

**Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.**

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΚΙΝΗΤΟΥΣ ΚΑΙ  
ΑΚΙΝΗΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ»**

**ΣΤΡΑΤΟΜΗΤΡΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΑΚΑΝΙΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΑΝΤΙΠΡΙΟ 2017**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αντίρριο, ΗΗ/ΜΜ/ΕΕΕΕ

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

- 1.
- 2.
- 3.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί το τελευταίο στάδιο ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τ.Ε.Ι Δυτικής Ελλάδας, τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. Αναφέρεται στα ασύρματα δίκτυα, την εξέλιξη τους και το πώς έχουν διαφοροποιήσει την ζωή μας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Βασίλειο Τσακανίκα για την επίβλεψη της εργασίας, την πολύτιμη βοήθεια του και την συμπαράσταση του μέχρι να ολοκληρωθεί η εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους όσους με στήριξαν όλον αυτό τον καιρό που με βοήθησαν ψυχικά και υλικά ώστε να καταφέρω να τελειώσω τις σπουδές μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των ασύρματων δικτύων κατά την διάδοση δεδομένων με χρήστες που βρίσκονται σε κίνηση ή είναι στάσιμοι. Στα πλαίσια της εργασίας γίνεται εκτενή αναφορά τόσο στην οικογένεια πρωτοκόλλων 802.11 αλλά και σε όλες τις γενιές δικτύων. Τέλος, πραγματοποιούνται προσομοιώσεις με το εργαλείο Ns-2 και γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων τους.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική ιστορική αναδρομή στα ασύρματα δίκτυα, το πώς ξεκίνησαν πριν από εκατοντάδες χρόνια, τα πρώτα βήματα στην ασύρματη ψηφιακή μετάδοση και το πώς αυτή εξελίχθηκε με διάφορες μεθόδους. Αναφέρονται τα πρώτα πειράματα και το πώς συνέβαλαν στην εξέλιξη τους μέχρι και σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα δίκτυα ανά γενιά, τα βασικά χαρακτηριστικά τους και το πώς αναπτύχθηκαν από την αναλογική μορφή που είχαν και φτάσαμε σήμερα να έχουμε στην διάθεση μας πρότυπα και τεχνολογίες υψηλής ποιότητας. Δίκτυα 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> γενιάς που μας δίνουν την δυνατότητα να έχουμε πρόσβαση σε μια πληθώρα από ευρυζωνικές υπηρεσίες και που έχουν αναβαθμίσει τον τρόπο επικοινωνίας και διασκέδασης μας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των πρωτοκόλλων των ασύρματων δικτύων, τα οποία είναι υπεύθυνα για την διακίνηση των πληροφοριών και την ορθή μετάδοση των δεδομένων. Συγκεκριμένα αναλύεται όλη η οικογένεια του προτύπου 802.11, το 802.16 (WiMax), το HiperLan και το Bluetooth. Αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους, οι ιδιότητες τους, η χρήση τους και η εξέλιξη τους.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Ns-2, το οποίο εγκαταστάθηκε σε περιβάλλον Ubuntu για τις ανάγκες της εργασίας. Δίνεται ο κώδικας εκτέλεσης των προσομοιώσεων αναλυτικά όπως επίσης καταγράφονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων τα οποία μας οδηγούν σε χρήσιμα συμπεράσματα.

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to study the behavior of wireless networks in the dissemination of data to users who have mobility or not. In the context of this work is reference to 802.11 family protocols but also all networks generations. Finally, simulations carried out with the Ns-2 tool and results are listed.

Specifically, in the first chapter is a throwback to wireless networks, how they've started hundreds years ago, the first steps in wireless digital transmission and how it has evolved through various methods. Reported the first experiments and how they contributed to their development until today.

In the second chapter analyzes the networks per generation, their basic characteristics and how developed from analog form and today we have at our disposal standards and high quality technologies. Networks in third and fourth generation give us the ability to have access in a variety of broadband services and have upgraded our way of communication and entertainment.

Third chapter analyzes the wireless network protocols, which are responsible for distribution of information and for correct transmission of data. Specifically analyzed the whole family of the 802.11 standard, 802.16 (WiMax), the HiperLan and Bluetooth. Specifying their characteristics, their properties, their use and development.

Finally, in the fourth chapter presented the simulations that carried out with Ns-2 software, which was installed in Ubuntu environment for this thesis. The code of simulations is given and executed in detail, as also reported the results of experiments which lead us to useful conclusions.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Ασύρματα δίκτυα.....	9
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	9
1.2 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	21
Κεφάλαιο 2: Μέτρα σύγκρισης δικτύων.....	23
2.1 Δίκτυα πρώτης γενιάς (1G).....	23
2.2 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G).....	25
2.2.1 Σύστημα GSM.....	25
2.2.2 Πρότυπο IS-95.....	26
2.2.3 Σύστημα PDC.....	26
2.3 Δίκτυα 2,5G.....	26
2.3.1 Τεχνολογία GPRS.....	27
2.3.2 Τεχνική HSCSD.....	28
2.4 Δίκτυα 2,75G.....	28
2.4.1 Πρότυπο EDGE.....	28
2.5 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G).....	29
2.5.1 Σύστημα UMTS.....	29
2.5.2 Πρότυπο CDMA2000.....	30
2.6 Δίκτυα 3,5G.....	31
2.7 Δίκτυα 4G.....	31
2.7.1 LTE.....	32
2.8 Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς (5G).....	32
2.9 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	34
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> :Πρωτόκολλα Ασύρματων Δικτύων.....	35
3.1 IEEE 802.11 (Wi-Fi).....	35

3.1.1 IEEE 802.11b.....	36
3.1.2 IEEE 802.11a.....	36
3.1.3 IEEE 802.11g.....	37
3.1.4 IEEE 802.11i.....	38
3.1.4 IEEE 802.11n.....	38
3.2 IEEE 802.16 (WiMAX).....	39
3.3 HiperLan.....	39
3.4 Bluetooth.....	40
3.5 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	42
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Πειραματικό μέρος.....	43
4.1 Πείραμα 1 <sup>ο</sup> .....	44
4.2 Πείραμα 2 <sup>ο</sup> .....	53
4.3 Πείραμα 3 <sup>ο</sup> .....	61
4.4 Πείραμα 4 <sup>ο</sup> .....	70
4.5 Συμπεράσματα.....	78

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 4.1:NAM τυχαίου παραδείγματος.....	43
Σχήμα 4.1.1:NAM 1 <sup>ο</sup> πειράματος.....	48
Σχήμα 4.1.2:NAM 1 <sup>ο</sup> πειράματος.....	48
Σχήμα 4.2.1:NAM 2 <sup>ο</sup> πειράματος.....	56
Σχήμα 4.2.2:NAM 2 <sup>ο</sup> πειράματος.....	56
Σχήμα 4.3.1:NAM 3 <sup>ο</sup> πειράματος.....	64
Σχήμα 4.3.2:NAM 3 <sup>ο</sup> πειράματος.....	65
Σχήμα 4.4.1:NAM 4 <sup>ο</sup> πειράματος.....	73
Σχήμα 4.4.2:NAM 4 <sup>ο</sup> πειράματος.....	74



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Εξέλιξη δικτύων ανά γενιά.....	33
Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά βασικών πρωτοκόλλων.....	41

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 4.1: Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 1 <sup>ου</sup> πειράματος.....	51
Γράφημα 4.2: Γραφική απεικόνιση throughput 1 <sup>ου</sup> πειράματος.....	52
Γράφημα 4.3: Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 2 <sup>ου</sup> πειράματος.....	59
Γράφημα 4.4: Γραφική απεικόνιση throughput 2 <sup>ου</sup> πειράματος.....	60
Γράφημα 4.5: Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 3 <sup>ου</sup> πειράματος.....	68
Γράφημα 4.6: Γραφική απεικόνιση throughput 3 <sup>ου</sup> πειράματος.....	69
Γράφημα 4.7: Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 4 <sup>ου</sup> πειράματος.....	77
Γράφημα 4.8: Γραφική απεικόνιση throughput 4 <sup>ου</sup> πειράματος.....	78

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## 1. Ασύρματα Δίκτυα

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ανάγκη για επικοινωνία ξεκίνησε να δημιουργείται εκατοντάδες χρόνια πριν, καθώς αρκετοί λαοί άρχισαν να χρησιμοποιούν το φως για την μεταξύ τους επικοινωνία. Το 150 π.χ. κάποιοι λαοί για να στείλουν τα μηνύματα τους, χρησιμοποιούσαν σήματα καπνού και φωτιάς, τα οποία βοηθούσαν να φαίνονται από μακρινή απόσταση κάποιοι ειδικοί ανακλαστές και κάποιου είδους φακών. Μέχρι που το 1794 ο Γάλλος Κλωντ Σαπ (Claude Chappe), εφεύρε τον οπτικό τηλεγράφο, όπου ήταν η έναρξη μιας νέας εποχής. Το 1831 μετά από αρκετούς πειραματισμούς ο Άγγλος επιστήμονας Μάικλ Φαραντέι (Michael Faraday), επιδεικνύει την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Ακολουθεί ο Σκωτσέζος θεωρητικός φυσικός Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ (James Clerk Maxwell) το 1865, ο οποίος απέδειξε ότι το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο ταξιδεύουν στον χώρο με την μορφή κυμάτων. Εν συνεχεία το 1888 ο Γερμανός Φυσικός Χάινριχ Ρούντολφ Χερτζ (Heinrich Rudolf Hertz), κατά την διάρκεια πειραμάτων επιβεβαιώνει την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που είχαν ήδη προβλεφθεί από τους Maxwell και Faraday. Έπειτα το 1894 ο Ρώσος Φυσικός Alexander Stepanovich Popov, ενώ βρισκόταν στην Ναυτική σχολή του και προσπαθούσε να επιλύσει ένα πρόβλημα στην ηλεκτρική μόνωση ενός καλωδίου χάλυβα, έφτασε στο σημείο να διερευνήσει περαιτέρω τις ταλαντώσεις υψηλής συχνότητας και κατάφερε να κατασκευάσει έναν δέκτη Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων.

Τα πρώτα βήματα στην ασύρματη ψηφιακή μετάδοση έγιναν από τον Ιταλό Φυσικό Gulielmo Marconi το 1895 , όταν άρχισε σταδιακά κάποια πειράματα στην ασύρματη τηλεγραφία. Στο τέλος των πειραμάτων είχε καταφέρει να πετύχει μετάδοση μηνυμάτων σε απόσταση μεγαλύτερη των 1500 μέτρων και παράλληλα να αποδείξει ότι υπήρχε η δυνατότητα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία να ανιχνευτεί από απόσταση. Τον Δεκέμβριο του 1901 παρουσίασε τον πρώτο ασύρματο τηλεγράφο που παρείχε την δυνατότητα επικοινωνίας ενός πλοίου με την ακτή, χρησιμοποιώντας ως κώδικα, τον κώδικα Morse (ούτως η άλλως οι τελείες και οι παύλες που χρησιμοποιεί ο κώδικας, αποτελούν κώδικα του δυαδικού συστήματος). Αυτή ήταν η πρώτη μετάδοση σημάτων που πραγματοποιήθηκε στην ιστορία

μέσω του Ατλαντικού Ωκεανού. Εν συνεχεία η ασύρματη τεχνολογία βρήκε χρήση στις στρατιωτικές μονάδες, όπου κρυπτογραφούσαν τις πληροφορίες που είχαν για μετάδοση αλλά μετά αντιμετώπιζαν σοβαρό πρόβλημα καθώς ήταν εξαιρετικά δύσκολο να τις αποκρυπτογραφήσουν. Η τεχνική αυτή βοήθησε αρκετά κατά την διάρκεια του πολέμου όπου υπήρχε αυξημένη ανάγκη για ασφαλή επικοινωνία. Μέχρι και σήμερα η πιο επιτυχημένη εφαρμογή ασύρματης μετάδοσης φωνής χρονολογείται το 1915, όταν και επιτεύχθηκε η πρώτη συνομιλία- επικοινωνία πλοίων με ραδιοφωνική μετάδοση μεταξύ New York και San Francisco. Η εφαρμογή αυτή σηματοδότησε την συγχώνευση ραδίου και τηλεφωνίας.

Το 1919 ο Marconi έλαβε ένα μήνυμα στον σταθμό του στο Κλίφντεν από το Buenos Aires, από απόσταση που άγγιζε σχεδόν τα 9000 χιλιόμετρα. Σε όλη την δεκαετία του 1920 ο Marconi συνέχιζε τα πειράματα με τον ασύρματο τηλεγράφο κάνοντας τον συνεχώς πιο λειτουργικό, μέχρι που άρχισε μια σειρά από δοκιμαστικές εκπομπές σε βραχέα κύματα (ανακάλυψη μικροκυμάτων). Αξίζει να σημειωθεί ότι υπήρχαν εγκαταστάσεις κινητής τηλεφωνίας σε τρένα. Το 1926 κάθε τρένο που εκτελούσε το δρομολόγιο Αμβούργο-Βερολίνο είχε όλο τον εξοπλισμό κινητής τηλεφωνίας και σύμφωνα με βιβλία και στατιστικές της εποχής, πραγματοποιούνταν κατά μέσο όρο 40 κλήσεις την ημέρα. Βέβαια ο εξοπλισμός που υπήρχε εγκατεστημένος στα τρένα ήταν τεραστίου μεγέθους, όπως και το κόστος χρήσης ήταν αρκετά ασύμφορο. Για να πραγματοποιηθεί μια κλήση έπρεπε να χρησιμοποιήσεις ένα συμβατικό σετ συσκευής τηλεφώνου, στο οποίο το σήμα μεταδιδόταν μέσω καλωδίων και κεραιών που υπήρχαν στην οροφή του τρένου. Το σήμα αυτό μεταδιδόταν σε τηλεφωνικές γραμμές, όπου στην συνέχεια χειροκίνητοι διακόπτες μετέδιδαν την σύνδεση στο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο. Το 1928 άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες εκπομπής εικόνας μέσω της πρώτης τηλεόρασης που έδειχνε απλά κινούμενες εικόνες. Η πρώτη εκπομπή εικόνας από τηλεόραση 30 γραμμών πραγματοποιήθηκε το 1930, στο σύστημα αυτό οι εικόνες αποτελούταν μόνο από 30 γραμμές, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα αναπαραγωγής μικρών λεπτομερειών.

Το 1933 ο Αμερικανός ηλεκτρολόγος μηχανικός Edwin Armstrong ενώ πειραματιζόταν με σκοπό την δημιουργία ενός σταθμού υψηλής πιστότητας (High Fidelity), ανακάλυψε την Διαμόρφωση Συχνότητας, τα FM (Frequency Modulation). Το 1934 κατάφερε να πραγματοποιήσει μια επιτυχημένη εκπομπή ραδιοσήματος χρησιμοποιώντας την τεχνική της διαμόρφωσης συχνότητας (FM) και παρουσίασε τα αποτελέσματα των ερευνών στην εταιρεία RCA (Radio Corporation of America). Στην τεχνική αυτή η συχνότητα μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος του σήματος της πληροφορίας που είναι να μεταδοθεί, δηλαδή το

ακουστικό σήμα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών στις ραδιοεπικοινωνίες με αρκετά υψηλή ποιότητα μετάδοσης.

Η κινητή τηλεφωνία στον Ευρωπαϊκό χώρο ξεκίνησε το 1958 από την Γερμανία με το αναλογικό δίκτυο A-Netz, το οποίο χρησιμοποιούσε την συχνότητα των 160 MHz. Η εγκατάσταση και η ρύθμιση της σύνδεσης γινόταν μόνο από τον κινητό κόμβο, ενώ δεν υπήρχε η δυνατότητα μεταφοράς μιας κλήσης σε εξέλιξη από ένα κανάλι που συνδεόταν με τον πυρήνα του δικτύου σε ένα άλλο. Το 1971 το δίκτυο αυτό έφτασε να καλύπτει 11000 συνδρομητές και να παρέχει γεωγραφική κάλυψη 80%. Το 1972 το υπάρχον δίκτυο εξελίχθηκε σε αναλογικό δίκτυο B-Netz, χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα των 160 MHz, παρέχοντας ρύθμιση και εγκατάσταση σύνδεσης και από το σταθερό δίκτυο εκτός από το κινητό, με την προϋπόθεση ότι η θέση του κινητού κόμβου θα πρέπει να είναι γνωστή. Το σύστημα ήταν διαθέσιμο στην Αυστρία, Λουξεμβούργο και στην Ολλανδία, ενώ το 1979 στην Δυτική Γερμανία έφτασε να έχει 13000 συνδρομητές. Ο εξοπλισμός των δικτύων, δηλαδή ο πομπός και ο δέκτης λόγω του μεγέθους και του βάρους τους, ήταν εγκατεστημένος συνήθως σε κάποιο αυτοκίνητο.

Το 1979 ξεκίνησε στην Ιαπωνία το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας από την NTT (Nippon Telegraph and Telephone), το οποίο μέσα σε πέντε χρόνια είχε ήδη εξελιχθεί και επεκτάθηκε τόσο ώστε να μπορέσει να καλύψει το σύνολο του πληθυσμού της Ιαπωνίας, με αποτέλεσμα να γίνει το πρώτο δίκτυο 1G. Το ίδιο διάστημα στις Βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες (Δανία, Νορβηγία, Φιλανδία και Σουηδία) αναπτύχθηκε το σύστημα NMT (Nordic Mobile Telephone), το οποίο λειτουργούσε στην συχνότητα των 450 MHz και ήταν το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με διεθνή περιαγωγή. Μέχρι το 1980 έγιναν προσπάθειες ανάπτυξης πολλών αναλογικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, τα οποία όμως δεν ήταν συμβατά καθώς χρησιμοποιούσαν διαφορετικά πρότυπα. Όλες αυτές οι προσπάθειες που έγιναν για την δημιουργία συστημάτων κατατάσσονται στην 1<sup>η</sup> γενιά κινητών επικοινωνιών (1G).

Από το 1968 έως το 1983 τα εργαστήρια της Bell άρχισαν να εργάζονται πάνω στο σύστημα AMPS (Advanced Mobile Phone System), το οποίο είναι ένα αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε από την Bell Labs λειτουργώντας σε συχνότητες των 800 MHz και είναι βασισμένο στην τεχνολογία FDMA. Τελικά παρουσιάστηκε επίσημα στην Αμερική. Το σύστημα αυτό αποτέλεσε το πρώτο κυψελωτό (cellular) δίκτυο στις Ηνωμένες Πολιτείες και αυτό είχε ως συνέπεια οι εταιρείες να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν κινητά τηλέφωνα τα οποία ήταν συμβατά με αυτό και με άλλα κυψελωτά (cellular) συστήματα. Οι

χρήστες περίμεναν μήνες μέχρι να γίνει η παρουσίαση του εν λόγω συστήματος, καθώς οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας υπήρχαν χρόνια πριν, απλά ήταν περιορισμένος ο αριθμός των χρηστών και ήταν αναγκαία η χρήση λίστας αναμονής ώστε να μπορέσουν να εξυπηρετηθούν. Σε κάποιες πόλεις ο χρόνος αναμονής των χρηστών έφτανε μέχρι και τα τρία χρόνια. Οι προηγούμενες υπηρεσίες δεν επαρκούσαν για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση των πελατών, επειδή ο αριθμός των καναλιών που είχαν εγκριθεί για χρήση κινητής τηλεφωνίας δεν ήταν αρκετός για να ανταποκριθεί στην ζήτηση της αγοράς. Ο μικρός αριθμός των εξουσιοδοτημένων καναλιών ανέστειλε την έγκριση των σχεδίων του συστήματος που θα μπορούσε να δημιουργήσει σε συντηρητική χρήση του ραδιοφάσματος, διότι κάθε κανάλι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο για μια συνομιλία μέσα σε μια μεγάλη περιοχή, χωρίς να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και χωρίς να γίνει διαχωρισμός των πομπών για 75 έως 100 μίλια. Αργότερα μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε το N-AMPS το οποίο χωρίζει ένα κανάλι 30 KHz σε τρία κανάλια των 10 KHz. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δέχεται 3 φορές μεγαλύτερο αριθμό κλήσεων σε σχέση με το προηγούμενο σύστημα. Να σημειώσουμε βέβαια ότι το N-AMPS δεν ήταν καθαρά αναλογικό σύστημα καθώς προσάρμοζε και ψηφιακό σήμα.

Οι Ευρωπαϊκές χώρες το 1982 συμφώνησαν να δημιουργήσουν ένα πανευρωπαϊκό ψηφιακό πρότυπο κινητής τηλεφωνίας και έτσι το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο (European Telecommunications Standards Institute), ξεκίνησε την μελέτη με την ονομασία Group Special Mobile (GSM) για την δημιουργία του συστήματος αυτού. Στόχος τους ήταν να δημιουργήσουν ένα πανευρωπαϊκό σύστημα το οποίο θα υποστήριζε το roaming καθώς και άλλες προδιαγραφές, όπως καλή ποιότητα ήχου, μικρό κόστος συσκευών και υπηρεσιών, δυνατότητα υποστήριξης συσκευών χειρός, υποστήριξη νέων εφαρμογών και δυνατοτήτων, αποτελεσματική χρήση του ραδιοφωνικού φάσματος και τέλος να είναι συμβατό με το ISDN. Όταν θα ήταν έτοιμο ένα σύστημα που θα κάλυπτε αυτές τις προδιαγραφές τότε θα παρουσιαζόταν και θα δινόταν για εμπορική χρήση.

Το 1984 εγκρίθηκε και ανακοινώθηκε το CT1-standard από την Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Ταχυδρομικών και Τηλεπικοινωνιακών Οργανισμών (CEPT), το οποίο είναι ένα αναλογικό πρότυπο για ασύρματο τηλέφωνο και αναπτύσσεται σε 11 χώρες παγκοσμίως. Αποτελείται από 40 αμφίδρομα κανάλια επικοινωνίας με διαχωρισμό τα 25 KHz για τα τηλέφωνα που εκπέμπουν στη ζώνη των 914-915 MHz και τους σταθμούς βάσης στα 959-960 MHz. Λόγω του ότι οι συχνότητες αυτές συμπίπτουν με τα κανάλια που χρησιμοποιούνται στο σύστημα GSM, τελικά αποσύρθηκαν στις χώρες στις οποίες αρχικά είχαν επιτραπεί.

Το 1985 θεσπίστηκε επίσημα το C-Netz και ήταν το πρώτο αναλογικό σύστημα 1<sup>ης</sup> Γενιάς που εγκαταστάθηκε και λειτούργησε στην Γερμανία από την εταιρεία DateMobil (νυν Deutsche Telekom). Ουσιαστικά το σύστημα αυτό εισήχθη για να αντικαταστήσει το B-Netz, που χρησιμοποιούταν στην Γερμανία εκείνη την εποχή. Όπως και άλλα αναλογικά συστήματα πρώτης γενιάς έτσι και αυτό αντιμετώπιζε μεγάλα προβλήματα στις κλήσεις λόγω κακής ποιότητας και ήταν επιρρεπείς στις υποκλοπές. Το πρόβλημα ήταν μεγαλύτερο στις αγροτικές περιοχές που δεν υπήρχε από πριν κάλυψη του B-Netz ώστε να υπάρχουν κάποιες υποδομές. Τον Δεκέμβριο του 1988 οι χρήστες του συστήματος είχαν αυξηθεί στους 100000 και μέχρι τις αρχές του 1990 είχε φτάσει τους 80000 χρήστες. Ωστόσο λόγω του μειωμένου αριθμού υπηρεσιών που πρόσφερε σε σύγκριση με τα νεότερα δίκτυα GSM, η Deutsche Telekom στα τέλη της δεκαετίας του 1990 σταμάτησε να δέχεται νέους πελάτες μέχρι που τελικά η υπηρεσία καταργήθηκε τελείως στις 31 Δεκεμβρίου του 2000.

Όταν τα ασύρματα τηλέφωνα είχαν ήδη αναπτυχθεί και είχε αρχίσει η εξάπλωση τους στις Ευρωπαϊκές ακτές της Άπω Ανατολής, αυξήθηκε η ανάγκη για χρήση περισσότερων εφαρμογών κυρίως φωνητικών για μεγαλύτερο αριθμό τηλεφώνων μέσα σε έναν μικρό χώρο. Η πιθανότητα να γινόταν αυτό ψηφιακά θα δημιουργούσε λιγότερες παρεμβολές και γενικότερα λιγότερα προβλήματα στην επικοινωνία. Οπότε αποφασίστηκε η δημιουργία ενός προτύπου από το ETSI (European Telecommunications Standards Institute), το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών προτύπων, το οποίο θα ήταν καλύτερο από άλλα πρότυπα της κατηγορίας του όπως το CT-1, συνεπώς δημιουργήθηκε το DECT (Digital European Cordless Telecommunication). Το DECT είναι ένα πανευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα ασύρματης κυβελωτής επικοινωνίας, μεταξύ αργά κινούμενων συνδρομητών για μετάδοση φωνής και δεδομένων. Η εμβέλεια του είναι από 50μ. έως 50χλμ ανάλογα με την εφαρμογή που θα πρέπει να εξυπηρετήσει, ενώ η ποιότητα φωνής που παρέχει είναι σχεδόν ίδια με αυτή που προσφέρει η σταθερή τηλεφωνία. Η λογική του προτύπου είναι ότι ένας σταθμός βάσης εκπέμπει σε κάθε κανάλι, στο οποίο υπάρχει σύνδεση με ένα κινητό. Αν δεν υπάρχει αυτή η σύνδεση μεταξύ ενός σταθμού βάσης και τουλάχιστον ενός κινητού, τότε αναγκαστικά δημιουργείται ένα ψευδοκανάλι για την εκπομπή των δεδομένων. Το πρότυπο αυτό έχει πολλές εφαρμογές, όπως σε ασύρματα τηλεφωνικά κέντρα, οικιακά ασύρματα τηλέφωνα, ασύρματα τοπικά δίκτυα, καθώς επίσης υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης με GSM.

Το 1992 σηματοδοτήθηκε μια νέα εποχή λόγω της έναρξης του GSM. Το νέο σύστημα λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz και επέτρεπε την μεταγωγή των κλήσεων μεταξύ των Ευρωπαϊκών χωρών. Αυτό το σύστημα παρ' όλο που αρχικά ονομάστηκε GSM

(Group Special Mobile), τελικά έγινε ευρύτερα γνωστό ως GSM (Global System of Mobile communications) Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών και κατέληξε στη δημιουργία του συστήματος δεύτερης γενιάς κινητών επικοινωνιών (2G). Το 1991 άρχισε η εμπορική του διάθεση σε όλη την Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα η πρώτη εταιρεία που το χρησιμοποίησε ήταν η Telestet (νυν Wind Hellas). Το σύστημα αυτό λειτουργεί στις συχνότητες των 900 MHz έως και 1800 MHz, χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες FDMA (Frequency Division Multiple Access) και TDMA (Time Division Multiple Access) συνδυασμένες μεταξύ τους, λόγω χαμηλού κόστους και λόγω συμβατότητας με τα υπάρχοντα αναλογικά δίκτυα. Το 1999 ο αριθμός των χωρών που χρησιμοποιούσαν το δίκτυο GSM έφτασε στις 120, ενώ μέχρι σήμερα ο αριθμός αυτός έχει ξεπεραστεί κατά πολύ, ξεπερνώντας τις 200 χώρες παγκοσμίως στις οποίες παρέχεται ένας μεγάλος αριθμός από υπηρεσίες στους χρήστες του προτύπου.

Προκειμένου να βελτιωθούν κάποιες λειτουργίες στα ψηφιακά συστήματα έπρεπε να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν κάποιες τεχνικές πρόσβασης, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι μεταξύ τους παρεμβολές, το κόστος του συστήματος και γενικά οι υπηρεσίες προς τους χρήστες να γίνουν πιο ελκυστικές. Οι βασικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στα ψηφιακά δίκτυα είναι η FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) και η CDMA (Code Division Multiple Access). Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA) το φάσμα συχνοτήτων διαιρείται σε ομάδες, τα λεγόμενα κανάλια χωρίς να παρεμβάλλονται μεταξύ τους το ένα στο άλλο. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα το κοινό μέσο αλλά διαχωρίζονται στο πεδίο της συχνότητας, δηλαδή μεταδίδουν χρησιμοποιώντας διαφορετικές συχνότητες. Έχει χαμηλό κόστος υλοποίησης για κινητές συσκευές αλλά μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Η τεχνική αυτή βρίσκει μεγάλη χρήση στις δορυφορικές επικοινωνίες. Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA) το κανάλι χωρίζεται σε χρονοθυρίδες (time-slots) και κάθε χρήστης καταλαμβάνει μια χρονοθυρίδα (time-slot) όπου εκεί μπορεί να εκπέμψει τα δεδομένα του. Η εκπομπή των δεδομένων διαρκεί συγκεκριμένο χρονικό διάστημα καθώς κάνει κύκλο γύρω από τους χρήστες ώστε να έχουν την ευκαιρία να εκπέμψουν και αυτοί τα δεδομένα τους, δηλαδή ο κάθε χρήστης περιμένει να έρθει η σειρά του κάθε φορά για να στείλει τα δεδομένα που έχει. Η τεχνική αυτή είναι ευρέως διαδομένη στα ψηφιακά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (CDMA), η οποία είναι και η πιο σύγχρονη από τις προηγούμενες δυο, οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα το κοινό μέσο τόσο στο πεδίο της συχνότητας όσο και στο πεδίο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει

διότι το εύρος των συχνοτήτων είναι ίδιο για όλους τους χρήστες, αφού έχουν την δυνατότητα να διαχωρίζονται μεταξύ τους κωδικοποιώντας ο κάθε χρήστης τα δεδομένα του με έναν μοναδικό ψηφιακό κωδικό. Συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι ταυτόχρονα με διαφορετική κωδικοποίηση. Λόγω της κωδικοποίησης η τεχνική αυτή βρήκε μεγάλη χρήση σε εφαρμογές του στρατού.

Το 1993 αναπτύχθηκε από την Qualcomm το πρότυπο CDMAone γνωστό και ως IS-95, ένα αμερικανικό πρότυπο το οποίο είναι βασισμένο στην τεχνολογία CDMA (Code Division Multiple Access) και το οποίο χρησιμοποίησε για πρώτη φορά την τεχνολογία αυτή. Το CDMA είναι ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης για την αποστολή φωνής και δεδομένων μεταξύ κινητών τηλεφώνων και στο οποίο το σήμα πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα υψηλού ρυθμού μετάδοσης. Περιέχει πολλά στρώματα προστασίας από τυχόν παρεμβολές, χρησιμοποιεί μεταγωγή κυκλώματος, κάθε αποστολή δεδομένων ή τηλεφωνική κλήση δεσμεύει μόνο ένα κανάλι και τέλος εφαρμόζεται χρονοχρέωση διότι το κανάλι εμφανίζεται κατειλημμένο ανεξάρτητα από το εάν στέλνονται δεδομένα ή όχι.

Η εξέλιξη της δεύτερης γενιάς συστημάτων (2G), ώστε να συμπεριλάβουν υπηρεσίες δεδομένων και να αναβαθμιστεί η ήδη υπάρχον γενιά 2G, έγινε ευρύτερα γνωστή ως η 2.5G γενιά και σκοπό είχε την αύξηση την χωρητικότητας του δικτύου και την προσφορά πιο ποιοτικών υπηρεσιών. Για να γίνει αυτό αναπτύχθηκε η τεχνολογία GPRS (General Packet Radio Service), η τεχνολογία EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) και η υπηρεσία HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). Το GPRS είναι ένα πρότυπο που επιτρέπει πολύ γρήγορη αποστολή και λήψη δεδομένων χρησιμοποιώντας τα δίκτυα GSM, λειτουργεί μέσω της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων αντί μέσω μεταγωγής κυκλώματος όπως στα κυψελωτά δίκτυα. Θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς δεδομένων που αγγίζουν τα 140.8Kbit/s, αλλά τυπικά η απόδοση του δεν ξεπερνά τα 56Kbit/s. Στην συνέχεια εμφανίστηκε η τεχνολογία EDGE που ουσιαστικά ανήκει στην γενιά 2.75G και αποτελεί μια εξέλιξη του GPRS που ως βάση έχει τα νέα εξελιγμένα σχήματα κωδικοποίησης (coding schemes). Ο λόγος ανάπτυξης της τεχνολογίας αυτής ήταν για να προσφέρει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με πολύ καλές ταχύτητες που θα εφαρμοζόταν στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που δεν θα μπορούσαν να μεταβούν στην τρίτη γενιά (3G). Με την τεχνολογία αυτή οι πραγματικοί ρυθμοί μετάδοσης μπορούν να φτάσουν στην πράξη τα 180Kbit/s. Η HSCSD είναι μια υπηρεσία μεταγωγής κυκλώματος υψηλής ταχύτητας και αποτελεί μια αναβάθμιση των υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM, επιτρέποντας διάφορες μεθόδους διόρθωσης σφάλματος για την μεταφορά δεδομένων.



Υποστηρίζει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να υποστηρίξει ένα δίκτυο GSM, δηλαδή ένας χρήστης μπορεί να μεταφέρει δεδομένα προς έναν υπολογιστή με ταχύτητα 38,4Kbps, σε σύγκριση με το GSM που η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κυμαίνεται στα 9,6Kbps, δηλαδή υπάρχει βελτίωση στην απόδοση κατά 50%. Παρέχει υπηρεσίες πρόσβασης σε έναν χρήστη σε ένα τοπικό δίκτυο, καθώς επίσης και πρόσβαση στο e-mail του και την δυνατότητα να περιηγηθεί στο Internet. Η χρήση της υπηρεσίας αυτής μπορεί να γίνει μόνο αν υπάρχει μια κινητή συσκευή η οποία υποστηρίζει την ιδιότητα αυτή ή μέσω μιας κάρτας επέκτασης PCMCIA, που περιέχει ενσωματωμένες τις λειτουργίες ενός GSM τηλεφώνου.

Το 1996 εγκρίνεται το πρότυπο ασύρματου δικτύου HiperLAN (High Performance Radio Lan), ο σχεδιασμός του οποίου είχε ξεκινήσει το 1991 από μια ομάδα με την ονομασία RES10, όπου είχε συσταθεί από την ETSI και είχε ως στόχο τον υψηλό ρυθμό δεδομένων. Υποστηρίζει ασύγχρονη και συγχρονισμένη κυκλοφορία, λειτουργεί στις συχνότητες των 5GHz, το εύρος του φτάνει τα 50 μέτρα, η κινητικότητα είναι αρκετά μικρή και ο ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να υποστηρίξει, φτάνει τα 23,2 Mbit / s. Λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού, τελικά δεν βρήκε μεγάλη εμπορική εφαρμογή. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια δημιουργίας του HiperLAN / 2, μιας ανανεωμένης έκδοσης που πρόσφερε αυξημένη ασύρματη σύνδεση σε πολλά είδη δικτύων, καθώς και υποστήριξη υπηρεσιών όπως ήχο και τηλεοπτική μετάδοση, δίνοντας μεγάλη βάση στην ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) του προτύπου. Ενώ η ETSI εργαζόταν πάνω στο HiperLAN, το IEEE (Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών), άρχισε να εργάζεται πάνω στο IEEE 802.11 με σκοπό την επέκταση του 802.3 (Ethernet, πρότυπο ενσύρματης δικτύωσης), που τελικά εισήχθη τον Ιούνιο του 1997. Περιέλαβε ένα στρώμα υπερύθρων (IR) που τελικά δεν επεκτάθηκε ποτέ, όπως επίσης είναι και αρκετά αργό με ταχύτητες που αγγίζουν τα 2Mbps. Στη συνέχεια η IEEE άρχισε να εργάζεται για την ανάπτυξη και άλλως προτύπων που θα ήταν πιο γρήγορα σε σχέση με το απλό IEEE 802.11, έτσι το 1999 τυποποίησε τα 802.11a, 802.11b και το 2003 το 802.11g που τελικά σημείωσε μεγάλη εμπορική επιτυχία.

Το 1999 ξεκίνησε μια περίοδος κατά την οποία δημιουργήθηκαν αρκετά πρότυπα και τεχνολογίες τα οποία σηματοδότησαν μια νέα εποχή. Τότε η Ericsson έθεσε τις βάσεις για την δημιουργία ενός προτύπου, το οποίο θα υποστήριζε τον σχηματισμό μικρών τοπικών δικτύων μικρής εμβέλειας με στόχο την ασύρματη δικτύωση ηλεκτρονικών συσκευών, δηλαδή την απαλλαγή από την χρήση καλωδίων. Έτσι δημιουργήθηκε το Bluetooth, όπου έχει την δυνατότητα να μεταδίδει σήματα μέσω μικροκυμάτων σε ψηφιακές συσκευές όπως κινητά,

PDA, PC κτλ. με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μικρό κόστος. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων φτάνει το 1 Mbps, είναι δυνατή η ταυτόχρονη μεταφορά ήχου, χρησιμοποιεί τεχνική εναλλαγής συχνότητας και λειτουργεί στην συχνότητα των 2,4GHz. Στην συνέχεια έκανε την εμφάνιση του το WAP (Wireless Application Protocol), ένα διεθνές τεχνικό πρότυπο το οποίο παρέχει πρόσβαση και αμφίδρομη επικοινωνία σε πληροφορίες μέσω ενός κινητού ασύρματου δικτύου. Πριν από την εισαγωγή του WAP, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας είχαν περιορισμένες ευκαιρίες για να προσφέρουν διαδραστικές υπηρεσίες δεδομένων, καθώς και εφαρμογές Web όπως e-mail, λήψη αρχείων μουσικής, online αγορές κτλ. Ουσιαστικά εξασφαλίζει την πρόσβαση των χρηστών σε ηλεκτρονικές πηγές πληροφοριών ενώ βρίσκονται εν κινήσει.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 η κοινότητα IS-95 αποφάσισε να αναπτύξει ένα νέο κυτταρικό πρότυπο που θα πρόσφερε ακόμη υψηλότερες ταχύτητες μεταφορές δεδομένων και φωνής. Το πρότυπο αυτό έγινε γνωστό ως CDMA2000 ή αλλιώς ως C2K ή ως IMT Multi-Carrier και αναπτύχθηκε από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό 3GPP2. Στην αρχική του μορφή αποτέλεσε μια εξέλιξη του IS-95, αυξάνοντας απλά την αποτελεσματικότητα του περιλαμβάνοντας κάποια νέα χαρακτηριστικά που δεν υπήρχαν στο IS-95, όπως διατάξεις για ποικιλομορφία εκπομπής και έξυπνες κεραιές καθώς και έναν ξεχωριστό πλοηγό για κάθε ανερχόμενη ζεύξη ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή παραλαβή των πακέτων. Περιλαμβάνει δυο πιθανούς τρόπους λειτουργίας, την λειτουργία 1x mode η οποία χρησιμοποιεί 1,25MHz του εύρους ζώνης και την λειτουργία CDMA γνωστή ως λειτουργία 3x mode η οποία χρησιμοποιεί 5MHz εύρος ζώνης με συνδυασμό τριών φορέων IS-95 σε μια μπάντα. Παράλληλα εργασίες γινόταν για την ανάπτυξη του IMT-2000 (International Mobile Telecommunication of the year 2000), ένα παγκόσμιο σύνολο απαιτήσεων για μια οικογένεια προτύπων που αφορά την Τρίτη γενιά κινητών επικοινωνιών (3G). Οι προδιαγραφές αυτές καθορίστηκαν από την ITU (International Telecommunication Union), και το IMT-2000 θα έπρεπε να παρέχει παγκόσμια κινητές ευρυζωνικές πολυμεσικές υπηρεσίες μέσω μιας ενιαίας παγκόσμιας συχνότητας, με φάσμα συχνοτήτων τα 2000MHz.

Οπότε στη συνέχεια ακολούθησε και η δημιουργία ενός προτύπου ασύρματης μετάδοσης με το ακρωνύμιο UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), το οποίο αποτελεί σύστημα της Τρίτης γενιάς (3G) κινητών κυψελωτών συστημάτων για δίκτυα και έχει ως βάση το GSM. Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε από έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό με την επωνυμία Third generation Partnership Project (3GPP) που ως στόχο έχει να αναπτύξει τα δίκτυα των παρόχων σε τέτοιο βαθμό ώστε να βασίζονται αποκλειστικά στο πρωτόκολλο IP

(all-IP). Το UMTS καθορίζει ένα πλήρες σύστημα του δικτύου το UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), το οποίο περιλαμβάνει ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), θεωρητικά υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης που φτάνουν τα 384Kbit/s ενώ ο χρήστης βρίσκεται εν κινήσει, ενώ όταν ο χρήστης είναι στάσιμος φτάνει μέχρι και τα 2Mbit/s ο ρυθμός μετάδοσης. Η τεχνολογία W-CDMA είναι μια τεχνολογία διασύνδεσης αέρα που υποστηρίζει υπηρεσίες φωνής, κειμένου και MMS, προσφέροντας παράλληλα υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων καθώς και υψηλότερο εύρος ζώνης συμπεριλαμβάνοντας συνεχή ροή και ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Στην Κίνα ως εναλλακτική λύση της τεχνολογίας W-CDMA χρησιμοποιείται η τεχνολογία TS-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access), προτάθηκε από τις εταιρείες CATT και Siemens και ο λόγος που δημιουργήθηκε ουσιαστικά είναι για να αποφευχθεί η εξάρτηση από την Δυτική Τεχνολογία. Στηρίζεται στην υποδομή του GSM, χρησιμοποιεί εξελιγμένες κεραίες στους σταθμούς βάσης και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης που φτάνουν μέχρι 384Kbps, ενώ χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό δυο τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης, την τεχνική CDMA και την τεχνική TDMA. Η τεχνολογία TS-SCDMA βρίσκει μεγάλη εφαρμογή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Η εξέλιξη του UMTS είναι δυο τεχνολογίες που έχει θέσει ο οργανισμός 3GPP σαν πρότυπα και υπόσχονται αυξημένο ρυθμό μετάδοσης που φτάνει τα 14,4Mbit/s στο downlink και 5,8 στο up-link. Πρόκειται για το HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), που είναι γνωστό και ως 3.5G, και η τεχνολογία HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Το HSDPA είναι ένα ενισχυμένο πρωτόκολλο επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G), το οποίο επιτρέπει σε δίκτυα που βασίζονται στο Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS), να έχουν υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Από το 2013 και μετά έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει ταχύτητες down-link έως 99,3 Mbit/s. Το HSUPA είναι ένα πρωτόκολλο κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3G), που ανήκει στην οικογένεια HSPA με up-link ταχύτητες που φτάνουν τα 5,76 Mbit/s. Σκοπός του είναι να βελτιώσει την απόδοση του up-link στα κανάλια μεταφοράς, με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας, της απόδοσης και την μείωση της καθυστέρησης.

Μπαίνοντας στην τέταρτη γενιά τεχνολογίας κινητών τηλεπικοινωνιών (4G), η οποία εκτός από τις υπηρεσίες φωνής και άλλων υπηρεσιών 3G, παρέχει κινητή ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο σε συσκευές όπως laptops και Smartphone's. Δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως 3D τηλεόραση, IP telephony, high

definition mobile TV. Λόγω της αυξημένης δημοτικότητας του 4G έχουν δημιουργηθεί αρκετά πρότυπα τα οποία με τον καιρό ενσωματώνονται σε αυτό. Τα πιο σημαντικά πρότυπα που δημιουργήθηκαν είναι το WiMAX και το LTE. Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας με εμβέλεια που φτάνει τα 35 χιλιόμετρα και σε αντίθεση με άλλες ασύρματες τεχνολογίες ο χρήστης δεν θα πρέπει να βρίσκεται κοντά σε ένα σημείο εκπομπής (hotspot) και έχει ως στόχο να παρέχει την δυνατότητα σε εκατομμύρια χρήστες να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο ασύρματα, γρήγορα αλλά και οικονομικά. Ουσιαστικά το WiMAX έχει την δυνατότητα να αντικαταστήσει τόσο τα ασύρματα όσο και τα ενσύρματα δίκτυα αφού παρέχει κάλυψη σε όποιο σημείο και αν βρίσκεται ο χρήστης με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο στην εγκατάσταση. Το WiMAX βρίσκει εφαρμογή και στα κινητά με την τεχνολογία να ονομάζεται mobile WiMAX, η οποία αντιμετωπίζει μεγάλο ανταγωνισμό με τις τεχνολογίες UMTS και CDMA2000 οι οποίες αναπτύσσονται ταχύτατα. Το mobile WiMAX προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης που φτάνουν τα 70 Mbit /s σε αποστάσεις 50 χιλιομέτρων, ενώ ο χρήστης δεν έχει ογκοχρέωση στα δεδομένα που κατεβάζει αλλά πληρώνει ένα μηνιαίο ποσό ανεξάρτητα από τον όγκο δεδομένων. Το πρότυπο LTE (Long Term Evolution), το οποίο διατίθεται στην αγορά ως 4G LTE είναι ένα πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία δεδομένων υψηλών ταχυτήτων, για κινητά τηλέφωνα και τερματικά δεδομένων. Έχει ως βάση τα δίκτυα GSM / EDGE και τις τεχνολογίες UMTS / HSPA, χρησιμοποιώντας διαφορετικές ραδιοσυχνότητες και έχει ως στόχο την βελτίωση της αποτελεσματικότητας του δικτύου και των υπηρεσιών, την μείωση του κόστους και την συμβατότητα με άλλα νέα πρότυπα. Το χαρακτηριστικό όλων των 4G δικτύων είναι ότι είναι βασισμένα στο TCP/IP, που αποτελεί το βασικό πρωτόκολλο του Διαδικτύου και παρέχει υπηρεσίες υψηλού επιπέδου για φωνή, βίντεο και τα μηνύματα.

Η ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών, έχει επιφέρει μεγάλες αλλαγές στην ζωή μας και γενικά στην καθημερινότητα μας. Η ανάγκη μας για επικοινωνία κάθε είδους, διαμοιρασμό πληροφοριών και ιδεών έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό. Περνώντας τα χρόνια έχουν δημιουργηθεί και χρησιμοποιηθεί διάφοροι τρόποι επίτευξης επικοινωνίας, με στόχο την κάλυψη απομακρυσμένων και δύσβατων σημείων. Παρ' όλο που οι λύσεις της ενσύρματης δικτύωσης παρείχαν ικανοποιητικές αποδόσεις, σε αρκετές εφαρμογές δεν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθούν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα με το πέρασμα του χρόνου η εμφάνιση των ασύρματων τεχνολογιών να είναι όλο και πιο έντονη στη ζωή μας, κάνοντας απαραίτητη την χρήση τους λόγω της ευελιξίας και της αυτονομίας τους. Στην αρχή ίσως να μην ήταν τόσο

αποδεκτή η ιδέα της ασύρματης επικοινωνίας, ωστόσο αργότερα εξελίχθηκε ραγδαία, με αποτέλεσμα την ενσωμάτωση των ασύρματων δικτύων στην καθημερινότητα μας.

Εν συντομία στο κεφάλαιο αυτό κάναμε μια ιστορική αναδρομή στις ασύρματες επικοινωνίες βλέποντας την τεράστια και ραγδαία εξέλιξη που σημειώθηκε με το πέρασμα των χρόνων και ειδικά τον αιώνα που διανύουμε. Στην ραγδαία αυτή ανάπτυξη έπαιξε σημαντικό ρόλο η κοινωνία καθώς υπήρξε μεγάλο ενδιαφέρον από πλευράς της για τις τεχνολογίες και ειδικότερα για την δημιουργία εύχρηστου τρόπου επικοινωνίας για καθημερινή χρήση μεταξύ των πολιτών και φυσικά για την ανάπτυξη των επιχειρήσεων. Αναφέραμε εκτενώς και με σειρά τις κυριότερες τεχνολογίες και τα πρότυπα που δημιουργήθηκαν και βρίσκουν εφαρμογή μέχρι και σήμερα όπως επίσης και κάποια χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούν όπως ζώνες συχνοτήτων και ένα μέρος των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους που τα καθιστούν εύκολα ή δύσκολα στην χρήση. Τέλος, δώσαμε ιδιαίτερη βάση στα πρότυπα και στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα από το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού και τα επόμενα χρόνια θα έχουν μεγάλη ανάπτυξη μιας που ήδη έχουν βρει έδαφος λόγω της ζήτησης και του ανταγωνισμού των μεγάλων οργανισμών.

## 1.2 Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου

- [1] (<http://cgi.di.uoa.gr/~std03134/telcomhist/telcomhist.htm>)
- [2] (<http://users.sch.gr/kassetas/educ45ans.htm>)
- [3] (<http://el.fmuser.net/content/?801.html>)
- [4] (<https://goo.gl/b63AZY>)
- [5] (<http://goo.gl/E3eICM>)
- [6] (<http://goo.gl/g0k8il>)
- [7] (<http://goo.gl/Qti1tS>)
- [8] (<http://goo.gl/rsNbCA>)
- [9] (<http://goo.gl/sYvD6h>)
- [10] (<http://goo.gl/jSgTg3>)
- [11] (<http://en.wikipedia.org/wiki/1G>)
- [12] ([http://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications))
- [13] (<http://en.wikipedia.org/wiki/CT1>)
- [14] (<http://en.wikipedia.org/wiki/C-Netz>)
- [15] ([http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Enhanced\\_Cordless\\_Telecommunications](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Enhanced_Cordless_Telecommunications))
- [16] (<http://www.dectweb.com/Introduction/answers.htm>)
- [17] ([http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Stepanovich\\_Popov](http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanovich_Popov))
- [18] (<http://goo.gl/Dldpr>)
- [19] (<http://3gym-n-ionias.att.sch.gr/sjob/epikoinonies.htm>)
- [20] (<http://en.wikipedia.org/wiki/IS-95>)
- [21] (<http://goo.gl/7Eu79C>)
- [22] ([http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Circuit-Switched\\_Data](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Circuit-Switched_Data))
- [23] (<http://goo.gl/odseui>)
- [24] (<http://goo.gl/ieqyYF>)
- [25] (<http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>)
- [26] ([http://el.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://el.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11))
- [27] (<http://el.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>)
- [28] (<http://pacific.jour.auth.gr/kinita/page7.htm>)
- [29] ([http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_Application\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_Application_Protocol))
- [30] (<http://en.wikipedia.org/wiki/3G>)
- [31] (<http://www.telecomabc.com/i/imt-2000.html>)

- [32] ([http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Packet\\_Radio\\_Service](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service))
- [33] ([http://en.wikipedia.org/wiki/W-CDMA\\_%28UMTS%29](http://en.wikipedia.org/wiki/W-CDMA_%28UMTS%29))
- [34] ([http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Downlink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Downlink_Packet_Access))
- [35] ([http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Uplink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access))
- [36] (<http://en.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>)
- [37] ([http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-division\\_multiple\\_access](http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-division_multiple_access))
- [38] ([http://en.wikipedia.org/wiki/Time\\_division\\_multiple\\_access](http://en.wikipedia.org/wiki/Time_division_multiple_access))
- [39] ([http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network))
- [40] (<http://en.wikipedia.org/wiki/TD-SCDMA>)
- [41] (<http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>)
- [42] ([http://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced](http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced))

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### 2. Μέτρα Σύγκρισης Δικτύων

Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων και της αυξημένης ζήτησης για καλύτερους τρόπους επικοινωνίας, δημιουργήθηκε μεγάλος αριθμός προτύπων και τεχνολογιών για την κάλυψη περισσότερων αναγκών όπως επίσης δημιουργήθηκαν και διάφορα είδη ασύρματων δικτύων. Τα δίκτυα αυτά όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο για μεγαλύτερη ευκολία τα κατηγοριοποίησαν ώστε να τα ξεχωρίζουν από το είδος τους, τα χαρακτηριστικά τους και ανάλογα με το τι ακριβώς προσφέρουν στους χρήστες τους. Οι κατηγορίες που χωρίζονται είναι οι εξής και αναφέρονται παρακάτω:

- Δίκτυα Πρώτης Γενιάς (1G)
- Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G)
  - Δίκτυα 2,5G
  - Δίκτυα 2,75G
- Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G)
  - Δίκτυα 3,5G
- Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G)
- Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς (5G)

#### 2.1 Δίκτυα πρώτης γενιάς (1G)

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς όπως έχουμε ήδη αναφέρει ξεκίνησαν στην δεκαετία του 1980, χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά αναλογική τεχνολογία και η κύρια χρήση τους ήταν η πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων της πρώτης γενιάς ήταν ότι βασιζόταν σε κυψελωτή δομή, δηλαδή η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε πιο μικρά κομμάτια έτσι ώστε όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικές ή ίδιες συχνότητες στο δίκτυο, να μην εμφανίζονται έντονα φαινόμενα παρεμβολών στους χρήστες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να βελτιστοποιεί τις δυνατότητες που μπορούσε να προσφέρει το δίκτυο. Οι κυριότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούσαν ήταν η FM (Frequency Modulation), FDD (Frequency Division Duplex), FDMA (Frequency Division Multiple Access). Λόγω της αναλογικής τεχνολογίας στα δίκτυα αυτά η μετάδοση των δεδομένων δεν ήταν ασφαλής.

Στην πρώτη γενιά δικτύων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα συστήματα από τα οποία τελικά δεν υπήρξε κάποιο να επικρατήσει, υπήρχαν όμως κάποια που χρησιμοποιήθηκαν αρκετά.



Παράδειγμα αυτών των συστημάτων είναι τα AMPS (Advance Mobile Phone Service), TACS (Total Access Communication System) και το NMT (Nordic Mobile Telephone). Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο το AMPS αποτέλεσε το πρώτο σύστημα κινητής τηλεφωνίας που βασιζόταν σε κυβελωτή δομή ώστε να χωρίζεται σε κελιά και να μπορεί να χρησιμοποιεί ξεχωριστές συχνότητες για κάθε συνομιλία που πραγματοποιούσαν οι χρήστες. Τα κελιά στα οποία χωρίζεται έχουν μήκος από 10 έως 20 χλμ και έχουν εύρος ζώνης 30KHz ανά κελί. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία πολυπλεξίας συχνότητας FDMA(Frequency Division Multiple Access) σε συνδυασμό με τις συχνότητες μεταξύ 824MHz έως 894MHz και προσφέρει την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων αυτών. Κάθε κελί χρησιμοποιείται από έναν συνδρομητή και για την μετάδοση του σήματος χρησιμοποιεί διαμόρφωση συχνότητας (FM). Το AMPS ουσιαστικά έχει κάποιους περιορισμούς στην χρήση του όπως μικρή χωρητικότητα, μικρό εύρος, περιορισμένη επικοινωνία στα δεδομένα και μικρή ασφάλεια κατά την διάρκεια της επικοινωνίας. Η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων φτάνει μέχρι τα 10Kbps. Λόγω της χρήση αναλογικού σήματος ένα σύστημα AMPS ήταν πολύ εύκολο να ανιχνευθεί με μια απλή σάρωση των συχνοτήτων, αυτός ήταν και ο λόγος που το καθιστούσε μη ασφαλές διότι ήταν πολύ εύκολο να υπάρξει υποκλοπή των δεδομένων.

Το σύστημα TACS (Total Access Communication System) είναι ουσιαστικά το AMPS αλλά με κάποιες αλλαγές. Χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο και γενικά μετά είχε ευρεία χρήση στις Ευρωπαϊκές κυρίως χώρες. Μειώθηκε το εύρος ζώνης των καναλιών στα 25KHz, σε μια προσπάθεια να αυξηθεί ο αριθμός των καναλιών φτάνοντας τα 1320. Όπως και το AMPS, το σύστημα TACS είναι σχεδιασμένο για χρήση σε μεγάλες περιοχές και όχι τόσο σε μικρότερες.

Το NMT (Nordic Mobile Telephone) είναι ένα αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας το οποίο χρησιμοποιήθηκε στις Σκανδιναβικές χώρες. Στην αρχή της ανάπτυξης του χρησιμοποιούσε εύρος ζώνης στα 400MHz. Στην συνέχεια υπήρξε αύξηση του εύρους στα 900MHz και αύξηση του αριθμού των καναλιών. Το μέγεθος των κυψέλων ξεκινούσε από 2 χλμ και έφτανε μέχρι τα 30 χλμ., ενώ η μετάδοση της φωνής στο κανάλι γίνεται με FM διαμόρφωση. Το σήμα στο σύστημα μεταδιδόταν με ταχύτητες που ξεκινούσαν από 600 bits και έφταναν τα 1200 bits. Τα δεδομένα που μεταδιδόταν δεν ήταν κρυπτογραφημένα, ωστόσο δεν ήταν δυνατόν να πέσει κάποιος θύμα υποκλοπής καθώς σε κάποιους σαρωτές συχνοτήτων είχαν αποκλειστεί οι μπάντες που αφορούσαν το NMT. Το σύστημα NMT ήταν το πρώτο που πρόσφερε την δυνατότητα αποστολής δεδομένων στους χρήστες της εξαιτίας

μιας υπηρεσίας που παρείχε την NMT-Text, αρκεί βέβαια και οι δυο χρήστες να είχαν συσκευή NMT.

## **2.2 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G)**

Η μεγάλη ανάγκη για επικοινωνία και παροχή υπηρεσιών αύξησε τον αριθμό των χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Οι περιορισμένες δυνατότητες που πρόσφεραν τα δίκτυα πρώτης γενιάς δημιούργησε την ανάγκη για την ανάπτυξη μιας γενιάς που θα πρόσφερε πολλά παραπάνω στους χρήστες της. Έτσι φτάσαμε στην ανάπτυξη των δικτύων δεύτερη γενιάς (2G). Ο διαχωρισμός της δεύτερης γενιάς με την πρώτη είναι ότι η μια χρησιμοποιεί ψηφιακή τεχνολογία ενώ η άλλη γενιά αναλογική τεχνολογία αντίστοιχα. Από την στιγμή που πρόκειται για ψηφιακά συστήματα η δεύτερη γενιά χρησιμοποιεί και ψηφιακές τεχνικές διαμόρφωσης. Οι τεχνικές αυτές είναι η TDMA (Time Division Multiple Access) και η CDMA (Code Division Multiple Access). Παρέχουν υποστήριξη υπηρεσιών φωνής, δεδομένων, fax με ρυθμούς μετάδοσης που αγγίζουν τα 10Kbps καθώς επίσης και τρεις φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τα δίκτυα της προηγούμενης γενιάς. Τα πρότυπα τα οποία υποστηρίζει η (2G) είναι το GSM, το IS-95 (CDMA) και το PDC (Personal Digital Cellular).

### **2.2.1 Σύστημα GSM**

Το GSM (Global System of Mobile communications) είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς (2G), είναι πλήρως ψηφιακό και υποστηρίζει συχνότητες από 900MHz έως 1800MHz. Οι μεγαλύτερες συχνότητες χρησιμοποιούνται σε περιοχές που είναι πυκνοκατοικημένες ώστε να μην δημιουργείται πρόβλημα. Σε κάθε ζώνη συχνοτήτων υπάρχουν 125 κανάλια με 200KHz εύρος ζώνης το κάθε ένα. Χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες FDMA (Frequency Division Multiple Access) και TDMA (Time Division Multiple Access) σε συνδυασμό μεταξύ τους, λόγω του χαμηλού κόστους. Με την χρήση της TDMA επιτρέπεται η χρήση του καναλιού από μεγαλύτερο αριθμό χρηστών που φτάνουν τους 8 χρήστες με συνολικό ρυθμό 270Kbps. Το GSM αποτελεί ένα από τα καλύτερα συστήματα για παροχή υπηρεσιών διότι εκτός από τις υπηρεσίες ομιλίας υποστηρίζει αποστολή SMS (Short Message Service), Voice Mail VideoText. Παρέχει μια κάρτα SIM στους χρήστες του ώστε ο κάθε χρήστης να έχει μια ταυτότητα και να είναι μοναδική. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι

από τα καλύτερα για την γενιά του, όμως η μετάδοση των δεδομένων δεν γίνεται με τον ρυθμό που θα περίμενε κανείς διότι δεν λειτουργεί ικανοποιητικά για μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων.

### **2.2.2 Πρότυπο IS-95**

Το IS-95 (Interim Standard 95) ή αλλιώς CDMAone είναι το πρώτο κυψελωτό ψηφιακό σύστημα που χρησιμοποίησε την τεχνολογία CDMA (Code Division Multiple Access). Χρησιμοποιεί δυο συχνότητες, την συχνότητα προώθησης η οποία ξεκινά από 824MHz έως 849MHz και την αντίστροφη συχνότητα η οποία ξεκινά από 869MHz και φτάνει έως 894MHz. Το εύρος ζώνης του αγγίζει τα 1,25MHz ενώ υποστηρίζει 64 κανάλια φωνής. Ως σχήμα διαμόρφωσης χρησιμοποιεί την QPSK. Προσφέρει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που φτάνουν τα 14.4Kbit/s και η δυνατότητα αύξησης της ταχύτητας μπορεί να υπάρξει μόνο μέσω αναβάθμισης λογισμικού. Σήμερα μόνο ένα ποσοστό κοντά στο 17% σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιεί το πρότυπο καθώς όλοι πλέον έχουν μεταφερθεί στο σύστημα GSM.

### **2.2.3 Σύστημα PDC**

Το PDC (Personal Digital Cellular) είναι μια τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας που εμφανίστηκε το 1991. Χρησιμοποιείται μόνο στην Ιαπωνία εν αντιθέσει με τα υπόλοιπα που χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η χρήση του είναι αρκετά διαδεδομένη σε μεγάλο αριθμό χρηστών. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία TDMA και λειτουργεί σε συχνότητες από 800MHz έως 1500MHz . Διαχωρίζει το κανάλι σε πολλές χρονοθυρίδες επιτρέποντας σε μεγάλο αριθμό χρηστών να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι συχνότητας, οπότε αυξάνεται η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν. Υπό κανονικές συνθήκες μπορεί να υποστηρίζει τρεις χρήστες ανά κανάλι. Προσφέρει υπηρεσίες φωνής και διάφορες συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως αναμονή κλήσης, αναγνώριση κλήσης, φωνητικό ταχυδρομείο, προώθηση κλήσεων καθώς και υπηρεσίες δεδομένων.

## **2.3 Δίκτυα 2,5G**

Τα δίκτυα 2,5G ουσιαστικά αποτελούν μια εξελιγμένη μορφή των δικτύων δεύτερη γενιάς 2G και ο λόγος που δημιουργήθηκαν είναι για να περιγράψουν μια άλλη τεχνική σε σχέση με

αυτή της μεταγωγής κυκλώματος (Circuit Switching) που χρησιμοποιείται στα συστήματα 2G, την μεταγωγή πακέτου (Packet Switching). Η τεχνική αυτή επιτρέπει στα συστήματα 2,5G να συμπεριλάβει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και όχι απλά φωνής. Είναι πλήρως ψηφιακά και έχουν την δυνατότητα να υποστηρίξουν μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης προσφέροντας έτσι καλύτερες και πιο ποιοτικές υπηρεσίες στους χρήστες. Για την βελτίωση αυτών δημιουργήθηκε η τεχνολογία GPRS (General Packet Radio Service) και η υπηρεσία HSCSD (High Speed Circuit Switched Data).

### **2.3.1 Τεχνολογία GPRS**

Η τεχνολογία GPRS (General Packet Radio Service) ουσιαστικά είναι μια υπηρεσία που χρησιμοποιείται σε δίκτυα δεύτερης και τρίτης γενιάς (2G και 3G), στηρίζεται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (GSM) καθώς και στην τεχνική μεταγωγής πακέτων (Packet Switching). Επιτρέπει την καλύτερη χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου καθώς τα δεδομένα στέλνονται σε πακέτα ανάλογα την χωρητικότητα που παρέχει το δίκτυο. Λόγω του ότι υπάρχει διαμοιρασμός των καναλιών και δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για έναν και μόνο χρήστη έχει μικρότερο κόστος σε σύγκριση με άλλες υπηρεσίες. Ουσιαστικά η υπηρεσία GPRS «τεμαχίζει» τα δεδομένα σε πολλά μικρά πακέτα πριν την αποστολή τους και πριν φτάσουν στον τελικό παραλήπτη τα συνδέει ξανά μεταξύ τους, πρόκειται για την τεχνική μεταγωγής πακέτων (Packet Switching) που αναφέραμε λίγο πιο πάνω. Ο χρήστης βέβαια δεν αντιλαμβάνεται τίποτα από όσα συμβαίνουν καθώς βλέπει μόνο το τελικό αποτέλεσμα. Προσφέρει μια μεγάλη γκάμα υπηρεσιών όπως ασύρματη πρόσβαση σε δίκτυα όπως το Internet, υπηρεσίες μηνυμάτων πολυμέσων, εφαρμογές Internet για κινητές συσκευές μέσω του πρωτόκολλου εφαρμογών (WAP), καθώς και υπηρεσίες άμεσων μηνυμάτων (SMS), e-mail και γενικά ότι έχει σχέση με την σύνδεση στο Internet και τις υπηρεσίες του. Ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν μπορεί να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μια χρονοθυρίδες στο κανάλι μετάδοσης, δηλαδή να γίνει ταυτόχρονη χρήση των χρονοθυρίδων αυτών φτάνοντας ταχύτητες έως 171Kbps στην θεωρία, στην πράξη κυμαίνονται μέχρι τα 56Kbit/s. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται μόνο κατά την διάρκεια της μετάδοσης και μετά το πέρας αυτής αποδεσμεύονται, έτσι οι πόροι του δικτύου λειτουργούν αποδοτικότερα.

### **2.3.2 Τεχνική HSCSD**

Η τεχνική HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) είναι η βελτιωμένη έκδοση της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος (Circuit Switching) που χρησιμοποιεί το σύστημα GSM. Είναι μέχρι έξι φορές ταχύτερη από ότι το GSM με ρυθμούς μετάδοσης που αγγίζουν τα 57,6kbit / s. Χρησιμοποιεί διαφορετικές μεθόδους κωδικοποίησης καθώς και πολλές χρονοθυρίδες ταυτόχρονα όπως το GPRS με την διαφορά ότι απαιτεί οι χρονοθυρίδες αυτές να δεσμεύονται πλήρως σε έναν μόνο χρήστη άρα συνεπώς και να χρεώνονται για χρήση με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Η κατανομή των χρονοθυρίδων φτάνει μέχρι και τις οκτώ ανά μεμονωμένο χρήστη. Εξαιτίας αυτής της δέσμευσης η τεχνική αυτή είναι σχετικά ακριβή και αυτός είναι ένας από τους λόγους που χρησιμοποιείται πιο πολύ το σύστημα GPRS σε αντίθεση με την τεχνική HSCSD. Για να λειτουργήσει δεν χρειάζεται εγκατάσταση κάποιου ειδικού εξοπλισμού, μόνο μια απλή αναβάθμιση του λογισμικού που χρησιμοποιείται στο δίκτυο. Αυτό που κάνει την τεχνική αυτή ξεχωριστή είναι ότι επιτρέπει την χρησιμοποίηση διαφόρων μεθόδων διόρθωσης σφαλμάτων κατά την μεταφορά των δεδομένων παρά το ότι καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της χωρητικότητας του δικτύου.

## **2.4 Δίκτυα 2,75G**

Όταν αναφέρουμε τον όρο δίκτυα 2,75G εννοούμε το πρότυπο EDGE, που σημαίνει ότι είναι πιο γρήγορα από τα δίκτυα 2,5G αλλά όχι πιο γρήγορα από τα δίκτυα 3G.

### **2.4.1 Πρότυπο EDGE**

Το πρότυπο EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) αποτελεί μια ψηφιακή τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε από την Ericsson για να βελτιώσει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων ώστε να υπάρχει η δυνατότητα τα δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) να έχουν τριπλάσια χωρητικότητα για τις μεταδόσεις τους. Ο λόγος που αυξήθηκε η χωρητικότητα είναι για να μπορεί να υποστηρίξει διάφορες υπηρεσίες όπως φωνή, μεταφορά αρχείων πολυμέσων, τηλεδιάσκεψη, για τα δίκτυα που δεν θα μπορέσουν να μεταβούν στα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G). Χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνικές διαμόρφωσης με βελτιωμένες τεχνικές κωδικοποίησης έτσι ώστε κάθε παλμός να κωδικοποιεί πιο πολλά bit. Οι ρυθμοί μετάδοσης που προσφέρει φτάνουν θεωρητικά ταχύτητες έως 384kbps, χρησιμοποιώντας την τεχνική διαμόρφωσης 8-PSK η οποία έχει την δυνατότητα αποστολής 3bit ανά σύμβολο προσφέροντας έτσι σημαντική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης σε σύγκριση με το GPRS και

καλύτερη φασματική απόδοση. Παρέχει την δυνατότητα αναμετάδοσης των πληροφοριών που δεν στάλθηκαν σωστά ή περιέχουν σφάλματα. Μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε σύστημα GPRS χωρίς να απαιτείται να εγκατασταθεί κάποιος ιδιαίτερος εξοπλισμός, αρκεί μόνο να γίνει αναβάθμιση του λογισμικού του δικτύου.

## **2.5 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G)**

Εισερχόμενοι στην Τρίτη Γενιά κινητής τηλεφωνίας η οποία βασίζεται σε ένα σύνολο διεθνών προτύπων κινητής τηλεφωνίας (IMT-2000), βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μεγαλύτερη γκάμα υπηρεσιών που οι προηγούμενες γενιές θα ήταν αδύνατον να προσφέρουν, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στην μεταφορά δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες. Το κίνητρο για την εξέλιξη αυτή είναι οι απαιτήσεις των χρηστών για παροχή καλύτερων και πιο ποιοτικών υπηρεσιών ειδικά εν κινήσει. Οι προδιαγραφές που έθεσε εξ αρχής η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) για τα δίκτυα αυτά αφορούσαν τις ταχύτητες μεταφοράς των δεδομένων με 2Mbps για σταθερές συσκευές, 384kbps για χρήστες εν κινήσει όπως για παράδειγμα πεζούς και 144kbps για χρήστες εν κινήσει με κάποιο μεταφορικό μέσο. Όπως ήδη αναφέραμε ο κύριος στόχος της Τρίτης Γενιάς κινητής τηλεφωνίας είναι η αναβάθμιση της ποιότητας των υπηρεσιών λόγω των αυξημένων απαιτήσεων των χρηστών. Πρόκειται για υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών με παροχή Internet που δεν ήταν διαθέσιμες σε παλαιότερες γενιές σε απλούς χρήστες κινητών τηλεφώνων, όπως υπηρεσίες βασιζόμενες στην τοποθεσία (Location-based services), τηλεδιάσκεψη (Video Conferencing), βίντεο κλήση (video calling), mobile TV καθώς και υπηρεσίες τηλεϊατρικής (Telemedicine). Ακόμη προσφέρει την δυνατότητα της περιαγωγής στους χρήστες ώστε να μπορούν να έχουν πρόσβαση από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου και από οποιοδήποτε δίκτυο. Το μειονέκτημα των δικτύων αυτής της γενιάς είναι το μεγάλο κόστος απόκτησης των συσκευών κινητής τηλεφωνίας που θα έχουν τις δυνατότητες που απαιτούνται ώστε να προσφέρουν τις υπηρεσίες αυτές σε σχέση με τις συσκευές που δεν μπορούν να παρέχουν τις ίδιες δυνατότητες. Τα πρότυπα που θεωρούνται ως τα βασικά της γενιάς είναι το UMTS και το CDMA2000.

### **2.5.1 Σύστημα UMTS**

Το σύστημα UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) είναι ένα από τα πιο διαδομένα συστήματα της Τρίτης Γενιάς κινητής τηλεφωνίας για δίκτυα που έχουν ως βάση το GSM. Αναπτύσσεται και προτυποποιείται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project). Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 2Mbps παρέχοντας στους χρήστες κινητών τηλεφώνων ή σε οποιαδήποτε συσκευή είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο υψηλή ποιότητα ψηφιακών υπηρεσιών. Βασίζεται στην τεχνολογία W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) χρησιμοποιώντας δυο πλατιά κανάλια των 5MHz με εύρος ζώνης περίπου 2GHz και προσφέρει πιο αποδοτική χρήση φάσματος συχνοτήτων σε σύγκριση με τις τεχνολογίες TDMA και FDMA. Λόγω της ενοποίησης των τεχνολογιών μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου κατά την μετάδοση των δεδομένων προσφέρει προηγμένες υπηρεσίες όπως ομιλία υψηλής ποιότητας, παγκόσμια περιαγωγή, συμβατότητα με δορυφορικά ασύρματα δίκτυα, υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και νοήμονος δικτύου. Για την λειτουργία του συστήματος δεν αρκεί μια αναβάθμιση του λογισμικού όπως σε προηγούμενα συστήματα αλλά είναι αναγκαία η εγκατάσταση ενός νέου δικτύου με ανεξάρτητους σταθμούς βάσης και νέα κατανομή συχνοτήτων. Σήμερα ο οργανισμός 3GPP προτείνει σαν κύρια χρήση IP-based δίκτυα κινητών επικοινωνιών.

### **2.5.2 Πρότυπο CDMA2000**

Το CDMA2000 γνωστό και ως IMT-MC δημιουργήθηκε από τον οργανισμό 3GPP2 και είναι μια οικογένεια προτύπων κινητής τηλεφωνίας για την μετάδοση φωνής ή δεδομένων όπου αντιπροσωπεύουν την κλίμακα εξέλιξης του προτύπου. Χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα κανάλια των 1,25MHz και έχει οριστεί να λειτουργεί στις συχνότητες από 450MHz έως και 2100MHz. Για την μετάδοση φωνής χρησιμοποιείται το CDMA2000 1x RTT και το 1x Advanced. Στο CDMA2000 1x RTT ή αλλιώς CDMA2000 1x διπλασιάζεται η χωρητικότητα από τα ήδη 64 κανάλια στα 128. Χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι καναλιών με συχνότητα 1,25MHz και οι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν στα 144Kbit/s. Το CDMA2000 1x Advanced αποτελεί την εξέλιξη του CDMA2000 1x καθώς έχει την δυνατότητα να προσφέρει έως 4 φορές την χωρητικότητα του και 70% μεγαλύτερη κάλυψη από το CDMA2000 1x. Για την μετάδοση των δεδομένων χρησιμοποιείται το πρότυπο CDMA2000 1x EV-DO (Evolution Data Optimized). Χρησιμοποιεί τεχνικές πολυπλεξίας όπως την CDMA και την TDMA για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος. Το εύρος ζώνης του CDMA2000 1x EV-DO είναι

στα 1,25MHz, παρέχει πρόσβαση σε κινητές συσκευές με ταχύτητες έως 2,4Mbit/s. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με βάση ένα IP δίκτυο γι' αυτό υποστηρίζει τέτοιου είδους εφαρμογές.

## **2.6 Δίκτυα 3,5G**

Όταν αναφερόμαστε στα δίκτυα 3,5G η οποία αποτελεί μια νέα γενιά των κινητών δικτύων, ουσιαστικά μιλάμε για την τεχνολογία HSPA (High Speed Packet Access) η οποία εισήχθη για να ενισχύσει το σύστημα UMTS και να προσφέρει πληθώρα ευρυζωνικών υπηρεσιών. Δημιουργήθηκε για να παρέχει πολύ υψηλό εύρος ζώνης στους κινητούς χρήστες καθώς και αυξημένη χωρητικότητα στους παρόχους, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών και εφαρμογών με πολύ καλές αποδόσεις. Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων αγγίζει τα 14,4Mbps ανά χρήστη ενώ μειώνει τις καθυστερήσεις και αυξάνει την χωρητικότητα έως και 2 φορές σε σύγκριση με τα άλλα συστήματα και παρέχει έως και 10 φορές μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης σε σχέση με το UMTS. Για την βελτίωση της απόδοσης όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο δημιουργήθηκε το HSDPA και το HSUPA, πρωτόκολλα που λειτουργούν με το σύστημα HSPA και έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

## **2.7 Δίκτυα 4G**

Τα δίκτυα 4G αποτελούν ένα είδος καινούργιων υπηρεσιών και προτύπων έτσι ώστε να υπάρξει συνέχεια στις ασύρματες επικοινωνίες. Είναι πλήρως βασισμένα στο πρωτόκολλο IP έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να προσφέρουν οποιεσδήποτε υπηρεσίες με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές. Στόχος είναι να προσφέρουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που φτάνουν τα 100Mbit/s όταν ο χρήστης βρίσκεται σε κίνηση και ρυθμούς μετάδοσης των 1Gbit/s όταν ο χρήστης βρίσκεται σε σχετικά σταθερή θέση. Παρέχει πολύ μεγάλη χωρητικότητα στο δίκτυο έτσι ώστε να εξυπηρετείται πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών από μια κυψέλη, καθώς και υψηλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) με μεγάλη ασφάλεια και μικρό κόστος. Δίνει στους χρήστες την δυνατότητα να κάνουν χρήση προηγμένων υπηρεσιών όπως online gaming μέσω κινητών τηλεφώνων και τηλεφωνία μέσω IP. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παροχή των υπηρεσιών αυτών στα δίκτυα τέταρτης γενιάς είναι η LTE που θα περιγράψουμε παρακάτω.



### **2.7.1 LTE**

Το LTE (Long Term Evolution) αποτελεί μια τεχνολογία για ασύρματη επικοινωνία δεδομένων υψηλής ταχύτητας για κινητά τηλέφωνα και για τερματικά δεδομένων. Σε σύγκριση με τις τεχνολογίες που ήδη υπάρχουν αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου ενώ παράλληλα μειώνει τις καθυστερήσεις. Λειτουργεί με τεχνολογίες φυσικού επιπέδου όπως την τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πολυπλοκότητα του συστήματος ενώ είναι πλήρως βασισμένο στο πρωτόκολλο TCP/IP, ώστε να έχει την δυνατότητα να παρέχει υπηρεσίες υψηλού επιπέδου για φωνή, βίντεο και για τα μηνύματα. Ουσιαστικά παρέχει μόνο υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου και όταν πρέπει να ξεκινήσει μια κλήση φωνής θα πρέπει να γυρίζει πίσω στην μεταγωγή κυκλώματος, οπότε υπάρχει αρκετή καθυστέρηση μέχρι να εγκατασταθεί η κλήση. Για να υπάρξει πλήρης απόδοση στο LTE θα πρέπει τα σημερινά δίκτυα μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής κυκλώματος να μετατραπούν σε δίκτυα πλήρως βασισμένα σε IP (Internet Protocol). Ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης για το LTE κυμαίνεται στα 100Mbps για down-link και 50Mbps για up-link για εύρος ζώνης στα 20MHz.

### **2.8 Δίκτυα Πέμπτης Γενιάς (5G)**

Σε ανάπτυξη βρίσκεται η Πέμπτη Γενιά (5G) κινητής τηλεφωνίας η οποία θα αποτελέσει μια σημαντική εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών σε σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες γενιές και με ταχύτητες πέρα από ότι θα μπορούσε να προσφέρει η 4G. Ο ρυθμός των δεδομένων θα φτάνει αρκετά δεκάδες megabits ανά δευτερόλεπτο και θα προσφέρεται σε δεκάδες χρήστες ταυτόχρονα σε εταιρείες, στον ίδιο όροφο ή γραφεία. Η κάλυψη και η φασματική απόδοση θα έχει βελτιωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό σε σχέση με τα 4G. Ότι δεν κατάφεραν να υλοποιήσουν οι προηγούμενες γενιές θα ασύρματων δικτύων, θα υλοποιηθεί με την πέμπτη γενιά κινητής τηλεφωνίας. Οι τεχνολογίες της 5G υπολογίζεται ότι θα είναι διαθέσιμες στους χρήστες από το 2020 και μετά αλλάζοντας πλήρως αυτά που ήδη γνωρίζουμε για τις ασύρματες επικοινωνίες.

Γενιά	Ρυθμός Μετάδοσης	Περιγραφή
1G	2,4kbps	Αναλογικά δίκτυα για υπηρεσίες φωνής.
2G	64kbps	Ψηφιακά δίκτυα κυρίως για υποστήριξη φωνής αλλά με περιορισμένη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων.
2,5G	56kbps – 171kbps	Εξέλιξη του 2G για προσθήκη υπηρεσιών δεδομένων
2,75G	384kbps	Ενδιάμεσο βήμα για την μετάβαση σε 3G
3G	144kbps -2Mbps	Υψηλή ταχύτητα, υποστήριξη video calling, Video Conferencing και mobile TV
3,5G	14,4Mbps	Παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών
4G	100Mbit/s – 1Gbit/s	Βασισμένα στο TCP/IP, υπηρεσίες online gaming
5G	-	-

Πίνακας 2.1: Εξέλιξη δικτύων ανά γενιά

Στο κεφάλαιο αυτό είδαμε την εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας μέσω των γενεών από την εποχή των αναλογικών δικτύων μέχρι και τα δίκτυα 5G αν και ουσιαστικά η τελευταία γενιά είναι ακόμη σε ανάπτυξη οπότε δεν μπορούμε να έχουμε ολοκληρωμένη άποψη καθώς όπως σε κάθε μετάβαση υπάρχουν ριζικές αλλαγές έτσι και σε αυτή την γενιά θα διαφοροποιηθούν πολλά σε σχέση με την προηγούμενη. Οι γενιές έχουν υποστεί τεράστιες βελτιώσεις και συνεχίζουν να παρέχουν ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό υπηρεσιών δίνοντας έμφαση στις ανάγκες των χρηστών και στην απλούστευση της καθημερινότητας τους όπου αυτό είναι εφικτό.

## 2.9 Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου

- [1] (<https://2gymkal.wordpress.com/2008/05/08/diktia/>)
- [2] (<http://goo.gl/6KASG1>)
- [3] (<https://goo.gl/O5YVY3>)
- [4] ([http://users.sch.gr/angnikolou/tech\\_v/wireless.htm](http://users.sch.gr/angnikolou/tech_v/wireless.htm))
- [5] (<http://goo.gl/hm9pZh>)
- [6] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Total\\_Access\\_Communication\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Total_Access_Communication_System))
- [7] ([http://www.academia.edu/8265916/Total\\_Access\\_Communication\\_System](http://www.academia.edu/8265916/Total_Access_Communication_System))
- [8] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Nordic\\_Mobile\\_Telephone](https://en.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephone))
- [9] ([https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Packet\\_Radio\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service))
- [10] ([https://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Circuit-Switched\\_Data](https://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Circuit-Switched_Data))
- [11] (<http://www.telecomspace.com/datatech-hscsd.html>)
- [12] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Personal\\_Digital\\_Cellular](https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_Digital_Cellular))
- [13] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced\\_Data\\_Rates\\_for\\_GSM\\_Evolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution))
- [14] (<http://www.slideshare.net/sid2k12/enhanced-data-rates-for-gsm-evolutionedge>)
- [15] (<https://goo.gl/rNNMyJ>)
- [16] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_Mobile\\_Telecommunications\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System))
- [17] (<https://en.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>)
- [18] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Evolution-Data\\_Optimized](https://en.wikipedia.org/wiki/Evolution-Data_Optimized))
- [19] ([https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_%28telecommunication%29](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_%28telecommunication%29))
- [20] (<https://en.wikipedia.org/wiki/4G>)
- [21] (<https://en.wikipedia.org/wiki/5G>)

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3. Πρωτόκολλα Ασύρματων Δικτύων

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών των ασύρματων δικτύων, δημιούργησε την ανάγκη για την επιβολή κάποιων κανόνων κατά την διάρκεια της επικοινωνίας των χρηστών. Οι κανόνες αυτοί στηρίζουν την επικοινωνία των συσκευών σε ένα δίκτυο, επιτρέποντας ακόμη και σε συσκευές που δεν είναι συμβατές μεταξύ τους, να ανταλλάσσουν δεδομένα και πληροφορίες. Στα δίκτυα οι κανόνες αυτοί ονομάζονται πρωτόκολλα. Τα πρωτόκολλα ορίζουν τον τρόπο που διακινούνται οι πληροφορίες, την μορφή τους, την σειρά μετάδοσης των πληροφοριών, καθώς και τον τρόπο χειρισμού των λαθών που μπορεί να προκύψουν κατά την μετάδοση. Τα πρωτόκολλα που είναι περισσότερο γνωστά και αφορούν τα ασύρματα δίκτυα είναι τα εξής:

- IEEE 802.11 (Wi-Fi)
  - IEEE 802.11b
  - IEEE 802.11a
  - IEEE 802.11g
  - IEEE 802.11i
  - IEEE 802.11n
- IEEE 802.16 (WiMAX)
- HiperLan
- Bluetooth

#### 3.1 IEEE 802.11 (Wi-Fi)

Το πρότυπο IEEE 802.11 ή αλλιώς Wi-Fi, αποτελεί τα πρώτο πρότυπο που αφορά την ασύρματη δικτύωση, εμφανίστηκε το 1997 μετά από αρκετά χρόνια ερευνών και πήρε το όνομα του από την ομάδα εργασίας του IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Λειτουργεί στην μικροκυματική συχνότητα των 2.4GHz, η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με χρήση διαμόρφωσης FHSS ή DSSS, όπου ο ρυθμός μετάδοσης με την διαμόρφωση FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrume) φτάνει το 1Mbps, ενώ η δεύτερη μέθοδος διαμόρφωσης DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης 1-2Mbps. Διαθέτει δυο τρόπους λειτουργίας, ο πρώτος όταν δεν υπάρχει σταθμός βάσης όλοι οι κόμβοι είναι ίσοι μεταξύ τους και η πρόσβαση στο μέσο ρυθμίζεται από κάποιο πρωτόκολλο. Ο δεύτερος τρόπος λειτουργίας είναι όταν υπάρχει σταθμός βάσης τότε αυτός

αναλαμβάνει τον έλεγχο για την πρόσβαση στο μέσο. Λόγω των χαμηλών ρυθμών μετάδοσης που πρόσφερε το συγκεκριμένο πρότυπο δεν βρήκε μεγάλη εμπορική επιτυχία. Το πρότυπο αυτό έχει επεκταθεί σε νέα πρότυπα με πιο εξελιγμένα χαρακτηριστικά όπως την βελτίωση της ταχύτητα, της ποιότητας των υπηρεσιών που προσφέρουν καθώς και την ασφάλεια των δεδομένων που αποτελεί σημαντικό παράγοντα.

### **3.1.1 IEEE 802.11b**

Έτσι εμφανίστηκε ο διάδοχος του 802.11, το πρότυπο 802.11b το οποίο έκανε την εμφάνιση του το 1999 και είναι μια τροποποίηση του αρχικού προτύπου που πρόσφερε αρκετά χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων με αρκετά υψηλό κόστος. Το νέο αυτό πρότυπο είναι ικανό να υποστηρίξει ταχύτητες μετάδοσης μέχρι 11Mb /s χρησιμοποιώντας ως περιοχή συχνοτήτων την μάντα των 2,4GHz, καθώς είναι η μόνη ελεύθερη μάντα για μετάδοση δεδομένων σε εξωτερικούς χώρους. Είναι από τα πιο δημοφιλή πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11, το οποίο καθιέρωσε αρχικά και τον όρο Wi – Fi και βρίσκει μεγάλη υποστήριξη από την αγορά και από πολλούς κατασκευαστές. Χρησιμοποιεί ως τεχνική μετάδοσης την HR/DSSS (High Rate/ Direct Sequence Spread Spectrum) και ως τεχνική διαμόρφωσης την CCK (Complementary Code Keying) χρησιμοποιώντας όλο το εύρος ζώνης κάθε καναλιού για την διαμόρφωση των σημάτων του. Αν η ποιότητα της επικοινωνίας είναι πολύ κακή λόγω εξασθενημένου σήματος το πρότυπο έχει την δυνατότητα να υποβιβάσει την λειτουργίας του στα 5,5Mb /s, μετά στα 2Mb /s και τέλος στο 1Mb /s προκειμένου να μην χαθεί η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Προσαρμοστική Επιλογή Ρυθμού (Adaptive Rate Selection). Κατά καιρούς έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την δημιουργία επεκτάσεων με σκοπό την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης σε 22Mbit /s, 33Mbit /s και 44Mbit /s, όπου ποτέ δεν εγκρίθηκαν και δεν υιοθετήθηκαν από τον IEEE. Η εμβέλεια του για εσωτερικούς χώρους φτάνει περίπου τα 38 μέτρα ώστε να υπάρχει καλή απόδοση χωρίς την προσθήκη άλλων συσκευών, αν και γενικά τα πρότυπα αυτά έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να υποστηρίξουν κάλυψη που αγγίζει τα 150 μέτρα.

### **3.1.2 IEEE 802.11a**

Σχεδόν παράλληλα με το IEEE 802.11b παρουσιάστηκε και το IEEE 802.11a, λόγω της ανάγκης που υπήρχε για μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης εξαιτίας των εφαρμογών

πολυμέσων που απαιτούσαν μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων από τα 11Mb /s και το οποίο είναι κατάλληλο για μετάδοση με υψηλές ταχύτητες σε εσωτερικούς χώρους με εμβέλεια περίπου 35 μέτρα. Θεωρητικά παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που αγγίζουν τα 55Mb /s, ενώ ο συνήθης ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι 23Mb /s και χρησιμοποιεί την μπάνα των 5GHz. Ουσιαστικά προσφέρει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από το IEEE 802.11b, ενώ χρησιμοποιώντας την μπάνα των 5GHz όπου θεωρείται πιο «καθαρή», δεν επηρεάζεται καθόλου από πρότυπα που λειτουργούν στην ζώνη των 2,4GHz. Το IEEE 802.11a χρησιμοποιεί την τεχνική πολυπλεξίας OFDM (Orthogonal Division Multiplexing), με την οποία η συχνότητα διαιρείται σε μικρότερες έτσι ώστε η αποστολή των δεδομένων να γίνεται ταυτόχρονα. Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορεί να υποστηρίξει είναι 6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 18Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps και 54Mbps. Το πρότυπο αυτό δεν επικράτησε και δεν έγινε ιδιαίτερο γνωστό όπως το 802.11b παρόλο που προσφέρει μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και ο λόγος είναι η μπάνα συχνοτήτων των 5GHz που χρησιμοποιεί, η οποία καταναλώνει μεγάλη ενέργεια, οπότε δεν είναι ιδιαίτερα βέλτιστο. Επίσης δεν προσφέρει καμία συμβατότητα με το 802.11a εκτός και αν χρησιμοποιηθούν συσκευές που υλοποιούν και τα δυο πρότυπα.

### **3.1.3 IEEE 802.11g**

Το 2003 ανακοινώθηκε το πρότυπο 802.11g το οποίο χαρακτηρίστηκε ως ο αντικαταστάτης του 802.11b και μάλιστα με μεγάλη εμπορική επιτυχία, καθώς είναι καλύτερο στην υποστήριξη πολυμεσικών υπηρεσιών. Ουσιαστικά διορθώνει το πρόβλημα συμβατότητας που υπάρχει μεταξύ των προτύπων IEEE 802.11b και IEEE 802.11a και μάλιστα αν λειτουργήσει ταυτόχρονα με το IEEE 802.11b μπορεί να το αντικαταστήσει. Το 802.11g μεταδίδει στην μπάνα των 2,4GHz με ρυθμούς μετάδοσης που φτάνουν τα 54Mbps, ενώ για να πετύχει τους ρυθμούς αυτούς χρησιμοποιεί την μέθοδο επικοινωνίας την DSSS και την OFDM, με την οποία επιτυγχάνεται η σωστή λειτουργία του δικτύου. Το νέο αυτό πρότυπο έχει την δυνατότητα να συμβαδίζει με τους ρυθμούς μετάδοσης παλαιότερων συσκευών στα 11Mbps αλλά και με συσκευές που υποστηρίζουν 54Mbps, οπότε βελτιστοποιείται η απόδοση του συστήματος και η λειτουργία του δικτύου. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε χρησιμοποιώντας εφαρμογές όπου η κίνηση μέσα στο δίκτυο αυξάνεται λόγω της μεγάλης ανταλλαγής πακέτων. Παρόλο που το πρότυπο έχει γνωρίσει μεγάλη εμπορική επιτυχία

αντιμετωπίζει προβλήματα παρεμβολών όπως το IEEE 802.11b λόγω της μάντας συχνοτήτων των 2,4GHz που χρησιμοποιούν.

### **3.1.4 IEEE 802.11i**

Το 2004 παρουσιάστηκε το πρότυπο IEEE 802.11i, το οποίο μελετά θέματα ασφαλείας στα ασύρματα δίκτυα, καθώς τα ενσύρματα δίκτυα δεν αντιμετωπίζουν σε τόσο μεγάλο βαθμό προβλήματα με επιθέσεις και υποκλοπή δεδομένων, ορίζοντας μηχανισμούς αυθεντικοποίησης και εμπιστευτικότητας. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί στα ασύρματα δίκτυα μπορεί να έχει πρόσβαση ο οποιοσδήποτε και επίσης γιατί το ασύρματο κανάλι έχει συγκεκριμένες δυνατότητες και με το πέρασμα του χρόνου εμφανίζει σημαντικές μεταβολές. Το πρότυπο χρησιμοποιεί επεκτάσεις στο υποεπίπεδο MAC που προσφέρουν μέγιστη ασφάλεια και για να το επιτύχει αυτό χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα 802.1X, το TKIP και το CCMP. Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούμε σήμερα όπως ο WEP και ο WAP αντιμετωπίζουν αρκετά προβλήματα με αρκετά κενά ασφαλείας, έτσι δίνεται η δυνατότητα στους hackers να υποκλέψουν δεδομένα από το δίκτυο. Οπότε η ομάδα που δημιούργησε το πρότυπο 802.11i ασχολείται με τον τρόπο δημιουργίας ενός άλλου πρωτόκολλου συμβατό με το WEP όπου τελικά θα φέρει και την πλήρη κατάργηση του.

### **3.1.4 IEEE 802.11n**

Το 2009 ανακοινώθηκε το πρότυπο IEEE 802.11n, το οποίο δημιουργήθηκε από την ομάδα Task Group της IEEE και αποτελεί τροποποίηση του 802.11 για ασύρματα δίκτυα, με σκοπό την επίτευξη πραγματικού ρυθμού αναφοράς τουλάχιστον στα 100Mbps, δηλαδή 4-5 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα από το 802.11g και 50 φορές μεγαλύτερη από το 802.11b. Για να αγγίξει αυτές τις ταχύτητες ενσωματώθηκαν νέες τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης σε συνδυασμό με τις παλαιότερες που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενα πρότυπα. Συγκεκριμένα η τεχνολογία που χρησιμοποιεί είναι η MIMO (Multiple Input – Multiple Output), η οποία χρησιμοποιεί πολλαπλές «έξυπνες» κεραίες για την μετάδοση και την λήψη των δεδομένων και έχει την δυνατότητα να λειτουργεί ταυτόχρονα και στην μάντα των 2,4GHz και των 5GHz. Συνεπώς αυτός είναι και ο λόγος που μεταδίδει μεγαλύτερη ποσότητα δεδομένων και με τόσο αυξημένες ταχύτητες. Αυτό βέβαια δημιουργεί πρόβλημα λόγω της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας αλλά αντιμετωπίζεται εύκολα με διάφορες τεχνικές. Ως

μέθοδο κωδικοποίησης χρησιμοποιεί την OFDM (Orthogonal Division Multiplexing), που κωδικοποιεί τα δεδομένα σε διαφορετικές συχνότητες που τις διαιρεί. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του προτύπου θεωρητικά μπορούν να αγγίξουν τα 540Mbit /s, όμως τυπικά φτάνουν τα 200Mbit /s. Αποτελεί ιδανική λύση για μετάδοση με υψηλές ταχύτητες σε εσωτερικούς χώρους με εμβέλεια περίπου τα 50 μέτρα, ενώ για εξωτερικούς χώρους η εμβέλεια του φτάνει περίπου τα 125 μέτρα.

### **3.2 IEEE 802.16 (WiMAX)**

Το πρότυπο 802.16 ή αλλιώς Wi – Max (Worldwide Interoperability for Microwave Access) αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά και σημαντικά πρότυπα ασύρματης δικτύωσης που αναπτύχθηκαν, με σκοπό την εξυπηρέτηση των αυξημένων απαιτήσεων για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης και για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε μεγάλη απόσταση. Ουσιαστικά λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως το Wi - Fi, αλλά προσφέρει μεγαλύτερη εμβέλεια επικοινωνίας αντί για τα 100 μέτρα του Wi – Fi, φτάνει έως και τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω, χωρίς να είναι απαραίτητη η οπτική επαφή με κάποιον σταθμό βάσης, ενώ το εύρος λειτουργίας του κυμαίνεται από 10GHz έως 66GHz. Το Wi – Max επιτυγχάνει μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιώντας πολλές συχνότητες και θεωρητικά λέγεται ότι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να φτάσει τα 70 Mbit /s, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε υπερβολικά ιδανικές συνθήκες, οπότε αυτό ουσιαστικά δεν ισχύει σε πραγματικά περιβάλλοντα όπως σε μια αστική πόλη. Για να επιτύχει αυτού τους είδους τις ταχύτητες, χρησιμοποιεί την τεχνολογία MIMO (Multiple Input – Multiple Output) και την τεχνική SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Σήμερα σε πολλά δίκτυα στον κόσμο χρησιμοποιούν εξοπλισμό που είναι συμβατός με το πρότυπο αυτό και έχει βρει μεγάλη απήχηση γιατί έχει την δυνατότητα να καλύψει τον χρήστη σε περίπτωση μετακίνησης του.

### **3.3 HiperLan**

Το HiperLan (High Performance Radio Lan) αποτελεί μια εναλλακτική λύση των προτύπων IEEE 802.11 και έχει βγει σε δυο εκδόσεις, το HiperLan/1 και το HiperLan/2. Το HiperLan/1 αποτελεί την πρώτη έκδοση η οποία ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 1991 αλλά παρουσιάστηκε και καθιερώθηκε το 1996 από τον ETSI (European Telecommunications Standards Institute).



Η πρώτη έκδοση δημιουργήθηκε με στόχο την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης σε σχέση με το 802.11. Έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 24Mbps χρησιμοποιώντας την τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και έχει ως ανώτατο όριο ζώνης συχνοτήτων τα 5GHz. Η δεύτερη έκδοση HiperLan/2 εγκρίθηκε το 2000 και είχε ως σκοπό την ασύρματη σύνδεση πολλών διαφορετικών ειδών δικτύων, όπως Ethernet, IP κτλ. Υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 54Mbps, χρησιμοποιεί την ίδια μπάνα συχνοτήτων με την πρώτη έκδοση τα 5GHz ενώ η εμβέλεια του δεν ξεπερνά τα 50 μέτρα. Οι συσκευές που υποστηρίζουν HiperLan μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε χώρα λόγω της συχνότητας των 5GHz η οποία είναι ελεύθερη. Τα αρνητικά του προτύπου είναι ότι είναι πολύπλοκο σε σύγκριση με τα άλλα πρότυπα, είναι πολύ ακριβό και είναι αρκετά δύσκολο να ανταγωνιστεί τα υπόλοιπα πρότυπα που έχουν ήδη καθιερωθεί.

### **3.4 Bluetooth**

Το Bluetooth δημιουργήθηκε από μια ομάδα εταιρειών όπως είναι η IBM, η Intel, η Ericsson, η Nokia και άλλες. Είναι μια ασύρματη τεχνολογία μικρών αποστάσεων που εξυπηρετεί προσωπικές συσκευές όπως κινητά, προσωπικούς υπολογιστές, εκτυπωτές, πληκτρολόγια, ποντίκια στην μεταξύ τους επικοινωνία. Ουσιαστικά βρίσκει εφαρμογή στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN – Wireless Personal Area Networks) που έχουν εμβέλεια μέχρι 10 μέτρα. Λειτουργεί στην μπάνα συχνοτήτων των 2.4GHz και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων φτάνει το 1Mbps χρησιμοποιώντας την τεχνική διαμόρφωσης FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrume), ενώ η εμβέλεια του φτάνει τα 10 μέτρα. Λόγω της FHSS που χρησιμοποιεί μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των συσκευών που βρίσκονται κοντά. Το πρότυπο αυτό επιτρέπει την επικοινωνία δυο συσκευών αλλά και πιο πολλών, με την χωρητικότητα να φτάνει τις 8 συσκευές ανά δίκτυο. Παρέχει μεγάλη ασφάλεια στα δεδομένα σαν πρότυπο παρόλο που έχει μικρή εμβέλεια, κρυπτογραφώντας κάθε φορά τα δεδομένα που είναι έτοιμα να σταλούν, ενώ κάθε χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει ποιες πληροφορίες θα είναι διαθέσιμες από την συσκευή του και σε ποιες συσκευές. Επιπλέον κάθε φορά που θέλουν να επικοινωνήσουν δυο συσκευές θα πρέπει να πιστοποιήσουν την σύνδεση εισάγοντας έναν κωδικό PIN ώστε να γίνει αποδεκτή. Το Bluetooth είναι από τα πιο διαδεδομένα πρότυπα στον κόσμο και σχεδόν όλες οι συσκευές τηλεφώνων και υπολογιστών είναι εξοπλισμένες με αυτό. Αποτελεί την ιδανική λύση γενικά, αλλά και λόγω του χαμηλού κόστους και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Πρότυπο	Ρυθμός μετάδοσης	Ζώνη συχνοτήτων	Μέθοδος μετάδοσης	Εμβέλεια
802.11	2 Mbit /s	2.4 GHz	FHSS/DSSS	~20 m
802.11b	11 Mbit /s	2.4 GHz	DSSS	~38 m
802.11a	54 Mbit /s	5 GHz	OFDM/DSSS	~35 m
802.11g	54 Mbit /s	2.4 GHz	OFDM	~38 m
802.11i	-	-	-	-
802.11n	540 Mbit /s	2.4 GHz – 5 GHz	MIMO/OFDM	50-125 m
WiMAX	70 Mbit /s	10 – 66 GHz	MIMO/SOFDMA	~35 km
HiperLan	24 – 54 Mbit /s	5 GHz	OFDM	~50 m
Bluetooth	1 Mbps	2.4 GHz	FHSS	~10 m

*Πίνακας 3.1:Χαρακτηριστικά βασικών πρωτοκόλλων*

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράψαμε τα πιο γνωστά και σημαντικά πρωτόκολλα ασύρματων δικτύων και προσπαθήσαμε να αναλύσουμε τα πιο σημαντικά τους χαρακτηριστικά των τεχνολογιών αυτών. Αν εξαιρέσουμε το ήδη διαδεδομένο πρότυπο Bluetooth ειδικά στην κινητή τηλεφωνία, το συμπέρασμα που βγάζουμε είναι ότι αυτό που θα μας απασχολήσει αρκετά τα επόμενα χρόνια είναι το WiMAX, ειδικά λόγω της μεγάλης εμβέλειας που προσφέρει αρχικά και μετά φυσικά λόγω των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που μπορεί να επιτύχει.

### 3.5 Βιβλιογραφικές Αναφορές Κεφαλαίου

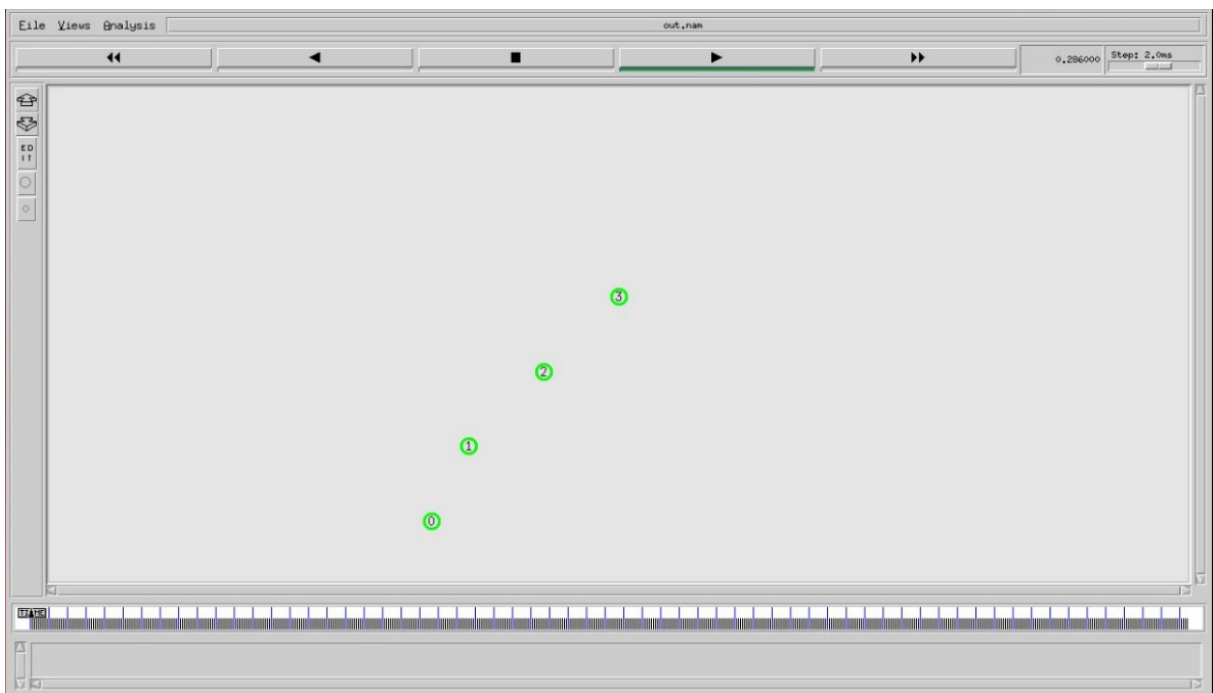
- [1] ([https://el.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](https://el.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11))
- [2] (<http://www.ieee802.org/11/>)
- [3] ([https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11b-1999](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11b-1999))
- [4] ([https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11a-1999](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11a-1999))
- [5] (<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11a.php>)
- [6] ([https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11g-2003](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11g-2003))
- [7] (<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11g.php>)
- [8] ([https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11i-2004](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11i-2004))
- [9] (<http://goo.gl/Ge73y2>)
- [10] ([https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11n-2009](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009))
- [11] (<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>)
- [12] (<https://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>)
- [13] ([http://www.tutorialspoint.com/wimax/what\\_is\\_wimax.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/what_is_wimax.htm))
- [14] (<https://en.wikipedia.org/wiki/HiperLAN>)
- [15] (<http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr01/wrlslans/hiperlan.htm>)
- [16] (<https://el.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>)
- [17] (<http://www.engineersgarage.com/articles/bluetooth-technology>)
- [18] (<https://goo.gl/2s267n>)
- [19] (<http://thebook.homeunix.com/node89.html>)
- [20] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#IEEE\\_802.11\\_standard](https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#IEEE_802.11_standard))

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4. Πειραματικό μέρος

Στο πειραματικό μέρος μια πτυχιακής εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που έχουμε διεξάγει, έτσι ώστε να γίνει πιο κατανοητό το θεωρητικό μέρος της εργασίας. Συγκεκριμένα δίνουμε έμφαση στις παραμέτρους που αφορούν κάποιες από τις τεχνολογίες που ήδη έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια.

Για την επίτευξη των πειραμάτων χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό NS-2 (The Network Simulator version 2), το οποίο διατίθεται δωρεάν. Ο NS-2 είναι ένας προσομοιωτής διακριτών γεγονότων γραμμένος σε γλώσσα C++ και OTcl, ενώ ενσωματώνει τα πιο γνωστά δικτυακά πρωτόκολλα, ένα μεγάλο φάσμα από εφαρμογές, τύπους δικτύων και μοντέλων κίνησης. Βρίσκει χρήση τόσο σε ενσύρματα όσο και σε ασύρματα δίκτυα. Μια πρώτη εικόνα από περιβάλλον εργασίας του προγράμματος NS-2 με ένα τυχαίο παράδειγμα είναι η παρακάτω.



Σχήμα 4.1: NAM τυχαίου παραδείγματος

Ο NS-2 μεταγλωττίζει ένα πρόγραμμα με κατάληξη .tcl και στην συνέχεια εξάγει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε ένα αρχείο που συνήθως έχει την κατάληξη .nam ή .tr. Στη συνέχεια μπορούμε να δούμε γραφικά και να αναλύσουμε την προσομοίωση που πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο με το όνομα NAM (network animator). Παρακάτω θα δούμε διάφορα πειράματα και τα αποτελέσματα τους μεταξύ των παραμέτρων που μας απασχολούν.

## 4.1 Πείραμα 1<sup>ο</sup>

Για το πείραμα που πραγματοποιήσαμε χρειάστηκε να εγκαταστήσουμε το λειτουργικό σύστημα Ubuntu και έπειτα τον NS-2. Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης δημιουργήσαμε το αρχείο peirama1.tcl όπου περιέχεται ο κώδικας και μέσω του NS2 τρέχει η προσομοίωση.

Δημιουργήσαμε ένα πείραμα με 2 ακίνητους κόμβους, όπου έχουν την δυνατότητα να μεταδίδουν σε μια περιοχή μεγέθους 600m επί 600m. Οι 2 κόμβοι της προσομοίωσης μας ονομάζονται node1 και node2, έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα αφού έχουμε ορίσει το κανάλι ως ασύρματο. Στο παράδειγμα μας θα χρησιμοποιήσουμε μήκος ουράς των 50 πακέτων, χρήση CBR (Constant Bit Rate) κίνησης μέσω UDP πακέτων. Θα χρησιμοποιήσουμε ως πρωτόκολλο δρομολόγησης το AODV το οποίο δημιουργεί διαδρομές μόνο όταν ένας κόμβος ζητήσει να επικοινωνήσει με έναν άλλο κόμβο.

### Αρχείο peirama1.tcl

```
# Δημιουργία προσομοίωσης
set ns [new Simulator]
```

```
# Καθορισμός συντεταγμένων της περιοχής προσομοίωσης
set val(x) 600
set val(y) 600
```

```
# Καθορισμός παραμέτρων
set val(chan) Channel/WirelessChannel ; # Ορισμός ασύρματου καναλιού μετάδοσης
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ; # Ορισμός τρόπου μετάδοσης στο ασύρματο
κανάλι
set val(netif) Phy/WirelessPhy ; # Ορισμός φυσικού μέσου
set val(mac) Mac/802_11 ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ; # Ορισμός του τύπου της ουράς αναμονής των
```

```

πακέτων
set val(ll) LL ; # Ορισμός του επιπέδου ζεύξης
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ; # Ορισμός του τύπου της κεραίας του κόμβου
set val(ifqlen) 50 ; # Ορισμός του μήκους της ουράς σε πακέτα
set val(nn) 2 ; # Ορισμός του πλήθους των κόμβων
set val(rp) AODV ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου δρομολόγησης
set val(x) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(y) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(stop) 10.0 ; # Ορισμός του χρόνου της προσομοίωσης

```

```

# Ορισμός αντικειμένου τοπολογίας
set topo [new Topography]
$Stopo load_flatgrid $val(x) $val(y)

```

```

# Δημιουργία αρχείου Nam
set namfile [open sample1.nam w]

```

```

$Sns namtrace-all-wireless $namfile $val(x) $val(y)

```

```

# Δημιουργία αρχείου Trace
set tracefile [open sample1.tr w]

```

```

$Sns trace-all $tracefile

```

```

#Κατασκευή αντικειμένου God (General Operation Director)
create-god $val(nn)

```

```

# Ρύθμιση κόμβου
$Sns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channelType $val(chan) \
    -topoInstance $Stopo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace OFF \
    -movementTrace ON

```

```

# Δημιουργία κόμβου
set node1 [$Sns node]

```

```

# Χρωματισμός κόμβου
$node1 color black

```

```

# Ορισμός αρχικών συντεταγμένων για τον κόμβο 1
$node1 set X_ 200
$node1 set Y_ 100
$node1 set Z_ 0

# Δημιουργία κόμβου
set node2 [$ns node]

# Χρωματισμός κόμβου
$node2 color black

# Ορισμός αρχικών συντεταγμένων για τον κόμβο 2
$node2 set X_ 200
$node2 set Y_ 300
$node2 set Z_ 0

# Ετικέτα και χρώμα κόμβου
$ns at 0.1 "$node1 color blue"
$ns at 0.1 "$node1 label Node1"
$ns at 0.1 "$node2 label Node2"

# Ορισμός μεγέθους κόμβου
$ns initial_node_pos $node1 30
$ns initial_node_pos $node2 30

# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την αποστολή
set udp [new Agent/UDP]

# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λειτουργεί ως αποστολέας
$ns attach-agent $node1 $udp

# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την λήψη
set null [new Agent/Null]

# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λαμβάνει
$ns attach-agent $node2 $null

# Σύνδεση των κόμβων μεταφοράς και λήψης
$ns connect $udp $null

# Δημιουργία μιας πηγής κίνησης CBR
set cbr [new Application/Traffic/CBR]

# Τοποθέτηση της CBR στο UDP
$cbr attach-agent $udp

# Ορισμός μεγέθους του πακέτου και της χρονικής απόστασης των πακέτων (interval)

```

```

$cbbr set packetSize_ 512
$cbbr set interval_ 0.1

# Χρονοπρογραμματισμός αρχής εφαρμογών
$ns at 1.0 "$cbbr start"

# Χρονοπρογραμματισμός τέλους εφαρμογών
#$ns at 6.0 "$cbbr stop"

# Τερματισμός καταγραφής γεγονότων του NAM
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "stop"

# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης
$ns at 10.01 "puts \"end simulation\" ; $ns halt"

# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης

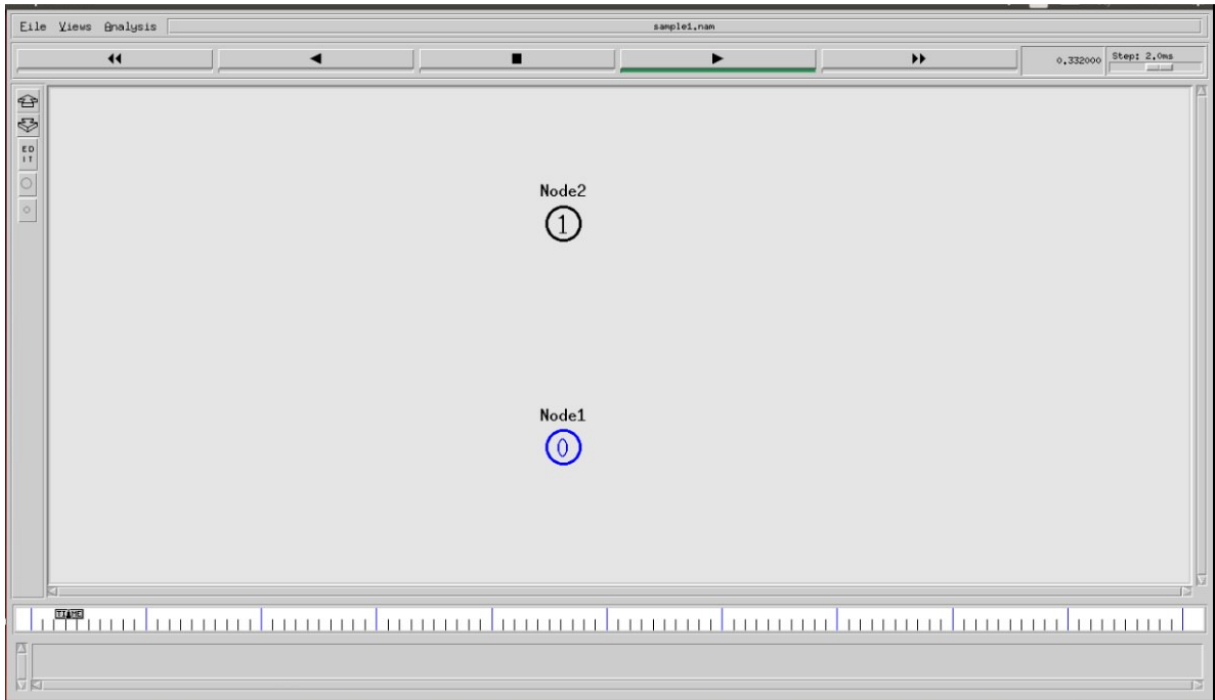
proc stop {} {
    global namfile tracefile ns
    $ns flush-trace
    close $namfile
    close $tracefile
    #executing nam file
    exec nam sample1.nam &
}

# Τρέξιμο προσομοίωσης
$ns run

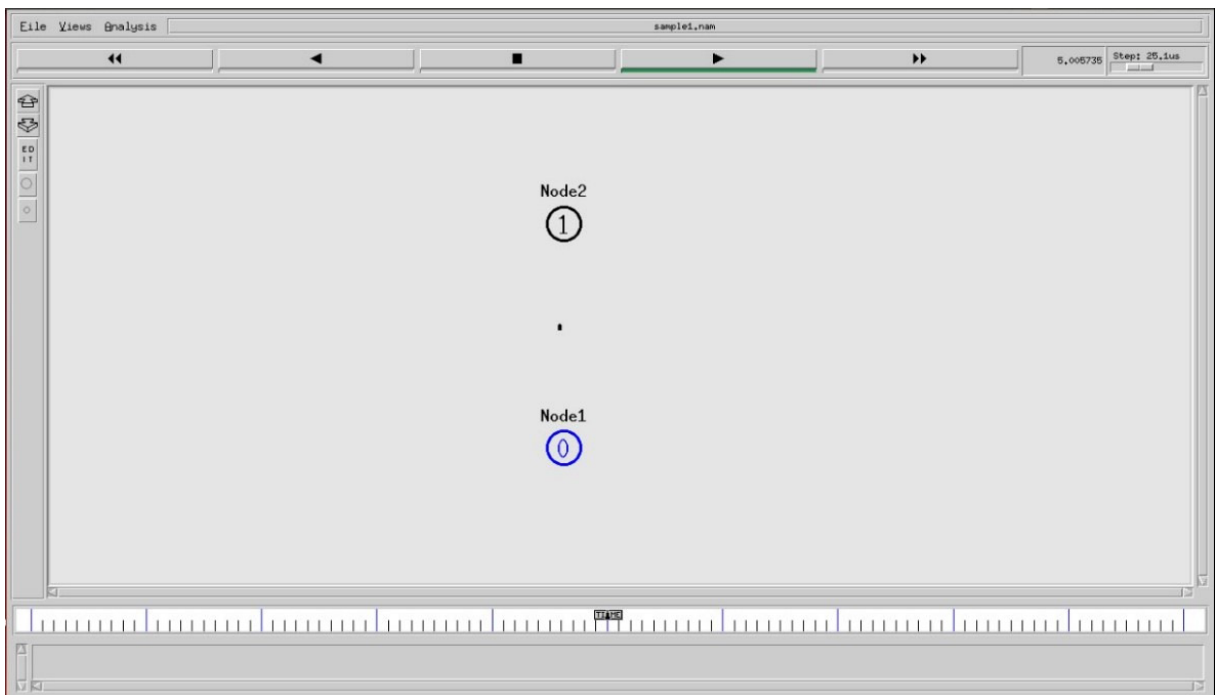
```

## **Αποτέλεσμα προσομοίωσης**





Σχήμα 4.1.1:NAM 1<sup>ου</sup> πειράματος



Σχήμα 4.1.2:NAM 1<sup>ου</sup> πειράματος

Στην συνέχεια θα πρέπει να βρούμε την καθυστέρηση (delay) και την ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου που έχουμε δημιουργήσει. Για να εξάγουμε αυτές τις παραμέτρους χρησιμοποιούμε το tracefile που έχει δημιουργηθεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, εφαρμόζοντας το κατάλληλο AWK script.

Για να εντοπίσουμε την καθυστέρηση (delay), δημιουργήσαμε το αρχείο delay.awk και για την ρυθμαπόδοση το αρχείο throughput.awk όπου περιέχεται ο απαραίτητος κώδικας.

### **Αρχείο delay.awk**

```
BEGIN {  
  
time1 = 0.0;  
  
time2 = 0.0;  
  
}  
  
{  
  
time2 = $2;  
  
if ($1=="r") {  
  
printf("%f %f\n", time1, time2) > "delay.xg";  
  
time1 += $2;  
  
}  
  
}  
  
END {  
  
print("Done");  
  
}
```

### **Αρχείο throughput.awk**

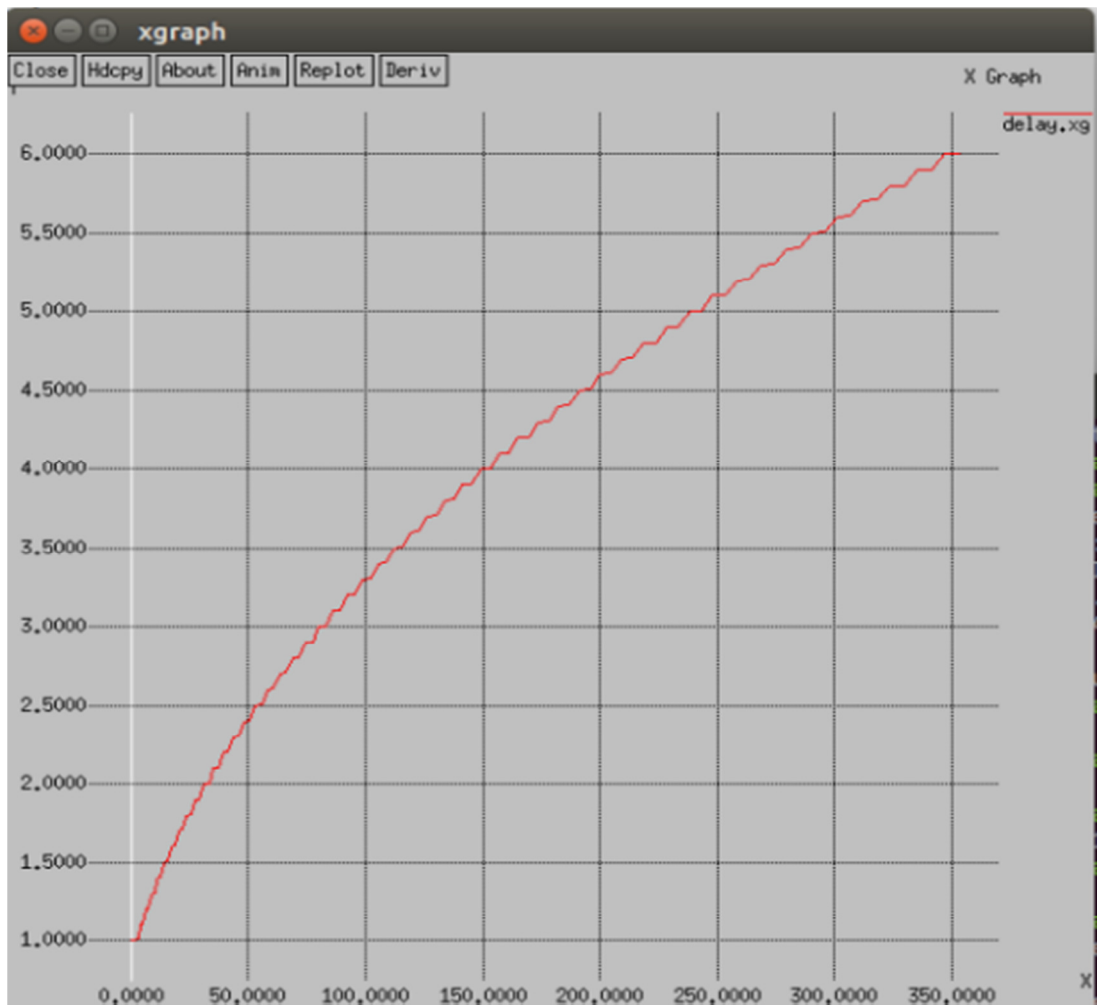
```
#throughput  
  
BEGIN {  
  
node =1;
```

```

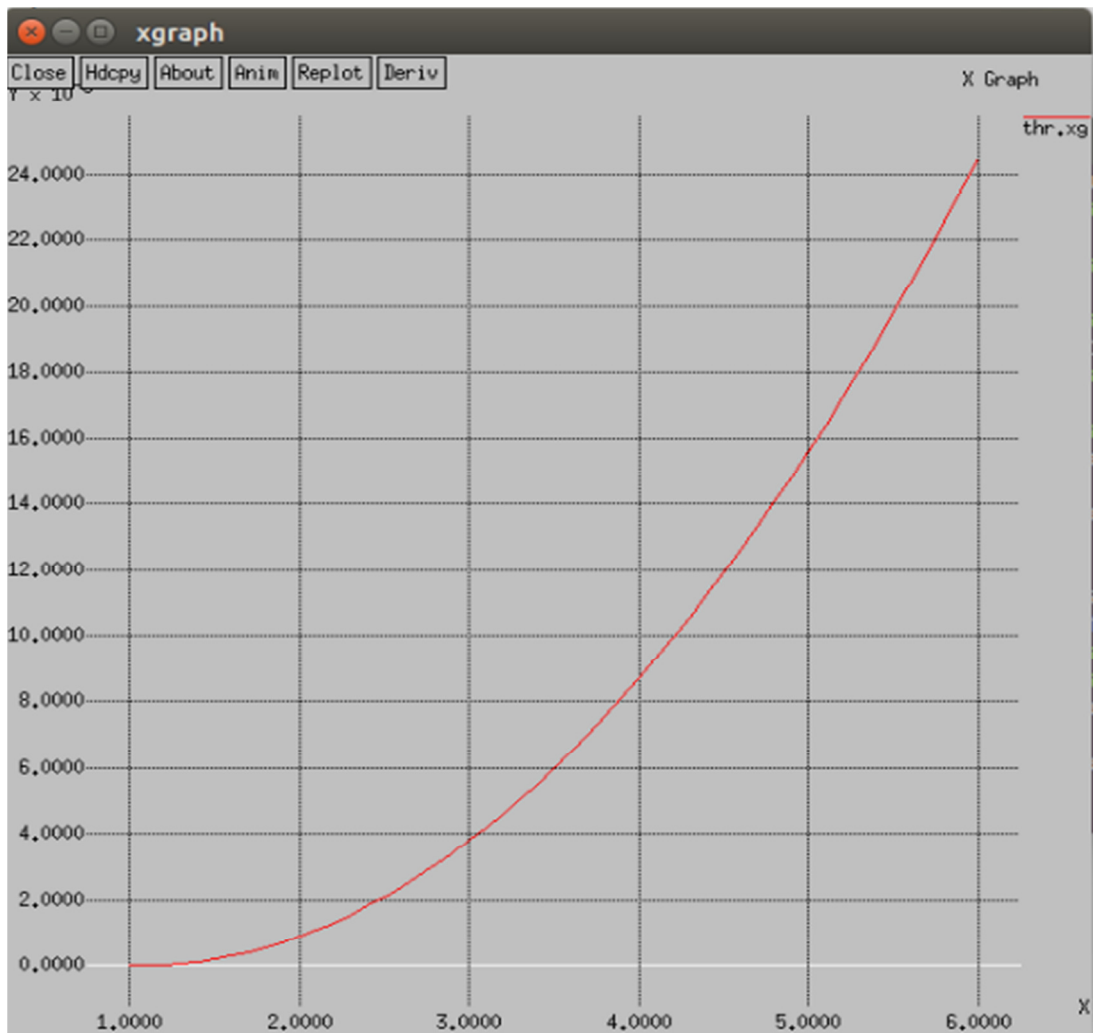
time1 = 0.0;
time2 = 0.0;
num_packet=0;
bytes_counter=0;
}
{
time2 = $2;
if (time2 - time1 > 0.05) {
thru = bytes_counter / (time2-time1);
thru /= 1000000;
printf("%f %f\n", time2, thru) > "thr.xg";
time1 = $2;
}
if ($1=="r") {
bytes_counter += $6;
num_packet++;
}
}
END {
print("Done");
}

```

Παρακάτω έχουμε εξάγει τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το εργαλείο xgraph που περιέχεται στον NS-2 και μας εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μορφή γραφήματος.



Γράφημα 4.1:Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 1<sup>ου</sup> πειράματος



Γράφημα 4.2:Γραφική απεικόνιση throughput 1<sup>ου</sup> πειράματος

## 4.2 Πείραμα 2<sup>ο</sup>

Για την υλοποίηση του δεύτερου πειράματος δημιουργήσαμε το αρχείο `peirama2.tcl` όπου περιέχεται ο κώδικας και μέσω του NS2 τρέχει η προσομοίωση.

Στην συνέχεια των πειραμάτων, προσομοιώσαμε ένα ασύρματο δίκτυο με 2 ακίνητους κόμβους σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, με περιοχή μετάδοσης 600m επί 600m. Οι κόμβοι έχουν ονομαστεί ως `node1` και `node2`, με δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους. Ο αριθμός των πακέτων έχει ρυθμιστεί στα 50 πακέτα, η κίνηση μεταξύ των κόμβων είναι FTP (File Transfer Protocol) και το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί είναι TCP.

### Αρχείο `peirama2.tcl`

```
# Δημιουργία προσομοίωσης
set ns [new Simulator]

# Καθορισμός συντεταγμένων της περιοχής προσομοίωσης
set val(x) 600
set val(y) 600

# Καθορισμός παραμέτρων
set val(chan) Channel/WirelessChannel ; # Ορισμός ασύρματου καναλιού μετάδοσης
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ; # Ορισμός τρόπου μετάδοσης στο ασύρματο
κανάλι
set val(netif) Phy/WirelessPhy ; # Ορισμός φυσικού μέσου
set val(mac) Mac/802_11 ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ; # Ορισμός του τύπου της ουράς αναμονής των
πακέτων
set val(ll) LL ; # Ορισμός του επιπέδου ζεύξης
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ; # Ορισμός του τύπου της κεραίας του κόμβου
set val(ifqlen) 50 ; # Ορισμός του μήκους της ουράς σε πακέτα
set val(nn) 2 ; # Ορισμός του πλήθους των κόμβων
set val(rp) AODV ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου δρομολόγησης
set val(x) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(y) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(stop) 10.0 ; # Ορισμός του χρόνου της προσομοίωσης

# Ορισμός αντικειμένου τοπολογίας
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

# Δημιουργία αρχείου Nam
set namfile [open sample1.nam w]

$ns namtrace-all-wireless $namfile $val(x) $val(y)
```

```

# Δημιουργία αρχείου Trace
set tracefile [open sample1.tr w]

$ns trace-all $tracefile

#Κατασκευή αντικειμένου God (General Operation Director)
create-god $val(nn)

# Ρύθμιση κόμβου
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channelType $val(chan) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace OFF \
    -movementTrace ON

# Δημιουργία κόμβου
set node1 [$ns node]

# Χρωματισμός κόμβου
$node1 color black

# Ορισμός αρχικών συντεταγμένων για τον κόμβο
$node1 set X_ 200
$node1 set Y_ 100
$node1 set Z_ 0

set node2 [$ns node]
$node2 color black

$node2 set X_ 200
$node2 set Y_ 300
$node2 set Z_ 0

# Ετικέτα και χρώμα κόμβου
$ns at 0.1 "$node1 color blue"
$ns at 0.1 "$node1 label Node1"
$ns at 0.1 "$node2 label Node2"

```

```

# Ορισμός μεγέθους κόμβου
$ns initial_node_pos $node1 30
$ns initial_node_pos $node2 30

# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την αποστολή
set tcp [new Agent/TCP]

# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λειτουργεί ως αποστολέας
$ns attach-agent $node1 $tcp

# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την λήψη
set sink [new Agent/TCPSink]

# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λαμβάνει
$ns attach-agent $node2 $sink

# Σύνδεση των κόμβων μεταφοράς και λήψης
$ns connect $tcp $sink

# Δημιουργία μιας πηγής κίνησης FTP
set ftp [new Application/FTP]

# Τοποθέτηση της FTP στο TCP
$ftp attach-agent $tcp
# Χρονοπρογραμματισμός αρχής εφαρμογών
$ns at 1.0 "$ftp start"

# Χρονοπρογραμματισμός τέλους εφαρμογών
$ns at 6.0 "$ftp stop"

# Τερματισμός καταγραφής γεγονότων του NAM
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "stop"

# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης
$ns at 10.01 "puts \"end simulation\" ; $ns halt"

# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης
proc stop {} {
    global namfile tracefile ns
    $ns flush-trace
    close $namfile
    close $tracefile
    #executing nam file
    exec nam sample1.nam &

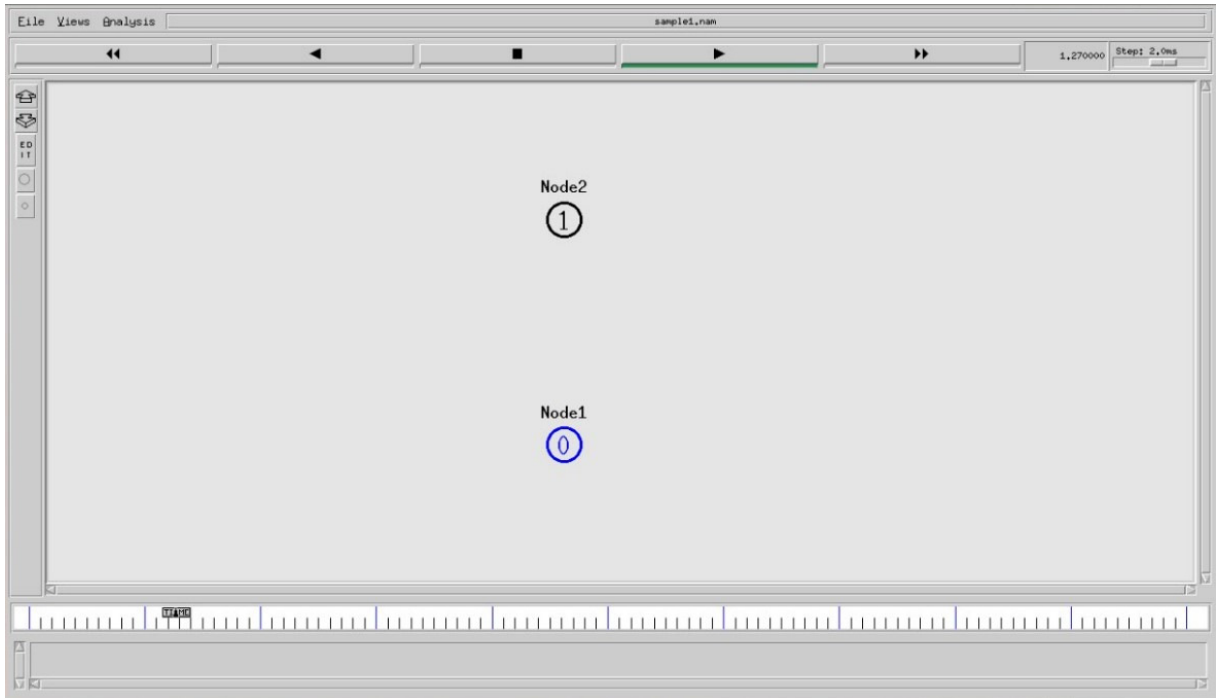
```



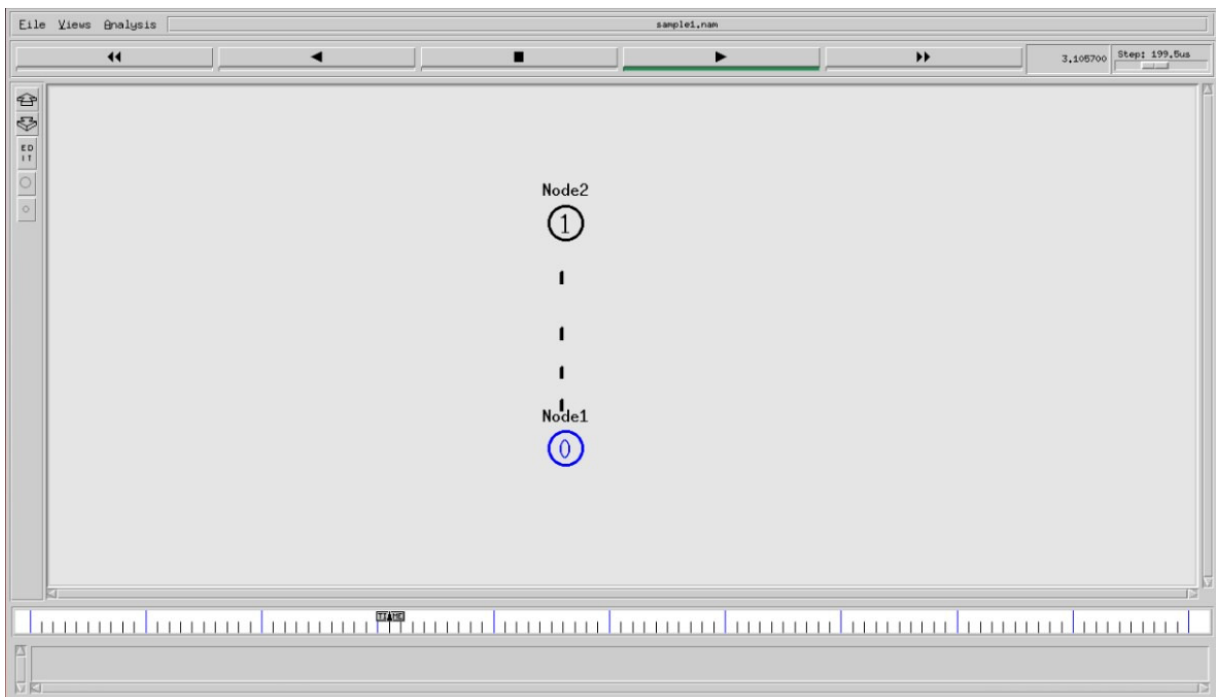
}

```
# Τρέξιμο προσομοίωσης  
$ns run
```

## Αποτέλεσμα προσομοίωσης



Σχήμα 4.2.1:NAM 2<sup>ου</sup> πειράματος



Σχήμα 4.2.2:NAM 2<sup>ου</sup> πειράματος

Στην συνέχεια θα πρέπει να βρούμε την καθυστέρηση (delay) και την ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου που έχουμε δημιουργήσει. Για να εξάγουμε αυτές τις παραμέτρους χρησιμοποιούμε το tracefile που έχει δημιουργηθεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, εφαρμόζοντας το κατάλληλο AWK script.

Για να εντοπίσουμε την καθυστέρηση (delay), δημιουργήσαμε το αρχείο delay.awk και για την ρυθμαπόδοση το αρχείο throughput.awk όπου περιέχεται ο απαραίτητος κώδικας.

### **Αρχείο delay.awk**

```
BEGIN {  
  
time1 = 0.0;  
  
time2 = 0.0;  
  
}  
  
{  
  
time2 = $2;  
  
if ($1=="r") {  
  
printf("%f %f\n", time1, time2) > "delay.xg";  
  
time1 += $2;  
  
}  
  
}  
  
END {  
  
print("Done");  
  
}
```

### **Αρχείο throughput.awk**

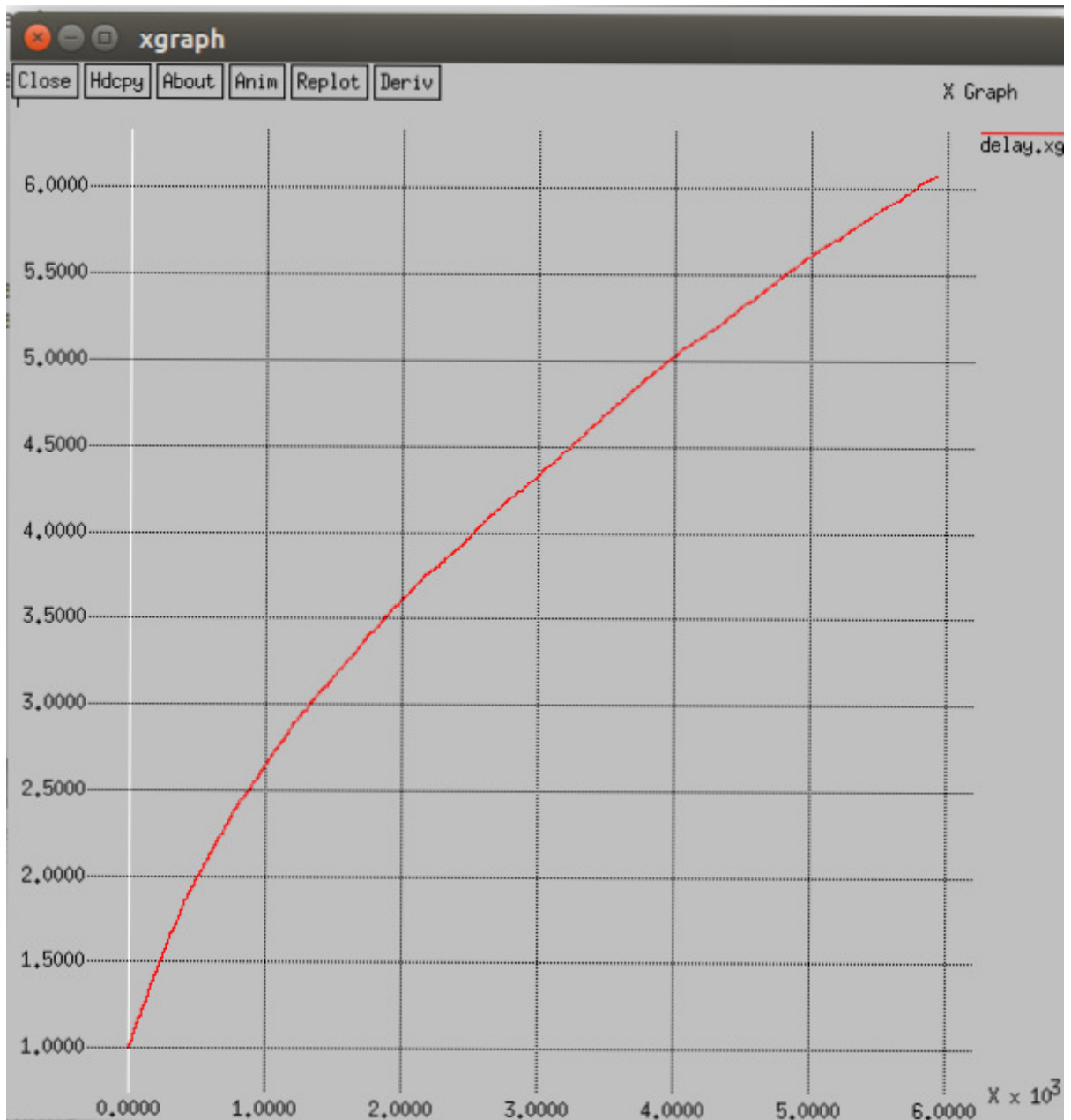
```
#throughput  
  
BEGIN {  
  
node =1;
```

```

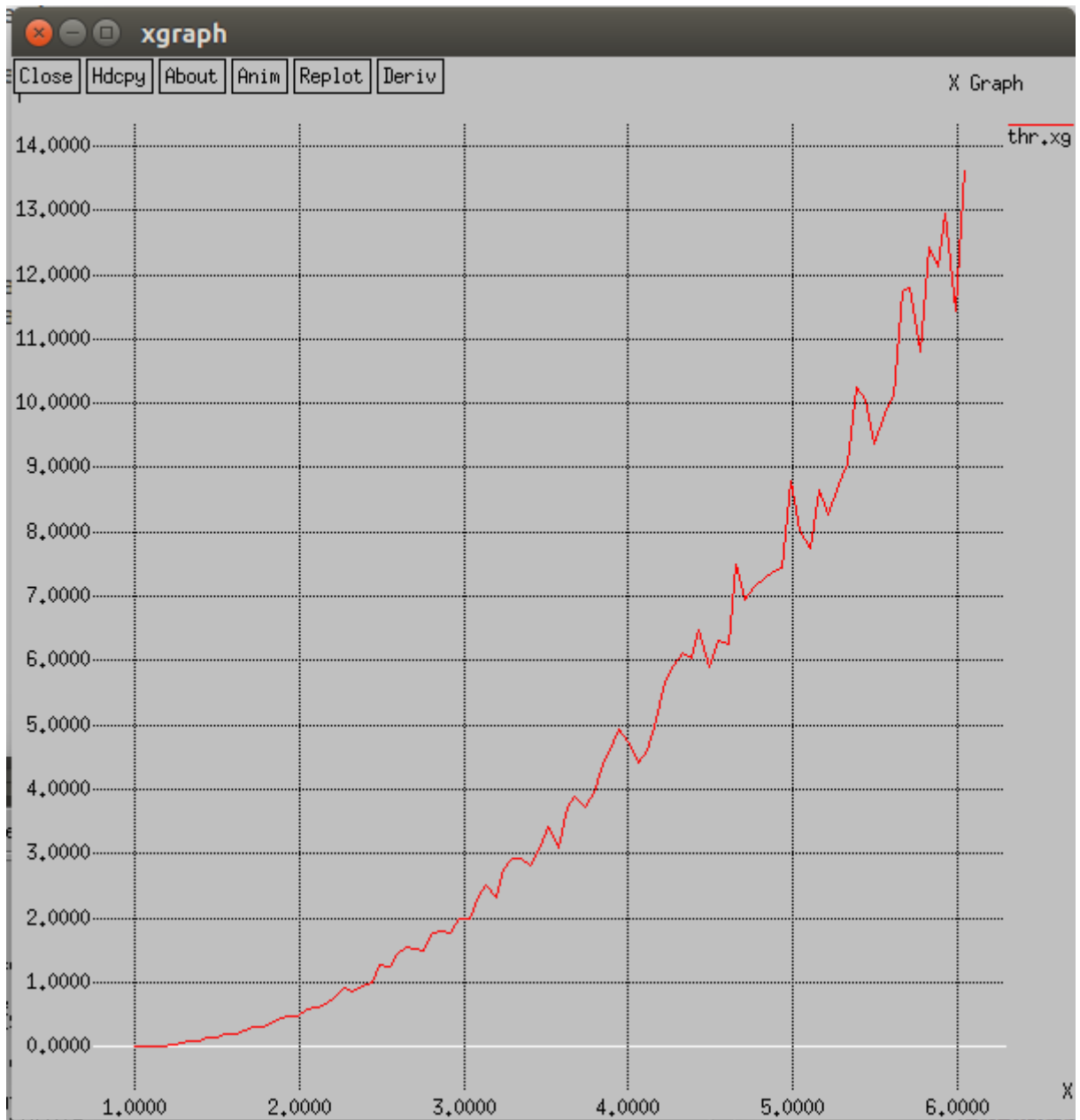
time1 = 0.0;
time2 = 0.0;
num_packet=0;
bytes_counter=0;
}
{
time2 = $2;
if (time2 - time1 > 0.05) {
thru = bytes_counter / (time2-time1);
thru /= 1000000;
printf("%f %f\n", time2, thru) > "thr.xg";
time1 = $2;
}
if ($1=="r") {
bytes_counter += $6;
num_packet++;
}
}
END {
print("Done");
}

```

Παρακάτω έχουμε εξάγει τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το εργαλείο xgraph που περιέχεται στον NS-2 και μας εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μορφή γραφήματος.



Γράφημα 4.3:Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 2<sup>ου</sup> πειράματος



Γράφημα 4.4:Γραφική απεικόνιση throughput 2<sup>ου</sup> πειράματος

## 4.3 Πείραμα 3<sup>ο</sup>

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης δημιουργήσαμε το αρχείο `peirama3.tcl` όπου περιέχεται ο κώδικας και μέσω του NS2 τρέχει η προσομοίωση.

Δημιουργήσαμε ένα πείραμα με 2 κινητούς κόμβους, όπου έχουν την δυνατότητα να μεταδίδουν σε μια περιοχή μεγέθους 600m επί 600m. Οι 2 κόμβοι της προσομοίωσης μας ονομάζονται `node1` και `node2`, έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα αφού έχουμε ορίσει το κανάλι ως ασύρματο. Στο παράδειγμα μας θα χρησιμοποιήσουμε μήκος ουράς των 50 πακέτων, χρήση CBR (Constant Bit Rate) κίνησης μέσω UDP πακέτων.

### Αρχείο `peirama3.tcl`

```
# Δημιουργία προσομοίωσης
set ns [new Simulator]

# Καθορισμός συντεταγμένων της περιοχής προσομοίωσης
set val(x) 600
set val(y) 600

# Καθορισμός παραμέτρων
set val(chan) Channel/WirelessChannel ; # Ορισμός ασύρματου καναλιού μετάδοσης
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ; # Ορισμός τρόπου μετάδοσης στο ασύρματο
κανάλι
set val(netif) Phy/WirelessPhy ; # Ορισμός φυσικού μέσου
set val(mac) Mac/802_11 ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ; # Ορισμός του τύπου της ουράς αναμονής των
πακέτων
set val(ll) LL ; # Ορισμός του επιπέδου ζεύξης
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ; # Ορισμός του τύπου της κεραίας του κόμβου
set val(ifqlen) 50 ; # Ορισμός του μήκους της ουράς σε πακέτα
set val(nn) 2 ; # Ορισμός του πλήθους των κόμβων
set val(rp) AODV ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου δρομολόγησης
set val(x) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(y) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(stop) 10.0 ; # Ορισμός του χρόνου της προσομοίωσης

# Ορισμός αντικειμένου τοπολογίας
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

# Δημιουργία αρχείου Nam
set namfile [open sample1.nam w]

$ns namtrace-all-wireless $namfile $val(x) $val(y)
```

```

# Δημιουργία αρχείου Trace
set tracefile [open sample1.tr w]

$ns trace-all $tracefile

#Κατασκευή αντικειμένου God (General Operation Director)
create-god $val(nn)

# Ρύθμιση κόμβου
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channelType $val(chan) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace OFF \
    -movementTrace ON

# Δημιουργία κόμβου
set node1 [$ns node]

# Χρωματισμός κόμβου
$node1 color black

# Ορισμός αρχικών συντεταγμένων για τον κόμβο 1
$node1 set X_ 200
$node1 set Y_ 100
$node1 set Z_ 0

# Δημιουργία κόμβου
set node2 [$ns node]

# Χρωματισμός κόμβου
$node2 color black

# Ορισμός αρχικών συντεταγμένων για τον κόμβο 2
$node2 set X_ 200
$node2 set Y_ 300
$node2 set Z_ 0

#Καθορισμός κίνησης κόμβων
$ns at 01.0 "$node2 setdest 250.0 200.0 150.0"
$ns at 03.0 "$node1 setdest 200.0 150.0 100.0"

```

```
#Ο κόμβος node2 κινείται μακριά από τον κόμβο 1
$ns at 3.0 "$node2 setdest 490.0 480.0 15.0"
```

```
# Ετικέτα και χρώμα κόμβου
$ns at 0.1 "$node1 color blue"
$ns at 0.1 "$node1 label Node1"
$ns at 0.1 "$node2 label Node2"
```

```
# Ορισμός μεγέθους κόμβου
$ns initial_node_pos $node1 30
$ns initial_node_pos $node2 30
```

```
# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την αποστολή
set udp [new Agent/UDP]
```

```
# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λειτουργεί ως αποστολέας
$ns attach-agent $node1 $udp
```

```
# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την λήψη
set null [new Agent/Null]
```

```
# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λαμβάνει
$ns attach-agent $node2 $null
```

```
# Σύνδεση των κόμβων μεταφοράς και λήψης
$ns connect $udp $null
```

```
# Δημιουργία μιας πηγής κίνησης CBR
set cbr [new Application/Traffic/CBR]
```

```
# Τοποθέτηση της CBR στο UDP
$cbr attach-agent $udp
```

```
# Ορισμός μεγέθους του πακέτου και της χρονικής απόστασης των πακέτων (interval)
$cbr set packetSize_ 512
$cbr set interval_ 0.1
```

```
# Χρονοπρογραμματισμός αρχής εφαρμογών
$ns at 1.0 "$cbr start"
```

```
# Χρονοπρογραμματισμός τέλους εφαρμογών
#$ns at 6.0 "$cbr stop"
```

```
# Τερματισμός καταγραφής γεγονότων του NAM
```



```
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"  
$ns at $val(stop) "stop"
```

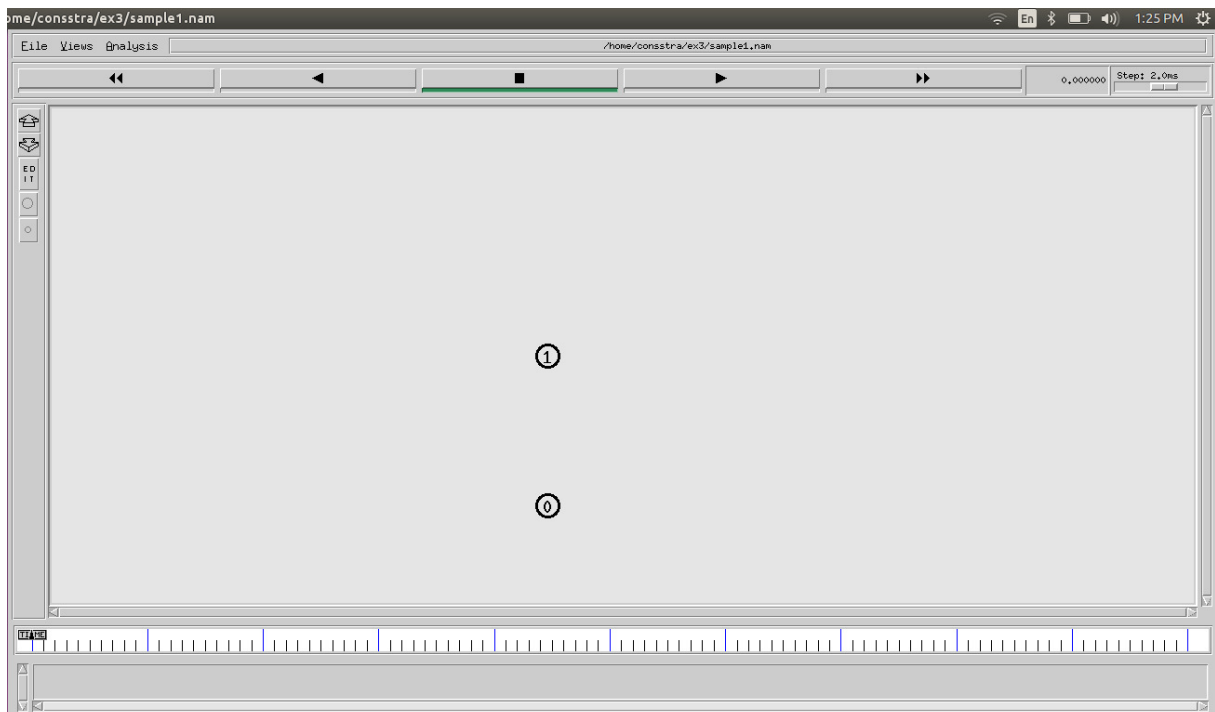
```
# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης  
$ns at 10.01 "puts \"end simulation\" ; $ns halt"
```

```
# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης
```

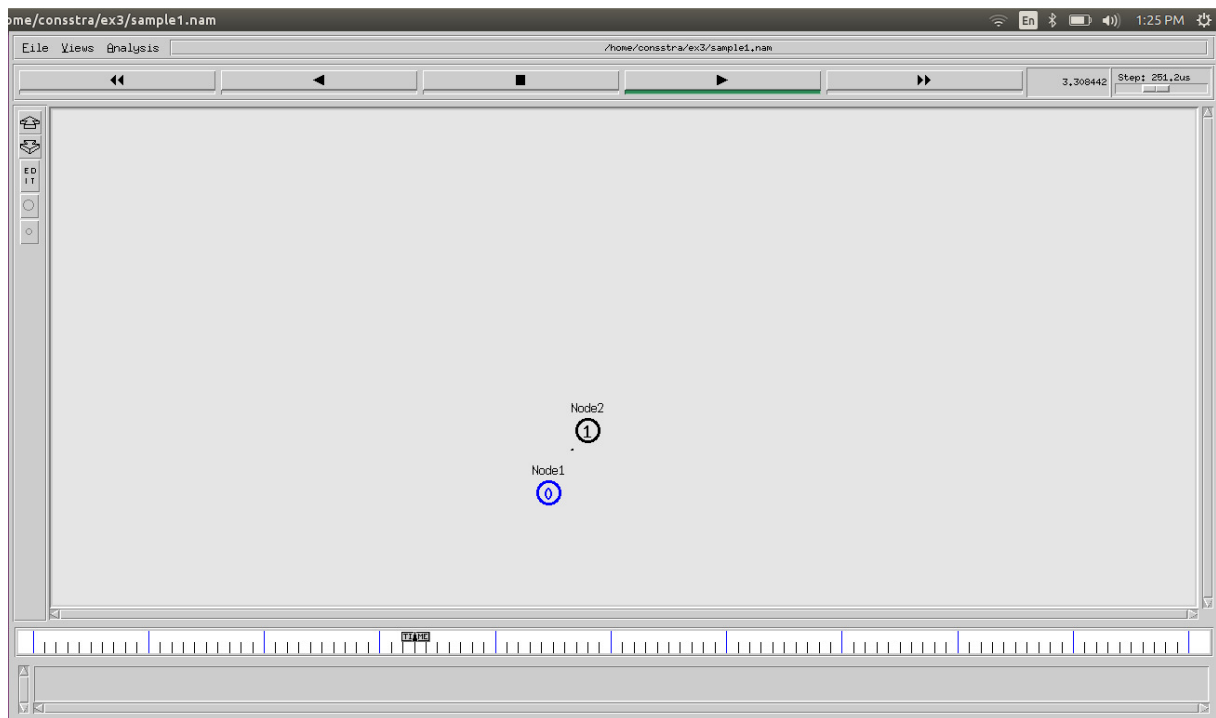
```
proc stop {} {  
    global namfile tracefile ns  
    $ns flush-trace  
    close $namfile  
    close $tracefile  
    #executing nam file  
    exec nam sample1.nam &  
}
```

```
# Τρέξιμο προσομοίωσης  
$ns run
```

## Αποτέλεσμα προσομοίωσης



Σχήμα 4.3.1: NAM 3ου πειράματος



Σχήμα 4.3.2: NAM 3ου πειράματος

Στην συνέχεια θα πρέπει να βρούμε την καθυστέρηση (delay) και την ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου που έχουμε δημιουργήσει. Για να εξάγουμε αυτές τις παραμέτρους χρησιμοποιούμε το tracefile που έχει δημιουργηθεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, εφαρμόζοντας το κατάλληλο AWK script.

Για να εντοπίσουμε την καθυστέρηση (delay), δημιουργήσαμε το αρχείο delay.awk και για την ρυθμαπόδοση το αρχείο throughput.awk όπου περιέχεται ο απαραίτητος κώδικας.

### Αρχείο delay.awk

```
BEGIN {  
time1 = 0.0;  
time2 = 0.0;  
}  
  
{  
time2 = $2;  
if ($1=="r") {
```

```

printf("%f %f\n", time1, time2) > "delay.xg";
time1 += $2;
}
}
END {
print("Done");
}

```

### **Αρχείο throughput.awk**

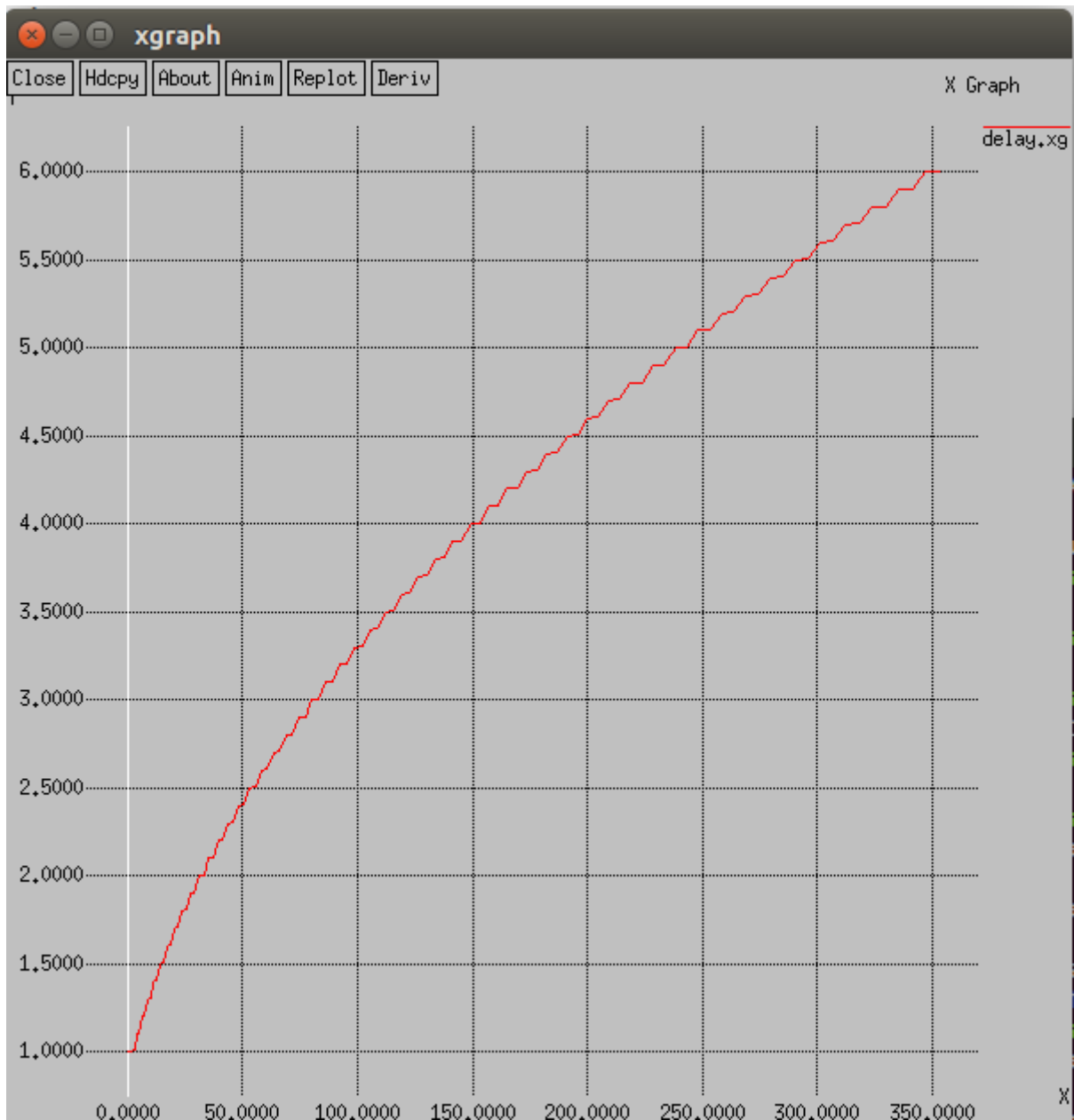
```

#throughput
BEGIN {
node =1;
time1 = 0.0;
time2 = 0.0;
num_packet=0;
bytes_counter=0;
}
{
time2 = $2;
if (time2 - time1 > 0.05) {
thru = bytes_counter / (time2-time1);
thru /= 1000000;
printf("%f %f\n", time2, thru) > "thr.xg";
time1 = $2;
}
if ($1=="r") {

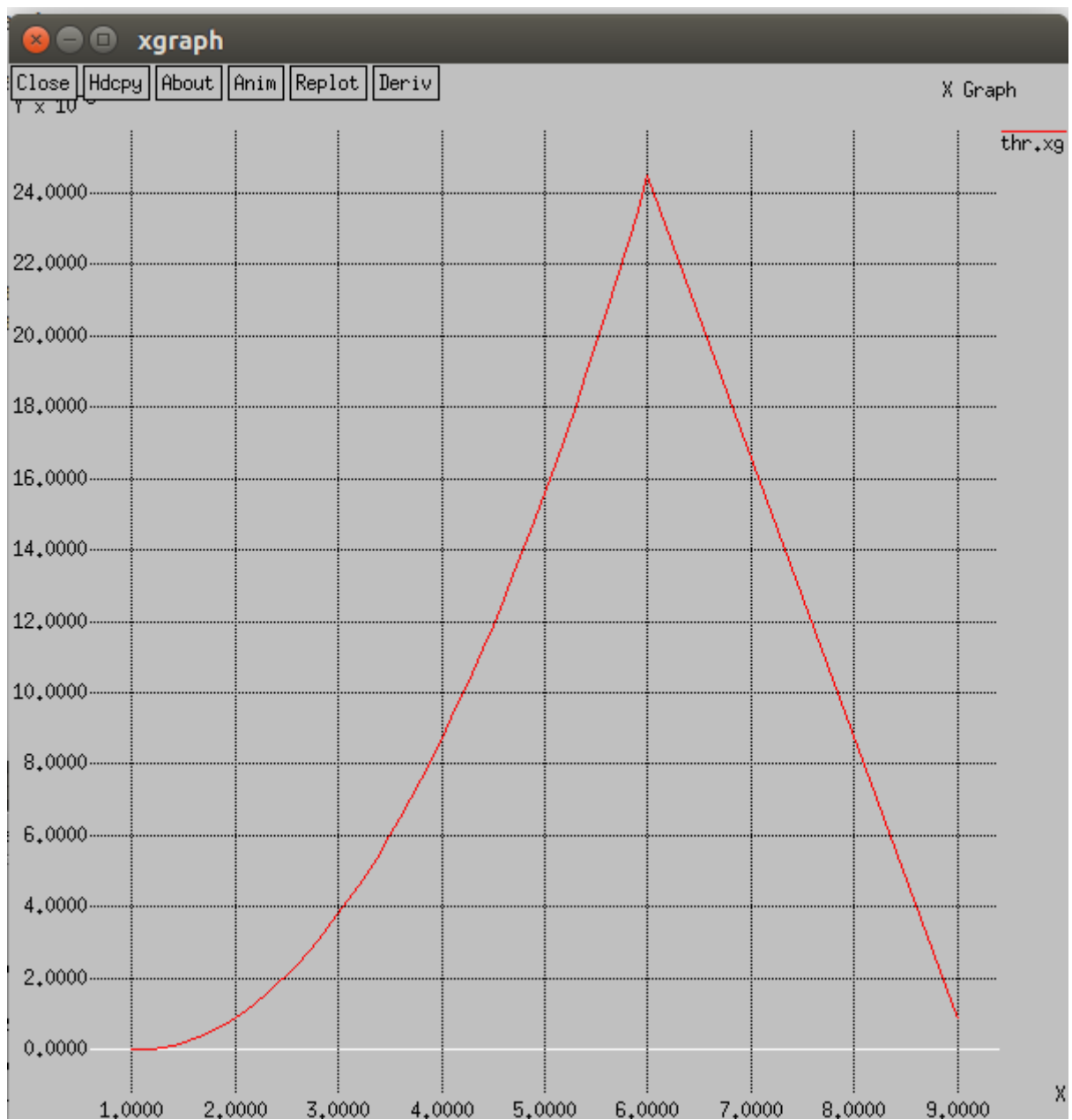
```

```
bytes_counter += $6;
num_packet++;
}
}
END {
print("Done");
}
```

Παρακάτω έχουμε εξάγει τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το εργαλείο `xgraph` που περιέχεται στον NS-2 και μας εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μορφή γραφήματος.



4.5:Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 3<sup>ου</sup> πειράματος



4.6:Γραφική απεικόνιση throughput 3<sup>ου</sup> πειράματος

## 4.4 Πείραμα 4<sup>ο</sup>

Για την υλοποίηση του τέταρτου πειράματος δημιουργήσαμε το αρχείο `peirama4.tcl` όπου περιέχεται ο κώδικας και μέσω του NS2 τρέχει η προσομοίωση.

Στην συνέχεια των πειραμάτων, προσομοιώσαμε ένα ασύρματο δίκτυο με 2 κινητούς κόμβους σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, με περιοχή μετάδοσης 600m επί 600m. Οι κόμβοι έχουν ονομαστεί ως `node1` και `node2`, με δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους. Ο αριθμός των πακέτων έχει ρυθμιστεί στα 50 πακέτα, η κίνηση μεταξύ των κόμβων είναι FTP (File Transfer Protocol) και το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί είναι TCP.

### Αρχείο `peirama4.tcl`

```
# Δημιουργία προσομοίωσης
set ns [new Simulator]
```

```
# Καθορισμός συντεταγμένων της περιοχής προσομοίωσης
set val(x) 600
set val(y) 600
```

```
# Καθορισμός παραμέτρων
set val(chan) Channel/WirelessChannel ; # Ορισμός ασύρματου καναλιού μετάδοσης
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ; # Ορισμός τρόπου μετάδοσης στο ασύρματο
κανάλι
set val(netif) Phy/WirelessPhy ; # Ορισμός φυσικού μέσου
set val(mac) Mac/802_11 ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ; # Ορισμός του τύπου της ουράς αναμονής των
πακέτων
set val(ll) LL ; # Ορισμός του επιπέδου ζεύξης
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ; # Ορισμός του τύπου της κεραίας του κόμβου
set val(ifqlen) 50 ; # Ορισμός του μήκους της ουράς σε πακέτα
set val(nn) 2 ; # Ορισμός του πλήθους των κόμβων
set val(rp) AODV ; # Ορισμός του πρωτοκόλλου δρομολόγησης
set val(x) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(y) 600 ; # Ορισμός του μήκους της τοπολογίας σε μέτρα
set val(stop) 10.0 ; # Ορισμός του χρόνου της προσομοίωσης
```

```
# Ορισμός αντικειμένου τοπολογίας
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
```

```
# Δημιουργία αρχείου Nam
set namfile [open sample1.nam w]
```

```
$ns namtrace-all-wireless $namfile $val(x) $val(y)
```

```

# Δημιουργία αρχείου Trace
set tracefile [open sample1.tr w]

$ns trace-all $tracefile

#Κατασκευή αντικειμένου God (General Operation Director)
create-god $val(nn)

# Ρύθμιση κόμβου
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channelType $val(chan) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace OFF \
    -movementTrace ON

# Δημιουργία κόμβου
set node1 [$ns node]

# Χρωματισμός κόμβου
$node1 color black

# Ορισμός αρχικών συντεταγμένων για τον κόμβο
$node1 set X_ 200
$node1 set Y_ 100
$node1 set Z_ 0

set node2 [$ns node]
$node2 color black

$node2 set X_ 200
$node2 set Y_ 300
$node2 set Z_ 0

#Καθορισμός κίνησης κόμβων
$ns at 0.20 "$node2 setdest 25.0 20.0 15.0"
$ns at 0.30 "$node1 setdest 200.0 150.0 10.0"

#Ο κόμβος node2 κινείται μακριά από τον κόμβο 1
$ns at 7.0 "$node2 setdest 490.0 480.0 15.0"

```



```

# Ετικέτα και χρώμα κόμβου
$ns at 0.1 "$node1 color blue"
$ns at 0.1 "$node1 label Node1"
$ns at 0.1 "$node2 label Node2"

# Ορισμός μεγέθους κόμβου
$ns initial_node_pos $node1 30
$ns initial_node_pos $node2 30

# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την αποστολή
set tcp [new Agent/TCP]

# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λειτουργεί ως αποστολέας
$ns attach-agent $node1 $tcp

# Καθορισμός μέσου μεταφοράς για την λήψη
set sink [new Agent/TCPSink]

# Τοποθέτηση μέσου μεταφοράς στον κόμβο που λαμβάνει
$ns attach-agent $node2 $sink

# Σύνδεση των κόμβων μεταφοράς και λήψης
$ns connect $tcp $sink

# Δημιουργία μιας πηγής κίνησης FTP
set ftp [new Application/FTP]

# Τοποθέτηση της FTP στο TCP
$ftp attach-agent $tcp
# Χρονοπρογραμματισμός αρχής εφαρμογών
$ns at 1.0 "$ftp start"

# Χρονοπρογραμματισμός τέλους εφαρμογών
$ns at 6.0 "$ftp stop"

# Τερματισμός καταγραφής γεγονότων του NAM
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "stop"

# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης
$ns at 10.01 "puts \"end simulation\" ; $ns halt"

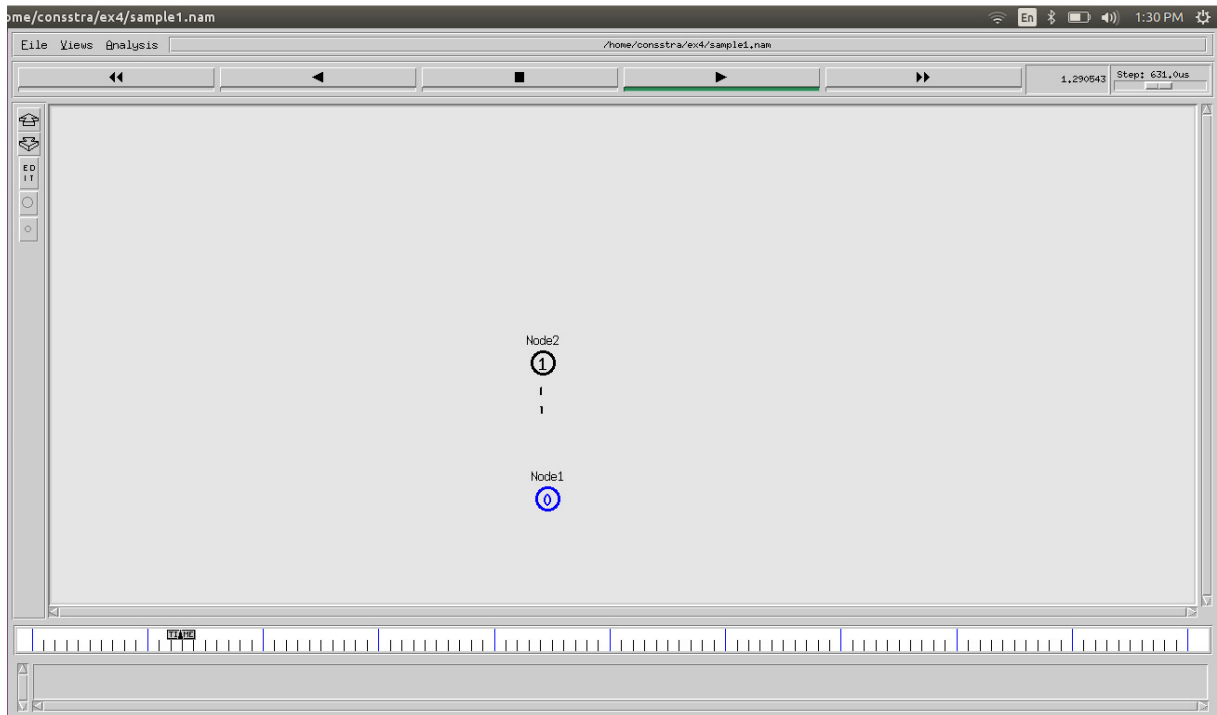
# Διαδικασία τερματισμού προσομοίωσης

```

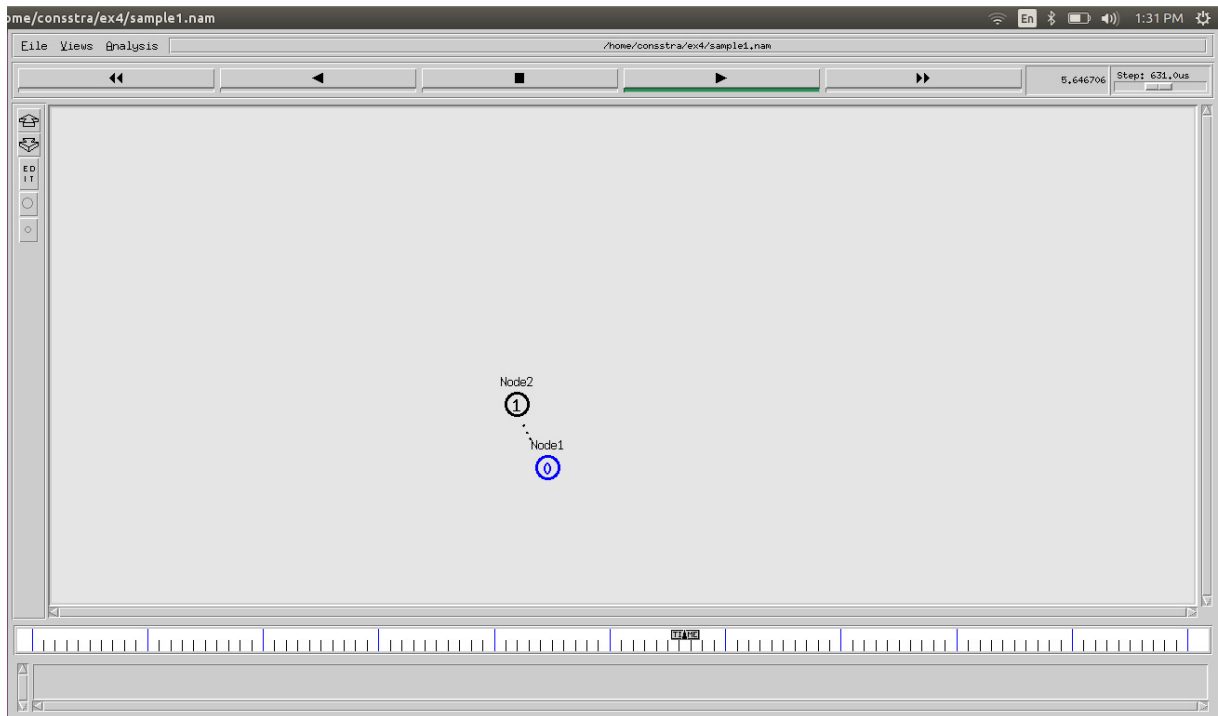
```
proc stop {} {  
    global namfile tracefile ns  
    $ns flush-trace  
    close $namfile  
    close $tracefile  
    #executing nam file  
    exec nam sample1.nam &  
}
```

```
# Τρέξιμο προσομοίωσης  
$ns run
```

## Αποτέλεσμα προσομοίωσης



Σχήμα 4.4.1: NAM 4<sup>00</sup> πειράματος



Σχήμα 4.4.2: NAM 4<sup>ου</sup> πειράματος

Στην συνέχεια θα πρέπει να βρούμε την καθυστέρηση (delay) και την ρυθμαπόδοση (throughput) του δικτύου που έχουμε δημιουργήσει. Για να εξάγουμε αυτές τις παραμέτρους χρησιμοποιούμε το tracefile που έχει δημιουργηθεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, εφαρμόζοντας το κατάλληλο AWK script.

Για να εντοπίσουμε την καθυστέρηση (delay), δημιουργήσαμε το αρχείο delay.awk και για την ρυθμαπόδοση το αρχείο throughput.awk όπου περιέχεται ο απαραίτητος κώδικας.

#### Αρχείο delay.awk

```
BEGIN {  
time1 = 0.0;  
time2 = 0.0;  
}  
  
{  
time2 = $2;  
if ($1=="r") {
```

```

printf("%f %f\n", time1, time2) > "delay.xg";

time1 += $2;

}

}

END {

print("Done");

}

```

### **Αρχείο throughput.awk**

```

#throughput

BEGIN {

node =1;

time1 = 0.0;

time2 = 0.0;

num_packet=0;

bytes_counter=0;

}

{

time2 = $2;

if (time2 - time1 > 0.05) {

thru = bytes_counter / (time2-time1);

thru /= 1000000;

printf("%f %f\n", time2, thru) > "thr.xg";

time1 = $2;

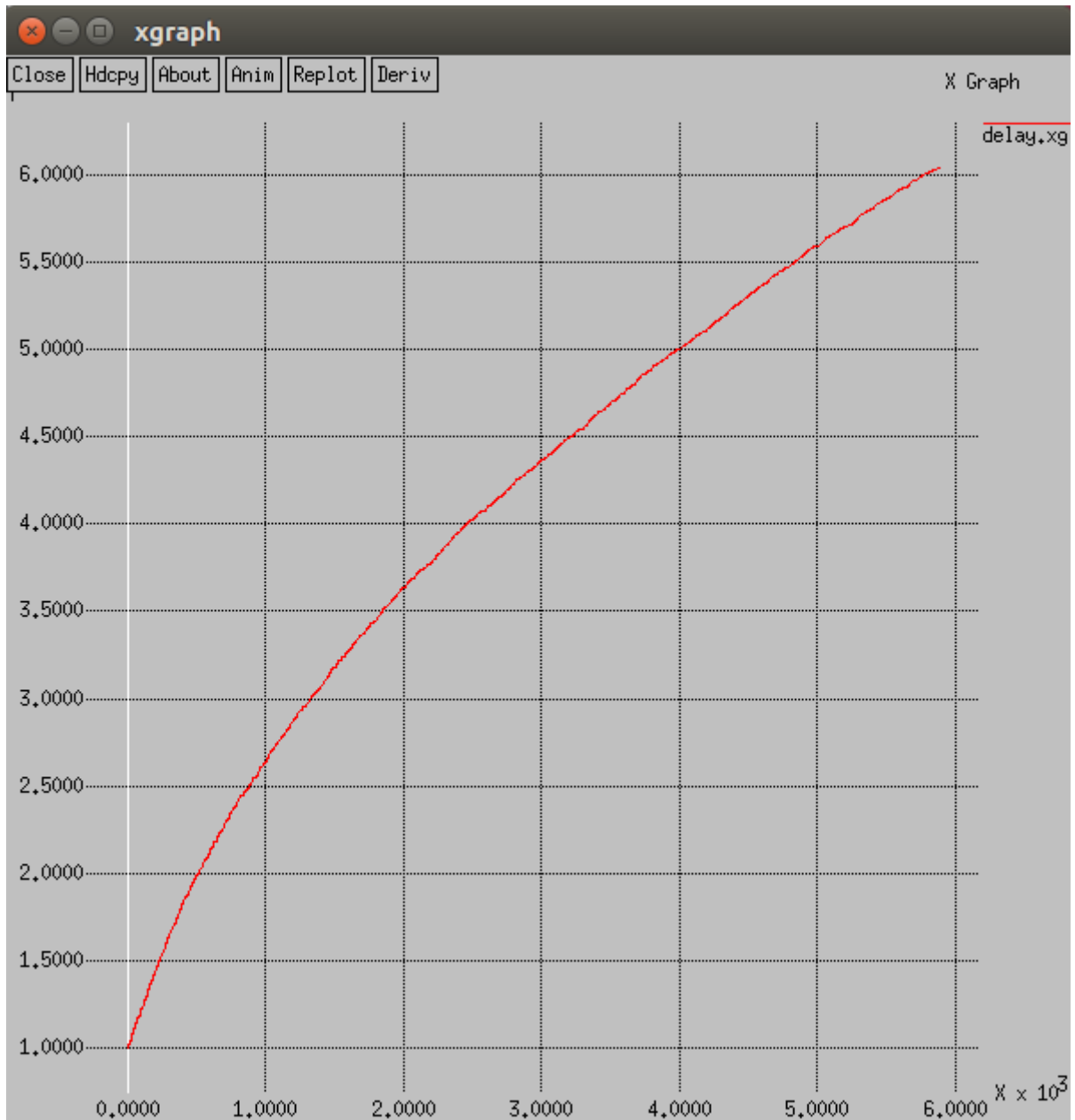
}

if ($1=="r") {

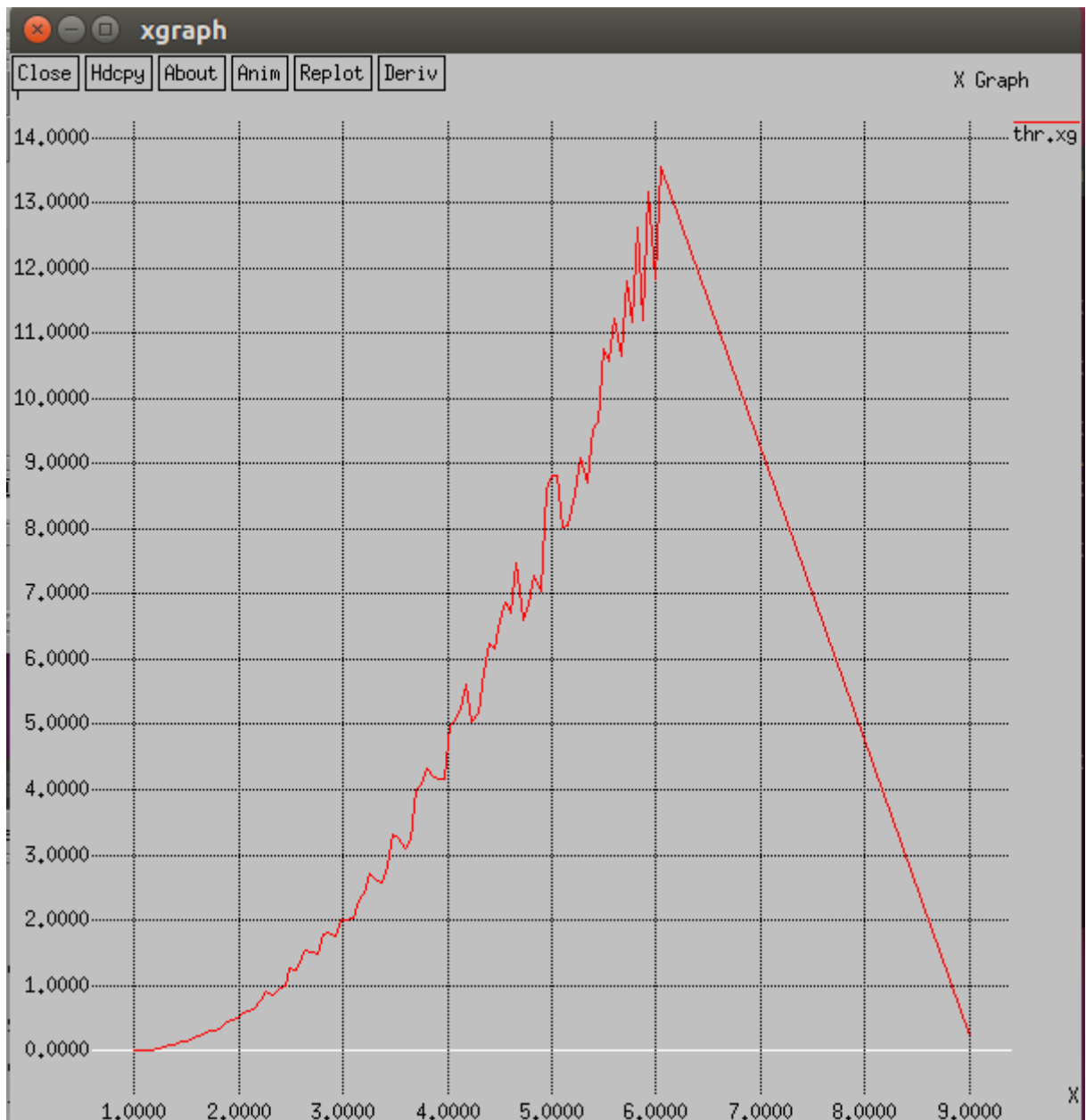
```

```
bytes_counter += $6;
num_packet++;
}
}
END {
print("Done");
}
```

Παρακάτω έχουμε εξάγει τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το εργαλείο `xgraph` που περιέχεται στον NS-2 και μας εμφανίζει τα αποτελέσματα σε μορφή γραφήματος.



4.7:Γραφική απεικόνιση καθυστέρησης 4<sup>ου</sup> πειράματος



Γράφημα 4.8:Γραφική απεικόνιση throughput 4<sup>ου</sup> πειράματος

## 4.5 Συμπεράσματα

Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη των ασύρματων δικτύων και το πως συμπεριφέρονται κατά την μετάδοση δεδομένων είτε με κινητού είτε με ακίνητους κόμβους. Αφού καλύφθηκε όλη η θεωρία που ήταν απαραίτητη, από την αρχή των επικοινωνιών έως την εξέλιξη τους μέχρι και σήμερα, φτάσαμε στο πειραματικό κομμάτι.

Τα πειράματα που προσομοιωθήκαν αποτελούνται από κινητούς και ακίνητους κόμβους που μεταδίδουν και έχουν ως στόχο να εξετάσουν την επίδοση του δικτύου. Από τις προσομοιώσεις των πειραμάτων που δημιουργήθηκαν έγινε συλλογή των αποτελεσμάτων και τα οποία σχετίζονται με την καθυστέρηση (delay) και την ρυθμαπόδοση (throughput), καταλήγοντας στα παρακάτω συμπεράσματα.

Η καθυστέρηση (delay) αυξάνεται όταν σε ένα δίκτυο υπάρχει παράλληλη μετάδοση δεδομένων. Όσο πιο μικρή είναι η καθυστέρηση, τόσο πιο μικρό ποσοστό σφαλμάτων έχουμε, άρα και πιο ποιοτική μετάδοση.

Στο 1<sup>ο</sup> πείραμα δημιουργήθηκαν 2 ακίνητοι κόμβοι, όπου αντάλασσαν πακέτα UDP μέσω CBR κίνησης. Βρήκαμε ότι η καθυστέρηση που υπήρχε ήταν της τάξης των 60000 kbps.

Στη συνέχεια στο 2<sup>ο</sup> πείραμα που υλοποιήσαμε έχοντας 2 ακίνητους κόμβους που αντάλασσαν πακέτα FTP μέσω CBR κίνησης, διαπιστώσαμε ότι η καθυστέρηση που υπήρχε ήταν της τάξης των 63000kbps.

Στο 3<sup>ο</sup> πείραμα προσθέσαμε κίνηση σε 2 κόμβους που έκαναν ανταλλαγή UDP πακέτων με χρήση CBR κίνησης. Από τα αποτελέσματα του γραφήματος είδαμε ότι η καθυστέρηση ήταν της τάξης των 60000kbps.

Τέλος, στο 4<sup>ο</sup> και τελευταίο πείραμα χρησιμοποιήσαμε επίσης 2 κινητούς κόμβους με κίνηση CBR και ανταλλαγή FTP πακέτων. Το αποτέλεσμα ήταν η καθυστέρηση να φτάνει τα 61000 kbps.

Στη συνέχεια μελετήσαμε την ρυθμαπόδοση (throughput) η οποία αποτελεί το βασικό χαρακτηριστικό για την ένδειξη της ποιότητας μεταφοράς των δεδομένων σε ένα δίκτυο και εξαρτάται από την απόσταση επικοινωνίας.

Στο 1<sup>ο</sup> πείραμα με τους ακίνητους κόμβους αφού πραγματοποιήσαμε εξαγωγή των αποτελεσμάτων με την μορφή γραφήματος διαπιστώσαμε ότι η ρυθμαπόδοση (throughput) ήταν της τάξης των 245000 kbps.

Στο 2<sup>ο</sup> πείραμα με τους ακίνητους κόμβους αναλύοντας το γράφημα βρήκαμε ότι η ρυθμαπόδοση (Throughput) έφτανε τα 245000 kbps.

Στο 3<sup>ο</sup> πείραμα μετά την προσθήκη κίνησης στους κόμβους είδαμε ότι η ρυθμαπόδοση (throughput) ενώ στα μέσα της μετάδοσης είχε αγγίξει τα 241000 kbps, προς το τέλος μειώθηκε κατακόρυφα και έφτασε τα 1000 kbps.



Στο 4<sup>ο</sup> πείραμα με τους επίσης κινητούς κόμβους συνέβη ότι και στο προηγούμενο πείραμα. Ενώ στα μέσα της μετάδοσης η ρυθμαπόδοση (throughput) άγγιξε τα 135000 kbps, στο τέλος της μετάδοσης είχε πέσει στα 500 kbps.

Γενικά παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα είναι πολύ καλά ως προς την απόδοση του δικτύου. Παρόλο που η καθυστέρηση σε όλα τα πειράματα είναι σχεδόν η ίδια, στην περίπτωση της ρυθμαπόδοσης ειδικά στα σενάρια που έχει προστεθεί κίνηση τους κόμβους, μειώνεται αισθητά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κόμβοι λόγω της κίνησης απομακρύνονται μεταξύ τους, οπότε δεν υπάρχει και τόσο καλή επικοινωνία.