να πολυπλεχθούν τα δεδομένα της φωνής. Έτσι τα συστήματα δεύτερης γενιάς μπορούν να μεταφέρουν πιο πολλές κλήσεις στο ίδιο εύρος ζώνης. Τα ψηφιακά σήματα απαιτούσαν λιγότερη ενέργεια για να λειτουργήσουν, οπότε καταναλώναν λιγότερη ενέργεια από την μπαταρία του κινητού. Ακόμα, προστέθηκε έλεγχος λαθών και μειώθηκε το επίπεδο θορύβου.

Το αρνητικό με τα συστήματα 2ης γενιάς είναι ότι εξαρτώνται πάρα πολύ από την απόσταση του χρήστη με τον σταθμό βάσης. Ενώ τα αναλογικά σήματα εξασθενούν όσο ο χρήστης απομακρύνεται από τον σταθμό βάσης και το σήμα γεμίζει με παράσιτα μέχρι να μην γίνεται πια κατανοητό, τα ψηφιακά σήματα σβήνουν ή χάνονται και παραμορφώνονται λόγω της φύσης τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο σήμα, συχνές διακοπές κλήσεων και παραμορφώσεις ή αλλοιώσεις στις φωνές. Τέλος, τα αμιγώς δεύτερης γενιάς συστήματα ήταν ανέκδοτα να χειριστούν σύνθετα δεδομένα όπως Video. [2]

## 2.3 Συστήματα 2.5G και 2.75G

**A. 2.5G:** Είναι η τεχνολογία ανάμεσα στην δεύτερη και στην τρίτη γενιά συστημάτων. Κάποιες φορές περιγράφεται σαν τεχνολογία 2ης γενιάς συνδυασμένη με GPRS (Γενική Ραδιοφωνική Υπηρεσία Πακέτων). Η ταχύτητα των συγκεκριμένων συστημάτων κυμαινόταν από 56 έως 115 kbps και υπήρχε η δυνατότητα για περιήγηση στο διαδίκτυο μέσω WAP. Ένα σύστημα 2.5G μπορεί να χρησιμοποιήσει την υποδομή ενός συστήματος δεύτερης γενιάς, όμως υλοποιεί έναν τομέα δικτύου μεταγωγής πακέτων εκτός από τον τομέα μεταγωγής κυκλώματος. Οι υπηρεσίες και η υποδομή ενός τέτοιου δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν με χρέωση ανά συναλλαγή αντί για χρονοχρέωση, χάρη στο δίκτυο μεταγωγής πακέτων, κάνοντας ην υποδομή πιο αποδοτική και βελτιώνοντας τη παροχή υπηρεσιών.

**B. 2.75G-EDGE:** Ο όρος 2.75G αναφέρεται συνήθως στα δίκτυα EDGE (Βελτιωμένες ταχύτητες δεδομένων για GSM) τα οποία αποτελούν την εξέλιξη των GPRS. Είναι πιο γρήγορα από τα 2.5G αλλά πιο αργά από τα 3G. Οι ταχύτητες

φτάνουν μέχρι τα 235kbps και μπορούν να διαχειριστούν μέχρι τέσσερις φορές την κίνηση των απλών GPRS δικτύων. Λειτουργούν μόνο πάνω σε GSM δίκτυα.

## 2.4 Συστήματα 3ης Γενιάς

Η χρήση των 2G δικτύων έδειξε ότι υπάρχει ζήτηση για συστήματα τα οποία επιτρέπουν πρόσβαση στο Internet με μεγάλες ταχύτητες, μεγαλύτερες από αυτές που επικρατούσαν εκείνη τη στιγμή. Όμως τα δίκτυα 2G δεν μπορούσαν να ανταπεξέλθουν σε αυτήν την ζήτηση. Έτσι οι βιομηχανίες και οι οργανισμοί ξεκίνησαν να εργάζονται πάνω στην επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς είναι ένα σύνολο προτύπων τα οποία εφαρμόστηκαν με πρωτοβουλία της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών. Παρουσιάστηκαν στο κοινό το 2001 και οι ταχύτητες ξεκινούσαν από 144 kbps και φτάνανε μέχρι 2 Mbps. Χρησιμοποιούσαν μεταγωγή πακέτου αντί για κυκλώματος και οι ταχύτητες της τεχνολογίας 3ης γενιάς επέτρεψαν κάτι που δεν γινότανε πιο πριν, το streaming σε κινητές συσκευές πολυμέσων όπως βίντεο ή τηλεόραση. Αυτό άνοιξε τον δρόμο για τεχνολογίες όπως τα video-on-demand, τηλεδιασκέψεις, εφαρμογές τηλεϊατρικής και υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας. Έτσι ξεκίνησε η ανάπτυξη των "έξυπνων κινητών" (Smartphones) των οποίων οι μεγάλες σε μέγεθος οθόνες επέτρεπαν την προβολή βίντεο και μοντέρνων Ιστοσελίδων. Δεν είναι τυχαίο ότι το πρώτο iPhone βγήκε στην αγορά το 2007, την στιγμή που το 3G λάμβανε μεγάλη αποδοχή.

Χρειάστηκε χρόνος για να υιοθετηθεί το 3G σε παγκόσμια κλίμακα. Ο κυριότερος παράγοντας ήταν ότι τα πιο πολλά δίκτυα 3G δεν χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες όπως τα προηγούμενα δίκτυα 2ης γενιάς και έτσι οι πάροχοι έπρεπε να εξασφαλίσουν καινούργιες συχνότητες λειτουργίας για τους σταθμούς βάσης τους. Τα οφέλη όμως της συγκεκριμένης τεχνολογίας ήταν πολλά. Εκτός από τις ταχύτητες που ήταν αυξημένες σε σχέση με των προηγούμενων τεχνολογιών, αυξημένη ήταν και η ασφάλεια αλλά και η αξιοπιστία. Υπήρχε διαλειτουργικότητα μεταξύ των πάροχων υπηρεσιών και οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας παλαιότερου τύπου ήταν συμβατές με τα υπάρχοντα δίκτυα. Τέλος, βγήκαν στην αγορά τα πρώτα φορητά USB 3G Μόντεμ τα οποία επιτρέπανε στους σταθερούς υπολογιστές και στα λάπτοπ να συνδέονται στο Internet χωρίς την ύπαρξη καλωδίων ή ασύρματου τοπικού δικτύου Wi-Fi.

Τα τέλη όμως για να εξασφαλιστούν οι άδειες υπηρεσιών 3ης γενιάς ήταν πολύ ακριβά. Μεγάλο επίσης ήταν το κόστος για να αναβαθμιστεί ο εξοπλισμός των σταθμών βάσης. Εκτός από αναβάθμιση του εξοπλισμού, έπρεπε να μειωθεί η απόσταση ανάμεσα στους σταθμούς βάσης. Για να μπορέσει κάποιος να απολαύσει τις δυνατότητες που προσφέρει το 3G πρέπει να αγοράσει κάποια συσκευή που να το υποστηρίζει, οι παλαιότερου τύπου συσκευές δεν μπορούσαν να αξιοποιήσουν πλήρως το 3G. Το κόστος αυτό για τον καταναλωτή ήταν μεγάλο καθώς εκτός από το κόστος της συσκευής καινούργιας τεχνολογίας, πλήρωνε και συνδρομή για τις

υπηρεσίες αυτές. Εκτός αυτού, οι υπηρεσίες του 3G καταναλώναν περισσότερη ενέργεια, κάτι που είχε επιπτώσεις στην διάρκεια ζωής των κινητών συσκευών. [2]

## 2.5 Διαφορετικοί Τύποι Συστημάτων 4G

Το σκεπτικό πίσω από τα δίκτυα 4ης γενιάς είναι να προσφέρουν μια ολοκληρωμένη λύση βασισμένη στο πρωτόκολλο IP, η οποία θα μεταφέρει εφαρμογές πολυμέσων και υπηρεσίες στον χρήστη οποιαδήποτε στιγμή, με υψηλής ταχύτητας δεδομένα, υπηρεσίες υψηλής ποιότητας και αυξημένη ασφάλεια. Δύο πρότυπα κατατέθηκαν τον Σεπτέμβριο του 2009, το LTE-Advanced(της 3GPP) και το WiMAX-802.16 (της IEEE). Τα δύο αυτά πρότυπα στόχευαν να είναι αποδοτικά στο φάσμα συχνοτήτων, να μπορούν να διανέμουν δυναμικά πόρους του δικτύου σε κάθε κυψέλη, να προσφέρουν υψηλή ποιότητα υπηρεσιών και να λειτουργούν σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτου βασισμένο αποκλειστικά σε IP. Επίσης, η αδιάλειπτη χρήση της υπηρεσίας εν κινήσει και η δυνατότητα λειτουργίας με τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα είναι σημαντική για την λειτουργικότητα του 4G. Οι υλοποιήσεις του 4G θα περιλαμβάνουν νέες τεχνολογίες όπως femtocell και picocell τα οποία είναι μικρές κεραιές χαμηλής κατανάλωσης για χρήση σε σπίτια ή μικρές επιχειρήσεις οι οποίες συνδέονται στην γραμμή γρήγορου Internet και παρέχουν σήμα κινητής. Έτσι οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας όπου και αν βρίσκονται και θα απελευθερωθούν πόροι στο δίκτυο της κινητής για χρήστες που μετακινούνται ή που είναι σε πιο απομακρυσμένες περιοχές.

Τα 4ης γενιάς δίκτυα είναι ικανά για ταχύτητες από 100 Mbps έως 1 Gbps και το κόστος ανά δεδομένα είναι μικρότερο από τις προηγούμενες γενιές. Προσφέρουν μεγαλύτερη κάλυψη από άλλα συστήματα όπως το Wi-Fi το οποίο αναγκάζει τους χρήστες να εξαρτώνται από hotspot σε κάθε περιοχή που επισκέπτονται. Με εμβέλεια έως 50 χιλιόμετρα σε σταθερούς χρήστες, 5 μέχρι 15 χιλιόμετρα σε χρήστες εν κινήσει και με επικάλυψη των περιοχών κάλυψης του δικτύου υπόσχονται μεγάλα ποσοστά κάλυψης. Επιπλέον τα 4G δίκτυα προσφέρουν πλήρη ιδιωτικότητα και ασφάλεια.

Η δυνατότητα σύνδεσης στα 4G δίκτυα είναι περιορισμένη σε μερικές περιοχές, παρόλο που κερδίζουν δημοτικότητα. Μπορεί να αυξάνεται η κάλυψη του 4G μέρα με τη μέρα όμως θα πάρει κάποιο χρόνο για να είναι διαθέσιμο στην πλειονότητα των μεγάλων πόλεων. Ο εξοπλισμός στους σταθμούς βάσης, πρέπει να αλλαχθεί για να μπορέσει να υποστηρίξει τις δυνατότητες που προσφέρουν τα 4G δίκτυα, όπως έγινε και με τα δίκτυα των προηγούμενων γενεών, αυξάνοντας το κόστος για τους παρόχους. Λόγω του ότι είναι καινούργια τεχνολογία, είναι πιθανό να έχει δυσλειτουργίες και σφάλματα τα οποία είναι ενοχλητικά για του χρήστες. Ακόμα, όπως συνέβη και με τις προηγούμενες τεχνολογίες, οι αυξημένες δυνατότητες καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια, και παρόλο που είναι αποδοτικά ενεργειακά, καταναλώνουν πολύ ενέργεια από την μπαταρία των συσκευών λόγω των πολλαπλών κεραιών και πομποδεκτών που χρησιμοποιούν για την αποστολή και λήψη δεδομένων. Τέλος, σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει κάλυψη 4G οι χρήστες θα



αναγκαστούν να χρησιμοποιήσουν παλαιότερες τεχνολογίες, πληρώνοντας τες όμως σαν 4G.

## **2.6 WiMAX**

Το WiMAX είναι ένα πρωτόκολλο τηλεπικοινωνιών που περιγράφει σταθερές και κινητές υπηρεσίες πρόσβασης στο Internet και αποτελεί μέρος του προτύπου IEEE 802.16. Επινόηθηκε από το WiMAX Forum, έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό που δημιουργήθηκε για να προάγει την υιοθέτηση των προϊόντων και υπηρεσιών του WiMAX. Είναι βασισμένο στο IP, και είναι μια τεχνολογία που παρέχει υπηρεσίες παρόμοιες με αυτές του Wi-Fi αλλά με την κάλυψη και την ποιότητα υπηρεσιών των κυβελωτών δικτύων. Προορίζεται για την κάλυψη μητροπολιτικών δικτύων και μπορεί να παρέχει ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση σε απόσταση 50 χιλιομέτρων για σταθερούς σταθμούς και μέχρι 15 για χρήστες εν κινήσει, την στιγμή που το Wi-Fi καλύπτει μέχρι 100 μέτρα.

### **2.6.1 Χαρακτηριστικά του WiMAX**

Προσφέρει δύο τύπους ασύρματων υπηρεσιών, με οπτική επαφή και χωρίς. Όταν λειτουργεί με οπτική επαφή, μία σταθερή κεραία στερεωμένη σε ένα στύλο ή σε κάποια ταράτσα στοχεύει τον πύργο του WiMAX. Η σύνδεση αυτή είναι πιο δυνατή και σταθερή οπότε το σήμα στέλνεται με λιγότερα λάθη. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται υψηλότερες συχνότητες που μπορεί να φτάνουν και τα 66 GHz. Όταν λειτουργεί χωρίς οπτική επαφή η λειτουργία του μοιάζει με του Wi-Fi καθώς τοποθετούμε στον υπολογιστή μια μικρή κεραία η οποία συνδέεται με τον πύργο του WiMAX. Χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες σε αυτήν την περίπτωση, οι οποίες κυμαίνονται από 2 έως 11 GHz.

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM), κάτι που του επιτρέπει να λειτουργεί σε συνθήκες που δεν υπάρχει οπτική επαφή του χρήστη με τον σταθμό βάσης. Έχει ακόμα την δυνατότητα να υποστηρίξει πολύ μεγάλους ρυθμούς δεδομένων. Στην μπάντα των 20 MHz μπορεί να φτάσει τα 74 Mbps. Στην μπάντα των 10 MHz λειτουργεί με διπλή χρονική διαίρεση (TDD) με αναλογία 3:1 για κατερχόμενη προς ανερχόμενη, με τους ρυθμούς δεδομένων να είναι 25 Mbps και 6.7 Mbps αντίστοιχα. Ακόμα, το WiMAX έχει επεκτάσιμη αρχιτεκτονική που επιτρέπει στους ρυθμούς δεδομένων να αλλάζουν ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Μπορεί να χρησιμοποιήσει FFT των 128, 512 ή 1048 bit αν το εύρος ζώνης είναι 1.25 MHz, 5 MHz ή 10 MHz αντίστοιχα. Αυτή η αλλαγή μπορεί να γίνει δυναμικά, επιτρέποντας στον χρήστη να κινείται μεταξύ δικτύων που έχουν διαφορετικές κατανομές εύρους ζώνης.

Ακόμα επιτρέπει προσαρμοσμένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC). Υποστηρίζει μια σειρά από διαμορφώσεις και κωδικοποιήσεις και επιτρέπει να τροποποιούνται ανά χρήστη και ανά πλαίσιο, βάση των συνθηκών. Εκτός από TDD υποστηρίζει και FDD καθώς και half-duplex FDD για συστήματα χαμηλότερου

κόστους. Τέλος, με την χρήση του AES προσφέρει ισχυρή κρυπτογράφηση ενώ με τον EAP προσφέρει μια αρχιτεκτονική αυθεντικοποίησης. [2] [5] [6][9]

### 2.6.2 Πρότυπα

Το WiMAX βασίζεται στο πρότυπο της IEEE802.16 και το WiMAX Forum πάνω σε αυτό ορίζει τις προδιαγραφές για το φυσικό επίπεδο και το MAC επίπεδο. Υπάρχουν 3 εκδόσεις του συγκεκριμένου προτύπου.

**A. IEEE 802.16-2004:** Βασίζεται στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας και υποστηρίζει σταθερούς χρήστες αλλά και εν κινήσει.

**B. IEEE 802.16e-2005:** Βασίζεται στην ορθογώνια διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA), υποστηρίζει και αυτή σταθερούς αλλά και εν κινήσει χρήστες αλλά έχει επιπρόσθετες δυνατότητες για να εξυπηρετεί τους κινητούς χρήστες. Με την εισαγωγή των MIMO κεραιών στην συγκεκριμένη έκδοση, γίνεται ταυτόχρονη αποστολή και λήψη από πολλαπλές κεραιές στον σταθμό βάσης αλλά και στην συσκευή του συνδρομητή.

**Γ. IEEE 802.16m:** Είναι η πιο πρόσφατη και η υπό ανάπτυξη έκδοση του 802.16. Θα περιλαμβάνει βελτιωμένη πρόσβαση κινητής τηλεφωνίας και υπηρεσίες φωνής και επειδή θα έχει συμβατότητα με την προηγούμενη έκδοση, οι πάροχοι θα μπορούν να εγκαθιστούν εξοπλισμό 802.6m μέσα στα υπάρχοντα δίκτυα.

### 2.6.3 Τεχνολογίες του WiMAX

Ο σχεδιασμός του δικτύου του WiMAX βασίζεται σε πέντε βασικές αρχές. Όσον αφορά το φάσμα, θα πρέπει να μπορεί να αναπτυχθεί τόσο σε φάσματα με άδεια όσο και σε φάσματα χωρίς. Για την τοπολογία, θα πρέπει να υποστηρίζει διαφορετικές τοπολογίες για δίκτυα πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων (RAN). Για την διασύνδεση πρέπει οι ανεξάρτητες αρχιτεκτονικές των δικτύων πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων να επιτρέπουν απρόσκοπτη ενσωμάτωση και διασυνεργασία με τα δίκτυα Wi-Fi, 3GPP και με το υπάρχον δίκτυο κορμού. Η συνδεσιμότητα μέσω IP πρέπει να υποστηρίζει και τις δύο εκδόσεις, IPv4 και IPv6, τόσο για τους χρήστες όσο και για τους σέρβερ που χρησιμοποιούνται. Τέλος στην διαχείριση της κινητικότητας, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα να επεκταθεί η συνδεσιμότητα και η πρόσβαση σε ευρυζωνικές υπηρεσίες των σταθερών χρηστών σε χρήστες εν κινήσει.

### 2.6.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Το πρότυπο IEEE802.16e-2005 εξηγεί την ασύρματη διεπαφή του WiMAX αλλά δεν ορίζει πλήρως το δίκτυο του WiMAX. Η ομάδα εργασίας δικτύων (NWG) του WiMAX Forum είναι υπεύθυνη για να αναπτύξει απαιτήσεις, αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα για ολόκληρο το δίκτυο του WiMAX χρησιμοποιώντας το 802.16e-2005 σαν την ασύρματη διεπαφή. Αναπτύχθηκε λοιπόν ένα μοντέλο αναφοράς δικτύου για να χρησιμοποιηθεί σαν αρχιτεκτονικό πλαίσιο για μελλοντικές εγκαταστάσεις του WiMAX ώστε να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε διαφορετικούς

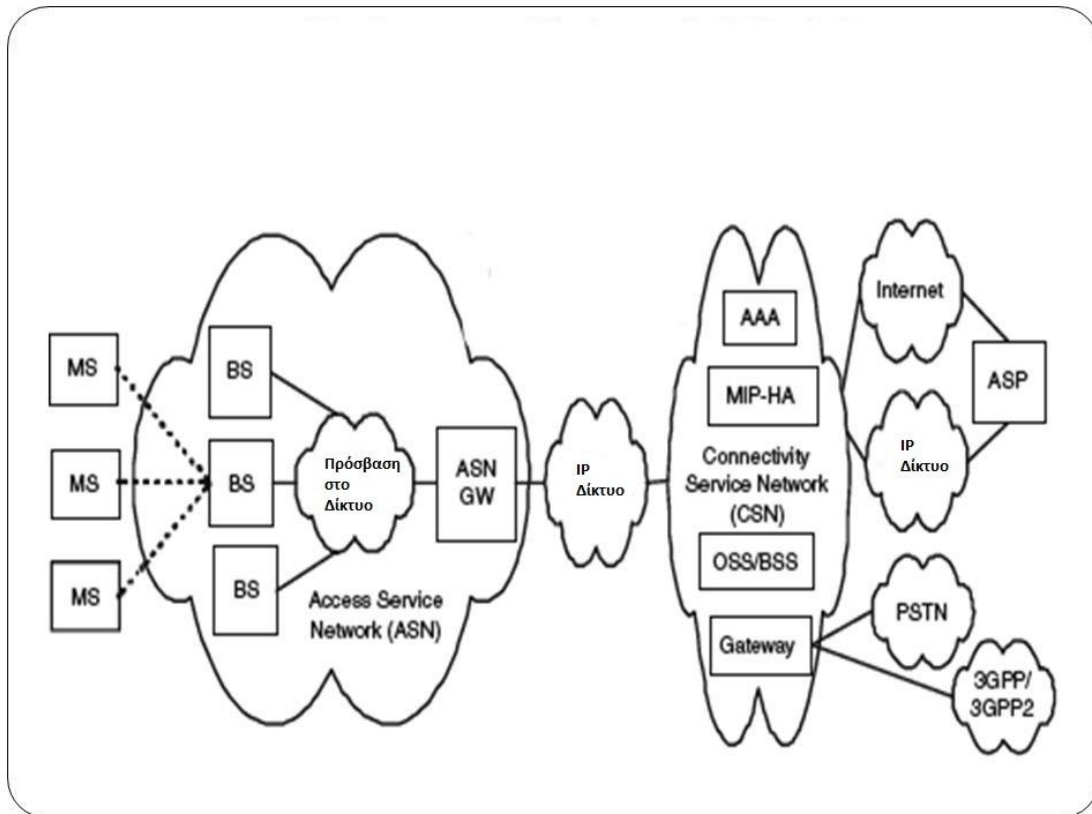
εξοπλισμούς και παρόχους δικτύωσης WiMAX. Το πλαίσιο αυτό ορίζει έναν αριθμό από λειτουργικές οντότητες και διεπαφές. Οι τέσσερις βασικές διεπαφές είναι οι εξής:

**A. Κινητός Σταθμός (MS):** Είναι η συσκευή που χρησιμοποιούν οι χρήστες για να συνδεθούν στο δίκτυο.

**B. Σταθμός Βάσης (BS):** Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για την ασύρματη σύνδεση του κινητού σταθμού με το υπόλοιπο δίκτυο. Μερικά πρόσθετα χαρακτηριστικά είναι οι λειτουργίες διαχείρισης όπως ενεργοποίηση μεταβίβασης κλήσεων, η εγκαθίδρυση τούνελ επικοινωνίας, η διαχείριση των πόρων της ασύρματης επικοινωνίας, η επιβολή των πολιτικών ποιότητας υπηρεσιών, η κατηγοριοποίηση της κίνησης, η διαχείριση των συνεδριών και η διαχείριση των κλειδιών.

**Γ. Πύλη Πρόσβασης Δικτύου Υπηρεσιών (ASN-GW):** Η συγκριμένη πύλη λειτουργεί συνήθως σαν ένα σημείο συνάθροισης της κίνησης δεύτερου επιπέδου. Επιπρόσθετες λειτουργίες τις οποίες μπορεί να υλοποιεί η πύλη είναι ο έλεγχος αδειών, η προσωρινή αποθήκευση των προφίλ των χρηστών και των κλειδιών τους και η διαχείριση των πόρων του δικτύου.

**Δ. Δίκτυο Υπηρεσιών Σύνδεσης (CSN):** Παρέχει συνδεσιμότητα στο Internet, στον πάροχο υπηρεσιών, σε άλλα δημόσια και εταιρικά δίκτυα. Ανήκει στον πάροχο του δικτύου και περιλαμβάνει σέρβερ που παρέχουν αυθεντικοποίηση για τις συσκευές, τους χρήστες και συγκεκριμένες υπηρεσίες. Επίσης είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των διευθύνσεων IP και για την παροχή περιαγωγής μεταξύ διαφορετικών πάροχων υπηρεσιών διαδικτύου. [2] [5] [6] [7]



**Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική Δικτύου WiMAX [8]**

### 2.6.5 Πως δουλεύει το WiMAX

Ένας κινητός σταθμός μπορεί να είναι ένα ασύρματο USB modem, ένα λάπτοπ με δυνατότητες WiMAX, ένας κινητός πομποδέκτης για το αυτοκίνητο ή μια μονάδα συνδρομητή για το σπίτι ή το γραφείο. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου ανάλογα με την απόσταση από τον κοντινότερο σταθμό βάσης και το αν υπάρχουν εμπόδια εντός της περιοχής εξυπηρέτησης του συνδρομητή. Αυτές οι συσκευές είναι οι WiMAX εκδόσεις των ασύρματων Wi-Fi. Όταν κρίνεται απαραίτητο, κεραιές εξωτερικού χώρου μπορούν να τοποθετηθούν και να συνδεθούν με την εσωτερική μονάδα για να προσφέρουν δυνατότερο σήμα στον συνδρομητή, στην περίπτωση που κτήρια ή δέντρα περιορίζουν το σήμα από τους τοπικούς σταθμούς βάσης.

Το πώς λειτουργεί και αποδίδει το WiMAX δίκτυο καθώς τα δικτυακά πακέτα του χρήστη εισέρχονται στο σημείο πρόσβασης του WiMAX εξαρτάται από το εάν ο χρήστης είναι σε μια μητροπολιτική περιοχή, όπου οι σταθμοί βάσης είναι για σταθερούς συνδρομητές, ή αν ο χρήστης είναι σε περιοχή με σταθμούς βάσης κινητών συνδρομητών, οι οποίοι συνδέουν τους συνδρομητές που συνδέονται στις αγροτικές περιοχές. Οι σταθμοί για τους σταθερούς χρήστες συνδέονται με μονάδες συνδρομητών για το σπίτι ή το γραφείο λειτουργούν σε μεταδόσεις υψηλής ισχύος, παρέχοντας σήματα 3.5 GHz σε ακτίνα 40 χιλιομέτρων. Οι σταθμοί για τους

συνδρομητές εν κινήσει εξυπηρετούν συσκευές μικρότερου μεγέθους όπως λάπτοπ με μικρές ασύρματες κάρτες WiMAX και κινητά τηλέφωνα και είναι στην ουσία αναβαθμισμένοι πύργοι κινητής τηλεφωνίας με δυνατότητα για αναμετάδοση υψηλών ταχυτήτων μεταξύ των πύργων κινητής τηλεφωνίας καθώς οι συνδρομητές κινούνται μέσω των περιοχών εξυπηρέτησης. Οι πύργοι για τους συνδρομητές εν κινήσει λειτουργούν τελείως διαφορετικά από αυτούς για τους σταθερούς συνδρομητές λόγω του ότι οι φορητές συσκευές περιορίζονται από την επεξεργαστική ισχύς και την μπαταρία τους.

Από την στιγμή που τα πακέτα δεδομένων του χρήστη εισέλθουν στο ασύρματο δίκτυο του WiMAX, είτε είναι από σταθμό σταθερού είτε από σταθμό κινητού, κατευθύνονται στην πιο σύντομη διαδρομή προς το δίκτυο του παρόχου, προς μια τοποθεσία που ονομάζεται "Backhaul" (οπισθοζευτική). Όπως ο σταθμός του συνδρομητή συνδέεται με τον πύργο ασύρματης σύνδεσης του WiMAX, ο πάροχος συνδέεται με τον σταθμό βάσης μέσω του συστήματος οπισθοζευτικής επικοινωνίας. Το σύστημα αυτό είναι σαν την προεπιλεγμένη διεύθυνση πύλης στα τοπικά δίκτυα. Δίνει στα δικτυακά πακέτα που εισέρχονται στο δίκτυο από τους σταθμούς μία διεύθυνση προορισμού, ώστε να περάσουν μέσω του ISP και να καταλήξουν στο Internet. Η ασύρματη πρόσβαση μέσω WiMAX είναι μια πολύ ευφυής τοπολογία δικτύου με ανάμεικτους σταθμούς τηλεπικοινωνιών. Οι σταθμοί δεν επιτρέπουν μόνο επικοινωνία μεταξύ συνδρομητών και ISP αλλά επιτρέπουν ακόμα και περιαγωγή μεταξύ δικτύων ISP, συνεισφέροντας στην διαλειτουργικότητα. [2] [5] [6] [7]

### **2.6.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Το βασικό πλεονέκτημα του WiMAX είναι η κάλυψη. Ένας μόνο σταθμός μπορεί να λειτουργεί και να παρέχει κάλυψη για εκατοντάδες χρήστες κάθε στιγμή, καθώς και να διαχειρίζεται αποστολή και λήψη δεδομένων υψηλών ταχυτήτων χωρίς συμβιβασμούς στην ασφάλεια. Παράλληλα, η μεγάλη ταχύτητα σύνδεσης σε μεγάλες αποστάσεις το κάνουν πιο επιθυμητό σε περιοχές με χαμηλή αλλά και υψηλή πληθυσμιακή κάλυψη. Η υποδομή του WiMAX είναι εύκολη στην εγκατάσταση και ευέλικτη, επομένως παρέχει μεγάλη αξιοπιστία στο δίκτυο και στην πρόσβαση των συνδρομητών. Παρέχει χαμηλό κόστος αντικαθιστώντας υπηρεσίες πρόσβασης στο Internet όπως οι τηλεφωνικές γραμμές. Από την στιγμή που είναι τυποποιημένη τεχνολογία, ο εξοπλισμός από διαφορετικές εταιρίες για το ίδιο πρότυπο πρέπει να συνεργαστεί. Τέλος, ο σχεδιασμός του WiMAX του επιτρέπει να χρησιμοποιεί Ultra-Wideband, δηλαδή εύρος από 2 GHz μέχρι 10 GHz ενώ προσφέρει και εξαιρετικό χρόνο απόκρισης.

Παρόλα αυτά, το δίκτυο του WiMAX έχει έλλειψη ποιότητας υπηρεσιών σε περιπτώσεις συμφόρησης όπου εκατοντάδες συνδρομητές προσπαθούν να συνδεθούν στον ίδιο σταθμό. Αυτός ο μεγάλος όγκος της κίνησης καθιστά πολύ δύσκολο να διατηρηθεί η απόδοση σε υψηλά επίπεδα. Αυτό γίνεται κυρίως γιατί το WiMAX δεν

υποστηρίζει από μόνο του κάποιον αλγόριθμο δυναμικής κατανομής του εύρους ζώνης αλλά αφήνεται στην απόφαση του εκάστοτε παρόχου να χρησιμοποιήσει είτε σταθερή κατανομή είτε κάποιον δικό του αλγόριθμο (συνήθως μη αποδοτικό). Έτσι δημιουργούνται συνθήκες ανταγωνισμού μεταξύ των συσκευών των συνδρομητών. Το WiMAX επηρεάζεται έντονα από τον καιρό, ως επακόλουθο της ασύρματης φύσης του. Οι έντονες καιρικές συνθήκες όπως βροχές και καταιγίδες μπορεί να διακόψουν το σήμα ή να δημιουργήσουν παρεμβολές στην επικοινωνία του συνδρομητή με τον σταθμό βάσης. Το ίδιο συμβαίνει και όταν χρησιμοποιείται και άλλος ασύρματος εξοπλισμός ο οποίος δημιουργεί θόρυβο και παράσιτα στην επικοινωνία. Ακόμα όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός δεδομένων που μεταφέρεται κατά την σύνδεση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που καταναλώνεται για να σταλούν, επηρεάζοντας και την μπαταρία της συσκευής (για τον χρήστη) αλλά και την κατανάλωση στον σταθμό βάσης (για τον πάροχο). Τέλος, για να καταφέρει κάποιος συνδρομητής, είτε σταθερός είτε εν κινήσει, να συνδεθεί με μεγάλες ταχύτητες στο δίκτυο του WiMAX θα πρέπει να έχει οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης ή να βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από αυτόν. Στα σύγχρονα αστικά και μητροπολιτικά περιβάλλοντα αυτό δεν είναι τόσο εύκολο, αναγκάζοντας αρκετούς συνδρομητές να χρησιμοποιούν χαμηλότερες ταχύτητες από αυτές που πληρώνουν.

## 3 Διαχείριση πόρων σε δίκτυα 4G

### 3.1 Μέθοδοι Διαχείρισης

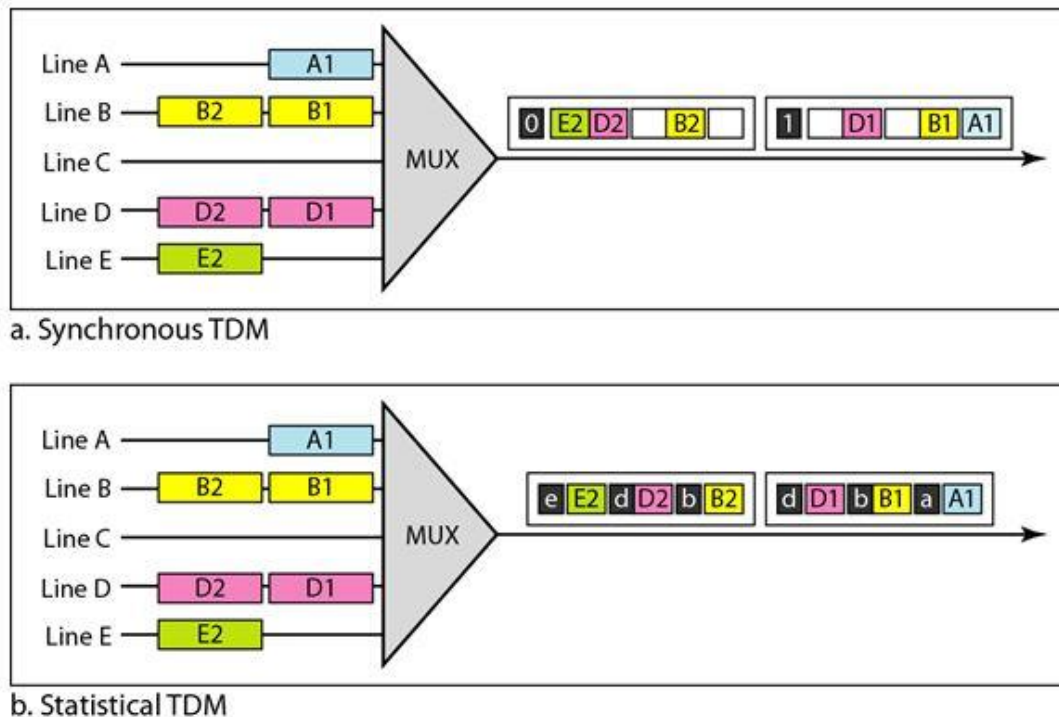
Η πολυπλεξία είναι μια τεχνική στην οποία διαφορετικές αναλογικές και ψηφιακές ροές μετάδοσης μπορούν να επεξεργάζονται ταυτόχρονα σε ένα κοινό μέσο. Η πολυπλεξία χωρίζει το υψηλής χωρητικότητας μέσο σε μικρότερα "λογικά" μέσα τα οποία τα μοιράζονται οι διαφορετικές ροές. Η πολυπλεξία μπορεί να γίνει είτε στον αέρα (ραδιοφωνικά σήματα), είτε σε ένα φυσικό μέσο (καλώδια χαλκού) είτε στο φως (οπτικές ίνες). Όταν πολλαπλοί αποστολείς προσπαθούν να στείλουν μέσα από ένα μόνο μέσο, μία συσκευή που ονομάζεται Πολυπλέκτης (Multiplexer), χωρίζει το φυσικό κανάλι και διαθέτει στον κάθε έναν αποστολέα ένα μέρος του καναλιού. Στο άλλο άκρο του μέσου ένας Αποπολυπλέκτης (De-Multiplexer) λαμβάνει τα δεδομένα, αναγνωρίζει την κάθε ροή, την απομονώνει, και την προωθεί στον παραλήπτη της.

#### 3.1.1 TDM

Η πολυπλεξία χρονικής διαίρεσης (TDM) είναι μια διαδικασία των επικοινωνιών η οποία επιτρέπει την μετάδοση δύο ή περισσότερων ροών ψηφιακών σημάτων σε ένα κοινό κανάλι. Αναπτύχθηκε το 1870 για τα μεγάλα τηλεγραφικά συστήματα. Τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων χρησιμοποιούν TDM για τις τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις τους. Το κάθε πακέτο χωρίζεται σε σταθερό μήκος και του εκχωρείται χρονική θυρίδα σταθερού χρόνου για αποστολή. Κάθε τεμαχισμένο σήμα και πακέτο που έχει σταλθεί εντός της εκχωρημένης χρονικής θυρίδας, επανασυναρμολογείται στο αρχικό σήμα στον προορισμό του.

Κατά τη διάρκεια κάθε χρονοθυρίδας, δημιουργείται ένα πλαίσιο TDM σαν ένα δείγμα του σήματος ενός υποκαναλιού, το οποίο περιέχει κανάλι συγχρονισμού και μερικές φορές κανάλι διόρθωσης σφαλμάτων. Αφού παρθεί το πρώτο δείγμα του συγκεκριμένου υποκαναλιού, η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να λήξει η χρονοθυρίδα. Από την στιγμή που θα λήξει συνεχίζει για το επόμενο υποκανάλι.

Αποτελείται από δύο κύριες κατηγορίες, στατικό TDM και σύγχρονο TDM. Ο στατικός χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων και επιτρέπει μεγάλη κίνηση δεδομένων από τους χρήστες. Ο σύγχρονος TDM χρησιμοποιείται για μεταδώσεις υψηλών ταχυτήτων. Στον σύγχρονο, κάθε ροή εισερχομένων έχει μια εκχωρημένη χρονοθυρίδα ανεξάρτητα από το αν έχει δεδομένα για αποστολή εκείνη τη στιγμή. Έτσι μένουν αρκετές θυρίδες κενές, μειώνοντας την αποδοτικότητα του δικτύου. Στον στατικό οι χρονοθυρίδες είναι μικρότερες στον αριθμό από τις εισερχόμενες ροές δεδομένων. Ο πολυπλέκτης ελέγχει κάθε ροή κυκλικά για δεδομένα και σε περίπτωση που υπάρχουν τα εισάγει στην χρονοθυρίδα, ενώ αν δεν υπάρχουν προχωράει στην επόμενη ροή.



**Εικόνα 10 Σύγχρονος και Στατικός TDM [11]**

Ο TDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA) όπου οι σταθμοί που μοιράζονται την ίδια συχνότητα μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. [1] [2] [5]

### 3.1.2 FDM

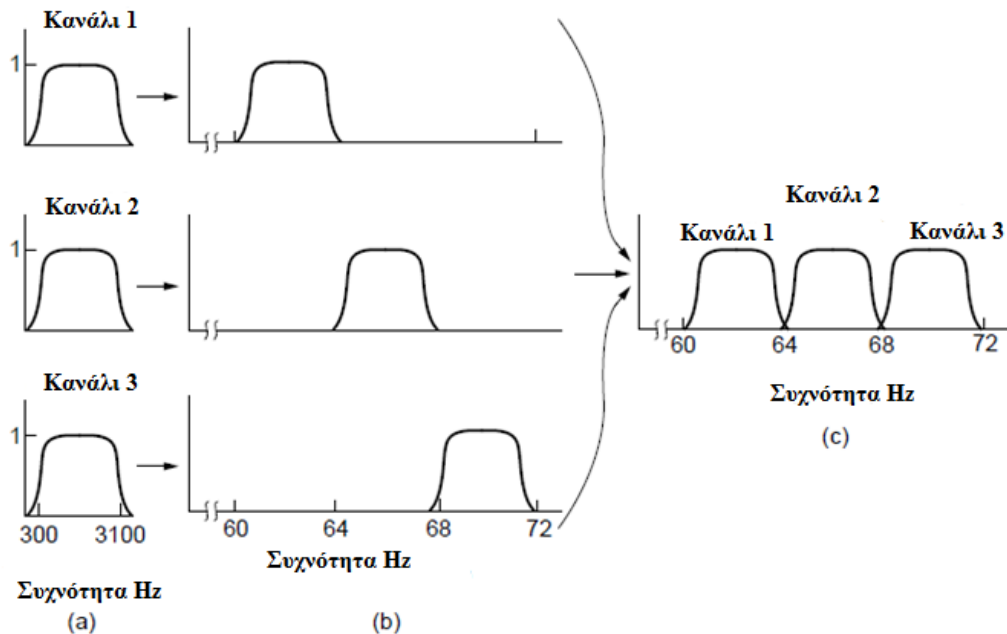
Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM) είναι μια διαδικασία κατά την οποία πολλαπλά αναλογικά σήματα συνδυάζονται για ταυτόχρονη μετάδοση μέσω ενός κοινού μέσου. Χρησιμοποιεί ένα σήμα-φορέα σε μια χωριστή συχνότητα για κάθε ροή δεδομένων και μετά συνδυάζει πολλά διαμορφωμένα σήματα. Οι πιο πολλές ραδιοκυμματικές μορφές επικοινωνίας την χρησιμοποιούν, όπως το ραδιόφωνο και η τηλεόραση, αλλά και ενσύρματες επικοινωνίες όπως οι DSL τηλεφωνικές γραμμές. Οι μεταδόσεις αυτές χρησιμοποιούν διαφορετικά υπό-κανάλια συχνοτήτων όπως τα διαφορετικά κανάλια για στερεοφωνικό ήχο στο ραδιόφωνο, τα υπό-κανάλια για ήχο, βίντεο και χρώμα στην τηλεόραση ή για φωνή και ανερχόμενη και κατερχόμενη ροή δεδομένων στην σταθερή τηλεφωνία με Internet.

Οι εταιρίες σταθερής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν FDM για συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων πολυπλέκοντας χιλιάδες σήματα φωνής μέσα σε συστήματα ομοαξονικού καλωδίου. Οι κοντινότερες επικοινωνίες χρησιμοποιούν συμβατικά καλώδια, τα οποία προσφέρουν λιγότερα κανάλια φωνής.

Το σήμα που θα μεταδοθεί μέσα στο μέσο μπορεί να είναι αναλογικό, αλλά και ψηφιακό, εφόσον περάσει από modem για να μετατραπεί σε αναλογικό. Ανάμεσα σε



κάθε υπό-κανάλι υπάρχουν προστατευτικές ζώνες, οι οποίες είναι στην ουσία αχρησιμοποίητο τμήμα του φάσματος.[1] [2] [5]



Εικόνα 11 Μορφή FDM [9]

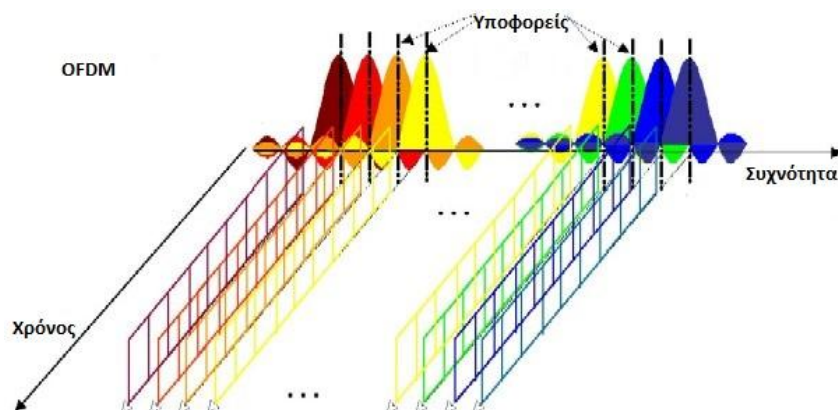
### 3.1.3 OFDM

Η Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) είναι μια τεχνική ή μέθοδος για ψηφιακή διαμόρφωση πολλαπλών φορέων, χρησιμοποιώντας πολλούς υπό-φορείς σε μικρά διαστήματα - ένα σήμα που είχε διαμορφωθεί προηγουμένως διαμορφώνεται σε ένα άλλο σήμα μεγαλύτερης συχνότητας και εύρους ζώνης. Κάθε ένας από αυτούς τους υπό-φορείς περιέχει έναν αριθμό παράλληλων ροών δεδομένων ή καναλιών και διαμορφώνεται συμβατικά σε έναν χαμηλό ρυθμό συμβόλων. Ο όρος ορθογώνιος περιγράφει δύο πράγματα τα οποία ενεργούν ανεξάρτητα ή χωρίς συσχετισμό. Σε αυτήν την περίπτωση, δύο σήματα από ένα προϊόν βασισμένο σε OFDM λειτουργούν χωρίς να εξαρτώνται το ένα από το άλλο ή να παρεμβάλλονται.

Χρησιμοποιείται σε ψηφιακές επικοινωνίες ευρείας ζώνης, οι οποίες χρησιμοποιούνται για ψηφιακή τηλεόραση και μετάδοση ήχου καθώς και πρόσβαση σε ευρυζωνική σύνδεση στο Internet και ασύρματη δικτύωση. Είναι παρόμοιος με την πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM) αλλά με την τεχνολογία να μειώνει τις παρεμβολές σήματος από άλλα κοντινά μέσα που μεταφέρουν τηλεπικοινωνιακό σήμα, ο OFDM χρησιμοποιεί πολλές στενές μπάντες σήματος σε αντίθεση με ένα σήμα διαμορφωμένο με έναν μεγάλο ρυθμό συμβόλων και σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης. Το WiMAX χρησιμοποιεί αυτήν την τεχνική για τα συστήματα σταθερών χρηστών.

Χρησιμοποιώντας OFDM μόνο ένας χρήστης μπορεί να εκπέμψει σε όλους τους υποφορείς κάθε δεδομένη στιγμή. Για να υποστηριχθούν παραπάνω χρήστες πρέπει

να χρησιμοποιηθούν τεχνικές πρόσβασης με διαίρεση συχνοτήτων ή/και χρόνου. Για να εξαλειφθούν τελείως οι παρεμβολές, το WiMAX προσθέτει ένα διάστημα προστασίας μεταξύ των συμβόλων του OFDM. Αυτό ωστόσο συνεπάγεται με σπατάλη ενέργειας και μείωση της απόδοσης εύρους ζώνης. [6] [5] [10]



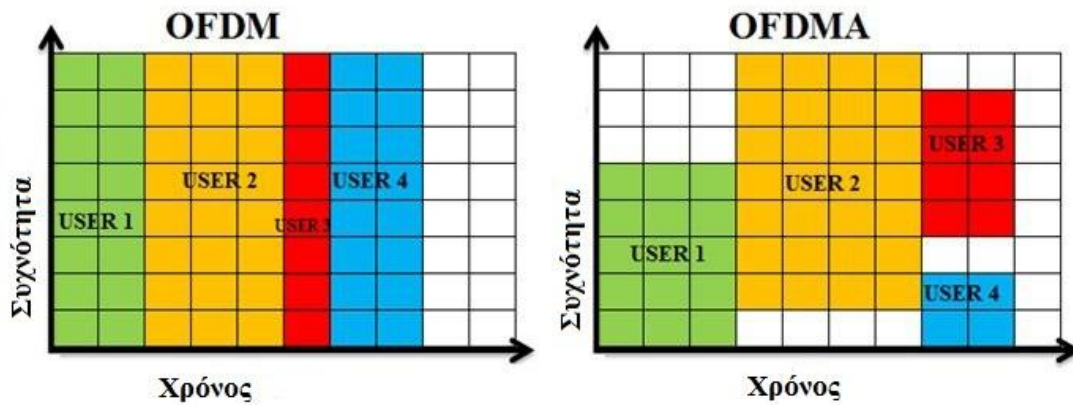
Εικόνα 12 Διαμόρφωση OFDM [11]

### 3.1.4 OFDMA

Η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας μπορεί να παρέχει καλύτερη απόδοση φάσματος και ανθεκτικότητα σε παρεμβολές από εξασθενημένα σήματα όμως είναι αποδοτική μόνο για έναν χρήστη. Τα πλεονεκτήματα αυτά εκμεταλλεύεται η Ορθογώνια Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης (OFDMA). Αναθέτει ένα υποσύνολο αυτών των υπό-φορέων σε διαφορετικούς χρήστες. Επιτρέπεται έτσι ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων από πολλαπλούς χρήστες, μοιράζοντας με αυτόν τον τρόπο τους πόρους του δικτύου πιο αποδοτικά.

Για τους κινητούς συνδρομητές, ο OFDMA που χρησιμοποιεί το WiMAX επιτρέπει την δημιουργία υπό-καναλιών τόσο στο ανερχόμενο υποπλαίσιο όσο και στο κατερχόμενο και τα υπό-κανάλια αυτά αποτελούν την μικρότερη μονάδα συχνότητας που μπορεί να διατεθεί από τον σταθμό βάσης, ο οποίος τα διαθέτει ανεξάρτητα σε διαφορετικούς συνδρομητές. Τα υπό-κανάλια αυτά μπορεί να αποτελούνται από συνεχόμενους υπό-φορείς ή από τυχαία κατανομή στο φάσμα της συχνότητας. Τα συγκεκριμένα υπό-κανάλια παρέχουν περισσότερη πολυμορφία στην συχνότητα η οποία βοηθάει στις κινητές εφαρμογές. Η μερική χρήση υπό-φορέων (PSUC) θεωρείται υποχρεωτική για όλες τις υλοποιήσεις για κινητούς χρήστες, παρόλο που το WiMAX υποστηρίζει αρκετές τεχνικές.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 13, η ανάθεση συχνοτήτων μέσω του OFDMA είναι πιο αποδοτική, καθώς οι χρήστες χρησιμοποιούν κομμάτια της συχνότητας. Η χρήση του OFDMA βελτιώνει και την ενεργειακή απόδοση της κινητής συσκευής, διότι η συσκευή παρακολουθεί ένα κομμάτι μόνο της μπάντας και όχι όλη την μπάντα, που σε αρκετές περιπτώσεις είναι αχρησιμοποίητη, εξοικονομώντας ενέργεια αλλά και επεξεργαστική ισχύς.[6] [12] [7]



Εικόνα 13 Διαφορές OFDM με OFDMA[16]

## 3.2 Ιδιότητες WiMAX

### 3.2.1 Πλαίσιο WiMAX

Το IEEE 802.16 ορίζει την δομή ενός πλαισίου για το WiMAX το οποίο αποτελείται από δύο ξεχωριστά υποπλαίσια. Το πλαίσιο αυτό λειτουργεί με TDD. Η μικρότερη μονάδα χρόνου-συχνότητας που μπορεί να διατεθεί από ένα σύστημα WiMAX σε μία σύνδεση ονομάζεται θυρίδα (slot), και αποτελείται από ένα έως τρία σύμβολα. Μια συνεχόμενη σειρά από θυρίδες ονομάζεται περιοχή δεδομένων και οι αλγόριθμοι προγραμματισμού τις διαθέτουν σε διαφορετικούς χρήστες ανάλογα με τις συνθήκες του εκάστοτε καναλιού.

Το πλαίσιο αυτό χωρίζεται σε δύο υποπλαίσια, το κατερχόμενο και το ανερχόμενο και ανάμεσα τους υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα προστασίας. Η αναλογία του κατερχόμενου με το ανερχόμενο κυμαίνεται από 3:1 μέχρι 1:1, ανάλογα με το προφίλ που χρησιμοποιείται. Το WiMAX υποστηρίζει FDD στην αποστολή του πλαισίου και η δομή είναι η ίδια με αυτό του TDD, με την διαφορά ότι τα δύο υποπλαίσια μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικούς φορείς. Δεν χρησιμοποιείται γιατί δεν προσφέρει μεταβολές στην αναλογία ανερχόμενου και κατερχόμενου υποπλαισίου ενώ ένα ακόμα αρνητικό είναι ότι χρειάζεται να συγχρονιστούν πολλαπλοί σταθμοί βάσης για να σιγουρευτούν ότι δεν υπάρχουν παρεμβολές.

Αρχικά υπάρχει ένα προοίμιο το οποίο χρησιμοποιείται για συγχρονισμό. Ακολουθεί η κεφαλίδα ελέγχου του πλαισίου (FCH) η οποία περιέχει πληροφορίες παραμετροποίησης όπως το μήκος των απεικονίσεων (map), η διαμόρφωση, η κωδικοποίηση και οι διαθέσιμοι υπό-φορείς. Οι απεικονίσεις αυτές ορίζουν την αρχή και το τέλος των ριπών (bursts). Περιοχές δεδομένων ανατίθενται σε διάφορους συνδρομητές και αυτές οι περιοχές ορίζονται στις απεικονίσεις, μαζί με πληροφορίες για τον συνδρομητή όπως η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την σύνδεση.

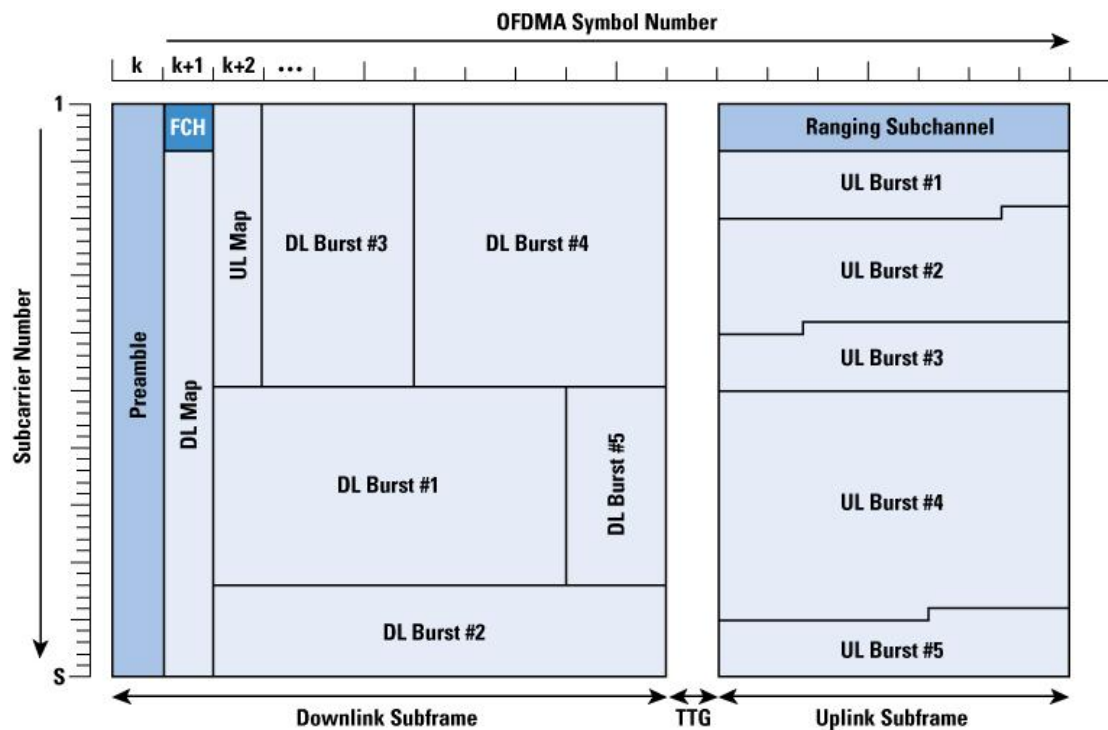
Το WiMAX καταφέρνει να συνδυάζει πολλούς χρήστες και πολλά πακέτα σε ένα μόνο πλαίσιο. Στο κατερχόμενο υποπλαίσιο μπορεί να περιέχονται πολλαπλές ριπές

διαφόρων μεγεθών μεταφέροντας δεδομένα για διαφορετικούς χρήστες ενώ το πλαίσιο μπορεί να ποικίλει από 2 ms έως 20 ms.

Για το κατερχόμενο υποπλαίσιο, το WiMAX υποστηρίζει περισσότερες από μία ριπές ανά συνδρομητή, όμως με αυτόν τον τρόπο αυξάνονται οι επιβαρύνσεις των απεικονίσεων. Επίσης υποστηρίζει πολλαπλούς συνδρομητές σε μία μόνο ριπή. Σε αυτήν την περίπτωση το αναγνωριστικό της σύνδεσης (CID) επιτρέπει στους συνδρομητές να αναγνωρίσουν τα δεδομένα που προορίζονται για αυτούς. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η επιβάρυνση της απεικόνισης του κατερχόμενου υποπλαισίου όμως με την αύξηση του μεγέθους της ριπής προστίθεται καθυστέρηση στον παραλήπτη, που οφείλεται στην αποκωδικοποίηση των δεδομένων της ριπής. Ακόμα, το IEEE 802.16 απαιτεί όλες οι ριπές στο κατερχόμενο υποπλαίσιο να σχηματίζουν παραλληλόγραμμο.

Για το ανερχόμενο υποπλαίσιο συνήθως αντιστοιχεί μία ριπή για κάθε συνδρομητή. Ακόμα, όλες οι ριπές δεδομένων του ανερχόμενου πλαισίου ανατίθενται σαν οριζόντιες γραμμές, η μετάδοση ξεκινά σε κάποια συγκεκριμένη θυρίδα και συνεχίζει μέχρι το τέλος του υποπλαισίου. Όταν φτάσει στο τέλος του υπό-καναλιού, συνεχίζει στο επόμενο. Αυτό ελαχιστοποιεί τον αριθμό των υπό-φορέων που χρησιμοποιούνται από τον συνδρομητή και αυξάνουν την ενέργεια ανά υπό-φορέα, δηλαδή την αναλογία σήματος προς θόρυβο.

[8][7] [13] [2]



Εικόνα 14 Πλαίσιο WiMAX [14]

### 3.2.2 OFDMA στο WiMAX

Κατά τον σχεδιασμό ασύρματων συστημάτων που χρησιμοποιούν OFDMA, η επιλογή του ιδανικού αριθμού υπό-φορέων αποτελεί έναν συμβιβασμό μεταξύ προστασίας από εξασθενημένα σήματα, μετατοπίσεις Doppler και αυξημένου κόστους και πολυπλοκότητας στον σχεδιασμό. Η αύξηση του αριθμού των υπό-φορέων οδηγεί σε καλύτερη προστασία απέναντι στις ενδοσυμβολικές παρεμβολές (ISI) που προκαλούνται από εξασθενημένα ανακλώμενα σήματα, όμως ανεβάζει το κόστος και την πολυπλοκότητα του συστήματος και οδηγεί σε ανάγκη για μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύς για το σήμα. Ακόμα, ο μεγάλος αριθμός υπό-φορέων οδηγεί σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, που τους κάνει πιο ευαίσθητους σε μετατοπίσεις Doppler και θόρυβο.

Αντίθετα με τα υπόλοιπα ασύρματα συστήματα που χρησιμοποιούν OFDM, το 802.16 πρότυπο υποστηρίζει μεταβλητό εύρος ζώνης για διαδικασίες που γίνονται χωρίς οπτική επαφή. Για να κρατηθεί η απόσταση μεταξύ των υπό-φορέων σε ιδανικά νούμερα, το μέγεθος του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier πρέπει να μεταβάλλεται αναλόγως. Η τεχνική αυτή ονομάζεται κλιμακωτός OFDMA (Scalable-OFDMA).

Εκτός από την σταθερή απόσταση μεταξύ υπό-φορέων, ο SFDMA ορίζει ότι ο αριθμός των υπό-φορέων ανά υπό-κανάλι πρέπει να είναι ανεξάρτητος του εύρους ζώνης, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα ο αριθμός των υπό-καναλιών να μεταβάλλεται συναρτήσει του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier και του εύρους ζώνης.

Οι βασικές αρχές του SFDMA είναι οι εξής: η απόσταση μεταξύ των υπό-φορέων είναι ανεξάρτητη του εύρους ζώνης, ο αριθμός των υπό-φορέων κλιμακώνεται ανάλογα με το εύρος ζώνης, η μικρότερη μονάδα διάθεσης εύρους ζώνης είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το εύρος ζώνης και άλλους τρόπους λειτουργίας και τέλος, ο αριθμός των υπό-καναλιών μεταβάλλεται συναρτήσει του εύρους ζώνης και η χωρητικότητα κάθε υπό-καναλιού ξεχωριστά παραμένει σταθερή. [15] [16]

### 3.2.3 Προσαρμοσμένη Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση

Οι τεχνικές προσαρμογής της σύνδεσης, που συχνά αναφέρονται σαν προσαρμοσμένες διαμορφώσεις και κωδικοποιήσεις (AMC), μπορούν να βελτιώσουν δραματικά την απόδοση του λόγου bit προς λάθη (BER) στα ραδιοφωνικά κανάλια που υποφέρουν από σκιάσεις και προσπίπτοντα εξασθενημένα σήματα.

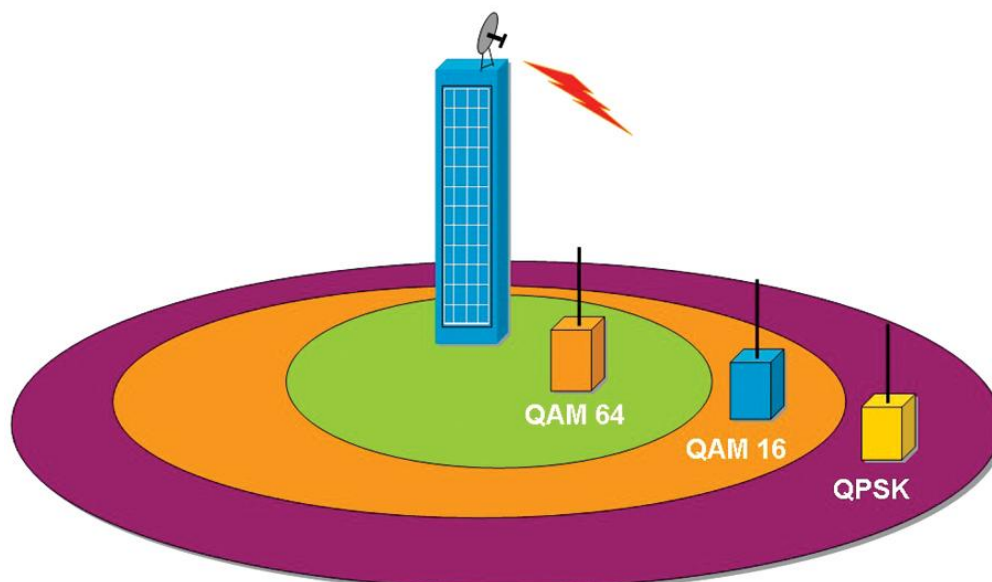
Η προσαρμοσμένη διαμόρφωση επιτρέπει στα συστήματα WiMAX να βελτιστοποιούν την διεκπεραιωτικότητα ανάλογα με τις συνθήκες διάδοσης. Με την χρήση αυτής της τεχνικής, τα συστήματα μπορούν να επιλέξουν την υψηλότερη δυνατή διαμόρφωση που προσφέρει το κανάλι σε βέλτιστες συνθήκες. Καθώς η αναλογία του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) είναι μεγαλύτερη κοντά στον σταθμό βάσης χρησιμοποιείται διαμόρφωση μεγαλύτερης τάξης για να αυξηθεί η διεκπεραιωτική ικανότητα του συστήματος. Όσο απομακρυνόμαστε από τον σταθμό βάσης και πλησιάζουμε προς τα όρια της κυψέλης, η αναλογία του σήματος προς τον

θόρυβο μειώνεται. Για να ανταπεξέλθει σε αυτήν την μείωση, το σύστημα, καταλήγει να χρησιμοποιεί τεχνική διαμόρφωσης χαμηλότερης τάξης για να διατηρήσει την ποιότητα της σύνδεσης και την σταθερότητα της καθώς δεν θα υπάρχουν χαμένα πακέτα. Οι υποστηριζόμενες διαμορφώσεις είναι αυτές στην Εικόνα 15. Ονομάζονται αλλιώς και προφίλ ριπών (burst profiles).

**Εικόνα 15 Διαμορφώσεις και Κωδικοποίηση στο WiMAX**

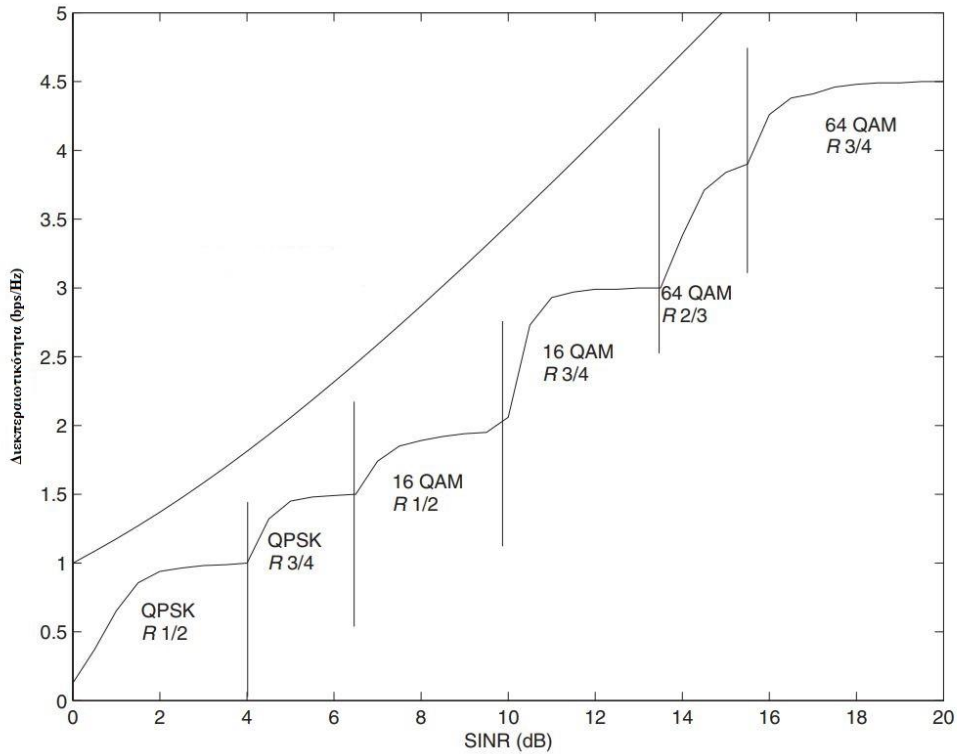
AMC	Διαμόρφωση	Κωδικοποίηση
1	BPSK	1/2
2	QPSK	1/2
3	QPSK	3/4
4	16-QAM	1/2
5	16-QAM	3/4
6	64-QAM	2/3
7	64-QAM	3/4

Στην Εικόνα 16 βλέπουμε ένα παράδειγμα χρήσης αυτών των διαμορφώσεων ανάλογα με την απόσταση του συνδρομητή από τον σταθμό βάσης.



**Εικόνα 16 Παράδειγμα Διαμορφώσεων Ανάλογα με την Απόσταση [21]**

Στην Εικόνα 17 φαίνεται η απόδοση της διεκπεραιωτικής δυνατότητας της κάθε διαμόρφωσης.[11][15]



**Εικόνα 17 Η διεκπεραιωτικότητα ανάλογα με το SINR για τις διαφορετικές Διαμορφώσεις [22]**

### 3.2.4 Δυναμική Κατανομή Εύρους

Οι ραδιοσυχνότητες του WiMAX είναι ένας κοινόχρηστος πόρος μεταξύ όλων των συνδεδεμένων χρηστών εντός της περιοχής κάλυψης του σταθμού βάσης. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητος ο χρονοπρογραμματισμός για να επιλύσει τον ανταγωνισμό μεταξύ των χρηστών. Οι διαθέσιμοι πόροι του πλαισίου είναι περιορισμένοι και για αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά. Η αποδοτική διαχείριση πόρων αυξάνει την συνολική χωρητικότητα και ενισχύει την Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) του συστήματος.

Η αποδοτικότητα του συστήματος εξαρτάται καθαρά από την απόδοση του σταθμού βάσης. Το φυσικό επίπεδο του σταθμού βάσης παρέχει αρκετούς μηχανισμούς για να ελέγξει και να πολυπλέξει διάφορες συνδέσεις πάνω στο ίδιο φυσικό μέσο. Παρέχει ακόμα αρκετές παραμέτρους που επιτρέπουν την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος σε ένα μεγάλο εύρος από κανάλια εύρους ζώνης και συνθηκών μετάδοσης. Οι μηχανισμοί διαχείρισης των πόρων αποτελούνται από δύο κομμάτια τα οποία συμπληρώνουν το ένα το άλλο, τον προγραμματισμό της ποιότητας υπηρεσιών και τον αλγόριθμο κατανομής ριπών. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται για να τοποθετήσει τα δεδομένα των χρηστών στο κατερχόμενο υποπλαίσιο.

Σε γενικές γραμμές οι λόγοι για την ύπαρξη αυτών των μηχανισμών είναι δύο, για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης ή να αυξήσουν την ικανοποίηση των χρηστών.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να αξιοποιηθεί η προσαρμοσμένη διαμόρφωση. Το WiMAX δεν ορίζει κάποιον συγκεκριμένο αλγόριθμο που να εκμεταλλεύεται αυτές τις δυνατότητες που το ίδιο προσφέρει. Όλοι όσοι ασχολούνται με την ανάπτυξη του WiMAX είναι ελεύθεροι να αναπτύξουν τις δικές τους καινοτόμες διαδικασίες. Σκοπός είναι να αναπτυχθούν αλγόριθμοι που θα αποφασίζουν πως θα κατανεμηθούν οι υπό-φορείς στους χρήστες και πως θα επιλεγθεί το σωστό επίπεδο ισχύος κάθε υπό-φορέα για κάθε χρήστη.

Η σκέψη της δυναμικής κατανομής πόρων βασίζεται στην πρόβλεψη της κίνησης χρησιμοποιώντας τα περιεχόμενα και τις πληροφορίες της κίνησης που έχει το σύστημα εκείνη τη στιγμή. Η απόδοση του αλγορίθμου δεν υπολογίζεται μόνο με μεταβλητές απόδοσης όπως ληφθείσα ισχύς σήματος, ο λόγος σήματος προς θόρυβο, ο λόγος bit προς λάθη αλλά με την ποιότητα υπηρεσιών στο δίκτυο όπως απόδοση του δικτύου, καθυστέρηση και απώλεια πακέτων. [12] [12][13] [14]



## 4 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

### 4.1 Πως Λειτουργούν οι Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

Η μάθηση, σαν έννοια, είναι ανθρώπινη συμπεριφορά από την οποία οι άνθρωποι αποκτούν συνεχώς καινούργιες γνώσεις και γίνονται ολοένα και πιο έξυπνοι. Η ιδέα ότι μαθαίνουμε αντιδρώντας με το περιβάλλον γύρω μας είναι ίσως η πρώτη που μας έρχεται στο μυαλό σχετικά με την φύση της μάθησης. Όταν ένα βρέφος παίζει, κουνάει τα χέρια του ή κοιτάζει γύρω του, δεν έχει κάποιον συγκεκριμένο δάσκαλο, αλλά έχει μια αισθητική σύνδεση με το περιβάλλον. Η εξάσκηση αυτής της σύνδεσης παράγει μια πληθώρα πληροφοριών σχετικά με την δράση και την αντίδραση, σχετικά με τις συνέπειες των πράξεων και τι πρέπει να γίνει για να επιτευχθεί κάποιος στόχος. Καθ' όλη μας την ζωή, τέτοιες αλληλεπιδράσεις είναι μια σημαντική πηγή γνώσεων σχετικά με το περιβάλλον αλλά και τους εαυτούς μας. Είτε μαθαίνουμε να οδηγούμε είτε πώς να συμμετέχουμε σε μια συζήτηση, έχουμε πλήρη επίγνωση για το πώς αντιδρά το περιβάλλον μας σε αυτά που κάνουμε, και προσπαθούμε να επηρεάσουμε αυτήν την αντίδραση μέσω της συμπεριφοράς μας. Η μάθηση μέσω της αλληλεπίδρασης είναι μια θεμελιώδης ιδέα στην οποία βασίζονται σχεδόν όλες οι θεωρίες μάθησης και νοημοσύνης.

Αντί να βγάζουμε θεωρίες για το πώς μαθαίνουν οι άνθρωποι ή τα ζώα, εξερευνούμε εξιδανικευμένες καταστάσεις μάθησης και αξιολογούμε την αποτελεσματικότητα διαφόρων μεθόδων μάθησης. Δηλαδή υιοθετούμε την προοπτική ενός ερευνητή ή μηχανικού τεχνητής νοημοσύνης. Εξερευνούμε σχέδια για μηχανές που είναι αποτελεσματικές στο να λύνουν προβλήματα οικονομικού ή επιστημονικού ενδιαφέροντος, αξιολογώντας τον σχεδιασμό μέσω μαθηματικής ανάλυσης ή με υπολογιστικά πειράματα.

Αν όμως θέλουμε τα δίκτυα να λειτουργούν πιο έξυπνα, πρέπει να τους επιτρέψουμε να μάθουν και εκείνα μέσω δράσης και συνεπειών. Υπάρχουν πολλές τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) όπως η μηχανική μάθηση, οι γενετικοί αλγόριθμοι, τα μηχανικά αυτόματα. Δίνοντας τους πρόσβαση σε δεδομένα του δικτύου καθώς και στο αποτέλεσμα των αλλαγών που αυτά πραγματοποιούν, τα δίκτυα είναι σε θέση να μαθαίνουν και να προβλέπουν αντιδράσεις βάσει των επιλογών τους. [17]

Στις επόμενες σελίδες θα αναλυθούν δύο αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Η χρήση τους αφορά στην δυναμική μεταβολή των διαθέσιμων θυρίδων στα δύο υποπλαίσια του WiMAX. Ο ένας υλοποιεί ένα αυτόματο μάθησης και ο δεύτερος τον αλγόριθμο Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών. Και οι δύο χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που παίρνουν από το περιβάλλον για να βελτιώσουν την συμπεριφορά και την απόδοσή τους.

## 4.2 Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού σε δίκτυα WiMAX

Η αποδοτική λειτουργία του WiMAX εξαρτάται σε ένα μεγάλο βαθμό από την σωστή κατανομή των πόρων. Σε αυτήν την περίπτωση πόροι είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης του κάθε σταθμού βάσης. Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού και για τα ανερχόμενα κανάλια αλλά και για τα κατερχόμενα και πολλές έρευνες που προσπαθούν να βρουν τον αποδοτικότερο αλγόριθμο για τις μεταβαλλόμενες συνθήκες που επικρατούν στα ασύρματα δίκτυα. Παρακάτω αναφέρονται μερικές από αυτές τις έρευνες.

Μερικοί αλγόριθμοι προγραμματισμού της κίνησης είναι οι Σταθμισμένης Δίκαιης Ουράς (WFQ), ο Πρώιμης Προθεσμίας Πρώτος (EDF), ο Σταθμισμένος Round Robin (WRR) αλλά και ο υβριδικός συνδυασμός τους (FWQ+EDF+WRR) καθώς και ο Τροποποιημένος Αλγόριθμος Υβριδικού Προγραμματισμού (MOHSA) οι οποίοι υποστηρίζουν ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου.[16]

Ο Αλγόριθμος Χρονοπρογραμματισμού Δύο Επιπέδων (TLSA) είναι ένας δίκαιος και αποδοτικός αλγόριθμος ελέγχου εισόδου και προγραμματισμού πακέτων λαμβάνοντας υπ' όψιν την ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου.[17]

Στην έρευνα [18], οι ερευνητές εξετάζουν αλγορίθμους όπως WRR, Ελλιπής Round Robin (DRR), EDF, WFQ, Ελάχιστης Δεσμευμένης Τιμής Κίνησης (MRTR), συνδυασμού αλγορίθμων όπως (EDF+WFQ), (EDF+WFQ+FIFO) αλλά και αλγορίθμων βασισμένους στην θεωρία των ουρών αναμονής πάντα με σταθερή αναλογία 1:1.

Στον αλγόριθμο που περιγράφεται στο [19] οι ερευνητές χρησιμοποιούν έναν Αλγόριθμο Προγραμματισμού Πολλαπλών Επιπέδων (CLSAGA) ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν του την ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου, καθώς και προτεραιότητες μεταξύ των συνδρομητών που έχουν συνδεθεί.

Εξετάζοντας την δημοσίευση [20] βλέπουμε ότι οι συγγραφείς ασχολήθηκαν με έναν αλγόριθμο ο οποίος εξασφαλίζει δίκαιη κατανομή εύρους ζώνης μεταξύ των χρηστών χωρίς να θυσιάζεται η αποδοτικότητα.

Όλες οι παραπάνω προσπάθειες έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, όλες έχουν στατική κατανομή εύρους ζώνης ανάμεσα στα δύο υποπλαίσια. Λείπει η ευελιξία που κάνει ένα δίκτυο περισσότερο αποδοτικό.

Στην έρευνα [21] οι ερευνητές χρησιμοποιούν μεταβλητό εύρος ζώνης για να εξετάσουν τις επιπτώσεις που έχει η ακατάλληλη κατανομή του εύρους ζώνης. Η μεταβολή του εύρους ζώνης γίνεται δυναμικά αλλά υπολογίζεται βάσει των τρεχουσών συνθηκών του δικτύου και όχι βάσει των προηγούμενων ενεργειών και αποτελεσμάτων.

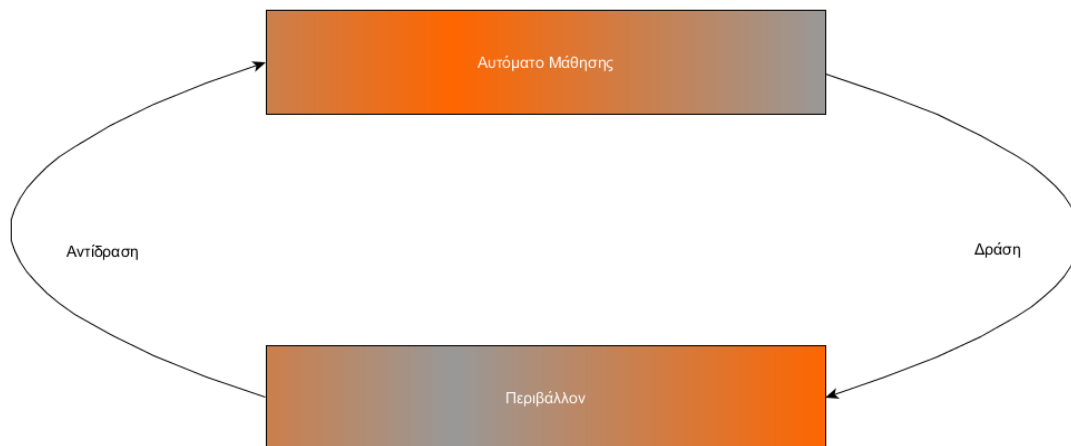
Από την στιγμή που το σύστημα δεν γνωρίζει πως ανταποκρίνεται το δίκτυο σε κάθε μεταβολή και το ποσοστό εξυπηρέτησης, δεν μπορεί να γίνει αποδοτικό. Δίνοντας

στο σύστημα την δυνατότητα να μάθει την συμπεριφορά του δικτύου, μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα σε καταστάσεις ισορροπίας αλλά και σε απότομες μεταβολές.

### 4.3 Αυτόματο Μάθησης

Στα στοχαστικά μοντέλα αυτομάτων το αυτόματο μάθησης λαμβάνει αποφάσεις ως εξής. Αρχικά δεν έχει καμία πληροφορία για το ποια από τις πιθανές δράσεις είναι η βέλτιστη και θέτει σε όλες τις δράσεις ίσες πιθανότητες. Επιλέγει μία δράση τυχαία και βάση της απάντησης τροποποιεί τις πιθανότητες. Η καινούργια δράση επιλέγεται βάση των ανανεωμένων πιθανοτήτων και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Έτσι το αυτόματο βελτιώνει με αυτόν τον τρόπο την απόδοση του.[22] Στα δίκτυα, και ειδικότερα στα ασύρματα, το αυτόματο μάθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λήψη αρκετών αποφάσεων και δράσεων για μια πληθώρα περιπτώσεων σε περιβάλλοντα όπου οι συνθήκες μεταβάλλονται με τον χρόνο.

Επιγραμματικά η λειτουργία του αυτόματου έχει ως εξής. Έστω ότι οι πιθανές δράσεις είναι  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, n < \infty$ . Κάθε χρονική στιγμή  $k$ , το αυτόματο επιλέγει μία δράση  $\alpha(k) \in A$ , τυχαία με βάση την τρέχουσα κατανομή πιθανοτήτων  $p(k) = (p_1(k), \dots, p_n(k)), k = 0, 1, \dots$  και ισχύει ότι  $\sum_{i=1}^n p_i(k) = 1 \forall k$ . Η δράση που επιλέγεται από το αυτόματο είναι η είσοδος στο περιβάλλον, το οποίο ανταποκρίνεται με μία στοχαστική αντίδραση  $\beta(k) \in R \subseteq [0, 1]$  όπου το  $R$  είναι η σειρά πιθανών αντιδράσεων. Περισσότερο επιθυμητές είναι οι μεγαλύτερες τιμές της αντίδρασης. Αν ορίσουμε  $d_i$  την τιμή του  $\beta(k)$ , με δεδομένα το  $\alpha(k) = a_i$  τότε το  $d_i$  ονομάζεται πιθανότητα ανταμοιβής της δράσης  $a_i, 1 \leq i \leq n$ . Ορίζουμε τον δείκτη  $m$  ως  $d_m = \max_i \{d_i\}$ . Τότε η δράση  $a_m$  είναι η βέλτιστη δράση.



**Εικόνα 18 Σχηματική Απεικόνιση Αυτόματου Μάθησης**

Αρχικά, στην δημοσίευση [24], οι ερευνητές αναλύουν υλοποιήσεις του αυτόματου μάθησης στα διάφορα επίπεδα των ασύρματων δικτύων αλλά και τις εφαρμογές τους.

Εξετάζοντας την [25] βλέπουμε ότι το αυτόματο μάθησης επιτρέπει την χρήση πολλαπλών καναλιών από τους χρήστες αυξάνοντας την διασύνδεση του δικτύου και ελαχιστοποιώντας την καθυστέρηση.

Στην [26] το αυτόματο μάθησης χρησιμοποιείται σε ένα δίκτυο αισθητήρων για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας μέσω μείωσης των πακέτων μέσω συγκέντρωσης δεδομένων.

Η δημοσίευση [27] περιγράφει το πώς χρησιμοποιείται το αυτόματο μάθησης για να αναπτυχθεί ένα ακανόνιστο κυψελωτό δίκτυο κινητών αισθητήρων.

Τέλος, στην [28] χρησιμοποιείται το αυτόματο μάθησης για την δημιουργία ενός προσαρμοζόμενου συστήματος προώθησης για την διάδοση των δεδομένων σε ένα υποβρύχιο ακουστικό ασύρματο δίκτυο.

Στο παρόν κείμενο το αυτόματο μάθησης θα χρησιμοποιηθεί για να κατανέμει δυναμικά το εύρος ζώνης για το ανερχόμενο και κατερχόμενο υποπλαίσιο. Αναλυτικότερα, θα χρησιμοποιηθεί για την δυναμική μεταβολή του εύρους ζώνης του κατερχόμενου και του ανερχόμενου υποπλαισίου σε αναλογίες από 1:1 έως 3:1. Το αυτόματο μάθησης έχει επίγνωση των σφαλμάτων που μπορεί να γίνουν στο περιβάλλον. Το περιβάλλον αποτελεί η διαδικασία κατανομής πόρων του OFDMA και οι πιθανές δράσεις είναι οι τιμές του πλάτους του υποπλαισίου σύμφωνα με τις τεχνικές κωδικοποίησης για την δημιουργία υπό-καναλιών. Η ταχύτητα σύγκλισης μεταβάλλεται ανάλογα με το ποσοστό λαθών που γίνονται κατά την επιλογή των δράσεων.

Έστω ότι  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  είναι οι πιθανές δράσεις του συγκεκριμένου αυτόματου. Ορίζοντας σαν  $DW^f$  και  $UW^f$  το πλάτος του κατερχόμενου και ανερχόμενου υποπλαισίου αντίστοιχα τότε οι δράσεις μετασχηματίζονται ως εξής:  $A = \{a_1 \rightarrow (DW_1^f, UW_1^f), a_2 \rightarrow (DW_2^f, UW_2^f), \dots, a_n \rightarrow (DW_n^f, UW_n^f)\}$  και περιλαμβάνουν όλες τις πιθανές τιμές που μπορεί να πάρει το πλάτος ανάμεσα στο κατερχόμενο και το ανερχόμενο υποπλαίσιο. Υποθέτοντας ότι το πλαίσιο αποτελείται από 42 σύμβολα, δηλαδή 42 στήλες που μπορούν να κατανεμηθούν θυρίδες, τότε ισχύει  $DW_i^f + UW_i^f = 42$ , όπου  $1 \leq i \leq n$ , και το σύνολο των αποφάσεων γίνεται  $A = \{a_1 \rightarrow (21,21), a_2 \rightarrow (22,20), \dots, a_{13} \rightarrow (33,9)\}$ .

Η αντίδραση του συστήματος βοηθάει το αυτόματο να επιτύχει δύο βασικούς στόχους, την δυναμική κατανομή των πόρων στο ανερχόμενο και κατερχόμενο υποπλαίσιο σε σχέση με την κίνηση που έχει το κάθε ένα και εξισορρόπηση του φορτίου στο κάθε υποπλαίσιο. Το αυτόματο μπορεί να αντιληφθεί αν κάποιο υποπλαίσιο έχει ανάγκη για περισσότερες θυρίδες και αν το άλλο μπορεί να διαθέσει τις απαιτούμενες θυρίδες. Έτσι σε κάθε πλαίσιο γίνεται δυναμική κατανομή του διαθέσιμου χώρου. Σε περίπτωση που το αυτόματο αντιληφθεί ότι οι απαιτήσεις και στα δύο υποπλαίσια είναι παρόμοιες, προσπαθεί να εξισορροπήσει την κατάσταση μεταβάλλοντας την αναλογία των διαθέσιμων θυρίδων ανάλογα με τις απαιτήσεις τους.

Η αντίδραση του συστήματος σχετίζεται με την διαδικασία της δημιουργίας των υποπλαισίων. Μετά την κατανομή των πόρων το αυτόματο ενημερώνεται για την

αντίδραση με δύο μεταβλητές μέτρησης της απόδοσης, οι οποίες παίζουν μεγάλο ρόλο στην λήψη της απόφασης για την επόμενη δράση. Η μία είναι η μεταβλητή  $unserved\_slots^f$  και αναφέρεται στις θυρίδες που δεν κατέστη δυνατό να εισαχθούν στο υποπλαίσιο. Η άλλη μεταβλητή είναι η  $idle\_slots^f$  και ορίζει τον αριθμό των θυρίδων που έμειναν αδρανείς στο κάθε υποπλαίσιο. Θέτοντας σαν  $feedback_d^f$  και  $feedback_u^f$  την αντίδραση για το κατερχόμενο και το ανερχόμενο υποπλαίσιο αντίστοιχα, οι τιμές που θα παίρνουν δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$feedback_d^f = \left[ \frac{unserved\_slots_d^f - idle\_slots_d^f}{H} \right]$$

$$feedback_u^f = \left[ \frac{unserved\_slots_u^f - idle\_slots_u^f}{H} \right]$$

Το  $H$  στην συγκεκριμένη περίπτωση αντιστοιχεί στο ύψος του κατανεμημένου χώρου και έχει την τιμή των υπό-φορέων στην συγκεκριμένη συχνότητα.

Το αυτόματο λαμβάνει αποφάσεις για το επόμενο πλαίσιο, βασισμένο στην αντίδραση από το τρέχων πλαίσιο. Ορίζουμε την τρέχουσα δράση σαν  $current\_action^f$  και την επόμενη σαν  $next\_best\_action^f$ . Οι τιμές που μπορούν να λάβουν οι δράσεις είναι από το σύνολο των αποφάσεων  $A$  και δεν μπορούν να ξεπεράσουν τις οριακές τιμές του. Το παρακάτω κομμάτι περιγράφει το την σχέση που έχει η τρέχουσα δράση ( $current\_action^f$ ) με την αντίδραση ( $feedback_d^f$  και  $feedback_u^f$ ) ώστε να επιλεγθεί η επόμενη δράση του αυτόματου ( $next\_best\_action^f$ ).

IF  $feedback_d^f > 0$  AND  $feedback_u^f < 0$  THEN

$$\begin{aligned} next\_best\_action^f \\ = current\_action^f + \min(|feedback_d^f|, |feedback_u^f|) \end{aligned}$$

ELSE IF  $feedback_d^f < 0$  AND  $feedback_u^f > 0$  THEN

$$\begin{aligned} next\_best\_action^f \\ = current\_action^f - \min(|feedback_d^f|, |feedback_u^f|) \end{aligned}$$

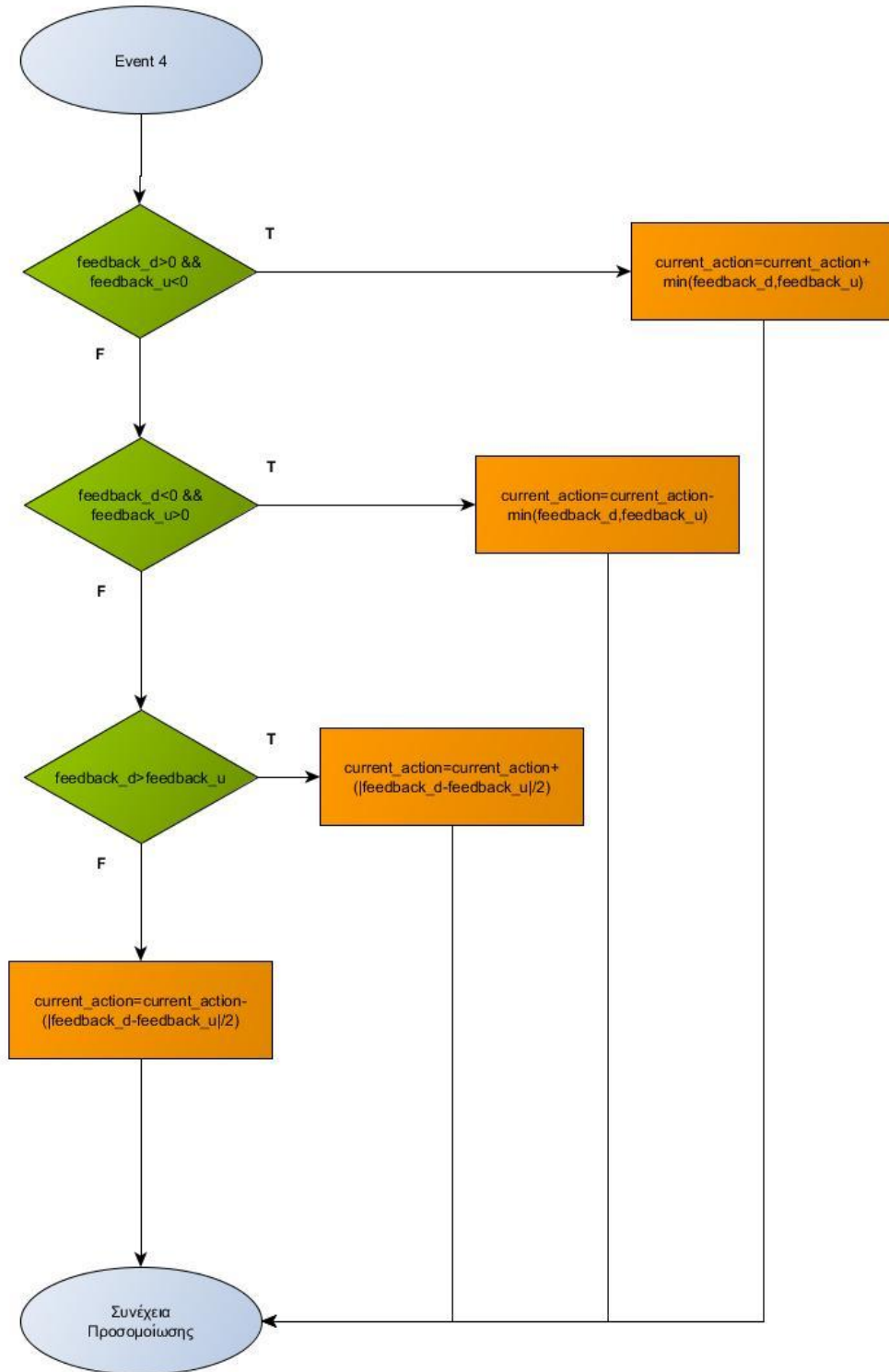
ELSE IF  $feedback_d^f > feedback_u^f$  THEN

$$next\_best\_action^f = current\_action^f + \left[ \frac{feedback_d^f - feedback_u^f}{2} \right]$$

ELSE

$$next\_best\_action^f = current\_action^f - \left\lfloor \frac{|feedback_d^f - feedback_u^f|}{2} \right\rfloor$$

END IF



Εικόνα 19 Αλγόριθμος Επιλογής Επόμενης Δράσης

Στην Εικόνα 19 ελέγχεται αρχικά κατά πόσο υπάρχει επιπλέον χώρος σε κάποιο υποπλαίσιο ώστε να προσφερθεί στο άλλο, ενώ αν δεν υπάρχει γίνεται προσπάθεια για εξισορρόπηση φόρτου.

Από την στιγμή που θα αποφασιστεί η επόμενη δράση, ανανεώνονται οι πιθανότητες για όλο το σύνολο. Η πιθανότητα της επόμενης δράσης θα αυξηθεί ενώ των υπολοίπων θα μειωθεί. Αυτό βοηθάει στην ευελιξία και στην δυνατότητα μάθησης του αυτόματου. Αρχικά όλες οι δράσεις έχουν την ίδια πιθανότητα  $\frac{1}{n}$ , με το  $n$  να αντιστοιχεί στις πιθανές δράσεις. Για κάθε πλαίσιο, το αυτόματο επιλέγει την δράση με την μεγαλύτερη πιθανότητα. Ο τρόπος ανανέωσης των πιθανοτήτων φαίνεται στην Εικόνα 20.

$$\text{Set } p_i = \frac{1}{m}$$

FOR each frame  $f$

    Calculate the  $next\_best\_action^f$

    FOR each action  $m$

        IF  $action \neq next\_best\_action^f$  THEN

$$\text{Set } p_i(f+1) = p_i(f) - L(p_i(f) - \alpha)$$

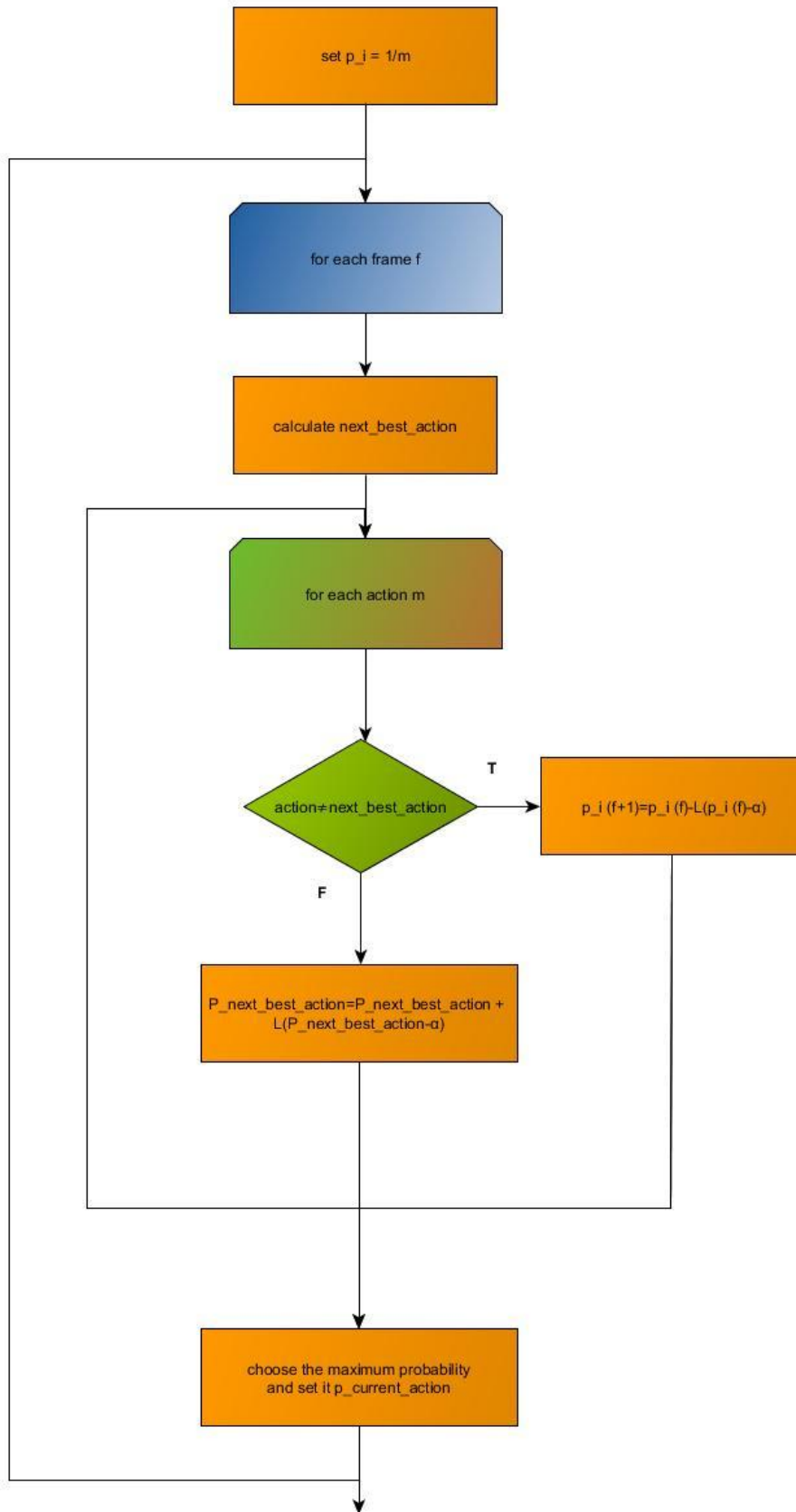
        ELSE

$$\begin{aligned} \text{Set } P_{next\_best\_action}^{(f+1)} \\ = P_{next\_best\_action}^{(f)} + L(P_{next\_best\_action}^{(f)} - \alpha) \end{aligned}$$

        END IF

        Choose the maximum probability and set it  $p_{current\_action}^{f+1}$

END FOREND FOR



**Εικόνα 20** Αλγόριθμος ανανέωσης Πιθανοτήτων



Η παράμετρος  $\alpha$  χρησιμοποιείται για να μην μηδενιστεί κάποια από τις πιθανότητες και έχει μία πολύ μικρή σταθερή τιμή, ενώ η παράμετρος  $L$  αφορά στην ταχύτητα σύγκλισης της διαδικασίας μάθησης του αυτόματου. Είναι μια παράμετρος σημαντική για την αποδοτική λειτουργία του αυτόματου. Η τιμή του  $L$  μεταβάλλεται ως εξής: η ταχύτητα μάθησης αυξάνεται (δηλαδή και η τιμή του  $L$ ) όσο οι επιλογές δεν είναι σωστές, ενώ μειώνεται όταν οι επιλογές του αυτόματου είναι σωστές. Έτσι οι λάθος επιλογές διορθώνονται γρήγορα χωρίς πολλές επιπτώσεις στο σύστημα ενώ οι θετικές επιλογές επιβραβεύονται με το να μειώνουν την ταχύτητα μάθησης.

Για να μπορεί το  $L$  να έχει σωστές τιμές σε περίπτωση λάθος αποφάσεων του αυτόματου, δημιουργήθηκε η κανονικοποιημένη συνάρτηση λαθών  $l(model\_error^f)$ , η οποία υπολογίζει το ποσοστό του λάθους μετά την μετάδοση του κάθε πλαισίου  $f$ .

$$l(model\_error^f) = \frac{1}{1 - e} \left[ 1 - e^{(1 - model\_error^f)} \right]$$

Η τιμή που μπορεί να πάρει η συγκεκριμένη συνάρτηση κυμαίνεται εντός του  $[0,1]$  και λαμβάνει την τιμή 0 όταν η επιλογή του αυτόματου είναι σωστή και την τιμή 1 όταν είναι λάθος. Το λάθος του μοντέλου υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο, ενώ ακολουθούν τα όρια των τιμών της κανονικοποιημένης συνάρτησης όσο το λάθος πλησιάζει στα όρια του.

$$model\_error^f = \frac{|current\_action^f - next\_best\_action^f|}{n - 1}$$

$$l(\lim_{model\_error^f \rightarrow 0} model\_error^f) \rightarrow 1$$

$$l(\lim_{model\_error^f \rightarrow 1} model\_error^f) \rightarrow 0$$

Στην περίπτωση που η επιλογή του αυτόματου είναι σωστή, ορίζεται ο παράγοντας ορθότητας ως  $model\_correctness^f$  και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση όπου  $Z$  είναι οι σωστές επιλογές για τα προηγούμενα  $W$  πλαίσια.

$$model\_correctness^f = \frac{Z}{W}$$

Οι τιμές του παράγοντα ορθότητας κυμαίνονται εντός του  $[0,1]$  και η κανονικοποιημένη συνάρτηση ορθότητας  $l(model\_correctness^f)$  ορίζεται με τον ίδιο τρόπο που ορίζεται για το λάθος.

$$l(model\_correctness^f) = \frac{1}{1 - e} \left[ 1 - e^{(1 - model\_correctness^f)} \right]$$

$$l(\lim_{model\_correctness^f \rightarrow 0} model\_correctness^f) \rightarrow 1$$

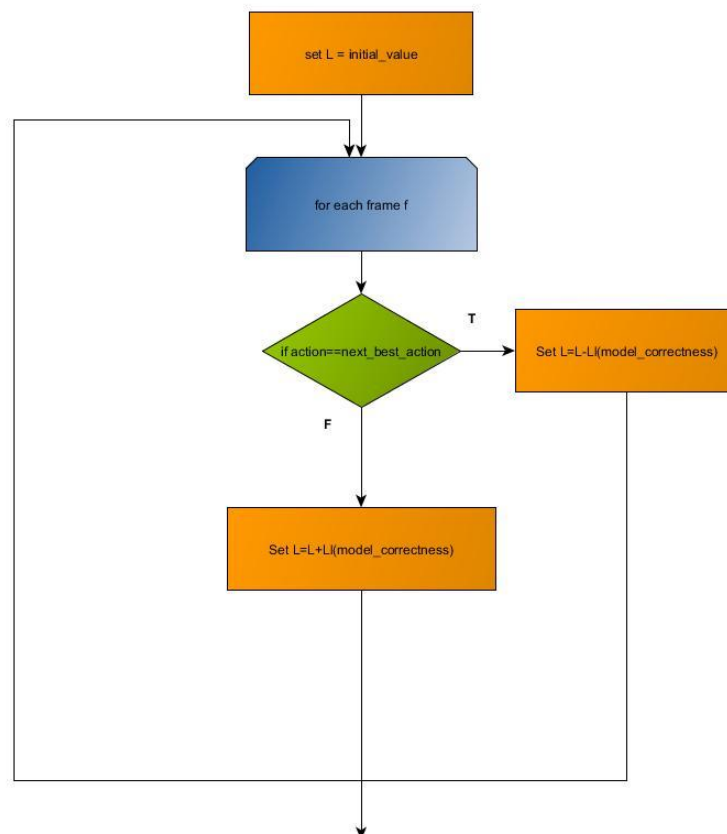
$$l(\lim_{model\_correctness^f \rightarrow 1} model\_correctness^f) \rightarrow 0$$

Τέλος, ο αλγόριθμος στην Εικόνα 21 ενημερώνει την τιμή του  $L$  σε κάθε πλαίσιο.  
[18]

```

Set L = initial_value
FOR each frame f
    IF action = next_best_actionf THEN
        Set L = L - Ll(model_correctnessf)
    ELSE
        Set L = L + Ll(model_errorf)
    END IF
END FOR

```



**Εικόνα 21 Προσδιορισμός του  $L$**

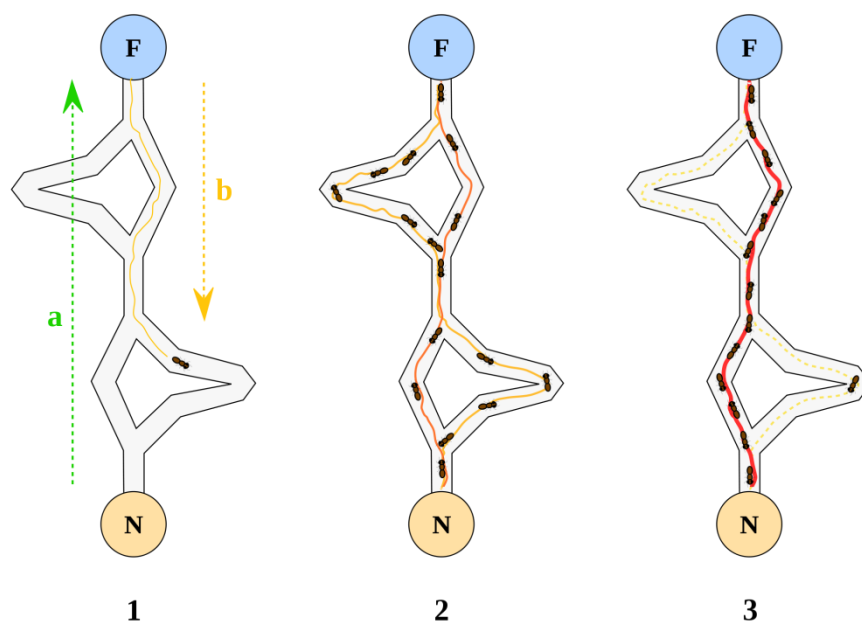
Στην συγκεκριμένη προσομοίωση οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τον αλγόριθμο είναι  $\alpha = 10^{-4}$ ,  $W = 100$  και η αρχική τιμή της ταχύτητας σύγκλισης  $L = 0.015$

#### 4.4 Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών

Οι αποικίες μυρμηγκιών και γενικότερα οι κοινωνίες εντόμων είναι καταναμημένα συστήματα που παρόλη την απλότητα των μεμονωμένων ατόμων, παρουσιάζουν ιδιαίτερα δομημένη κοινωνική οργάνωση. Σαν αποτέλεσμα αυτής της οργάνωσης, οι αποικίες μυρμηγκιών μπορούν να ολοκληρώσουν πολύπλοκες διαδικασίες που σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνούν κατά πολύ τις ατομικές ικανότητες ενός και μόνο εντόμου.

Το πεδίο των "αλγορίθμων μυρμηγκιών" μελετά μοντέλα που έχουν εξαχθεί από την παρατήρηση της αληθινής συμπεριφοράς των εντόμων. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται σαν πηγή έμπνευσης για τον σχεδιασμό καινούργιων αλγορίθμων για την λύση των προβλημάτων βελτιστοποίησης και καταναμημένου ελέγχου. Η βασική ιδέα είναι ότι οι αρχές αυτό-οργάνωσης που διέπουν την ιδιαίτερα συντονισμένη συμπεριφορά των αληθινών μυρμηγκιών, μπορούν να εκμεταλλευτούν για να συντονίσουν πληθυσμούς τεχνητών παραγόντων που συνεργάζονται για να λύσουν υπολογιστικά προβλήματα. Διαφορετικές πτυχές της συμπεριφοράς των αποικιών μυρμηγκιών έχουν εμπνεύσει διαφορετικού είδους αλγορίθμους. Μερικά παραδείγματα είναι η αναζήτηση τροφής, ο καταμερισμός της εργασίας και η ταξινόμηση των νεογέννητων. Σε όλα τα παραδείγματα τα μυρμηγκία συντονίζουν τις δραστηριότητες τους μέσω στιγματισμού, μια μορφή έμμεσης επικοινωνίας μέσω αλλαγών στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, ένα μυρμηγκί που αναζητά τροφή αποθέτει ένα χημικό στο έδαφος το οποίο αυξάνει την πιθανότητα να ακολουθήσουν την ίδια διαδρομή και άλλα μυρμηγκία. Οι βιολόγοι έχουν δείξει ότι πολλές συμπεριφορές αποικιακού επιπέδου που παρατηρούνται σε κοινωνικά έντομα μπορούν να εξηγηθούν μέσω απλών μοντέλων που περιλαμβάνουν μόνο στιγματιστική επικοινωνία. Η ιδέα λοιπόν πίσω από του αλγορίθμους μυρμηγκιών είναι να χρησιμοποιηθεί μια μορφή τεχνητού στιγματισμού για να συντονιστούν οι κοινωνίες των τεχνητών παραγόντων.

Ένα από τα πιο επιτυχή παραδείγματα αλγορίθμων μυρμηγκιών είναι ο Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών (ACO) ο οποίος έχει εμπνευστεί από την συμπεριφορά αναζήτησης φαγητού των αποικιών και στοχεύει σε διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης [19].



**Εικόνα 22 Παράδειγμα μυρμηγκιών σε αναζήτηση τροφής και εναπόθεσης φερομόνης [27]**

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται σε αρκετά προβλήματα, τα οποία χρειάζονται μια αποδεκτή λύση όταν είναι δύσκολο να βρεθεί η βέλτιστη. Έχουν ήδη γίνει προσπάθειες μέσω ερευνών, ώστε να επιλυθούν αρκετά προβλήματα με την χρήση του.

Αρχικά, στην δημοσίευση [31] και [32] γίνεται μια εκτεταμένη έρευνα πάνω στα πρωτόκολλα δρομολόγησης των Ad Hoc δικτύων και στην [33] των πρωτοκόλλων δρομολόγησης ασύρματων δικτύων αισθητήρων, που βασίζονται στον ACO.

Στην [34] βλέπουμε να χρησιμοποιείται ο ACO στην κατανομή πόρων για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας της μετάδοσης σε συστήματα πολλαπλών χρηστών με πολλούς φορείς.

Τέλος στην δημοσίευση [35] βλέπουμε να χρησιμοποιείται ο ACO με σκοπό να μειωθεί η τάξη ενός πολύπλοκου σχετικά μοντέλου εντός ενός λογικού χρονικού διαστήματος.

Η χρήση του ACO στο υπάρχον κείμενο θα είναι στην δυναμική κατανομή του εύρους ζώνης για το ανερχόμενο και κατερχόμενο υποπλαίσιο, στην θέση του αυτόματου μάθησης που αναλύσαμε παραπάνω.

Το σύνολο των πιθανών επιλογών των μυρμηγκιών είναι πάλι  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  το οποίο αν ορίσουμε σαν  $DW^f$  και  $UW^f$  το πλάτος του κατερχόμενου και ανερχόμενου υποπλαισίου μετασχηματίζεται ως εξής:  $A = \{a_1 \rightarrow (DW_1^f, UW_1^f), a_2 \rightarrow (DW_2^f, UW_2^f), \dots, a_n \rightarrow (DW_n^f, UW_n^f)\}$ . Υποθέτουμε ότι το πλαίσιο αποτελείται από 42 σύμβολα οπότε ισχύει  $DW_i^f + UW_i^f = 42$ , όπου  $1 \leq i \leq n$ , και το σύνολο των

επιλογών των μυρμηγκιών γίνεται  $A = \{\alpha_1 \rightarrow (21,21), \alpha_2 \rightarrow (22,20), \dots, \alpha_{13} \rightarrow (33,9)\}$ .

Ο αλγόριθμος του υπολογισμού της πιθανότητας κάθε επιλογής δίνεται από την παρακάτω συνάρτηση:

$$p_{ij} = \frac{[\tau_j]^a * [\eta_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_j]^a * [\eta_{ij}]^\beta}, \quad i \neq j, \quad i, j \in n$$

Στον παραπάνω αλγόριθμο το  $p$  είναι η πιθανότητα να μετακινηθεί από την επιλογή  $i$  στην επιλογή  $j$ . Η μεταβλητή  $\tau_j$  αντιστοιχεί στην φερομόνη που υπάρχει σε κάποια επιλογή ενώ η  $\eta_{ij}$  αντιστοιχεί στην απόσταση ανάμεσα στην τρέχουσα επιλογή  $i$  και στην εξεταζόμενη επιλογή  $j$ . Και οι δύο μεταβλητές υψώνονται στο  $a$  και στο  $\beta$ , δύο δυνάμεις οι οποίες ορίζουν την σχετική σημασία που έχει η φερομόνη και η απόσταση αντίστοιχα στον υπολογισμό της πιθανότητας της επιλογής. Στην υλοποίηση δεν επιτρέπεται να επιστρέψει στην ίδια επιλογή, καθώς λόγω της απόστασης η πιθανότητα θα είναι πολύ μεγάλη για την ίδια επιλογή και θα δημιουργηθεί τοπικός βρόγχος.

Η αρχική φερομόνη δίνεται από τον τύπο  $\tau = \frac{Q}{n}$ , όπου  $Q$  είναι μια σταθερά η οποία έχει τιμή 1 και μπορεί να πάρει διάφορες τιμές, ανάλογα με το επιθυμητό μέγεθος της αρχικής φερομόνης.

Για τον υπολογισμό του κόστους για το κάθε υποπλαίσιο δίνονται οι εξής τύποι:

$$downlink\_cost_j = downlink\_unserved\_slots_j - downlink\_slots_j$$

$$uplink\_cost_j = uplink\_unserved\_slots_j - uplink\_slots_j$$

Το ολικό κόστος υπολογίζεται σαν την θετική διαφορά των δύο παραπάνω μεταβλητών.

$$total\_cost_j = \text{abs}(downlink\_cost_j - uplink\_cost_j)$$

Το κόστος επιλέχθηκε αυθαίρετα, μετά από αρκετές δοκιμές διαφορετικών τύπων, λόγω των καλύτερων αποτελεσμάτων. Μετά την εύρεση του κόστους γίνεται η εναπόθεση της φερομόνης στην κάθε επιλογή του αλγορίθμου. Η φερομόνη που θα εναποτεθεί είναι αντιστρόφως ανάλογη του κόστους (όσο πιο μεγάλο κόστος έχει μια επιλογή τόσο μικρότερη φερομόνη θα πάρει, και το αντίστροφο).

$$\eta_j = \eta_j + \frac{Q}{total\_cost_j}$$

Η εξάτμιση της φερομόνης παίζει σημαντικό ρόλο στην σωστή λειτουργία του αλγορίθμου, καθώς μέσω αυτής, ο αλγόριθμος είναι σε θέση να "ξεχνάει"

προηγούμενες λανθασμένες επιλογές οι οποίες πιθανόν να έγιναν στα αρχικά στάδια όπου δεν είχαν βρεθεί αποδεκτές λύσεις. Ο τύπος της εξάτμισης είναι ο εξής:

$\eta_j = \eta_j * (1 - \rho)$  όπου  $\rho$  είναι ο παράγοντας εξάτμισης της φερομόνης και παίρνει τιμές από το  $(0,1]$ .

Ο αλγόριθμος επιλέγει την  $a_x$  σαν την επόμενη επιλογή όπου  $\eta_x = \max(\eta_j)$

## 5 Συγκριτικά αποτελέσματα και ανάλυση αποτελεσμάτων

### 5.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης

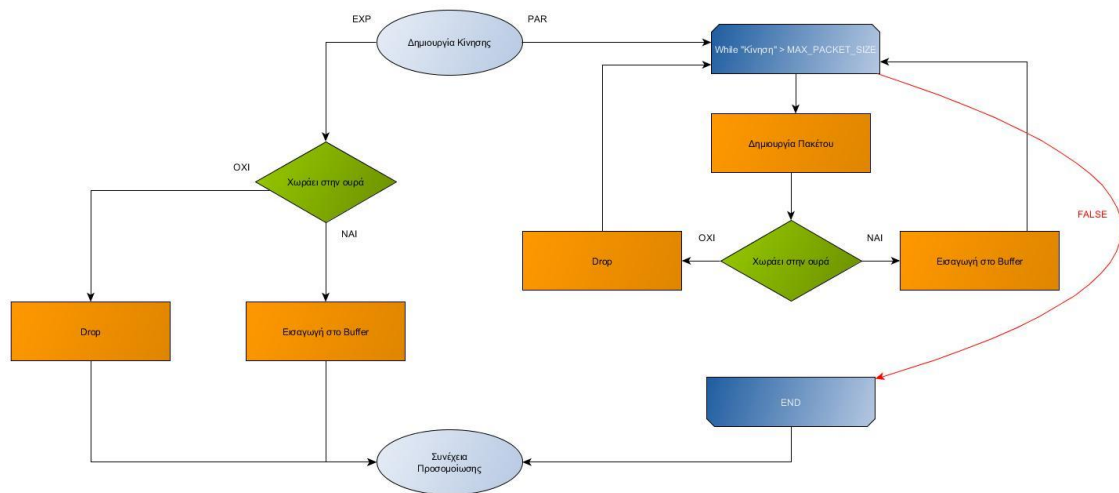
Η προσομοίωση έγινε με την γλώσσα προγραμματισμού C. Η επιλογή της έγινε λόγω της απλότητας της και της ταχύτητας εκτέλεσης της. Επειδή είναι γλώσσα σχετικά χαμηλού επιπέδου λειτουργεί πολύ γρηγορότερα από άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Παρόλα αυτά, τα πρώτα κομμάτια του κώδικα προσομοιώθηκαν με την χρήση του εργαλείου Matlab 2015a λόγω του περιβάλλοντος αποσφαλμάτωσης που διαθέτει. Οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν κυρίως στο φοιτητικό σέρβερ pleiades ενώ κάποιες φορές που δεν υπήρχε η δυνατότητα για απομακρυσμένη σύνδεση, σε δύο υπολογιστές προσωπικής χρήσης.

Τα αποτελέσματα αφορούν την ανάλυση του αυτόματου για διάφορες τιμές της ταχύτητας σύγκλισης ( $L$ ), την ανάλυση του ACO διαφοροποιώντας τις τιμές του  $\alpha$  και  $\beta$ , και στο τέλος σύγκριση αυτών των δύο αλγορίθμων μεταξύ τους καθώς και με τις σταθερές αναλογίες 1:1, 2:1 και 3:1.

Η τεχνική για τα υπό-κανάλια που ακολουθήθηκε είναι η Εν Μέρει Χρήση Υπό-Καναλιού (PUSC) και είναι η πιο κοινή λειτουργία για διαφοροποίηση συχνότητας, η οποία ορίζει 30 διαφορετικά υπό-κανάλια. Σε αυτά τα κανάλια, 3 σύμβολα είναι κρατημένα για τον έλεγχο του πλαισίου και δεν συμπεριλαμβάνονται στα διαθέσιμα προς αποστολή. Παίρνοντας σαν δεδομένο ότι η αναλογία κυμαίνεται από 1:1 έως 3:1 τότε τα σύμβολα θα είναι αντίστοιχα 21:21 μέχρι 33:9 ή 630:630 έως 990:270 σε θυρίδες, λόγω του ορίζονται 30 υπό-κανάλια. Η σταθερή αναλογία 1:1 προσφέρει 630 θυρίδες και στα δύο υποπλάισια, η σταθερή αναλογία 2:1 προσφέρει 810 θυρίδες στο κατερχόμενο υποπλάισιο και 450 στο ανερχόμενο (27:15 σύμβολα) ενώ η 3:1 θα προσφέρει 990 στο κατερχόμενο και 270 στο ανερχόμενο. Η συνολική διάρκεια του κάθε πλαισίου θα είναι 10ms.

Το κάθε πακέτο μπορεί να έχει μέγεθος από 64 μέχρι 1518 MB. Η κίνηση προσομοιώθηκε με δύο λειτουργίες. Η μία είναι εκθετική (EXP) με δημιουργία πακέτων ανά 10 ms προσομοιώνοντας μια πιο ομαλή δημιουργία κίνησης. Η δεύτερη (PAR) έχει σαν χαρακτηριστικό την δημιουργία ριπών δεδομένων ανά ένα δευτερόλεπτο. Το σχηματικό δημιουργίας κίνησης φαίνεται παρακάτω.

Τα πακέτα που δημιουργούνται αποθηκεύονται σε δύο προσωρινούς καταχωρητές, ένας για το κατερχόμενο πακέτο στον σταθμό βάσης, και ένας για το ανερχόμενο σε κάθε κινητό συνδρομητή. Ο κάθε καταχωρητής έχει μέγεθος 1 MB.



**Εικόνα 23 Διάγραμμα Δημιουργίας Κίνησης**

Το πόσα bits μπορούν να τοποθετηθούν σε κάθε θυρίδα καθορίζεται από τον τύπο της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης του κάθε συνδρομητή. Οι συνθήκες του καναλιού της μετάδοσης είναι υπεύθυνες για την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση. Σε κάθε πλαίσιο ο σταθμός βάσης εξετάζει τις συνθήκες και προσαρμόζει ανάλογα την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση. Κάθε συνδρομητής αιτείται μία ριπή σε κάθε υποπλαίσιο καθώς όλα τα δεδομένα μοιράζονται τα ίδια χαρακτηριστικά του ασύρματου καναλιού. Οι πιθανότητες της κάθε κωδικοποίησης, καθώς και της αποσύνδεσης από τον σταθμό βάσης φαίνονται στην Εικόνα 24.

Πιθανότητα	Διαμόρφωση	Bits ανά θυρίδα
0.05	Αποσύνδεση	0
0.15	QPSK-1/2	48
0.2	QPSK-3/4	72
0.3	16QAM-1/2	96
0.3	16QAM-3/4	144

**Εικόνα 24 Παράμετροι Ασύρματου Καναλιού**

### 5.1.1 Μεταβλητές Απόδοσης Συστήματος

Χρησιμοποιήθηκαν 3 βασικές και 1 δευτερεύουσα μεταβλητές απόδοσης συστήματος. Η πρώτη βασική είναι ο μέσος όρος των μη εξυπηρετημένων θυρίδων (*mean\_unserved\_slots*) η οποία αναφέρεται στον αριθμό των θυρίδων που δεν κατάφεραν να κατανεμηθούν σε κάποιο από τα δύο κανάλια. Η δεύτερη είναι ο μέσος όρος των συνδρομητών που δεν κατάφεραν να τοποθετήσουν δεδομένα τους στο υποπλαίσιο (*mean\_unserved\_ms*). Η τρίτη είναι ο μέσος αριθμός αδρανών θυρίδων, και δείχνει το ποσοστό του χώρου του υποπλαισίου που παραμένει αχρησιμοποίητο (*mean\_ide\_slots*).

Η άλλη μεταβλητή που μετρά την απόδοση του συστήματος είναι ο αριθμός των πακέτων που δεν κατάφεραν να τοποθετηθούν στο υποπλαίσιο ή στην ουρά και χάθηκαν (*dropped\_packets*). Για να χαθεί ένα πακέτο, σημαίνει ότι η ουρά έχει λιγότερο ελεύθερο χώρο από το συνολικό μέγεθος του πακέτου και από την στιγμή



που έστω και ένα Byte δεν μπορεί να εισαχθεί στην ουρά, όλο το πακέτο θεωρείται χαμένο.

## 5.2 Σενάρια

Αρχικά υλοποιήθηκαν 3 σενάρια. Στο πρώτο μελετάται η απόδοση κάτω από συνθήκες δυναμικής κίνησης, των δύο αλγορίθμων σε σχέση με τις τρεις στατικές τεχνικές κατανομής θυρίδων. Στο δεύτερο και στο τρίτο σενάριο μελετάται η αποδοτικότητα των σεναρίων καθώς η κίνηση μεταβάλλεται. Και τα τρία σενάρια δοκιμάστηκαν για 10 λεπτά συνεχούς λειτουργίας του δικτύου, και εφόσον κάθε πλαίσιο διαρκεί 10 ms, αυτό αντιστοιχεί σε 60.000 πλαίσια. Αναλυτικότερα:

### 5.2.1 Σενάριο 1ο

Στο πρώτο σενάριο ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης από 1 μέχρι 20 ενώ η κίνηση μεταβάλλεται ανά 10 δευτερόλεπτα (seconds). Οι τιμές που λαμβάνει η κίνηση δίνονται στην Εικόνα 25.

Χρόνος	Μέσο Φορτίο Κατερχόμενης Κίνησης	Μέσο Φορτίο Ανερχόμενης Κίνησης
0-10 s	1 Mbps	0. Mbps
10 - 20 s	0.75 Mbps	0.5 Mbps
20 - 30 s	0.5 Mbps	0.75 Mbps
30 - 40 s	0.25 Mbps	0.75 Mbps
40 - 50 s	0.25 Mbps	1 Mbps
50 - 60 s	0.1 Mbps	1 Mbps

**Εικόνα 25 Προκαθορισμός Κίνησης 1ου Σεναρίου**

### 5.2.2 Σενάριο 2ο + 3ο

Στα σενάρια αυτά οι χρήστες παραμένουν σταθεροί και ίσοι με 10 ενώ η προσομοίωση επαναλαμβάνεται για 10 φορές. Για το δεύτερο σενάριο η ανερχόμενη κίνηση ξεκινάει από 0.05 Mbps και σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης αυξάνεται μέχρι το 0.5 Mbps. Η κατερχόμενη κίνηση ξεκινάει από 0.05 Mbps και αυξάνεται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης κατά 0.05 Mbps ανά λεπτό.

Παρομοίως, για το τρίτο σενάριο η ανερχόμενη κίνηση ξεκινάει από 0.05 Mbps και αυξάνεται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης κατά 0.05 Mbps ανά λεπτό ενώ η κατερχόμενη ξεκινάει από 0.05 Mbps και σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης αυξάνεται μέχρι το 0.5 Mbps. Οι ακριβείς τιμές της κίνησης αναφέρονται στην Εικόνα 26.

Σενάριο 2ο		Σενάριο 3ο	
Μέσο Φορτίο	Μέσο Φορτίο	Μέσο Φορτίο	Μέσο Φορτίο

Ανερχόμενης Κίνησης	Κατερχόμενης Κίνησης	Ανερχόμενης Κίνησης	Κατερχόμενης Κίνησης
0.05 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.05 Mbps
0.1 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.1 Mbps
0.15 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.15 Mbps
0.2 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.2 Mbps
0.25 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.25 Mbps
0.3 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.3 Mbps
0.35 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.35 Mbps
0.4 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.4 Mbps
0.45 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.45 Mbps
0.5 Mbps		0.05-0.5 Mbps	0.5 Mbps

**Εικόνα 26 Προκαθορισμός Κίνησης 2ου+3ου Σεναρίου**

### 5.3 Υλοποίηση Προσομοίωσης

Και τα 3 σενάρια εκτελούνται μέσω του αρχείου main.c. Υπάρχει ένα αρχείο για το κάθε σενάριο και μέσα από αυτό εκτελούνται όλες οι επαναλήψεις της προσομοίωσης. Η κάθε επανάληψη επιτυγχάνεται καλώντας κάθε φορά ένα από τα αρχεία που έχουν δημιουργηθεί με τις κατάλληλες μεταβλητές σαν ορίσματα. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι εξής:

- filename: ορίζει το αρχείο .csv στο οποίο θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης. Το αρχείο αυτό έχει συγκεκριμένο πρόθεμα ονόματος που αντιστοιχεί στην κάθε προσομοίωση, καθώς και ένα τυχαίο αριθμό για να το ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες επαναλήψεις της προσομοίωσης.
- ms: ο αριθμός των συνδρομητών στο συγκεκριμένο σενάριο.
- ants: ο αριθμός των μυρμηγκιών στην συγκεκριμένη επανάληψη (χρησιμοποιείται μόνο στον ACO).
- choice: η μεταβλητή αυτή αντιστοιχεί στην επιλογή της ανερχόμενης κίνησης στο σενάριο 2 ή στην κατερχόμενη κίνηση στο σενάριο 3.

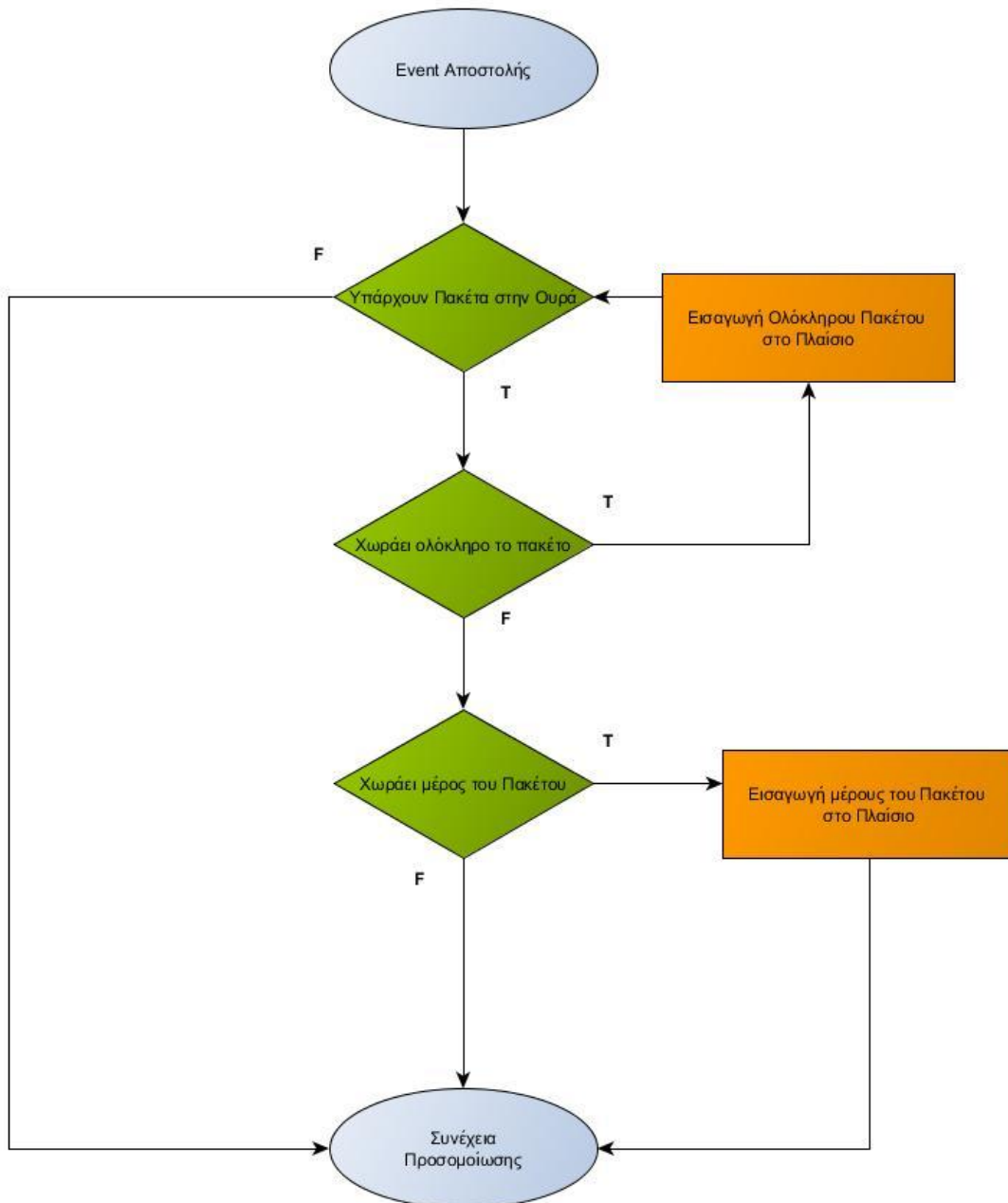
Όλα τα σενάρια ακολουθούνε την ίδια δομή γεγονότων. Λόγω της δυναμικής φύσης της προσομοίωσης κρίθηκε απαραίτητη η χρήση δυναμικών πινάκων επειδή το μέγεθος τόσο των δύο ουρών (buffer) αλλά και του πίνακα γεγονότων (Event\_List) μεταβάλλονται.

Στο πρώτο γεγονός (event) ορίζεται η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση για κάθε χρήστη σύμφωνα με στην Εικόνα 24 Παράμετροι Ασύρματου Καναλιού και τοποθετούνται όλα τα γεγονότα στον πίνακα Event\_List.

Τα επόμενα δύο γεγονότα που θα καλεστούν είναι για την δημιουργία της κίνησης. Το πρώτο για την ανερχόμενη κίνηση και το επόμενο για την κατερχόμενη. Στην περίπτωση που είναι εκθετική η κίνηση, δημιουργείται ένα πακέτο με τυχαίο μέγεθος εντός ενός διαστήματος. Τα όρια του διαστήματος αυτού είναι ορισμένα έτσι ώστε ο μέσος όρος των τυχαίων τιμών ανά δευτερόλεπτο να είναι ίσος με τους

προκαθορισμένους στην Εικόνα 25 και στην Εικόνα 26. Παράλληλα, το μέγεθος αυτού του πακέτου πρέπει να είναι εντός των επιτρεπτών για όλα τα πακέτα ορίων 64 - 1518 MB. Μετά την δημιουργία του πακέτου γίνεται έλεγχος για το αν μπορεί να εισαχθεί στην ουρά και αν μπορεί τοποθετείται στην αντίστοιχη ουρά για την κατερχόμενη ή ανερχόμενη κίνηση. Αν είναι στην ανερχόμενη πακέτου στου αντίστοιχου συνδρομητή. Σε περίπτωση που η κίνηση είναι με την μορφή ριπών, επιλέγεται αυτή τη φορά ένα τυχαίο σύνολο. Το σύνολο αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο από ένα πακέτο. Αυτό το μεγάλο σύνολο θα διαιρεθεί σε μικρότερα πακέτα με μέγεθος εντός των ορίων. Τα πακέτα αυτά θα εισαχθούν στην ουρά, αν υπάρχει διαθέσιμος ελεύθερος χώρος αλλιώς θα απορριφθούν.

Το επόμενο γεγονός είναι η αποστολή του πλαισίου όπως φαίνεται και στην Εικόνα 27. Η διαδικασία γίνεται πρώτα για το κατερχόμενο και έπειτα για το ανερχόμενο υποπλαίσιο και ακολουθούνται ακριβώς τα ίδια βήματα. Αρχικά γίνεται έλεγχος για το αν υπάρχουν πακέτα στην ουρά. Αν δεν υπάρχουν συνεχίζεται η εκτέλεση. Σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο πακέτο, γίνεται ο υπολογισμός για το πόσες θυρίδες θα χρειαστεί, με βάση το μέγεθος και την κωδικοποίηση (Εικόνα 24). Εφόσον ο αριθμός των διαθέσιμων θυρίδων είναι μεγαλύτερος από αυτές που χρειάζονται για την αποστολή του πακέτου, στέλνεται ολόκληρο. Αν υπάρχουν κάποιες διαθέσιμες θυρίδες για αποστολή, στέλνεται μέρος του, το οποίο αφαιρείται από την ουρά. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμες θυρίδες, συνεχίζεται η προσομοίωση στο επόμενο υποπλαίσιο ή στο επόμενο γεγονός.



**Εικόνα 27 Εισαγωγή Πακέτων στο Πλαίσιο**

Στο σημείο αυτό διαφοροποιούνται οι προσομοιώσεις, καθώς υπάρχουν τα γεγονότα για το αυτόματο μάθησης και για τον αλγόριθμο ACO.

**A. Αυτόματο Μάθησης:** Το αυτόματο χρησιμοποιεί δύο επιπλέον γεγονότα για την λειτουργία του. Το πρώτο εκ των δύο αφορά στον υπολογισμό της αντίδρασης του περιβάλλοντος. Το επόμενο αφορά στον προσδιορισμό της επόμενης καλύτερης αναλογίας, των υπολοίπων μεταβλητών του αλγορίθμου, της ανανέωσης των πιθανοτήτων και τέλος η επιλογή της αναλογίας που θα έχει το επόμενο υποπλαίσιο.

**B. Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Απουκίας Μυρμηγκιών:** Ο αλγόριθμος ACO χρησιμοποιεί ένα επιπλέον γεγονός. Η χρήση του αφορά στον υπολογισμό των

θυρίδων που δεν εστάλησαν για τον υπολογισμό του κόστους, τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των επιλογών, καθώς και την εναπόθεση/εξάτμιση της φερομόνης και την επιλογή της βέλτιστης αναλογίας. Όλες οι λειτουργίες του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι συγκεντρωμένες σε ένα μόνο γεγονός για μεγαλύτερη ευκολία στην διαχείριση του κώδικα και για μελλοντικές επεκτάσεις.

#### **5.4 Εξαγωγή αποτελεσμάτων**

Τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης τοποθετούνται σε αρχείο. Χάρη στο όνομα του αρχείου μπορεί να γίνει αντιληπτό από ποιο ακριβώς σενάριο και προσομοίωση προέρχεται.

Τα αρχεία αυτά, περιέχουν είτε 20 είτε 10 γραμμές (που αντιστοιχούν στο πρώτο και στα άλλα δύο σενάρια αντίστοιχα) οι οποίες είχαν τις τιμές των μεταβλητών απόδοσης των σεναρίων, χωρισμένων με κόμμα.

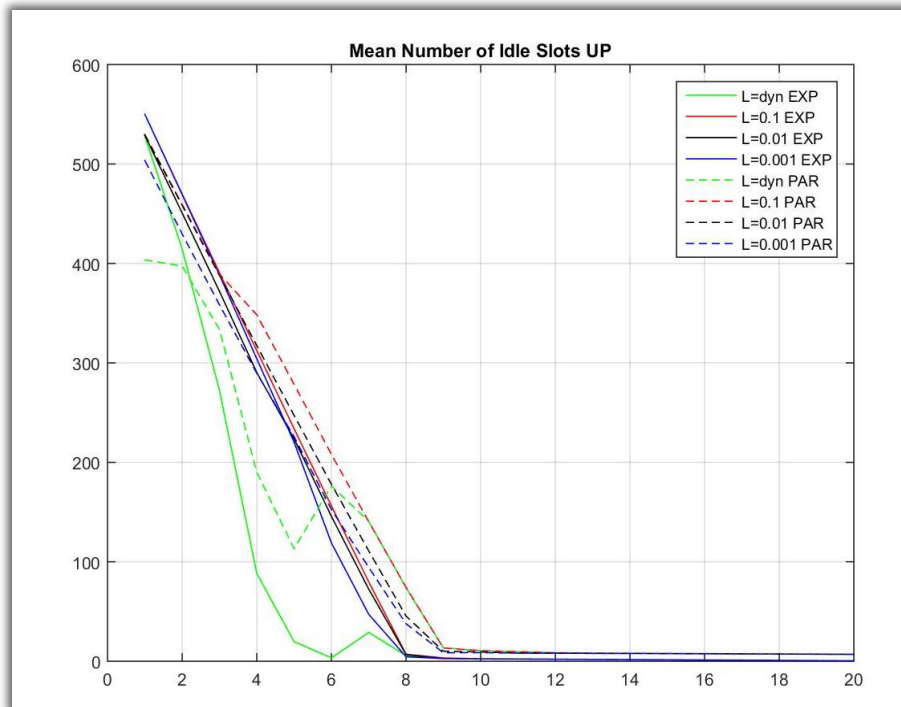
Με την χρήση του εργαλείου Matlab 2015a τα αποτελέσματα αυτά συγκεντρώνονται και βγαίνει ο μέσος όρος των τιμών ώστε να ομαλοποιηθούν οι γραφικές παραστάσεις. Στην συνέχεια εισάγονται σε πίνακες και εκτυπώνονται στο κατάλληλο γράφημα. Η χρήση της Matlab με τις εύχρηστες εντολές τις, βοηθάει σημαντικά στην εμφάνιση των γραφημάτων, μέσα από τα οποία θα εξαχθούν τα αποτελέσματα όλων των προσομοιώσεων.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως για λόγους παρακολούθησης της προσομοίωσης, οι χρόνοι της κάθε επανάληψης εισάγονται σε ξεχωριστό αρχείο. Οι χρόνοι για την κάθε επανάληψη ξεκινάνε από κάποια δέκατα του δευτερολέπτου μέχρι και περίπου μία ώρα (σε περιπτώσεις με πολλούς συνδρομητές και αρκετή κίνηση).

Τα γραφήματα από όλες αυτές τις προσομοιώσεις είναι πάρα πολλά για να καλυφθούνε στην έκταση της παρούσας διπλωματικής, για αυτό θα παρουσιαστούν μόνο τα γραφήματα του πρώτου σεναρίου, που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

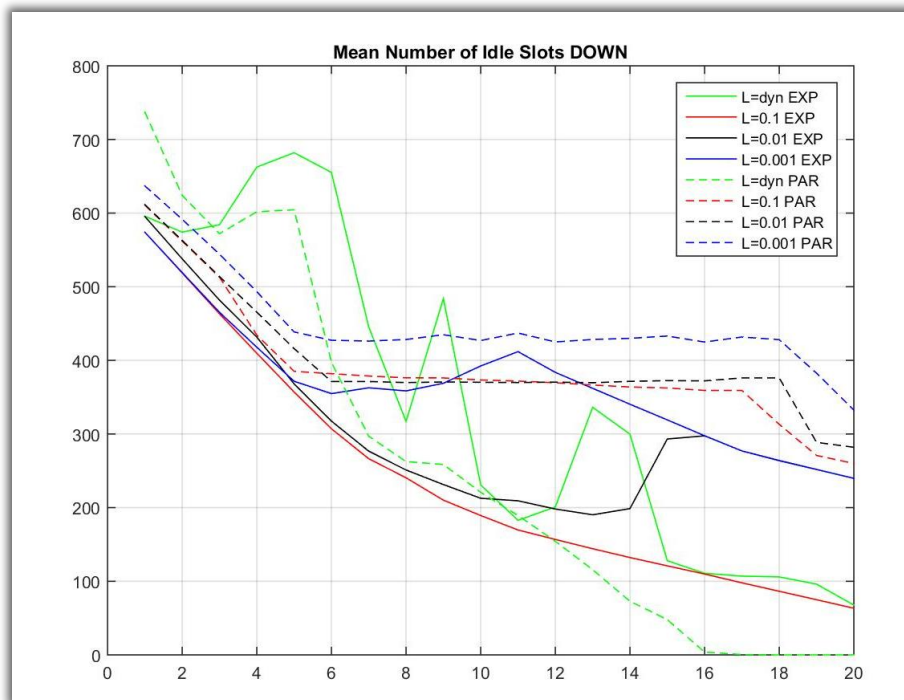
#### **5.5 Αποτελέσματα και Ανάλυση LA**

Τα πρώτα αποτελέσματα αναφέρονται στην χρήση διαφορετικών τιμών του  $L$  για το αυτόματο μάθησης. Οι δοκιμές γίνανε με το  $L$  να μεταβάλλεται δυναμικά κατά την διάρκεια της προσομοίωσης καθώς και να έχει τις σταθερές τιμές  $L=0.1$ ,  $L=0.01$  και  $L=0.001$ . Τα γραφήματα των αποτελεσμάτων φαίνονται στις επόμενες σελίδες, αρχικά για τα υποπλάισια ξεχωριστά και στο τέλος και για τα δύο υποπλάισια αθροιστικά.



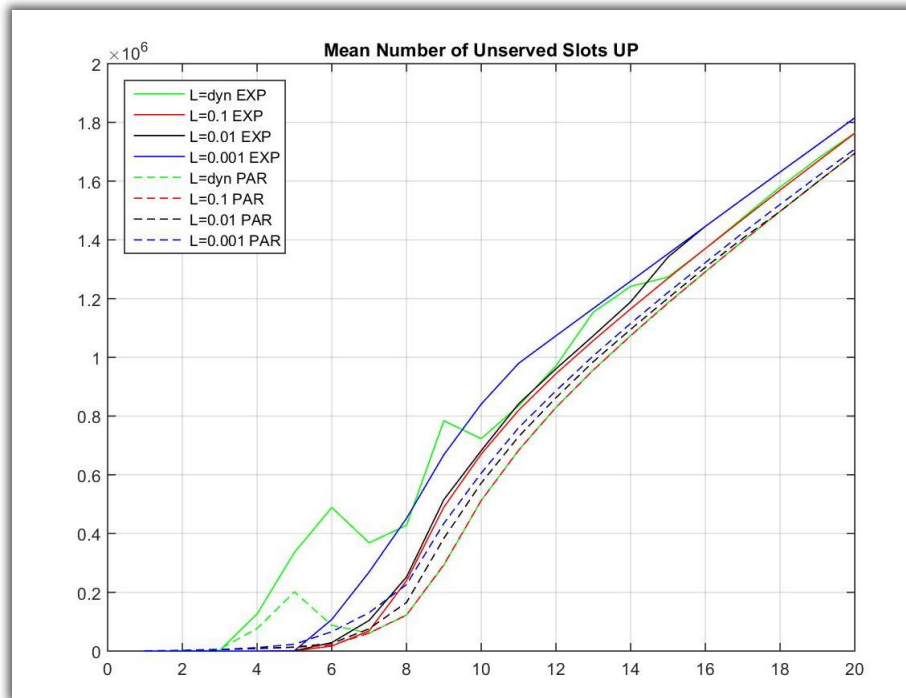
**Εικόνα 28 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Στην Εικόνα 28 βλέπουμε τον αριθμό των αδρανών θυρίδων στο ανερχόμενο υποπλαίσιο. Παρατηρούμε ότι όταν το  $L$  είναι δυναμικό οι αδρανείς θυρίδες μειώνονται, υπάρχει δηλαδή καλύτερη χρήση τους στο κατερχόμενο υποπλαίσιο. Οι αδρανείς θυρίδες των σταθερών  $L$  ακολουθούν την ίδια πορεία και στην εκθετική αλλά και στην κίνηση με μορφή ριπών. Αυτό συμβαίνει γιατί το  $L$  μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά στην μία περίπτωση, ανάλογα με το αν οι αποφάσεις του αυτόματου είναι σωστές ή λάθος. Το αυτόματο συγκλίνει πιο γρήγορα στην αποδοτικότερη τιμή για το σύστημα και να παραμένει σε αυτή εφόσον δεν υπάρχουν λάθη, σε αντίθεση με τις σταθερές τιμές του  $L$ .



**Εικόνα 29 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

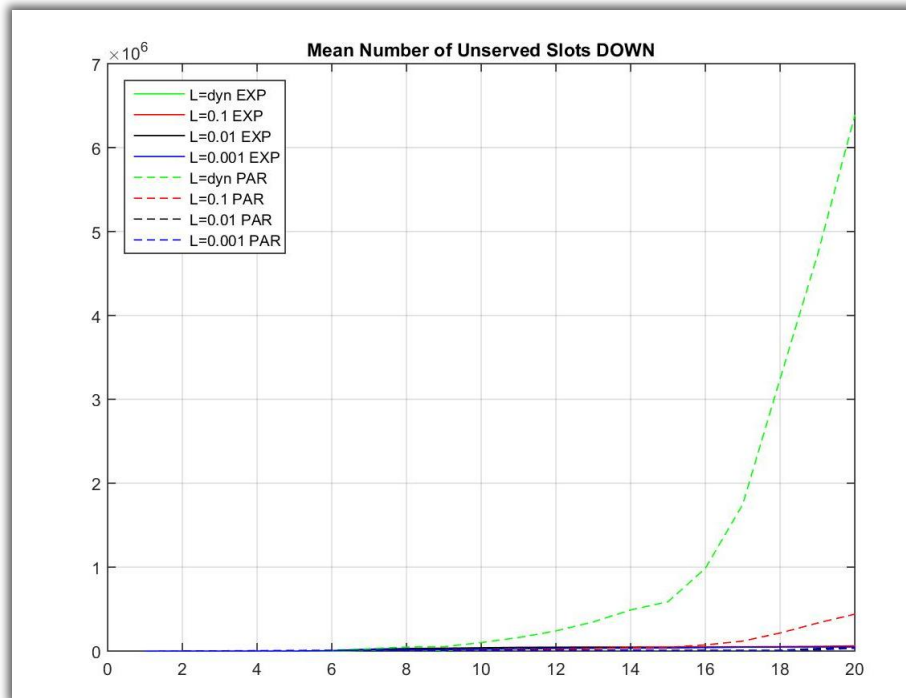
Στον αριθμό αδρανών θυρίδων του κατερχόμενου υποπλαισίου, στην Εικόνα 29 βλέπουμε να υπάρχουν διακυμάνσεις κυρίως όταν το L μεταβάλλεται δυναμικά ενώ οι σταθερές τιμές του έχουν πιο ομαλές καμπύλες. Η προσθήκη συνδρομητών στο σύστημα αυξάνει τον όγκο της κίνησης που δημιουργείται αλλάζοντας την βέλτιστη απόφαση του συστήματος κάθε στιγμή. Όταν το L έχει μεγαλύτερη τιμή μπορεί να ανταπεξέρχεται πιο γρήγορα στις λάθος αποφάσεις που μπορεί να έχει πάρει. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα μια προσωρινή λάθος απόφαση να διαταράζει την ισορροπία του συστήματος. Το δυναμικά μεταβαλλόμενο L για την κίνηση με μορφή ριπών κάνει αποδοτικότερη χρήση των πόρων, έχοντας τις λιγότερες αδρανείς θυρίδες. Για την εκθετική κίνηση η λειτουργία του αυτόματου με δυναμικά μεταβαλλόμενο L δεν είναι τόσο αποδοτική όσο όταν το L έχει σταθερές τιμές. Η ομαλή δημιουργία κίνησης δεν δημιουργεί μεγάλες μεταβολές στην βέλτιστη απόφαση, έτσι το L αυξάνεται αργά χωρίς να προλαβαίνει να ανταποκριθεί στις μεταβολές της κίνησης.



**Εικόνα 30 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

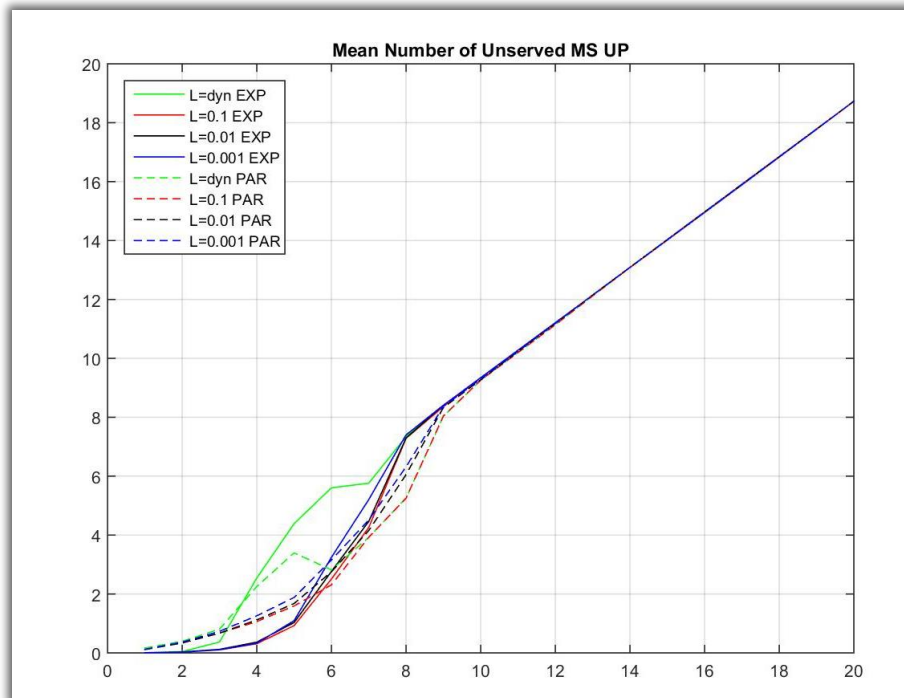
Στην Εικόνα 30 βλέπουμε τον αριθμό των θυρίδων που δεν κατάφεραν να εξυπηρετηθούν στο ανερχόμενο υποπλαίσιο. Παρόλο που η πλειοψηφία των καμπυλών συγκλίνει από τα αρχικά στάδια της προσομοίωσης, στην καμπύλη του δυναμικά μεταβαλλόμενου L παρατηρούμε κάποιες μικρές διακυμάνσεις. Οι τιμές των καμπυλών αυξάνονται λόγω της αυξανόμενης κίνησης του δικτύου. Στην εκθετική κίνηση, οι ήπιες μεταβολές της κίνησης δεν επιτρέπουν την ομαλή λειτουργία του αυτόματου όταν το L μεταβάλλεται δυναμικά. Στην κίνηση με μορφή ριπών η λειτουργία του αυτόματου με δυναμικά μεταβαλλόμενο L είναι σαφώς καλύτερη από αυτή με το L να έχει σταθερές τιμές.





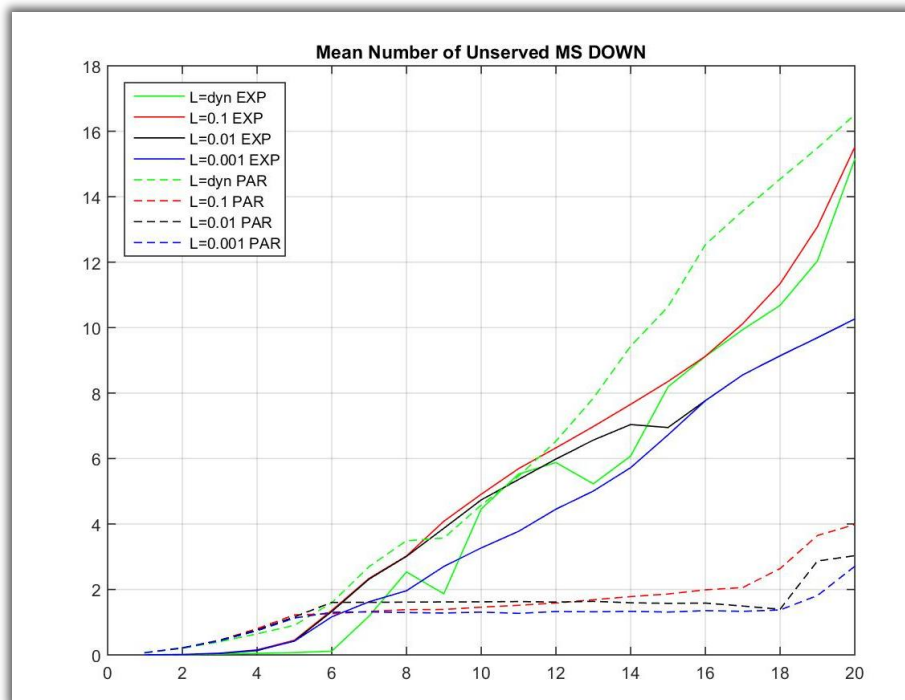
**Εικόνα 31 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Στην Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. βλέπουμε τον μέσο όρο των μη εξυπηρετημένων θυρίδων του κατερχόμενου υποπλαισίου. Παρατηρούμε ότι μετά από μερικούς συνδρομητές συγκλίνουν οι γραφικές παραστάσεις για όλα τα L, εκτός από την καμπύλη του L που μεταβάλλεται δυναμικά με κίνηση με μορφή ριπών. Το αυτόματο με δυναμικά μεταβαλλόμενο L στην κίνηση με μορφή ριπών δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στις επιλογές που ευνοούν την κατανομή πόρων στο ανερχόμενο υποπλαίσιο, αφήνοντας λιγότερους πόρους για χρήση στο κατερχόμενο. Η αρχική επιλογή μοιράζει τους πόρους από μισούς στο κάθε υποπλαίσιο, και η στιγμιαία αλλαγή της κίνησης αυτής δε επιτρέπει στο αυτόματο να προσαρμοστεί ώστε να δώσει παραπάνω πόρους στο κατερχόμενο.



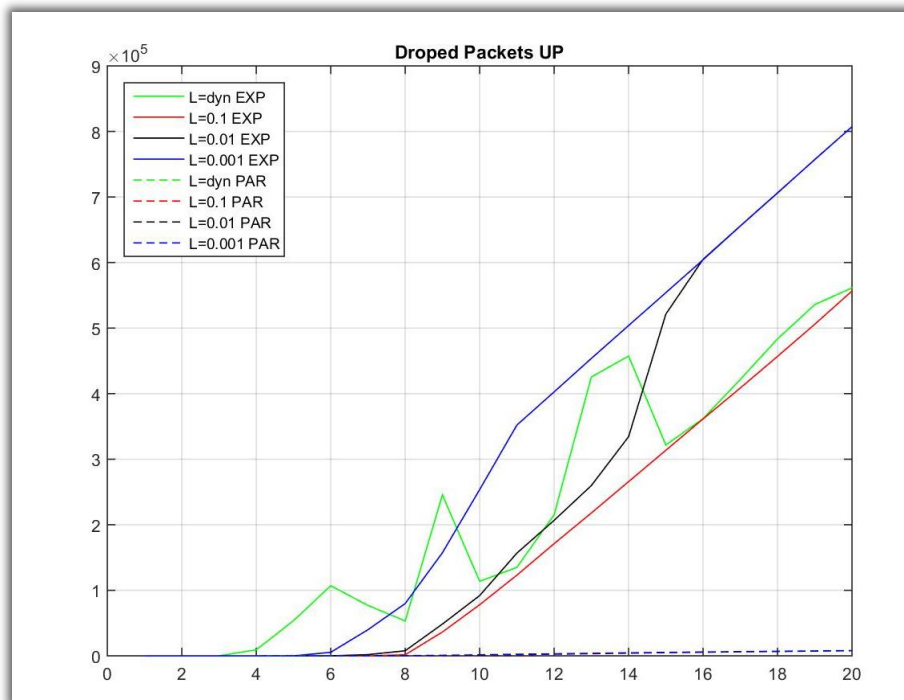
**Εικόνα 32 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Στην Εικόνα 32 παρατηρούμε ότι ο αριθμός των συνδρομητών που δεν καταφέρανε να εξυπηρετηθούν στο ανερχόμενο υποπλαίσιο συγκλίνει σε όλες σχεδόν τις προσομοιώσεις εκτός από τα αρχικά στάδια λειτουργίας του αυτόματου με το L δυναμικά μεταβαλλόμενο. Η αύξηση είναι επακόλουθο του αυξανόμενου αριθμού συνδρομητών που εισάγονται στο δίκτυο της τα κίνησης που δημιουργεί ο κάθε ένας. Η κίνηση που δημιουργείται είναι μεγαλύτερη από αυτήν που μπορεί να ανταπεξέλθει το σύστημα, οπότε το αυτόματο προσπαθεί να κρατήσει ισορροπία στα δύο υποπλαίσια. Όταν το L μεταβάλλεται δυναμικά, προσπαθεί να δώσει πόρους στο κατερχόμενο υποπλαίσιο για αυτό και τα αρχικά στάδια της καμπύλης του είναι πιο ψηλά από των υπολοίπων.



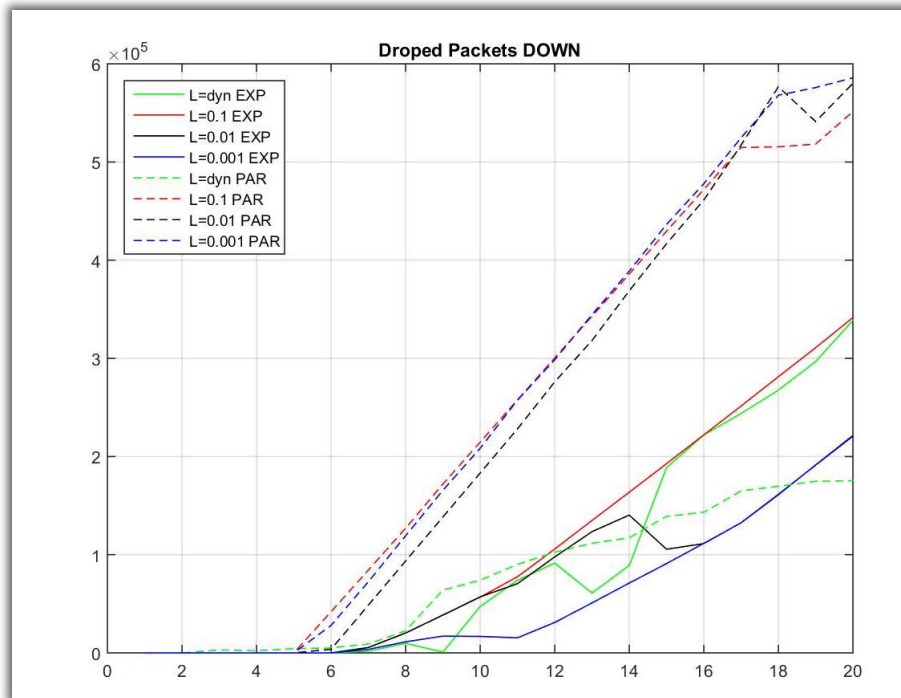
**Εικόνα 33 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Στην Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. βλέπουμε τον μέσο όρο των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών του κατερχόμενου υποπλαισίου. Και για τις δύο μορφές της κίνησης οι σταθερές τιμές του L έχουν παρόμοιες καμπύλες. Η καμπύλη του L που μεταβάλλεται δυναμικά στην εκθετική κίνηση είναι χαμηλότερα από τις υπόλοιπες στα πρώτα στάδια, λόγω της προσπάθειας του αυτόματου να δώσει τους πόρους του συστήματος στο κατερχόμενο υποπλαίσιο. Για την κίνηση με μορφή ριπών, η στιγμιαία αλλαγή της κίνησης δε επιτρέπει στο αυτόματο να προσαρμοστεί ώστε να δώσει παραπάνω πόρους στο κατερχόμενο υποπλαίσιο.



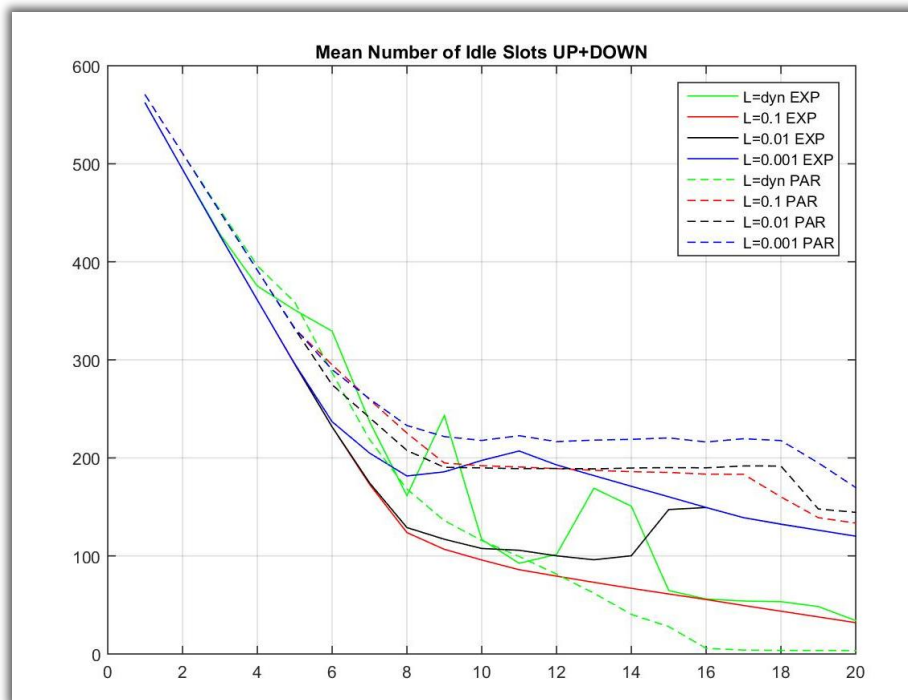
**Εικόνα 34 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Στην Εικόνα 34 εμφανίζονται οι καμπύλες του αριθμού των απορριφθέντων πακέτων στο ανερχόμενο υποπλαίσιο. Στην κίνηση με μορφή ριπών υπήρχαν ελάχιστα πακέτα που απορρίφθηκαν για όλες τις διαφορετικές τιμές του L. Στην εκθετική τα πακέτα ακολουθούσαν γραμμική αύξηση για τις καμπύλες των σταθερών L. Οι αυξανόμενες τιμές των καμπυλών οφείλονται στο γεγονός πως οι παραπάνω χρήστες του συστήματος δημιουργούν κίνηση στην οποία το σύστημα δεν μπορεί να ανταπεξέλθει. Οι σταθερές τιμές του L επιτρέπουν στο αυτόματο να μαθαίνει από τις λάθος επιλογές του με ένα σταθερό ρυθμό. Όταν το L μεταβάλλεται δυναμικά, οι μικρές διαφορές των επιλογών δεν επιτρέπουν στο αυτόματο να αυξήσει σημαντικά την τιμή του L ώστε να ανταποκριθεί στις αλλαγές της κίνησης.



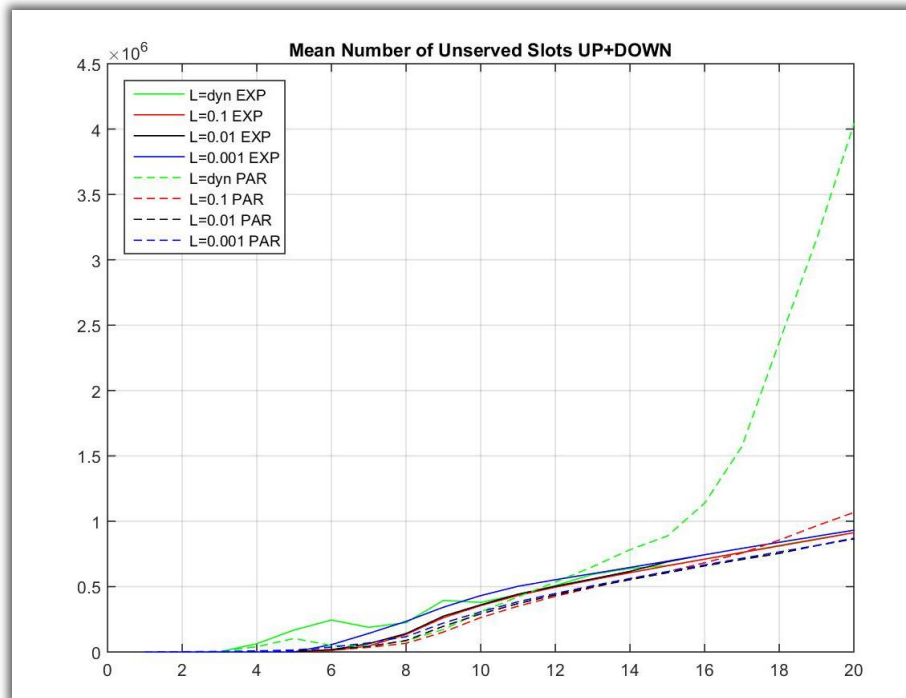
**Εικόνα 35 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Στην Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. παρατηρούμε πως οι καμπύλες των σταθερών τιμών του L σε κίνηση με μορφή ριπών έχει τον μεγαλύτερο αριθμό απορριφθέντων πακέτων στο κατερχόμενο υποπλαίσιο. στην κίνηση με μορφή ριπών. Οι καμπύλες των σταθερών τιμών του L δείχνουν ότι οι στιγμιαίες αλλά μεγάλες αλλαγές της κίνησης αύξησαν σημαντικά τις πιθανότητες των λανθασμένων επιλογών του αυτόματου με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να κάνει σωστές επιλογές. Το δυναμικά μεταβαλλόμενο L δείχνει ότι το αυτόματο ανταποκρίθηκε καλύτερα σε αυτές τις συνθήκες λαμβάνοντας λιγότερο υπ όψιν τις μεταβολές της κίνησης. Στην εκθετική κίνηση οι τιμές των καμπυλών ήταν πιο χαμηλά γιατί υπήρχε μια πιο δίκαιη κατανομή των πόρων του συστήματος. Όταν το L μεταβάλλεται δυναμικά, βλέπουμε ότι η μικρή μεταβολή του όγκου δεδομένων δεν του επέτρεψε να ανταποκριθεί αποτελεσματικά.



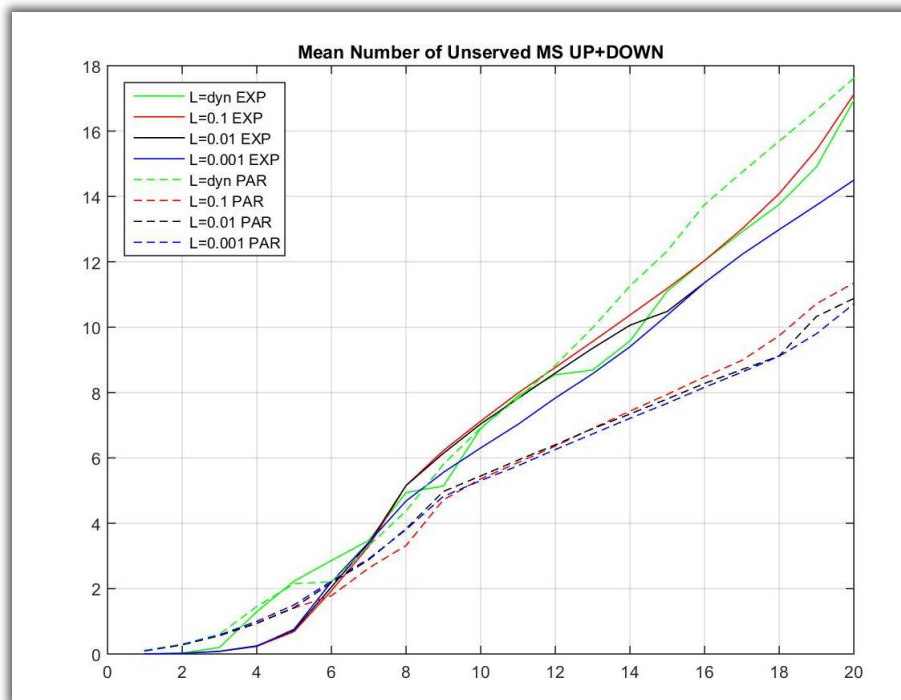
**Εικόνα 36 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων στον LA**

Στην Εικόνα 36 βλέπουμε τον μέσο όρο των αδρανών θυρίδων για όλο το πλαίσιο στην προσομοίωση του LA. Όσο χαμηλότερος είναι ο αριθμός των αδρανών θυρίδων, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό χρήσης τους από το σύστημα. Όταν το αυτόματο είχε σταθερές τιμές για το L, ανταποκρινόταν καλύτερα στην εκθετική, καθώς οι μικρές αλλαγές της κίνησης επιβάρυναν το σύστημα λιγότερο από ότι οι ραγδαίες της κίνησης με μορφή ριπών. Όταν το αυτόματο είχε δυναμικά μεταβαλλόμενο L ανταποκρινόταν καλύτερα στην κίνηση με μορφή ριπών, χρησιμοποιώντας το μεγαλύτερο ποσοστό των θυρίδων. Στην εκθετική κίνηση το αυτόματο με δυναμικά μεταβαλλόμενο L προσπαθεί να ανταποκριθεί στις μικρές αλλαγές της κίνησης, όχι όμως με μεγάλη απόδοση.



**Εικόνα 37 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων στον LA**

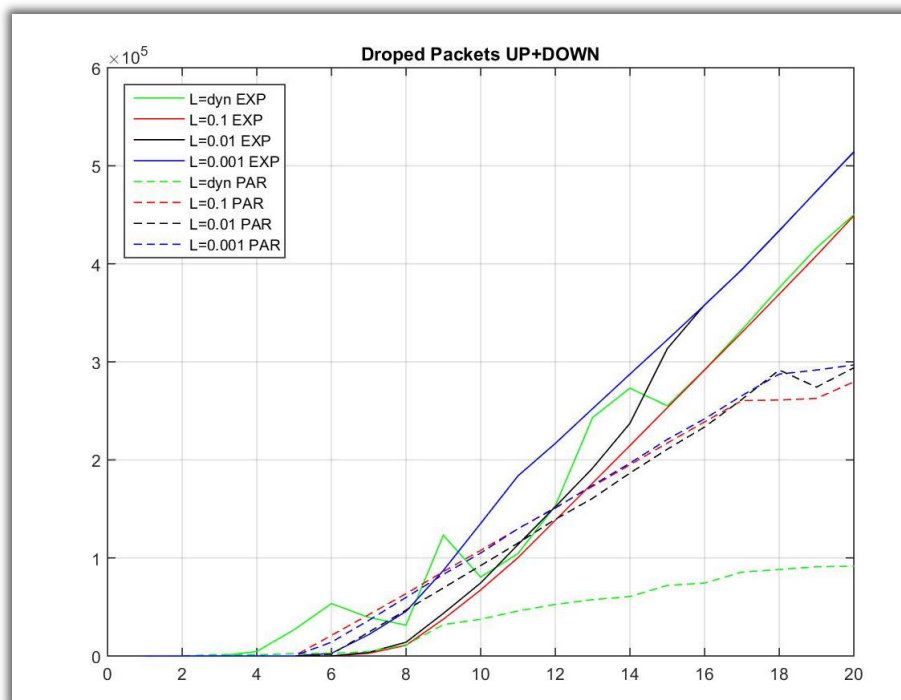
Στην Εικόνα 37 βλέπουμε τον συνολικό μέσο όρο μη εξυπηρετημένων θυρίδων για τα δύο υποπλάισια. Η πλειοψηφία των καμπυλών συγκλίνει στην ίδια τιμή εκτός από την καμπύλη του δυναμικά μεταβαλλόμενου L σε κίνηση με μορφή ριπών, της οποίας τα νούμερα αυξάνονται σημαντικά σε σχέση με των υπόλοιπων καμπυλών. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης διαφοράς των θυρίδων που δεν εξυπηρετήθηκαν στο κατερχόμενο υποπλάισιο. Η αρχική επιλογή που μοίραζε από μισούς τους πόρους του συστήματος δεν επέτρεψε στο αυτόματο να μεταβάλει σημαντικά την επιλογή του ώστε να δώσει πόρους στο κατερχόμενο υποπλάισιο. Η λειτουργία των υπολοίπων παραλλαγών του αυτόματου δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τις αλλαγές της κίνησης, καθώς βλέπουμε ότι οι παραστάσεις έχουν κοντινές μεταξύ τους τιμές.



**Εικόνα 38 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών στον LA**

Στην Εικόνα 38 παρατηρούμε πως οι καμπύλες για τον μέσο όρο των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών και στα δύο υποπλάισια συνολικά δεν έχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις. Οι καμπύλες της κίνησης με μορφή ριπών έχουν χαμηλότερες τιμές από της εκθετικής, γιατί εξυπηρετούνται ολόκληρες οι ριπές και όχι τα πακέτα. Έτσι στέλνονται όλα τα πακέτα ενός χρήστη που πιθανώς να υπήρχαν στην ουρά. Στην εκθετική κίνηση ένας χρήστης μπορεί να έχει έναν μεγάλο αριθμό πακέτων στην ουρά ανάμεσα σε πακέτα άλλων χρηστών και να μην καταφέρουν να εξυπηρετηθούν. Οι μεγάλες τιμές της καμπύλης του δυναμικά μεταβαλλόμενου L για την κίνηση με μορφή ριπών είναι αποτέλεσμα των λάθος επιλογών του αυτόματου στην διαχείριση της κίνησης του κατερχόμενου υποπλαισίου. Το δυναμικά μεταβαλλόμενο L για την εκθετική κίνηση δεν εμφανίζει μεγάλες αλλαγές από τις καμπύλες των σταθερών τιμών του L, καθώς η κίνηση των χρηστών που δημιουργείται στο σύστημα δεν επιτρέπει στο αυτόματο μεγάλες διαφοροποιήσεις στις επιλογές του.



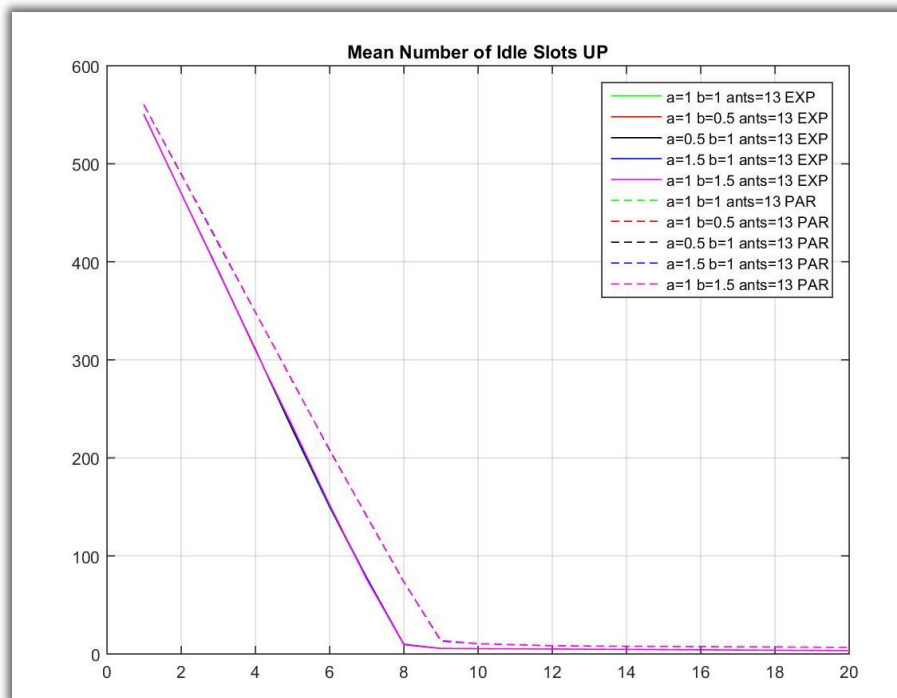


**Εικόνα 39 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων στον LA**

Στην Εικόνα 39 εμφανίζονται οι καμπύλες για τα απορριφθέντα πακέτα συνολικά στα δύο υποπλάισια. Παρατηρούμε ότι για την κίνηση με μορφή ριπών την χαμηλότερη τιμή έχει το δυναμικά μεταβαλλόμενο L, γιατί η αλλαγή της κίνησης δεν πρόλαβε να τροποποιήσει τις πιθανότητες των επιλογών του. Οι υπόλοιπες καμπύλες της κίνησης με μορφή ριπών δείχνουν ότι οι σταθερές τιμές στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι αποδοτικές για την λειτουργία του αυτόματου. Για την εκθετική κίνηση οι καμπύλες των σταθερών τιμών έχουν αυξητική τάση. Το δυναμικά μεταβαλλόμενο L στην εκθετική κίνηση δεν λειτουργεί πολύ αποδοτικά με μικρό αριθμό συνδρομητών. Όμως όταν ο αριθμός αυτός μεγαλώνει, μεγαλώνει και η απόδοση του επειδή οι μεταβολές στην βέλτιστη επιλογή είναι μεγαλύτερες.

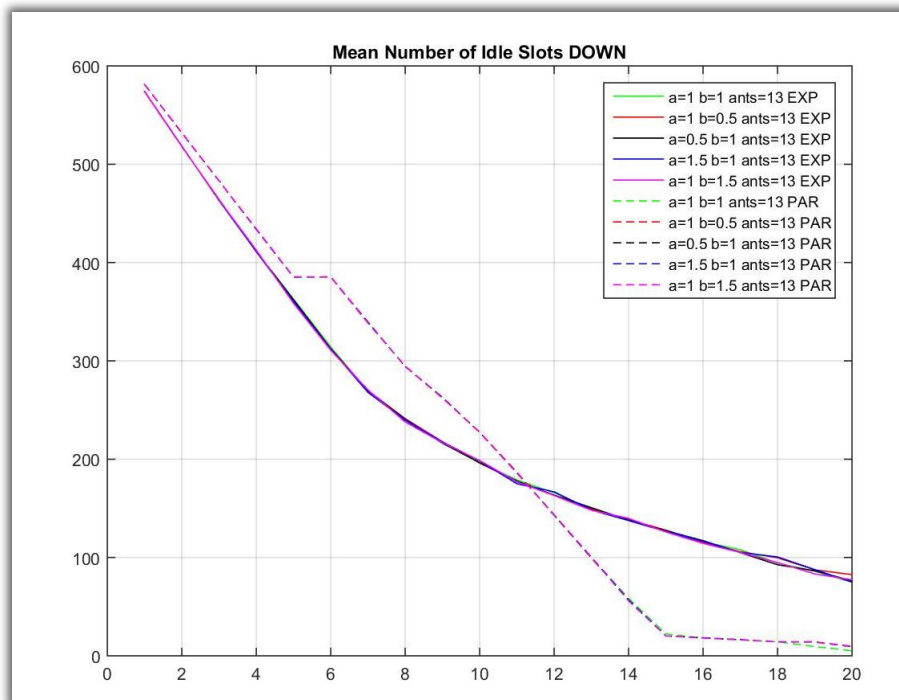
## 5.6 Αποτελέσματα και Ανάλυση ACO

Ο δεύτερος γύρος αποτελεσμάτων αφορά στην λειτουργία του ACO. Ο αλγόριθμος έχει δύο μεταβλητές που ορίζουν την βαρύτητα της απόστασης ή της φερομόνης στην επιλογή της επόμενης αναλογίας. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι  $\alpha$  και  $\beta$ . Θα εξεταστεί το κατά πόσο οι αλλαγές των τιμών των δύο μεταβλητών επιφέρουν αλλαγές στην απόδοση του αλγορίθμου. Τα ζευγάρια είναι  $\alpha=1$  και  $\beta=1$ ,  $\alpha=1$  και  $\beta=0.5$ ,  $\alpha=0.5$  και  $\beta=1$ ,  $\alpha=1.5$  και  $\beta=1$ , και τέλος  $\alpha=1.5$  και  $\beta=1$ . Οι δοκιμές θα γίνουν και για τους δύο τύπους κίνησης και πάλι θα παρουσιαστούν αρχικά τα γραφήματα για τα υποπλάισια ξεχωριστά και στο τέλος αθροιστικά.



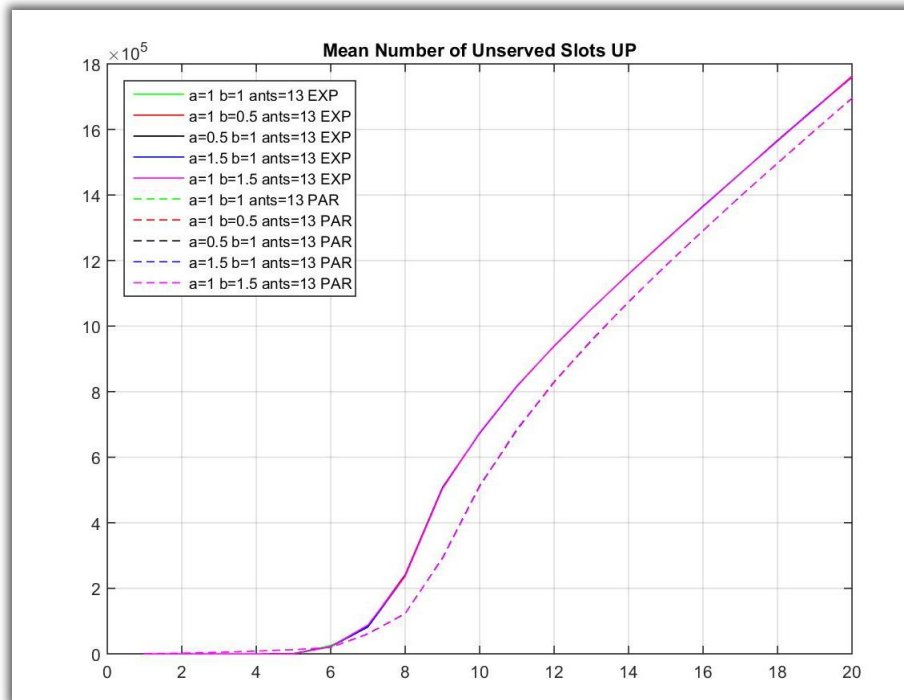
**Εικόνα 40 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται το γράφημα για τον μέσο αριθμό αδρανών θυρίδων στο ανερχόμενο υποπλαίσιο. Οι διαφορές στις μεταβλητές για την βαρύτητα που έχει η απόσταση ή φερομόνη δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Οι καμπύλες είναι σχεδόν ίδιες για τον ίδιο τύπο κίνησης. Ανάμεσα στους δύο τύπους κίνησης, ο αλγόριθμος φαίνεται να λειτουργεί καλύτερα στην εκθετική κίνηση, καθώς ο αλγόριθμος δεν μένει συνεχώς σε μια σταθερή επιλογή αλλά μεταβάλλεται ελαφρά σε κάθε επανάληψη του. Έτσι οι μικρές μεταβολές της εκθετικής κίνησης εντοπίζονται εύκολα και το σύστημα ανταποκρίνεται σε αυτές. Στην κίνηση με μορφή ριτών ο αλγόριθμος ανταποκρίνεται επίσης αποδοτικά, μειώνοντας αρκετά τον αριθμό των αδρανών θυρίδων του ανερχόμενου υποπλαισίου ώστε να τους χρησιμοποιήσει πιο αποδοτικά.



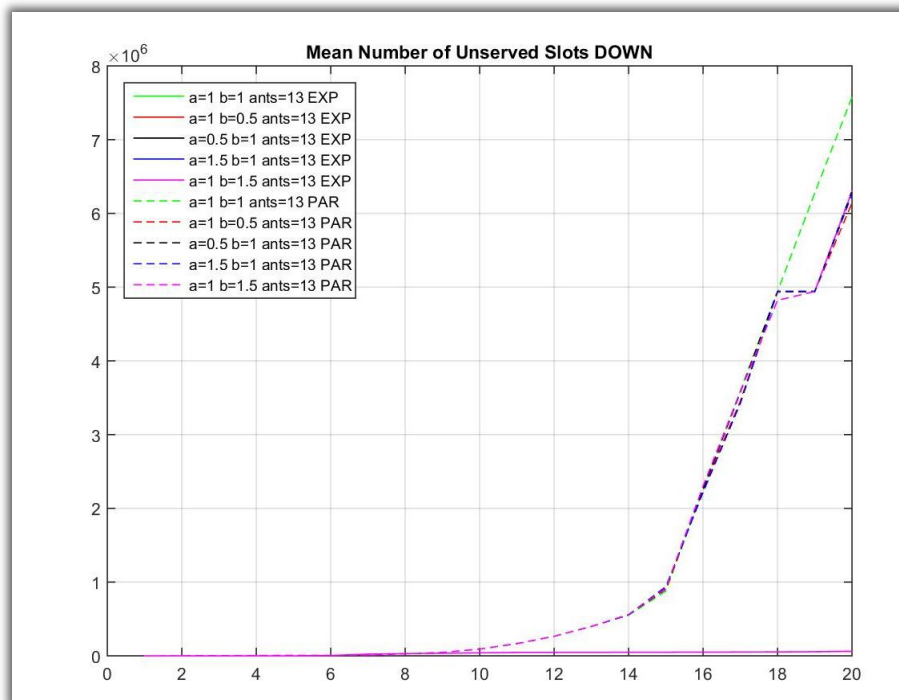
**Εικόνα 41 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Στην Εικόνα 41 βλέπουμε τον μέσο αριθμό αδρανών θυρίδων για το κατερχόμενο υποπλαίσιο. Οι καμπύλες για τον ίδιο τύπο κίνησης εφάπτονται, με πολύ μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Ο ACO δεν μένει σταθερός σε κάποια επιλογή αλλά μεταβάλλεται μεταξύ κοντινών επιλογών σε κάθε επανάληψη. Αυτό βοηθάει να ανταποκριθεί στις μεταβολές τις εκθετικής κίνησης στο κατερχόμενο υποπλαίσιο οι οποίες είναι ομαλές. Στην κίνηση με μορφή ριτών παρατηρούμε πως μετά την προσθήκη του 11ου συνδρομητή στο σύστημα, οι τιμές της καμπύλης είναι χαμηλότερες από της εκθετική, το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος.



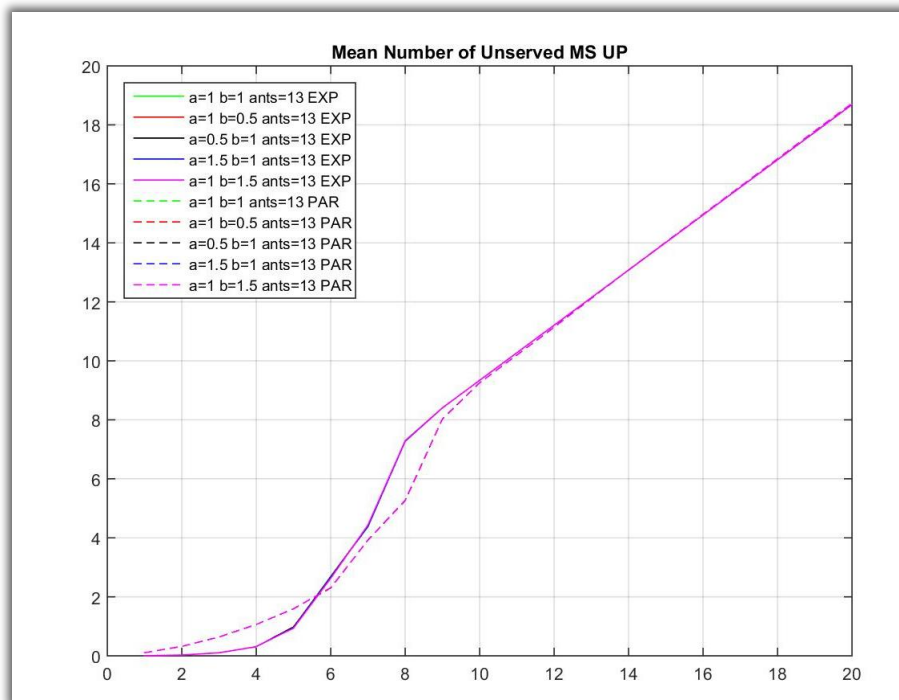
**Εικόνα 42 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Στην Εικόνα 42 παρατηρούμε τον μέσο αριθμό μη εξυπηρετημένων θυρίδων του ανερχόμενου υποπλαισίου. Οι καμπύλες για τον ίδιο τύπο κίνησης εφάπτονται μεταξύ τους. Η λειτουργία του αλγορίθμου για το ανερχόμενο υποπλαίσιο μας δείχνει μικρές διαφορές σχετικά με το διαφορετικό είδος κίνησης. Ο αλγόριθμος προσπαθεί να κάνει εξισορρόπηση του φόρτου όταν η κίνηση είναι μεγαλύτερη από αυτήν που μπορεί να ανταπεξέλθει το σύστημα, λόγω της προσθήκης των συνδρομητών.



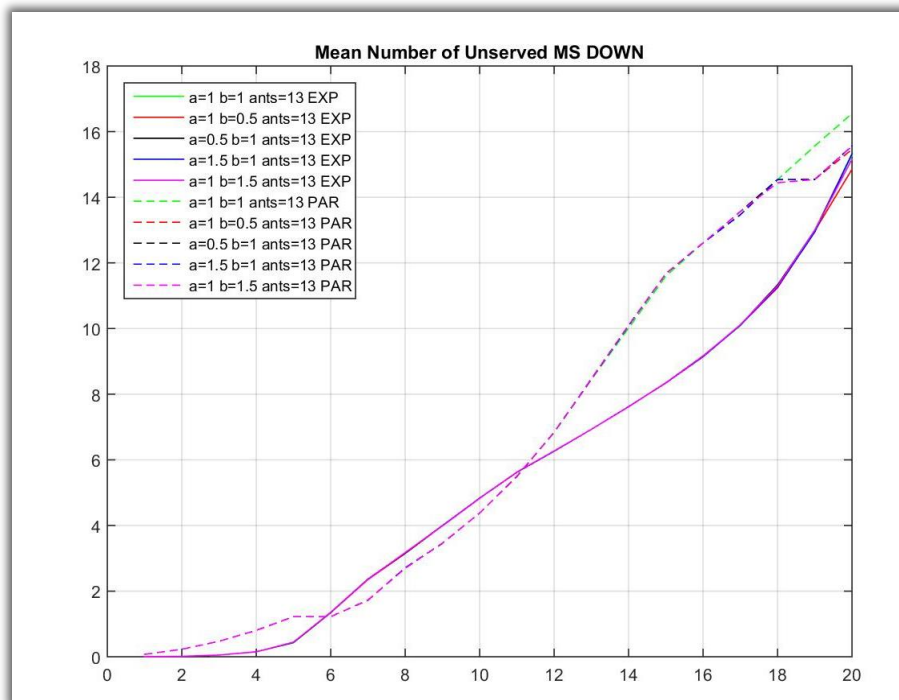
**Εικόνα 43 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Στην Εικόνα 43 παρατηρούμε τον μέσο όρο των μη εξυπηρετημένων θυρίδων του κατερχόμενου υποπλαισίου. Για την εκθετική κίνηση δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου θυρίδες που να μην έχουν εξυπηρετηθεί. Αυτό συμβαίνει γιατί το WiMAX επιτρέπει την χρήση μεγαλύτερου ποσοστού πόρων του συστήματος στο κατερχόμενο υποπλαίσιο σε περιπτώσεις που το σύστημα τις χρειάζεται. Στην κίνηση με μορφή ριπών, ο αριθμός των θυρίδων που δεν εξυπηρετήθηκαν είναι πολύ μεγαλύτερος. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μεγάλες και σύντομες μεταβολές της κίνησης δεν επιτρέπουν στον αλγόριθμο να μεταβληθεί ικανοποιητικά ώστε να ανταποκριθεί στον φόρτο της κίνησης. Σαν αποτέλεσμα οι μη εξυπηρετημένες θυρίδες του κατερχόμενου υποπλαισίου για την κίνηση με μορφή ριπών είναι αυξημένες σημαντικά σε σχέση με της εκθετικής κίνησης. Ειδικότερα η επιλογή ( $\alpha=1, \beta=1$ ) εμφανίζει διαφοροποίηση με τις υπόλοιπες καμπύλες της ίδιας μορφής κίνησης. Οι συγκεκριμένες τιμές ορίζουν πως η απόσταση της επιλογής υπό εξέταση και η φερομένη που έχει η επιλογή υπό εξέταση έχουν την ίδια βαρύτητα στην απόφαση του αλγορίθμου.



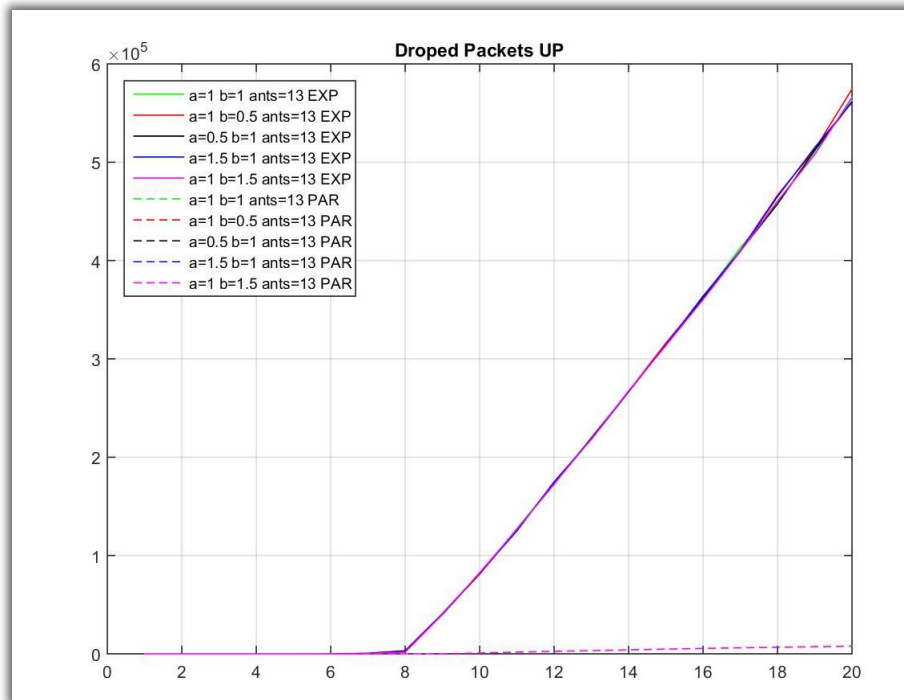
**Εικόνα 44 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Στην Εικόνα 44 εμφανίζεται το γράφημα του μέσου όρου μη εξυπηρετημένων συνδρομητών του ανερχόμενου υποπλαισίου. Οι καμπύλες είναι όμοιες για τον ίδιο τύπο κίνησης. Για μικρό αριθμό συνδρομητών (1 μέχρι 6 συνδρομητές) ο αλγόριθμος ανταποκρίνεται καλύτερα στην εκθετική κίνηση χωρίς όμως να υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές των καμπυλών. Στο επόμενο κομμάτι (6 μέχρι 10) συνδρομητές βελτιώνεται η απόδοση για την κίνηση με μορφή ριπών. Από την προσθήκη του 10ου συνδρομητή στο σύστημα δεν υπάρχουν διαφορές για τον αριθμό των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών του ανερχόμενου υποπλαισίου. Ο αλγόριθμος εντοπίζει τις αλλαγές τον όγκο της κίνησης εξ αιτίας της αύξησης του αριθμού των συνδρομητών και κάνει εξισορρόπηση του φόρτου έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών.



**Εικόνα 45 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

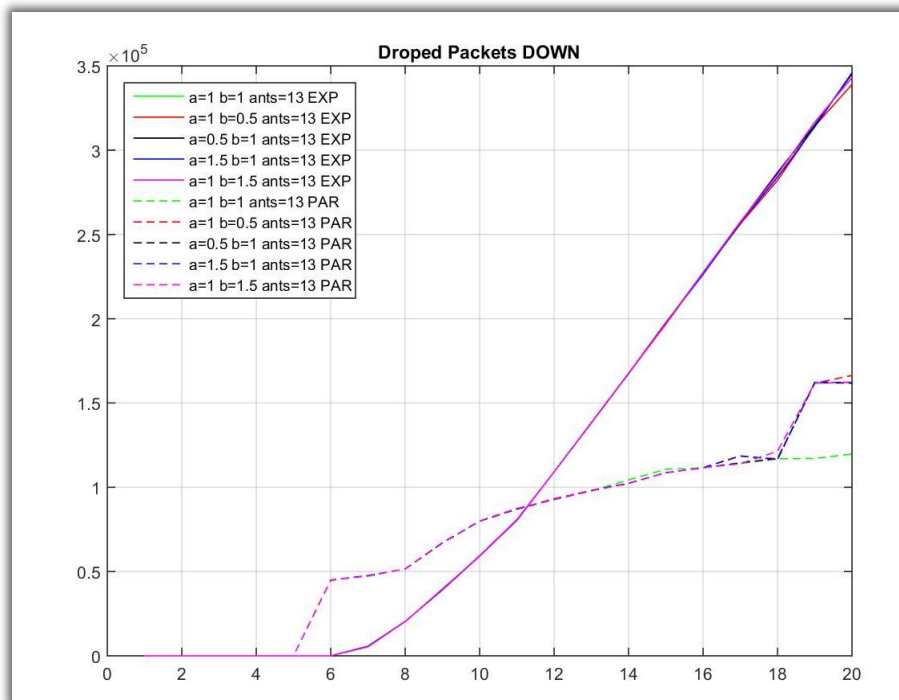
Στην Εικόνα 45 εμφανίζεται ο μέσος όρος μη εξυπηρετημένων συνδρομητών του κατερχόμενου υποπλαισίου. Οι καμπύλες για την εκθετική κίνηση είναι όμοιες αλλά στο πρώτο μέρος (1 μέχρι 6 συνδρομητή) η απόδοση για την εκθετική είναι μικρότερη από αυτήν της κίνησης με μορφή ριπών σε αντίθεση με την Εικόνα 44. Από την προσθήκη του 12ου συνδρομητή στο σύστημα ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών στο κατερχόμενο υποπλαίσιο αυξάνεται σημαντικά. Ειδικότερα η επιλογή ( $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ) εμφανίζει διαφοροποίηση με τις υπόλοιπες καμπύλες της ίδιας μορφής κίνησης. Οι συγκεκριμένες τιμές ορίζουν πως η απόσταση της επιλογής υπό εξέταση και η φερομόνη που έχει η επιλογή υπό εξέταση έχουν την ίδια βαρύτητα στην απόφαση του αλγορίθμου. Η συγκεκριμένη απόφαση του αλγορίθμου μπορεί να είχε αρνητικό αντίκτυπο στον αριθμό των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών, όμως όπως θα δούμε στην Εικόνα 47, είχε θετική επίδραση στον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων του κατερχόμενου υποπλαισίου και για αυτό επιλέχθηκε από τον αλγόριθμο.



**Εικόνα 46 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

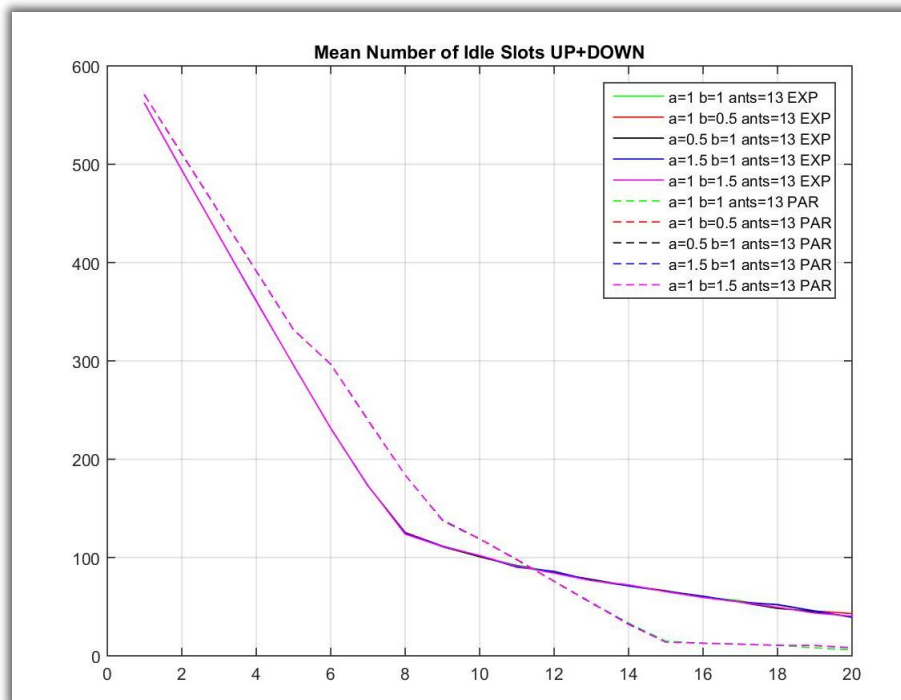
Στην Εικόνα 46 παρατηρούμε τον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων του ανερχόμενου υποπλαισίου. Βλέπουμε ότι για την κίνηση με μορφή ριπών δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου απορριφθέντα πακέτα. Το ίδιο συμβαίνει και για την εκθετική κίνηση όταν ο αριθμός των συνδρομητών είναι μικρός, όμως μετά την προσθήκη του 9 συνδρομητή στο σύστημα η αύξηση είναι μεγάλη. Ο αλγόριθμος δεν μπορεί να ανταποκριθεί στον αυξανόμενο όγκο της κίνησης οπότε προσπαθεί να κάνει εξισορρόπηση του φόρτου ανάμεσα στο ανερχόμενο και στο κατερχόμενο υποπλαίσιο.





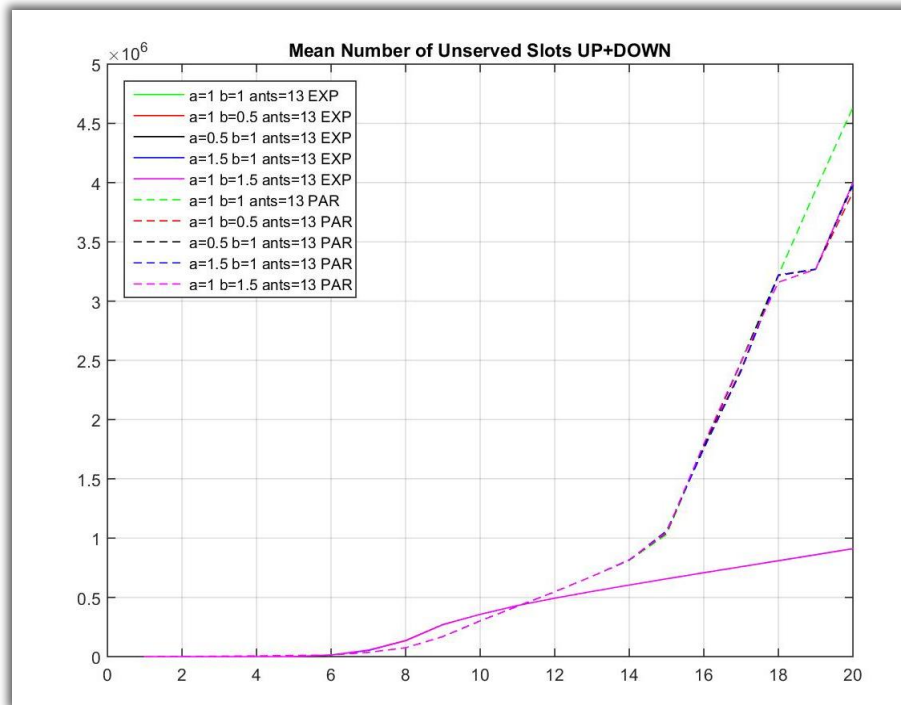
**Εικόνα 47 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Στην Εικόνα 47 βλέπουμε τον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων του ανερχόμενου υποπλαισίου. Οι καμπύλες της εκθετικής κίνησης είναι όμοιες μεταξύ τους με μικρές διαφορές στο τέλος της κάθε καμπύλης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 46 ο αλγόριθμος προσπαθεί να κάνει εξισορρόπηση φόρτου ανάμεσα στα δύο υποπλάισια. Στην κίνηση με μορφή ριπών η λειτουργία του αλγορίθμου ωθεί στην απόρριψη πακέτων, αρχικά μεγαλύτερου αριθμού από την λειτουργία στην εκθετική κίνηση όμως μετά την προσθήκη του 11ου συνδρομητή στο σύστημα οι τιμές είναι χαμηλότερες από αυτές της εκθετικής. Η αναλογία ( $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ) όπου στην Εικόνα 43 και στην Εικόνα 45 είχε τον μεγαλύτερο αριθμό μη εξυπηρετημένων θυρίδων και συνδρομητών αντίστοιχα στο κατερχόμενο υποπλάισιο, έχει τον μικρότερο αριθμό απορριφθέντων πακέτων στο τελευταίο κομμάτι της καμπύλης. Η συγκεκριμένη αναλογία κάνει πιο δίκαιη την κατανομή των πόρων του συστήματος. Οι υπόλοιπες καμπύλες της κίνησης με μορφή ριπών έχουν την ίδια μορφή με μικρές διαφοροποιήσεις. Ο αυξημένος αριθμός απορριφθέντων πακέτων στο κατερχόμενο υποπλάισιο οφείλεται σε ένα μεγάλο βαθμό στην κοινή ουρά που έχουν τα δεδομένα που θα αποσταλούν από τον σταθμό βάσης, σε αντίθεση με την ξεχωριστή ουρά που έχει ο κάθε συνδρομητής για τα δεδομένα που θα στείλει προς τον σταθμό.



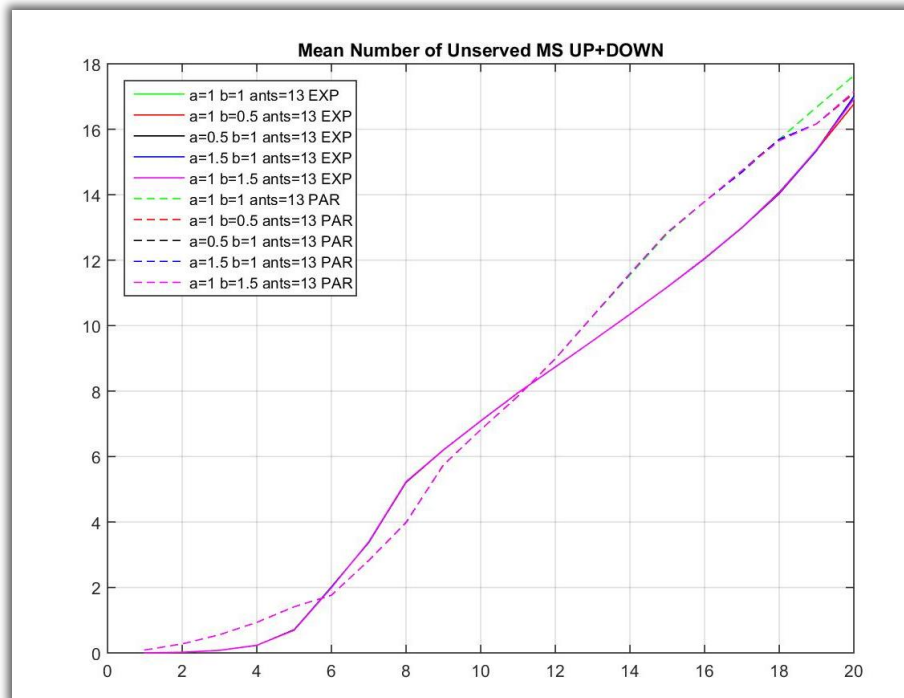
**Εικόνα 48 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων στον ACO**

Στην Εικόνα 48 βλέπουμε τον μέσο όρο των αδρανών θυρίδων συνολικά και για τα δύο υποπλάισια. Και οι δύο μορφές κίνησης είναι πολύ κοντά σε τιμές. Δεν υπάρχει κάποια διαφορά στην απόδοση του αλγορίθμου σε αυτό το κομμάτι, αλλάζοντας την αναλογία της βαρύτητας για την απόφαση του αλγορίθμου. ο αλγόριθμος έχει την ίδια συμπεριφορά και για τις δύο μορφές.



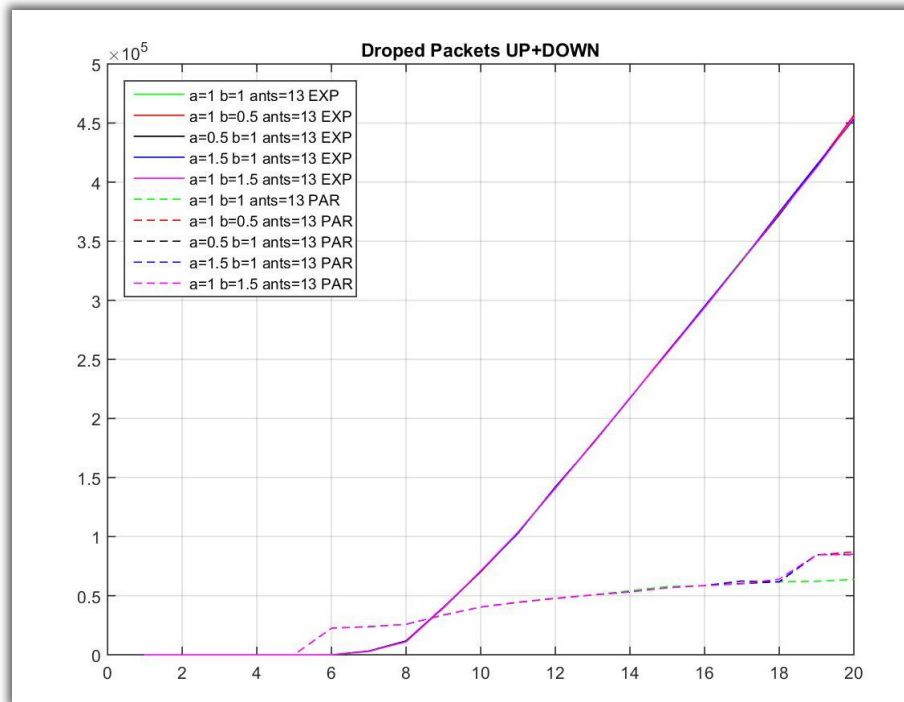
**Εικόνα 49 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων στον ACO**

Στην Εικόνα 49 εμφανίζεται ο μέσος όρος μη εξυπηρετημένων θυρίδων συνολικά και για τα δύο υποπλαισία. Η λειτουργία του αλγορίθμου για την εκθετική κίνηση δείχνει μικρότερο αριθμό μη εξυπηρετημένων θυρίδων, καθώς αυτός ο τύπος κίνησης βοηθά τη λειτουργία του αλγορίθμου. Οι καμπύλες της εκθετικής έχουν όλες την ίδια μορφή με τις ίδιες τιμές. Στην κίνηση με μορφή ριπών από την προσθήκη του 12ου συνδρομητή και μετά αυξάνονται σημαντικά οι τιμές των καμπυλών. Οι ραγδαίες και στιγμιαίες μεταβολές της κίνησης δεν επιτρέπουν στον αλγόριθμο να αντιδράσει έγκαιρα και αποδοτικά. Ο αλγόριθμος λαμβάνει λάθος απόφαση με αποτέλεσμα να παραμένουν πακέτα στις ουρές του σταθμού βάσης και των συνδρομητών. Η αναλογία ( $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ) όπως είδαμε στην Εικόνα 43 εμφανίζει διαφορές με τις υπόλοιπες καμπύλες της ίδιας μορφής κίνησης. Οι επιλογές του αλγορίθμου αυξήσανε τον αριθμό των μη εξυπηρετημένων θυρίδων όμως όπως φαίνεται στην Εικόνα 51 μειώνει τα απορριφθέντα πακέτα.



**Εικόνα 50 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών στον ACO**

Στην Εικόνα 50 βλέπουμε τον μέσο όρο των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών συνολικά και για τα δύο υποπλαίσια. Οι καμπύλες για την εκθετική κίνηση είναι ίδιες κατά μήκος του γραφήματος, όπως και οι καμπύλες για την κίνηση με μορφή ριπών. Διαφορές εμφανίζει το κομμάτι των τελευταίων δύο συνδρομητών για την κίνηση με μορφή ριπών, όπου η αναλογία ( $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ) έχει μεγαλύτερη τιμή από τις υπόλοιπες. Οι τιμές των καμπυλών μας δείχνουν ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά για τον αριθμό των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών συνολικά και για τα δύο υποπλαίσια, για τις δυο διαφορετικές μορφές κίνησης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πόροι του συστήματος είναι περιορισμένοι και ο αλγόριθμος από έναν αριθμό συνδρομητών και μετά μπορεί να κάνει μόνο εξισορρόπηση φόρτου.



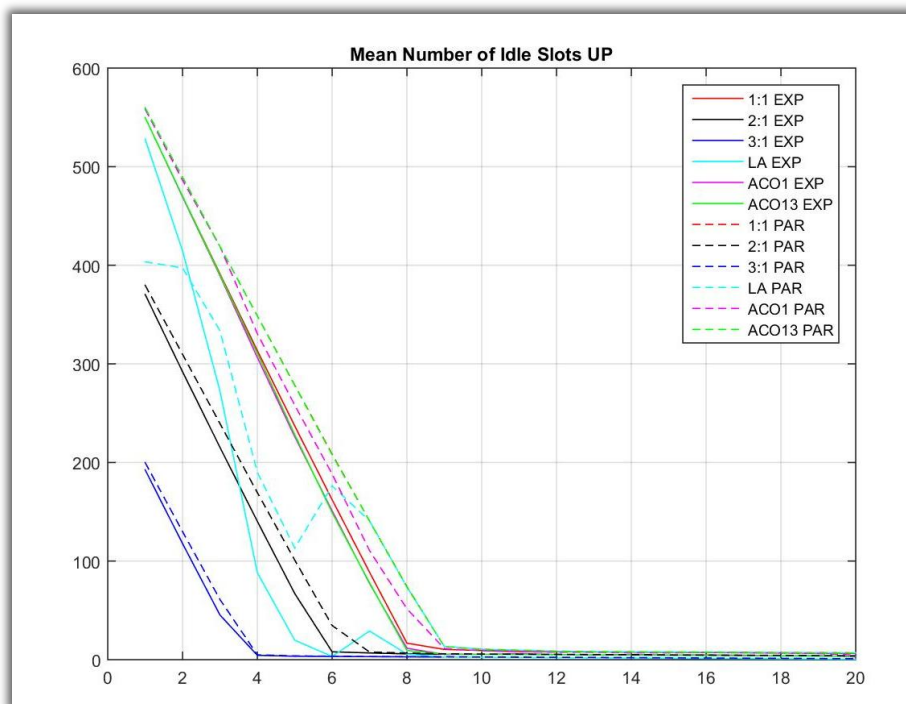
**Εικόνα 51 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων στον ACO**

Στην Εικόνα 51 βλέπουμε τον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων συνολικά και για τα δύο υποπλαίσια. Ο αλγόριθμος για την εκθετική κίνηση δεν λειτουργεί αποδοτικά για τον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων του συστήματος. Παρόλο που δεν υπάρχουν αποκλείσεις μεταξύ των καμπυλών οι τιμές των καμπυλών είναι μεγάλες. Για την κίνηση με μορφή ριπών τα απορριφθέντα πακέτα είναι πολύ μικρότερα σε αριθμό. Ειδικότερα η αναλογία ( $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ) έχει την χαμηλότερη τιμή για τα απορριφθέντα πακέτα. Αυτό οφείλεται στο ότι οι σύντομες μεταβολές της κίνησης δεν μεταβάλουν την απόφαση του αλγορίθμου, και παραμένει η πιο αποδοτική από άποψη εξισορρόπησης φόρτου.

Είδαμε στην παραπάνω ανάλυση ότι οι διαφορετικές τιμές των μεταβλητών  $\alpha$  και  $\beta$  δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στην απόδοση του δικτύου. Οι τιμές αυτές τέθηκαν αυθαίρετα με σκοπό να μελετηθεί τυχόν διαφοροποίηση της λειτουργίας του αλγορίθμου.

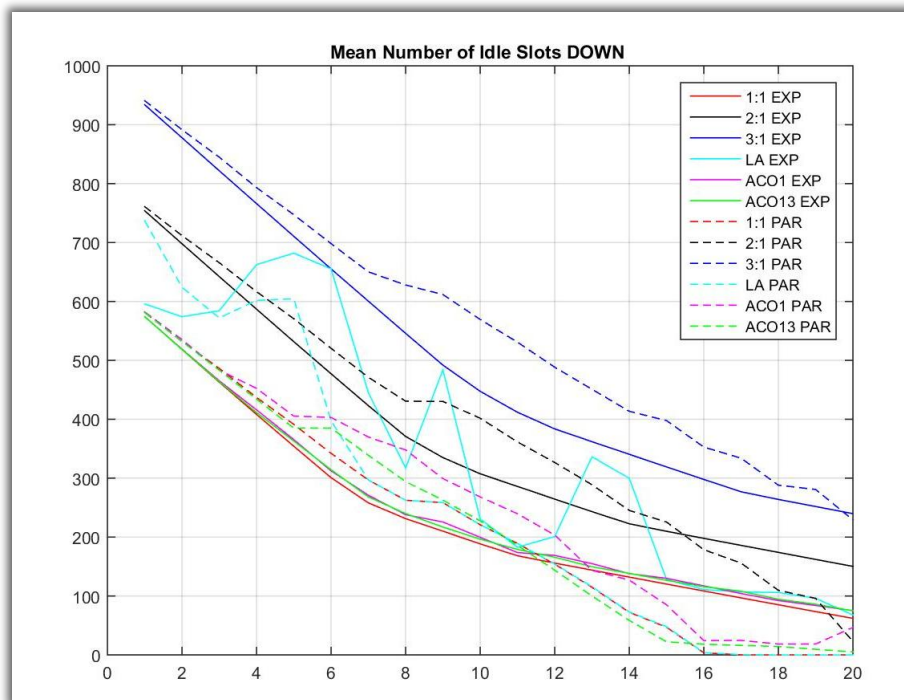
## 5.7 Σύγκριση LA με ACO

Το τελευταίο κομμάτι των συγκρίσεων αφορά το αυτόματο μάθησης (LA), τον αλγόριθμο ACO και τις αναλογίες 1:1, 1:2, 1:3. Οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν και για τα δύο είδη κίνησης. Για το αυτόματο μάθησης η τιμή του L μεταβάλλεται δυναμικά ενώ για τον ACO οι τιμές του  $\alpha$  και  $\beta$  είναι 1 και εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με 1 αλλά και με 13 μυρμήγκια.



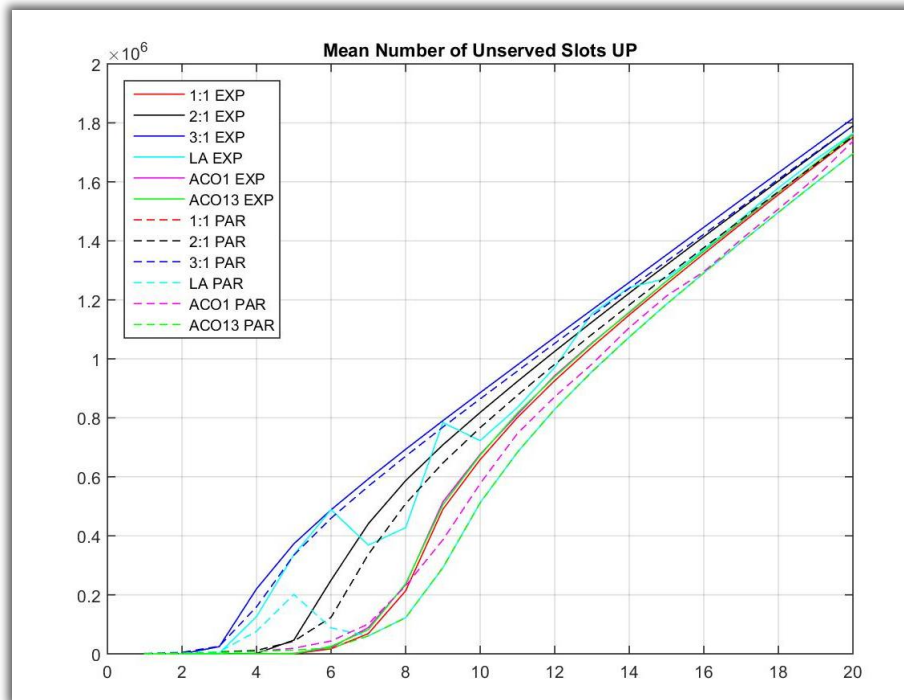
**Εικόνα 52 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Στην Εικόνα 52 εμφανίζεται το γράφημα του μέσου όρου αδρανών θυρίδων στο ανερχόμενο υποπλαίσιο. Οι σταθερές αναλογίες εμφανίζουν παρόμοιες καμπύλες και για τους δύο τύπους κίνησης. Ο ACO και για τους δύο τύπους κίνησης εμφανίζει αυξημένο αριθμό αδρανών σε σχέση με τις υπόλοιπες σταθερές αναλογίες και για τις δύο παραλλαγές του γιατί μοιράζει ισομερώς τους πόρους στα δύο υποπλαίσια. Οι καμπύλες και για τους δύο τύπους κίνησης είναι παρόμοιες. Ο LA στην εκθετική κίνηση εμφανίζει μικρότερο αριθμό αδρανών θυρίδων καθώς λόγω της λειτουργίας του μοιράζει το ποσοστό των πόρων του ανάλογα με το ποσοστό της κίνησης. Στην κίνηση με μορφή ριπών μεταβάλλεται αρκετά, κυρίως λόγω των απότομων μεταβολών της κίνησης. Από την προσθήκη του δού συνδρομητή στο σύστημα και μετά, η κίνηση στο ανερχόμενο υποπλαίσιο δεν επιτρέπει την ύπαρξη αδρανών θυρίδων.



**Εικόνα 53 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

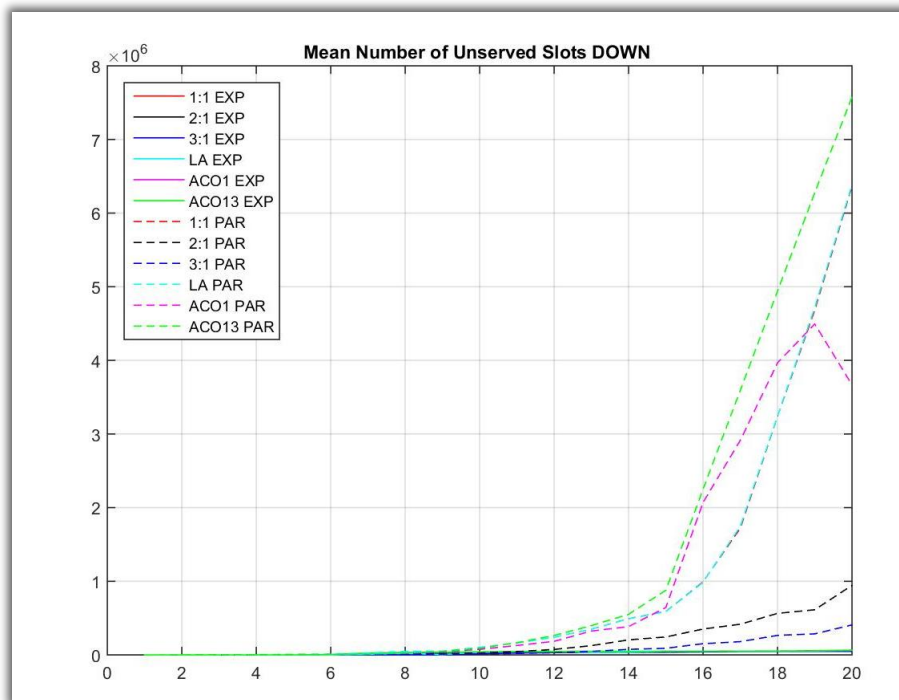
Στην Εικόνα 53 εμφανίζεται το γράφημα του μέσου όσου αδρανών θυρίδων στο κατερχόμενο υποπλαίσιο. Οι καμπύλες των σταθερών αναλογιών παρουσιάζουν διαφορές για τους δύο τύπους κίνησης, όμως για τον ίδιο τύπο κίνησης η μορφή της κάθε καμπύλης έχει την ίδια μορφή. Για την εκθετική κίνηση ο ACO πλησιάζει την καμπύλη της σταθερής αναλογίας 1:1, κάνει δηλαδή ισομερή διαμοιρασμό των πόρων του συστήματος. Για την κίνηση με μορφή ριπών οι παραλλαγές με 1 και με 13 μυρμήγκια έχουν διαφορετικές τιμές. Ο αλγόριθμος προσπαθεί να ισοροπήσει τις απαιτήσεις των δύο υποπλαισίων μοιράζοντας τους πόρους ανάλογα με την κίνηση. Ο LA για την εκθετική κίνηση έχει αρκετά πιο μεγάλο αριθμό αδρανών θυρίδων από τον ACO. Αυτό γίνεται γιατί το αυτόματο δεν μπορεί να προσαρμοστεί στις μικρές αλλαγές της εκθετικής κίνησης. Στην κίνηση με μορφή ριπών όμως είναι κοντά σε τιμές με τον ACO, καθώς το δυναμικά μεταβαλλόμενο L το οποίο χρησιμοποιήθηκε, δεν επέτρεπε στο αυτόματο να αντιδράσει έντονα στις μεταβολές της κίνησης, κρατώντας την ιδανική αναλογία που είχε από την αρχή.



**Εικόνα 54 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

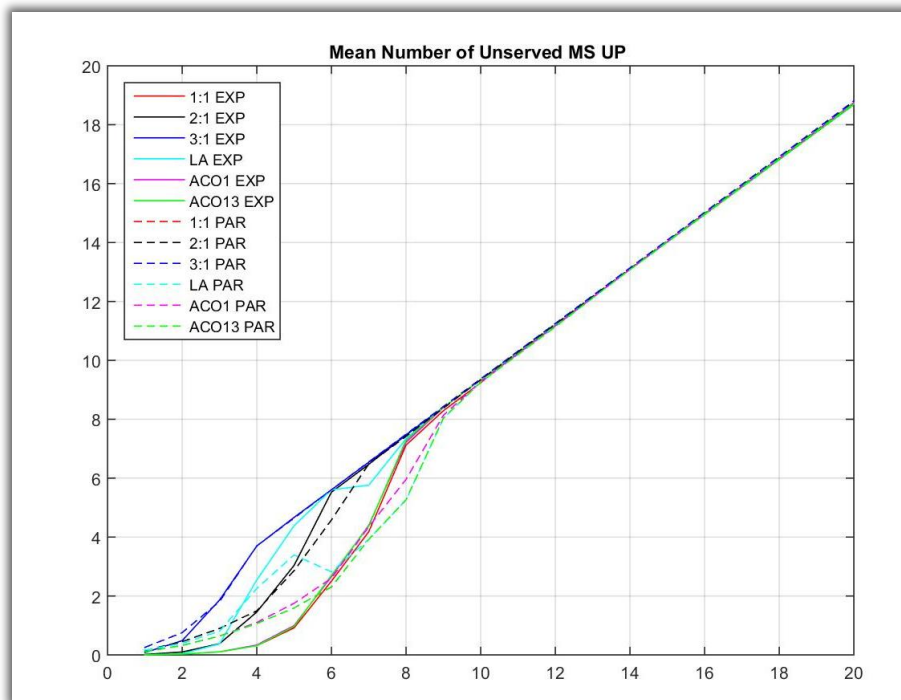
Στην Εικόνα 54 βλέπουμε τον μέσο όρο μη εξυπηρετημένων θυρίδων στο ανερχόμενο υποπλαίσιο. Για την εκθετική κίνηση οι παραλλαγές του ACO ακολουθούν την αναλογία 1:1 η οποία έχει τον μικρότερο αριθμό μη εξυπηρετημένων θυρίδων. Αυτό γίνεται γιατί ο αλγόριθμος προσπαθεί να φέρει το σύστημα σε κατάσταση ισορροπίας. Ο LA στην εκθετική δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στις μικρές μεταβολές της κίνησης με αποτέλεσμα ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων θυρίδων να είναι σχετικά πιο μεγάλος από του ACO στο μεγαλύτερο μέρος του γραφήματος. Στην κίνηση με μορφή ριπών ο LA συγκλίνει με τον ACO με 13 μυρμήγκια, έχοντας και οι δύο τις χαμηλότερες τιμές. Αυτό οφείλεται στο ότι και οι δύο αλγόριθμοι δεν αντιδρούνε τόσο απότομα στις μεγάλες μεταβολές της κίνησης. Ο ACO με ένα μυρμήγκι παρόλο που δεν είναι τόσο αποδοτικός όσο ο LA και ο ACO με 13 μυρμήγκια, είναι κοντά σε τιμές με τους άλλους δύο.





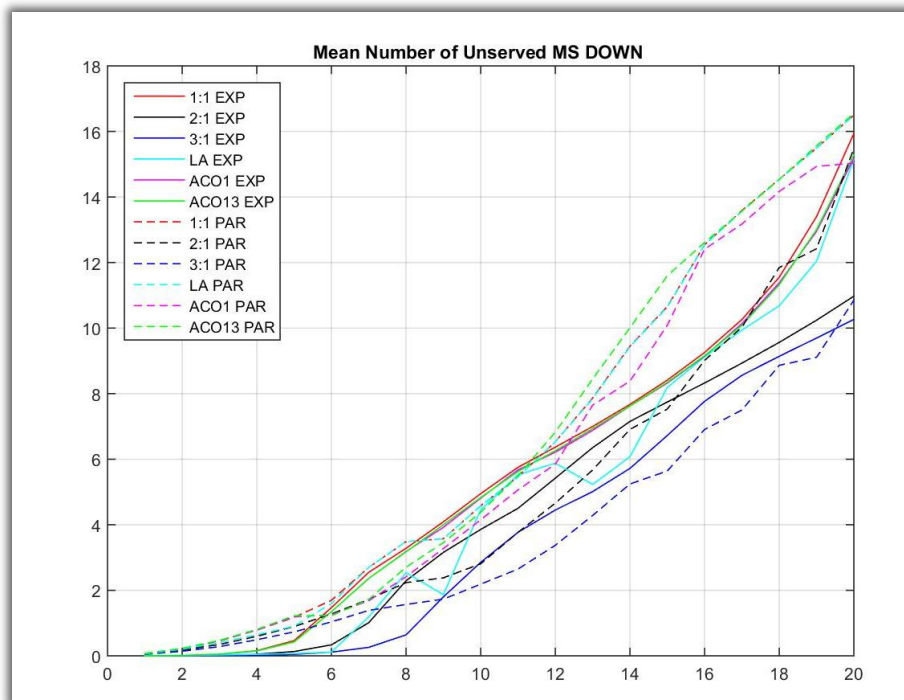
**Εικόνα 55 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Στην Εικόνα 55 βλέπουμε τον μέσο όρο μη εξυπηρετημένων θυρίδων στο κατερχόμενο υποπλαίσιο. Παρατηρούμε ότι στο κατερχόμενο πλαίσιο, η εκθετική κίνηση δεν έχει σχεδόν καθόλου μη εξυπηρετημένες θυρίδες. Στην κίνηση με μορφή ριπών ο LA καταφέρνει και κάνει διαμοιρασμών των πόρων ανάμεσα στα δύο υποπλαίσια με καλύτερη απόδοση από ότι οι δύο παραλλαγές του ACO. Ενώ στην Εικόνα 54 βλέπουμε ότι οι δύο αλγόριθμοι συγκλίνουν, στην Εικόνα 55 οι τιμές του LA είναι πιο χαμηλά. Οι συνεχείς μεταβολές του ACO γύρω από την βέλτιστη επιλογή δημιουργούν προβλήματα στον σωστό διαμοιρασμό των θυρίδων στα δύο υποπλαίσια.



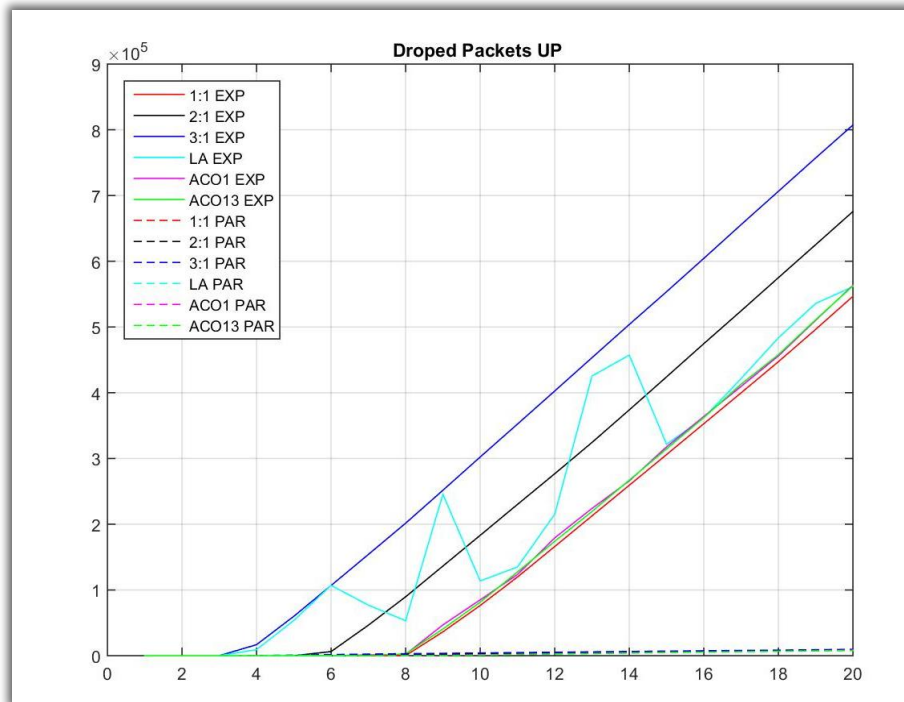
**Εικόνα 56 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Στην Εικόνα 56 βλέπουμε τον μέσο όρο μη εξυπηρετημένων συνδρομητών του ανερχόμενου υποπλαισίου. Όταν το σύστημα έχει λίγους συνδρομητές η λειτουργία του ACO και για τις δύο παραλλαγές είναι πιο αποδοτική από τον LA καθώς οι μη εξυπηρετημένοι συνδρομητές είναι λιγότεροι. Αυτό ισχύει και στους δύο τύπους κίνησης. Από την προσθήκη του 10ου συνδρομητή δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις, δηλαδή το σύστημα εξαντλεί όλους τους πόρους που μπορεί να διαθέσει σε κάθε συνδρομητή ξεχωριστά για το ανερχόμενο υποπλαίσιο.



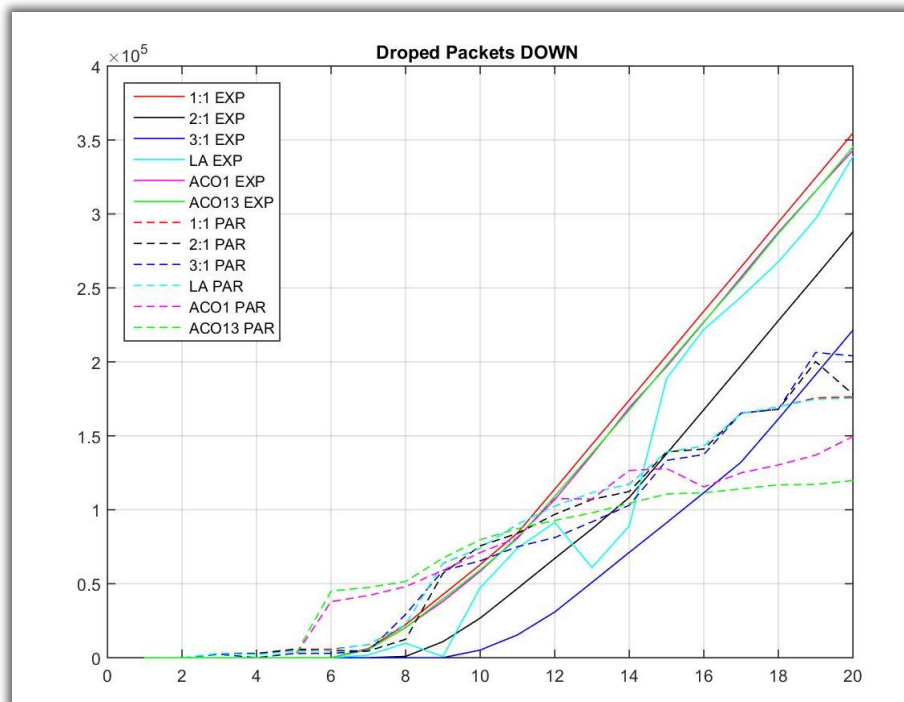
**Εικόνα 57 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Στην Εικόνα 57 βλέπουμε τον μέσο όρο μη εξυπηρετημένων συνδρομητών του κατερχόμενου υποπλαισίου. Για την εκθετική κίνηση οι δύο παραλλαγές έχουν τον μεγαλύτερο αριθμό μη εξυπηρετημένων συνδρομητών, καθώς ο αλγόριθμος έδωσε πόρους στο ανερχόμενο υποπλαίσιο για να ισορροπήσει το ποσοστό θυρίδων που έχει το κάθε υποπλαίσιο ανάλογα με την κίνηση. Ο LA εμφανίζει καλύτερη απόδοση από ότι ο ACO παρόλο που δεν τον ευνοεί το είδος της κίνησης αυτής με τις μικρές μεταβολές. Στην κίνηση με μορφή ριπών, ο ACO με ένα μυρμήγκι έχει την καλύτερη απόδοση μεταξύ των αλγορίθμων ακολουθούμενος από τον LA και από τον ACO με 13 μυρμήγκια. Αυτό γίνεται διότι ο ACO αντιδρά με μικρότερο ρυθμό από ότι οι άλλοι δύο αλγόριθμοι, οπότε δεν επηρεάζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό από τις μεγάλες μεταβολές της κίνησης. Παραμένει έτσι για μεγαλύτερο διάστημα στην βέλτιστη επιλογή για την εξισορρόπηση του φόρτου στο σύστημα.



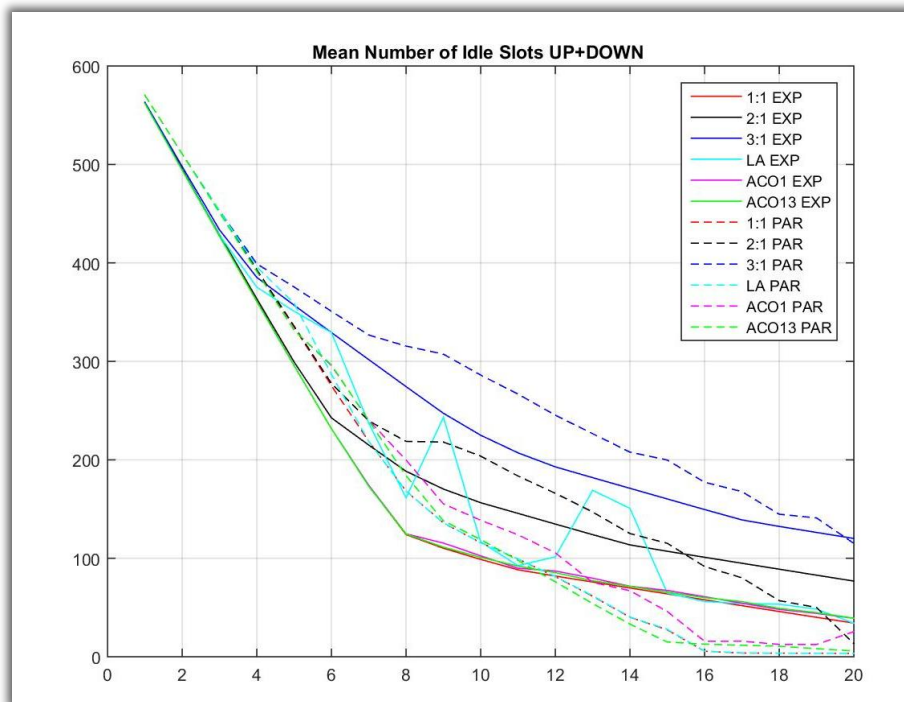
**Εικόνα 58 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Στην Εικόνα 58 βλέπουμε τον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων του ανερχόμενου υποπλαισίου. Παρατηρούμε ότι για την κίνηση με μορφή ριτών δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου απορριφθέντα πακέτα. Ο ACO στην εκθετική κίνηση προσαρμόζεται στις μικρές μεταβολές της κίνησης και φέρνει το σύστημα στην κατάσταση με τα λιγότερα απορριφθέντα πακέτα. Ο LA δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στις μικρές μεταβολές της κίνησης τόσο καλά, για αυτό και υπάρχουνε μεγάλες μεταβολές στις τιμές του.



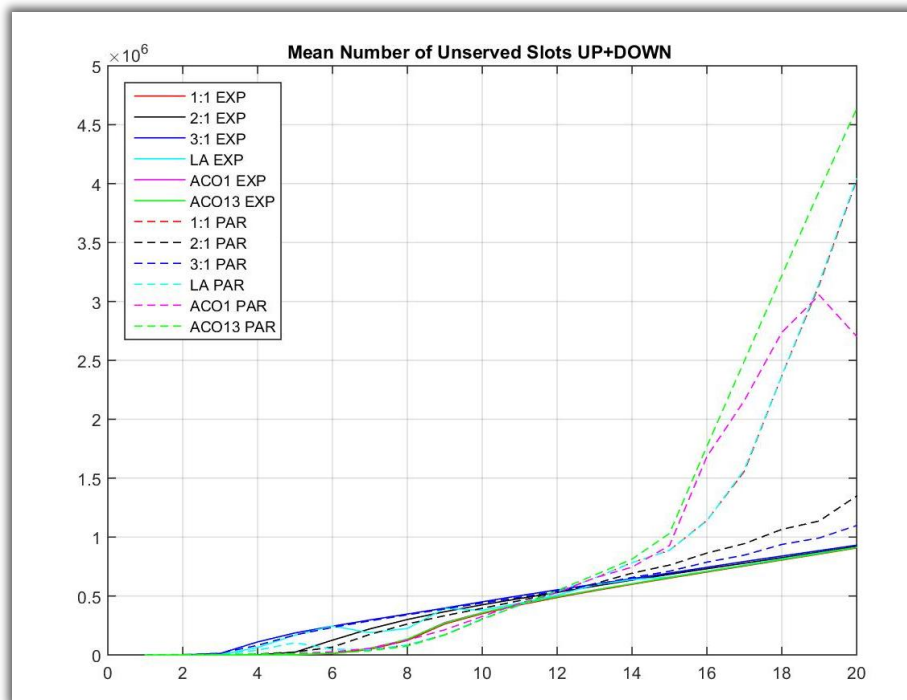
**Εικόνα 59 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Στην Εικόνα 59 βλέπουμε τον αριθμό απορριφθέντων πακέτων του κατερχόμενου υποπλαισίου. Στην εκθετική κίνηση, λόγω του φόρτου και οι δύο παραλλαγές του ACO προσπαθούν να εξισορροπήσουν το σύστημα. Αυτό γίνεται μεταφέροντας πόρους από το κατερχόμενο στο ανερχόμενο υποπλαίσιο, κάτι που φαίνεται πιο καλά στην Εικόνα 63. Και ο LA προσπαθεί να κάνει εξισορρόπηση φόρτου όχι όμως τόσο αποδοτικά, κυρίως λόγω της λειτουργίας του. Στην κίνηση με μορφή ριπών οι δύο παραλλαγές του ACO έχουν τις χαμηλότερες τιμές απορριφθέντων πακέτων για αυτόν τον τύπο της κίνησης μετά την προσθήκη του 10ου συνδρομητή. Μέχρι την προσθήκη του 10ου συνδρομητή χαμηλότερες τιμές μεταξύ των δύο αλγορίθμων έχει ο LA. Όλες αυτές οι μεταβολές των αλγορίθμων είναι οι προσπάθειες τους να ανταπεξέλθουν στην αυξημένη κίνηση που δημιουργούν οι συνδρομητές, οι οποίοι από την προσθήκη του 8ου συνδρομητή στο σύστημα και μετά καταναλώνουν όλους τους πόρους του συστήματος



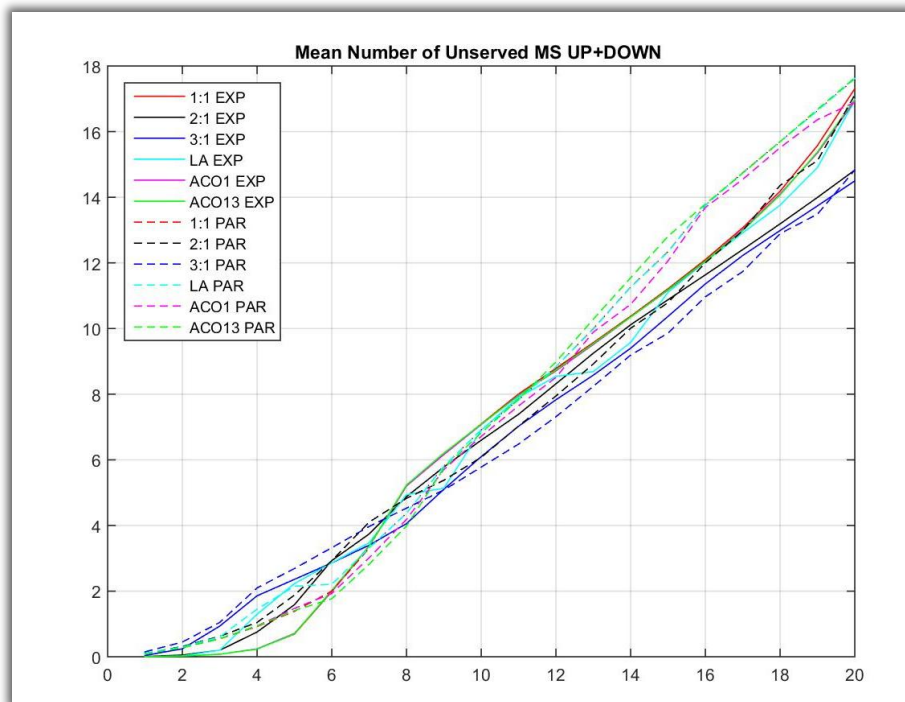
**Εικόνα 60 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων**

Στην Εικόνα 60 βλέπουμε τον μέσο όρο αδρανών θυρίδων συνολικά και για τα δύο υποπλαίσια. Παρατηρούμε ότι για την εκθετική κίνηση οι δύο παραλλαγές του ACO έχουν τις χαμηλότερες τιμές. Για τον ίδιο τύπο κίνησης ο LA δεν μπορεί να αντιδράσει σωστά για αυτό οι τιμές του μεταβάλλονται αρκετά. Για την κίνηση με μορφή ριπών ο LA είναι πολύ κοντά σε τιμές με τον ACO με 13 μυρμήγκια. Ο ACO με ένα μυρμήγκι έχει μεγαλύτερες τιμές από τους δύο προηγούμενους αλγορίθμους όμως είναι κοντά. Οι χαμηλές τιμές των αδρανών θυρίδων μας δείχνουν ότι και ο LA αλλά και οι δυο παραλλαγές του ACO χρησιμοποιούν και αξιοποιούν τους πόρους του συστήματος στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.



**Εικόνα 61 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων**

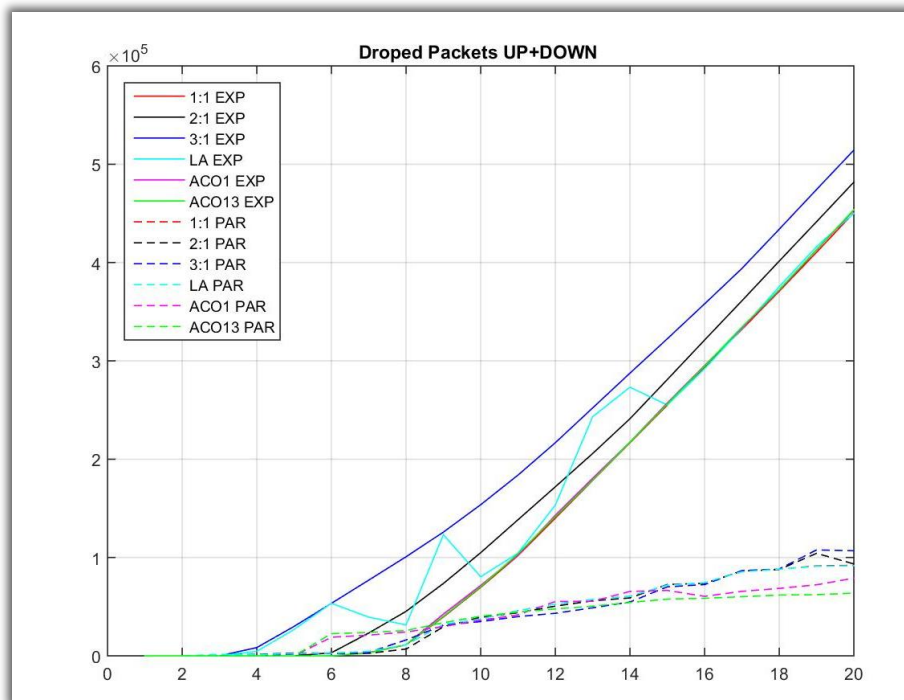
Στην Εικόνα 61 βλέπουμε τον μέσο όρο μη εξυπηρετημένων θυρίδων και για τα δύο υποπλαίσια συνολικά. Παρατηρούμε πως για την εκθετική κίνηση οι τιμές των πιο πολλών καμπυλών συγκλίνουν από την μέση του γραφήματος και μετά. Δεν υπάρχουν διαφορές καθώς για τον ίδιο τύπο κίνησης οι πόροι που χρησιμοποιεί το σύστημα είναι οι ίδιοι. Ο αυξημένος αριθμός χρηστών εξαντλεί αυτούς τους πόρους χωρίς να μπορεί να αντιδράσει το σύστημα. Στην κίνηση με μορφή ριπών υπάρχει μια μεγάλη αύξηση στον αριθμό των θυρίδων που δεν εξυπηρετήθηκαν για τις δύο παραλλαγές του ACO καθώς και για τον LA. Αυτό συμβαίνει γιατί ο τύπος της κίνησης είναι τέτοιος που οι αλγόριθμοι δεν προλαβαίνουν να προσαρμοστούν σε αυτήν. Ο μεγάλος όγκος δεδομένων που δημιουργείται ξαφνικά αφνιδιάζει το σύστημα το οποίο δεν προλαβαίνει να αντιδράσει γιατί η δημιουργία της κίνησης διαρκεί για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.



**Εικόνα 62 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών**

Στην Εικόνα 62 βλέπουμε τον μέσο όρο μη εξυπηρετημένων συνδρομητών συνολικά και για τα δύο υποπλάισια. Οι καμπύλες ακολουθούνε την ίδια πορεία και είναι αρκετά κοντά σε τιμές. Αυτό σημαίνει πως το σύστημα με την είσοδο του κάθε συνδρομητή περιορίζεται σημαντικά σε πόρους. Οι αλγόριθμοι σε αυτήν την περίπτωση κάνουν εξισορρόπηση του φόρτου μοιράζοντας τους πόρους μεταξύ των δύο υποπλαισίων όσο γίνεται πιο δίκαια.





**Εικόνα 63 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων**

Στην Εικόνα 63 βλέπουμε τον αριθμό των απορριφθέντων πακέτων συνολικά και για τα δύο υποπλάισια. Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των απορριφθέντων πακέτων είναι μεγαλύτερος στην εκθετική κίνηση από ότι στην κίνηση με μορφή ριπών. Οι δύο παραλλαγές του ACO έχουν τις χαμηλότερες τιμές στις καμπύλες τους. Ο LA έχει μεγαλύτερες τιμές καθώς δεν μπορεί να προσαρμοστεί στις μικρές διακυμάνσεις της εκθετικής κίνησης. Στην κίνηση με μορφή ριπών οι τιμές των καμπυλών των παραλλαγών του ACO είναι αρκετά κοντά σε τιμές και χαμηλές κατά μήκος του γραφήματος. Οι τιμές του LA αρχικά είναι χαμηλότερες από αυτές του ACO. Μετά από την προσθήκη του 10ου οι τιμές του LA γίνονται πιο μεγάλες από του ACO. Οι μεταβολές αυτές των τιμών γίνονται επειδή οι αλγόριθμοι προσπαθούν να εξισορροπήσουν τον φόρτο της κίνησης που δημιουργείται στο σύστημα την στιγμή που δεν έχουν άλλους πόρους για να καταλείμουν στους καινούργιους χρήστες που συνδέονται.

## 6 Συμπεράσματα - Μελλοντικές Επεκτάσεις

### 6.1 Συμπεράσματα

Τα ασύρματα δίκτυα 4ης γενιάς προσφέρουν νέες δυνατότητες για ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών. Παρουσιάζουν προοπτικές για εξέλιξη των υπηρεσιών που προσφέρουν μέσα από την δημιουργία καινούργιων προτύπων αλλά και την βελτιστοποίηση των ήδη υπαρχόντων.

Στην παρούσα διπλωματική, μελετήθηκαν δύο διαφορετικοί αλγόριθμοι για δυναμική κατανομή του εύρους ζώνης σε περιβάλλον κινητών συνδρομητών. Ο ένας είναι μέσω ενός Αυτόματου Μάθησης και ο άλλος ο Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών. Το βασικό χαρακτηριστικό και των δύο είναι η δυνατότητα μάθησης από τις επιλογές τους. Η κάθε επιλογή για την κατανομή των πόρων στα δύο υποπλάισια έχει μια αντίδραση από το σύστημα. Η αντίδραση αυτή μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική. Οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τις αντιδράσεις που έχουν λάβει από το σύστημα για να προβλέψουν τις μεταβολές της κίνησης και να ανταποκριθούν σε αυτές. Έτσι η λειτουργία του δικτύου γίνεται πιο δυναμική και ευέλικτη ενώ η απόδοση του αυξάνεται σημαντικά.

Από την σύγκριση μεταξύ τους και με τις στατικές κατανομές βλέπουμε ότι υπερτερούν σε σχέση με τις στατικές κατανομές. Αυτό συμβαίνει γιατί επιλέγουν, σε ένα μεγάλο ποσοστό, την σωστή αναλογία ανερχόμενων/κατερχόμενων θυρίδων ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν την κάθε στιγμή, ώστε να γίνει πιο δίκαιη και αποδοτική η κατανομή των πόρων του συστήματος.

Η απόδοση των αλγορίθμων αναλύεται με την χρήση διαγραμμάτων για τέσσερις μεταβλητές ενώ εξετάστηκαν δύο τύποι κίνησης. Οι μεταβλητές είναι οι αδρανείς θυρίδες στο κάθε υποπλάισιο/πλαίσιο, ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων θυρίδων στο κάθε υποπλάισιο/πλαίσιο, ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών στο κάθε υποπλάισιο/πλαίσιο καθώς και ο αριθμός των απορριφθέντων πακέτων στο κάθε υποπλάισιο/πλαίσιο ενώ οι τύποι κίνησης είναι η εκθετική και η κίνηση με μορφή ριπών. Αναλυτικότερα:

**Αδρανείς Θυρίδες:** Ο αριθμός αυτός μας δείχνει το πόσο καλά αξιοποιούνται οι θυρίδες του κάθε πλαισίου. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή, τόσο μικρότερη σπατάλη θυρίδων γίνεται. Και οι δύο αλγόριθμοι καταφέρνουν να διατηρήσουν τις τιμές τους σε χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με τις σταθερές αναλογίες και για τους δύο τύπους κίνησης. Η απόδοση του Αυτόματου Μάθησης είναι χαμηλότερη από του ACO στην εκθετική κίνηση παρόλα αυτά καλύτερη από των σταθερών αναλογιών.

**Μη Εξυπηρετημένες Θυρίδες:** Ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων θυρίδων μας δείχνει το πόσες θυρίδες δεν καταφέρανε να τοποθετηθούν στο κάθε πλαίσιο και παραμείνανε στην ουρά του κάθε συνδρομητή ή του σταθμού βάσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή, τόσο περισσότερα δεδομένα έχουν να σταλούν στο επόμενο

πλαίσιο. Για την εκθετική κίνηση δεν υπάρχουνε διαφορές μεταξύ των σταθερών αναλογιών και των δύο αλγορίθμων. Στην κίνηση με μορφή ριπών, λόγω της μορφής της κίνησης, οι αλγόριθμοι δεν έχουν την δυνατότητα να αντιδράσουν με αποτέλεσμα η απόδοση τους στο συγκεκριμένο κομμάτι να είναι χειρότερη από τις σταθερές αναλογίες.

**Μη Εξυπηρετημένοι Συνδρομητές:** Ο αριθμός των μη εξυπηρετημένων συνδρομητών μας δείχνει το πόσοι συνδρομητές δεν καταφέρανε να στείλουν τα πακέτα που είχανε στην ουρά τους. Οι πόροι του κάθε συστήματος είναι πεπερασμένοι και η αύξηση του αριθμού των συνδρομητών του δικτύου έχει σαν αποτέλεσμα την εξάντλησή τους. Οι διαφορές των δύο αλγορίθμων με τις στατικές κατανομές στην συγκεκριμένη μεταβλητή είναι ελάχιστες και για τα δύο είδη κίνησης, καθώς η αύξηση των συνδρομητών δημιουργεί τόσο μεγάλο όγκο κίνησης που οι αλγόριθμοι περιορίζονται σε εξισορρόπηση φόρτου.

**Απορριφθέντα Πακέτα:** Ο αριθμός των απορριφθέντων πακέτων μας δείχνει το πόσα πακέτα δεν καταφέρανε να τοποθετηθούν στην ουρά κάποιου συνδρομητή, γιατί η ουρά ήταν γεμάτη. Η απόδοση και των δύο αλγορίθμων είναι πολύ καλή καθώς στις πιο πολλές περιπτώσεις οι τιμές των απορριφθέντων πακέτων είναι χαμηλότερες από τις σταθερές αναλογίες και για τους δύο τύπους κίνησης. Αυτό γίνεται χάρη στην εξισορρόπηση φόρτου που εφαρμόζουν και οι δύο, ώστε να μοιράζονται οι θυρίδες του συστήματος στο κάθε υποπλαίσιο ανάλογα με τις ανάγκες του.

Η ανάλυση των δύο αυτών αλγορίθμων μας δείχνει ότι η χρήση τους για δυναμική κατανομή εύρους ζώνης περιορίζει τις αρνητικές συνέπειες των στατικών κατανομών. Η λειτουργία τους αυξάνει την απόδοση του δικτύου, ειδικά σε περιπτώσεις μεγάλου όγκου δεδομένων λόγω αυξημένου αριθμού συνδρομητών. Μεταξύ των δύο αλγορίθμων, καλύτερη ανταπόκριση στις αλλαγές του συστήματος εμφανίζει ο Αλγόριθμος Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών, κάτι που φαίνεται και από τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν πιο πάνω.

Όσον αφορά το Αυτόματο Μάθησης, η ταχύτητα σύγκλισης παίρνει την ελάχιστη τιμή της μετά από περίπου 50 επαναλήψεις. Η τιμή είναι σχεδόν μηδενική καθώς κυμαίνεται στο ανοιχτό διάστημα (0, 1). Ο αλγόριθμος πραγματοποιεί 60.000 επαναλήψεις και παρατηρούμε ότι σε πάρα πολύ μικρό χρονικό διάστημα καταφέρνει να συγκλίνει.

Δεν μπορούμε να αναλύσουμε κάτι αντίστοιχο για τον Αλγόριθμο Βελτιστοποιημένης Αποικίας καθώς η λειτουργία του δεν του επιτρέπει να συγκλίνει σε κάποια τιμή, γιατί σε εκείνη την περίπτωση θα δημιουργηθεί ατέρμων βρόχος.

Κλείνοντας, παρόλο που τα αποτελέσματα φαίνονται αρκετά υποσχόμενα, υπάρχει αρκετός χώρος για βελτίωση των αλγορίθμων αλλά και των μεθόδων της προσομοίωσης, ώστε να ανταποκρίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό στις πραγματικές συνθήκες.

## 6.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στο μέλλον, θα μπορούσαν να προστεθούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά, βασιζόμενα πάνω στο υπάρχον κομμάτι:

- Η παραλληλοποίηση του αλγορίθμου κρίνεται απαραίτητη στο σύγχρονο περιβάλλον των πολλών επεξεργαστών ώστε να φανεί καλύτερα η απόδοση σε πραγματικές συνθήκες.
- Εισαγωγή περισσότερων παραλλαγών του Αλγόριθμου Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών περεταίρω ανάλυση των διαφορετικών τιμών των μεταβλητών για βελτίωση των αποτελεσμάτων.
- Εισαγωγή περισσότερων αλγορίθμων εκτός του Αυτόματου Μάθησης με επίγνωση λαθών και του Αλγόριθμου Βελτιστοποιημένης Αποικίας Μυρμηγκιών για μεγαλύτερη ποικιλία.
- Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος με όλες τις επιλογές αλγορίθμων, εισαγωγή τιμών για τις μεταβλητές στα κατάλληλα πεδία και προβολή του δικτύου σε χάρτη με κινητικότητα των συνδρομητών χρησιμοποιώντας αλγόριθμους .
- Δυναμική μεταβολή του αριθμού των χρηστών κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.
- Χρήση αλγορίθμου για σωστή τοποθέτηση των θυρίδων στο κατερχόμενο υποπλαίσιο με μορφή παραλληλόγραμμου.
- Εισαγωγή κλάσεων υπηρεσιών (QoS) και τύπων κίνησης όπως TCP, HTTP, VOIP και άλλες.
- Ενσωμάτωση και ενσύρματου/οπτικού δικτύου με πολλαπλούς σταθμούς βάσης
- Μελέτη επιπλέον παραμέτρων όπως latency, delay, jitter, throughput που θα δείχνουν την απόδοση του συστήματος.
- Βελτίωση του τρόπου εμφάνισης των γραφημάτων και βελτίωση του κώδικα ώστε να γίνονται όλα αυτοματοποιημένα.
- Μελέτη του FDD εκτός από τον TDD.
- Μελέτη περισσότερων μηχανισμών μηχανικής μάθησης, όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα.

## 7 Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1 Απλό Καλώδιο Χαλκού

Εικόνα 2 Ομοαξονικό Καλώδιο

Εικόνα 3 Εσωτερική Δομή Οπτικής Ίνας

Εικόνα 4 Ανάκλαση Φωτός μέσα στην Ίνα

Εικόνα 5 Τοπολογία Διαύλου

Εικόνα 6 Τοπολογία Αστέρα

Εικόνα 7 Τοπολογία Δακτυλίου

Εικόνα 8 Τοπολογία Πλέγματος

Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική Δικτύου WiMAX

Εικόνα 10 Σύγχρονος και Στατικός TDM

Εικόνα 11 Μορφή FDM

Εικόνα 12 Διαμόρφωση OFDM

Εικόνα 13 Διαφορές OFDM με OFDMA

Εικόνα 14 Πλαίσιο WiMAX

Εικόνα 15 Διαμορφώσεις και Κωδικοποίηση στο WiMAX

Εικόνα 16 Παράδειγμα Διαμορφώσεων Ανάλογα με την Απόσταση

Εικόνα 17 Η διεκπεραιωτικότητα ανάλογα με το SINR για τις διαφορετικές Διαμορφώσεις

Εικόνα 18 Σχηματική Απεικόνιση Αυτόματου Μάθησης

Εικόνα 19 Αλγόριθμος Επιλογής Επόμενης Δράσης

Εικόνα 20 Αλγόριθμος ανανέωσης Πιθανοτήτων

Εικόνα 21 Προσδιορισμός του L

Εικόνα 22 Παράδειγμα μυρμηγκιών σε αναζήτηση τροφής και εναπόθεσης φερομόνης

Εικόνα 23 Διάγραμμα Δημιουργίας Κίνησης

Εικόνα 24 Παράμετροι Ασύρματου Καναλιού

Εικόνα 25 Προκαθορισμός Κίνησης 1ου Σεναρίου

Εικόνα 26 Προκαθορισμός Κίνησης 2ου+3ου Σεναρίου

Εικόνα 27 Εισαγωγή Πακέτων στο Πλαίσιο

Εικόνα 28 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 29 Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 30 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 31 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 32 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 33 Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 34 Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA

Εικόνα 35 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον LA**

Εικόνα 36 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων στον LA**

Εικόνα 37 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων στον LA**

Εικόνα 38 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών στον LA**

Εικόνα 39 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων στον LA**

Εικόνα 40 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 41 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 42 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 43 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 44 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 45 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 46 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 47 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Κατερχόμενου Υποπλαισίου στον ACO**

Εικόνα 48 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων στον ACO**

Εικόνα 49 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων στον ACO**

Εικόνα 50 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών στον ACO**

Εικόνα 51 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων στον ACO**

Εικόνα 52 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 53 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 54 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 55 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 56 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 57 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 58 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Ανερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 59 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων Κατερχόμενου Υποπλαισίου**

Εικόνα 60 **Μέσος Όρος Αδρανών Θυρίδων**

Εικόνα 61 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Θυρίδων**

Εικόνα 62 **Μέσος Όρος Μη Εξυπηρετημένων Συνδρομητών**

Εικόνα 63 **Αριθμός Απορριφθέντων Πακέτων**

## 8 Πίνακας Συντμήσεων

WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity
Li-Fi	Light Fidelity
MAC	Medium Access Control
RAN	Radio Access Network
DSL	Digital Subscriber Line
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
ACO	Ant Colony Optimization
LA	Learning Automata
EXP	Exponential
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
NIC	Network Interface Card
MAN	Metropolitan Area Network
WAN	Wide Area Network
IP	Internet Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
HTTP/HTTPS	Hypertext Transfer Protocol/Secure
FTP	File Transfer Protocol
SSH	Secure Shell
ARP	Address Resolution Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
LTE	Long Term Evolution
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
OSPF	Open Shortest Path First
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
BGP	Border Gateway Protocol
EGP	Extended Gateway Protocol
AMPS	Advance Mobile Phone Service
NMT	Nordic Mobile Telephone
TACS	Total Access Communication Systems
GSM	Global System for Mobile Communications
SMS	Short Message Service
MMS	Multimedia Messaging Service
CODEC	Compression-Decompression
GPRS	General Packet Radio Service
WAP	Wireless Application Protocol
EDGE	Enhanced Data rates for GSM
USB	Universal Serial Bus
3GPP	3rd Generation Partnership Project
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
TDD	Time Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
AMC	Adaptive Modulation and Coding
FDD	Frequency Division Duplex
AES	Advanced Encryption Standard
EAP	Extensible Authentication Protocol
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access

MS	Mobile Station
BS	Base Station
ASN-GW	Access Service Network - Gateway
CSN	Connectivity Service Network
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
Modem	Modulator/Demodulator
ASP	Application Service Provider
ISP	Internet Service Provider
FDM	Frequency Division Multiplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
MIMO	Multiple In Multiple Out
PSUC	Partial Usage of Subcarriers
FCH	Frame Control Header
CID	Connection Identifier
ISI	Inter-Symbol Interference
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
AMC	Adaptive Modulation and Coding
BER	Bit Error Rate
SNR	Signal to Noise Ration
QoS	Quality Of Service
BPSK	Binary Phase Shift Key
QPSK	Quadrature Phase Shift Key
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
AI	Artificial Intelligence
WFQ	Weighted Fair Queuing
EDF	Earliest Deadline First
WRR	Weighted Round Robin
TLSA	Two Level Scheduling Algorithm
MOHSA	Modified Hybrid Scheduling Algorithm
DRR	Deficit Round Robin
FIFO	First-In First-Out
MRTR	Minimum Reserved Traffic Rate
CLSAGA	Cross-Layer Scheduling Algorithm
ACO	Ant Colony Optimization
PUSC	Partially Used Sub-Channelization



## 9 Βιβλιογραφία

- [1] William Stallings, *Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων*, 6th ed., Παύλος Θεοδώρου, Ed.: Τζιόλα, 2008.
- [2] Andrew s. Tanenbaum, *Δίκτυα Υπολογιστών*, 4th ed., Γ. Ξυλωμένος, Ed.: Κλειδάριθμος, 2011.
- [3] Telephone Phone Wire 100m CCS Cable Reel 3 Pair 6 Core. Kenable. [Online]. [https://www.kenable.co.uk/product\\_info.php?products\\_id=5818](https://www.kenable.co.uk/product_info.php?products_id=5818)
- [4] 1.32m Coaxial Cable Double Shielded. Wellshow. [Online]. <http://www.wellshow.com/coax-cables/mini-coax-cable/1-32mm-coaxial-cable-double-shielded/>
- [5] Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, *Δίκτυα Ευρείας Ζώνης*, 2nd ed.: Τζιόλας, 2007.
- [6] James F. Kurose - Keith W. Ross, *Δικτύωση Υπολογιστών*, 4th ed., Αθανάσιος Μανιστράρης, Ιωάννης Μαυρίδης, Παναγιώτης Φουληράς Γιάννης Β. Σαμαράς, Ed.: Μ. Γκιούρδας, 2011.
- [7] Robert Alexander Bennett, Dyani Camika Cox Behnam Kamali, "Understanding WiMAX: An IEEE-802.16 Standard-Based Wireless Technology," *IEEE Potentials*, September 2012.
- [8] Tutorialspoint. WiMAX - Reference Network Model. [Online]. [https://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax\\_network\\_model.htm](https://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm)
- [9] WireBiters. Communication Systems: Multiplexing. [Online]. <http://www.wirebiters.com/communication-multiplexing/>
- [10] Choon Lim Gwee, Yang Qin and Chor Ping Low, Bo Li, "A Survey on Mobile WiMAX," *IEEE Communications Magazine*, December 2007.
- [11] Mithunss. Orthogonal frequency division multiplexing Pictures. [Online]. <https://www.withfriendship.com/user/mithunss/Orthogonal-frequency-division-multiplexing.php>
- [12] Arunabha Ghosh, Rias Muhamed Jeffrey G. Andrews, *Fundamentals of WiMAX - Understanding Broadband Wireless Networking.*: Prentice Hall, 2007.
- [13] Velez Fernando J. Prasad Ramjee, *WiMAX Networks - Techno-Economic Vision and Challenges.*: Springer Science&Business Media, 2010.
- [14] Cisco. Mobile WiMAX - The Internet Protocol Journal, Volume 11, No. 2. [Online]. <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol->

- [15] Vladimir Bykovnikov, *The Advantages of SOFDMA for WiMAX.*: Intel Corporation, 2005.
- [16] Anna University, Xavier Fernando, Ryerson University S. Srikanth and P. A. Murugesu Pandian, "Orthogonal Frequency Division Multiple Access in WiMAX and LTE - A Comparison," *IEEE Communications Magazine*, September 2012.
- [17] Richard S. Sutton and Andrew G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, 2nd ed.: The MIT Press, 2017.
- [18] Petros Nicopolitidis, Georgios Papadimitriou, Panagiotis Sarigiannidis, Malamati Louta and Andreas Pomportsis Antonios Sarigiannidis, "On the Use of Learning Automata in Tuning the Channel Split Ratio of WiMax Networks," *IEEE Systems Journal* , vol. 9, no. 3, September 2015.
- [19] Marco Dorigo and Thomas Stützle, *Ant Colony Optimization.*: The MIT Press, 2004.
- [20] Raj Jain, and Abdel Karim Al-Tamimi Chakchai So-In, "Resource Allocation in IEEE 802.16 Mobile WiMAX," *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*, April 2010.
- [21] Mohamed Khedr, Jeffrey H. Reed Hazem Shatila, *Adaptive Modulation and Coding for WiMAX Systems with Vague Channel State Information using Cognitive Radio.*: IEEE, 2010.
- [22] Peter Muller , Hamid Sharif Seok-Yee Tang, *WiMAX Security and Quality of Service: An End-to-End Perspective.*: Wiley, 2010.
- [23] Erdem Erdogan, Shaun Reich unaid Ahmed Zubairi, "Experiments in Fair Scheduling in 4G WiMAX and LET," *High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2015 International Conference*, July 2015.
- [24] Salima Hama Zeeshan Ahmed, "Analytical Model of Two Level Scheduling Algorithm for WiMAX Networks," *Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*, October 2015.
- [25] Najah Abu Ali, Hossam Hassanein Pratik Dhrona, "A Performance Study of Scheduling Algorithms in Point-to-Multipoint WiMAX Networks ," *Local Computer Networks, 2008. LCN 2008. 33rd IEEE Conference*, October 2008.
- [26] Jiandong Li, Changle Li Jianfeng Song, "A Cross-layer WiMAX Scheduling

Algorithm based on Genetic Algorithm ," *Communications Networks and Services Research Conference*, May 2009.

- [27] Malamati D. Louta and Periklis Chatzimisios Panagiotis G. Sarigiannidis, "A Novel Fair Mapping Scheme for IEEE 802.16 Downlink Sub-Frame," *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops* , 2010.
- [28] Javad Akbari Torkestani, Mohammad Reza Meybodi and Amir Hosein Fathy Navid Alireza Enami Eraghi, "Cellular Learning Automata-based Channel Assignment Algorithms for Wireless Mobile Ad Hoc Networks," *International Conference on Machine Learning and Computing* , 2009.
- [29] Mehdi Esnaashari M. R. Meybodi, "Data Aggregation in Sensor Networks using Learning Automata ," *Wireless Networks*, April 2010.
- [30] M. Kalantary and M. R. Meybodi, "Mobile Sensor Network Deployment Using Cellular Learning Automata Approach ," *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, 2010.
- [31] Georgios I. Papadimitriou and Andreas S. Pomportsis Petros Nicopolitidis, "Adaptive Data Broadcasting in Underwater Wireless Networks," *IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING*, July 2010.
- [32] Jen-Ming Wu, Jianbo Du and Liqiang Zhao Chia-Hui Liao, "Ant Colony Optimization Inspired Resource Allocation for Multiuser Multicarrier Systems," *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing*, October 2017.
- [33] Mohd.Sharique Khan and Vishnu Sharma, "Ant Colony Optimization Routing in Mobile AdHoc Networks - A Survey Paper," *International Conference on Computing, Communication and Automation* , 2017.
- [34] Khaled Salah, "An Innovative Approach of Model order reduction using Ant Colony Optimization," *Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference* , October 2017.
- [35] Arabella Benson. Slide Player - Optical Fiber Communications. [Online]. <http://slideplayer.com/slide/7895947/>
- [36] Desktop Class - Totally Reflecting Prism. [Online]. <https://www.desktopclass.com/notes/physics/totally-reflecting-prism-10th-physics-lesson-14-10-11.html>
- [37] My Reading Room. Time-Division Multiplexing. [Online].

<http://www.myreadingroom.co.in/notes-and-studymaterial/68-dcn/777-time-division-multiplexing.html>

- [38] Difference Between. Difference Between OFDM and OFDMA. [Online]. <https://www.differencebetween.com/difference-between-ofdm-and-vs-ofdma/>
- [39] yeogie. WiMAX. [Online]. <http://news.yeogie.com/entry/11438?locPos=25Q&>
- [40] Gregory Conley. Shivkumar Kalyanaraman. [Online]. <http://slideplayer.com/slide/6540299/>
- [41] M. Duran Toksar, "A hybrid algorithm of Ant Colony Optimization (ACO) and Iterated Local Search (ILS) for estimating electricity domestic consumption: Case of Turkey," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 78, June 2016.
- [42] Xi Wang, Parisa Memarmoshrefi and Dieter Hogrefe Hang Zhang, "A Survey of Ant Colony Optimization Based Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Access*, October 2017.
- [43] Wanjiun Liao, Tehuang Liu, Iam Kin Chan, and Hsi-Lu Chao Chih-He Chiang, "Adaptive Downlink and Uplink Channel Split Ratio Determination for TCP-Based Best Effort Traffic in TDD-Based WiMAX Networks," *IEEE Journal On Selected Areas in Communications*, vol. 27, no. 2, February 2009.
- [44] Georgios I. Papadimitriou, Andreas S. Pomportsis, Panagiotis Sarigiannidis and Mohammad S. Obaidat Petros Nicopolidis, "Adaptive Wireless Networks Using Learning Automata," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 2, April 2011.
- [45] Ian F. Akyildiz and Luciano Lenzini Claudio Cicconetti, "FEBA: A Bandwidth Allocation Algorithm for Service Differentiation in IEEE 802.16 Mesh Networks," *IEEE/ACM Transactions On Networking*, vol. 7, June 2009.
- [46] M. A. L. Thathacha and Kumpati S. Narendra, "Learning Automata A Survey," *IEEE Transaction On Systems, Man and Cybernetics*, July 1974.
- [47] Abdelali El Bouchti, Mohamed Hanini and Abdelkrim Haqiq Said El Kafhali, "Performance Analysis for Bandwidth Allocation In IEEE 802.16 Broadband Wireless Networks Using Bmap Queueing," vol. 4, no. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), February 2012.
- [48] Xuxun Liu, "Routing Protocols Based on Ant Colony Optimization in Wireless Sensor Networks - A Survey," *IEEE Access*, November 2017.
- [49] M. A. L. Thathachar and P. S. Sastr, "Varieties of learning automata: an

overview," *IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics - Part B: Cybernetics*, 2002.