



**ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΛΟΗΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ  
OMNeT ++**

**ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ**

Επιβλέπουσα: Μαργαρίτη Σπυριδούλα

Άρτα, Φεβρουάριος, 2018



# **PERFORMANCE ANALYSIS OF ALOHA USING OMNeT ++**



**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Αρτα, 16/02/2018

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Σπυριδούλα Μαργαρίτη, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό
2. Στεργίου Ελευθέριος, Αναπληρωτής Καθηγητής
3. Χαριλόγης Βασίλειος, Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό

Ο Πρόεδρος του τμήματος

Χρυσόστομος Στύλιος

© Βασιλοπούλου Μαρία-Ελένη, 2018

*Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.*

## Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Βασιλοπούλου Μαρία-Ελένη

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας ολοκληρώνεται ταυτόχρονα και το φοιτητικό μου ταξίδι. Ένα ταξίδι που για την πραγματοποίησή του βοήθησαν αρκετοί άνθρωποι που αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια και επιβλέπουσα της παρούσας εργασίας Μαργαρίτη Σπυριδούλα, που χωρίς τις πολύτιμες συμβουλές συζητήσεις και διορθώσεις δεν θα είχε πραγματοποιηθεί η εργασία μου.

Τους δύο πιο σημαντικούς ανθρώπους στην ζωή μου, την μητέρα μου και την γιαγιά μου, οι οποίες είναι δίπλα μου και με στηρίζουν. Τους φίλους μου και συγκεκριμένα την συμφοιτήτριά μου Γεωργίου Ζωή και την Καρανάτση Ευαγγελία που ανέχτηκαν την γκρίνια μου μέχρι να ολοκληρωθεί η εργασία μου.

Τέλος την πόλη της Άρτας που φιλοξένησε τα πρώτα ενήλικα χρόνια μου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η μελέτη του πρωτοκόλλου ALOHA με τη βοήθεια του προσομοιωτή OMNeT++ με σκοπό να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του και τον τρόπο λειτουργίας του και επιπλέον να εξετάσουμε την απόδοση του.

Το ALOHA είναι ένα απλό σύστημα ασύρματης επικοινωνίας: οι κόμβοι μεταδίδουν στο κοινό μέσο μετάδοσης είτε τυχαία (pure ALOHA) είτε συγχρονισμένα (slotted ALOHA).

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας περιγράφουμε αναλυτικά το συγκεκριμένο μοντέλο επικοινωνίας και συγκριτικά με άλλες παρόμοιες τεχνικές όπως η CSMA/CD.

Τέλος, χρησιμοποιώντας το πλαίσιο προσομοίωσης OMNeT++ εξετάζουμε πειραματικά τη συμπεριφορά του δικτύου μεταβάλλοντας των αριθμό των χρηστών και το φορτίο (πλήθος μεταδόσεων ανά σταθμό).

**Λέξεις-κλειδιά:** ALOHA, OMNeT ++, πρωτόκολλα, δίκτυα.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is the research of the protocol ALOHA using the simulator OMNeT++ and to understand the protocol's performance and the way it works with the usage of the specific simulator.

ALOHA is a simple wireless communication system with hosts transmit in the main transmission either Pure ALOHA either Slotted ALOHA.

Within our project we describe in detail the specific communication model and we compare it with other similar techniques like CSMA/CD.

Finally using the simulator platform OMNeT++ we experiment the behavior of the network changing the number of users and the number of transmissions per station.

**Keywords: ALOHA, OMNeT ++, protocol, network.**

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....                                    | iv   |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....                                       | vi   |
| ABSTRACT.....                                       | vii  |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....                           | viii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ.....                 | ix   |
| 1. Εισαγωγή.....                                    | 1    |
| 1.1 Ασύρματες επικοινωνίες και ασύρματα δίκτυα..... | 2    |
| 1.2 Το μοντέλο του συστήματος.....                  | 5    |
| 2. Πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο και πρωτόκολλα.....   | 9    |
| 2.1 Πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο.....                 | 10   |
| 2.2 Πρωτόκολλα MAC.....                             | 16   |
| 3. Πρωτόκολλα ALOHA.....                            | 19   |
| 3.1 Pure ALOHA.....                                 | 20   |
| 3.2 Slotted ALOHA.....                              | 22   |
| 4. Μελέτη απόδοσης ALOHA.....                       | 24   |
| 4.1 Η απόδοση.....                                  | 24   |
| 4.2 Ο προσομοιωτής OMNeT ++.....                    | 27   |
| 4.3 Πειραματική μελέτη.....                         | 28   |
| 5. Συμπεράσματα.....                                | 45   |
| Βιβλιογραφία.....                                   | 46   |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Τοπικό δίκτυο (LAN)

Εικόνα 2. Μητροπολιτικό δίκτυο (MAN)

Εικόνα 3. Δίκτυα ευρείας εκπομπής (WAN)

Εικόνα 4. Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA)

Εικόνα 5. Πολλαπλή πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (TDMA)

Εικόνα 6. Πολλαπλή πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας (FDMA)

Εικόνα 7. Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεση συχνότητας (FDMA)

Εικόνα 8. Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA)

Εικόνα 9. Σύγκριση απόδοσης ALOHA για pure και slotted

Εικόνα 10. Σύγκριση απόδοσης ALOHA και CSMA/CD

Γράφημα 1. Ασύγχρονο ALOHA υψηλού φορτίου (Μήκος συγκρούσεων)

Γράφημα 2. Ασύγχρονο ALOHA υψηλού φορτίου (Πολλαπλότητα συγκρούσεων)

Γράφημα 3. Ασύγχρονο ALOHA υψηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)

Γράφημα 4. Ασύγχρονο ALOHA μεσαίου φορτίου (Μήκος συγκρούσεων)

Γράφημα 5. Ασύγχρονο ALOHA μεσαίου φορτίου (Πολλαπλότητα συγκρούσεων)

Γράφημα 6. Ασύγχρονο ALOHA μεσαίου φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)

Γράφημα 7. Ασύγχρονο ALOHA χαμηλού φορτίου (Μήκος συγκρούσεων)

Γράφημα 8. Ασύγχρονο ALOHA χαμηλού φορτίου (Πολλαπλότητα συγκρούσεων)

Γράφημα 9. Ασύγχρονο ALOHA χαμηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)

Γράφημα 10. Ασύγχρονο ALOHA-Μήκη συγκρούσεων

Γράφημα 11. Ασύγχρονο ALOHA-Πολλαπλότητα συγκρούσεων

Γράφημα 12. Ασύγχρονο ALOHA-Κατάσταση Καναλιού

- Γράφημα 13. Συγχρονισμένο ALOHA υψηλού φορτίου (Μήκος συγκρούσεων)
- Γράφημα 14. Συγχρονισμένο ALOHA υψηλού φορτίου (Πολλαπλότητα συγκρούσεων)
- Γράφημα 15. Συγχρονισμένο ALOHA υψηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)
- Γράφημα 16. Συγχρονισμένο ALOHA μεσαίου φορτίου (Μήκος συγκρούσεων)
- Γράφημα 17. Συγχρονισμένο ALOHA μεσαίου φορτίου (Πολλαπλότητα συγκρούσεων)
- Γράφημα 18. Συγχρονισμένο ALOHA μεσαίου φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)
- Γράφημα 19. Συγχρονισμένο ALOHA χαμηλού φορτίου (Μήκος συγκρούσεων)
- Γράφημα 20. Συγχρονισμένο ALOHA χαμηλού φορτίου (Πολλαπλότητα συγκρούσεων)
- Γράφημα 21. Συγχρονισμένο ALOHA χαμηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)
- Γράφημα 22. Συγχρονισμένο ALOHA-Μήκη σύγκρουσης
- Γράφημα 23. Συγχρονισμένο ALOHA-Πολλαπλότητα σύγκρουσης
- Γράφημα 24. Συγχρονισμένο ALOHA-Κατάσταση καναλιού

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι C.E. Shannon και W. Weaver κάποτε αναφέρθηκαν στην επικοινωνία λέγοντας πως «επικοινωνία είναι όλες εκείνες οι διαδικασίες που εμπλέκονται στην μεταφορά της πληροφορίας από τον αποστολέα στον παραλήπτη». Παρουσίασαν ένα επικοινωνιακό μοντέλο που ακόμα και σήμερα θεωρείται ως η «μητέρα» όλων των μοντέλων. Αυτό το μοντέλο μας εισάγει σε βασικές έννοιες όπως την πηγή της πληροφορίας, του πομπού, του δέκτη, του καναλιού, του μηνύματος πληροφορίας κλπ. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι επικοινωνία είναι η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δύο ή και περισσότερων μερών. Πρόκειται δηλαδή για έναν πομπό και έναν δέκτη που ανταλλάσσουν πληροφορίες. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν κοινό κώδικα και από τις δύο πλευρές ο οποίος είναι συμφωνημένος από την αρχή είτε με την ίδια γλώσσα, είτε με τον ίδιο κώδικα, είτε με τα ίδια σήματα.

## **1.1. Ασύρματες επικοινωνίες – ασύρματα δίκτυα**

Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων ξεκινάει από πολύ παλιά. Οι άνθρωποι πάντα έβρισκαν τρόπο να επικοινωνούν. Με την πάροδο του χρόνου βέβαια η επικοινωνία μεταφέρθηκε και στα τεχνολογικά μέσα, που με την βοήθεια των ηλεκτρονικών έγινε πιο εύκολη.

Ως ασύρματη επικοινωνία ορίζεται η μεταβίβαση πληροφοριών σε απόσταση χωρίς την βοήθεια καλωδίων ή άλλων μορφών ηλεκτρικών αγωγών. Η απόσταση κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως και χιλιάδες χιλιόμετρα. Η μετάδοση πληροφοριών γίνεται πιο γρήγορα και φθηνότερα σε σύγκριση με τις ενσύρματες επικοινωνίες. Υπάρχει δηλαδή ένας αποστολέας (πομπός) και ένας παραλήπτης (δέκτης).

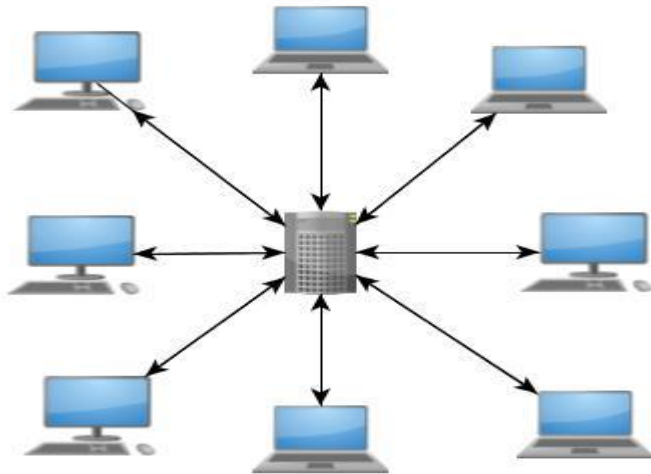
Στην συνέχεια θα αναφερθούμε στα δίκτυα. Τα δίκτυα αποτελούνται από ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών που σκοπό έχουν την ανταλλαγή μηνυμάτων και πληροφοριών. Ανάλογα με τα μέσα μετάδοσης τα δίκτυα μπορεί να είναι είτε ενσύρματα όπου η επικοινωνία επιτυγχάνεται με την βοήθεια καλωδίων ή και οπτικών ινών, είτε ασύρματα όπου η επικοινωνία επιτυγχάνεται με την χρήση δεδομένων που μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και συχνοτήτων που κάθε φορά εξαρτώνται από τον ρυθμό μετάδοσης. Η κύρια διαφορά μεταξύ των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων είναι ότι τα ασύρματα δεν χρησιμοποιούν καλώδια για την μεταφορά των δεδομένων.

Ανάλογα με την περιοχή που έχουν να καλύψουν τα δίκτυα διακρίνονται σε τοπικά δίκτυα (LAN, Local Area Network), μητροπολιτικά δίκτυα (MAN, Metropolitan Area Network), δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN, Wide Area Network) και διαδίκτυα. Επιπλέον τα δίκτυα διακρίνονται ως προς την τεχνολογία που χρησιμοποιούν για την μεταφορά των δεδομένων σε δίκτυα ευρείας εκπομπής και δίκτυα σημείου προς σημείου. Μια ακόμα διάκρισή τους είναι και ως προς την τεχνική μεταγωγής της πληροφορίας, όπου χωρίζονται σε μεταγωγή πακέτου μηνυμάτων και κυκλώματος.

Στην συνέχεια κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των τοπικών και μητροπολιτικών δικτύων, των δικτύων ευρείας περιοχής και του διαδικτύου.

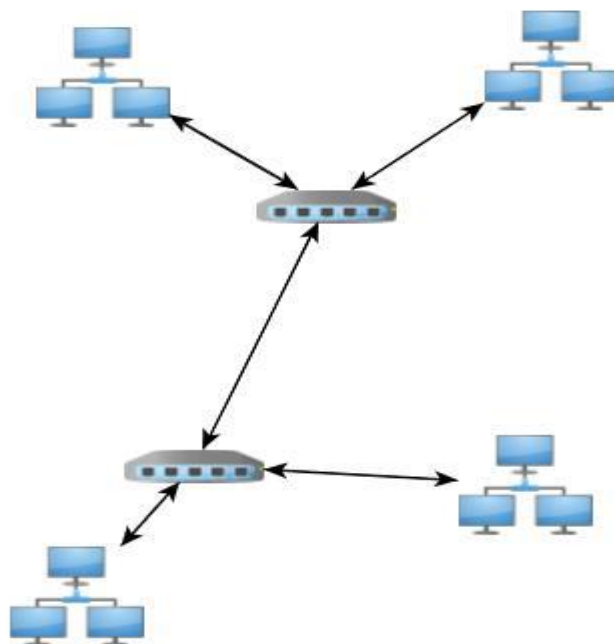
Τα τοπικά δίκτυα (LAN) ονομάζονται τα δίκτυα τα οποία αποτελούνται από ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών που η απόστασή τους εκτείνεται από μερικά μέτρα έως και ελάχιστα χιλιόμετρα. Τα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται σε αίθουσες, δωμάτια ή και κτίρια. Η ταχύτητα μετάδοσής τους είναι από 10 έως 100 Mbps. Ο χωρισμός των τοπικών δικτύων γίνεται με βάση των τριών χαρακτηριστικών τους, δηλαδή το μέγεθος, την τοπολογία τους και την ταχύτητα μετάδοσής τους. Η επίδοση των τοπικών δικτύων καθορίζεται κυρίως από: 1) την ρυθμοαπόδοση (throughput), 2) την καθυστέρηση (delay) και 3) την απόδοση δικτύου.

- Η ρυθμοαπόδοση (throughput) σε ένα τοπικό δίκτυο είναι ο μέσος ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Ας υποθέσουμε ότι διαθέτουμε ένα σύνολο υπολογιστών οι οποίοι επικοινωνούν σε ένα κοινό κανάλι όπου η μεταφορά της πληροφορίας, σε υψηλό φόρτο εργασίας, εξαρτάται από το μέσο το οποίο συνδέονται οι υπολογιστές, όπου μόνο μια μετάδοση θεωρείται επιτυχής. Πράγματι αν παρομοιάσει κανείς ένα δίκτυο με την συνομιλία μεταξύ μιας παρέας, θα πρέπει να μιλάει ο ένας και οι άλλοι να ακούνε. Στα πρωτόκολλα MAC (Medium Access Control) ο στόχος τους είναι να αποδώσει τον μέγιστο της ρυθμοαπόδοσης για καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών μειώνοντας την καθυστέρηση.
- Η καθυστέρηση (delay) σε ένα τοπικό δίκτυο θεωρείται ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πακέτου από την στιγμή που μπαίνει στην ουρά για την μετάδοσή του μέχρι την πλήρη μετάδοσή του. Η καθυστέρηση διαφοροποιείται αναλόγως από το φόρτο εργασίας και στο πρωτόκολλο στο οποίο δραστηριοποιείται. Καθώς όμως η μέση καθυστέρηση αντιλαμβάνεται διαφορετικά από κάθε χρήστη, βέβαια σε ομοιογενή και «δίκαια» συστήματα η μέση καθυστέρηση είναι παρόμοια.
- Απόδοση δικτύου θεωρείται το μέγιστο ποσοστό επιτυχής μετάδοσης σε συνάρτηση με τον χρόνο σε πλήρη λειτουργία των σταθμών.



**Εικόνα 1: Τοπικό Δίκτυο(LAN)**

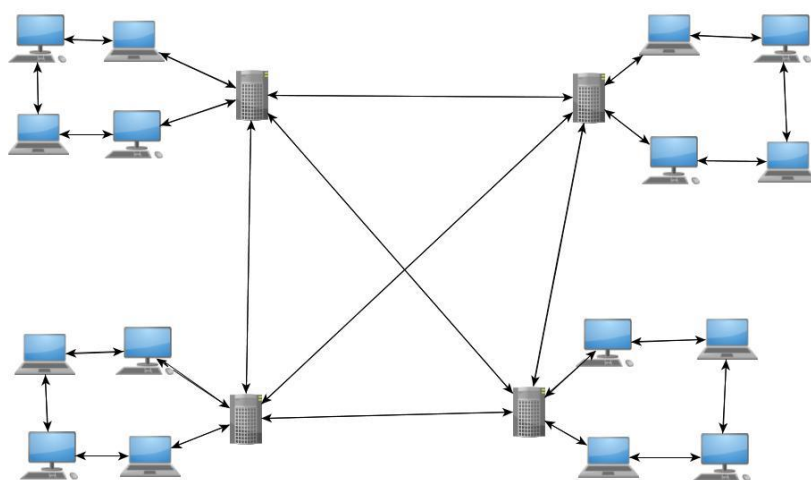
Τα Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) ονομάζονται τα δίκτυα τα οποία αποτελούνται από ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών που ή απόστασή τους εκτείνεται και καλύπτει μερικά χιλιόμετρα. Τα μητροπολιτικά δίκτυα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μια πόλη, μια περιοχή ή σε μια πανεπιστημιούπολη και μπορεί να είναι είτε ιδιωτικά είτε δημόσια.



**Εικόνα 2: Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN)**

Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) ονομάζονται τα δίκτυα τα οποία αποτελούνται από ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών που η απόστασή τους εκτείνεται από 100 έως 1000 km. Τα δίκτυα ευρείας περιοχής μπορούν να καλύπτουν από μια χώρα έως μια ήπειρο. Χρησιμοποιούνται από πολυεθνικές εταιρίες ή πολυκαταστήματα.

Το διαδίκτυο είναι ένα σύνολο τερματικών, που δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να επικοινωνούν μεταξύ τους σε παγκόσμια κλίμακα.



**Εικόνα 3: Δίκτυα Ευρείας Εκπομπής (WAN)**

## 1.2 Το μοντέλο του συστήματος

Σε αυτή την εργασία θα μας απασχολήσει η ανάλυση της ρυθμοαπόδοσης και τα χαρακτηριστικά της καθυστέρησης στα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα, η ρυθμοαπόδοση είναι ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας και η καθυστέρηση είναι ο χρόνος αναμονής της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Η μέτρηση βέβαια της μέσης καθυστέρησης του συστήματος δεν ανταποκρίνεται με την καθυστέρηση του χρήστη. Σε «καλά» ομοιογενή συστήματα προσδοκούμε να είναι σχεδόν πανομοιότυπα. Άλλα δύο αξιοσημείωτα κριτήρια που έχουν ενδιαφέρον για την μελέτη των πρωτοκόλλων πολλαπλής πρόσβασης είναι η σταθερότητα του συστήματος και η απαιτούμενη προσωρινή μνήμη. Η σταθερότητα προκύπτει διότι σε κάποιο ποσοστό δημιουργίας μηνυμάτων δεν μπορεί να διατηρηθεί από το σύστημα

για μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμα κι αν το μέγεθος του πακέτου είναι μικρότερο από τον μέσο ρυθμό μετάδοσης. Επομένως, η σταθερότητα του συστήματος παίζει σημαντικό ρόλο.

Η απαιτούμενη προσωρινή μνήμη κατέχει και αυτή πολύ σημαντικό ρόλο σε ένα σύστημα. Λειτουργεί κι αυτή σαν μέτρο απόδοσης του συστήματος. Όταν έχουμε υψηλή μνήμη τότε αυτό σημαίνει ότι θα έχουμε μεγαλύτερες καθυστερήσεις μηνυμάτων.

Για να κατανοήσουμε περισσότερο τα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης (Mac) πρέπει να διευθετήσουμε πρώτα τα παρακάτω ζητήματα.

- Συνδεσιμότητα. Η ικανότητα ενός σταθμού να «ακούει» την μετάδοση ενός άλλου σταθμού εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης, την απόστασή τους και την ευαισθησία του δέκτη. Ας θεωρήσουμε λοιπόν ότι έχουμε μια επιτυχή μετάδοση. Σε αυτή την περίπτωση χωρίζουμε στις εξής τρεις κατηγορίες: *της μονής* μετάβασης (μετάβαση ενός βήματος), *της διπλής* μετάβασης και *της πολλαπλής* μετάβασης. Στην μονή μεταπήδηση όλοι οι χρήστες «ακούνε» στην μετάδοση κάποιου χρήστη και για αυτόν τον λόγο δεν χρειάζεται δρομολόγηση μηνύματος. Στην διπλή μεταπήδηση, οι σταθμοί είτε επικοινωνούν κατευθείαν είτε με την βοήθεια κάποιου ενδιάμεσου σταθμού. Στην πολλαπλή μεταπήδηση που είναι η πιο γενική έχουμε το πρόβλημα της δρομολόγησης των πακέτων.
- Τύπος καναλιού. Το κανάλι είναι το μέσο το οποίο μεταφέρει τα δεδομένα από τον αποστολέα στον προορισμό του. Σε κάθε κανάλι υπάρχουν συγκρούσεις πακέτων. Σύγκρουση ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία η μετάδοση δύο ή και περισσότερων πακέτων αλληλοκαλύπτεται. Κανάλι σύγκρουσης έχουμε όταν οι πληροφορίες που μεταδίδονται καταστρέφονται, επομένως πρέπει να ξανά αποσταλούν. Ενώ κανάλι χωρίς σύγκρουση έχουμε όταν μια πληροφορία έχει επιτυχή μετάδοση. Ένας ακόμη τύπος καναλιού είναι και το κανάλι με θόρυβο, όπου μπορεί η πληροφορία να μεταδίδεται με σφάλματα. Επίσης, έχουμε το κανάλι λήψης και το κανάλι που χρησιμοποιεί κωδικοποίηση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ακόμα και αν υπάρχουν σφάλματα στην εκπεμπόμενη πληροφορία ο δέκτης είναι σε θέση

με την χρήση της αποκωδικοποίησης να λάβει σωστά κάποια τμήματα της πληροφορίας.

- Συγχρονισμός. Θεωρείται ότι οι χρήστες δεν είναι σε θέση να είναι συγχρονισμένοι. Μια σημαντική κατηγορία των συστημάτων είναι τα συστήματα όπου ο χρόνος διαμοιράζεται σε slots (χρονοσχισμές). Οι χρήστες χρησιμοποιούν ένα παγκόσμιο ρολόι που η μεταδιδόμενη πληροφορία αποστέλλεται στην αρχή κάθε σχισμής. Ο συγχρονισμός χρησιμοποιείται συχνά σε ένα κανάλι για τον καθορισμό δραστηριοτήτων που μπορεί να γίνει οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Ανατροφοδότηση/Επιβεβαίωση. Ανατροφοδότηση ονομάζεται η πληροφορία η οποία είναι διαθέσιμη στους χρήστες για τις δραστηριότητες στο κανάλι από παρελθοντικό χρόνο. Αυτή η πληροφορία λαμβάνεται από τον χρήστη με μηνύματα επιβεβαίωσης. Σε κάθε πρωτόκολλο στην αρχή ή στο τέλος μιας σχισμής, η ανατροφοδότηση είναι διαθέσιμη για τους χρήστες. Η απλή ανατροφοδότηση ενημερώνει τον χρήστη για το αν υπήρξε σύγκρουση στην μετάδοση ή αν το κανάλι ήταν ανενεργό ή αν υπήρξε επιτυχία στην μετάδοση της πληροφορίας. Άλλες διακυμάνσεις ανατροφοδότησης επιτρέπουν στους χρήστες να λάβουν τον ακριβή αριθμό των συγκρούσεων. Πρόσφατα προτάθηκαν πρωτόκολλα χωρίς ανατροφοδότηση.
- Μέγεθος μηνύματος. Η βασική μονάδα δεδομένων από ένα χρήστη ονομάζεται μήνυμα. Είναι βέβαια λογικό ότι αν είναι μεγάλο το μήνυμα να μην μπορεί να σταλθεί σε μια μετάδοση. Για αυτόν τον λόγο λοιπόν, το τεμαχίζουμε σε μικρότερα κομμάτια πληροφορίας που ονομάζονται πακέτα. Ένα μήνυμα αποτελείται από έναν ακέραιο αριθμό πακέτων. Το μέγεθος του κάθε πακέτου μετράται από τον χρόνο που απαιτείται για την μετάδοσή του από την στιγμή που έχει πρόσβαση στο κανάλι.
- Δημιουργία μηνύματος. Όλοι οι χρήστες είναι στατιστικά πανομοιότυποι και δημιουργούν νέα μηνύματα σύμφωνα με την κατανομή Poisson.
- Πληθυσμός χρηστών. Ο αριθμός των χρηστών σε ένα σύστημα μπορεί να είναι είτε πεπερασμένος είτε άπειρος. Κάθε χρήστης αναγνωρίζεται από το σύστημα σαν μια ανεξάρτητη οντότητα. Τα πρωτόκολλα χωρίς συγκρούσεις είναι άχρηστα αν ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται διαρκώς. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε πρωτόκολλα βασισμένα σε αιτήματα.

- Δυνατότητα buffering. Τα μηνύματα που δημιουργούνται από κάθε χρήστη αποθηκεύονται σε ένα buffer. Σε μια τυπική ανάλυση κάθε χρήστη διαχειρίζεται ένα buffer για την αποθήκευση ενός μηνύματος και δεν μπορεί να δημιουργήσει καινούργια μηνύματα αν ο buffer δεν είναι άδειος. Άλλες εναλλακτικές λύσεις είναι ο buffer να είναι είτε πεπερασμένος είτε άπειρος όπως οι χρήστες, αυτό βέβαια προσφέρεται μόνο για θεωρητική μελέτη.

## 2. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε στην μελέτη και την κατανόηση των εννοιών πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο και πρωτόκολλα. Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε τι είναι η πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο αρκεί να υποθέσουμε ότι έχουμε μια τηλεφωνική τηλεδιάσκεψη που ενώ μπορεί να υπάρχουν αρκετοί χρήστες που συμμετέχουν στην κλήση, μόνο ένας μπορεί να μιλάει. Οι υπόλοιποι ακούν, αυτό συμβαίνει γιατί αν προσπαθήσουν να μιλήσουν όλοι ταυτόχρονα τότε η κλήση θα χαθεί ή κανένας δεν θα ακούει. Αυτό συμβαίνει και όταν πολλοί χρήστες προσπαθούν να συνδεθούν σε ένα κοινό μέσο, αυτό ονομάζεται πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο, είναι δηλαδή ένας αλγόριθμος πρόσβασης σε ένα κοινό μέσο. Η ανάγκη αυτή δημιούργησε τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, έτσι ώστε να μπορούν να συνδέονται οι χρήστες χωρίς προβλήματα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε εκτενέστερα στην μελέτη της έννοιας πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο.

Ένα ακόμα θέμα που θα μας απασχολήσει σε αυτό το κεφάλαιο είναι αυτό των πρωτοκόλλων. Για την καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστικών συστημάτων η πληροφορία χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα και δεν αποστέλλεται σαν ένα ενιαίο κομμάτι. Αποτελείται στην ουσία από μια κατακόρυφη στοίβα, όπου κάθε στρώμα της στοίβας υλοποιεί διαφορετικές λειτουργίες τις οποίες τις προωθεί και παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως επόμενο στρώμα. Στην στοίβα ξεκινάμε από το χαμηλότερο και πάμε προς το υψηλότερο στρώμα. Βέβαια είναι προφανές ότι για την επικοινωνία δύο τερματικών πρέπει και τα δύο να έχουν αντίστοιχα ή ομότιμα στρώματα. Επί της ουσίας, το πρωτόκολλο αποτελείται από ένα σύνολο κανόνων συμφωνημένων εξ αρχής και από όλα τα επικοινωνούντα μέρη και εξυπηρετούν την μεταξύ τους ανταλλαγή πληροφοριών. Επιπροσθέτως, τα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης στο μέσο είναι κυρίως ένας κατανεμημένος αλγόριθμος ο οποίος καθορίζει το πως θα μοιράζονται οι σταθμοί στον διάυλο, δηλαδή τότε θα μπορεί ο κάθε σταθμός να μεταδώσει την πληροφορία του. Ένα πρωτόκολλο έχει τα εξής τρία χαρακτηριστικά:

- Την σύνταξη.

- Την σημασιολογία.
- Τον χρονισμό.

Σημειώνεται ότι η σύνταξη αφορά την μορφή των τμημάτων δεδομένων, η σημασιολογία περιλαμβάνει πληροφορίες για τον χειρισμό σφαλμάτων και τέλος ο χρονισμός περιλαμβάνει την ταχύτητα και την διασφάλιση της σειράς των δεδομένων.

## 2.1. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΜΕΣΟ

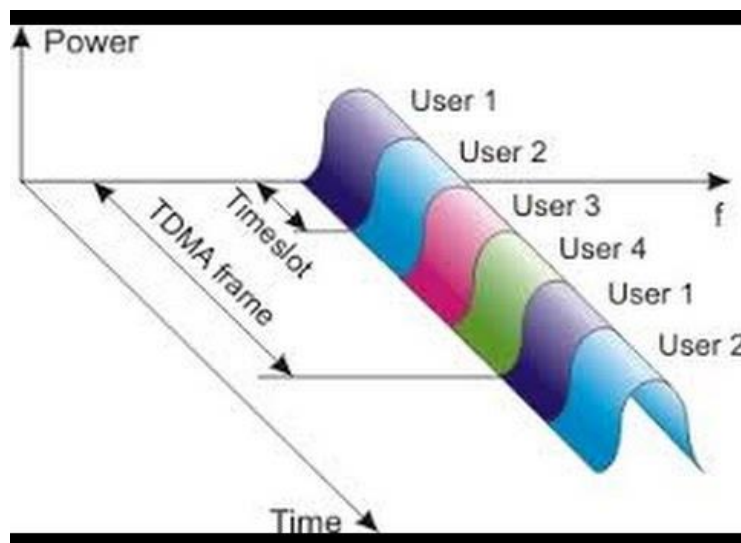
Όπως αναφερθήκαμε και πιο πάνω για την πολλαπλή πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιούμε πρωτόκολλα MAC και έχουμε κάποιες τεχνικές οι οποίες μας διασφαλίζουν την σωστή επικοινωνία. Αυτές οι τεχνικές με τις οποίες διασφαλίζουμε την πολλαπλή πρόσβαση στο ίδιο μέσο για τα ασύρματα δίκτυα είναι οι ακόλουθες:

1. Η πολλαπλή πρόσβαση διάρεση χρόνου (TDMA, Time Division Multiple Access).
2. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεση συχνότητας (FDMA, Frequency Division Multiple Access).
3. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεση κώδικα (CDMA, Code Division Multiple Access).
4. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεση χώρου (SDMA, Space Division Multiple Access).

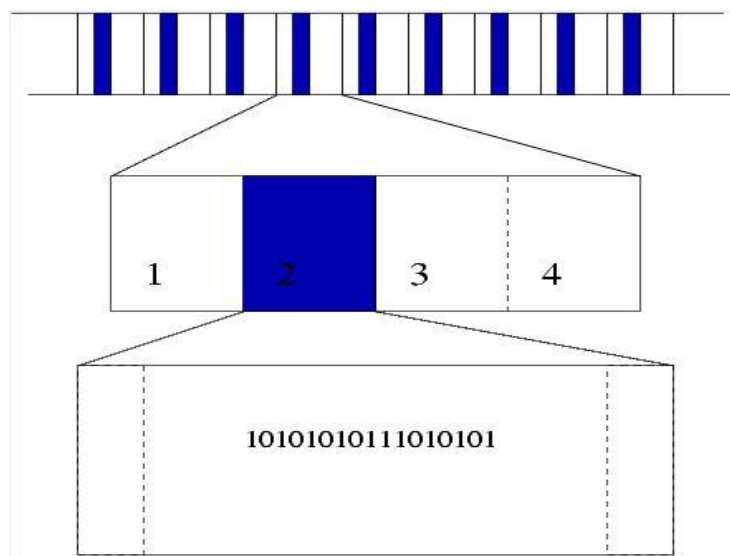
Ακολουθεί μια περιγραφή των παραπάνω τεχνικών.

1. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεση χρόνου στην ουσία είναι μια τεχνική η οποία επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται το ίδιο κανάλι στο πεδίο του χρόνου. Χρησιμοποιεί χρονοσχισμές (time slots) διαιρώντας τον χρόνο. Δηλαδή οι χρήστες μεταδίδουν ο ένας μετά τον άλλον διαδοχικά. Ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί την δική του χρονοθυρίδα. Ένα κλασικό παράδειγμα της TDMA είναι τα δίκτυα φωνής, σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα εκπέμπει ο κάθε χρήστης με έναν σταθερό ρυθμό μετάδοσης. Αυτό βέβαια αλλάζει στα δίκτυα δεδομένων που η κίνηση είναι ασύμμετρη και αλλάζει η μεταφερόμενη πληροφορία τότε

χρησιμοποιούμε πιο πολύπλοκους αλγόριθμους που ελέγχουν την πρόσβαση του κάθε χρήστη στο πεδίο του χρόνου. Η TDMA είναι ένας τύπος πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (TDM) και χρησιμοποιεί αμφίδρομη σύνδεση (Time Division Duplex ή αλλιώς TDD). Με τον όρο TDD εννοούμε την αμφίδρομη διαίρεση χρόνου. Στην ουσία η TDD διαχωρίζει την ανερχόμενη ζεύξη (uplink) από την κατερχόμενη ζεύξη (downlink) με την βοήθεια χρονοσχησμών στην ίδια συχνότητα.

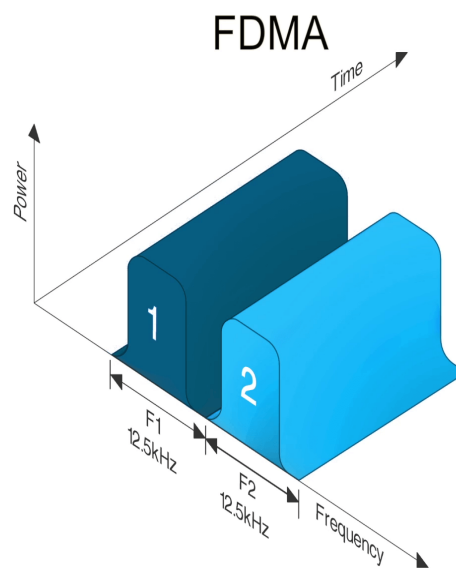


Εικόνα 4: Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου (TDMA)

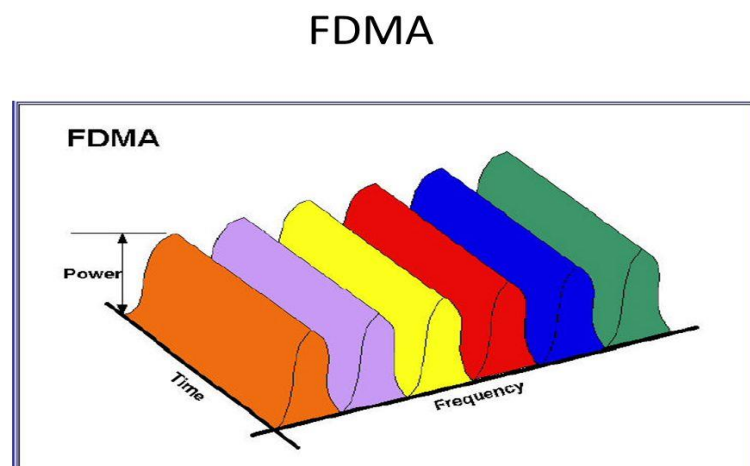


Εικόνα 5: Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου (TDMA)

2. Η πολλαπλή πρόσβαση συχνότητας στην ουσία είναι μια τεχνική η οποία εκχωρεί σε κάθε χρήστη μια μοναδική συχνότητα η οποία δίνεται έπειτα από αίτηση του χρήστη. Ουσιαστικά διακρίνει τα φυσικά κανάλια στο πεδίο συχνοτήτων. Βέβαια τη στιγμή που ένας χρήστης καλύπτει μια συχνότητα δεν μπορεί άλλος χρήστης να καλύψει την ίδια συχνότητα. Στην FDMA χρησιμοποιούμε αμφίδρομη συχνότητα (FDD, Frequency Division Duplex ), δηλαδή δίνεται στους χρήστες μια συχνότητα για κάθε κατεύθυνση. Το μειονέκτημα της FDMA είναι ότι έχει χαμηλή απόδοση και χωρητικότητα στο σύστημα.

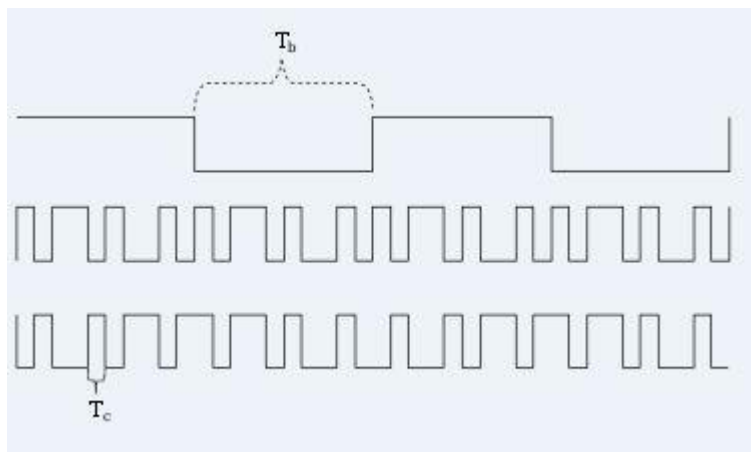


**Εικόνα 6: Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωσης Συχνότητας (FDMA)**



**Εικόνα 7: Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωση Συχνότητας (FDMA)**

3. Η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα στην ουσία είναι μια τεχνική κατά την οποία το σήμα της πληροφορίας μεταδίδεται απευθείας από το σήμα της κωδικοποίησης. Διακρίνει τα φυσικά κανάλια στο πεδίο των κωδικών, δηλαδή η πληροφορία του κάθε χρήστη κωδικοποιείται με διαφορετικούς κώδικες. Το σήμα μπορεί να είναι είτε αναλογικό είτε ψηφιακό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάθε χρήστη να μπορεί να καταλάβει τον οποιοδήποτε χρήστη με βάση τον κώδικά του. Ένα απλό παράδειγμα για να κατανοήσουμε την CDMA είναι να σκεφτούμε ότι είμαστε σε ένα πάρτι στο οποίο υπάρχουν πολλοί άνθρωποι οι οποίοι μιλούν σε διαφορετικές γλώσσες. Εάν εισέλθουμε στο πάρτι παρόλο που μπορεί να μιλάνε όλοι ταυτόχρονα εμείς αμέσως θα διακρίνουμε την γλώσσα που αντιλαμβανόμαστε.



**Εικόνα 8: Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεση Κώδικα(CDMA)**

4. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου ελέγχει την ακτινοβολούμενη ενέργεια από κάθε χρήστη στον χώρο, ουσιαστικά λειτουργεί απονέμοντας ένα διακριτό χώρο για κάθε κανάλι. Η SDMA χρησιμοποιεί δέσμες της κεραίας οπότε μπορεί να εξυπηρετήσει από την ίδια συχνότητα (TDMA, CDMA) ή από διαφορετική συχνότητα (FDMA). Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα παρά μόνο σε συνδυασμό με κάποια από τις προηγούμενες τεχνικές.

Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης για επίγειους σταθμούς με ένα δορυφορικό αναμεταδότη είναι οι ίδιες που αναφέραμε παραπάνω, βέβαια η απόκτηση πρόσβασης καθορίζεται και από άλλες δύο τεχνικές την σταθερή και την δυναμική εκχώρηση, για τις οποίες θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω.

- Η πολλαπλή πρόσβαση TDMA όπως και για τα τοπικά δίκτυα έτσι και για τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες η TDMA εκχωρεί σε κάθε επίγειο σταθμό το συνολικό εύρος ζώνης του αναμεταδότη σε χρονοσχισμές. Αυτό σημαίνει ότι κάθε επίγειος σταθμός εκπέμπει σε συγκεκριμένες συχνότητες σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή οπότε το σήμα του δεν παρεμβάλλεται από άλλα γειτονικά σήματα. Η TDMA χρησιμοποιείται μόνο για ψηφιακά σήματα, επομένως αν επιθυμούμε να στείλουμε οποιοδήποτε αναλογικό σήμα πρέπει πρώτα να το κάνουμε ψηφιακό. Το βασικό μειονέκτημα της είναι ότι απαιτεί συγχρονισμό βέβαια το μεγάλο πλεονέκτημά της είναι ότι σε σύγκριση με την FDMA είναι πιο ευέλικτη και πιο απλή.

Στην σταθερή εκχώρηση της TDMA κάθε δορυφορικός σταθμός μεταδίδει σε μια αποκλειστική χρονοσχισμή, σημειώνεται ότι ο αριθμός των χρονοσχισμών είναι ίσος με τον αριθμό των δορυφόρων σταθμών. Η διάρκεια μετάδοσης είναι σταθερή. Το θετικό με την σταθερή εκχώρηση είναι ότι δεν υπάρχει χρόνος αναμονής ούτε φραγή ανεξαρτήτως από τη ζήτηση.

Στην δυναμική εκχώρηση κάθε σταθμός εκμεταλλεύεται οποιαδήποτε ελεύθερη χρονοσχισμή ή αν χρησιμοποιεί ήδη μπορεί να αυξήσει την χωρητικότητά του και να υποστηρίξει έναν μεγαλύτερο αριθμό συνδέσεων.

- Η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες επιτυγχάνεται εκχωρώντας ένα μέρος του συνολικού εύρους ζώνης του αναμεταδότη στον επίγειο σταθμό. Το μέγεθος του εύρους ζώνης υπολογίζεται από τον ρυθμό μετάδοσης, την κωδικοποίηση και τον τύπο διαμόρφωσης. Κάθε επίγειος σταθμός διαθέτει διαφορετική συχνότητα φέροντος για την αποφυγή παρεμβολών. Όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση τότε η FDMA χρησιμοποιεί σταθερή εκχώρηση ενώ όταν είναι

χαμηλή προτιμάτε δυναμική, βέβαια αυτό αλλάζει αν έχουμε ελάχιστο χρόνο μετάδοσης και πολλούς χρήστες τότε χρησιμοποιούμε δυναμική. Στην FDMA χρησιμοποιούμε ζώνες φύλαξης οι οποίες προβλέπουν και επιλύουν προβλήματα παρεμβολών και τα επιλύουν. Τα πλεονεκτήματα της είναι ότι διαμοιράζεται κοινούς πόρους. Η FDMA χρησιμοποιεί SCPC και MCPC και μεταδίδει είτε αναλογικό είτε ψηφιακό σήμα.

Στην σταθερή εκχώρηση η FDMA δεν έχει ευελιξία. Δηλαδή κάποιες σχισμές είτε θα είναι αδρανείς είτε θα έχουν υπερβολική κίνηση.

Στην δυναμική εκχώρηση το εύρος ζώνης του αναμεταδότη χωρίζεται σε έναν αριθμό καναλιών και πραγματοποιείται είτε με την μέθοδο polling είτε με την μέθοδο τυχαίας πρόσβασης.

- Στην πολλαπλή πρόσβαση με κώδικα στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες καλύπτεται όλο το εύρος ζώνης του αναμεταδότη αφού δεν έχει περιορισμούς ως προς την συχνότητα ή τον χρόνο. Το σήμα που μεταδίδεται ονομάζεται σήμα διασποράς διότι βγαίνει από ένα σήμα μεγάλου εύρους πολλαπλασιασμένο με ένα σήμα στενής ζώνης. Το σήμα διασποράς είναι μια κωδική ακολουθία ψευδοθορύβου η οποία έχει ρυθμό μεγαλύτερο από τον ρυθμό μετάδοσης. Όλοι οι πομποί μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα αφού κάθε σήμα έχει μια μοναδική ακολουθία που ονομάζεται ακολουθία υπογραφής. Βέβαια από την πλευρά του δέκτη λαμβάνοντας το σήμα χρησιμοποιεί μια ακολουθία προσαρμογής για να μετατρέψει το σήμα στην αρχική του κατάσταση. Η CDMA χρησιμοποιεί ψηφιακά μορφή σήματος και δεν έχει περιορισμό προς το εύρος ζώνης όπως η TDMA και η FDMA, επίσης στην CDMA έχουμε λιγότερο θόρυβο.

Τα πλεονεκτήματα της CDMA είναι αρκετά σε σύγκριση με τις άλλες δύο τεχνικές όπως είναι η προστασία προσωπικών δεδομένων, η αντοχή στις παρεμβολές, η φασματική απόδοση και η απόδοση καναλιού με διαλείψεις. Η CDMA χρησιμοποιείται συνήθως σε VSAT δίκτυα.

Το κύριο πρόβλημα της CDMA είναι η επιλογή της κατάλληλης ακολουθίας. Η σωστή επιλογή της ακολουθίας βγαίνει ύστερα από δυο κριτήρια, πρώτον να μην υπάρχει μη εξουσιοδοτημένη κωδικοποίηση και δεύτερον να είναι μικρή σε μήκος. Αυτά τα κριτήρια καλύπτονται από την PN (ψευδοτυχαία) ακολουθία, η οποία μπορεί να φαίνεται ως τυχαία ακολουθία αλλά καλύπτει κάποια μη τυχαία χαρακτηριστικά και στην ουσία είναι μια πεπερασμένη δυαδική ακολουθία.

Η CDMA χρησιμοποιεί δύο βασικές διασπορές για την ακολουθία PN. Την διασπορά φάσματος ευθείας ακολουθίας και την διασπορά φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας.

Στην σταθερή CDMA ένας δορυφορικός σταθμός λαμβάνει μια αίτηση κλήσης από έναν χρήστη που βρίσκεται μέσα στο ίδιο δίκτυο μέσω ενός Hub.

## **2.2. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ MAC**

Όπως αναφερθήκαμε και πιο πάνω τα πρωτόκολλα MAC χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στα πρωτόκολλα κατάτμησης καναλιού (που διαχωρίζονται ως προς την συχνότητα, τον χρόνο, τον χώρο και ως προς τον κώδικα) και στα πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης.

Στα πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης όταν ένας σταθμός έχει να στείλει ένα πακέτο μεταδίδει. Αυτό βέβαια έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει συντονισμός μεταξύ των σταθμών, δηλαδή αν προσπαθήσουν να μεταδώσουν παραπάνω από ένας σταθμοί ταυτόχρονα τότε υπάρχει σύγκρουση. Τα πρωτόκολλα MAC για τυχαία πρόσβαση χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύονται και να επιλύονται οι συγκρούσεις. Επίσης τα πρωτόκολλα MAC δραστηριοποιούνται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων.

Κάποια βασικά παραδείγματα των πρωτοκόλλων MAC τυχαίας πρόσβασης είναι τα εξής:

1. Pure Aloha.
2. Slotted Aloha.
3. CSMA και CSMA/CD.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα μας απασχολήσει η μελέτη του CSMA και του CSMA/CD, τα δύο πρώτα παραδείγματα (Pure Aloha και Slotted Aloha) θα αναλυθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Όπως αναφερθήκαμε και πιο πάνω το CSMA και το CSMA/CD είναι παραδείγματα πρωτοκόλλων MAC τυχαίας πρόσβασης. Είναι δηλαδή η μεταγενέστερη βελτίωση του ALOHA. Ουσιαστικά το CSMA (Carrier Sense Multiple Access) είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς στο οποίο ελέγχει ο σταθμός το μέσο μετάδοσης πριν αποστείλει κάποιο μήνυμα. Επαληθεύει δηλαδή την απουσία κίνησης του καναλιού με τον μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος. Η CSMA έχει κάποιες παραλλαγές που είναι οι ακόλουθες.

1. Το μη επίμονο πρωτόκολλο (non persistent CSMA).
2. Το 1-επίμονο πρωτόκολλο (1-persistent CSMA/CD).
3. Το p-επίμονο πρωτόκολλο (p-persistent CSMA/CD).

Στην συνέχεια ακολουθεί μια περιγραφή των παραπάνω παραλλαγών της CSMA.

Το μη επίμονο πρωτόκολλο είναι εκείνο που αν διαπιστώσει απουσία κίνησης στο μέσο τότε εκπέμπει αμέσως. Αν όμως διαπιστώσει κίνηση στο μέσο τότε περιμένει και αποστέλλει το μήνυμα σε ένα τυχαίο χρονικό διάστημα αφού πρωτίστως ελέγξει αν το μέσο είναι αδρανές ή όχι.

Το 1-επίμονο πρωτόκολλο είναι εκείνο το οποίο αποστέλλει σε περίπτωση που διαπιστώσει ότι υπάρχει απουσία κίνησης στο μέσο. Η διαφορά του με το μη επίμονο πρωτόκολλο είναι ότι αν βρει το κανάλι απασχολημένο τότε περιμένει να ελευθερωθεί και αποστέλλει αμέσως. Το όνομα του το πήρε γιατί ο σταθμός μεταδίδει με πιθανότητα 1 όταν το κανάλι καταστεί ελεύθερο.

Το p-επίμονο πρωτόκολλο πήρε το όνομά του επειδή αποστέλλει με πιθανότητα p. Όπως και τα άλλα δύο πρωτόκολλα ανιχνεύει πρώτα αν υπάρχει κίνηση στο μέσο. Το συγκεκριμένο όμως πρωτόκολλο αν βρει το κανάλι απασχολημένο τότε περιμένει και μεταδίδει στην επόμενη ακριβώς χρονοσchiμή. Αυτός ο τρόπος προτιμάτε διότι προσφέρει λιγότερες συγκρούσεις και μεγαλύτερη απόδοση.

Μια βελτίωση της CSMA είναι η CSMA/CD. Η CSMA/CD έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει τις συγκρούσεις και να στέλνει ένα ειδικό σήμα (jamming signal) για

να ενημερωθούν όλοι οι σταθμοί ότι υπάρχει σύγκρουση. Οι σταθμοί που εμπλέκονται στην σύγκρουση μεταδίδουν ξανά το πακέτο σε τυχαίο χρονικό διάστημα σε μελλοντικό χρόνο.

### 3.ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ALOHA

Όπως είπαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τα πρωτόκολλα ALOHA ανήκουν στα πρωτόκολλα MAC. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης από τον Norman Abramson και τους συναδέλφους του. Δημιουργήθηκε με σκοπό την επίλυση των προβλημάτων στις ραδιοεπικοινωνίες. Ξεκίνησε ως ερευνητικό κομμάτι για την σύνδεση απομακρυσμένου μέσου μεταξύ υπολογιστή με υπολογιστή και κονσόλα με υπολογιστή.

Ο κεντρικός υπολογιστής του συστήματος ALOHA (IBM 360/65) ήταν συνδεδεμένος σε ένα κανάλι ραδιοεπικοινωνιών σε περιβάλλον διεπαφής και χρησιμοποιούσε το Interface Message Processors, το οποίο χρησιμοποιούσαν και στα δίκτυα ARPA. Λειτουργούσε με δύο διαύλους στα 100 KHz στα 408 και 414 MHz. Οι δίαυλοι χωρίστηκαν ο ένας σε απομακρυσμένες κονσόλες και ο άλλος για δεδομένα από τις κονσόλες.

Είχε μήκος λέξης 16 bit και οι πληροφορίες προς και από το σύστημα ήταν υπό την μορφή πακέτου με σταθερό μέγεθος 8 bit χαρακτήρων έχοντας επίσης 32 bit ελέγχου και 32 bit ισοτιμίας. Επομένως το κάθε πακέτο αποτελούνταν από 704 bit με σταθερή διάρκεια 29 ms. Τα bit ισοτιμίας χρησιμοποιούν έναν κώδικα ελέγχου λαθών <sup>(8)</sup>.

Συγκεκριμένα στο πρωτόκολλο αυτό η διεκδίκηση εκπομπής γίνεται με την χρήση FCFS (First Come-First Served). Αυτό βέβαια έχει ως αποτέλεσμα ότι μόλις ο χρήστης επιθυμεί να αποστείλει ένα πακέτο το στέλνει και αυτό αυτομάτως δημιουργεί συγκρούσεις και καταστροφή άλλων πακέτων που μεταδίδονται εκείνη την χρονική στιγμή.

Το πρωτόκολλο ALOHA είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο επιτρέπει την κοινή πρόσβαση και χρήση του μέσου από όλους τους σταθμούς του δικτύου. Το ALOHA διαχωρίζεται σε δύο μορφές, η πρώτη είναι το ασυγχρόνιστο ALOHA (pure ALOHA) και η δεύτερη το συγχρονισμένο ALOHA (slotted ALOHA). Η διαφορά τους βρίσκεται στο ότι το ασύγχρονο ALOHA μεταδίδει σε συνεχή χρόνο ενώ το συγχρονισμένο ALOHA σε διακριτό χρόνο.

Το βασικό χαρακτηριστικό του ALOHA είναι η έλλειψη απουσίας φέροντος, δηλαδή κάθε σταθμός αποστέλλει πακέτα χωρίς να ελέγξει εάν το κανάλι είναι ελεύθερο εκείνη την στιγμή. Αν στο κανάλι εκείνη την στιγμή γίνεται ήδη εκπομπή θα υπάρξει σύγκρουση και αυτομάτως τα πακέτα θα καταστραφούν. Ο κάθε σταθμός μόλις αντιληφθεί σύγκρουση περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και αποστέλλει εκ νέου το πακέτο. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι και την επιτυχή εκπομπή του πακέτου.

Ο τρόπος για να αντιληφθεί ο αποστολέας ότι το πακέτο του έφτασε στον προορισμό του είναι απλός. Μόλις ο παραλήπτης λάβει το πακέτο, αυτόματα στέλνει ένα ειδικό πλαίσιο επιβεβαίωσης της λήψης του πακέτου. Το πλαίσιο αυτό ονομάζεται ack (acknowledgement frame). Αν βέβαια το ack χαθεί τότε ο αποστολέας του αρχικού πακέτου ξαναστέλνει το πακέτο μη γνωρίζοντας ότι έχει ληφθεί εξ αρχής από τον παραλήπτη.

Η σχέση του ALOHA με την CSMA και CSMA/CD που αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι εμφανή. Οι βελτιώσεις που έχει υποστεί η CSMA/CD σε σύγκριση με το ALOHA είναι στην ανίχνευση φορέα και στην ανίχνευση σύγκρουσης.

Στην ανίχνευση φορέα ελέγχει αν έχει κίνηση στη γραμμή ή όχι και τότε αποφασίζει αν θα μεταδώσει τα πακέτα ή όχι. Με λίγα λόγια δεν παρενοχλούνται πακέτα άλλων σταθμών όταν έχουν ήδη καταλάβει το κανάλι σε αντίθεση με το ALOHA.

Στην ανίχνευση συγκρούσεων ανιχνεύει με επιτυχία τυχόν συγκρούσεις και σταματάει οποιαδήποτε εκπομπή. Τότε αποστέλλει ένα jamming signal σε όλους τους σταθμούς για να ενημερωθούν για την σύγκρουση σε αντίθεση με το ALOHA που συνεχίζει την μετάδοση.

### **3.1 PURE ALOHA**

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν δύο μορφές του πρωτοκόλλου ALOHA το ασύγχρονο και το σύγχρονο. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφερθούμε στο ασύγχρονο (pure) που μεταδίδει σε συνεχή χρόνο.

Στο pure ALOHA ο κάθε σταθμός μεταδίδει πακέτα κάθε φορά που θα έχει για εκπομπή και η μετάδοση των πακέτων αυτών γίνεται σε τυχαία χρονική στιγμή. Ο αποστολέας είναι σε θέση κάθε φορά να αντιληφθεί αν κάποιο πακέτο έχει υποστεί σύγκρουση. Σε περίπτωση που κάποιο πακέτο υποστεί σύγκρουση ο αποστολέας περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και αποστέλλει το πακέτο από την αρχή, αν το πακέτο ληφθεί από τον παραλήπτη τότε περιμένει ένα τυχαίο πάλι χρονικό διάστημα και αν έχει πακέτα να στείλει τα αποστέλλει ακριβώς με την ίδια διαδικασία.

Με λίγα λόγια το ασύγχρονο ALOHA επιτρέπει στους χρήστες να μεταδώσουν όταν έχουν πακέτα. Σε περίπτωση σύγκρουσης αποστέλλει τα πακέτα αυτά σε τυχαίο χρονικό διάστημα και χρησιμοποιεί επίσης τυχαίο χρονικό διάστημα για την αποφυγή της ίδιας σύγκρουσης.

Για να κατανοήσουμε όμως καλύτερα το pure ALOHA πρέπει να αντιληφθούμε τον τρόπο που εκπέμπει. Θεωρούμε λοιπόν ότι έχει άπειρο αριθμό χρηστών και ότι οι σταθμοί του βρίσκονται πάντα σε δύο καταστάσεις, του πομπού και του δέκτη. Επίσης ότι λειτουργεί σε συνεχές χρόνο, ως χρόνο πλαισίου ορίζεται ο χρόνος που κάνει να μεταδοθεί ένα πλαίσιο και υποθέτουμε ότι η δημιουργία πλαισίου ακολουθεί κατανομή Poisson.

Θεωρούμε λοιπόν ως  $S$  τον μέσο αριθμό πλαισίων που προσπαθούμε να μεταδώσουμε σε ένα χρονικό διάστημα και ως  $G$  θεωρούμε τα παλιά και νέα πλαίσια.

Με βάση το παραπάνω έχουμε δύο περιπτώσεις:

- Αν  $S > 1$ , τότε αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες δημιουργούν πακέτα με μεγαλύτερο ρυθμό από τον ρυθμό μετάδοσης του καναλιού και επομένως θα υπάρχουν συγκρούσεις.
- Αν  $0 < S < 1$ , τότε αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός δημιουργίας πακέτων δεν υπερβαίνει τον ρυθμό μετάδοσης του καναλιού, οπότε δεν υπάρχουν συγκρούσεις.

Ακόμα γνωρίζουμε ότι  $G \geq S$  οπότε έχουμε και πάλι δύο περιπτώσεις:

- Για χαμηλό φορτίο ισχύει ότι  $S \approx 0$  θα υπάρχουν λίγες συγκρούσεις οπότε γίνεται  $G \approx S$ .
- Για υψηλό φορτίο που εδώ υπάρχουν και περισσότερες συγκρούσεις έχουμε  $G > S$ .

Για την απόδοση του pure ALOHA γνωρίζουμε ότι η πιθανότητα (P) να δημιουργηθούν πακέτα (G) από k χρήστες μέσα σε ένα χρονικό διάστημα δίνεται από τον τύπο  $P = (G^k \times e^{-G}) / k!$ .

Με βάση αυτόν τον τύπο καταλαβαίνουμε ότι η πιθανότητα (P) να δημιουργηθούν 0 πακέτα μέσα σε ένα χρόνο πλαισίου είναι  $e^{-G}$ , επίσης γνωρίζουμε ότι ο μέσος αριθμός παραγόμενων πακέτων σε διάστημα ίσο με δύο χρόνους είναι  $2G$ .

Η πιθανότητα ένα πακέτο να μην υποστεί σύγκρουση είναι  $S = G \times P_0 \times P_0$ . Επομένως η πιθανότητα να μην υπάρξει σύγκρουση κατά την διάρκεια δύο χρόνων πλαισίου είναι  $P_0 = e^{-2G}$ .

Άρα,

$$S = G e^{-2G}.$$

Επομένως η απόδοση ALOHA είναι:

$$\eta_{\text{pALOHA}} = 1 / 2e = 18.4\%.$$

### 3.2 SLOTTED ALOHA

Όπως αναφερθήκαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το συγχρονισμένο (slotted) ALOHA χρησιμοποιείται σε διακριτό χρόνο.

Στο slotted ALOHA ο χρόνος είναι διακριτός όχι συνεχές όπως στο pure ALOHA, επομένως ο χρόνος τεμαχίζεται σε συγκεκριμένες σχισμές του χρόνου (time slots). Ο κάθε χρήστης αποστέλλει το πακέτο του στην αρχή κάθε χρονοσχιμής. Αν υπάρξει σύγκρουση θα υπάρξει μόνο στην αρχή κάθε time slot. Η κύρια διαφορά του με το pure ALOHA είναι ότι ο χρήστης δεν αποστέλλει πακέτα κάθε φορά που έχει να μεταδώσει, αλλά σε συγκεκριμένο χρόνο. Αν δεν έχει να μεταδώσει πακέτο εκείνη

την στιγμή περιμένει μέχρι την επόμενη χρονοσχιμή. Με αυτόν τον τρόπο η πιθανότητα σύγκρουσης μειώνεται κατά πολύ.

**Με βάση πάλι την κατανομή Poisson στο slotted ALOHA γνωρίζουμε ότι το  $S = G \times e^{-G}$ , επίσης γνωρίζουμε ότι το  $G = 1$  με  $P = 0.37$ .**

Συνεπώς όταν το  $G > 1$  τότε μειώνεται ο αριθμός άδειων time slots, άρα αυξάνεται ο αριθμός των συγκρούσεων.

Άρα,

$$P = e^{-G} \times (1 - e^{-G})^{k-1}.$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι η πιθανότητα της αποστολής πακέτων χωρίς συγκρούσεις είναι  $P_0 = e^{-G}$  και ότι η ρυθμοαπόδοση είναι  $S = G$ ,  $P_0 = G \times e^{-G}$ .

Επομένως η απόδοση του slotted ALOHA είναι στο 37%.

Το συγχρονισμένο ALOHA χρησιμοποιεί επίσης αλγόριθμους αποφυγής συγκρούσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια των tag. Το tag είναι ένα μοναδικό κλειδί το οποίο έχει έναν μοναδικό σειριακό αριθμό ο οποίος έχει ένα κομμάτι πληροφορίας. Μεταδίδονται στην αρχή κάθε χρονοσχιμής και τα tag μπορούν να ξαναβρεθούν μέσω αναζήτησης. Οι αλγόριθμοι αποφυγής σύγκρουσης που χρησιμοποιεί το slotted ALOHA είναι οι εξής:

1. Βασικός αλγόριθμος συγχρονισμένου ALOHA (Basic Framed Slotted ALOHA, BFSA).
2. Δυναμικός αλγόριθμος συγχρονισμένου ALOHA (Dynamic Framed Slotted ALOHA, DFSA).
3. Προηγμένος αλγόριθμος συγχρονισμένου ALOHA (Advanced Framed Slotted ALOHA, AFSA).

## 4.ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ALOHA

Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η απόδοση του ασύγχρονου και σύγχρονου ALOHA βγαίνει με την βοήθεια της κατανομής του Poisson. Βέβαια για να βρούμε την απόδοση του slotted ALOHA πρέπει να ισχύουν κάποιες παράμετροι οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Το κανάλι να μην παρουσιάζει θόρυβο.
- Ο αριθμός των σταθμών που μεταδίδει πακέτα να είναι μεγάλος.
- Ο αριθμός των πακέτων που δημιουργούνται να είναι τυχαίος.
- Η καθυστέρηση της διάδοσης να είναι μικρή.
- Το μήκος των πακέτων που μεταδίδονται να είναι σταθερός.

### 4.1.Η ΑΠΟΔΟΣΗ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε διεξοδικά την απόδοση του pure ALOHA με βάση έναν πεπερασμένο αριθμό χρηστών.

Η επιτυχής μετάδοση στο pure ALOHA.

Η πιθανότητα των  $k$  μεταδόσεων λήψης από  $n$  χρήστες στον χρόνο πλαισίου δίνεται από την σχέση:

$$P(k \text{ in } n) = \frac{n!}{k! (n - k)!} p^k (1 - p)^{n-k}$$

Η πιθανότητα τώρα της μίας μετάδοσης / λήψης από  $n$  χρήστες δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} P(1 \text{ in } n) &= \frac{n!}{1! (n - 1)!} p^1 (1 - p)^{n-1} \\ &= np(1 - p)^{n-1} \end{aligned}$$

Η πιθανότητα της καμίας / μετάδοσης λήψης δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} P(0 \text{ in } n - 1)) &= \frac{(n - 1)!}{0! (n - 1 - 0)!} p^0 (1 - p)^{n-1} \\ &= (1 - p)^{n-1} \end{aligned}$$

Και τέλος η πιθανότητα λήψης πακέτου σε μια χρονική στιγμή ίση με την πιθανότητα μετάδοσης ενός πακέτου σε σύγκριση με την κίνηση καναλιού δίνεται από την σχέση:

$$p = \frac{1}{n} G$$

Η πιθανότητα σύγκρουσης δύο πακέτων δίνεται από δύο περιπτώσεις και η σχέση είναι:

$$P(\text{collision of two packets}) = P(\text{case 1}) + P(\text{case 2})$$

Η πιθανότητα σύγκρουσης δύο πακέτων στην πρώτη περίπτωση δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} P(\text{case 1}) &= P(2 \text{ in } n) P(0 \text{ in } (n - 2)) \\ &= p = \frac{n(n-1)}{2} p^2 (1 - p)^{2(n-2)} \end{aligned}$$

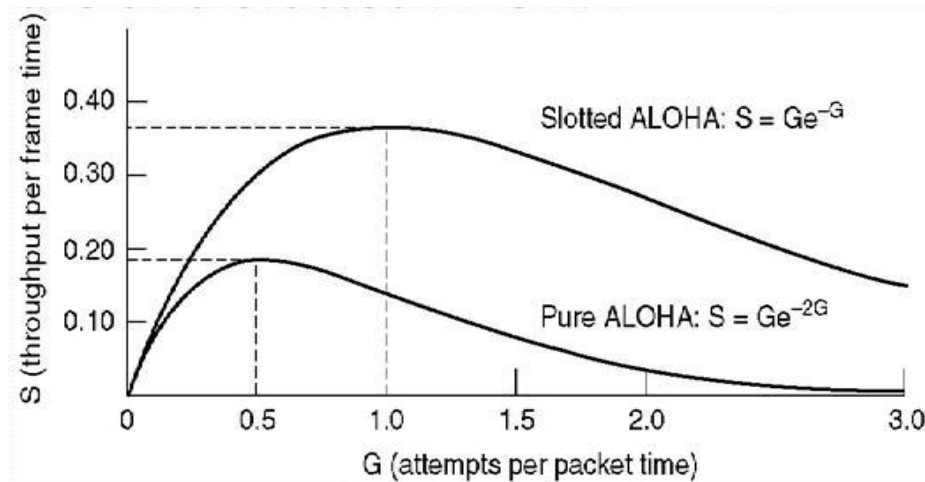
Ενώ η πιθανότητα σύγκρουσης δύο πακέτων στην δεύτερη περίπτωση δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} P(\text{case 2}) &= P(1 \text{ in } n) P(1 \text{ in } (n - 1)) \\ &= n(n - 1)p^2 (1 - p)^{2n-3} \end{aligned}$$

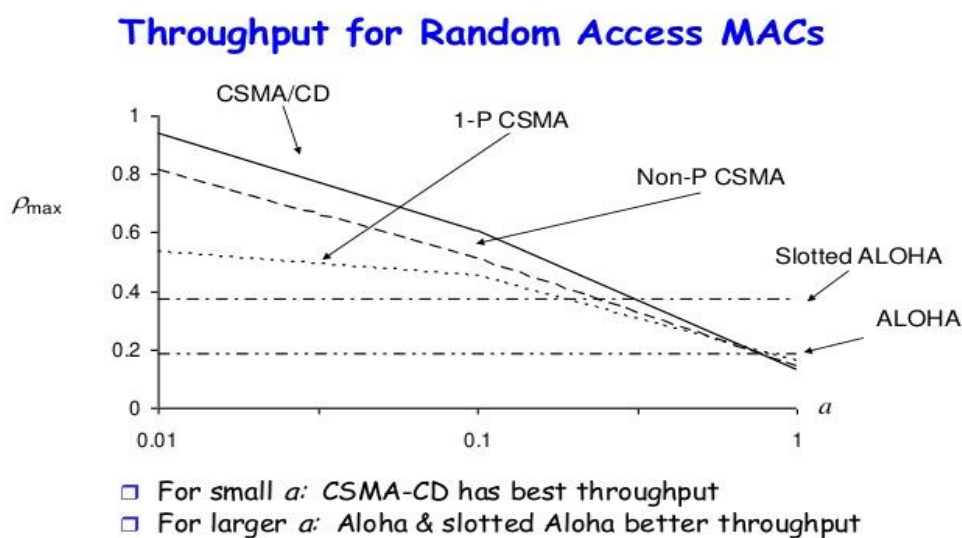
Συνοψίζοντας η πιθανότητα συγκρούσεων δύο πακέτων δίνεται από την σχέση:

$$n(n - 1) p^2 \left[ \frac{(1 - p)^{2(n-2)}}{2} + (1 - p)^{2n-3} \right]$$

Εν κατακλείδι η απόδοση του ασύγχρονου ALOHA είναι στο  $n = 18\%$  και του σύγχρονου ALOHA είναι στο  $n = 37\%$



Εικόνα 9: Σύγκριση Απόδοσης ALOHA για pure και slotted



Εικόνα 10: Σύγκριση Απόδοσης ALOHA και CSMA/CD

#### 4.2.0 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ OMNeT++

Το OMNeT++ δημιουργήθηκε από τον Adras Varga και είναι ένα πλαίσιο προσομοίωσης, υλοποιημένη σε γλώσσα C++, για την προσομοίωση δικτύων. Κάθε μοντέλο υλοποίησης που αναπτύσσεται στο OMNeT ++, αναπτύσσεται ως ανεξάρτητο. Το OMNeT ++ παρέχεται σε ένα γραφικό περιβάλλον τύπου Eclipse και περιλαμβάνει πλήθος πολλών εργαλείων. Παρέχει μια αρχιτεκτονική εξαρτημάτων που προγραμματίζεται σε C++ και στην συνέχεια χρησιμοποιεί μια γλώσσα υψηλού επιπέδου (NED) για την υλοποίησή του. Το OMNeT ++ παρέχεται δωρεάν και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του είναι ότι μπορεί να εγκατασταθεί και να λειτουργήσει σε Windows, Linux, Mac OSX και σε άλλα συστήματα τύπου Unix.

### 4.3 Πειραματική Μελέτη

Για την συγκεκριμένη πειραματική μελέτη χρησιμοποιήθηκε η έκδοση OMNeT++ 5.0. Η συγκεκριμένη έκδοση δόθηκε στην κυκλοφορία έπειτα από δύο χρόνια ανάπτυξης της. Η διαφορά της σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση είναι ότι εισάγει νέα χαρακτηριστικά όπως η υποστήριξη 3D γραφικών, απαλλαγή από την υποτιμημένη λειτουργικότητα, βελτιωμένη καταγραφή και πολλά άλλα.

Παρακάτω μελετάμε τη συμπεριφορά του πρωτοκόλλου ALOHA για χαμηλό, μεσαίο και υψηλό φορτίο μεταβάλλοντας τον αριθμό σταθμών για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- 1) Pure ALOHA
- 2) Slotted ALOHA

Και συλλέγουμε στατιστικά για:

- Μήκος σύγκρουσης
- Πολλαπλότητα συγκρούσεων
- Κατάσταση καναλιού

Διατηρώντας το φορτίο σταθερό (χαμηλό, μεσαίο, υψηλό) μεταβάλλουμε το πλήθος των σταθμών από 10 έως 90.

Ο κάθε σταθμός μεταδίδει με πλήρη ρυθμό  $R$  και η συχνότητα εισαγωγής πακέτων στο δίκτυο ρυθμίζεται περιμετρικά. Αυτό μας επιτρέπει να μεταβάλλουμε το φόρτο του δικτύου.

Επί της ουσίας ως μήκος σύγκρουσης ορίζουμε τον χρόνο που μεσολαβεί από την αποστολή του πακέτου έως την σύγκρουση. Δηλαδή αν κάθε σταθμός μεταδίδει σε μια χρονική στιγμή  $t_0$  και η σύγκρουση γίνεται σε μια χρονική στιγμή  $t_1$  τότε το μήκος σύγκρουσης ισούται με  $t_1 - t_0$ .

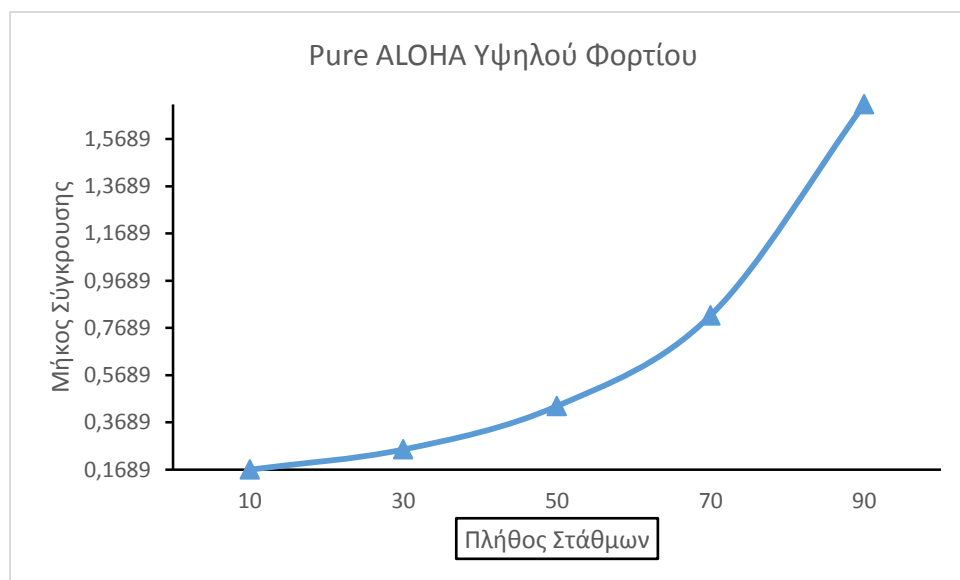
Ως πολλαπλότητα σύγκρουσης ορίζουμε τον αριθμό πακέτων που συγκρούστηκαν μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Το κανάλι μπορεί να βρίσκεται σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις: να είναι ανενεργό (κατάσταση 0), να μεταδίδει (κατάσταση 1), ή να βρίσκεται σε κατάσταση σύγκρουσης (κατάσταση 2).

Για κάθε μετρούμενη ποσότητα (μήκος σύγκρουσης, πολλαπλότητα σύγκρουσης, κατάσταση καναλιού) συλλέγουμε μετρήσεις από όλους τους κόμβους που μετέχουν και υπολογίζουμε το μέσο όρο.

#### A. Μελέτη Pure ALOHA

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε το pure ALOHA εξετάσουμε πως το πλήθος των σταθμών και ο φόρτος του δικτύου επηρεάζουν την απόδοση σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις.



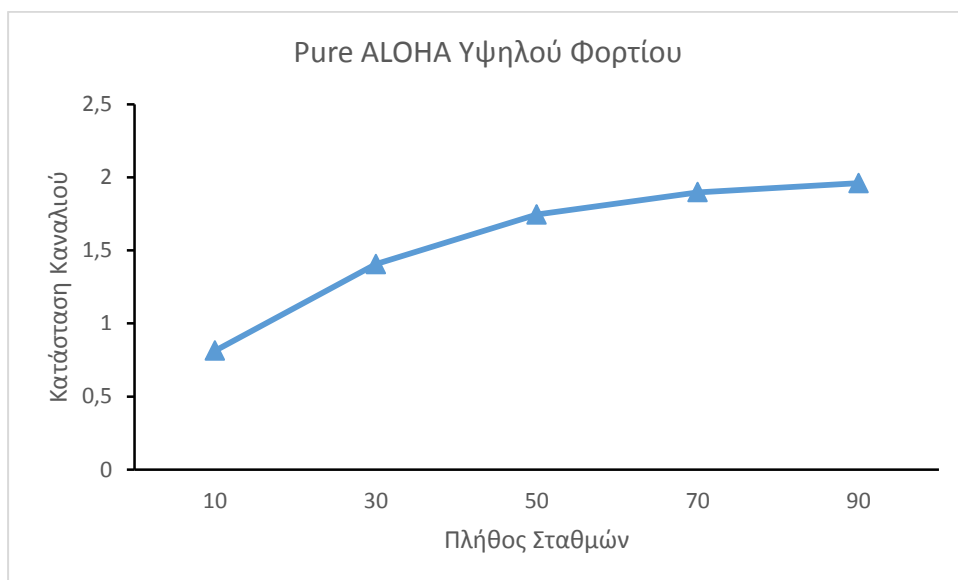
**Γράφημα 1: Ασύγχρονο ALOHA υψηλού φορτίου (Μήκος σύγκρουσης)**

Στο γράφημα 1 απεικονίζεται το μήκος σύγκρουσης σε σχέση με το πλήθος των σταθμών και διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνονται οι σταθμοί τόσο αυξάνεται και το μήκος σύγκρουσης.



**Γράφημα 1: Ασύγχρονο ALOHA υψηλού φορτίου (Πολλαπλότητα Συγκρούσεων)**

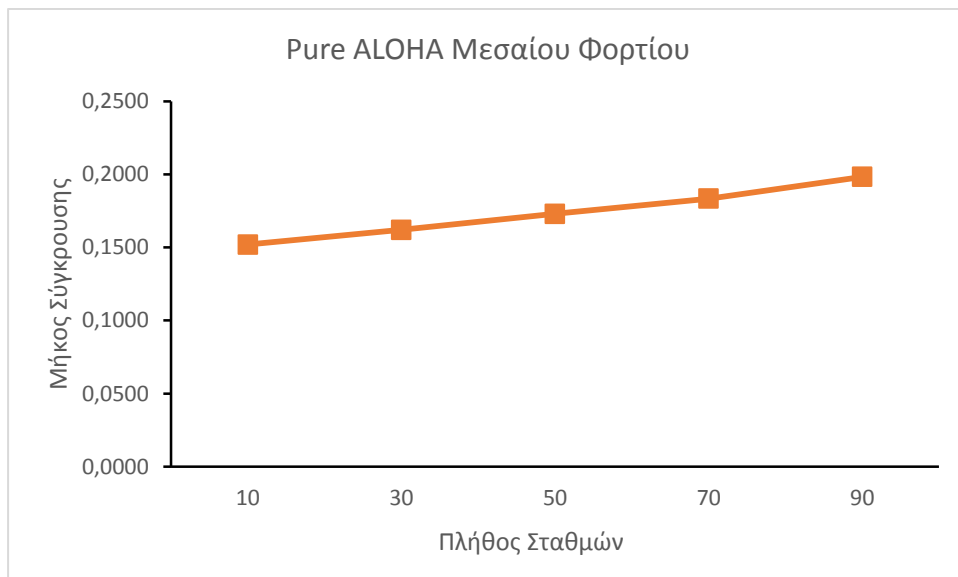
Η ίδια εικόνα παρατηρείται και ως προς την πολλαπλότητα συγκρούσεων. Όπως φαίνεται έχει αυξητική τάση καθώς αυξάνεται το πλήθος των σταθμών. Όπως παρατηρούμε η αύξηση των συγκρούσεων από ένα σημείο και μετά (εδώ 90 σταθμοί) γίνεται εκθετικά.



**Γράφημα 2: Ασύγχρονο ALOHA υψηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)**

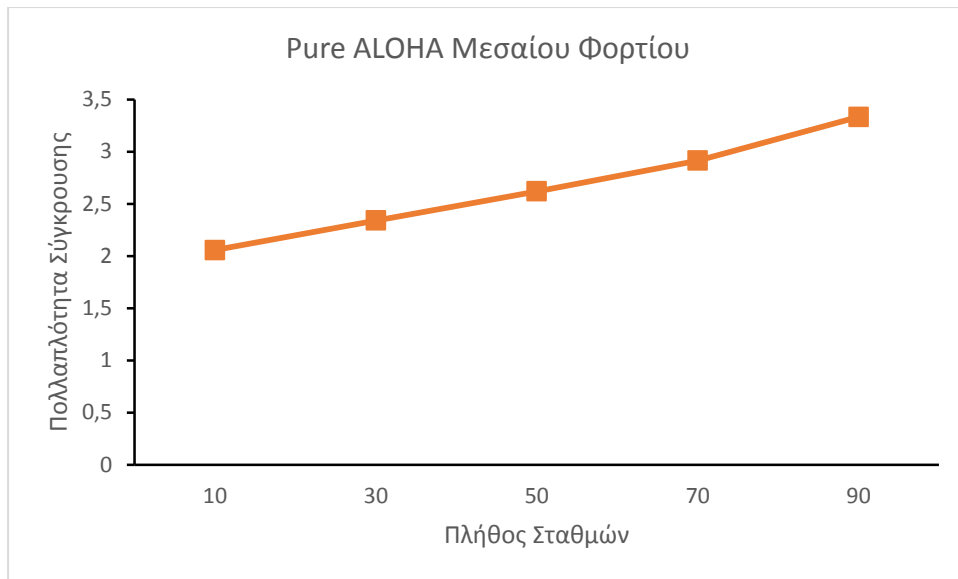
Προφανώς η πολλαπλότητα των συγκρούσεων επηρεάζει την κατάσταση καναλιού η οποία αποτυπώνεται στο Γράφημα 3. Σύμφωνα με τις μετρήσεις το κανάλι αρχικά(10 σταθμοί) βρίσκεται σε κατάσταση μετάδοσης αλλά όσο αυξάνεται το πλήθος των χρηστών το κανάλι οδηγείται σε κατάσταση σύγκρουσης και δεν μπορεί να μεταδώσει..

Στην επόμενη σειρά γραφημάτων θα εξετάσουμε pure ALOHA μεσαίου φορτίου και για το μήκος σύγκρουσης, την πολλαπλότητα σύγκρουσης και την κατάσταση καναλιού.



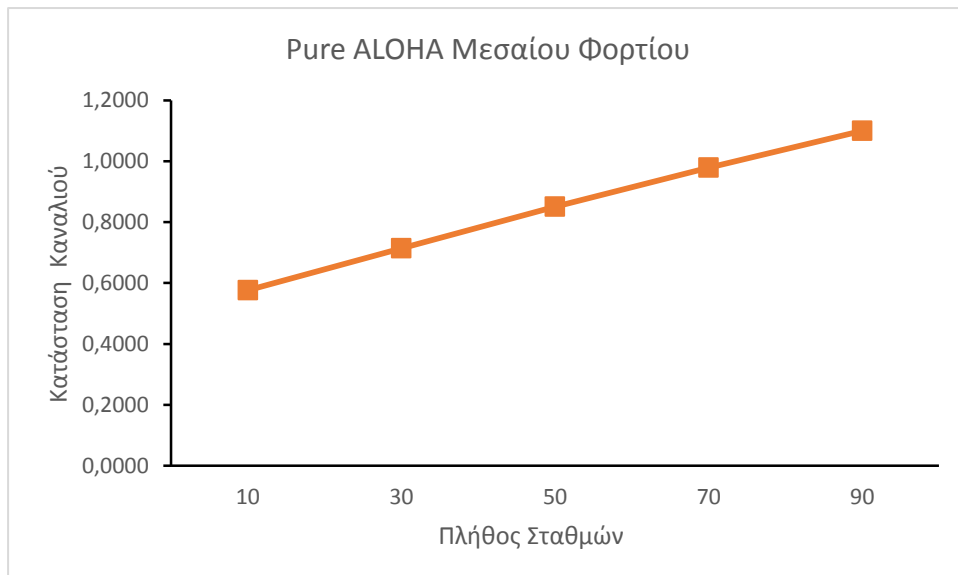
**Γράφημα 3: Ασύγχρονο ALOHA μεσαίου φορτίου (Μήκος Σύγκρουσης)**

Στο Γράφημα 4 απεικονίζεται το μήκος σύγκρουσης μεσαίου φορτίου καναλιού σε σχέση με το πλήθος σταθμών. Σε αυτή την περίπτωση διαπιστώνουμε ότι το μήκος σύγκρουσης δεν επηρεάζεται πολύ από το φορτίο διότι όσο αυξάνονται οι σταθμοί αυξάνεται ελάχιστα ώσπου τείνει να παραμένει σταθερό



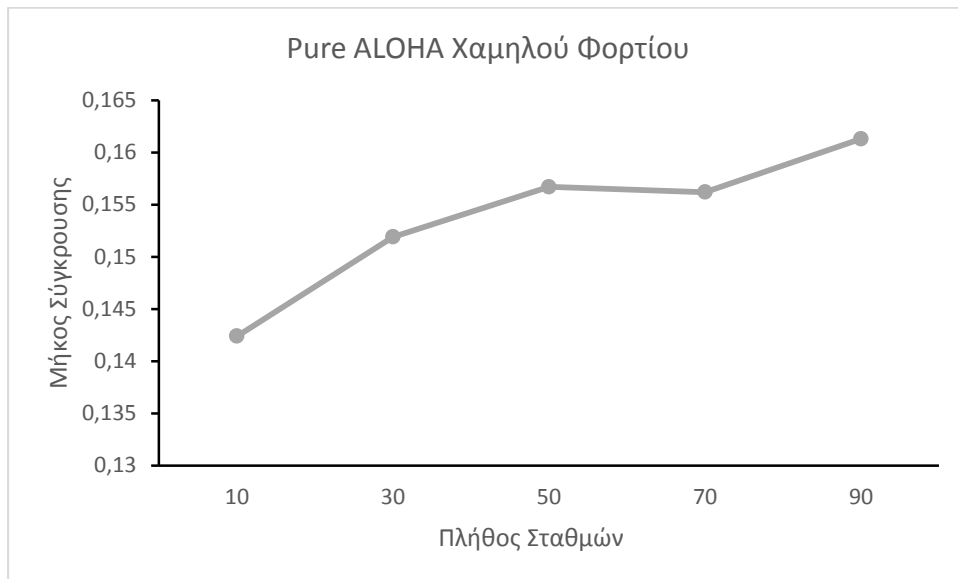
**Γράφημα 4: Ασύγχρονο ALOHA μεσαίου φορτίου (Πολλαπλότητα Σύγκρουσης)**

Στο Γράφημα 5 παρατηρείται η ίδια εικόνα ως προς την πολλαπλότητα των συγκρούσεων του μεσαίου φορτίου όπως είχαμε και στο υψηλό. Όπως φαίνεται και στο μεσαίο φορτίο έχει αυξητική τάση καθώς αυξάνεται το πλήθος των σταθμών. Όπως παρατηρούμαι και στο μεσαίο φορτίο η αύξηση των συγκρούσεων γίνεται εκθετικά όσο αυξάνονται οι σταθμοί.



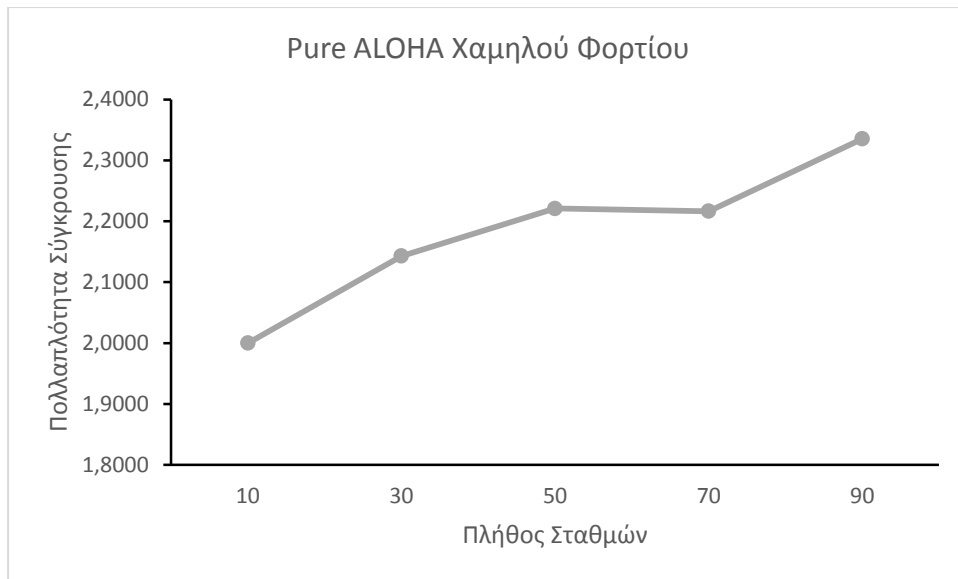
**Γράφημα 5: Ασύγχρονο ALOHA μεσαίου φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)**

Όπως παρατηρούμαι και στο Γράφημα 6 η πολλαπλότητα συγκρούσεων επηρεάζει την κατάσταση καναλιού και στο μεσαίο φορτίο. Σύμφωνα με την μελέτη μας το κανάλι αρχίζει να βρίσκεται σε κατάσταση μετάδοσης(10 σταθμοί) αλλά όσο αυξάνεται το πλήθος των σταθμών αυξάνεται και η πολλαπλότητα συγκρούσεων.



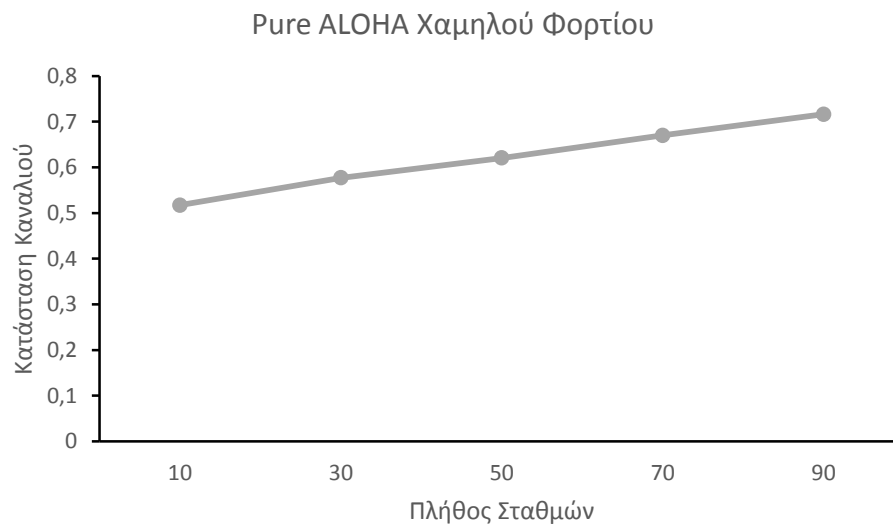
**Γράφημα 6: Ασύγχρονο ALOHA χαμηλού φορτίου (Μήκος Σύγκρουσης)**

Στο Γράφημα 7 παρατηρείται το μήκος σύγκρουσης χαμηλού φορτίου καναλιού σε σχέση με το πλήθος των σταθμών. Σε αυτή την μελέτη διαπιστώσαμε ότι το χαμηλό φορτίο επηρεάζει ελάχιστα το μήκος σύγκρουσης διότι αυξάνεται ελάχιστα όσο αυξάνονται οι σταθμοί.



**Γράφημα 7: Ασύγχρονο ALOHA χαμηλού φορτίου (Πολλαπλότητα Σύγκρουσης)**

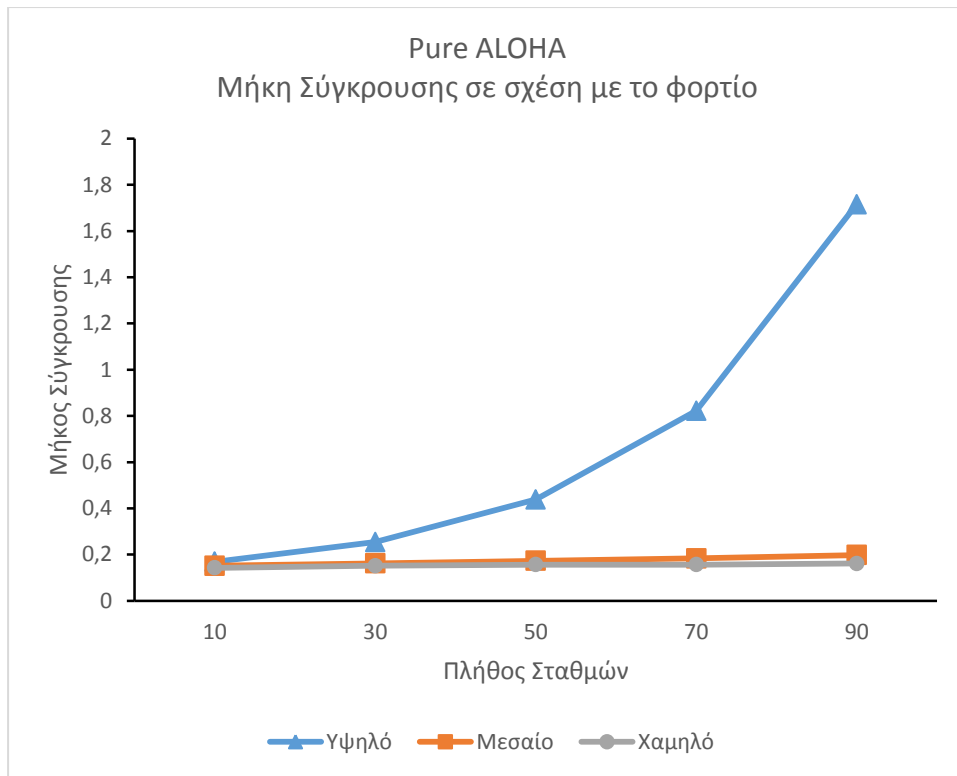
Όπως παρατηρείται και στο Γράφημα 8 η πολλαπλότητα συγκρούσεων και στο χαμηλό φορτίο έχει εκθετική αυξητική τάση καθώς αυξάνεται το πλήθος των σταθμών, όπως είχαμε και στο υψηλό αλλά και στο μεσαίο φορτίο.



**Γράφημα 8: Ασύγχρονο ALOHA χαμηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)**

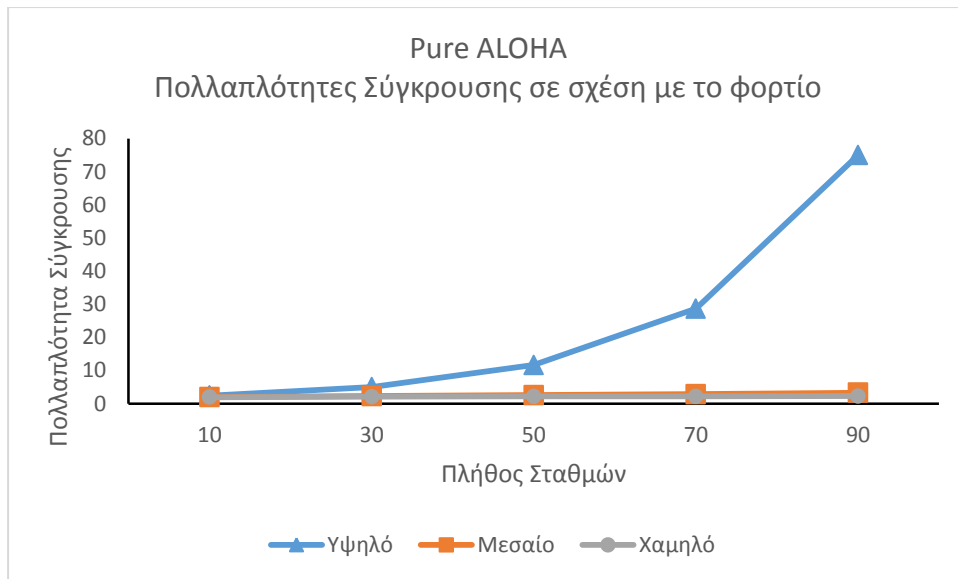
Η πολλαπλότητα σύγκρουσης επηρεάζει και στο χαμηλό φορτίο την κατάσταση καναλιού όπως παρατηρείται και στο Γράφημα 9.

Εν κατακλείδι για το pure ALOHA συγκριτικά για το υψηλό, μεσαίο, χαμηλό φορτίο διαπιστώνουμε ότι:



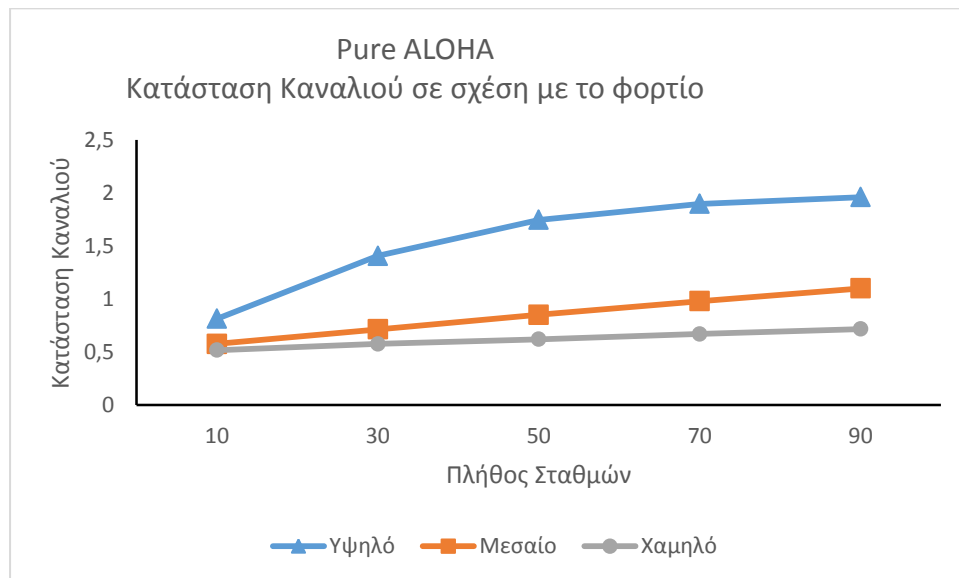
**Γράφημα 9: Ασύγχρονο ALOHA Μήκη Σύγκρουσης**

α) Όπως βλέπουμε συγκριτικά στο Γράφημα 10 το μήκος των συγκρούσεων για το ίδιο πλήθος σταθμών και διαφορετικό φορτίο επηρεάζεται ουσιαστικά. Το χαμηλό φορτίο και το μεσαίο φορτίο επηρεάζουν ελάχιστα το μήκος των συγκρούσεων, το οποίο τείνει να παραμένει σταθερό ακόμη και όταν αυξάνεται το πλήθος των χρηστών. Αντίθετα όταν οι σταθμοί μεταδίδουν συνεχώς (υψηλό φορτίο) η επίδραση του είναι καταλυτική στο μήκος της σύγκρουσης που αυξάνεται εκθετικά. Αυτό με την σειρά του μειώνει ουσιαστικά την απόδοση του δικτύου.



**Γράφημα 10: Ασύγχρονο ALOHA Πολλαπλότητα Σύγκρουσης**

β) Όπως βλέπουμε συγκριτικά στο Γράφημα 11 η πολλαπλότητα των συγκρούσεων για το ίδιο πλήθος σταθμών και διαφορετικού φορτίου επηρεάζεται ουσιαστικά. Το χαμηλό και μεσαίο φορτίο επηρεάζουν ελάχιστα τη πολλαπλότητα των συγκρούσεων διότι παραμένει σταθερό ακόμα και όταν υπάρχει αύξηση στο πλήθος σταθμών στο κανάλι, σε σύγκριση με το υψηλό φορτίο όπου οι σταθμοί μεταδίδουν συνεχώς αυξάνονται εκθετικά οι συγκρούσεις όσο αυξάνονται και οι σταθμοί



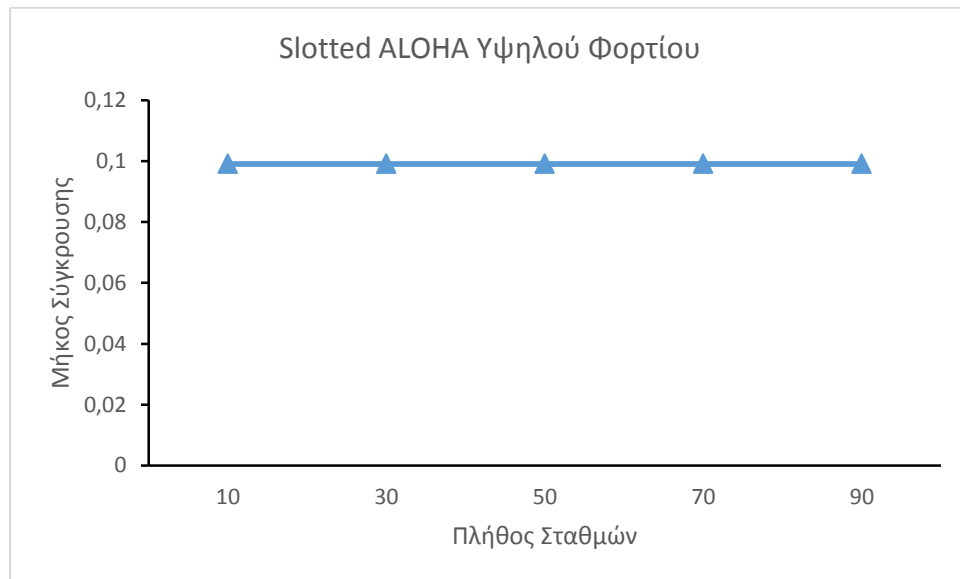
**Γράφημα 11 Ασύγχρονο ALOHA Κατάσταση Καναλιού**

γ) Όπως παρατηρούμε στο Γράφημα 12 συγκριτικά η κατάσταση του καναλιού για το ίδιο πλήθος σταθμών και διαφορετικού φορτίου εξαρτάται αρχικά από την πολλαπλότητα των συγκρούσεων και έπειτα εξαρτάται από το φορτίο. Το χαμηλό και

το μεσαίο φορτίο η κατάσταση του καναλιού τους τείνει να παραμένει είτε σε κατάσταση 1 είτε σε κατάσταση 0. Το υψηλό φορτίο η κατάσταση του λόγω της συνεχόμενης μετάδοσης τείνει να βρίσκεται στη κατάσταση 2 σε συνεχόμενες συγκρούσεις δηλαδή.

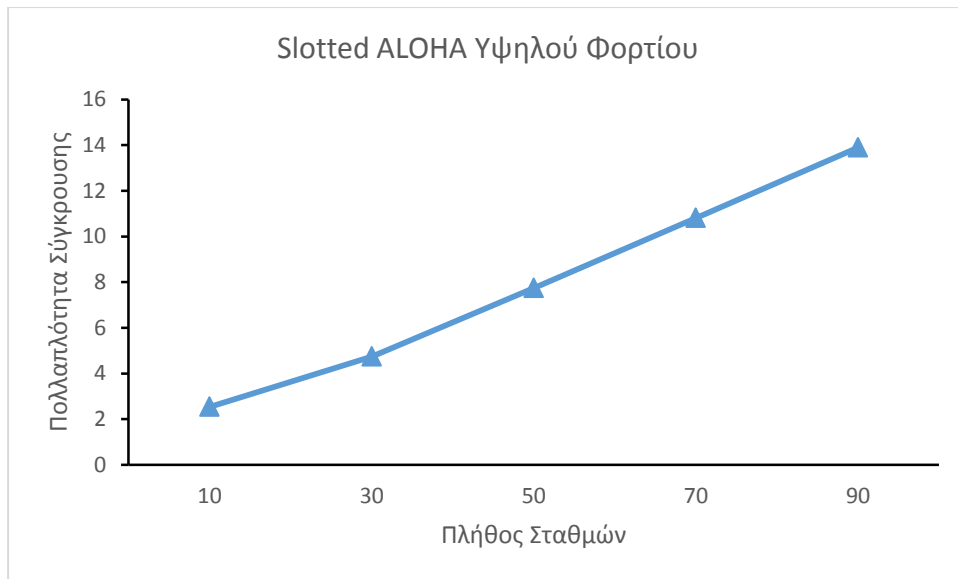
### B. Μελέτη Slotted ALOHA

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε το slotted ALOHA και εξετάζουμε το πλήθος των σταθμών και ο φόρτος του δικτύου επηρεάζουν την απόδοση του με τις παρακάτω μελέτες.



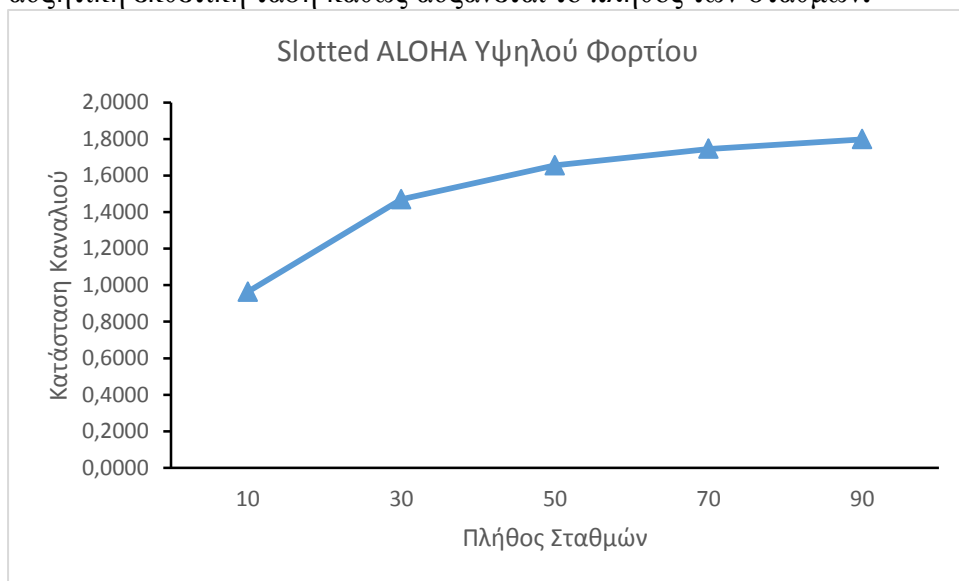
**Γράφημα 12 Συγχρονισμένο ALOHA υψηλού φορτίου (Μήκος Σύγκρουσης)**

Όπως βλέπουμε στο Γράφημα 13 το μήκος σύγκρουσης του slotted για υψηλό φορτίο για όλους τους σταθμούς είναι κοινό. Αυτό είναι λογικό λόγω του ότι το slotted μεταδίδει σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή όπως είπαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο επομένως το μήκος της σύγκρουσης θα είναι κοινό για όλους τους σταθμούς αφού όλοι μεταδίδουν στην αρχή κάθε time slot.



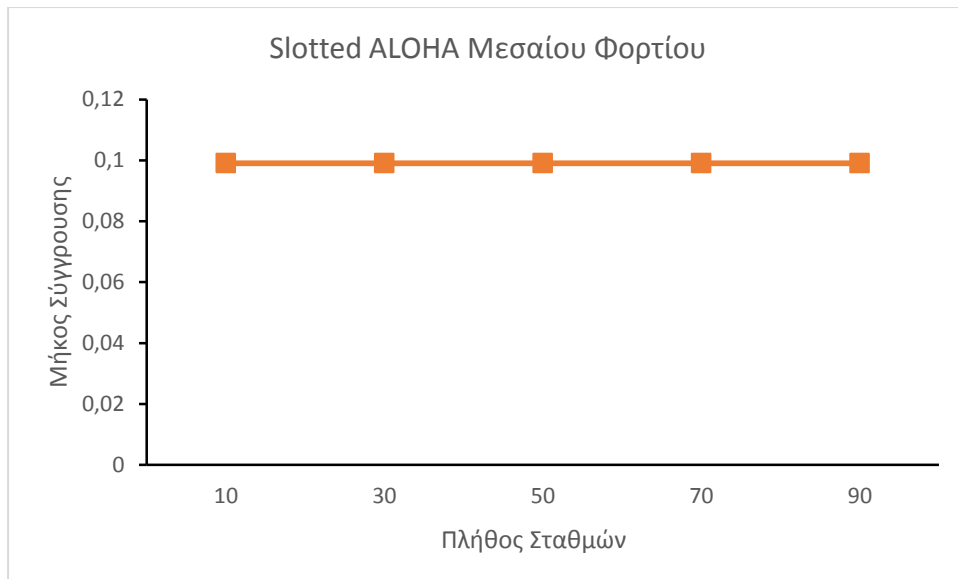
**Γράφημα 13 Συγχρονισμένο ALOHA υψηλού φορτίου (Πολλαπλότητα Σύγκρουσης)**

Όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 14 η πολλαπλότητα των συγκρούσεων έχει και εδώ αυξητική εκθετική τάση καθώς αυξάνεται το πλήθος των σταθμών.



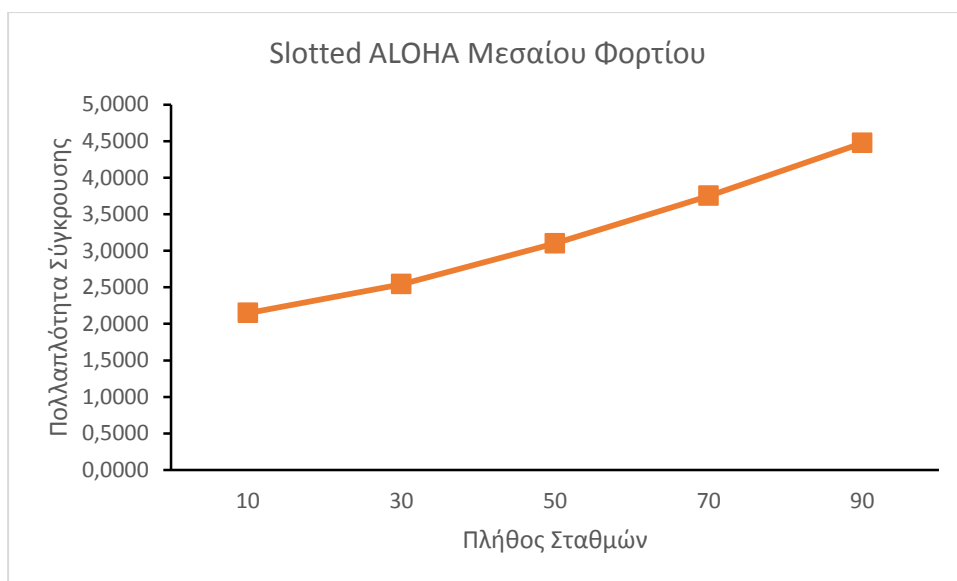
**Γράφημα 14 Συγχρονισμένο ALOHA υψηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)**

Στο Γράφημα 15 παρατηρείται η κατάσταση του καναλιού η οποία επηρεάζεται έμμεσα από την πολλαπλότητα των συγκρούσεων. Το κανάλι αρχικά(10 σταθμό) βρίσκεται σε κατάσταση μετάδοσης, αλλά όσο αυξάνεται το πλήθος των σταθμών το κανάλι οδηγείται σε κατάσταση συγκρούσεων και δεν μπορεί να μεταδώσει.



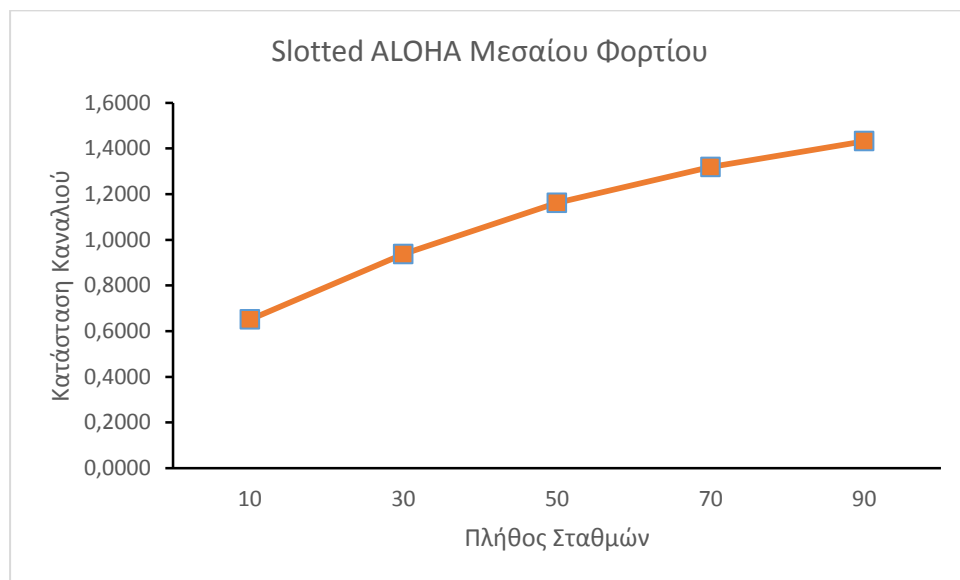
**Γράφημα 15 Συγχρονισμένο ALOHA μεσαίου φορτίου (Μήκος Σύγκρουσης)**

Στο Γράφημα 16 παρατηρείτε το μήκος σύγκρουσης για μεσαίο φορτίο για το slotted σε σχέση με το πλήθος των σταθμών. Όπως προαναφερθήκαμε και στο υψηλό φορτίο το μήκος σύγκρουσης είναι σταθερό λόγω του ότι ο κάθε σταθμός εκπέμπει σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και αυτό είναι στην αρχή κάθε χρονοσχιsmής (time slot).



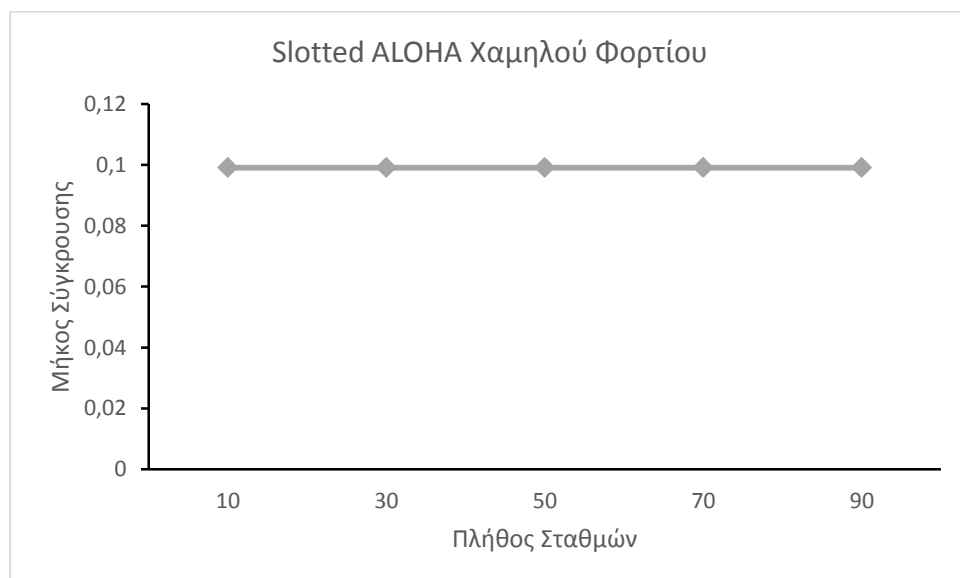
**Γράφημα 16 Συγχρονισμένο ALOHA μεσαίου φορτίου (Πολλαπλότητα Σύγκρουσης)**

Στο Γράφημα 17 απεικονίζεται η πολλαπλότητα σύγκρουσης για μεσαίου φορτίου slotted σε σχέση με το πλήθος σταθμών. Και εδώ παρατηρείται ότι η αύξηση της πολλαπλότητας συγκρούσεων ορίζεται από την αύξηση του πλήθους των σταθμών, υπάρχει και εδώ εκθετική αύξηση στη πολλαπλότητα των συγκρούσεων.



**Γράφημα 17 Συγχρονισμένο ALOHA μεσαίου φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)**

Στο Γράφημα 18 παρατηρείται ότι και στο μεσαίο φορτίο η πολλαπλότητα των συγκρούσεων επηρεάζει την κατάσταση του καναλιού. Και εδώ όσο αυξάνεται το πλήθος των σταθμών τόσο αυξάνονται και οι συγκρούσεις.



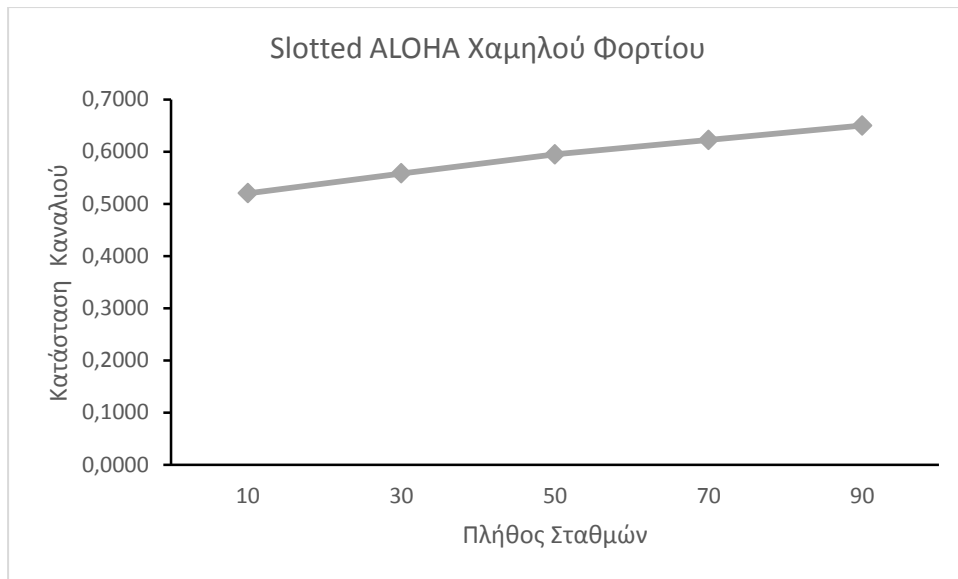
#### Γράφημα 18 Συγχρονισμένο ALOHA χαμηλού φορτίου (Μήκος Σύγκρουσης)

Στο Γράφημα 19 απεικονίζεται και εδώ ότι και στο χαμηλό φορτίο όπως και στο υψηλό και στο μεσαίο το μήκος σύγκρουσης είναι σταθερό λόγω της εκπομπής πακέτων σε κάθε αρχή της εκάστοτε χρονοσχισμής.



#### Γράφημα 19 Συγχρονισμένο ALOHA χαμηλού φορτίου (Πολλαπλότητα Σύγκρουσης)

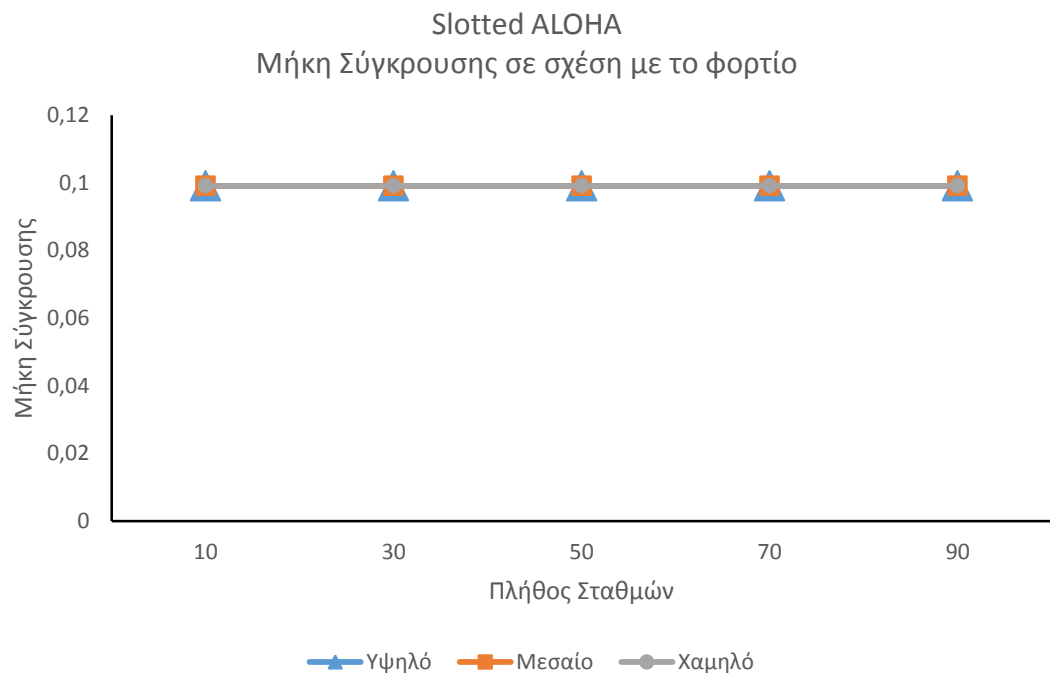
Όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 20 η πολλαπλότητα των συγκρούσεων αυξάνεται όσο αυξάνονται και το πλήθος των σταθμών στην συνέχεια όμως είτε μειώνεται (50 σταθμοί) είτε παραμένει σταθερό (90 σταθμοί).



**Γράφημα 20 Συγχρονισμένο ALOHA χαμηλού φορτίου (Κατάσταση Καναλιού)**

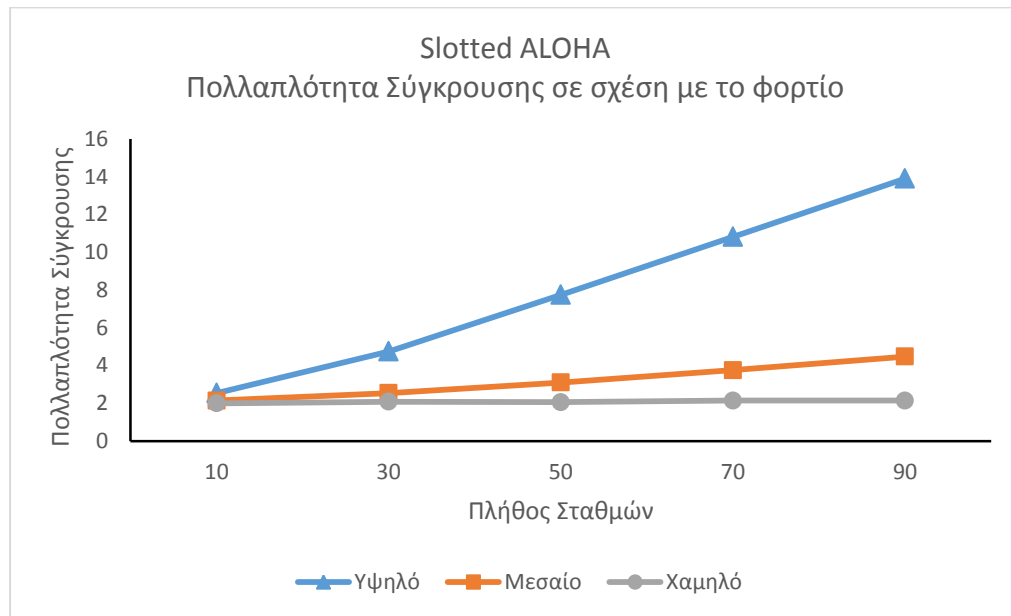
Στο Γράφημα 21 παρατηρείται ότι η κατάσταση του καναλιού η οποία βρίσκεται περισσότερο σε κατάσταση ανενεργού λόγω του φόρτου του δικτύου.

Εν κατακλείδι για το slotted ALOHA συγκριτικά για το υψηλό, μεσαίο και χαμηλό φορτίο διαπιστώνουμε ότι:



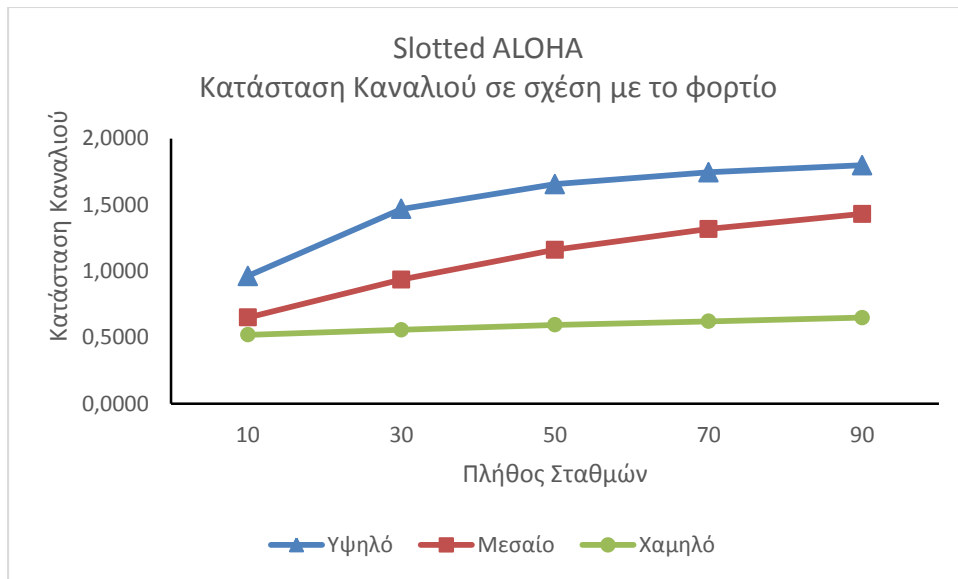
**Γράφημα 21 Συγχρονισμένο ALOHA Μήκη Σύγκρουσης**

α) Όπως βλέπουμε στο Γράφημα 22 το μήκος των συγκρούσεων για το ίδιο πλήθος των σταθμών παραμένει σταθερό ανεξάρτητα από το φόρτο του δικτύου διότι κάθε σταθμός μεταδίδει σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην αρχή κάθε χρονοσχισμής επομένως αν υπάρξει σύγκρουση θα είναι στην αρχή κάθε χρονοσχισμής.



**Γράφημα 22 Συγχρονισμένο ALOHA Πολλαπλότητα Σύγκρουσης**

β) Στο Γράφημα 23 η πολλαπλότητα των συγκρούσεων για το ίδιο πλήθος σταθμών για διαφορετικό φόρτο δικτύου επηρεάζεται ουσιαστικά. Το χαμηλό φορτίο τείνει να παραμένει σταθερό ακόμα και όταν αυξάνεται το πλήθος των σταθμών, ενώ το μεσαίο φορτίο τείνει να αυξάνεται ελάχιστα όσο αυξάνεται το πλήθος των σταθμών. Το υψηλό φορτίο που οι σταθμοί μεταδίδουν συνεχώς τείνει να έχει περισσότερες συγκρούσεις.



**Γράφημα 23 Συγχρονισμένο ALOHA Κατάσταση Καναλιού**

γ) Στο Γράφημα 24 συγκριτικά η κατάσταση καναλιού για το ίδιο πλήθος σταθμών και διαφορετικού φορτίου εξαρτάται αρχικά από το φόρτο του καναλιού. Το χαμηλό φορτίο βρίσκεται σε μία σταθερή κατάσταση μεταξύ 0 και 1 όπως και τα μεσαίου φορτίου. Το υψηλό φορτίο τείνει να έχει περισσότερες συγκρούσεις δηλαδή να βρίσκεται σε μία συνεχόμενη κατάσταση 2.

## 5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε το πρωτόκολλο ALOHA. Ανήκει στα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης και συγκεκριμένα στο πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης. Το ALOHA χωρίζεται σε δύο κατηγορίες το ασύγχρονο (pure) και το συγχρονισμένο (slotted). Το ασύγχρονο αποστέλλει πακέτα σε μια τυχαία χρονική στιγμή και αν αντιληφθεί σύγκρουση τότε ο σταθμός περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα και αποστέλλει το πακέτο από την αρχή. Το συγχρονισμένο ALOHA αποστέλλει τα πακέτα σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, δηλαδή στην αρχή κάθε χρονοσχιsmής (timeslots). Αν αντιληφθεί σύγκρουση περιμένει την αρχή της επόμενης για να στείλει ξανά το πακέτο.

Για να αναλύσουμε την απόδοση του πρωτοκόλλου ALOHA χρησιμοποιήσαμε τον προσομοιωτή OMNeT ++. Συγκεκριμένα μελετήσαμε το μήκος συγκρούσεων, την πολλαπλότητα σύγκρουσης και την κατάσταση καναλιού.

Έπειτα από τα αποτελέσματα που πήραμε διαπιστώσαμε ότι στο ασύγχρονο ALOHA το μήκος συγκρούσεων, η πολλαπλότητα συγκρούσεων και η κατάσταση καναλιού δεν εξαρτώνται μόνο από το πλήθος των σταθμών, αλλά κυρίως από το φορτίο του καναλιού. Ενώ στο συγχρονισμένο ALOHA το μήκος συγκρούσεων είναι ίδιο και δεν αλλάζει ούτε με το φορτίο ούτε με τους σταθμούς λόγω των χρονοσχιsmών. Σε αντίθεση η πολλαπλότητα συγκρούσεων εξαρτάται κυρίως από το φορτίο. Τέλος η κατάσταση καναλιού εξαρτάται τόσο από το φορτίο όσο και από το πλήθος των σταθμών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. BEARD Cory, STALLINGS William, *Ασύρματες Επικοινωνίες Δίκτυα και Συστήματα*, Τζιόλα, Αθήνα, 2007.
2. STALLINGS William, *Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα*, Τζιόλα, Αθήνα, 2007.
3. TANENBAUM S. Andrew, *Δίκτυα Υπολογιστών*, Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2012.
4. WALRAND Jean, *Δίκτυα Επικοινωνιών*, Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1997.
5. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Άρης, ΛΑΓΟΓΙΑΝΝΗΣ Γιώργος, *Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών*, Γιαλός, Αθήνα, 2012.
6. ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ Σπυριδούλα, ΣΤΕΡΓΙΟΥ Ελευθέριος, *Τοπικά και Αστικά Δίκτυα*, Νέες τεχνολογίες, Αθήνα, 2006.
7. ΘΕΟΛΟΓΟΥ Μ. Ε., *Δίκτυα Κινητών και προσωπικών Επικοινωνιών*, Τζιόλα, Αθήνα, 2008.
8. ΤΣΑΟΥΣΙΔΗΣ Θ. Βασίλης, *Διαδικτυακά πρωτόκολλα*, Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2004.

## ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

1. ABRAMSON Norman, THE ALOHA SYSTEM, στο <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.368.1045&rep=rep1&type=pdf> , 15/2/2018
2. MODIANO Eytan, Lectures 13 &14 Packet Multiple Access: The ALOHA protocol, στο ocw.mit.edu, [https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-263j-data-communication-networks-fall-2002/lecture-notes/Lectures13\\_14.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-263j-data-communication-networks-fall-2002/lecture-notes/Lectures13_14.pdf), 14/2/2018.
3. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ Κ., Δίκτυα υπολογιστών, στο TEI Κρήτης, <https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/TH103/ComputerNetworks.pdf>, 14/2/2018.
4. ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ Δημοσθένης, Δορυφορικές επικοινωνίες/ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, στο [https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/2712/5/00\\_master\\_document.pdf](https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/2712/5/00_master_document.pdf), 14/2/2018.

5. ΘΕΙΑΚΟΓΙΟΡΓΟΥ Ιωάννα, Μελέτη πρωτοκόλλων δικτύωσης: ALOHA και CSMA/CD, στο Io.teiion.gr, <http://io.teiion.gr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1444/thesis.pdf?sequence=1>, 14/2/2018.
6. ΘΕΟΛΟΓΟΥ Μ., Τοπικά δίκτυα, στο [https://semfe.gr/files/users/184/topika\\_diktya.pdf](https://semfe.gr/files/users/184/topika_diktya.pdf), 14/2/2018.
7. ΠΑΠΑΠΕΤΡΟΥ Ευάγγελος, Δίκτυα υπολογιστών, στο [http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/85942/mod\\_resource/content/2/lect4%5B1%5D.pdf](http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/85942/mod_resource/content/2/lect4%5B1%5D.pdf), 14/2/2018.
8. ΦΟΥΛΗΡΑΣ Παναγιώτης, Ανάπτυξη και διαχείριση δικτύων υπολογιστών, στο [www.kallipos.gr](http://www.kallipos.gr), [https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/900/2/00\\_master\\_document.pdf](https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/900/2/00_master_document.pdf), 14/2/2018.

