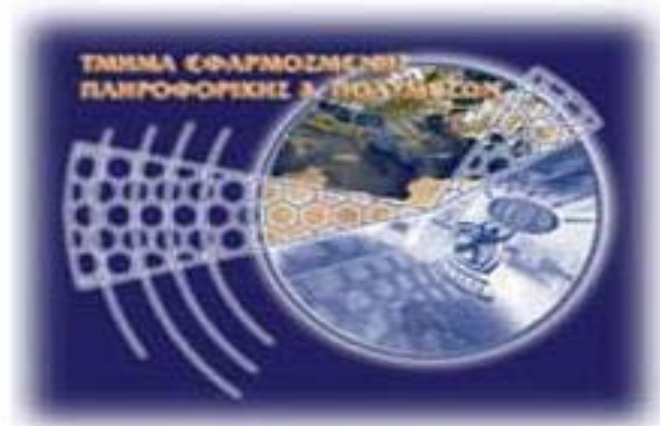


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΤΜΗΜΑ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ**

**“ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΛΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
802.11 ΚΑΙ ΒΛΥΕΤΟΟΤΗ”**

Όνοματεπώνυμο: Δημοσχάκης Λουλούδης
Ιανουάριος 2007

Εισηγητής: Μιαουδάκης Ανδρέας

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας δε θα ήταν ποτέ εφικτή αν δε συντελούσαν κάποια άτομα, γνώστες του αντικειμένου της εργασίας μου. Πρώτος απ' όλους είναι ο εισηγητής της πτυχιακής Δρ. Μιαουδάκης Ανδρέας ο οποίος με τις εξειδικευμένες γνώσεις του πάνω στο αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής, προσέφερε τα μέγιστα. Τον ευχαριστώ για τη συνεχή βοήθεια και στήριξη, σε όλο το διάστημα που απαιτήθηκε για την περάτωση του project, καθώς και για το χρόνο που χρειάστηκε να δαπανήσει προκειμένου να με βοηθήσει στην ολοκλήρωση της εργασίας μέσα στο χρονικό διάστημα που είχαμε θέση εξ' αρχής.

Οφείλω όμως να ευχαριστήσω και άλλα τρία άτομα. Πρόκειται για τη συμφοιτήτριά μου, Μπουρδένα Αθηνά και τους συμφοιτητές μου στο Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, τους Παπαδουράκη Γιώργο και Ξιλούρη Χρήστο, οι οποίοι με τη σειρά τους προσέφεραν απλόχερα τη βοήθειά τους, τόσο στον τομέα των μετρήσεων, όσο και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων καθώς και στην εύρεση χρήσιμης βιβλιογραφίας για την πληρέστερη ενημέρωση της πτυχιακής μου. Ήταν πάντα διατεθειμένοι να προσφέρουν την πολύτιμη βοήθειά τους και γι' αυτό τους είμαι ευγνώμων.

Η σιγουριά που ένιωθα σε κάθε άγνωστο, για μένα, βήμα καθ' όλη την πορεία της πτυχιακής, είναι ο κύριος λόγος που ευχαριστώ τους παραπάνω ανθρώπους και εύχομαι να τους το ανταποδώσω κάποια στιγμή μελλοντικά.

Ηράκλειο, Ιανουάριος 2007
Δημοσχάκης Λουλούδης

Πρόλογος

Καθώς οι συσκευές ασύρματης δικτύωσης πολλαπλασιάζονται συνεχώς, θα πρέπει να «αναγκάζονται» να λειτουργούν μέσα σ' ένα περιβάλλον γεμάτο με παρεμβολές από συνυπάρχοντες συσκευές. Για παράδειγμα, το πρότυπο 802.11 (Wi-Fi) και το 802.15 (Bluetooth) κατάφεραν με επαναστατικό τρόπο να αλλάξουν τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστών αλλά και άλλων ψηφιακών συσκευών. Το Wi-Fi είναι η πιο επιτυχημένη εφαρμογή των *ασυρμάτων τοπικών δικτύων* (WLAN) ενώ το Bluetooth είναι ένα *προσωπικό ασύρματο δίκτυο* (WPAN) το οποίο χρησιμοποιήθηκε πρωτίστως για να αντικαταστήσει τα καλώδια, με ένα εικονικό link. Και τα δύο αυτά πρότυπα είναι εξαιρετικά χρήσιμα, και έχουν σαν αποτέλεσμα να συνυπάρχουν σε πολλές εφαρμογές. Δυστυχώς, η πιο κοινή εφαρμογή του Wi-Fi είναι η λειτουργία του στη μπάντα των 2.4 GHz, την οποία χρησιμοποιεί και το Bluetooth, και επομένως οι παρεμβολές μεταξύ των δύο είναι αναπόφευκτες σε πολλές καταστάσεις, με αποτέλεσμα να πρέπει να λειτουργούν σε περιβάλλον *συλλειτουργίας*.

Η παρούσα πτυχιακή ασχολείται με τη συνύπαρξη και συλλειτουργία του Wi-Fi (802.11 b/g) και του Bluetooth (802.15) προσπαθώντας να παρουσιάσει με κατανοητό και εποπτικό τρόπο, το κατά πόσο είναι δυνατή αυτή η συνύπαρξη, καθώς και καταγράφει τις όποιες επιδράσεις επιφέρει το ένα πρότυπο πάνω στο άλλο. Μέσα από μια σειρά διεξοδικών και αλληπάλληλων μετρήσεων επιτεύχθηκε η καταγραφή της συμπεριφοράς των δύο δικτύων. Εξήχθησαν αποτελέσματα και συμπεράσματα που απεικονίζουν με παραστατικό τρόπο την όλη λειτουργία της συνύπαρξης. Ακολουθήθηκε μια λογική σειρά ενεργειών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Έγινε το στήσιμο των απαραίτητων συσκευών για τη λειτουργία των δικτύων, δημιουργήθηκε δικτυακή κίνηση, έγινε η καταγραφή αυτής της κίνησης, ακολούθησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τέλος παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με αναφορές, πίνακες, σχήματα και γραφικές παραστάσεις, έτσι ώστε ο αναγνώστης να έχει μια πλήρη και σαφή εικόνα για τον τρόπο λειτουργίας των υπό μελέτη δικτύων. Η επιλογή της χρησιμοποίησης των γραφικών παραστάσεων και των σχημάτων βοηθάει στην άμεση κατανόηση των αποτελεσμάτων και κάνει πιο ξεκούραστη και ευχάριστη την ανάγνωση της εργασίας.

Abstract

Nowadays the replacement of the classical wired network substructure, with the wireless one is a fact. The today's situation has secured the use of 802.11b/g in case of WLANs and the Bluetooth technology in case of WPANs. Considering that there is the need, that these 2 technologies will have to coexist and to cooperate in the same environment, a problem has occurred since both technologies operate in the same free band known as the Industrial, Scientific and Medical band of 2.4 GHz. The manufacturing companies suggest and implement techniques so that the cooperation of the wireless technologies, 802.11b/g and Bluetooth, will be possible without any encumbrance to the performance of the networks.

This project works on the coexistence and the cooperation of Wi-Fi (802.11 b/g) and the Bluetooth (802.15) and tries to present with a palpable and supervisory way, if this coexistence is possible, while trying to record any impact on one standard to the other.

One of the ways of the cooperation research is via an experiential approach, which is being used in this project for the output of the results. That method is being implemented with the usage of real devices and the uptake of measurements. For this method, laptops are generally used (as WLAN and WPAN nodes), equipped with the necessary cards and adapters, moving them in a room and checking at the same time the transmission rates of data in a real situation. The difficulty in this method is that the measurements can be affected by extra variables such as third unknown interferences, with unknown characteristics. In order to evade all these interferences, the project should take place in a laboratory, with the usage of signal generators and protocol analysts, connected with wires in a way that their cooperation could be examined in a controlled environment. Of course that is impossible to happen in this project because of the lack of equipment and of the appropriate space.

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Ευχαριστίες | 2 |
| Πρόλογος | 3 |
| Abstract | 4 |
| Περιεχόμενα | 5 |
| Περιεχόμενα Σχημάτων | 7 |
| Περιεχόμενα Πινάκων | 9 |
| ΘΕΜΑ | 10 |
| 1. Εισαγωγή | 11 |
| 2. ISM Band – Γενικά | 12 |
| 3. 802.11 | 14 |
| 3.1. IEEE 802.11 – Γενικά..... | 14 |
| 3.2. Τα πρότυπα της οικογένειας του IEEE 802.11..... | 14 |
| 3.2.1 IEEE 802.11 | 14 |
| 3.2.2 IEEE 802.11a | 14 |
| 3.2.3 IEEE 802.11b | 14 |
| 3.2.4 IEEE 802.11c | 15 |
| 3.2.5 IEEE 802.11d | 15 |
| 3.2.6 IEEE 802.11e | 15 |
| 3.2.7 IEEE 802.11f | 15 |
| 3.2.8 IEEE 802.11g | 15 |
| 3.2.9 IEEE 802.11h | 15 |
| 3.2.10 IEEE 802.11i | 15 |
| 3.3. Χαρακτηριστικά του 802.11..... | 15 |
| 3.3.1 Φάσμα βασικής ζώνης | 15 |
| 3.3.2 Εμβέλεια | 16 |
| 3.3.3 Ρυθμός μετάδοσης | 17 |
| 3.3.4 Ποιότητα επικοινωνίας | 17 |
| 3.3.5 Παρεμβολές | 17 |
| 3.3.6 Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο | 17 |
| 3.3.7 Διαλειτουργικότητα | 18 |
| 3.4. Η στοίβα πρωτοκόλλων του 802.11..... | 18 |
| 3.5. Το φυσικό επίπεδο του 802.11..... | 19 |
| 3.5.1 FHSS | 19 |
| 3.5.2 DSSS | 20 |
| 3.5.3 HR-DSSS | 20 |
| 3.5.4 Δίκτυο υπολογιστών Ad hoc | 21 |
| 3.6. Συχνότητες καναλιών του 802.11..... | 21 |
| 4. Bluetooth | 23 |
| 4.1. Γενικά..... | 23 |
| 4.2. Τεχνικές λεπτομέρειες..... | 23 |
| 4.3. Επίτευξη συνδέσεων μεταξύ συσκευών Bluetooth...24 | |
| 4.3.1 Αρχιτεκτονική Bluetooth | 24 |
| 4.3.2 Διαδικασία σύνδεσης | 25 |
| 4.4. Τυπικό δίκτυο Bluetooth..... | 26 |
| 4.5. Το επίπεδο ραδιοκυμάτων του Bluetooth..... | 26 |
| 5. Επισκόπηση συνύπαρξης | 28 |
| 6. Συγκριτικός πίνακας Bluetooth – 802.11 | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 7. Μεθοδολογία Μετρήσεων | 31 |
| 7.1. Μετρούμενα μεγέθη..... | 31 |
| 7.2. Ανάλυση μετρούμενων μεγεθών..... | 31 |
| 7.2.1 Φάσμα Ραδιοεκπομπών | 31 |
| 7.2.2 Throughput | 31 |
| 7.2.3 RTT delay | 32 |
| 7.2.4 Inter-packet delay variation (Jitter) | 32 |
| 7.3. Πειραματική μέτρηση δικτυακής κίνησης WLAN και WPAN 33 | |
| 7.3.1 TCP vs UDP | 34 |
| 7.3.2 Δημιουργία και ανίχνευση δικτυακής κίνησης tcp και udp 34 | |
| 7.3.3 Σύλληψη πακέτων | 38 |
| 7.4. Επεξεργασία και ανάλυση αποτελεσμάτων..... | 38 |
| 7.4.1 1 ^ο στάδιο επεξεργασίας..... | 38 |
| 7.4.2 2 ^ο στάδιο επεξεργασίας..... | 39 |
| 7.4.3 3 ^ο στάδιο επεξεργασίας..... | 40 |
| 7.5. Συνθήκες μέτρησης..... | 42 |
| 8. Εξοπλισμός | 43 |
| 9. Διεξαγωγή μετρήσεων | 44 |
| 9.1. Συνθήκες μετρήσεων..... | 44 |
| 9.2. Χωροταξία δικτύων..... | 45 |
| 10. Αποτελέσματα Μετρήσεων | 48 |
| 10.1. 1 ^ο σενάριο μέτρησης | 48 |
| 10.1.1 Περιγραφή | 48 |
| 10.1.2 Αποτελέσματα TCP | 49 |
| 10.1.3 Αποτελέσματα UDP | 52 |
| 10.2. 2 ^ο σενάριο | 53 |
| 10.2.1 Περιγραφή | 53 |
| 10.2.2 Αποτελέσματα TCP | 54 |
| 10.2.3 Αποτελέσματα UDP | 57 |
| 10.3. 3 ^ο σενάριο | 58 |
| 10.3.1 Περιγραφή | 58 |
| 10.3.2 Αποτελέσματα TCP | 59 |
| 10.3.3 Αποτελέσματα UDP | 62 |
| 10.4. 4 ^ο σενάριο | 63 |
| 10.4.1 Περιγραφή..... | 63 |
| 10.4.2 Αποτελέσματα TCP | 64 |
| 10.4.3 Αποτελέσματα UDP | 67 |
| 10.5. 5 ^ο Σενάριο | 68 |
| 10.5.1 Περιγραφή | 68 |
| 10.5.2 Αποτελέσματα TCP | 69 |
| 10.6. 6 ^ο Σενάριο | - 72 - |
| 10.6.1 Αποτελέσματα TCP | 73 |
| 10.7. 7 ^ο Σενάριο | 76 |
| 10.7.1 Περιγραφή | 76 |
| 10.7.2 Αποτελέσματα TCP | 77 |
| 10.7.3 Αποτελέσματα UDP | 80 |
| 10.8. 8 ^ο Σενάριο | 81 |
| 10.8.1 Περιγραφή | 81 |
| 10.8.2 Αποτελέσματα TCP | 82 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 10.8.3 | Αποτελέσματα UDP | 85 |
| 10.8.4 | Παράμετροι αναφοράς tcptrace | 86 |
| 10.9. | Μετρήσεις φάσματος | 89 |
| 10.9.1 | Σενάριο (A) - 802.11@ch6 & Bluetooth co- existence | 89 |
| 10.9.2 | Σενάριο (B) - 802.11@ch1 & Bluetooth co- existence | 93 |
| 11. | Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα | 96 |
| 11.1. | Σενάρια | 96 |
| 11.1.1 | 1° Σενάριο | 96 |
| 11.1.2 | 2° Σενάριο | 97 |
| 11.1.3 | 3° Σενάριο | 97 |
| 11.1.4 | 4° Σενάριο | 97 |
| 11.1.5 | 5° Σενάριο | 98 |
| 11.1.6 | 6° Σενάριο | 98 |
| 11.1.7 | 7° Σενάριο | 99 |
| 11.1.8 | 8° Σενάριο | 99 |
| 12. | Μέθοδοι βελτίωσης συλλειτουργίας | 101 |
| 12.1. | Dynamic Channel Selection for Wi-Fi Networks (Δυναμική επιλογή καναλιού για τα Wi-Fi δίκτυα) | 101 |
| 12.2. | Adaptive Fragmentation for Wi-Fi Networks (Προσαρμοσμένος Κατακερματισμός για τα Wi-Fi Δίκτυα) | 102 |
| 12.3. | Bluetooth Coexistence Enhancements (Εμπλουτισμός συλλειτουργίας) | 102 |
| 12.4. | Intelligent Frequency Hopping (Εξυπνη Αναπήδηση Συχνότητας) | 102 |
| 12.5. | Transmit Power Control (Μετάδοση με έλεγχο ισχύς) | 103 |
| 12.6. | Μέθοδοι για τον συνδυασμό του Wi-Fi & Bluetooth στην ίδια συσκευή | 104 |
| 13. | Ακρόνυμα και συντομογραφίες | 105 |
| 14. | Πηγές - Αναφορές | 106 |

Περιεχόμενα Σχημάτων

| | | |
|------------|---|----|
| Σχήμα 2-1: | Φάσμα συχνοτήτων της 2.4 ISM ζώνης | 13 |
| Σχήμα 3-1: | Το φάσμα βασικής ζώνης για το πρότυπο 802.11 | 16 |
| Σχήμα 3-2: | Στοιίβα πρωτοκόλλων του 802.11 | 19 |
| Σχήμα 3-3: | Συχνότητες καναλιών 802.11 | 22 |
| Σχήμα 4-1: | Φάσμα βασικής ζώνης για το Bluetooth | 24 |
| Σχήμα 4-2: | Δύο μικροσκοπικά δίκτυα μπορούν να συνδεθούν για να σχηματίσουν ένα διάσπαρτο δίκτυο | 26 |
| Σχήμα 5-1: | Παρεμβολές 802.11 και Bluetooth | 28 |
| Σχήμα 7-1: | Υπολογισμός RTT delay | 32 |
| Σχήμα 7-2: | Εντολή windump στο server (κίνηση tcp) | 35 |
| Σχήμα 7-3: | Εντολή iperf στο server (κίνηση tcp) | 36 |
| Σχήμα 7-4: | Εντολή windump στον client (κίνηση tcp) | 36 |
| Σχήμα 7-5: | Εντολή iperf στον client (κίνηση tcp) | 37 |
| Σχήμα 7-6: | Αποτελέσματα (κίνηση tcp) | 38 |

| | |
|--|------|
| Σχήμα 7-7: Εντολή tcptrace (1° βήμα) | 39 |
| Σχήμα 7-8: Εντολή tcptrace για RTT Delay (2° βήμα) | 39 |
| Σχήμα 7-9: Εντολή tcptrace για throughput (2° βήμα) | 40 |
| Σχήμα 7-10: Εντολή xpl2gpl (1)RTT, (2)Throughput | 41 |
| Σχήμα 9-1: Κάτοψη χώρου μετρήσεων | 44 |
| Σχήμα 9-2: Χωροταξία μετρήσεων | 46 |
| Σχήμα 9-3: Επεξήγηση αναπαράστασης στο πλέγμα χρόνου συχνότητας | 47 |
| Σχήμα 10-1: 1° σενάριο, 802.11 (ch1) - 802.11 (ch3) co- existence | 48 |
| Σχήμα 10-2: 1° σενάριο, 802.11 Throughput | 49 |
| Σχήμα 10-3: 1° σενάριο, 802.11 RTT-delay | 49 |
| Σχήμα 10-4: 1° σενάριο, Jitter | 52 |
| Σχήμα 10-5: 1° σενάριο, Packet to Packet Delay | 52 |
| Σχήμα 10-6: 2° σενάριο, 802.11 (ch1)-802.11 (ch6) co- existence | 53 |
| Σχήμα 10-7: 2° σενάριο, 802.11 Throughput | 54 |
| Σχήμα 10-8: 2° σενάριο, 802.11 RTT-delay | 54 |
| Σχήμα 10-9: 2° σενάριο, Jitter | 57 |
| Σχήμα 10-10: 2° σενάριο, Packet to Packet Delay | 57 |
| Σχήμα 10-11: 3° σενάριο, 802.11@1-802.11@11 Co-existence | 58 |
| Σχήμα 10-12: 3° σενάριο, 802.11 Throughput | 59 |
| Σχήμα 10-13: 3° σενάριο, 802.11 RTT-delay | 59 |
| Σχήμα 10-14: 3° σενάριο, Jitter | 62 |
| Σχήμα 10-15: 3° σενάριο, Packet to Packet Delay | 62 |
| Σχήμα 10-16: 4° σενάριο, 802.11@1 no co-existence | 63 |
| Σχήμα 10-17: 4° σενάριο, 802.11 Throughput | 64 |
| Σχήμα 10-18: 4° σενάριο, 802.11 RTT-Delay | 64 |
| Σχήμα 10-19: 4° σενάριο, Jitter | 67 |
| Σχήμα 10-20: 4° σενάριο, Packet to Packet Delay | 67 |
| Σχήμα 10-21: 5° σενάριο, 802.11@1 - Bluetooth (30-60 secs) | 68 |
| Σχήμα 10-22: 5° σενάριο, Throughput | 69 |
| Σχήμα 10-23: 5° σενάριο, RTT-Delay | 69 |
| Σχήμα 10-24: 6° σενάριο, 802.11@ch1 - Bluetooth co- existence | 72 - |
| Σχήμα 10-25: 6° σενάριο, Bluetooth throughput | 73 |
| Σχήμα 10-26: 6° σενάριο, Bluetooth RTT-Delay | 73 |
| Σχήμα 10-27: 7° σενάριο, Bluetooth no co-existence | 76 |
| Σχήμα 10-28: 7° σενάριο, Bluetooth Throughput | 77 |
| Σχήμα 10-29: 7° σενάριο, Bluetooth RTT-Delay | 77 |
| Σχήμα 10-30: 7° σενάριο, Jitter | 80 |
| Σχήμα 10-31: 7° σενάριο, Packet to Packet Delay | 80 |
| Σχήμα 10-32: 8° σενάριο, Τριπλό co-existence | 81 |
| Σχήμα 10-33: 8° σενάριο, Bluetooth Throughput | 82 |
| Σχήμα 10-34: 8° σενάριο, Bluetooth RTT-Delay | 82 |
| Σχήμα 10-35: 8° σενάριο, Jitter | 85 |
| Σχήμα 10-36: 8° σενάριο, Packet to Packet Delay | 85 |
| Σχήμα 10-37: Περιγραφή σεναρίου (Α) επισκόπησης φάσματος στο πλέγμα χρόνου-συχνότητας | 89 |

| | |
|---|----|
| Σχήμα 10-38: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=0 | 90 |
| Σχήμα 10-39: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=12 sec | 91 |
| Σχήμα 10-40: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=32 sec | 92 |
| Σχήμα 10-41: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=60 sec | 92 |
| Σχήμα 10-42: Περιγραφή σεναρίου (B) επισκόπησης φάσματος στο πλέγμα χρόνου-συχνότητας | 93 |
| Σχήμα 10-43: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=0 sec | 94 |
| Σχήμα 10-44: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=12 sec | 94 |
| Σχήμα 10-45: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=32 | 95 |
| Σχήμα 10-46: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=60 sec | 95 |

Περιεχόμενα Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 2-1: Επιδόσεις συστημάτων Wi-Fi | 17 |
| Πίνακας 5-1: Συγκριτικός πίνακας χαρακτηριστικών Bluetooth & 802.11 | 30 |
| Πίνακας 7-1: Hardware | 43 |
| Πίνακας 9-1: 1° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 50 |
| Πίνακας 9-2: Tcptrace - 802.11 (ch1) - 802.11 (ch3) co-existence | 51 |
| Πίνακας 9-3: 1° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP | 52 |
| Πίνακας 9-4: 2° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 55 |
| Πίνακας 9-5: Tcptrace - 802.11 (ch1) - 802.11 (ch6) co-existence | 56 |
| Πίνακας 9-6: 2° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP | 57 |
| Πίνακας 9-7: 3° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 60 |
| Πίνακας 9-8: Tcptrace - 802.11 (ch1) - 802.11 (ch11) co-existence | 61 |
| Πίνακας 9-9: 3° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP | 62 |
| Πίνακας 9-10: 4° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 64 |
| Πίνακας 9-11: Tcptrace - 802.11 (ch1) | 66 |
| Πίνακας 9-12: 4° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP | 67 |
| Πίνακας 9-13: 5° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 69 |
| Πίνακας 9-14: Tcptrace 802.11 (ch1) - Bluetooth (30-60 secs) | 71 |
| Πίνακας 9-15: 6° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 73 |
| Πίνακας 9-16: Tcptrace - 802.11@ch1 - Bluetooth co-existence | 75 |
| Πίνακας 9-17: 7° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 77 |
| Πίνακας 9-18: Tcptrace - Bluetooth no co-existence | 79 |
| Πίνακας 9-19: 7° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP | 80 |
| Πίνακας 9-20: 8° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP | 82 |
| Πίνακας 9-21: Tcptrace - Τριπλό co-existence | 84 |
| Πίνακας 9-22: 8° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP | 85 |

ΘΕΜΑ

Στις μέρες μας η αντικατάσταση της κλασικής ενσύρματης δικτυακής υποδομής με ασύρματη αποτελεί γεγονός. Η σημερινή κατάσταση έχει εδραιώσει την τεχνολογία 802.11b/g για τη περίπτωση των WLANs και την τεχνολογία Bluetooth για την περίπτωση των WPANs. Με δεδομένο ότι υπάρχει η ανάγκη αυτές οι δύο τεχνολογίες να συνυπάρχουν και να συλλειτουργούν στο ίδιο φυσικό περιβάλλον δημιουργείται ένα πρόβλημα αφού και οι δύο τεχνολογίες λειτουργούν στην ίδια ελεύθερη ζώνη **γνωστή ως βιομηχανική επιστημονική και ιατρική ζώνη των 2.4GHz** (Unlicensed Industrial, Scientific, and Medical - ISM band). Οι κατασκευάστριες εταιρίες προτείνουν και υλοποιούν τεχνικές ώστε η συλλειτουργία των ασυρμάτων τεχνολογιών 802.11b/g και Bluetooth να είναι δυνατή χωρίς επιβάρυνση στην απόδοση των δικτύων. Η συγκεκριμένη πτυχιακή ασχολείται με την παρουσίαση και την καταγραφή των διαφορών αυτών τεχνικών.

Εισηγητής: Μιαουδάκης Ανδρέας

1. Εισαγωγή

Για τη μέτρηση της απόδοσης της συλλειτουργίας μεταξύ ενός WLAN και ενός WPAN δικτύου υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις, η καθεμιά από τις οποίες έχει τις ιδιαιτερότητές της. Η πρώτη προσέγγιση είναι αυτή της *θεωρητικής ανάλυσης*, στην οποία το πρόβλημα της συλλειτουργίας μοντελοποιείται μαθηματικά και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως συνάρτηση των μεταβλητών εισόδου.

Μια άλλη μορφή αναλυτικής προσέγγισης είναι η προσομοίωση σε H/Y. Η προσέγγιση αυτή προϋποθέτει τη δημιουργία ενός *τοπολογικού μοντέλου δικτύου* (όπως η τοποθέτηση χρηστών σ' ένα δωμάτιο) και η χρησιμοποίηση ενός προγράμματος προσομοίωσης μέτρησης του Packet Error Rate (PER) ξανά και ξανά, μετακινώντας κάθε φορά τους χρήστες σε διάφορες θέσεις για τον προσδιορισμό της μέσης απόδοσης. Συνήθως η μία μέθοδος ολοκληρώνει την άλλη. Ξεκινώντας με τη θεωρητική ανάλυση, γίνεται η συλλογή κάποιων αποτελέσματα και στη συνέχεια ακολουθεί η εξομοίωση σε H/Y για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

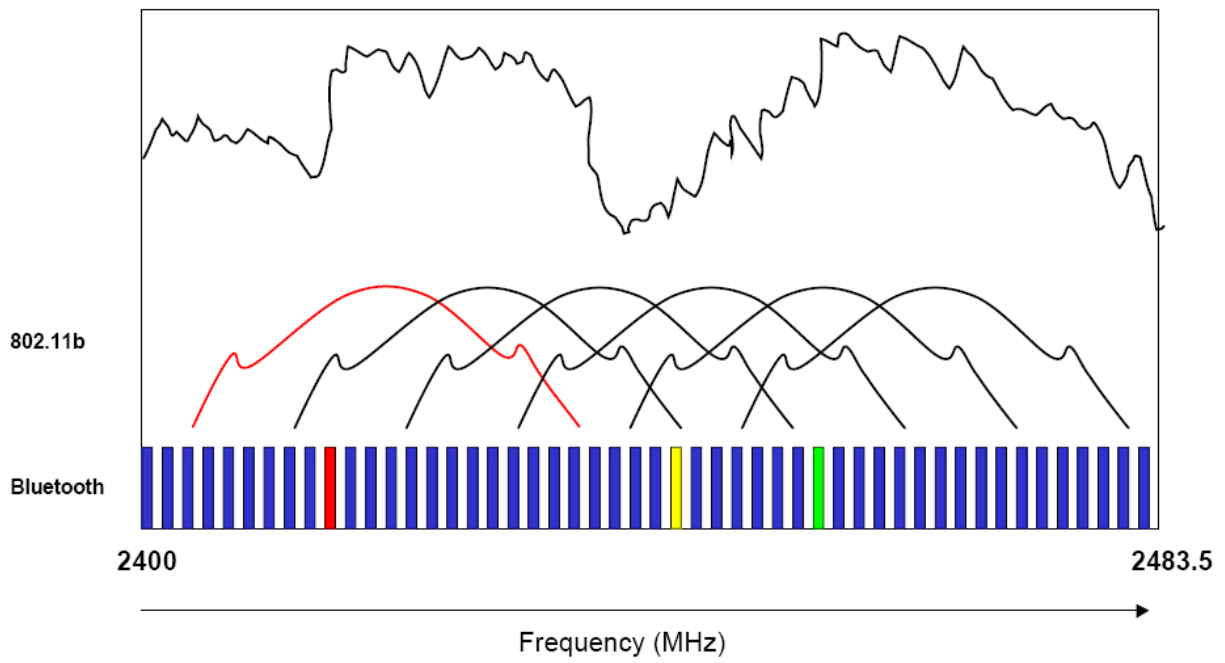
Η συλλειτουργία μπορεί επίσης να ερευνηθεί μέσω μιας προσέγγισης σε πραγματικό περιβάλλον η οποία και χρησιμοποιείται στην παρούσα πτυχιακή για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος αυτή υλοποιείται με τη χρήση πραγματικών συσκευών και τη λήψη μετρήσεων. Στη μέθοδο αυτή συνήθως χρησιμοποιούνται laptops (χρήση ως WLAN και WPAN nodes), εφοδιασμένα με τις ανάλογες κάρτες και adapters, μετακινώντας τα μέσα σ' ένα δωμάτιο, και ελέγχοντας συγχρόνως τους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων σε μια πραγματική κατάσταση. Η δυσκολία σ' αυτή τη μέθοδο παρουσιάζεται στο ότι οι μετρήσεις μπορούν να επηρεαστούν από επιπρόσθετες μεταβλητές όπως τρίτες άγνωστες παρεμβολές, με άγνωστα χαρακτηριστικά. Για την αποφυγή αυτών των παρεμβολών η καλύτερη λύση είναι το όλο εγχείρημα να γίνει σ' ένα εργαστήριο, με τη χρήση γεννητριών σήματος και αναλυτές πρωτοκόλλων, συνδεδεμένους με καλώδια κατά τέτοιο τρόπο ώστε η συλλειτουργία να μπορεί να εξεταστεί σ' ένα ελεγχόμενο περιβάλλον. Αυτό βέβαια δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί στην παρούσα πτυχιακή λόγω της έλλειψης του παραπάνω εξοπλισμού αλλά και της μη ύπαρξης του ανάλογου χώρου.

2. ISM Band – Γενικά

Οι περισσότερες δικτυακές συσκευές στην αρχή του 21^{ου} αιώνα λειτουργούν στα 2.4 GHz (Industrial, Scientific and Medical Band) λόγω του ότι πρακτικά είναι η μόνη αδέσμευτη μπάντα και απαντάται σχεδόν παντού στον κόσμο. Σ' αυτή την προσέγγιση εκχώρησης συχνοτήτων οι πάντες μεταδίδουν κατά βούληση, χωρίς να γίνεται εκχώρηση συχνοτήτων αλλά περιορίζεται η χρησιμοποιούμενη ισχύς έτσι ώστε οι σταθμοί να έχουν τόσο βραχεία εμβέλεια ώστε να μην ανακατεύονται μεταξύ τους. Έτσι οι κυβερνήσεις έχουν δεσμεύσει κάποιες ζώνες συχνοτήτων, που ονομάζονται ζώνες Βιομηχανίας, Επιστήμης και Ιατρικής (ISM), για χρήση χωρίς άδεια. Οι τηλεχειρισμοί των γκαράζ, τα ασύρματα τηλέφωνα, τα τηλεχειριζόμενα παιχνίδια, τα ασύρματα ποντίκια, και πολλές άλλες ασύρματες οικιακές συσκευές χρησιμοποιούν τις ζώνες ISM. Για να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές ανάμεσα σ' αυτές τις ασυντόνιστες συσκευές, η FCC ορίζει ότι όλες οι συσκευές στις συγκεκριμένες ζώνες πρέπει να χρησιμοποιούν τεχνικές εξάπλωσης φάσματος. Παρόμοιοι κανονισμοί ισχύουν και σε άλλες χώρες. Η ζώνη των 2.4 GHz είναι διαθέσιμη στις περισσότερες χώρες. Ο λόγος που υπάρχει παντού είναι κυρίως οι φούρνοι μικροκυμάτων που χρησιμοποιούν εδώ και πολύ καιρό αυτές τις υψηλές συχνότητες.

Αν και υπάρχουν πολλοί κανονισμοί που ισχύουν για τη λειτουργία των προϊόντων μέσα στη ζώνη ISM των 2.4GHz, η παράγραφος 15.247 των κανονισμών της FCC περιέχει τις βασικές απαιτήσεις για τις τεχνικές μετάδοσης ευρέως φάσματος άμεσης ακολουθίας (direct sequence spread spectrum-DSSS) και μεταπήδησης συχνότητας (frequency hop spread spectrum-FHSS) μέσα στη ζώνη αυτή. Η μπάντα ISM των 2.4GHz ζώνη έχει 83.5MHz εύρος ζώνης που εκτείνεται από τα 2.400GHz μέχρι τα 2.4835GHz. Η παράγραφος 15.247 των κανονισμών της FCC περιορίζει τη ισχύ εκπομπής μέχρι το 1 Watt τόσο για τις εκπομπές DSSS όσο και για τις εκπομπές FHSS. Τα προϊόντα Wi-Fi είναι βασισμένα στην τεχνολογία DSSS, ενώ οι συσκευές Bluetooth είναι βασισμένες στην τεχνολογία FHSS.

2.4GHz ISM



Σχήμα 2-1: Φάσμα συχνοτήτων της 2.4 ISM ζώνης

3. 802.11

3.1. IEEE 802.11 - Γενικά

Το 802.11 είναι μια οικογένεια πρωτοκόλλων που περιγράφουν τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων, WLAN. Περιγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI, δηλαδή το φυσικό επίπεδο (PHY, Physical Layer) και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC, Medium Access Control). Τα πρωτόκολλα αυτά δημοσιεύονται από την IEEE γεγονός που είναι σημαντικό για τη διαλειτουργικότητα των συσκευών που το ακολουθούν.

Περιγράφοντας μόνο τα δύο κατώτερα επίπεδα, επιτρέπει σε οποιαδήποτε εφαρμογή να εργάζεται πάνω σε συσκευή 802.11 όπως ακριβώς θα εργαζόταν πάνω από Ethernet. Δηλαδή τα πιο πάνω επίπεδα δεν γνωρίζουν και δεν απασχολούνται από το τι βρίσκεται πιο κάτω.

3.2. Τα πρότυπα της οικογένειας του IEEE 802.11

3.2.1 IEEE 802.11

Δημοσιεύτηκε το 1997 από την IEEE, μετά από 7 χρόνια μελέτης. Προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps. Υποστηρίζει ασύγχρονη, connectionless υπηρεσία. Στο φυσικό επίπεδο προβλέπει τεχνική FHSS ή DSSS σε ζώνες συχνοτήτων 915 MHz, 2.4 MHz, 5.2 MHz ή υπέρυθρη μετάδοση στα 850 nm ως 900 nm. Υποστηρίζει δυνατότητες όπως δημιουργία προτεραιότητας της κίνησης, υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου και διαχείριση ισχύος συσκευής.

3.2.2 IEEE 802.11a

Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης με διαμόρφωση OFDM από 6 ως 54 Mbps, στην ζώνη των 5.7GHz. Η χρήση της OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing έχει σαν αποτέλεσμα την πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος.

3.2.3 IEEE 802.11b

Το πιο δημοφιλές από όλα τα πρότυπα, δημοσιεύθηκε το Σεπτέμβριο του 1999. Στην ουσία είναι το 802.11 με προσθήκη δύο μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης, του 5.5Mbps και του 11Mbps και αναγκαστικά της τεχνικής φυσικού επιπέδου DSSS. Το πρότυπο με τη μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα. Είναι ένα στιβαρό, αποτελεσματικό και δοκιμασμένο πρότυπο. Οι προσθήκες της 802.11b σε σχέση με την 802.11 αφορούν μόνο το φυσικό επίπεδο, ορίζοντας μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης και πιο στιβαρή συνδεσιμότητα.

3.2.4 IEEE 802.11c

Λειτουργία γεφύρωσης (bridging) πλαισίων 802.11.

3.2.5 IEEE 802.11d

Επεκτάσεις στο πρότυπο ώστε να λειτουργεί σε επιπλέον ρυθμιστικά πλαίσια (άλλες ζώνες συχνοτήτων).

3.2.6 IEEE 802.11e

Υποστήριξη QoS στο MAC επίπεδο (EDCF, Enhanced DCF και HCF, Hybrid Coordination Function).

3.2.7 IEEE 802.11f

Συνιστώμενη πρακτική για το πρωτόκολλο IAPP, Inter Access Point Protocol.

3.2.8 IEEE 802.11g

Επέκταση στο 802.11b ώστε να υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς.

3.2.9 IEEE 802.11h

Διαχείριση φάσματος στο 802.11a (DCS, Dynamic Channel Selection και TPC, Transmit Power Control).

3.2.10 IEEE 802.11i

Επεκτάσεις στο MAC επίπεδο για ενισχυμένη ασφάλεια.

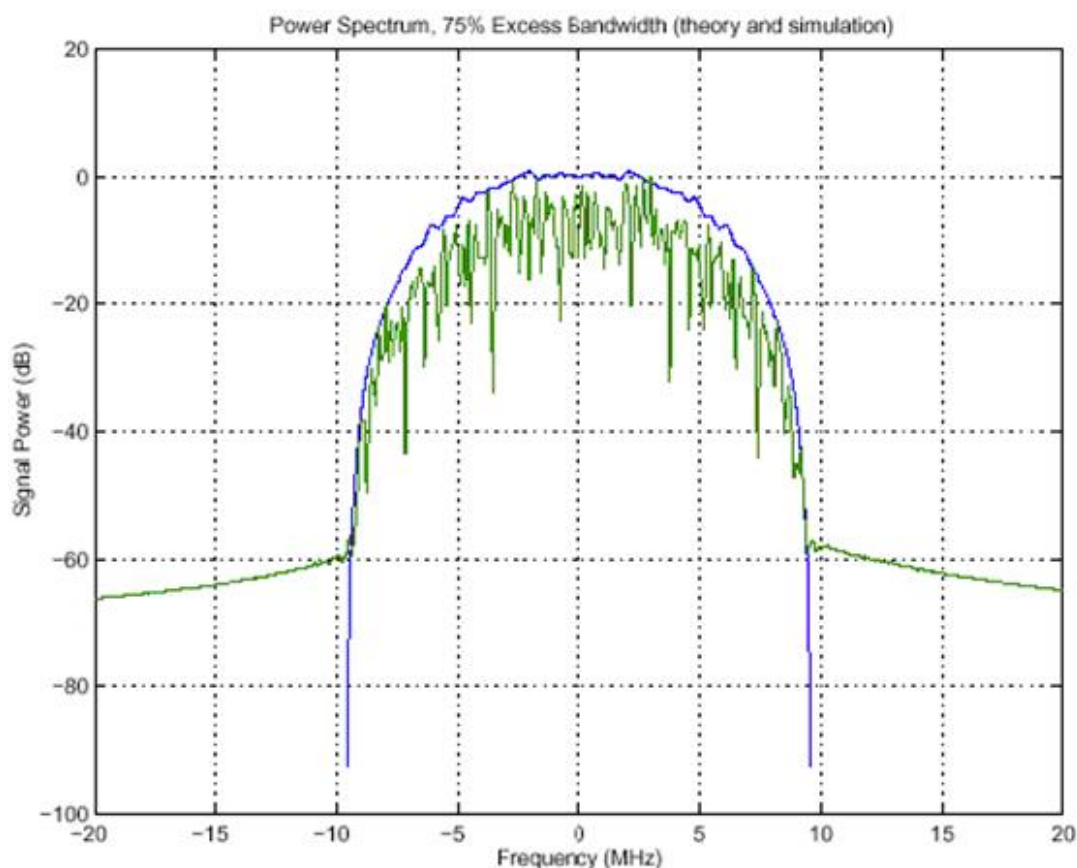
3.3. Χαρακτηριστικά του 802.11

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η ζώνη των 2.4GHz γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής σήμερα. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι πρόκειται για ελεύθερη ζώνη και έχει κατάλληλα χαρακτηριστικά για μετάδοση σε μικρές αποστάσεις.

3.3.1 Φάσμα βασικής ζώνης

Το φάσμα βασικής ζώνης του 802.11 χαρακτηρίζεται από τα εξής στοιχεία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3-1:

- i. Παρουσιάζει εύρος ζώνης 20 MHz
- ii. Η φασματική μάσκα για το 802.11 b/g απαιτεί εξασθένιση του σήματος το λιγότερο 30 dB από τη μέγιστη (Peak) ενέργεια στα ± 11 MHz από την κεντρική συχνότητα, και εξασθένιση, το λιγότερο 50 dB από τη μέγιστη ενέργεια στα ± 22 MHz από την κεντρική συχνότητα.



Σχήμα 3-1: Το φάσμα βασικής ζώνης για το πρότυπο 802.11

3.3.2 Εμβέλεια

Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Τα ραδιοκύματα σε εσωτερικό χώρο έχουν να διαπεράσουν τοίχους και οροφές οπότε υφίστανται σημαντική απόσβεση. Δηλαδή όταν ένα ραδιοκύμα προσπέσει σε ένα τοίχο ένα μέρος της ισχύος του θα απορροφηθεί από το υλικό του τοίχου και ένα κομμάτι μόνο θα μπορεί να τον διαδοθεί. Επίσης το σήμα θα ανακλαστεί στις περιβάλλουσες επιφάνειες με αποτέλεσμα στο δέκτη τελικά να φτάσουν ένας αριθμός από αντίγραφα του αρχικού σήματος, όλα με διαφορετικά πλάτη και φάσεις. Από την άθροιση τους μπορεί να προκύψει αλληλοαναίρεση και το τελικό σήμα να έχει πολύ μικρότερη ισχύ με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας της ζεύξης.

Σε περιβάλλον όπου υπάρχει κατευθείαν οπτική επαφή, σε εξωτερικό χώρο, η εμβέλεια είναι πολύ μεγαλύτερη και εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής, την ευαισθησία του δέκτη, τις κεραίες, την απόσταση, την ευθυγράμμιση των κεραιών, το επίπεδο παρεμβολών και θορύβου. Πάντως αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων είναι δυνατό να επιτευχθούν με πολύ καλή ποιότητα ζεύξης.

3.3.3 Ρυθμός μετάδοσης

Η πραγματική διαπερατότητα, δηλαδή οι επιδόσεις του συστήματος εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως οι παράμετροι ραδιομετάδοσης (εμβέλεια, ανακλάσεις, απορρόφηση, σκέδαση) , όπως και από τον αριθμό των χρηστών. Για τις περισσότερες εφαρμογές το bandwidth είναι επαρκές. Ο Πίνακας 3-1 παρουσιάζει τις επιδόσεις αυτές.

| Πρότυπο | Ταχύτητα | Απόσταση |
|---------|----------|----------|
| 802.11b | 1Mbps | 570m |
| | 2Mbps | 450m |
| | 5.5Mbps | 300m |
| | 11Mbps | 180m |
| 802.11g | 18Mbps | 150m |
| | 54Mbps | 50m |

Πίνακας 3-1: Επιδόσεις συστημάτων Wi-Fi

3.3.4 Ποιότητα επικοινωνίας

Έχοντας πίσω τους μισό αιώνα σε εμπορικές και κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές οι ασύρματες τεχνολογίες έχουν γίνει πολύ στιβαρές και αξιόπιστες. Έτσι μπορούν να παρέχουν αξιόπιστες συνδέσεις και μάλιστα ίσως σε καλύτερο επίπεδο από ότι οι αντίστοιχες στην κινητή τηλεφωνία.

3.3.5 Παρεμβολές

Το ασύρματο LAN μπορεί να δεχτεί και να προκαλέσει παρεμβολές σε άλλα 2.4GHz προϊόντα όπως μερικά ασύρματα τηλέφωνα, φούρνοι μικροκυμάτων και φυσικά στις συσκευές Bluetooth. Γενικά πάντως δεν έχει παρατηρηθεί να έχουν σημαντικό πρόβλημα με παρεμβολές από φούρνους μικροκυμάτων. Μπορεί επίσης να δεχθεί παρεμβολές από συσκευές που εκπέμπουν σε υποπολλαπλάσια της συχνότητας λειτουργίας. Το σημαντικότερο πρόβλημα παρεμβολών πάντως προκύπτει από την κακή σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου (μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής από το αναγκαίο, κακές και ακατάλληλες κεραίες, λάθος επιλογή συχνοτήτων και τοποθεσίας, συσκευές με μικρή ευαισθησία κ.τ.λ.).

3.3.6 Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο

Τα περισσότερα WLAN έχουν προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Συστήματα διαχείρισης επιβλέπουν τους ασύρματους κόμβους όπως και οποιοδήποτε άλλο στοιχείο του δικτύου.

3.3.7 Διαλειτουργικότητα

Υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις στις οποίες οι συσκευές δε συνεργάζονται μεταξύ τους:

- **Διαφορετικές τεχνολογίες**

Ένα ραδιόκυμα βασισμένο σε τεχνολογία FHSS δεν μπορεί να συνεργαστεί με κάποιο τεχνολογίας DSSS.

- **Διαφορετικές συχνότητες**

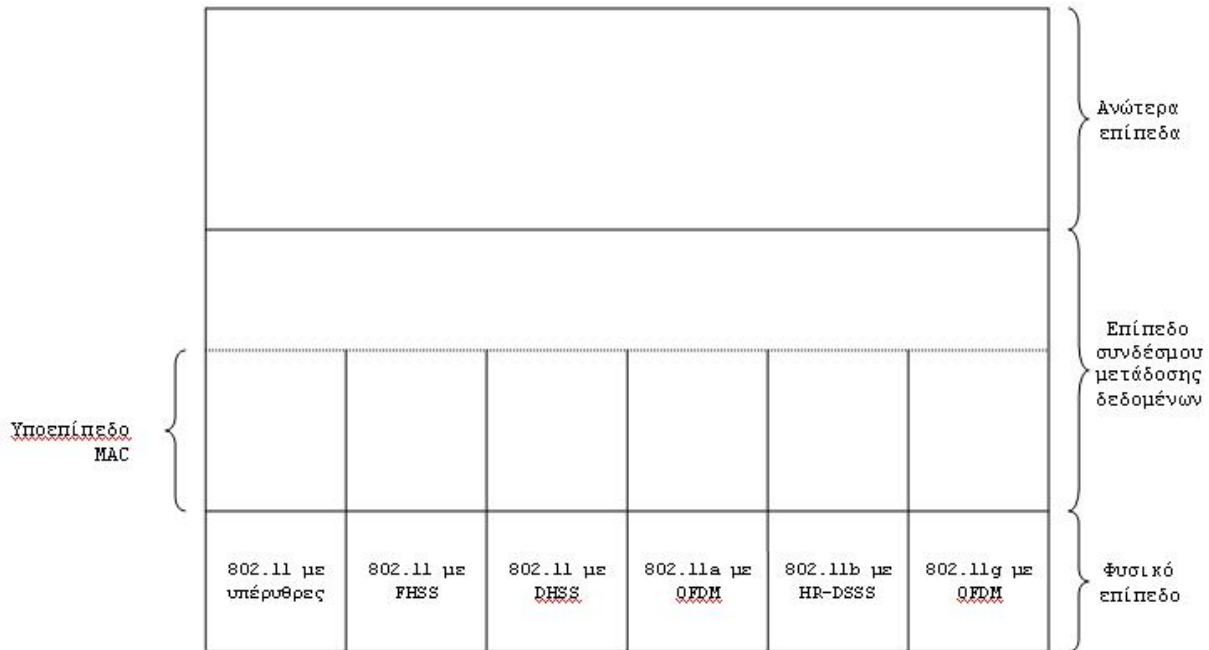
Προφανώς συσκευές 802.11a στους 5.7GHz δεν μπορούν να δουλέψουν μαζί με συσκευές 802.11b/g που εργάζονται στους 2.4GHz.

- **Διαφορετικές υλοποιήσεις**

Προϊόντα διαφορετικών κατασκευαστών μπορεί να μην συνεργάζονται ή να συνεργάζονται μερικώς μεταξύ τους. Αυτό όμως ισχύει μόνο μεταξύ συσκευών της ίδιας εταιρίας. Για μία λύση του προβλήματος της διαλειτουργικότητας δημιουργήθηκε το Wi-Fi πιστοποιητικό.

3.4. Η στοίβα πρωτοκόλλων του 802.11

Το πρότυπο 802.11 του 1997 καθορίζει τρεις επιτρεπόμενες τεχνικές μετάδοσης για το φυσικό επίπεδο. Η μέθοδος υπερύθρων χρησιμοποιεί σχεδόν ίδια τεχνολογία με τα τηλεχειριστήρια των τηλεοράσεων. Οι άλλες δυο μέθοδοι χρησιμοποιούν ραδιοκύματα μικρής εμβέλειας, χρησιμοποιώντας τεχνικές που ονομάζονται FHSS και DSSS. Και οι δυο χρησιμοποιούν ένα τμήμα του φάσματος που όπως αναφέρθηκε παραπάνω δε χρειάζεται ειδική άδεια, δηλαδή τη ζώνη ISM στα 2.4 GHz. Όλες αυτές οι τεχνικές λειτουργούν σε 1 ή 2 Mbps και με αρκετά χαμηλή ισχύ, έτσι ώστε να μην παρουσιάζουν πολλές διενέξεις. Το 1999 παρουσιάστηκαν δύο νέες τεχνικές για επίτευξη υψηλότερου εύρους ζώνης. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται OFDM και HR-DSSS. Λειτουργούν μέχρι τα 54 Mbps και τα 11 Mbps, αντίστοιχα.



Σχήμα 3-2: Στοιβά πρωτοκόλλων του 802.11

3.5. Το φυσικό επίπεδο του 802.11

Η κάθε μια από τις πέντε επιτρεπόμενες τεχνικές μετάδοσης που αναφέρθηκαν πιο πάνω, κάνει δυνατή τη μετάδοση ενός πλαισίου MAC από ένα σταθμό σε έναν άλλο. Οι τεχνικές διαφέρουν, όμως, στη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και στις ταχύτητες που επιτυγχάνουν. Γίνεται αναφορά στις τεχνικές για τις οποίες παρουσιάζεται ενδιαφέρον.

3.5.1 FHSS

Η **Εξάπλωση φάσματος με Συνεχή Αλλαγή Συχνότητας** (Frequency Hopping Spread Spectrum) χρησιμοποιεί 79 κανάλια, το καθένα με εύρος 1 MHz, ξεκινώντας από το κάτω όριο της ζώνης ISM στα 2.4 GHz. Χρησιμοποιείται μια γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών για την παραγωγή της ακολουθίας συχνοτήτων στις οποίες μεταβαίνουν διαδοχικά οι σταθμοί. Όσο όλοι οι σταθμοί χρησιμοποιούν το ίδιο φύτρο (seed) στη γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών και παραμένουν χρονικά συγχρονισμένοι, θα εκτελούν ταυτόχρονα τη μετάβαση στις ίδιες συχνότητες. Η χρονική διάρκεια κατά την οποία μένουμε στην ίδια συχνότητα, δηλαδή ο χρόνος παραμονής (dwell time), είναι μια ρυθμιζόμενη παράμετρος, θα πρέπει όμως να είναι μικρότερος από 400 msec. Η τυχαία ακολουθία της FHSS παρέχει ένα δίκαιο τρόπο εκχώρησης του φάσματος στη ζώνη ISM. Παρέχει επίσης κάποια περιορισμένη ασφάλεια αφού ο εισβολέας που δε γνωρίζει την ακολουθία συχνοτήτων ή το χρόνο παραμονής δε μπορεί να υποκλέψει τις μεταδόσεις. Σε μεγαλύτερες

αποστάσεις μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα η εξασθένιση πολλαπλών διαδρομών, η τεχνική FHSS παρέχει όμως αρκετή αντοχή σ' αυτό το φαινόμενο. Είναι επίσης σχετικά ανθεκτική στις ραδιοκυματικές παρεμβολές, γεγονός που την κάνει δημοφιλή για συνδέσεις από κτίριο σε κτίριο. Το κύριο μειονέκτημά της είναι το χαμηλό εύρος ζώνης της.

3.5.2 DSSS

Η **Εξάπλωση φάσματος Άμεσης Ακολουθίας** (Direct Sequence Spread Spectrum), περιορίζεται και αυτή σε 1 ή 2 Mbps. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η ακόλουθη. Κάθε bit μεταδίδεται ως 11 θραύσματα, χρησιμοποιώντας την ονομαζόμενη ακολουθία *Barker* (Barker sequence). Χρησιμοποιείται διαμόρφωση μετατόπισης φάσης στο 1 Mbaud, με μετάδοση 1 bit ανά baud για λειτουργία στο 1 Mbps και 2 bit για λειτουργία στα 2 Mbps. Επί χρόνια η FCC απαιτούσε όλος ο εξοπλισμός ασύρματης επικοινωνίας που λειτουργούσε στις ζώνες ISM στις Η.Π.Α. να χρησιμοποιεί εξάπλωση φάσματος.

3.5.3 HR-DSSS

Η **Εξάπλωση φάσματος Άμεσης Ακολουθίας Υψηλού Ρυθμού Μετάδοσης** (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum), είναι άλλη μια τεχνική εξάπλωσης φάσματος η οποία χρησιμοποιεί 11 εκατομμύρια θραύσματα/sec για να επιτύχει ταχύτητα 11 Mbps στα 2.4 GHz. Ονομάζεται 802.11b αλλά δεν αποτελεί εξέλιξη του 802.11a (το οποίο χρησιμοποιεί την Ορθογώνια Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας - OFDM, που δε μας ενδιαφέρει). Στην πραγματικότητα, το πρότυπό της εγκρίθηκε πρώτο και βγήκε στην αγορά πρώτο. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων που υποστηρίζονται από το 802.11b είναι 1, 2, 5.5, και 11 Mbps. Οι δύο βραδύτεροι ρυθμοί μετάδοσης λειτουργούν στο 1 Mbaud, με 1 και 2 bit ανά baud αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (για συμβατότητα με την τεχνική DSSS). Οι δύο ταχύτεροι ρυθμοί μετάδοσης λειτουργούν στο 1.375 Mbaud, με 4 και 8 bit ανά baud αντίστοιχα, και χρησιμοποιούν κώδικα Walsh/Hadamard. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να προσαρμοστεί δυναμικά κατά τη λειτουργία του συστήματος, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή ταχύτητα κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες φορτίου και θορύβου. Στην πράξη, η ταχύτητα λειτουργίας του 802.11b είναι σχεδόν πάντα 11 Mbps. Αν και το 802.11b είναι βραδύτερο από το 802.11a, η ευβέλεια του είναι γύρω στις 7 φορές μεγαλύτερη, γεγονός πολύ σημαντικό σε πολλές περιπτώσεις.

Μια βελτιωμένη παραλλαγή του 802.11b, το 802.11g, εγκρίθηκε από το IEEE το Νοέμβριο του 2001 μετά από πολλές διαφωνίες σχετικά με την πατενταρισμένη τεχνολογία που θα χρησιμοποιούσε. Χρησιμοποιεί τη μέθοδο διαμόρφωσης OFDM του 802.11a, λειτουργεί όμως στη στενή ζώνη ISM των

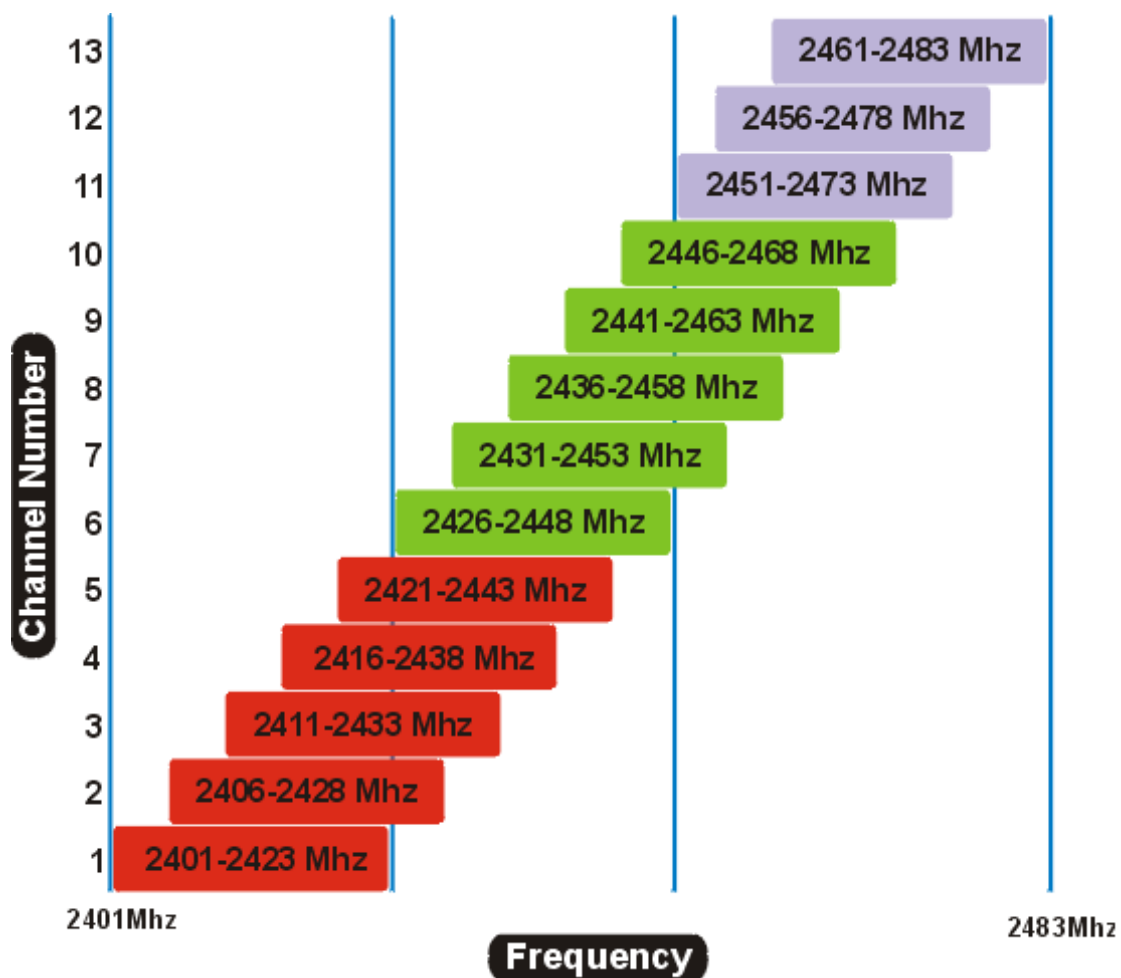
2.4 GHz όπως και το 802.11b. Θεωρητικά μπορεί να λειτουργήσει μέχρι τα 54 Mbps. Δεν είναι ακόμα σαφές κατά πόσον αυτή η ταχύτητα θα επιτυγχάνεται στην πράξη. Αυτό που σημαίνει το πρότυπο αυτό είναι ότι η επιτροπή 802.11 έχει σχεδιάσει τρία διαφορετικά ασύρματα LAN υψηλής ταχύτητας: το 802.11a, το 802.11b και το 802.11g.

3.5.4 Δίκτυο υπολογιστών Ad hoc

Στα δίκτυα υπολογιστών, η ad hoc, είναι μια δικτυακή μέθοδος σύνδεσης που συνήθως απαντάται σε ασύρματες συσκευές. Η σύνδεση αποκαθίσταται για τη διάρκεια μιας περιόδου και δεν απαιτεί κάποια βάση σταθμού (Base station).

3.6. Συχνότητες καναλιών του 802.11

Το φάσμα συχνοτήτων του 802.11 αποτελείται από 13 κανάλια, από τα οποία τα 3 είναι μη επικαλυπτόμενα, δηλαδή κανάλια των οποίων οι συχνότητες δε συμπίπτουν μεταξύ τους. Πρόκειται για τα κανάλια 1, 6 και 11. Ακολουθεί το Σχήμα 3-3 με τις συχνότητες που εκπέμπει το κάθε κανάλι.



Σχήμα 3-3: Συχνότητες καναλιών 802.11

4. Bluetooth

4.1. Γενικά



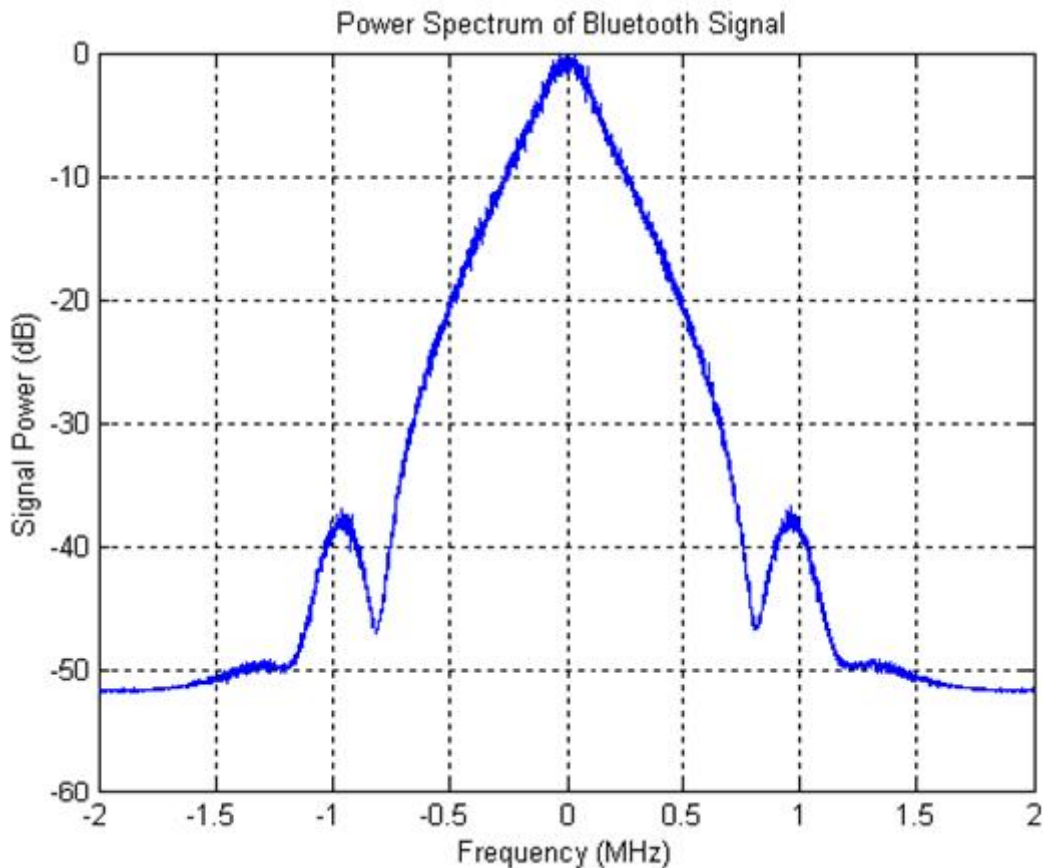
Το **Bluetooth** είναι ο βιομηχανικός ορισμός για τα ασύρματα προσωπικά τοπικά δίκτυα Personal Area Networks (WPANs). Το Bluetooth παρέχει έναν ασύρματο τρόπο επικοινωνίας ανάμεσα σε συσκευές όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, προσωπικούς υπολογιστές, εκτυπωτές καθώς και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές μέσω ενός ασφαλή και φθηνού τρόπου επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας μια παγκοσμίως διαθέσιμη μικρής εμβέλειας ραδιοσυχνότητα την ISM Band (2.4 GHz).

4.2. Τεχνικές λεπτομέρειες

Το πρωτόκολλο Bluetooth επινοήθηκε και αναπτύχθηκε από την Ericsson. Η συχνότητα της ασύρματης λειτουργίας του είναι τα 2.4 GHz, στα οποία παρέχει συνολικά 79 κανάλια επικοινωνίας. Μέσω Bluetooth μπορούν να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα μέχρι και 8 συσκευές. Ανάλογα με την κλάση ισχύος (power class) η συσκευή Bluetooth έχει τη δυνατότητα δικτύωσης σε απόσταση ενός, δέκα ή ακόμα και εκατό μέτρων. Στις παλιότερες εκδόσεις [1.0, 1.0b, 1.1 και 1.2] ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του πρωτοκόλλου άγγιζε τα 700 Kb/sec ενώ στην πρόσφατη δεύτερη έκδοσή του [2.0] αγγίζει τα 2.1 MB/sec. Κάθε συσκευή Bluetooth διατηρεί και εκπέμπει [Broadcast] τα ακόλουθα:

- ✓ Το **όνομα της συσκευής** [Device Name]: Αυτό είναι 48-bit σε μέγεθος και μοναδικό για κάθε συσκευή. Προς διευκόλυνση του καταναλωτικού κοινού μπορεί να γίνει χρήση φιλικότερων ονομάτων που ορίζονται από τον κάτοχο της κάθε συσκευής Bluetooth.
- ✓ Τον **τύπο συσκευής** [Device Class]: Αυτό είναι 24-bit και εκφράζει τα χαρακτηριστικά και τον κατασκευαστή κάθε συσκευής Bluetooth.

Αν και οι διάφορες υλοποιήσεις είναι συχνά σε θέση να πετύχουν μεγαλύτερες ακτίνες κάλυψης, ο στόχος του προτύπου Bluetooth είναι η κάλυψη της περιοχής γύρω από ένα άτομο (περίπου 10 μέτρα). Η φασματική μάσκα, Σχήμα 4-1, για ένα σήμα βασικής ζώνης Bluetooth έχει εύρος ζώνης 1 MHz στα σημεία των -20dB.



Σχήμα 4-1: Φάσμα βασικής ζώνης για το Bluetooth

4.3. Επίτευξη συνδέσεων μεταξύ συσκευών Bluetooth

4.3.1 Αρχιτεκτονική Bluetooth

Μια συσκευή που ενσωματώνει την ασύρματη τεχνολογία Bluetooth αναλαμβάνει τον «επιτελικό» ρόλο (master) και μπορεί να συνδεθεί με 7 συμβατές «υποτελείς» (slave) συσκευές. Το υποτυπώδες δίκτυο των 8 συσκευών (1 επιτελής και 7 υποτελείς) ονομάζεται piconet. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν ανάμεσα στην επιτελή συσκευή και σε μια εκ των υποτελών. Ωστόσο, η επιτελής συσκευή μπορεί να «εναλλάσσει» κυκλικά τις συνδέσεις τις με τις υποτελείς, δίνοντας την εντύπωση της ταυτόχρονης μεταφοράς δεδομένων από περισσότερες από μια συσκευές. Στην πράξη είναι εφικτή και η παράλληλη

μεταφορά δεδομένων, ωστόσο δεν είναι πρακτική η εφαρμογή της στις παλαιότερες (1.x) εκδόσεις του Bluetooth.

Εκτός από τους επτά ενεργούς κόμβους υπηρέτη του μικροσκοπικού δικτύου, μπορούν να υπάρχουν μέχρι και 255 σταθμευμένοι (parked) κόμβοι στο δίκτυο. Οι κόμβοι αυτοί είναι συσκευές τις οποίες ο κύριος έχει φέρει σε κατάσταση χαμηλής ισχύος, έτσι ώστε να μειώσει την κατάσταση των μπαταριών τους. Στη σταθμευμένη κατάσταση, η συσκευή δε μπορεί να κάνει τίποτα άλλο από το να αποκρίνεται σε ένα σήμα ενεργοποίησης ή σε ένα σήμα φάρου από τον κύριο.

Η αιτία για αυτή τη σχεδίαση κυρίου/υπηρέτη είναι ότι οι σχεδιαστές ήθελαν να διευκολύνουν την υλοποίηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων Bluetooth με κόστος μικρότερο από 5\$. Μια συνέπεια αυτής της απόφασης είναι ότι οι υπηρέτες είναι σχετικά «χαζοί», αφού ουσιαστικά κάνουν οτιδήποτε τους λέει ο κύριος. Ουσιαστικά, το μικροσκοπικό δίκτυο είναι ένα συγκεντρωτικό σύστημα TDM, με τον κύριο να ελέγχει το ρολόι και να καθορίζει ποια συσκευή θα επικοινωνήσει σε ποια χρονική υποδοχή. Όλες οι επικοινωνίες πραγματοποιούνται ανάμεσα στον κύριο και έναν υπηρέτη. Δεν είναι εφικτή η άμεση επικοινωνία από υπηρέτη σε υπηρέτη.

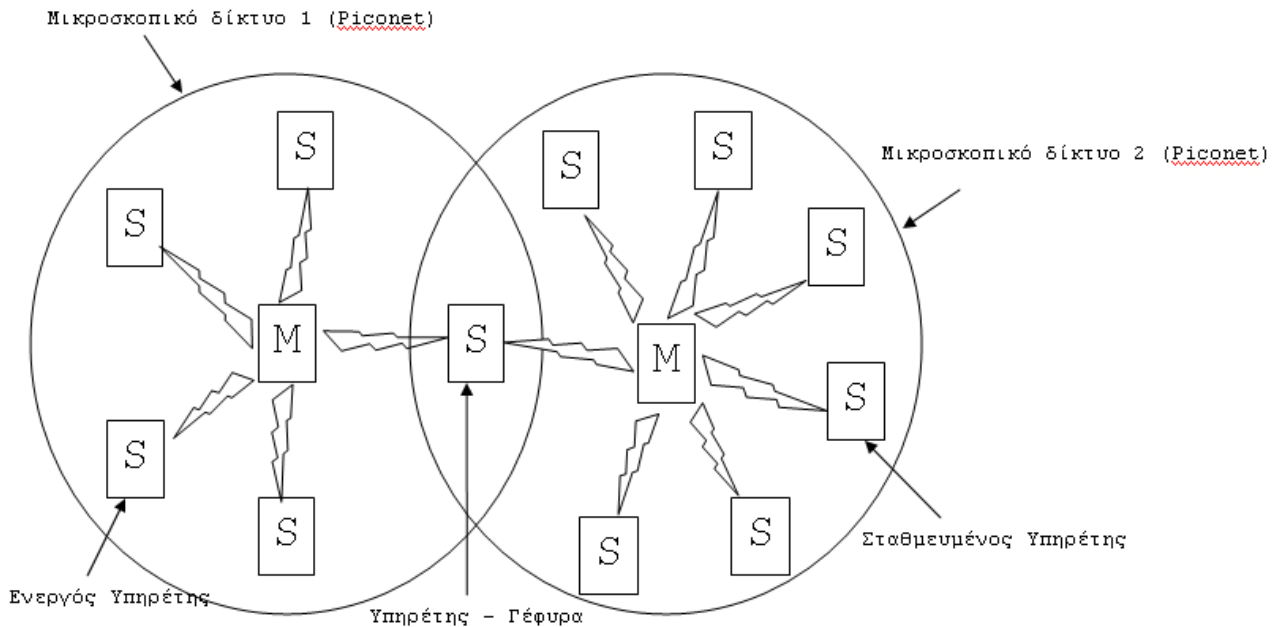
4.3.2 Διαδικασία σύνδεσης

Εξ' ορισμού, κάθε Bluetooth συσκευή εκπέμπει κατά απαίτηση το όνομά της, την κλάση της, τη λίστα των υπηρεσιών (προφίλ) που υποστηρίζει και διάφορες τεχνικές πληροφορίες όπως τον κατασκευαστή της, την έκδοση των προδιαγραφών του Bluetooth που υποστηρίζει κ.α. Κάθε συσκευή διαθέτει μια μοναδική 48-bit διεύθυνση, η οποία όμως δεν αποκαλύπτεται σε περίπτωση αναζήτησης. Αντίθετα, εμφανίζεται το όνομά της, το οποίο μπορεί να καθοριστεί από το χρήστη της. Οι περισσότερες Bluetooth συσκευές εμφανίζουν ένα «φιλικό» όνομα, το οποίο είναι εύκολα αναγνωρίσιμο. Εκτός από τη προαναφερόμενη διεύθυνση, κάθε Bluetooth συσκευή διαθέτει ένα 24-bit αναγνωριστικό, το οποίο καθορίζει τον τύπο της (υπολογιστής, κινητό, hands-free κ.α.). Η πληροφορία αυτή εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή εικονιδίου στις οθόνες των κινητών και των Η/Υ. Επιπρόσθετα οι Bluetooth συσκευές εμφανίζουν κατ' απαίτηση όλα τα «προφίλ» που υποστηρίζουν.

Εφόσον μια συσκευή «εντοπίσει» - μετά από αίτημα του χρήστη - στην εμβέλειά της οποιαδήποτε άλλη συμβατή συσκευή, τότε είναι εφικτή η σύνδεσή τους. Ωστόσο, για τη μεταφορά δεδομένων και την χρήση οποιασδήποτε άλλης υπηρεσίας, απαιτείται συνήθως το «ζευγάρισμα» των δύο συσκευών. «Ζευγάρια» συσκευών μπορούν να πραγματοποιήσουν μια ασφαλής σύνδεση, εφόσον προηγηθεί η εισαγωγή από του χρήστη ενός κοινού κωδικού πρόσβασης (γνωστό και ως passkey). Τυπικά, πριν από την μεταφορά δεδομένων οι

περισσότερες συσκευές προϋποθέτουν την εισαγωγή του κωδικού πρόσβασης. Αφού αυτός εισαχθεί και στις δύο συσκευές, τότε το «ζευγάρι» είναι επιτυχές και όλες οι μελλοντικές συνδέσεις τους πραγματοποιούνται αυτόματα. Το «ζευγάρι» δεν είναι απαραίτητο συνήθως κατά τη μεταφορά ασφαλών πληροφοριών, όπως επαγγελματικές κάρτες ή κατά την εκτύπωση δεδομένων σε εκτυπωτές.

4.4. Τυπικό δίκτυο Bluetooth



Σχήμα 4-2: Δύο μικροσκοπικά δίκτυα μπορούν να συνδεθούν για να σχηματίσουν ένα διάσπαρτο δίκτυο

4.5. Το επίπεδο ραδιοκυμάτων του Bluetooth

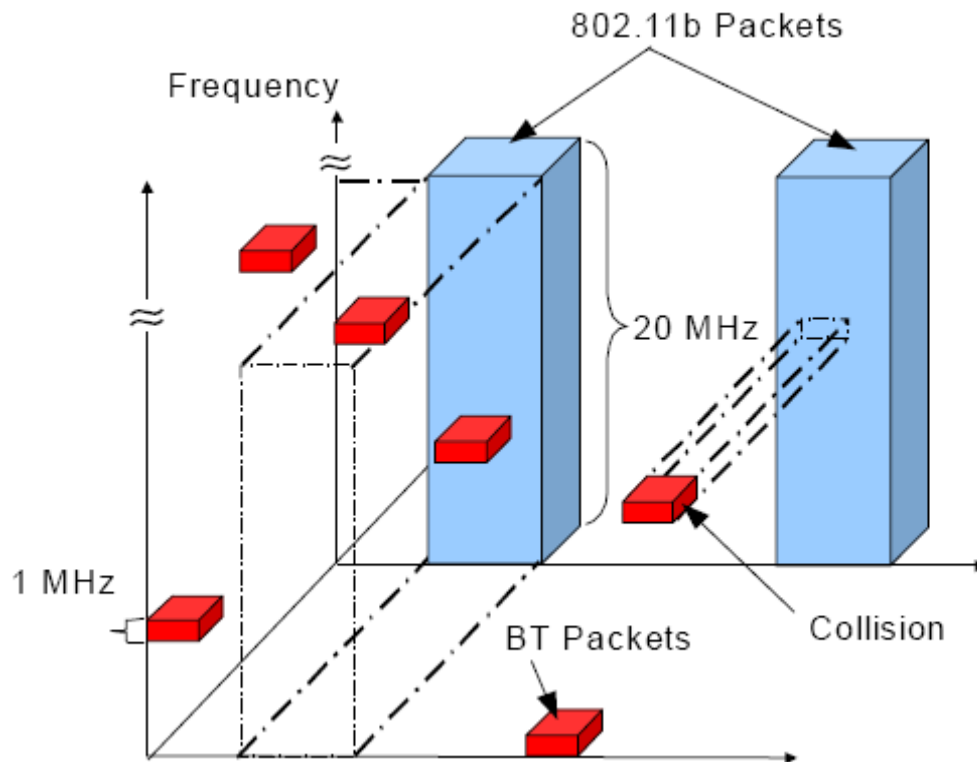
Το επίπεδο ραδιοκυμάτων μεταφέρει τα bit από τον κύριο στο υπηρέτη, ή αντίστροφα. Είναι ένα σύστημα χαμηλής ισχύος με εμβέλεια 10 μέτρων που λειτουργεί στη ζώνη ISM των 2.4 GHz. Η ζώνη διαιρείται σε 79 κανάλια του 1 MHz το καθένα. Η διαμόρφωση είναι η κωδικοποίηση μετατόπισης συχνότητας, με 1 bit ανά 1 MHz, δίνοντας μικτό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ίσο με 1 Mbps, με μεγάλο μέρος από αυτό το φάσμα, όμως, να καταναλώνεται από τις επιβαρύνσεις. Για να κατανέμονται δίκαια τα κανάλια χρησιμοποιείται εξάπλωση φάσματος με συνεχή αλλαγή συχνότητας (FHSS), με 1600 αλλαγές/sec και χρόνο παραμονής ίσο με 625 μsec. Όλοι οι κόμβοι του

μικροσκοπικού δικτύου αλλάζουν συχνότητα ταυτόχρονα, με τον κύριο να επιβάλλει την ακολουθία των συχνοτήτων.

Επειδή τόσο το 802.11 όσο και το Bluetooth λειτουργούν στη ζώνη ISM των 2.4 GHz στα ίδια 79 κανάλια, παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Αφού το Bluetooth αλλάζει συχνότητες πολύ πιο γρήγορα από το 802.11, είναι πολύ πιο πιθανό μια συσκευή Bluetooth να καταστρέψει τις μεταδόσεις του 802.11, παρά το αντίστροφο. Επειδή το 802.11 και το 802.15 είναι και τα δύο πρότυπα του IEEE, το IEEE αναζητεί μια λύση σε αυτό το πρόβλημα αλλά δεν είναι τόσο εύκολο να τη βρει, αφού και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν τη ζώνη ISM για τον ίδιο λόγο: επειδή δεν απαιτείται άδεια χρήσης. Το πρότυπο 802.11a χρησιμοποιεί την άλλη ζώνη ISM (στα 5 GHz) αλλά έχει πολύ μικρότερη εμβέλεια από το 802.11b (λόγω φυσικών ιδιοτήτων των ραδιοκυμάτων), έτσι η χρήση του 802.11a δεν είναι η τέλεια λύση για όλες τις περιπτώσεις. Μερικές εταιρίες έχουν λύσει το πρόβλημα απαγορεύοντας έχουν λύσει το πρόβλημα απαγορεύοντας εντελώς το Bluetooth. Μια λύση που βασίζεται στην αγορά είναι το δίκτυο με τη μεγαλύτερη ισχύ (πολιτικά και οικονομικά, όχι ηλεκτρικά) να απαιτήσει από ασθενέστερο δίκτυο να τροποποιήσει το πρότυπό του, έτσι ώστε να σταματήσει να παρεμβάλλεται με το «ισχυρότερο».

5. Επισκόπηση συνύπαρξης

Η αξιολόγηση της επίδρασης του Bluetooth στο IEEE 802.11 ή αντίστροφα περιλαμβάνει την αξιολόγηση της πιθανότητας τα δύο σήματα να καταλαμβάνουν στο ίδιο διάστημα χρόνου την ίδια συχνότητα. Το Σχήμα 5-1 επεξηγεί τους μηχανισμούς συνύπαρξης μεταξύ των IEEE 802.11b και των Bluetooth ασυρμάτων υπηρεσιών. Ένα ζήτημα στην αξιολόγηση της σύμπτωσης συχνότητας προκύπτει για το αν το σήμα παρεμβολής έχει αρκετή ισχύ σχετικά με το επιθυμητό σήμα που λαμβάνει ο δέκτης προκειμένου να προκαλέσει παρεμβολή. Πρέπει να σημειωθεί ότι παρεμβολή μπορεί να υπάρχει ακόμα και όταν η συχνότητα του σήματος παρεμβολής δεν είναι μέσα στην κύρια ζώνη συχνότητας της επιθυμητής υπηρεσίας. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται παρεμβολή γειτονικού καναλιού (adjacent channel interference).



Σχήμα 5-1: Παρεμβολές 802.11 και Bluetooth

Τελικά τι σημαίνει ο όρος *συλλειτουργία*; Αυτός ο όρος αναφέρεται στην ικανότητα ενός ασυρμάτου δικτύου να λειτουργεί χωρίς πρόβλημα σ' ένα περιβάλλον όπου υπάρχουν «θόρυβος» και παρεμβολές. Για αξιόπιστη λειτουργία, ένας κόμβος σ' ένα ασύρματο δίκτυο, θα πρέπει

- Να συνυπάρχει με θερμικό θόρυβο
- Να συνυπάρχει με άλλους κόμβους από το δικό του δίκτυο
- Να συνυπάρχει με ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιώντας τα ίδια πρωτόκολλα επικοινωνίας
- Να συνυπάρχει με ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας
- Να συνυπάρχει με άλλες υπηρεσίες

6. Συγκριτικός πίνακας Bluetooth – 802.11

| | Bluetooth | Wi-Fi |
|---|---|--|
| Συχνότητα μπάντας | 2.4 GHz | 2.4 GHz, 5 GHz |
| Μηχανισμός συλλειτουργίας | Adaptive Frequency Hopping | Dynamic Frequency Selection |
| Πολυπλεξία | FHSS | DSSS, CCK, OFDM |
| Τυπική ισχύς εξόδου | 1-10 mW (1-10 dBm) | 30-100 mW (15-20 dBm) |
| Ονομαστική ακτίνα | 10 m | 100 m |
| Μέγιστη μονόδρομη ταχύτητα δεδομένων | 732 kb/s | 31.4 Mb/s |
| Βασικό cell | Piconet | BBS |
| Επέκταση του βασικού κελιού | Scatternet | ESS |
| Μέγιστος αριθμός συσκευών στο βασικό κελί | 8 ενεργές συσκευές, 255 σε κατάσταση αναμονής | Απεριόριστες |
| Μέγιστη ταχύτητα σήματος | 1 Mb/s | 54 Mb/s |
| Μέθοδος πρόσβασης καναλιού | Συγκεντρωτική | Διασκορπισμένη |
| Αποδοτικότητα καναλιού | Σταθερή | Μειώνεται ανάλογα με την προσφερόμενη κίνηση |
| Χωρική ικανότητα | From 0.1 to 400 kb/s × m2 | Περίπου 15 kb/s × m2 |
| Προστασία δεδομένων | 16-bit CRC | 32-bit CRC |
| Κρυπτογράφηση | E0 stream cipher | RC4 stream cipher, RES |

Πίνακας 6-1: Συγκριτικός πίνακας χαρακτηριστικών Bluetooth & 802.11

7. Μεθοδολογία Μετρήσεων

7.1. Μετρούμενα μεγέθη

Τα μεγέθη τα οποία προτιμήθηκαν να μετρηθούν και να αξιολογηθούν είναι διαφορετικά σε κάθε πρωτόκολλο ξεχωριστά, TCP και UDP. Ο λόγος είναι η διαφορετική μέθοδος μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιεί το κάθε πρωτόκολλο, με αποτέλεσμα να έχουν ενδιαφέρον διαφορετικά μεγέθη για το καθένα. Όσον αφορά το πρωτόκολλο TCP, έγινε εστίαση των αποτελεσμάτων στο throughput και στο RTT Delay, μεγέθη που απεικονίζουν με σαφή τρόπο τη μετάδοση στο δίκτυο. Αναλόγως, στο πρωτόκολλο UDP τα μεγέθη που χρήζουν προσοχής είναι το Jitter και το Packet to Packet Delay. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως γίνανε και μετρήσεις φασμάτων, με αναλυτή φάσματος, τόσο του 802.11 όσο και του Bluetooth για μια πιο ολοκληρωμένη και σφαιρική εικόνα.

7.2. Ανάλυση μετρούμενων μεγεθών

7.2.1 Φάσμα Ραδιοεκπομπών

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων έγινε καταγραφή του φάσματος των ραδιοεκπομπών στο χώρο. Η καταγραφή αυτή έχει δυο κύριους στόχους:

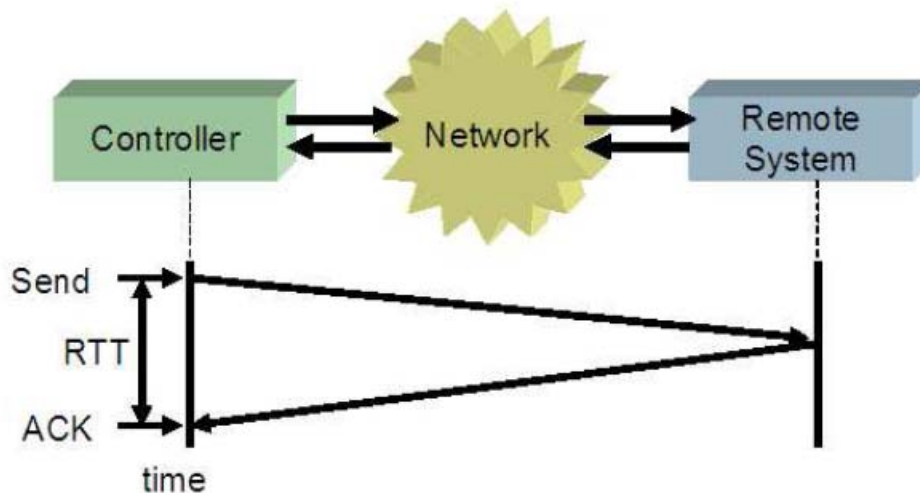
A. Την εξασφάλιση απουσίας παρεμβολών στο χώρο καθώς όπως έχει προαναφερθεί σκοπός των μετρήσεων αυτών είναι να αποτελέσουν μια αναφορά για τη μελέτη του φαινομένου συνύπαρξης

B. Τη παρατήρηση του ποσοστού παρεμβολών ανάμεσα στα ασύρματα δίκτυα.

7.2.2 Throughput

Στα δίκτυα επικοινωνίας, το throughput, είναι το ποσό ψηφιακών στοιχείων ανά χρονική μονάδα που παραδίδεται σε ένα ορισμένο τερματικό σε ένα δίκτυο, από έναν κόμβο δικτύων, ή από έναν κόμβο σε άλλον, παραδείγματος χάριν μέσω μιας σύνδεσης επικοινωνίας. Το throughput μετριέται συνήθως σε ψηφία ανά δευτερόλεπτο (bit/s ή BPS). Το συνολικό throughput συστημάτων είναι το σύνολο των ρυθμών μετάδοσης που επιτυγχάνεται σε όλα τα τερματικά σε ένα δίκτυο. Συχνά, το συνολικό throughput, συγχέεται με το throughput. Το συνολικό ή μέγιστο throughput για ένα δίκτυο είναι συνώνυμο με τη χωρητικότητα του δικτύου.

7.2.3 RTT delay



Σχήμα 7-1: Υπολογισμός RTT delay

Η παράμετρος RTT delay (round trip time delay) ορίζεται σαν το χρονικό διάστημα που απαιτείται από ένα μήνυμα να μεταφερθεί σε ένα απομακρυσμένο κόμβο και να επιστρέψει ξανά στον αποστολέα. Η παράμετρος RTT Delay είναι σημαντική στα συστήματα που απαιτούν τη διπλής κατεύθυνσης επικοινωνία, όπως η φωνητική τηλεφωνία (Voice telephony) ή η μετάδοση δεδομένων με επιβεβαίωση όπου η παράμετρος RTT delay έχει άμεση επίπτωση στο throughput. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί και το πρωτόκολλο TCP το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα για τη δικτυακή επικοινωνία υπολογιστών. Ανάλογα με τη φύση του δικτύου η παράμετρος αυτή μπορεί να έχει τιμές από μερικά msec μέχρι και αρκετά δευτερόλεπτα. Για το πρωτόκολλο αυτό η παράμετρος RTT Delay υπολογίζεται μετρώντας το χρόνο που μεσολαβεί για να γίνει μια 3μερή χειραψία (3-way handshake) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7-1.

7.2.4 Inter-packet delay variation (Jitter)

Η μεταβολή της καθυστέρησης από πακέτο σε πακέτο (Inter-packet delay variation) μετριέται σε πακέτα που ανήκουν στη ίδια ροή πληροφορίας. Το Inter-packet delay variation αποτελεί ένδειξη για τις μεταβολές στην καθυστέρηση που υπόκειται το κάθε πακέτο σε ένα δίκτυο. Οι μεγάλες τιμές για το Jitter αποκαλύπτουν συνήθως καθυστερήσεις αναμονής στο δίκτυο.

Το Jitter παρουσιάζει διαφορετικά συμπτώματα, ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιείται. Η περιήγηση στον ιστό είναι μια υπηρεσία σχετικά ανεκτική στο jitter, αλλά οποιοδήποτε είδος υπηρεσίας ροής δεδομένων (φωνή, βίντεο, μουσική) είναι αρκετά ευαίσθητη στο Jitter, και η ποιότητα υπηρεσίας επηρεάζεται από το Jitter.

Το Jitter είναι ένα σύμπτωμα άλλων προβλημάτων. Είναι ένας δείκτης ότι υπάρχει κάτι άλλο λανθασμένο. Συχνά, αυτό το "κάτι άλλο" μπορεί να είναι ο κορεσμός του εύρους ζώνης (μερικές φορές αποκαλούμενος συμφόρηση) - ή η μη ύπαρξη αρκετού εύρους ζώνης για να εξυπηρετήσει το φορτίο κυκλοφορίας.

7.3. Πειραματική μέτρηση δικτυακής κίνησης WLAN και WPAN

Για τις μετρήσεις απόδοσης είναι απαραίτητη η δημιουργία δικτυακής κίνησης από ένα κόμβο σε έναν άλλο κόμβο και η καταγραφή των χαρακτηριστικών της μετάδοσης αυτής. Δεδομένου ότι στον τυπικό γραφειακό χώρο, όπου έγιναν οι μετρήσεις, τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την παροχή των διάφορων υπηρεσιών είναι τα TCP και UDP, στις μετρήσεις απόδοσης της παρούσας πτυχιακής χρησιμοποιείται κίνηση TCP και UDP. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται προγράμματα δημιουργίας «ψεύτικης» κίνησης.

Η μεθοδολογία που συνήθως ακολουθείται είναι:

- Δημιουργία κίνησης (TCP ή UDP) από ένα κόμβο προς ένα άλλο.
- Καταγραφή κίνησης (πακέτων)
- Ανάλυση κίνησης
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Για τη εφαρμογή των παραπάνω απαιτείται η χρήση ειδικού για το σκοπό αυτό λογισμικού. Για κάθε μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν 2 κόμβοι, για κάθε ανεξάρτητο δίκτυο.

Για την περίπτωση του 802.11, ο πρώτος κόμβος παίζει το ρόλο του Server και συνδέεται μέσω καλωδίου πάνω σε ένα Access Point. Ο δεύτερος κόμβος διαθέτει κάρτα ασύρματης πρόσβασης και επικοινωνεί με τον πρώτο μέσω του Access Point. Για την περίπτωση του 802.11, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και σε λειτουργία Ad-Hoc. Σε αυτή την λειτουργία δεν υπάρχει κάποιο Access Point αλλά δυο υπολογιστές συνδέονται Peer-to-Peer μέσω 2 καρτών δικτύου 802.11. Για τις ανάγκες του πειράματος, ο ένας υπολογιστής ήταν φορητός, λόγω της ευκολίας μετακίνησής του. Κάθε κόμβος έχει ένα προσωπικό IP (Private Address).

Παρόμοια μεθοδολογία ακολουθήθηκε και στην περίπτωση του Bluetooth. Δυο υπολογιστές επικοινωνούν μεταξύ τους πάνω από δυο USB Bluetooth adapters. Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων προσοχή δόθηκε στο να μην υπάρχει άλλη ασύρματη δραστηριότητα στο χώρο αυτό. Έτσι η επίδοση των συστημάτων εξαρτάται μόνο από την ικανότητα λειτουργίας στη πολυοδική εξασθένιση (multipath fading) του ασύρματου καναλιού που συναντάτε σε εσωτερικούς χώρους.

7.3.1 TCP vs UDP

Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση των δύο προτύπων TCP και UDP για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του καθενός καθώς και για τις μεταξύ τους διαφορές.

- **TCP:** Είναι το πιο κοινό πρωτόκολλο στο Internet αλλά και στα τοπικά δίκτυα. Ο λόγος είναι ότι το TCP προσφέρει διόρθωση λαθών. Όταν και όπου χρησιμοποιείται, το TCP εγγυάται την παράδοση των πακέτων. Αυτό το οφείλει σε μία μέθοδο που χρησιμοποιεί, το λεγόμενο «έλεγχο ροής» (flow control). Ο έλεγχος ροής καθορίζει για το πότε τα δεδομένα χρειάζεται να ξανασταλούν, και σταματά τη ροή των δεδομένων μέχρι, προηγούμενα πακέτα, να μεταφερθούν με επιτυχία. Η ανεπιτυχή αποστολή ενός πακέτου μπορεί να συμβεί λόγω κάποιας «σύγκρουσης» (collision) πακέτων που παρουσιάζεται. Όταν συμβεί αυτό, ο client ξαναζητά το πακέτο από τον server μέχρι να ολοκληρωθεί όλο το πακέτο και να γίνει πανομοιότυπο με το αρχικό.
- **UDP:** Είναι ένα άλλο κοινώς χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο στο Internet και στα τοπικά δίκτυα. Ωστόσο το UDP, δε χρησιμοποιείται ποτέ για την αποστολή σημαντικών δεδομένων. Η χρήση που συνηθίζεται για τη μετάδοση streaming video και audio λόγω του ότι προσφέρει μεγάλη ταχύτητα. Ο λόγος που το UDP είναι ταχύτερο από το TCP είναι ότι δε χρησιμοποιεί έλεγχο ροής αλλά ούτε και διόρθωση λαθών. Σε κάθε μετάδοση μέσω ενός δικτύου, τα δεδομένα επηρεάζονται από «συγκρούσεις» και τα λάθη είναι δεδομένα. Το UDP ενδιαφέρεται αποκλειστικά για την ταχύτητα. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που το streaming video δεν είναι υψηλής ποιότητας.

7.3.2 Δημιουργία και ανίχνευση δικτυακής κίνησης tcp και udp

Για τη δημιουργία κίνησης των δικτύων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα `iperf` (<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>) το οποίο «τρέχει» σε περιβάλλον `command prompt`. Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα επιτυγχάνεται η αποστολή δεδομένων από έναν αποστολέα (server) προς έναν παραλήπτη (client) πάνω από ένα IP δίκτυο, για όσο χρόνο ορίζει ο χρήστης. Για την ακρίβεια το `iperf` είναι ένα εργαλείο το οποίο μετράει το μέγιστο TCP Bandwidth, επιτρέποντας τη ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων καθώς και τη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του UDP. Μπορεί να εξαγάγει αναφορές για το Bandwidth, το delay jitter και το datagram loss.

Αρχικά πρέπει ο server να εκτελέσει την εντολή `windump`, Σχήμα 7-2, για να μπορεί να ανιχνεύσει όλη την

κίνηση (sniffing). Στη συνέχεια πάλι ο server εκτελεί τη εντολή του `iperf`, Σχήμα 7-3, ξεκινώντας έτσι τη δημιουργία κίνησης. Είναι σειρά του client να εκτελέσει τις δικές εντολές. Αντίστοιχα λοιπόν και ο client, εκτελεί την εντολή του `windump`, Σχήμα 7-4, για να μπορεί κι αυτός επίσης να έχει δυνατότητα ανίχνευσης της κίνησης, πριν αρχίσει η ροή της. Η εντολή `iperf`, Σχήμα 7-5, είναι κι εδώ απαραίτητη για να γίνει η αποδοχή της κίνησης που ζήτησε ο server. Η εντολή του `windump` θα εκτελεστεί από δύο φορές στο server και στον client. Η πρώτη φορά θα εκτελεστεί για να γίνει ανίχνευση της tcp κίνησης και η δεύτερη για την udp κίνηση. Το ίδιο ισχύει προφανώς και για την εντολή του `iperf`, έκαστος server και client, θα την εκτελέσουν 2 φορές.

```

E:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\mtr\prh>windump -w wireless_laptop_chan1_tcp -i 3 tcp port 5001
windump: listening on Device: NPF_{6068B8F2-B3B7-41A0-813B-85B57656769C}
133202 packets captured
133323 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
E:\mtr\prh>
    
```

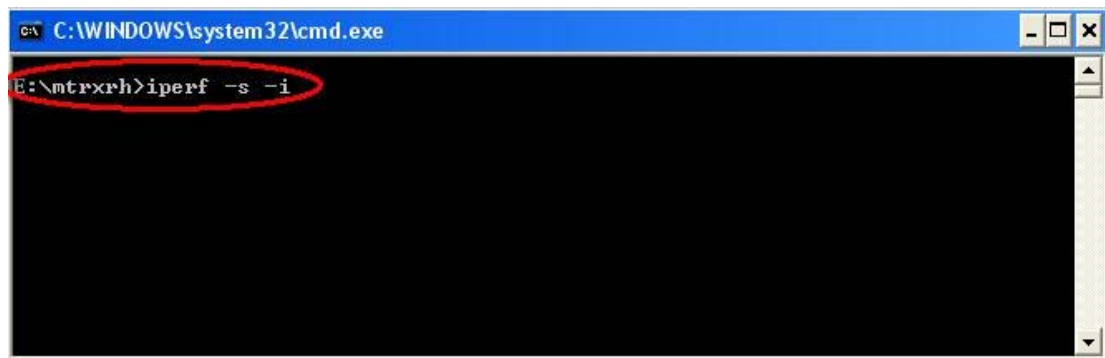
Σχήμα 7-2: Εντολή `windump` στο server (κίνηση tcp)

Όπως φαίνεται και παραπάνω η εντολή που εκτελέστηκε είναι η εξής:

`windump -w wireless_laptop_chan1_tcp -i 3 tcp port 5001`

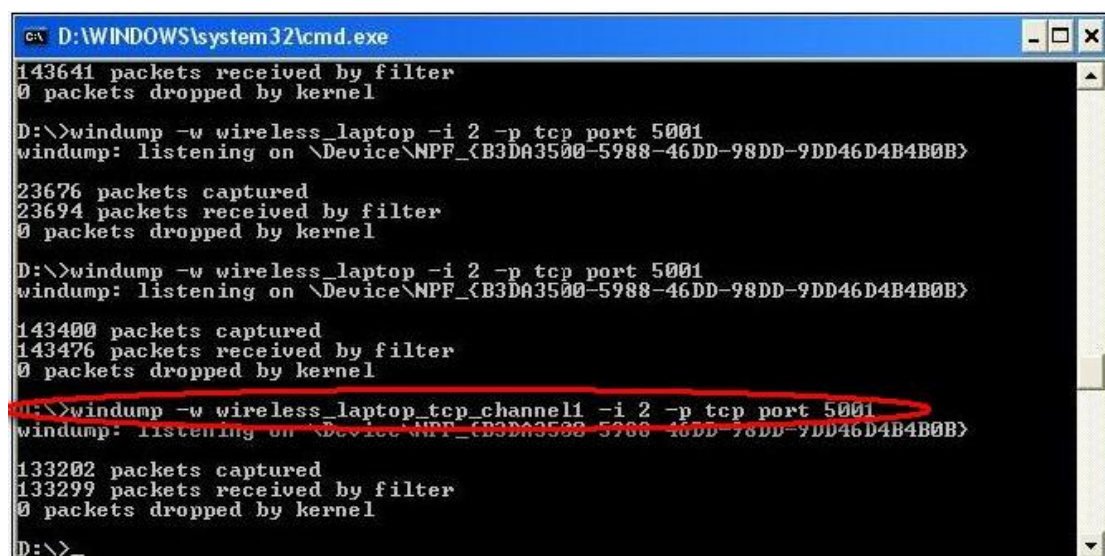
Η παράμετρος `-w` χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργεί το `windump` ένα αρχείο, στο οποίο θα συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για μετέπειτα ανάλυση. Στη συνέχεια αναγράφεται το όνομα του αρχείου το οποίο θα περιέχει αυτά τα αποτελέσματα. Η παράμετρος `-i` ακολουθείται από τον αριθμό 3. Ο αριθμός 3 δεν επιλέχτηκε τυχαία. Εκτελώντας την εντολή `windump -D`, εμφανίστηκαν οι διάφορες δικτυακές συσκευές που ήταν εγκατεστημένες στο server των μετρήσεων. Εκεί η ασύρματη κάρτα των μετρήσεων, της οποίας η κίνηση έπρεπε να μετρηθεί, είχε το interface 3(εξ' ου και το γράμμα `-i`). Ακολουθεί η παράμετρος `tcp`, με την οποία γίνεται «υπόδειξη» στο πρόγραμμα να μετρήσει την tcp κίνηση του δικτύου. Στο

τέλος μπήκε η πόρτα στην οποία θα επιτευχθεί η επικοινωνία (εντολή *port 5001*).



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\mtr\rh>iperf -s -i
```

Σχήμα 7-3: Εντολή iperf στο server (κίνηση tcp)



```
D:\WINDOWS\system32\cmd.exe
143641 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
D:\>windump -w wireless_laptop -i 2 -p tcp port 5001
windump: listening on \Device\NPF_{B3DA3500-5988-46DD-98DD-9DD46D4B4B0B}
23676 packets captured
23694 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
D:\>windump -w wireless_laptop -i 2 -p tcp port 5001
windump: listening on \Device\NPF_{B3DA3500-5988-46DD-98DD-9DD46D4B4B0B}
143400 packets captured
143476 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
D:\>windump -w wireless_laptop_tcp_channel1 -i 2 -p tcp port 5001
windump: listening on \Device\NPF_{B3DA3500-5988-46DD-98DD-9DD46D4B4B0B}
133202 packets captured
133299 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
D:\>
```

Σχήμα 7-4: Εντολή windump στον client (κίνηση tcp)

Η μόνη διαφοροποίηση της εντολής που εκτελέστηκε στον client είναι η αλλαγή του interface (από 3 εδώ έχουμε 2), καθώς και η παράμετρος *-p*, με την οποία γίνεται ανίχνευση της κίνησης από το συγκεκριμένο interface και όχι από τα υπόλοιπα που υπάρχουν.

```

c:\ D:\WINDOWS\system32\cmd.exe
[1916] 7.0- 8.0 sec 32.0 KBytes 262 Kbits/sec
[1916] 8.0- 9.0 sec 40.0 KBytes 328 Kbits/sec
[1916] 9.0-10.0 sec 48.0 KBytes 393 Kbits/sec
[1916] 0.0-10.7 sec 416 KBytes 319 Kbits/sec

D:\>iperf -c 192.168.2.1 -t 10 -i 1
-----
Client connecting to 192.168.2.1, TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[1916] local 192.168.2.3 port 1053 connected with 192.168.2.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[1916] 0.0- 1.0 sec  48.0 KBytes  393 Kbits/sec
[1916] 1.0- 2.0 sec  40.0 KBytes  328 Kbits/sec
[1916] 2.0- 3.0 sec  40.0 KBytes  328 Kbits/sec
[1916] 3.0- 4.0 sec  40.0 KBytes  328 Kbits/sec
[1916] 4.0- 5.0 sec  32.0 KBytes  262 Kbits/sec
[1916] 5.0- 6.0 sec  40.0 KBytes  328 Kbits/sec
[1916] 6.0- 7.0 sec  40.0 KBytes  328 Kbits/sec
[1916] 7.0- 8.0 sec  48.0 KBytes  393 Kbits/sec
[1916] 8.0- 9.0 sec  32.0 KBytes  262 Kbits/sec
[1916] 9.0-10.0 sec  40.0 KBytes  328 Kbits/sec
[1916] 0.0-10.6 sec  408 KBytes  315 Kbits/sec

D:\>iperf -c 192.168.2.1 -t 60 -i 1

```

Σχήμα 7-5: Εντολή iperf στον client (κίνηση tcp)

Στην εντολή iperf στον client `iperf -c 192.168.2.1 -t 60 -i 1`, υπάρχει η παράμετρος `-c` η οποία δηλώνει ότι αυτός είναι ο client του δικτύου. Κατόπιν ακολουθεί η διεύθυνση IP του server. Η παράμετρος `-t 60` δείχνει το χρόνο για τον οποίο επιλέξαμε να γίνεται η αποστολή και λήψη πακέτων (ο συνολικός χρόνος που υπάρχει δικτυακή κίνηση). Το `-i 1` (το `i` είναι το αρχικό της αγγλικής λέξης interval) είναι η συχνότητα που θα αποστέλλονται τα πακέτα (στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγεί ανά 1 δευτερόλεπτο).

Οι τελικές πληροφορίες που εξάγονται από τη χρήση των παραπάνω προγραμμάτων είναι οι εξής:

- Καταρχήν υπάρχουν τα άμεσα αποτελέσματα, τα οποία εμφανίζονται στην οθόνη, Σχήμα 7-6, μετά το πέρας των 60 δευτερολέπτων, που ήταν κάθε φορά ο χρόνος της εξομοίωσης. Αυτά είναι το bandwidth του δικτύου, τα συνολικά πακέτα, καθώς και τα συνολικά Mb που ανιχνεύθηκαν. Επίσης υπάρχουν πληροφορίες για τα bytes που μεταφέρονται ανά ένα δευτερόλεπτο, όπως και για το στιγμιαίο bandwidth του δικτύου.
- Ένα binary αρχείο αποθηκεύει όλες τις λεπτομέρειες της κάθε μέτρησης. Εκεί υπάρχει δυνατότητα εύρεσης του throughput, των δεδομένων που χάθηκαν, του Round Trip Time, του TTL και πολλές άλλες χρήσιμες πληροφορίες.

| [ID] | Interval | Transfer | Bandwidth |
|--------|---------------|-------------|----------------|
| [1916] | 40.0-41.0 sec | 1.77 MBytes | 14.8 Mbits/sec |
| [1916] | 41.0-42.0 sec | 1.84 MBytes | 15.5 Mbits/sec |
| [1916] | 42.0-43.0 sec | 1.79 MBytes | 15.0 Mbits/sec |
| [1916] | 43.0-44.0 sec | 2.02 MBytes | 16.9 Mbits/sec |
| [1916] | 44.0-45.0 sec | 2.09 MBytes | 17.5 Mbits/sec |
| [1916] | 45.0-46.0 sec | 1.98 MBytes | 16.6 Mbits/sec |
| [1916] | 46.0-47.0 sec | 2.03 MBytes | 17.0 Mbits/sec |
| [1916] | 47.0-48.0 sec | 2.01 MBytes | 16.8 Mbits/sec |
| [1916] | 48.0-49.0 sec | 2.04 MBytes | 17.1 Mbits/sec |
| [1916] | 49.0-50.0 sec | 2.05 MBytes | 17.2 Mbits/sec |
| [1916] | 50.0-51.0 sec | 2.07 MBytes | 17.4 Mbits/sec |
| [1916] | 51.0-52.0 sec | 2.13 MBytes | 17.8 Mbits/sec |
| [1916] | 52.0-53.0 sec | 2.09 MBytes | 17.5 Mbits/sec |
| [1916] | 53.0-54.0 sec | 2.01 MBytes | 16.8 Mbits/sec |
| [1916] | 54.0-55.0 sec | 2.02 MBytes | 17.0 Mbits/sec |
| [1916] | 55.0-56.0 sec | 2.04 MBytes | 17.1 Mbits/sec |
| [1916] | 56.0-57.0 sec | 2.05 MBytes | 17.2 Mbits/sec |
| [1916] | 57.0-58.0 sec | 2.08 MBytes | 17.4 Mbits/sec |
| [1916] | 58.0-59.0 sec | 2.13 MBytes | 17.8 Mbits/sec |
| [1916] | 59.0-60.0 sec | 2.01 MBytes | 16.8 Mbits/sec |
| [ID] | Interval | Transfer | Bandwidth |
| [1916] | 0.0-60.0 sec | 116 MBytes | 16.2 Mbits/sec |

Σχήμα 7-6: Αποτελέσματα (κίνηση tcp)

Τα παραπάνω screenshots είναι απλά παραδείγματα για να διευκρινιστεί ο τρόπος δουλειάς της εργασίας. Οι δοκιμές γίνανε αλληπαλληλες φορές χρησιμοποιώντας τα ίδια εργαλεία.

7.3.3 Σύλληψη πακέτων

Κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης, ένα πρόγραμμα σύλληψης πακέτων πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Στις μετρήσεις που έγιναν χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Windump (<http://www.winpcap.org/>) και στο server και στον client. Το Windump είναι μια εύχρηστη εφαρμογή ανάλυσης της κίνησης ενός δικτύου και εκτελείται σε γραμμή εντολών. Επιτρέπει στους χρήστες να ανιχνεύσουν και να καταγράψουν κάθε είδους δικτυακή κίνηση, στον υπολογιστή που είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα, καθώς επίσης και την κίνηση πακέτων από άλλα υποδίκτυα.

7.4. Επεξεργασία και ανάλυση αποτελεσμάτων

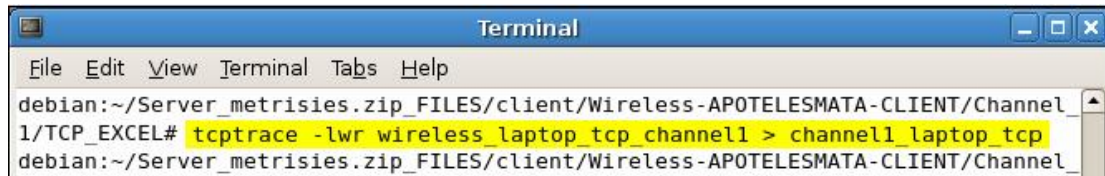
Το binary αρχείο που δημιουργείται από την εντολή windump εξάγεται σε μορφή μη αναγνώσιμη από τα windows. Επομένως έγινε μεταφορά όλων των αρχείων σε λειτουργικό σύστημα Linux και εκεί ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία εξήχθησαν τα αναγνώσιμα πλέον δεδομένα.

7.4.1 1^ο στάδιο επεξεργασίας

Σ' αυτό το πρώτο στάδιο γίνεται η μετατροπή του binary αρχείου σε μορφή αναγνώσιμη, Σχήμα 7-7. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι η

```
tcptrace -lwr wireless_laptop_tcp_channel1 > channel_1_laptop_tcp.
```

Αποτέλεσμα του πρώτου σταδίου είναι το αρχείο `channel_1_laptop_tcp`. Ανοίγοντάς το με οποιοδήποτε επεξεργαστή κειμένου έχουμε όλες τις λεπτομέρειες της σύνδεσης του δικτύου.



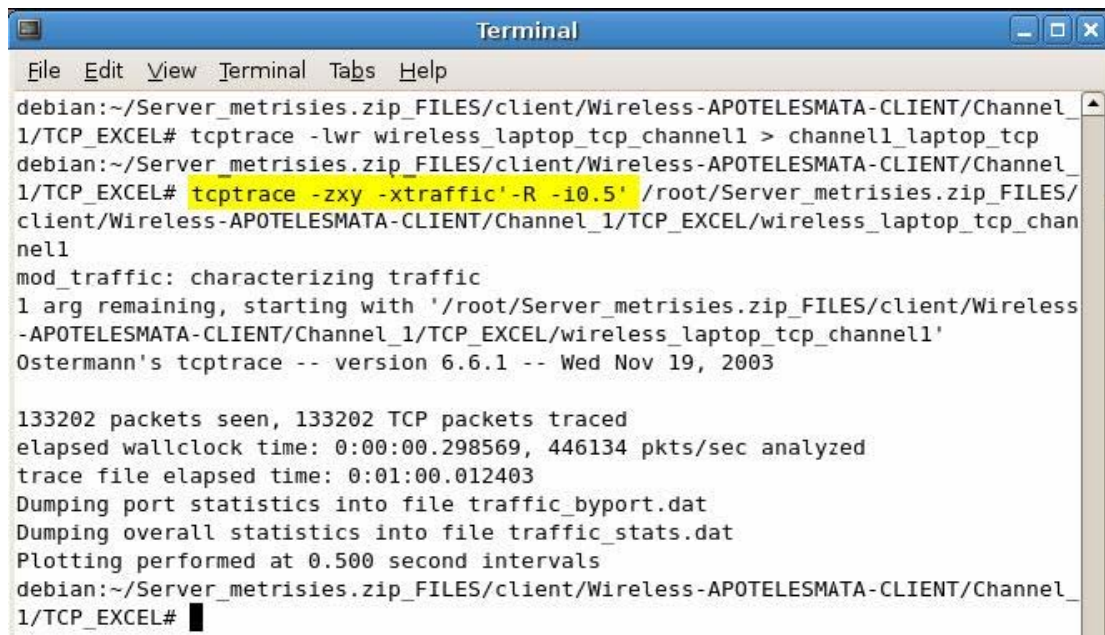
```

Terminal
File Edit View Terminal Tabs Help
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL# tcptrace -lwr wireless_laptop_tcp_channel1 > channel1_laptop_tcp
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_
    
```

Σχήμα 7-7: Εντολή `tcptrace` (1^ο βήμα)

7.4.2 2^ο στάδιο επεξεργασίας

Η επόμενη εντολή που εκτελέστηκε είναι η `tcptrace -zxy -xtraffic'-R -i0.5'`, Σχήμα 7-8. Με την εντολή αυτή δημιουργείτε ένα αρχείο με την ονομασία `traffic_rtt.gpl` το οποίο περιέχει τη στατιστική κίνηση του RTT. Η παράμετρος `-zxy` σχεδιάζει και τους δύο άξονες, ξεκινώντας απ' το σημείο 0. Το `-xtraffic` χρησιμοποιείται για να τυπώνεται όλη η κίνηση. Το `-R` μπαίνει για να εξαχθεί το RTT και το `-i0.5` δηλώνει πως θα υπάρξουν αποτελέσματα ανά 0.5 δευτερόλεπτα. Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε και η παράμετρος `-B`, Σχήμα 7-9, στη θέση της `-R` για την εξαγωγή του throughput.



```

Terminal
File Edit View Terminal Tabs Help
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL# tcptrace -lwr wireless_laptop_tcp_channel1 > channel1_laptop_tcp
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL# tcptrace -zxy -xtraffic'-R -i0.5' /root/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL/wireless_laptop_tcp_channel1
mod_traffic: characterizing traffic
1 arg remaining, starting with '/root/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL/wireless_laptop_tcp_channel1'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.1 -- Wed Nov 19, 2003

133202 packets seen, 133202 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.298569, 446134 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.012403
Dumping port statistics into file traffic_byport.dat
Dumping overall statistics into file traffic_stats.dat
Plotting performed at 0.500 second intervals
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL# █
    
```

Σχήμα 7-8: Εντολή `tcptrace` για RTT Delay (2^ο βήμα)

```

Terminal
File Edit View Terminal Tabs Help
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL# tcptrace -zxy -xtraffic' -B -i0.5' /root/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL/wireless_laptop_tcp_channel1
mod_traffic: characterizing traffic
1 arg remaining, starting with '/root/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL/wireless_laptop_tcp_channel1'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.1 -- Wed Nov 19, 2003

133202 packets seen, 133202 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.335391, 397154 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.012403
Dumping port statistics into file traffic_byport.dat
Dumping overall statistics into file traffic_stats.dat
Plotting performed at 0.500 second intervals
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_1/TCP_EXCEL# █
    
```

Σχήμα 7-9: Εντολή tcptrace για throughput (2° βήμα)

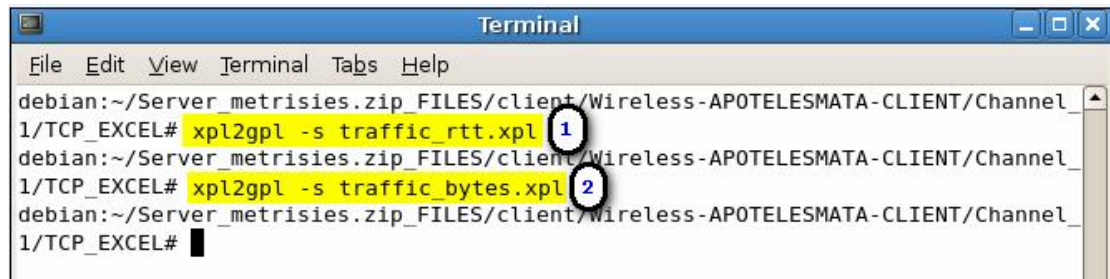
7.4.3 3° στάδιο επεξεργασίας

Εκτελέστηκε η εντολή `xpl2gpl -s traffic_rtt.xpl`. Με την εντολή αυτή γίνεται η μετατροπή του αρχείου `traffic_rtt.gpl` του προηγούμενου βήματος σε τρία νέα αρχεία με τα στατιστικά Round Trip Time της μέτρησης. Τα αρχεία έχουν πάρει τα ονόματα

```

traffic_rtt.dataset.blue.line,
traffic_rtt.dataset.red.line
traffic_rtt.dataset.blue.line.
    
```

Από αυτά τα τρία αρχεία, αυτό που περιέχει της χρήσιμες πληροφορίες, είναι το αρχείο με τη λέξη Blue. Το συγκεκριμένο αρχείο περιέχει τις **μέσες** τιμές του RTT γι' αυτό το λόγω είναι και το πλέον χρήσιμο. Πλέον το αρχείο αυτό είναι αναγνώσιμο από το Microsoft Excel. Ανοίγοντάς το εμφανίζονται δύο στήλες με δεδομένα. Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δευτερόλεπτα της κίνησής μας και στη διπλανή στήλη τα ms της καθυστέρησης. Η ίδια εντολή, Σχήμα 7-10, με διαφορετικά αρχεία εισαγωγής και εξαγωγής, ισχύει και για το throughput, με τη διαφορά ότι στη δεύτερη στήλη των αποτελεσμάτων εμφανίζονται τα bytes που μεταφερθήκανε.



```
Terminal
File Edit View Terminal Tabs Help
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_
1/TCP_EXCEL# xpl2gpl -s traffic_rtt.xpl 1
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_
1/TCP_EXCEL# xpl2gpl -s traffic_bytes.xpl 2
debian:~/Server_metrisies.zip_FILES/client/Wireless-APOTELESMATA-CLIENT/Channel_
1/TCP_EXCEL# █
```

Σχήμα 7-10: Εντολή `xpl2gpl` (1)RTT, (2)Throughput

7.5. Συνθήκες μέτρησης

Λόγω της δυσκολίας να βρεθεί εργαστηριακή αίθουσα η οποία να είναι πλήρως ανεπηρέαστη από εξωτερικές αλλά και εσωτερικές παρεμβολές, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μία αίθουσα, 45 τ.μ. περίπου. Στην αίθουσα υπήρχαν διάφορα έπιπλα, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, παράθυρα καθώς και κάποια άτομα τα οποία είχαν ελευθερία κινήσεων (δεν ήταν στατικά). Η μόνη εξασφάλιση που μπορούσε να γίνει ήταν η μη ύπαρξη κάποιου άλλου ασύρματου δικτύου ή κάποιας άλλης συσκευής ασύρματης δικτύωσης στο χώρο των μετρήσεων, σε εμβέλεια τουλάχιστον 10 μέτρων. Σε κάθε μέτρηση ξεχωριστά γινόταν προσπάθεια να μείνει ο χώρος αμετάβλητος, για όση διάρκεια γινόταν η μέτρηση. Όπως γίνεται κατανοητό, σε ένα τόσο ευμετάβλητο χώρο, στον οποίο οι ανακλάσεις, οι παρεμβολές και ο θόρυβος ήταν στοιχεία μόνιμα, οι μετρήσεις δε θα μπορούσαν να ήταν οι καλύτερες δυνατές όσον αφορά την αξιοπιστία και την ακρίβειά τους. Σε όλες τις μετρήσεις η χωροταξία της αίθουσας παρέμεινε αμετάβλητη.

8. Εξοπλισμός

Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει το υλικό (hardware) που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.

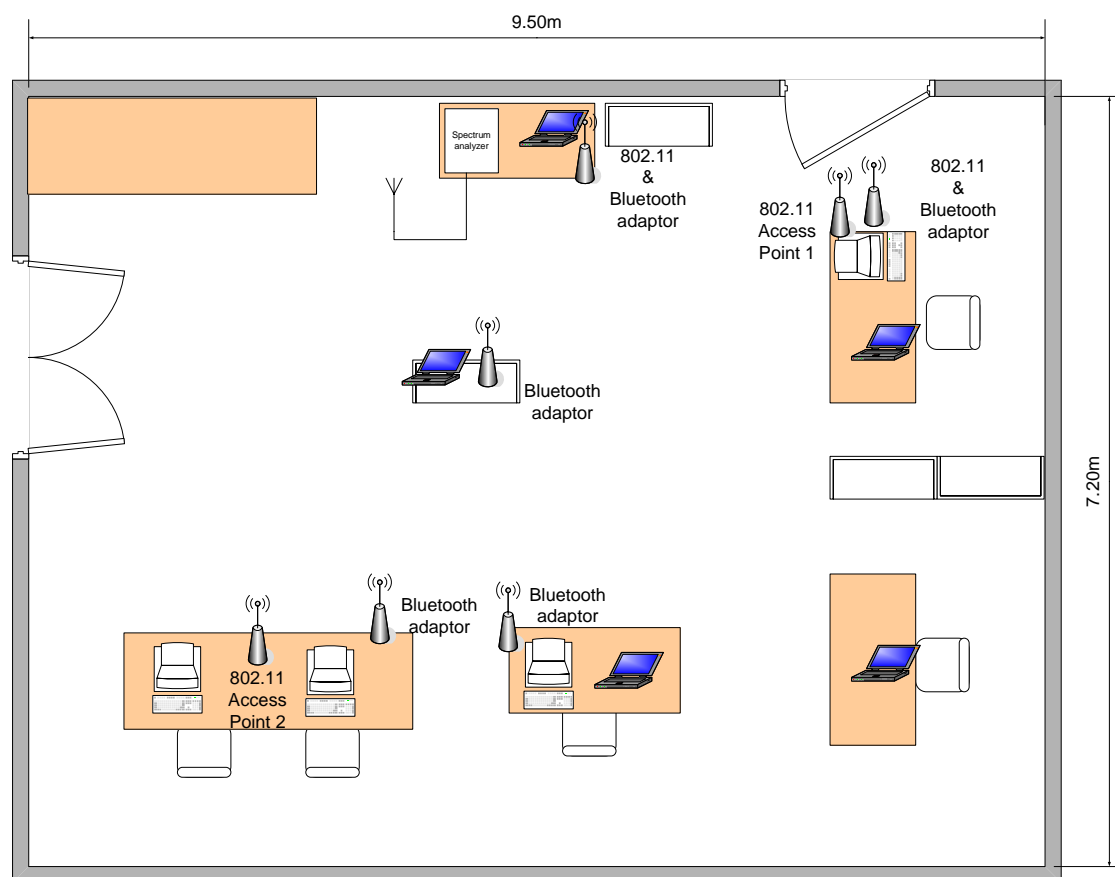
| | |
|-------------------|--|
| Access Point | Dlink 802.11b/g DSL-G604T |
| Bluetooth adaptor | Level 1 MDU-0005USB Gigabyte GN-BT 02 |
| PC | Intel Based PC- Pentium 4 |
| Laptop | Asus |
| Antennas | 2.1 dBi dipole omni |
| Spectrum Analyzer | Agilent E4407B |

Πίνακας 8-1: Hardware

9. Διεξαγωγή μετρήσεων

Για τις ανάγκες των μετρήσεων, ο εξοπλισμός που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μεταφέρθηκε στο εργαστήριο μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων του ΤΕΙ Κρήτης. Το εργαστήριο αυτό στεγάζεται σε ένα καινούριο χώρο όπου δεν υπάρχει εγκατάσταση ασύρματης δικτυακής υποδομής. Επίσης το εργαστήριο αυτό βρίσκεται σε ένα σχετικά απομονωμένο χώρο επιτρέποντας την πραγματοποίηση των μετρήσεων απουσία εξωτερικών παρεμβολών.

9.1. Συνθήκες μετρήσεων



Σχήμα 9-1: Κάτοψη χώρου μετρήσεων

Μια κάτοψη της αίθουσας στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις απεικονίζεται στο Σχήμα 9-1. Η αίθουσα είναι ένας χώρος 45 τ.μ. περίπου. Στην αίθουσα υπήρχαν σχετικά λίγα έπιπλα, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, παράθυρα καθώς και κάποια άτομα του εργαστηρίου.

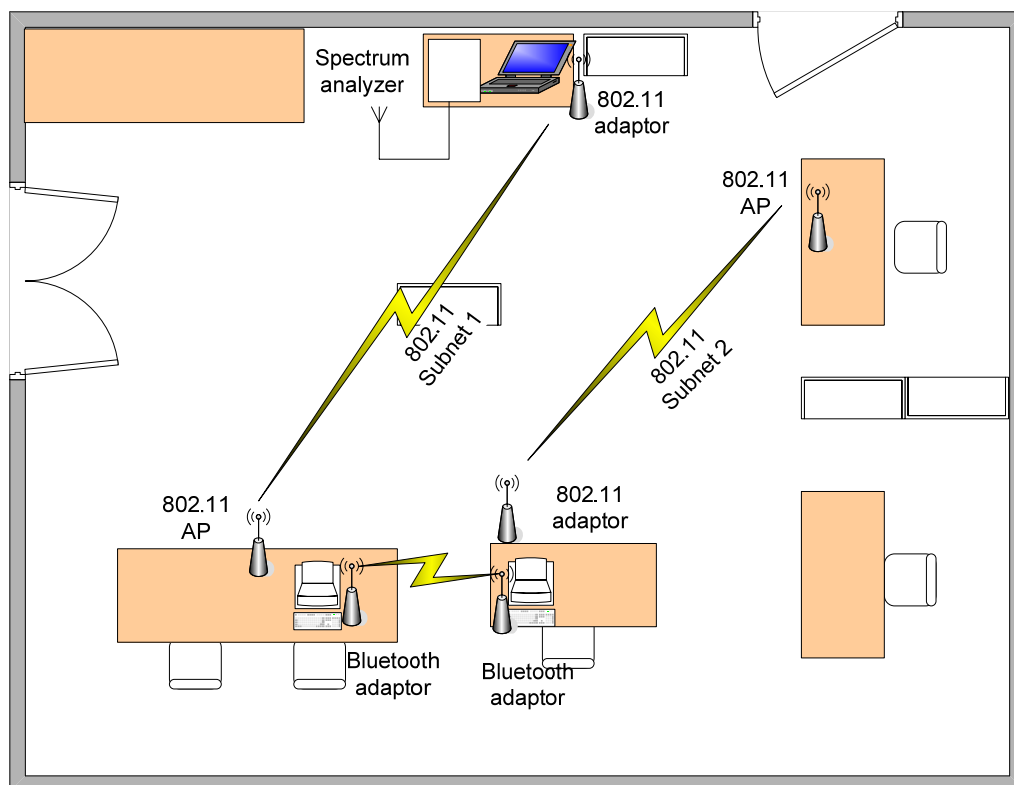
Ο χώρος ελέγχθηκε με τη βοήθεια του αναλυτή φάσματος για ύπαρξη πιθανής ασύρματης δραστηριότητας. Έτσι πιστοποιήθηκε η διεξαγωγή των μετρήσεων απουσία εξωγενών

παρεμβολών στο κανάλι, αφού σκοπός είναι η καταγραφή της απόδοσης των δικτύων σε πραγματικές συνθήκες απουσίας παρεμβολών.

Αρκετές εποπτικές μετρήσεις έγιναν για να βρεθούν διαφοροποιήσεις στα διάφορα σημεία του χώρου. Στην περίπτωση του 802.11 οι μετρήσεις δεν διαφοροποιήθηκαν σε σχέση με το σημείο μέτρησης στο χώρο. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο αφού όλα τα σημεία στο χώρο αυτό βρίσκονται σε οπτική επαφή με τα Access Points. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τα κανάλια 1, 6 και 11 αφού τα 3 αυτά κανάλια καλύπτουν ολόκληρη τη 2.4GHz ISM μπάνια. Στην περίπτωση του Bluetooth παρουσιάστηκαν διαφοροποιήσεις σε σχέση με την απόσταση και όχι σε σχέση με την χωροταξία της μέτρησης. Για το λόγο αυτό καταγράφηκαν διάφορες μετρήσεις σε διαφορετικές αποστάσεις.

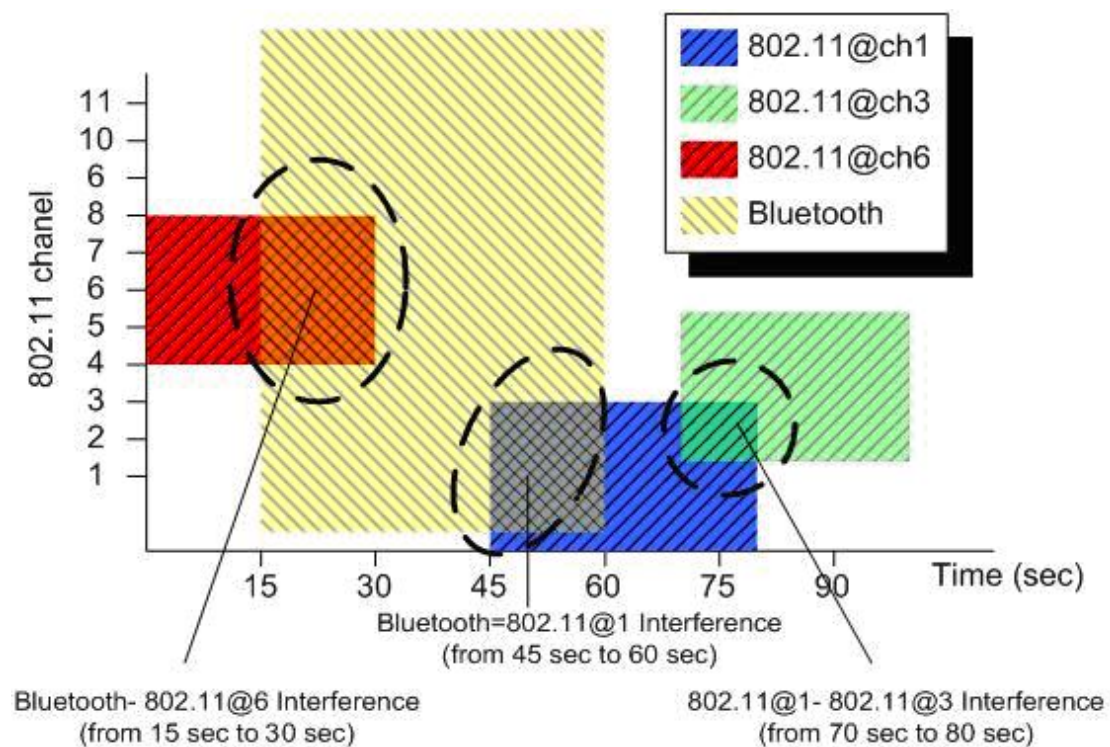
9.2. Χωροταξία δικτύων

Στο χώρο των μετρήσεων, εγκαταστάθηκαν 2 ασύρματα υποδίκτυα 802.11 (802.11 subnet1 και 802.11 subnet2) και ένα υποδίκτυο Bluetooth. Με τον τρόπο αυτό μετρήσεις έγιναν για την μελέτη της συνύπαρξης τόσο των 802.11 ασυρμάτων δικτύων όσο και τη συνύπαρξη ανάμεσα στα 802.11 δίκτυα και τα Bluetooth. Η χωροταξία των μετρήσεων περιγράφεται στο Σχήμα 9-2.



Σχήμα 9-2: Χωροταξία μετρήσεων

Για την περιγραφή της κάθε περίπτωσης μέτρησης χρησιμοποιείται το πλέγμα συχνότητας-χρόνου για τη σχεδίαση της χρονικής εξέλιξης των παρεμβολών. Έτσι προκύπτουν σχήματα όπως αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 9-3.



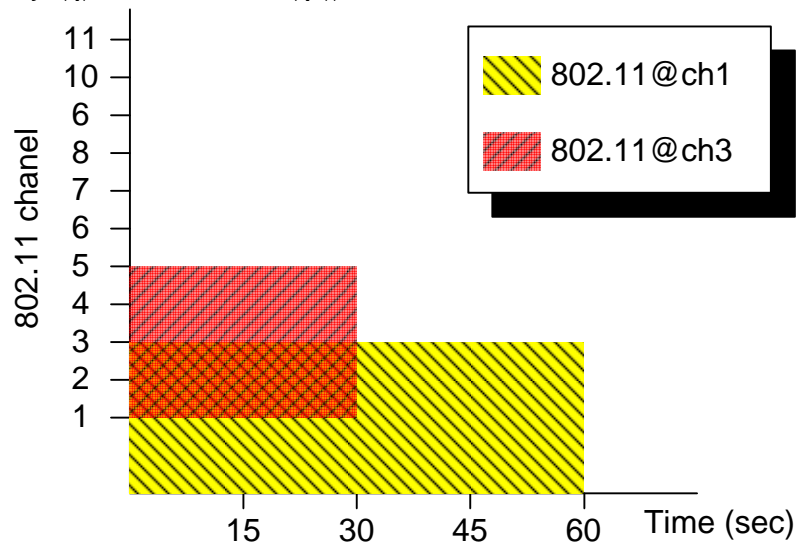
Σχήμα 9-3: Επεξήγηση αναπαράστασης στο πλέγμα χρόνου συχνότητας

10. Αποτελέσματα Μετρήσεων

10.1. 1^ο σενάριο μέτρησης

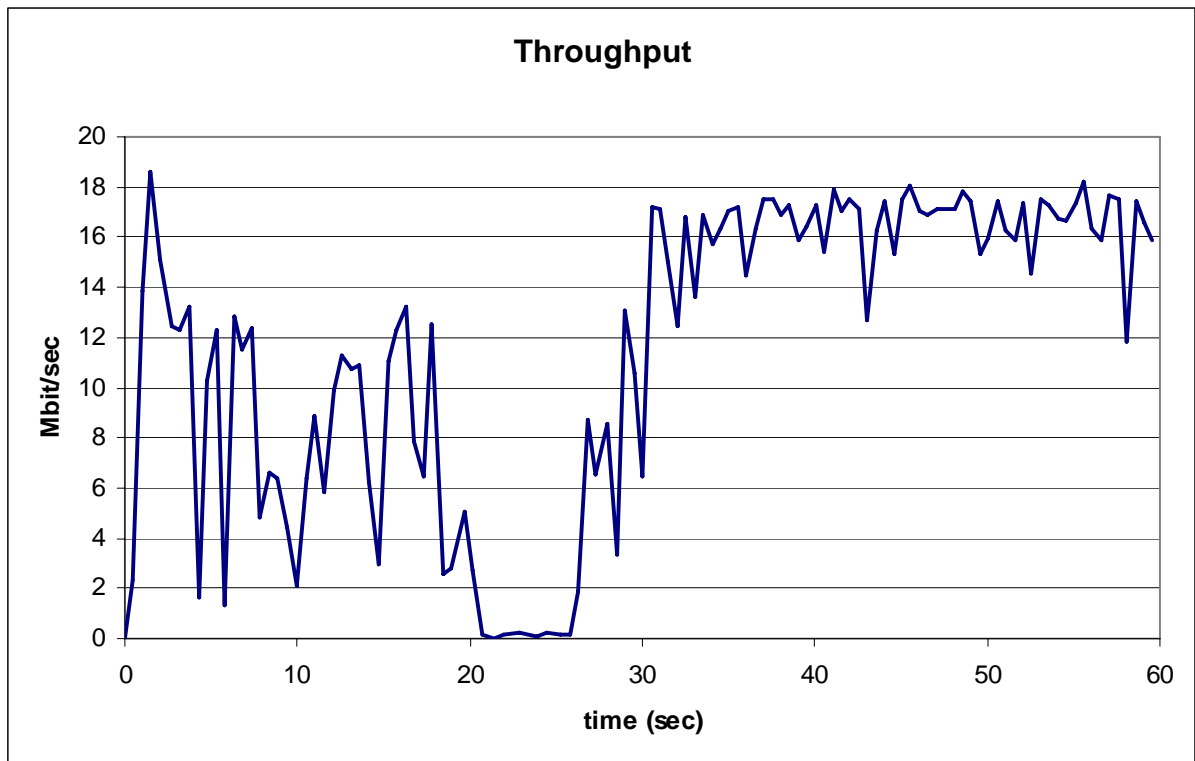
10.1.1 Περιγραφή

Σαν 1^ο σενάριο έχουν δημιουργηθεί 2 ασύρματα δίκτυα τα οποία λειτουργούν στα κανάλια 1 και 3. Επειδή τα κανάλια 1 και 3 επικαλύπτονται υπάρχει αλληλο-παρεμβολή. Η περιγραφή του 1^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-1.

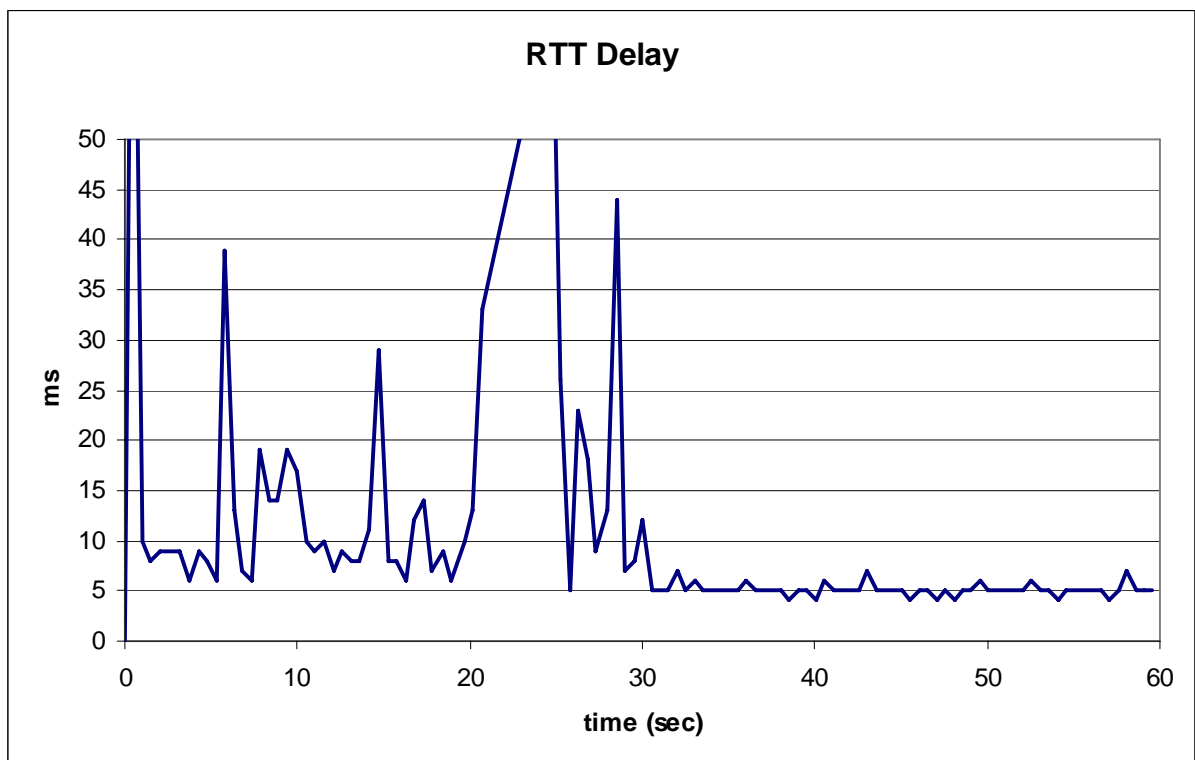


Σχήμα 10-1: 1^ο σενάριο, 802.11 (ch1) - 802.11 (ch3) co-existence

10.1.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-2: 1^ο σενάριο, 802.11 Throughput



Σχήμα 10-3: 1^ο σενάριο, 802.11 RTT-delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|----------------------------------|----------|-----------|
| Average throughput (Mb/s) | 7.12 | 16.49 |
| Average RTT-delay (msec) | 21.47 | 5.07 |

Πίνακας 10-1: 1^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.1.2.1 Αναφορά μέτρησης

Στον Πίνακα 10-2 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_cas1_tcp_client'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov 4, 2004

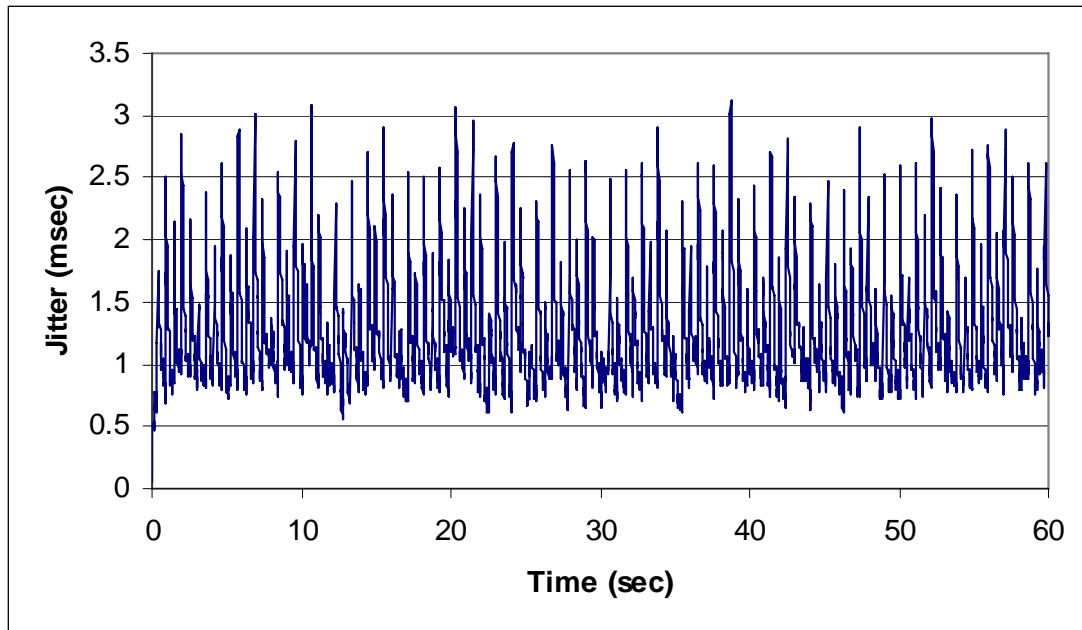
86419 packets seen, 86419 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.622955, 138724 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.111985
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:      192.168.1.10:1206
  host b:      192.168.1.2:5001
  complete conn: yes
  first packet: Thu Dec 14 15:57:05.746340 2006
  last packet:  Thu Dec 14 15:58:05.858326 2006
  elapsed time: 0:01:00.111985
  total packets: 86419
  filename:    subnet1_cas1_tcp_client
a->b:          b->a:
total packets:      63608          total packets:      22811
ack pkts sent:      63607          ack pkts sent:      22811
pure acks sent:     2              pure acks sent:      22809
sack pkts sent:     0              sack pkts sent:      32
dsack pkts sent:   0              dsack pkts sent:    0
max sack blks/ack: 0              max sack blks/ack:  1
unique bytes sent:  86769688        unique bytes sent:   0
actual data pkts:   63604          actual data pkts:   0
actual data bytes:  86855096        actual data bytes:   0
rexmt data pkts:    62             rexmt data pkts:    0
rexmt data bytes:   85408          rexmt data bytes:   0
zwnd probe pkts:   0              zwnd probe pkts:    0
zwnd probe bytes:  0              zwnd probe bytes:   0
outoforder pkts:   0              outoforder pkts:    0
pushed data pkts:  10605          pushed data pkts:    0
SYN/FIN pkts sent: 1/1           SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:          Y              req sack:            Y
sacks sent:        0              sacks sent:           32
urgent data pkts:  0 pkts         urgent data pkts:    0 pkts
urgent data bytes: 0 bytes        urgent data bytes:   0 bytes
mss requested:     1460 bytes      mss requested:       1460 bytes
max segm size:     1460 bytes      max segm size:       0 bytes
min segm size:     24 bytes        min segm size:       0 bytes
avg segm size:     1365 bytes      avg segm size:       0 bytes
max win adv:       17520 bytes      max win adv:         65535 bytes
min win adv:       16384 bytes      min win adv:         61723 bytes
zero win adv:      0 times         zero win adv:        0 times
avg win adv:       17519 bytes      avg win adv:         65533 bytes
initial window:    1484 bytes      initial window:      0 bytes
initial window:    2 pkts         initial window:      0 pkts
ttl stream length: 86769688 bytes  ttl stream length:   0 bytes
missed data:       0 bytes         missed data:          0 bytes
truncated data:    84183746 bytes   truncated data:       0 bytes
truncated packets: 63603 pkts      truncated packets:   0 pkts
data xmit time:    60.099 secs      data xmit time:      0.000 secs
idletime max:      796.7 ms         idletime max:        1211.5 ms

```

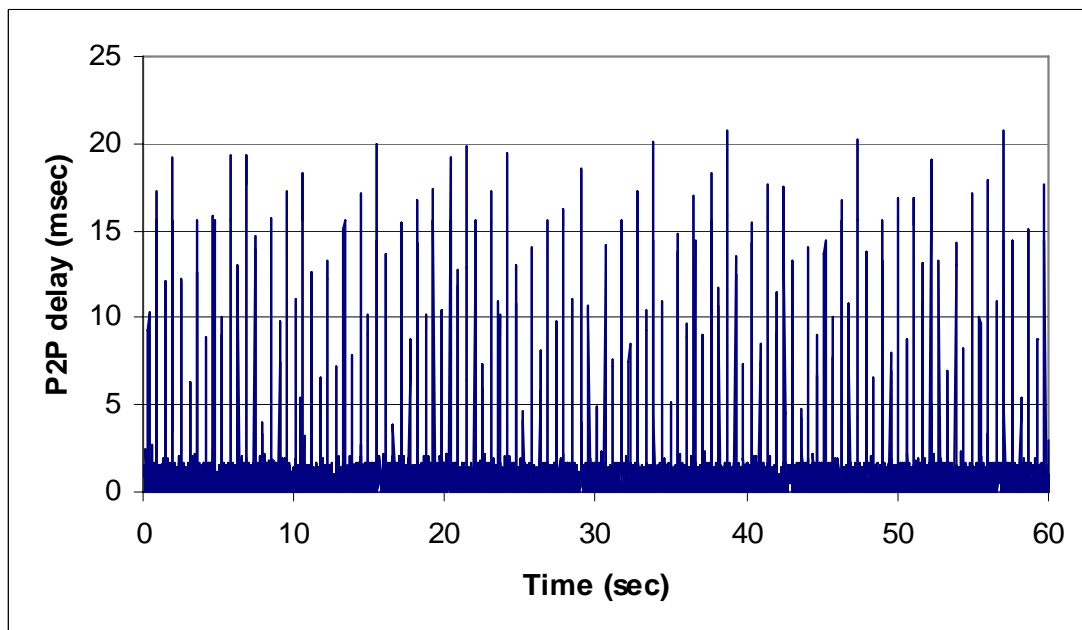
| | | | |
|--|-------------|--------------------|--------|
| throughput: | 1443467 Bps | throughput: | 0 Bps |
| RTT samples: | 22700 | RTT samples: | 2 |
| RTT min: | 1.9 ms | RTT min: | 0.0 ms |
| RTT max: | 780.2 ms | RTT max: | 0.0 ms |
| RTT avg: | 7.7 ms | RTT avg: | 0.0 ms |
| RTT stdev: | 17.8 ms | RTT stdev: | 0.0 ms |
| RTT from 3WHS: | 3.7 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 17332 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 2.3 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 780.2 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 7.4 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 18.1 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 23 | post-loss acks: | 0 |
| For the following 5 RTT statistics, only ACKs for multiply-transmitted segments (ambiguous ACKs) were considered. Times are taken from the last instance of a segment. | | | |
| ambiguous acks: | 9 | ambiguous acks: | 0 |
| RTT min (last): | 0.7 ms | RTT min (last): | 0.0 ms |
| RTT max (last): | 403.5 ms | RTT max (last): | 0.0 ms |
| RTT avg (last): | 79.3 ms | RTT avg (last): | 0.0 ms |
| RTT sdv (last): | 140.5 ms | RTT sdv (last): | 0.0 ms |
| segs cum acked: | 40814 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 77 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 10 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 2 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 0.7 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 1648.1 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 562.4 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 438.6 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-2: Tcptrace - 802.11 (ch1) - 802.11 (ch3) co-existence

10.1.3 Αποτελέσματα UDP



Σχήμα 10-4: 1^ο σενάριο, Jitter



Σχήμα 10-5: 1^ο σενάριο, Packet to Packet Delay

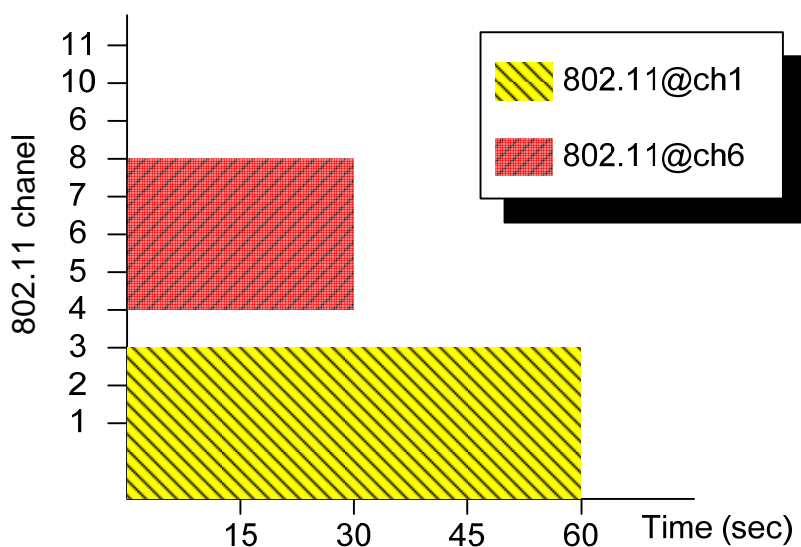
| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|--------------------------|----------|-----------|
| average Jitter (msec) | 1.253 | 1.251 |
| min Jitter (msec) | 0.151 | 0.609 |
| max Jitter (msec) | 3.080 | 3.125 |
| average P2P delay (msec) | 1.259 | 1.255 |
| min P2P delay (msec) | 0.000 | 0.000 |
| max P2P delay (msec) | 20.012 | 20.798 |

Πίνακας 10-3: 1^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP

10.2. 2^ο σενάριο

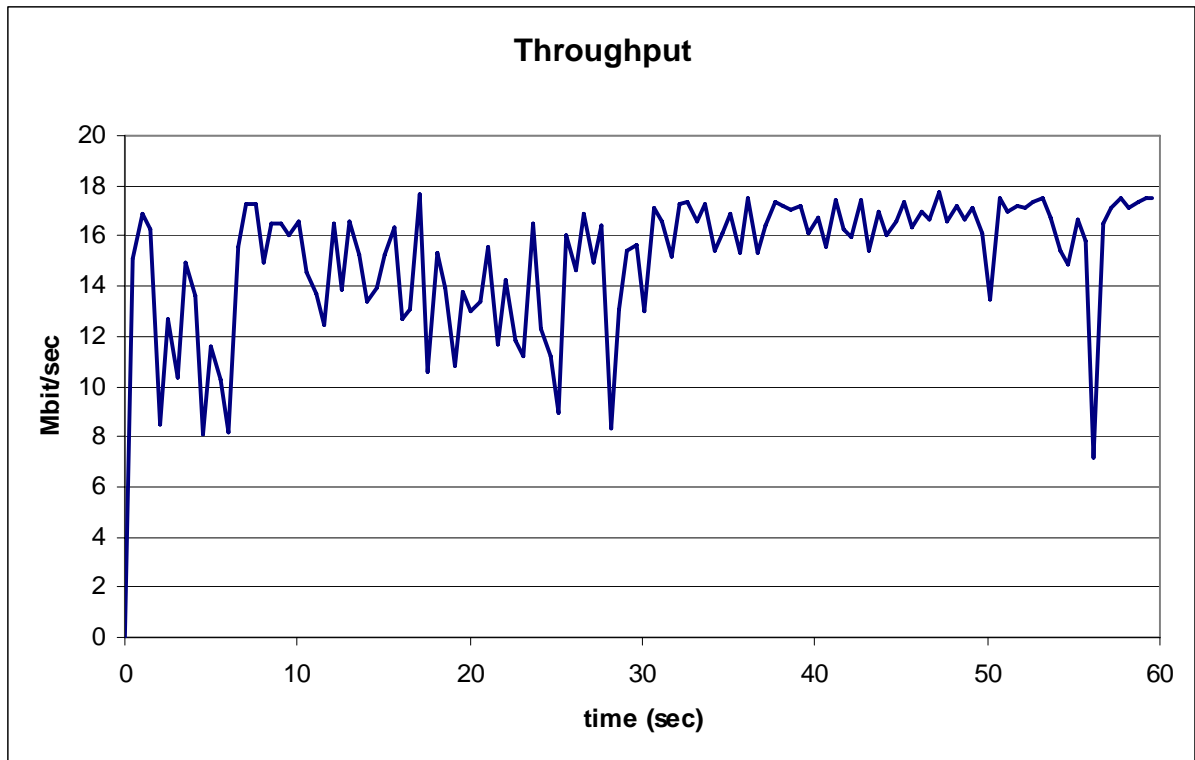
10.2.1 Περιγραφή

Σαν 2^ο σενάριο έχουν δημιουργηθεί 2 ασύρματα δίκτυα τα οποία λειτουργούν στα κανάλια 1 και 6. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει αλληλο-παρεμβολή λόγω του ότι δεν υφίσταται επικάλυψη του ενός πάνω στο άλλο. Η περιγραφή του 2^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-6.

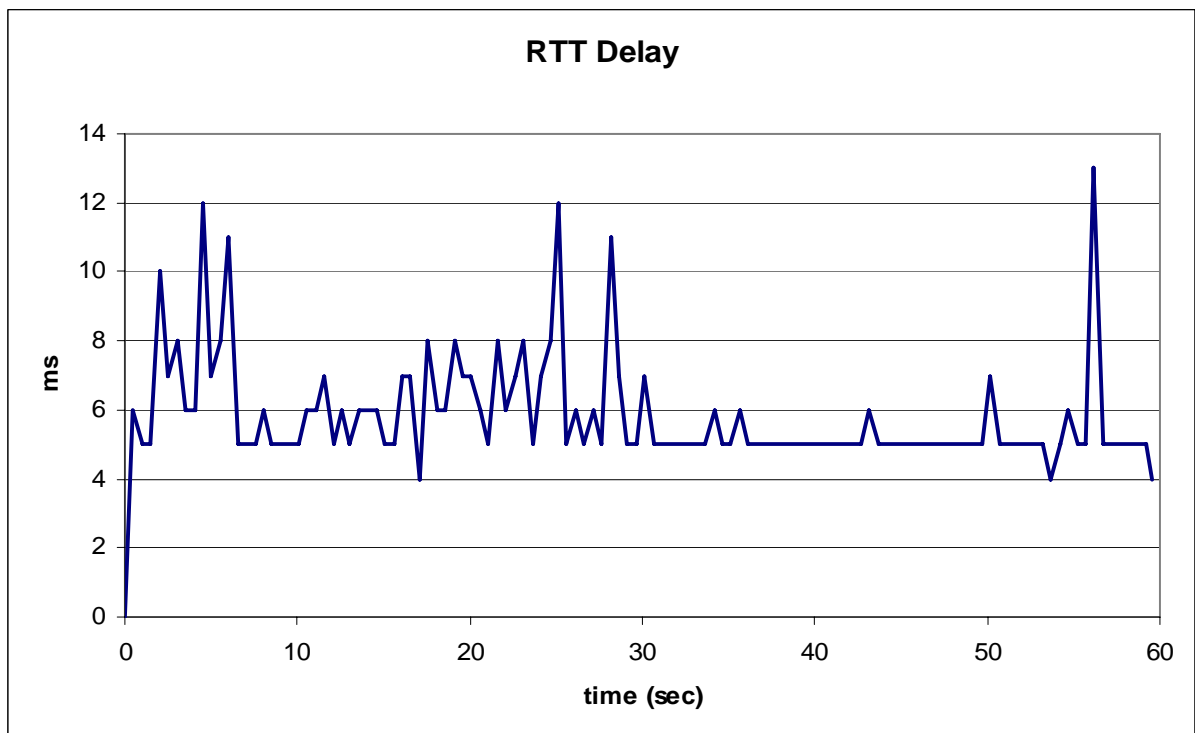


Σχήμα 10-6: 2^ο σενάριο, 802.11 (ch1)-802.11 (ch6) co-existence

10.2.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-7: 2^ο σενάριο, 802.11 Throughput



Σχήμα 10-8: 2^ο σενάριο, 802.11 RTT-delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|----------------------------------|----------|-----------|
| Average throughput (Mb/s) | 13.87 | 16.12 |
| Average RTT-delay (msc) | 6.43 | 5.35 |

Πίνακας 10-4: 2° σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.2.2.1 Αναφορά μέτρησης

Στον Πίνακα 10-5 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_case2_tcp_client'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov  4, 2004

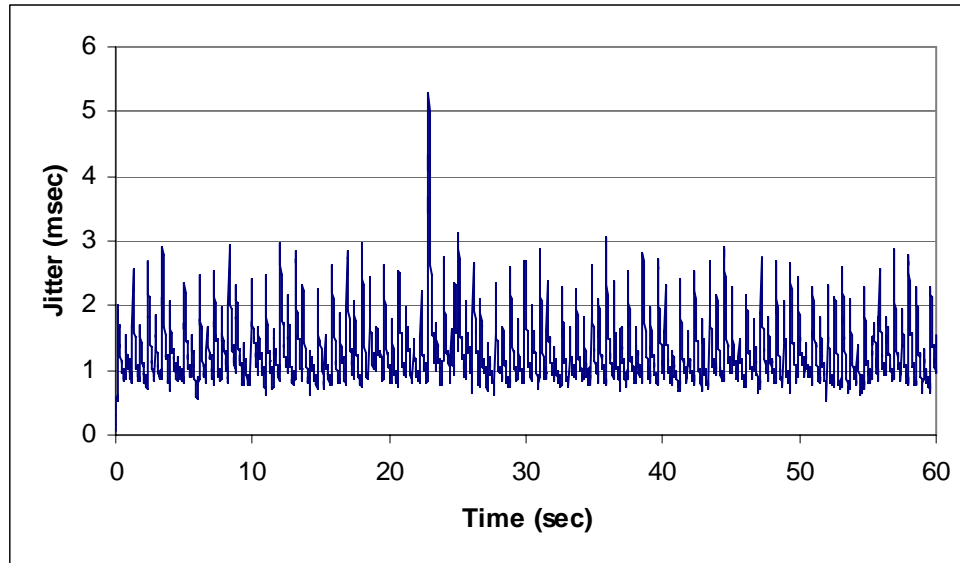
114581 packets seen, 114581 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:02.414347, 47458 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.010797
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
    host a:          192.168.1.10:1210
    host b:          192.168.1.2:5001
    complete conn:  yes
    first packet:   Thu Dec 14 16:14:21.085982 2006
    last packet:    Thu Dec 14 16:15:21.096779 2006
    elapsed time:   0:01:00.010797
    total packets: 114581
    filename:       subnet1_case2_tcp_client
a->b:              b->a:
total packets:    83961          total packets:    30620
ack pkts sent:    83960          ack pkts sent:    30620
pure acks sent:   2              pure acks sent:   30618
sack pkts sent:   0              sack pkts sent:   0
dsack pkts sent:  0              dsack pkts sent:  0
max sack blks/ack: 0              max sack blks/ack: 0
unique bytes sent: 114630680      unique bytes sent: 0
actual data pkts: 83957           actual data pkts: 0
actual data bytes: 114630680      actual data bytes: 0
rexmt data pkts:  0              rexmt data pkts:  0
rexmt data bytes: 0              rexmt data bytes: 0
zwnd probe pkts:  0              zwnd probe pkts:  0
zwnd probe bytes: 0              zwnd probe bytes: 0
outoforder pkts:  0              outoforder pkts:  0
pushed data pkts: 13994          pushed data pkts: 0
SYN/FIN pkts sent: 1/1          SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:         Y              req sack:         Y
sacks sent:       0              sacks sent:       0
urgent data pkts: 0 pkts         urgent data pkts: 0 pkts
urgent data bytes: 0 bytes       urgent data bytes: 0 bytes
mss requested:    1460 bytes      mss requested:    1460 bytes
max segm size:    1460 bytes      max segm size:    0 bytes
min segm size:    24 bytes        min segm size:    0 bytes
avg segm size:    1365 bytes      avg segm size:    0 bytes
max win adv:      17520 bytes     max win adv:      65535 bytes
min win adv:      16384 bytes     min win adv:      64643 bytes
zero win adv:     0 times         zero win adv:     0 times
avg win adv:      17519 bytes     avg win adv:      65534 bytes
initial window:   1484 bytes      initial window:   0 bytes
initial window:   2 pkts         initial window:   0 pkts
ttl stream length: 114630680 bytes  ttl stream length: 0 bytes
missed data:      0 bytes         missed data:      0 bytes
truncated data:   111104504 bytes  truncated data:   0 bytes

```

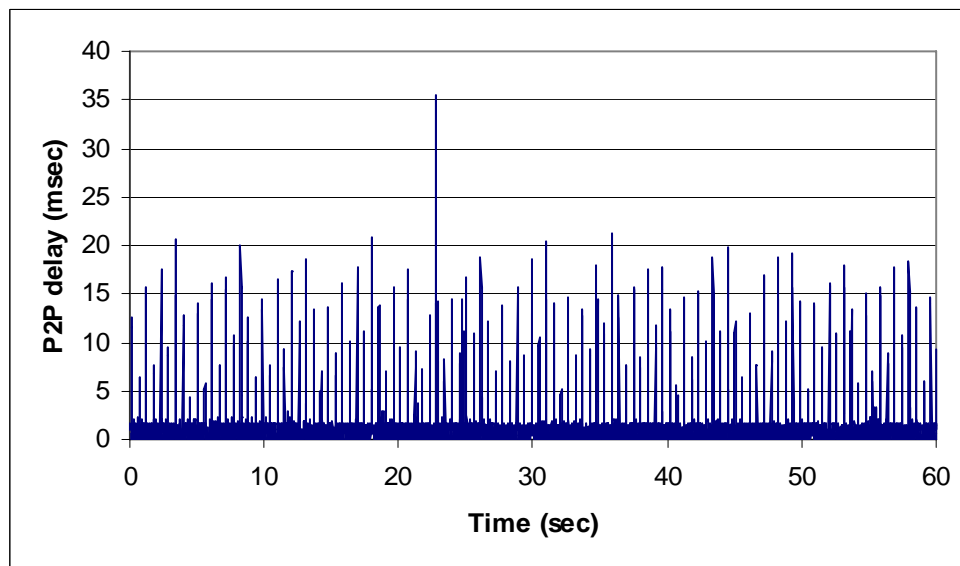
| | | | |
|--------------------|-------------|--------------------|------------|
| truncated packets: | 83956 pkts | truncated packets: | 0 pkts |
| data xmit time: | 60.002 secs | data xmit time: | 0.000 secs |
| idletime max: | 210.8 ms | idletime max: | 189.5 ms |
| throughput: | 1910168 Bps | throughput: | 0 Bps |
| RTT samples: | 30619 | RTT samples: | 2 |
| RTT min: | 1.9 ms | RTT min: | 0.0 ms |
| RTT max: | 231.3 ms | RTT max: | 0.0 ms |
| RTT avg: | 6.6 ms | RTT avg: | 0.0 ms |
| RTT stdev: | 4.6 ms | RTT stdev: | 0.0 ms |
| RTT from 3WHS: | 1.9 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 23210 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 2.2 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 231.3 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 6.2 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 4.5 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 0 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 53340 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 1 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 0 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 0 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 0.0 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 0.0 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 0.0 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 0.0 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-5: Tcptrace - 802.11 (ch1) - 802.11 (ch6) co-existence

10.2.3 Αποτελέσματα UDP



Σχήμα 10-9: 2^ο σενάριο, Jitter



Σχήμα 10-10: 2^ο σενάριο, Packet to Packet Delay

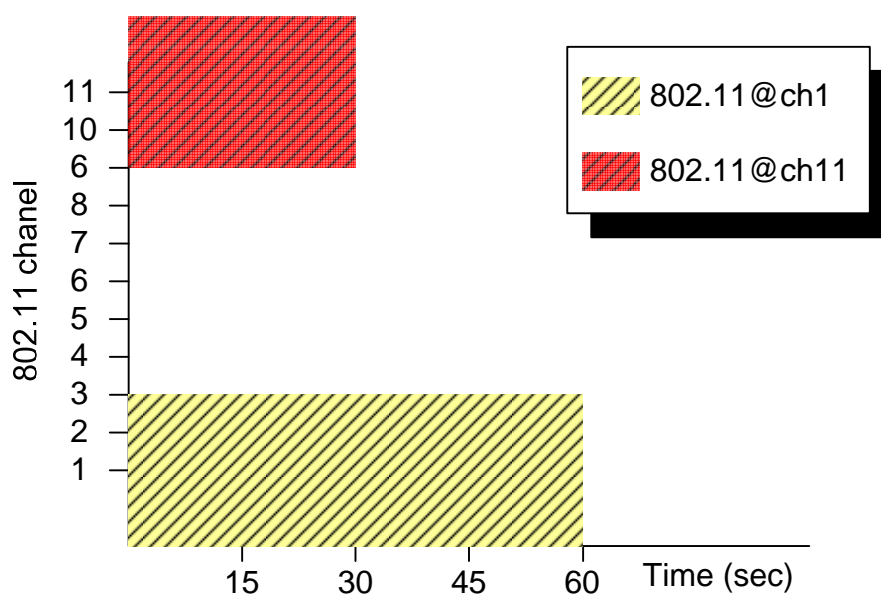
| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|--------------------------|----------|-----------|
| average Jitter (msec) | 1.291 | 1.244 |
| min Jitter (msec) | 0.151 | 0.530 |
| max Jitter (msec) | 5.288 | 3.066 |
| average P2P delay (msec) | 1.298 | 1.245 |
| min P2P delay (msec) | 0.000 | 0.000 |
| max P2P delay (msec) | 35.496 | 21.221 |

Πίνακας 10-6: 2^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP

10.3. 3^ο σενάριο

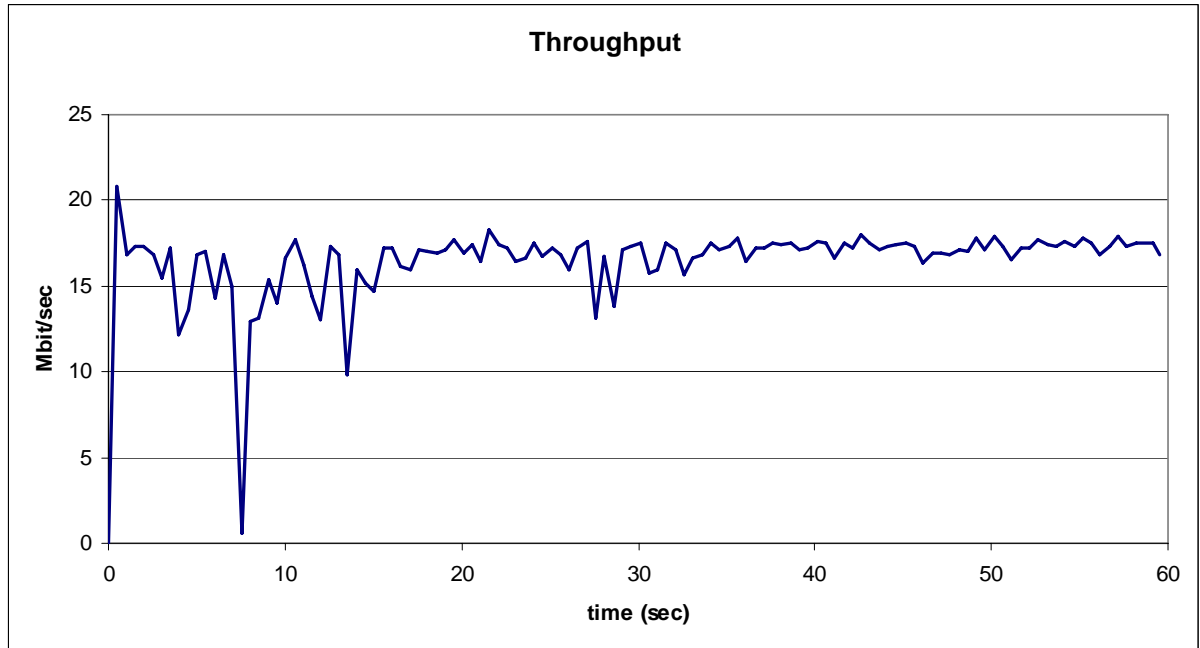
10.3.1 Περιγραφή

Σαν 3^ο σενάριο έχουν δημιουργηθεί 2 ασύρματα δίκτυα τα οποία λειτουργούν στα κανάλια 1 και 11. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει αλληλο-παρεμβολή, λόγω του ότι δεν υφίσταται επικάλυψη του ενός πάνω στο άλλο. Η περιγραφή του 3^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-11.

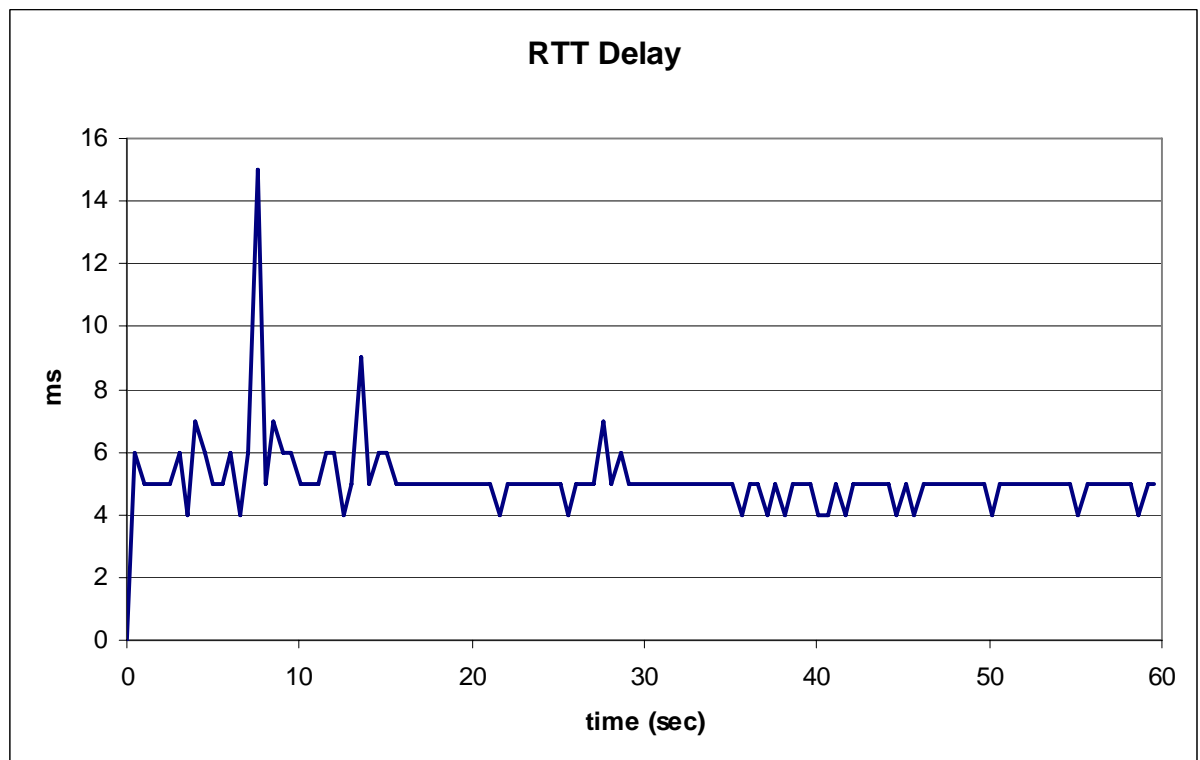


Σχήμα 10-11: 3^ο σενάριο, 802.11@1-802.11@11 Co-existence

10.3.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-12: 3^ο σενάριο, 802.11 Throughput



Σχήμα 10-13: 3^ο σενάριο, 802.11 RTT-delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|----------------------------------|----------|-----------|
| Average throughput (Mb/s) | 15.92 | 17.05 |
| Average RTT-delay (msec) | 5.51 | 4.88 |

Πίνακας 10-7: 3^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.3.2.1 Αναφορά μέτρησης

Στον Πίνακα 10-8 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_case3_tcp_client'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov  4, 2004

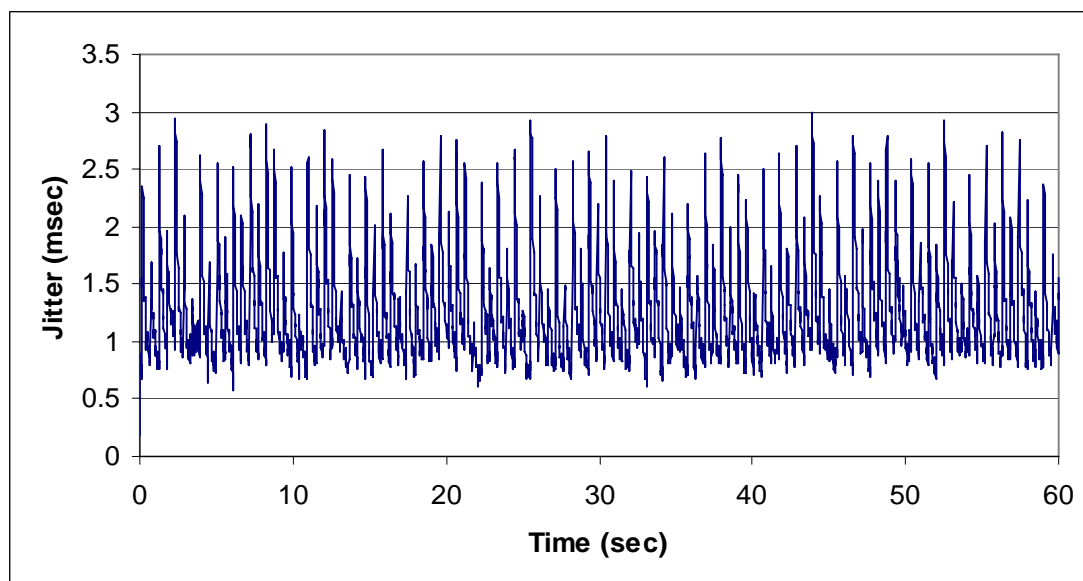
124574 packets seen, 124574 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:02.227249, 55931 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.005767
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:          192.168.1.10:1211
  host b:          192.168.1.2:5001
  complete conn:  yes
  first packet:   Thu Dec 14 16:18:41.227069 2006
  last packet:    Thu Dec 14 16:19:41.232836 2006
  elapsed time:   0:01:00.005767
  total packets: 124574
  filename:       subnet1_case3_tcp_client
a->b:
  total packets:  91951
  ack pkts sent:  91950
  pure acks sent: 2
  sack pkts sent: 0
  dsack pkts sent: 0
  max sack blks/ack: 0
  unique bytes sent: 125534232
  actual data pkts: 91947
  actual data bytes: 125541532
  rexmt data pkts: 5
  rexmt data bytes: 7300
  zwnd probe pkts: 0
  zwnd probe bytes: 0
  outoforder pkts: 0
  pushed data pkts: 15326
  SYN/FIN pkts sent: 1/1
  req sack:      Y
  sacks sent:    0
  urgent data pkts: 0 pkts
  urgent data bytes: 0 bytes
  mss requested: 1460 bytes
  max segm size: 1460 bytes
  min segm size: 24 bytes
  avg segm size: 1365 bytes
  max win adv:   17520 bytes
  min win adv:   16384 bytes
  zero win adv:  0 times
  avg win adv:   17519 bytes
  initial window: 1484 bytes
  initial window: 2 pkts
  ttl stream length: 125534232 bytes
  missed data:  0 bytes
b->a:
  total packets:  32623
  ack pkts sent:  32623
  pure acks sent: 32621
  sack pkts sent: 9
  dsack pkts sent: 0
  max sack blks/ack: 1
  unique bytes sent: 0
  actual data pkts: 0
  actual data bytes: 0
  rexmt data pkts: 0
  rexmt data bytes: 0
  zwnd probe pkts: 0
  zwnd probe bytes: 0
  outoforder pkts: 0
  pushed data pkts: 0
  SYN/FIN pkts sent: 1/1
  req sack:      Y
  sacks sent:    9
  urgent data pkts: 0 pkts
  urgent data bytes: 0 bytes
  mss requested: 1460 bytes
  max segm size: 0 bytes
  min segm size: 0 bytes
  avg segm size: 0 bytes
  max win adv:   65535 bytes
  min win adv:   64075 bytes
  zero win adv:  0 times
  avg win adv:   65534 bytes
  initial window: 0 bytes
  initial window: 0 pkts
  ttl stream length: 0 bytes
  missed data:  0 bytes

```

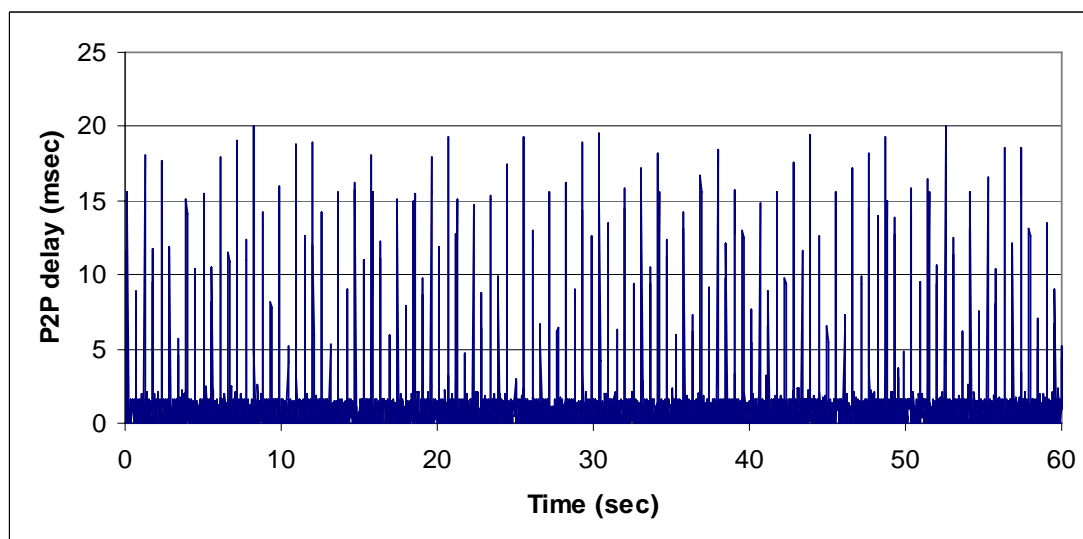
| | | | |
|--------------------|-----------------|--------------------|------------|
| truncated data: | 121679776 bytes | truncated data: | 0 bytes |
| truncated packets: | 91946 pkts | truncated packets: | 0 pkts |
| data xmit time: | 59.998 secs | data xmit time: | 0.000 secs |
| idletime max: | 479.4 ms | idletime max: | 484.5 ms |
| throughput: | 2092036 Bps | throughput: | 0 Bps |
| RTT samples: | 32605 | RTT samples: | 2 |
| RTT min: | 1.5 ms | RTT min: | 0.0 ms |
| RTT max: | 39.8 ms | RTT max: | 0.0 ms |
| RTT avg: | 5.9 ms | RTT avg: | 0.0 ms |
| RTT stdev: | 2.7 ms | RTT stdev: | 0.0 ms |
| RTT from 3WHS: | 1.5 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 24762 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 2.2 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 39.8 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 5.5 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 2.6 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 4 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 59335 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 13 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 1 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 1 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 1.9 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 502.1 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 300.7 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 271.1 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-8: Tcptrace - 802.11 (ch1) - 802.11 (ch11) co-existence

10.3.3 Αποτελέσματα UDP



Σχήμα 10-14: 3^ο σενάριο, Jitter



Σχήμα 10-15: 3^ο σενάριο, Packet to Packet Delay

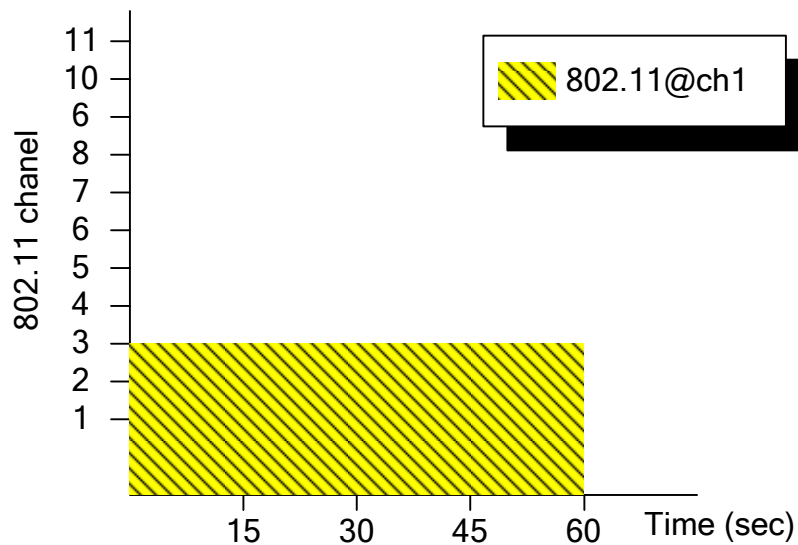
| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|--------------------------|----------|-----------|
| average Jitter (msec) | 1.251 | 1.261 |
| min Jitter (msec) | 0.567 | 0.603 |
| max Jitter (msec) | 2.938 | 2.994 |
| average P2P delay (msec) | 1.258 | 1.266 |
| min P2P delay (msec) | 0.000 | 0.000 |
| max P2P delay (msec) | 20.101 | 20.028 |

Πίνακας 10-9: 3^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP

10.4. 4^ο σενάριο

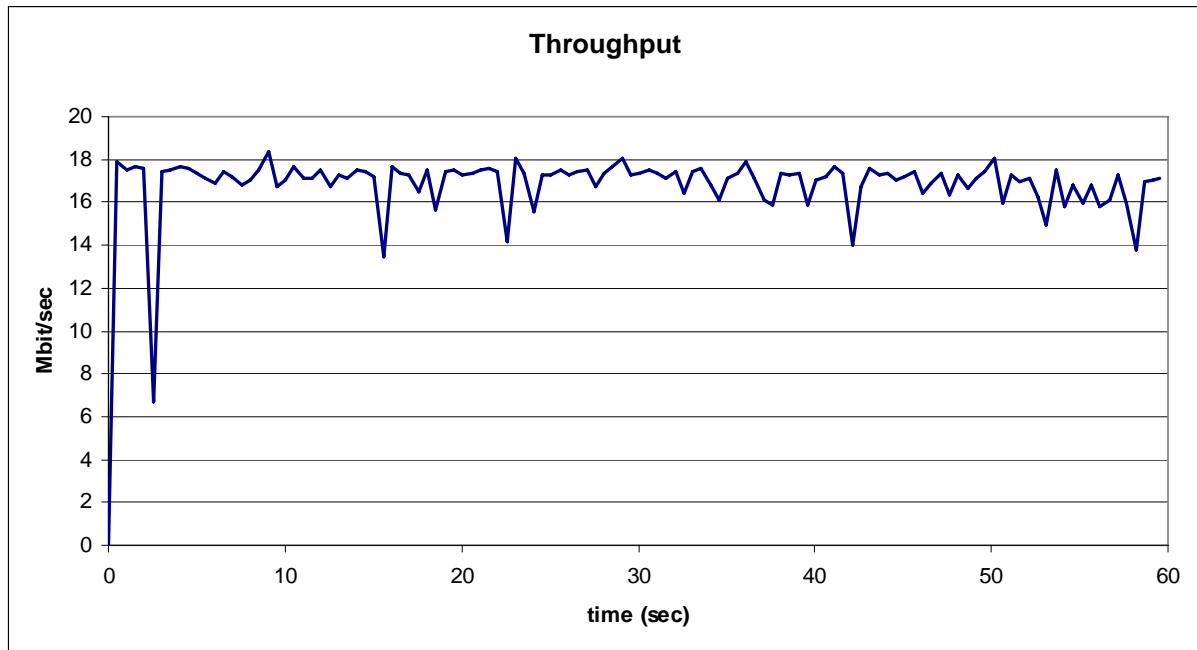
10.4.1 Περιγραφή

Σαν 4^ο σενάριο έχει δημιουργηθεί ένα ασύρματο δίκτυο το οποίο λειτουργεί στο κανάλι 1. Σ' αυτή την περίπτωση επιλέχτηκε η λειτουργία ενός μόνο ασυρμάτου δικτύου για να μετρηθεί και να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του, χωρίς να εμπλέκεται κάποιο άλλο κανάλι, δηλαδή χωρίς να υπάρχει περίπτωση συλλειτουργίας. Η περιγραφή του 4^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-16.

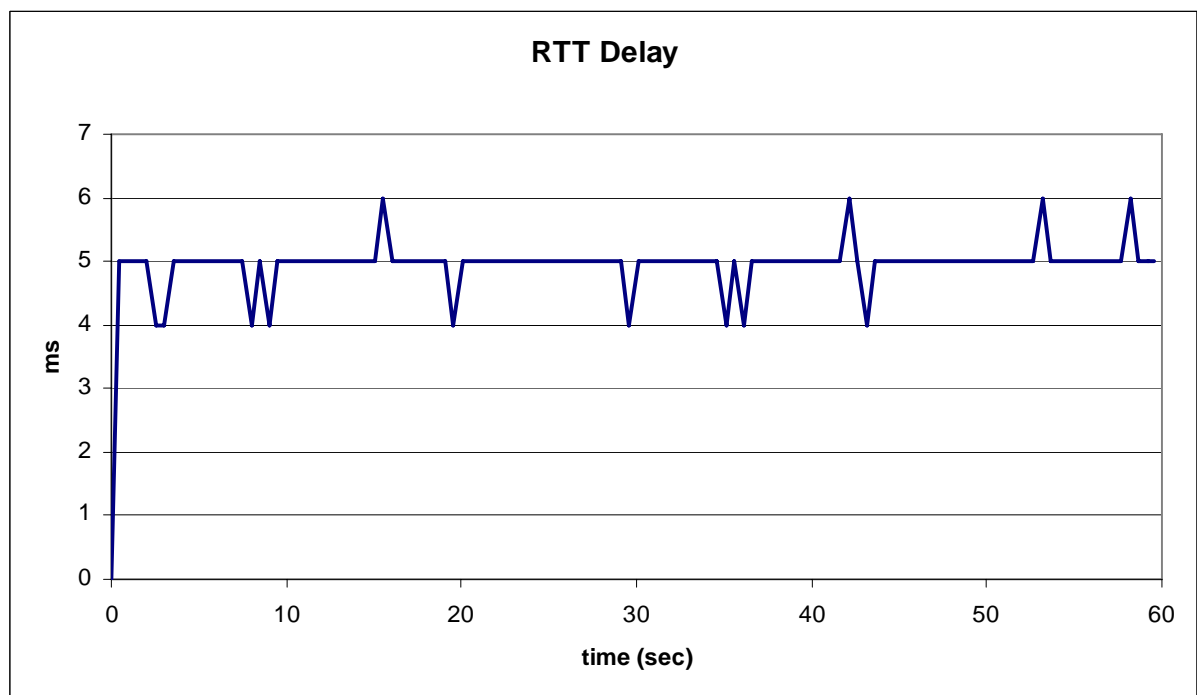


Σχήμα 10-16: 4^ο σενάριο, 802.11@1 no co-existence

10.4.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-17: 4^ο σενάριο, 802.11 Throughput



Σχήμα 10-18: 4^ο σενάριο, 802.11 RTT-Delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec |
|---------------------------|----------|-----------|
| Average throughput (Mb/s) | 16.98 | 16.92 |
| Average RTT-delay (msec) | 4.92 | 4.98 |

Πίνακας 10-10: 4^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.4.2.1 Αναφορά μέτρησης

Στον Πίνακα 10-11 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_case4_alone_tcp'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov 4, 2004

126906 packets seen, 126906 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.734398, 172802 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.031310
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:          192.168.1.10:1215
  host b:          192.168.1.2:5001
  complete conn:  yes
  first packet:   Thu Dec 14 16:27:57.488249 2006
  last packet:    Thu Dec 14 16:28:57.519560 2006
  elapsed time:   0:01:00.031310
  total packets: 126906
  filename:       subnet1_case4_alone_tcp
a->b:                b->a:
total packets:      93768                total packets:      33138
ack pkts sent:      93767                ack pkts sent:      33138
pure acks sent:     2                    pure acks sent:     33136
sack pkts sent:     0                    sack pkts sent:     0
dsack pkts sent:   0                    dsack pkts sent:   0
max sack blks/ack:  0                    max sack blks/ack:  0
unique bytes sent: 128016408              unique bytes sent:   0
actual data pkts:   93764                actual data pkts:   0
actual data bytes: 128022248              actual data bytes:   0
rexmt data pkts:    4                    rexmt data pkts:    0
rexmt data bytes:   5840                  rexmt data bytes:    0
zwnd probe pkts:    0                    zwnd probe pkts:    0
zwnd probe bytes:   0                    zwnd probe bytes:   0
outoforder pkts:    0                    outoforder pkts:    0
pushed data pkts:   15628                 pushed data pkts:    0
SYN/FIN pkts sent: 1/1                  SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:           Y                    req sack:           Y
sacks sent:         0                    sacks sent:         0
urgent data pkts:   0 pkts                urgent data pkts:   0 pkts
urgent data bytes:  0 bytes               urgent data bytes:  0 bytes
mss requested:     1460 bytes             mss requested:     1460 bytes
max segm size:     1460 bytes             max segm size:     0 bytes
min segm size:     24 bytes              min segm size:     0 bytes
avg segm size:     1365 bytes             avg segm size:     0 bytes
max win adv:       17520 bytes            max win adv:       65535 bytes
min win adv:       16384 bytes            min win adv:       64075 bytes
zero win adv:      0 times                zero win adv:      0 times
avg win adv:       17519 bytes            avg win adv:       65534 bytes
initial window:    1484 bytes             initial window:     0 bytes
initial window:    2 pkts                 initial window:     0 pkts
ttl stream length: 128016408 bytes         ttl stream length:  0 bytes
missed data:       0 bytes                missed data:        0 bytes
truncated data:    124084178 bytes         truncated data:     0 bytes
truncated packets: 93763 pkts             truncated packets:  0 pkts
data xmit time:    60.008 secs             data xmit time:     0.000 secs
idletime max:      204.3 ms                idletime max:      299.9 ms
throughput:        2132494 Bps             throughput:         0 Bps

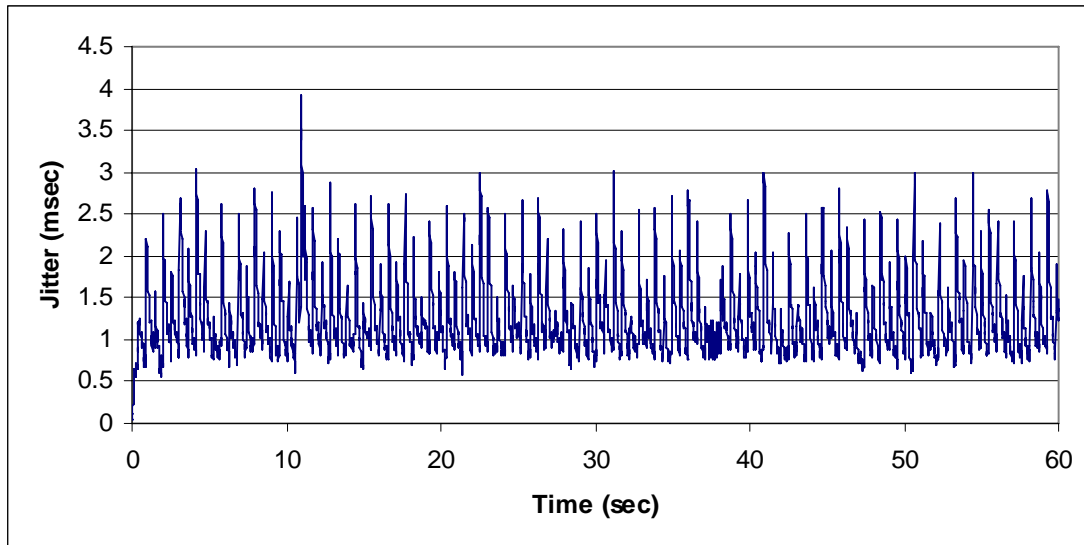
RTT samples:       33128                  RTT samples:       2
RTT min:           2.3 ms                  RTT min:           0.0 ms
RTT max:           64.2 ms                 RTT max:           0.0 ms
RTT avg:           5.8 ms                  RTT avg:           0.0 ms
RTT stdev:         2.5 ms                  RTT stdev:         0.0 ms

```

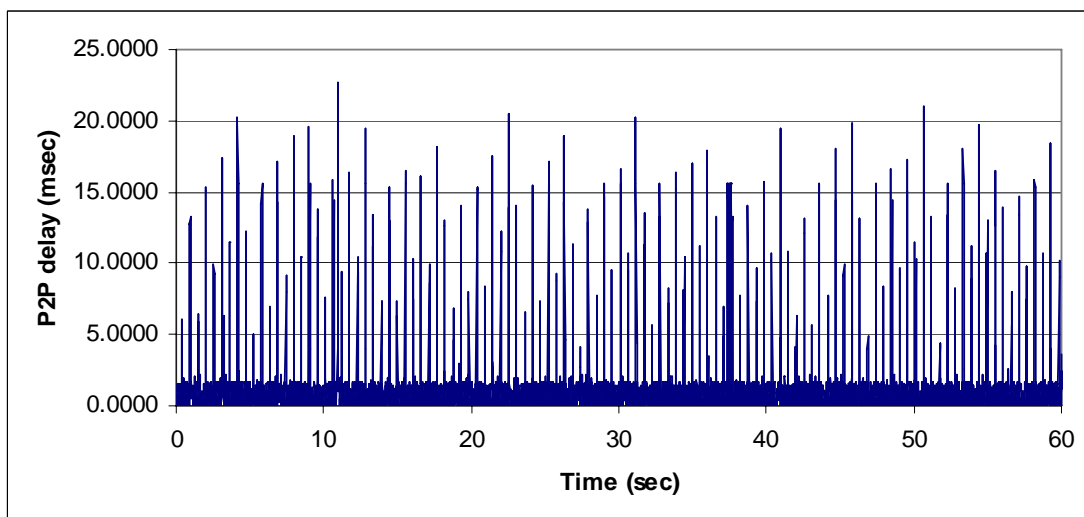
| | | | |
|--------------------|----------|--------------------|--------|
| RTT from 3WHS: | 15.7 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 25011 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 2.3 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 64.2 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 5.4 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 2.4 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 4 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 60630 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 4 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 1 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 1 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 3.2 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 299.8 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 202.6 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 139.8 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-11: Tcptrace - 802.11 (ch1)

10.4.3 Αποτελέσματα UDP



Σχήμα 10-19: 4^ο σενάριο, Jitter



Σχήμα 10-20: 4^ο σενάριο, Packet to Packet Delay

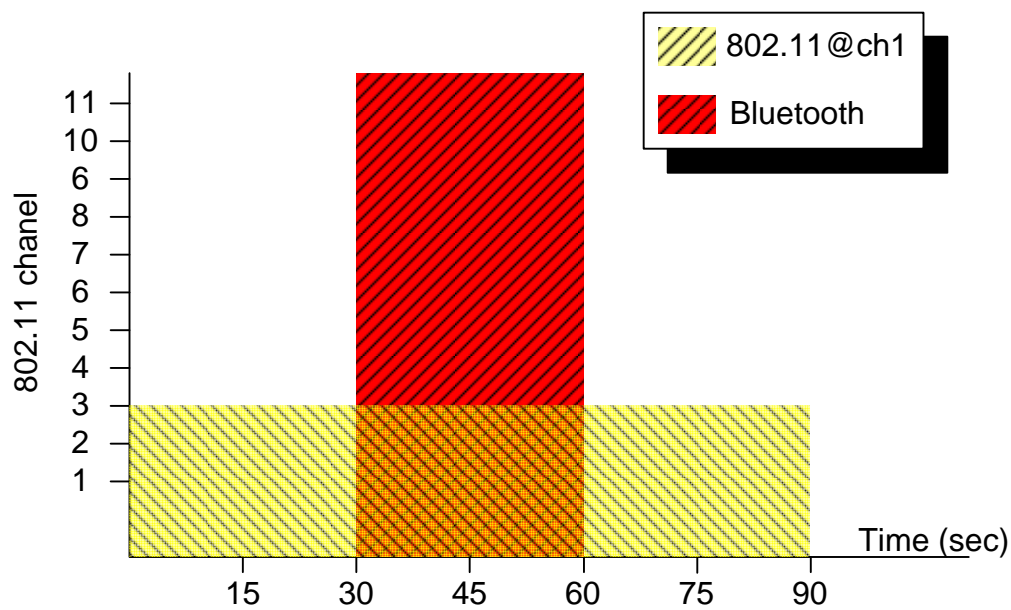
| | 0-30sec | 30-60sec |
|--------------------------|---------|----------|
| average Jitter (msec) | 1.258 | 1.240 |
| min Jitter (msec) | 0.036 | 0.602 |
| max Jitter (msec) | 3.931 | 3.013 |
| average P2P delay (msec) | 1.265 | 1.336 |
| min P2P delay (msec) | 0.000 | 0.000 |
| max P2P delay (msec) | 22.683 | 20.989 |

Πίνακας 10-12: 4^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP

10.5. 5^ο Σενάριο

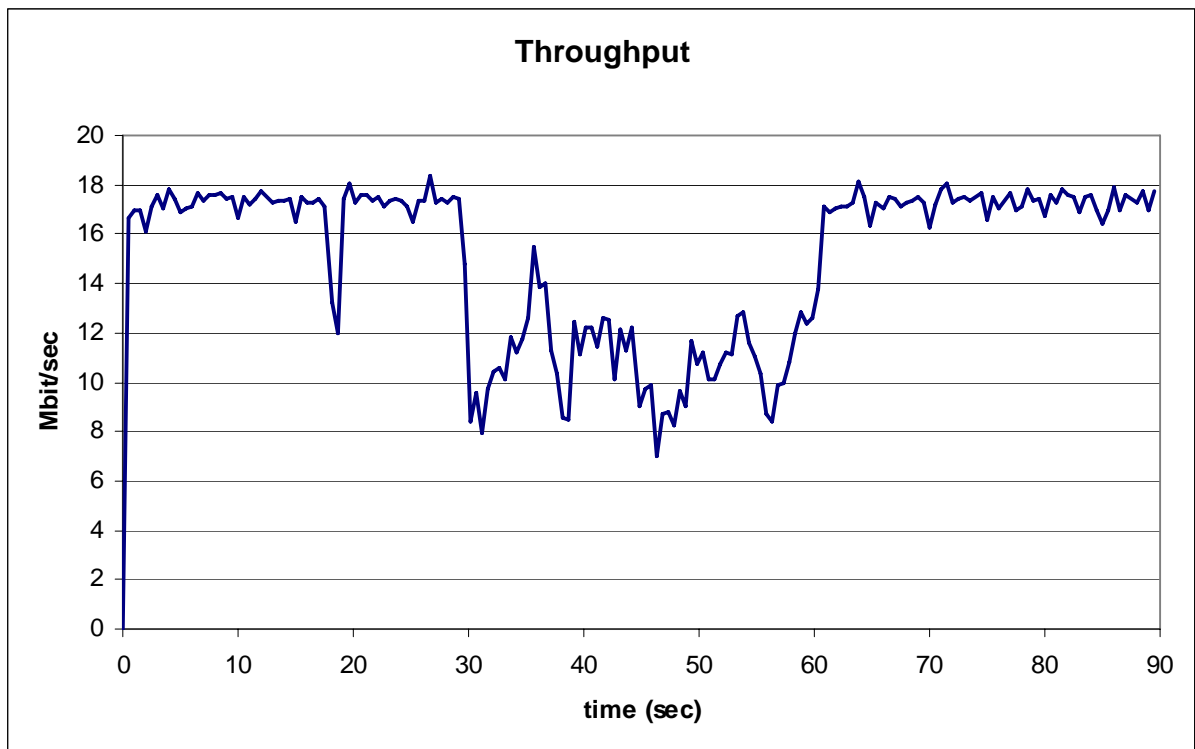
10.5.1 Περιγραφή

Σαν 5^ο σενάριο έχουν δημιουργηθεί δύο ασύρματα δίκτυα. Το πρώτο είναι ένα 802.11, το οποίο λειτουργεί στο κανάλι 1. Το δεύτερο ασύρματο δίκτυο, είναι ένα Bluetooth δίκτυο. Η λειτουργία του δικτύου Bluetooth επιλέχτηκε για 30 secs και μόνο για το διάστημα 30-60 secs. Η περιγραφή του 5^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-21.

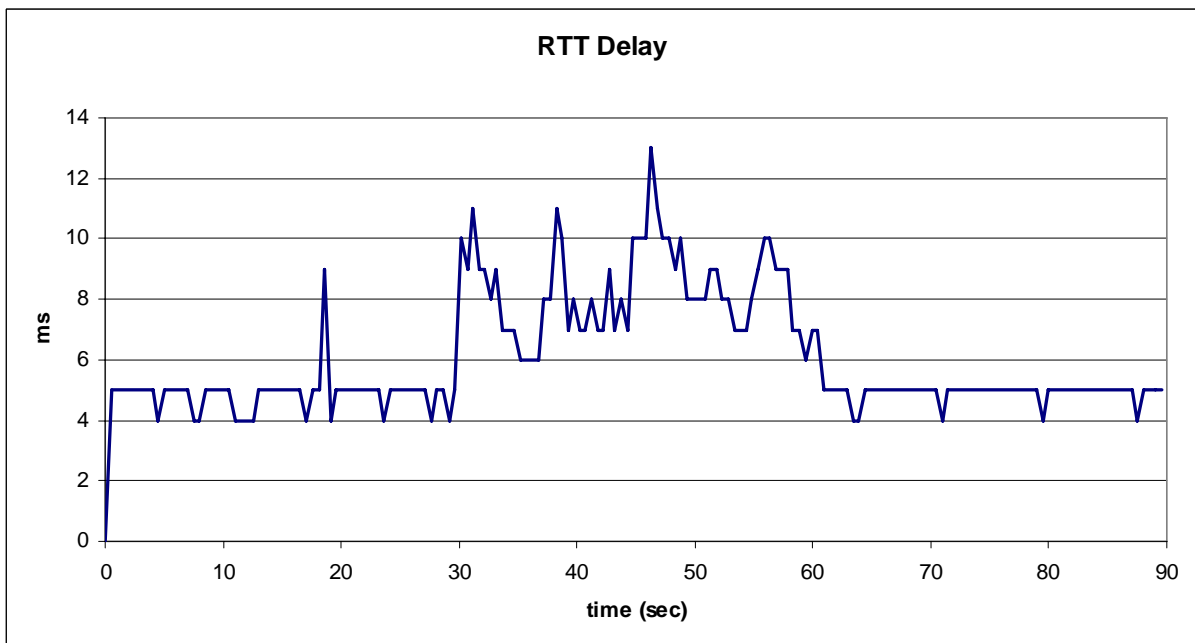


Σχήμα 10-21: 5^ο σενάριο, 802.11@1 - Bluetooth (30-60 secs)

10.5.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-22: 5^ο σενάριο, Throughput



Σχήμα 10-23: 5^ο σενάριο, RTT-Delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec | 60-90 sec |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|
| Average throughput (Mb/s) | 17.16 | 10.83 | 17.32 |
| Average RTT-delay (msec) | 4.86 | 8.36 | 4.91 |

Πίνακας 10-13: 5^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.5.2.1 Αναφορά μετρήσεων

Στον Πίνακα 10-14 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_case5_tcp_client-SWSTO'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov 4, 2004

169506 packets seen, 169506 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:02.573650, 65862 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:30.034653
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:          192.168.1.10:1265
  host b:          192.168.1.2:5001
  complete conn:  yes
  first packet:   Thu Dec 14 17:52:27.675916 2006
  last packet:    Thu Dec 14 17:53:57.710570 2006
  elapsed time:   0:01:30.034653
  total packets: 169506
  filename:       subnet1_case5_tcp_client-SWSTO
a->b:              b->a:
total packets:    124996          total packets:    44510
ack pkts sent:   124995          ack pkts sent:   44510
pure acks sent:   2              pure acks sent:  44508
sack pkts sent:   0              sack pkts sent:   0
dsack pkts sent: 0              dsack pkts sent: 0
max sack blks/ack: 0            max sack blks/ack: 0
unique bytes sent: 170655768      unique bytes sent: 0
actual data pkts: 124992          actual data pkts: 0
actual data bytes: 170655768      actual data bytes: 0
rexmt data pkts: 0                rexmt data pkts: 0
rexmt data bytes: 0                rexmt data bytes: 0
zwnd probe pkts: 0                zwnd probe pkts: 0
zwnd probe bytes: 0                zwnd probe bytes: 0
outoforder pkts: 0                outoforder pkts: 0
pushed data pkts: 20833           pushed data pkts: 0
SYN/FIN pkts sent: 1/1           SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:        Y                req sack:        Y
sacks sent:      0                sacks sent:      0
urgent data pkts: 0 pkts          urgent data pkts: 0 pkts
urgent data bytes: 0 bytes        urgent data bytes: 0 bytes
mss requested:   1460 bytes        mss requested:   1460 bytes
max segm size:   1460 bytes        max segm size:   0 bytes
min segm size:   24 bytes          min segm size:   0 bytes
avg segm size:   1365 bytes        avg segm size:   0 bytes
max win adv:     17520 bytes        max win adv:     65535 bytes
min win adv:     16384 bytes        min win adv:     64075 bytes
zero win adv:    0 times           zero win adv:    0 times
avg win adv:     17519 bytes        avg win adv:     65534 bytes
initial window:  1484 bytes        initial window:   0 bytes
initial window:  2 pkts           initial window:   0 pkts
ttl stream length: 170655768 bytes  ttl stream length: 0 bytes
missed data:     0 bytes           missed data:     0 bytes
truncated data:  165406122 bytes    truncated data:   0 bytes
truncated packets: 124991 pkts     truncated packets: 0 pkts
data xmit time:  90.009 secs        data xmit time:  0.000 secs
idletime max:    301.2 ms           idletime max:    150.8 ms
throughput:      1895445 Bps        throughput:       0 Bps

RTT samples:     44508             RTT samples:     2
RTT min:         2.3 ms            RTT min:         0.0 ms
RTT max:         305.5 ms          RTT max:         0.0 ms
RTT avg:         6.6 ms            RTT avg:         0.0 ms
RTT stdev:       4.7 ms            RTT stdev:       0.0 ms

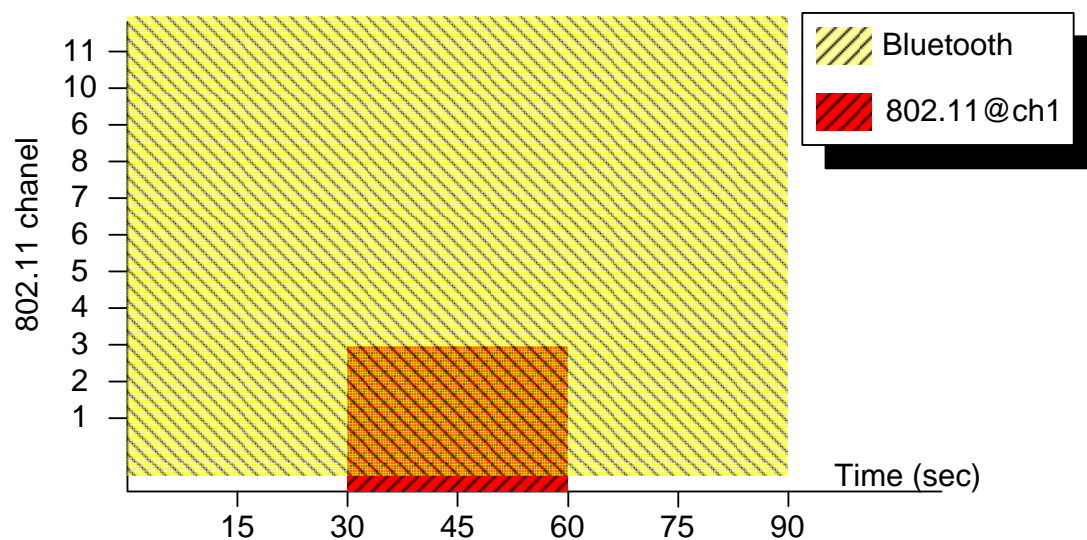
```

| | | | |
|--------------------|----------|--------------------|--------|
| RTT from 3WHS: | 19.6 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 33780 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 2.4 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 305.0 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 6.2 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 4.5 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 0 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 80486 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 1 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 0 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 0 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 0.0 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 0.0 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 0.0 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 0.0 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-14: Tcptrace 802.11 (ch1) - Bluetooth (30-60 secs)

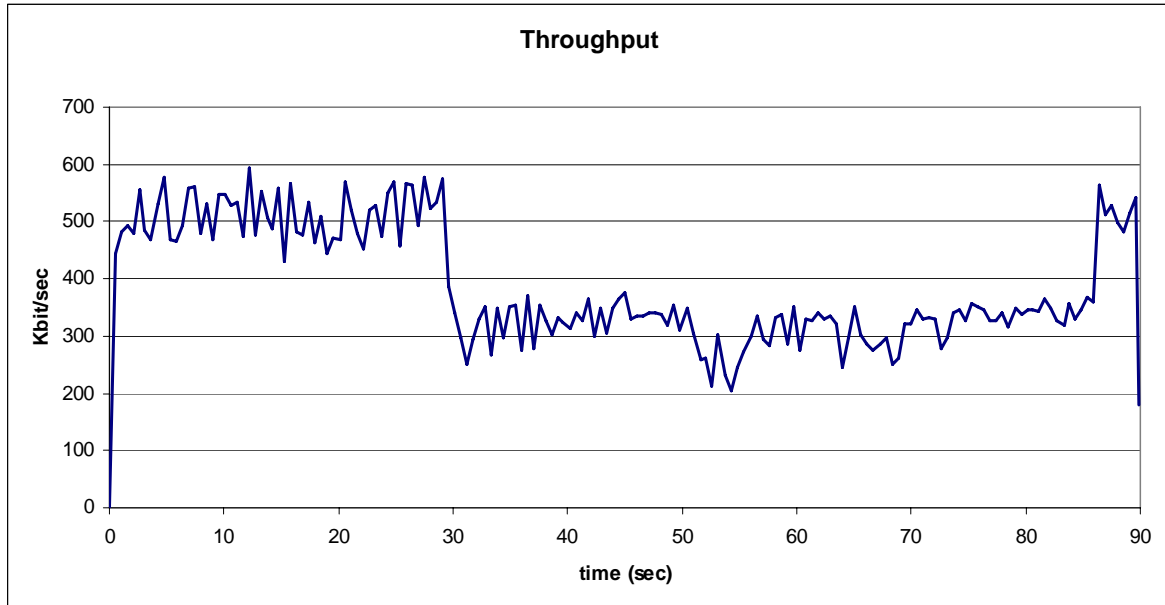
10.6. 6^ο Σενάριο

Στο 6^ο σενάριο εξετάζεται η επίδραση του ασύρματου δικτύου 802.11 στο Bluetooth. Στο χώρο λειτουργεί ένα ασύρματο δίκτυο Bluetooth για συνολικό χρόνο 90 secs, στο οποίο παρεμβάλλεται για 30 sec ένα ασύρματο δίκτυο 802.11 (channel 1). Η περιγραφή της περίπτωσης αυτής υπάρχει στο Σχήμα 10-24.

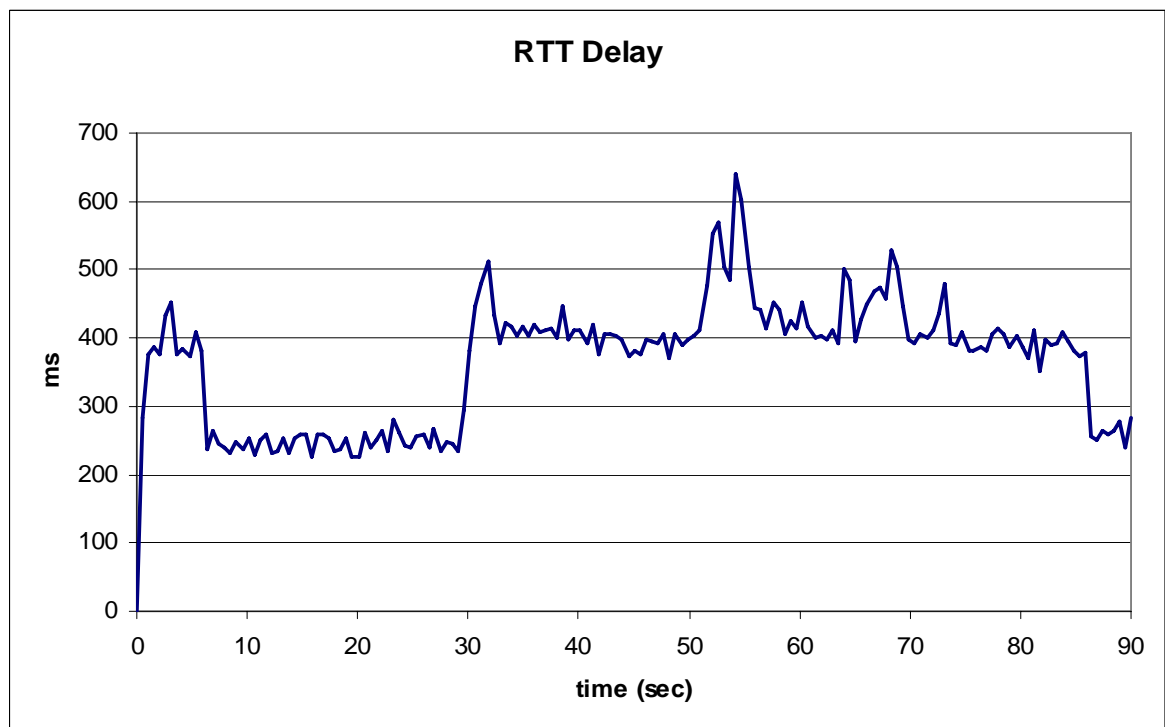


Σχήμα 10-24: 6^ο σενάριο, 802.11@ch1 - Bluetooth co-existence

10.6.1 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-25: 6^ο σενάριο, Bluetooth throughput



Σχήμα 10-26: 6^ο σενάριο, Bluetooth RTT-Delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec | 60-90 sec |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|
| Average throughput (kb/s) | 520.12 | 313.41 | 357.09 |
| Average RTT-delay (msec) | 279.86 | 431.40 | 388.23 |

Πίνακας 10-15: 6^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.6.1.1 Αναφορά μετρήσεων

Στον Πίνακα 10-16 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_case6_tcp_client'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov  4, 2004

4437 packets seen, 4437 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.166000, 26728 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:30.486731
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:          192.168.10.1:1277
  host b:          192.168.10.2:5001
  complete conn:  yes
  first packet:   Thu Dec 14 18:04:58.238166 2006
  last packet:    Thu Dec 14 18:06:28.724898 2006
  elapsed time:   0:01:30.486731
  total packets: 4437
  filename:       subnet1_case6_tcp_client
a->b:                b->a:
total packets:      2956                total packets:      1481
ack pkts sent:      2955                ack pkts sent:      1481
pure acks sent:     2                    pure acks sent:     1479
sack pkts sent:     0                    sack pkts sent:     0
dsack pkts sent:   0                    dsack pkts sent:   0
max sack blks/ack: 0                    max sack blks/ack: 0
unique bytes sent:  4030488              unique bytes sent:  0
actual data pkts:   2952                actual data pkts:   0
actual data bytes:  4030488              actual data bytes:  0
rexmt data pkts:    0                    rexmt data pkts:    0
rexmt data bytes:   0                    rexmt data bytes:   0
zwnd probe pkts:   0                    zwnd probe pkts:   0
zwnd probe bytes:  0                    zwnd probe bytes:  0
outoforder pkts:   0                    outoforder pkts:   0
pushed data pkts:  493                   pushed data pkts:   0
SYN/FIN pkts sent: 1/1                  SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:           Y                    req sack:           Y
sacks sent:         0                    sacks sent:         0
urgent data pkts:   0 pkts               urgent data pkts:   0 pkts
urgent data bytes:  0 bytes              urgent data bytes:  0 bytes
mss requested:     1460 bytes             mss requested:     1460 bytes
max segm size:     1460 bytes             max segm size:     0 bytes
min segm size:     24 bytes               min segm size:     0 bytes
avg segm size:     1365 bytes             avg segm size:     0 bytes
max win adv:       17520 bytes            max win adv:       17520 bytes
min win adv:       16384 bytes            min win adv:       16628 bytes
zero win adv:      0 times                zero win adv:      0 times
avg win adv:       17519 bytes            avg win adv:       17519 bytes
initial window:    1484 bytes             initial window:     0 bytes
initial window:    2 pkts                 initial window:     0 pkts
ttl stream length: 4030488 bytes          ttl stream length: 0 bytes
missed data:       0 bytes                missed data:        0 bytes
truncated data:    3906522 bytes          truncated data:     0 bytes
truncated packets: 2951 pkts              truncated packets:  0 pkts
data xmit time:    90.165 secs             data xmit time:    0.000 secs
idletime max:      293.7 ms                idletime max:      150.0 ms
throughput:        44542 Bps               throughput:         0 Bps

RTT samples:       1480                   RTT samples:       2
RTT min:           27.7 ms                 RTT min:           0.0 ms
RTT max:           680.0 ms               RTT max:           0.0 ms
RTT avg:           365.1 ms               RTT avg:           0.0 ms

```

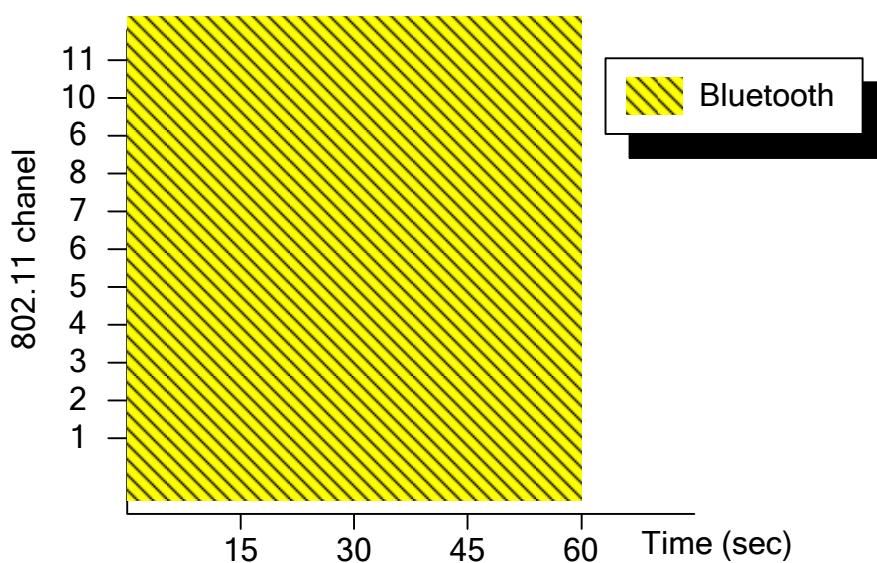
| | | | |
|--------------------|----------|--------------------|--------|
| RTT stdev: | 84.7 ms | RTT stdev: | 0.0 ms |
| RTT from 3WHS: | 27.7 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 1075 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 49.1 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 680.0 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 367.3 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 83.6 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 0 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 1474 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 1 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 0 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 0 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 0.0 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 0.0 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 0.0 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 0.0 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-16: Tcptrace - 802.11@ch1 - Bluetooth co-existence

10.7. 7^ο Σενάριο

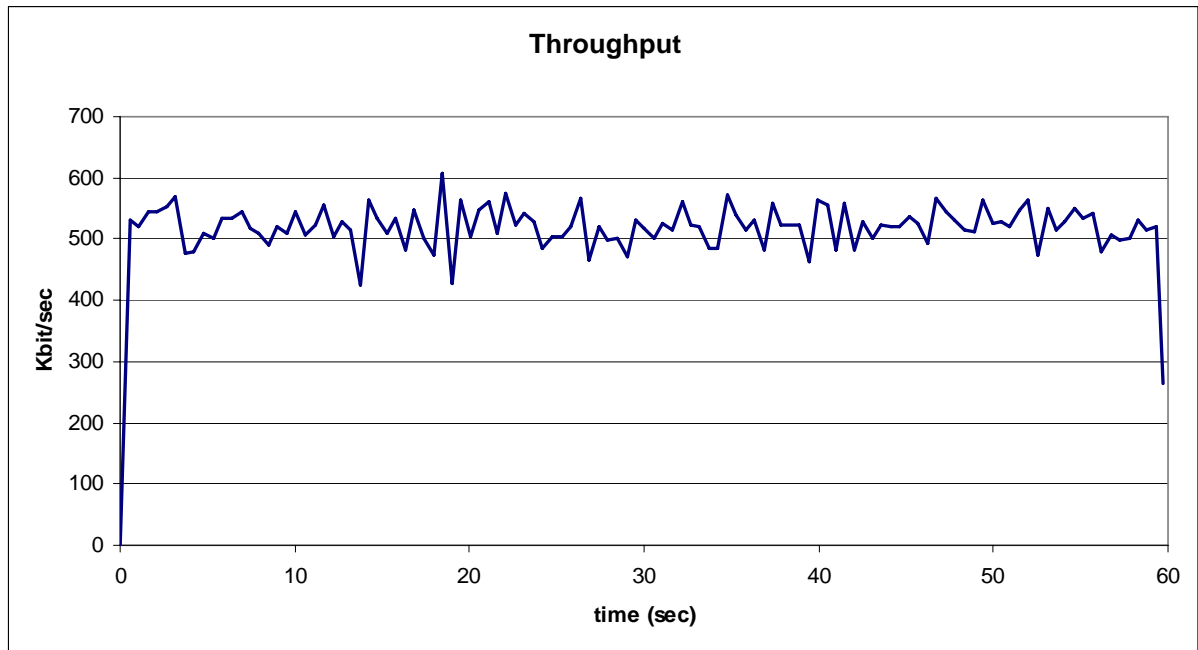
10.7.1 Περιγραφή

Σαν 7^ο σενάριο έχει δημιουργηθεί ένα ασύρματο δίκτυο Bluetooth. Σ' αυτή την περίπτωση επιλέχτηκε η λειτουργία ενός μόνο ασυρμάτου δικτύου για να μετρηθεί και να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του, χωρίς να εμπλέκεται κάποιο άλλο 802.11 δίκτυο ή δίκτυο Bluetooth. Η περιγραφή του 7^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-27.

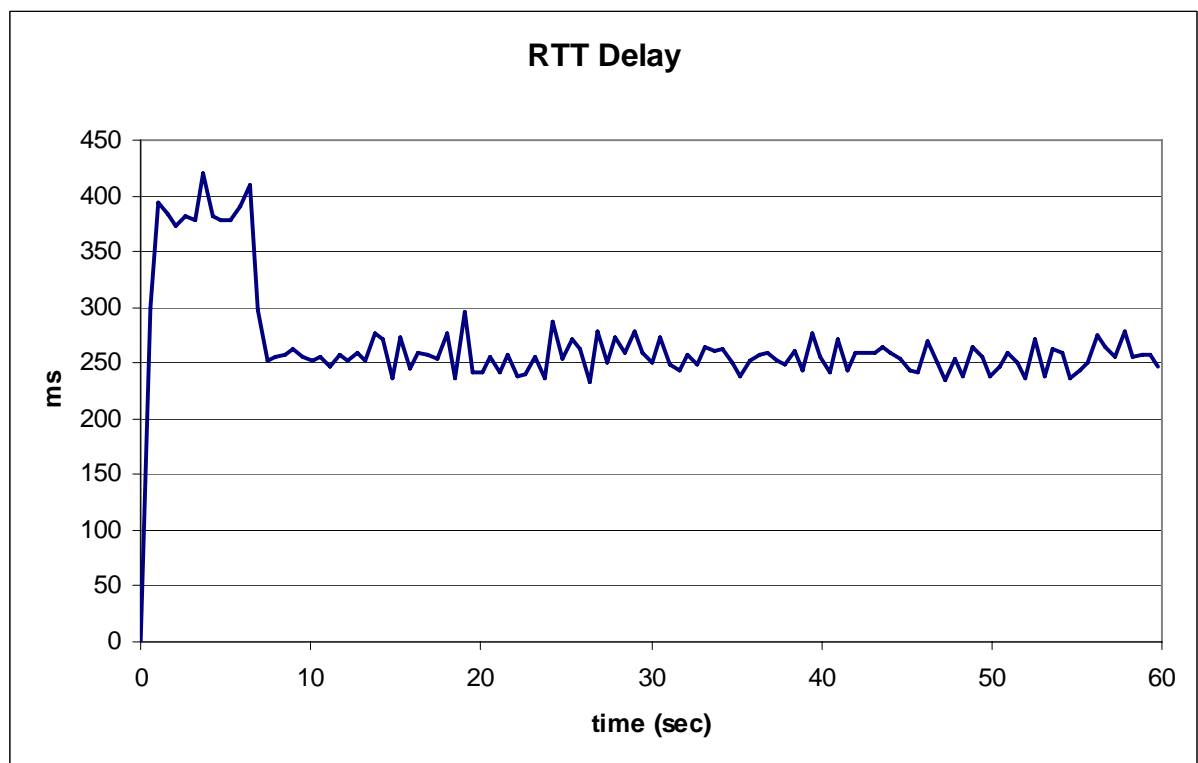


Σχήμα 10-27: 7^ο σενάριο, Bluetooth no co-existence

10.7.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-28: 7^ο σενάριο, Bluetooth Throughput



Σχήμα 10-29: 7^ο σενάριο, Bluetooth RTT-Delay

| | 0-60 sec |
|---------------------------|----------|
| Average throughput (kb/s) | 521.56 |
| Average RTT-delay (msec) | 269.31 |

Πίνακας 10-17: 7^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.7.2.1 Αναφορά μετρήσεων

Στον Πίνακα 10-18 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'case7_tcp_client'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov 4, 2004

4067 packets seen, 4067 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.024701, 164649 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.270989
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:          192.168.10.1:1413
  host b:          192.168.10.2:5001
  complete conn:  yes
  first packet:   Thu Dec 14 19:07:41.902396 2006
  last packet:    Thu Dec 14 19:08:42.173385 2006
  elapsed time:   0:01:00.270989
  total packets: 4067
  filename:       case7_tcp_client
a->b:                b->a:
total packets:      2710                total packets:      1357
ack pkts sent:      2709                ack pkts sent:      1357
pure acks sent:     2                    pure acks sent:     1355
sack pkts sent:     0                    sack pkts sent:     0
dsack pkts sent:   0                    dsack pkts sent:   0
max sack blks/ack:  0                    max sack blks/ack:  0
unique bytes sent:  3694616              unique bytes sent:  0
actual data pkts:   2706                actual data pkts:   0
actual data bytes:  3694616              actual data bytes:  0
rexmt data pkts:    0                    rexmt data pkts:    0
rexmt data bytes:   0                    rexmt data bytes:   0
zwnd probe pkts:   0                    zwnd probe pkts:   0
zwnd probe bytes:  0                    zwnd probe bytes:  0
outoforder pkts:   0                    outoforder pkts:   0
pushed data pkts:  452                   pushed data pkts:   0
SYN/FIN pkts sent: 1/1                  SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:          Y                      req sack:          Y
sacks sent:        0                      sacks sent:         0
urgent data pkts:  0 pkts                 urgent data pkts:  0 pkts
urgent data bytes: 0 bytes                urgent data bytes: 0 bytes
mss requested:     1460 bytes             mss requested:     1460 bytes
max segm size:     1460 bytes             max segm size:     0 bytes
min segm size:     24 bytes               min segm size:     0 bytes
avg segm size:     1365 bytes             avg segm size:     0 bytes
max win adv:       17520 bytes            max win adv:       17520 bytes
min win adv:       16384 bytes            min win adv:       17520 bytes
zero win adv:      0 times                zero win adv:      0 times
avg win adv:       17519 bytes            avg win adv:       17520 bytes
initial window:    1484 bytes             initial window:    0 bytes
initial window:    2 pkts                 initial window:    0 pkts
ttl stream length: 3694616 bytes          ttl stream length: 0 bytes
missed data:       0 bytes                missed data:       0 bytes
truncated data:    3580982 bytes          truncated data:    0 bytes
truncated packets: 2705 pkts              truncated packets: 0 pkts
data xmit time:    60.006 secs            data xmit time:    0.000 secs
idletime max:      252.8 ms                idletime max:      127.0 ms
throughput:        61300 Bps              throughput:         0 Bps

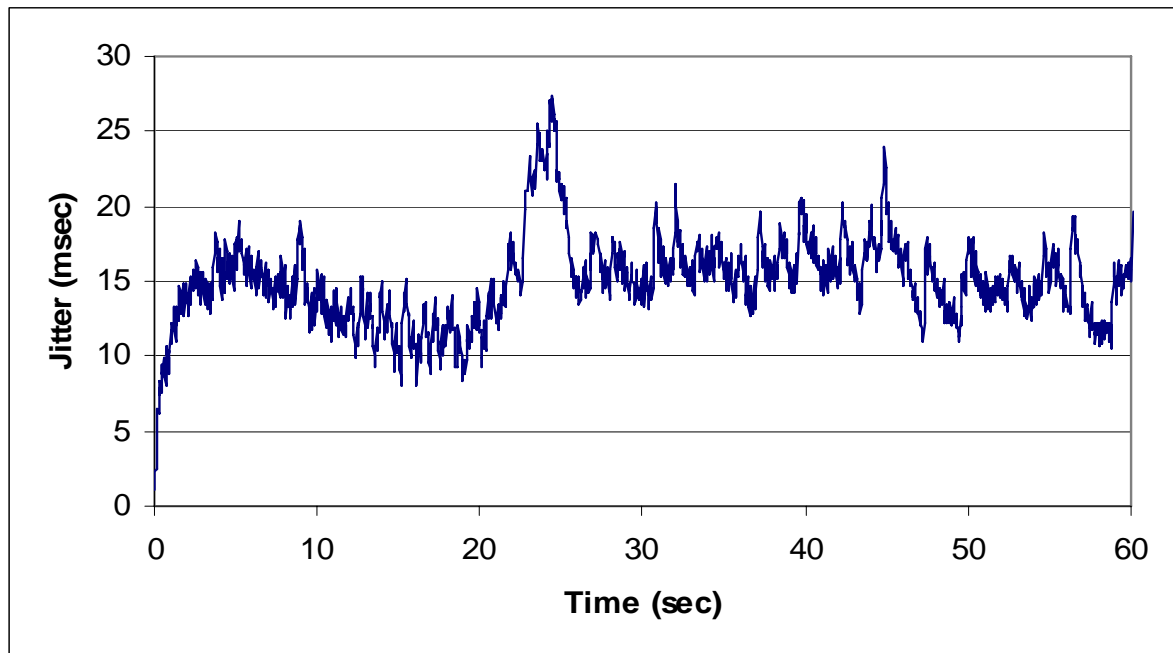
RTT samples:       1356                   RTT samples:       2
RTT min:           12.0 ms                  RTT min:           0.0 ms
RTT max:           432.0 ms                 RTT max:           0.0 ms
RTT avg:           265.1 ms                 RTT avg:           0.0 ms
RTT stdev:         43.2 ms                  RTT stdev:         0.0 ms

```

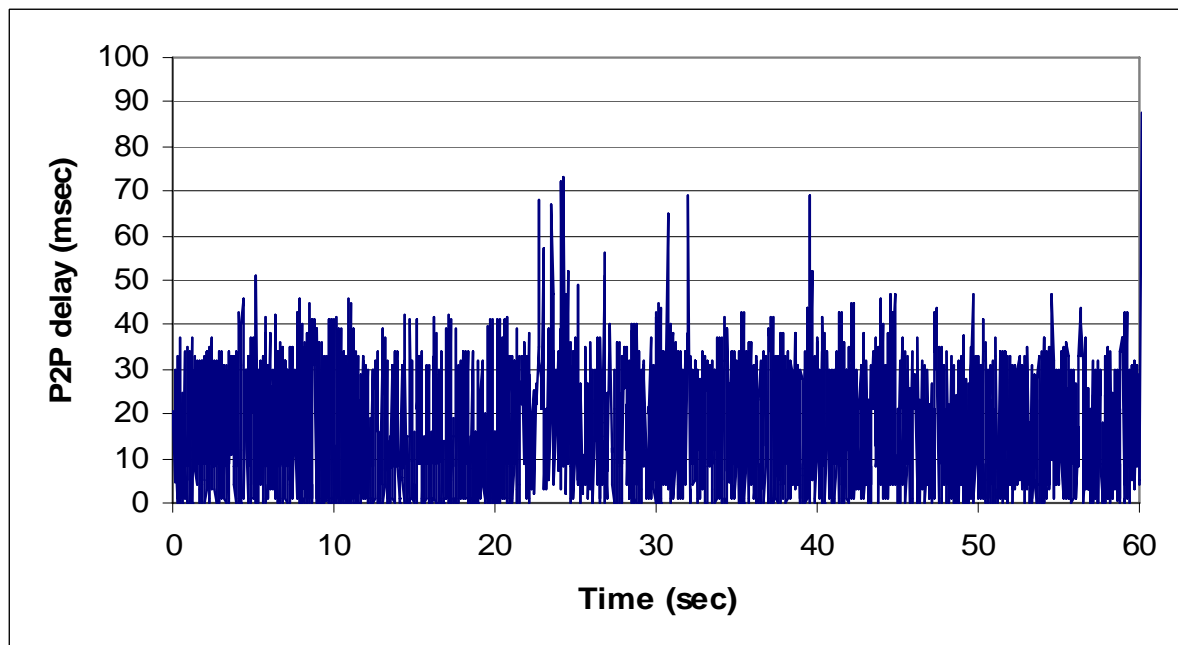
| | | | |
|--------------------|----------|--------------------|--------|
| RTT from 3WHS: | 12.0 ms | RTT from 3WHS: | 0.0 ms |
| RTT full_sz smpls: | 907 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 38.5 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 429.0 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 264.9 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 43.4 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 0 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 1352 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 1 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 0 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 0 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 0.0 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 0.0 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 0.0 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 0.0 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-18: Tcptrace - Bluetooth no co-existence

10.7.3 Αποτελέσματα UDP



Σχήμα 10-30: 7^ο σενάριο, Jitter



Σχήμα 10-31: 7^ο σενάριο, Packet to Packet Delay

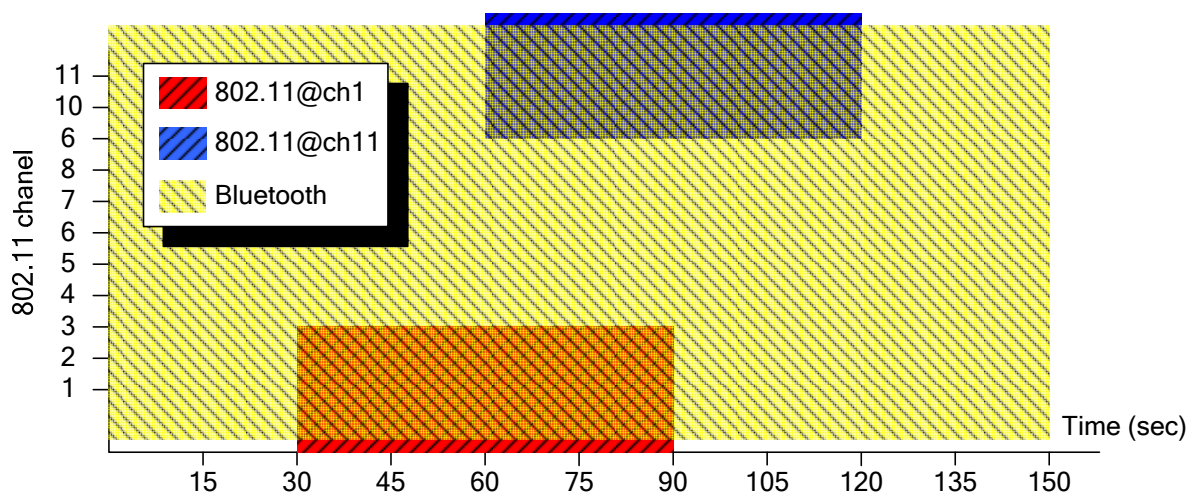
| | 0-60 sec |
|--------------------------|----------|
| average Jitter (msec) | 1.258 |
| min Jitter (msec) | 0.036 |
| max Jitter (msec) | 3.931 |
| average P2P delay (msec) | 14.935 |
| min P2P delay (msec) | 0.000 |
| max P2P delay (msec) | 72.978 |

Πίνακας 10-19: 7^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP

10.8. 8^ο Σενάριο

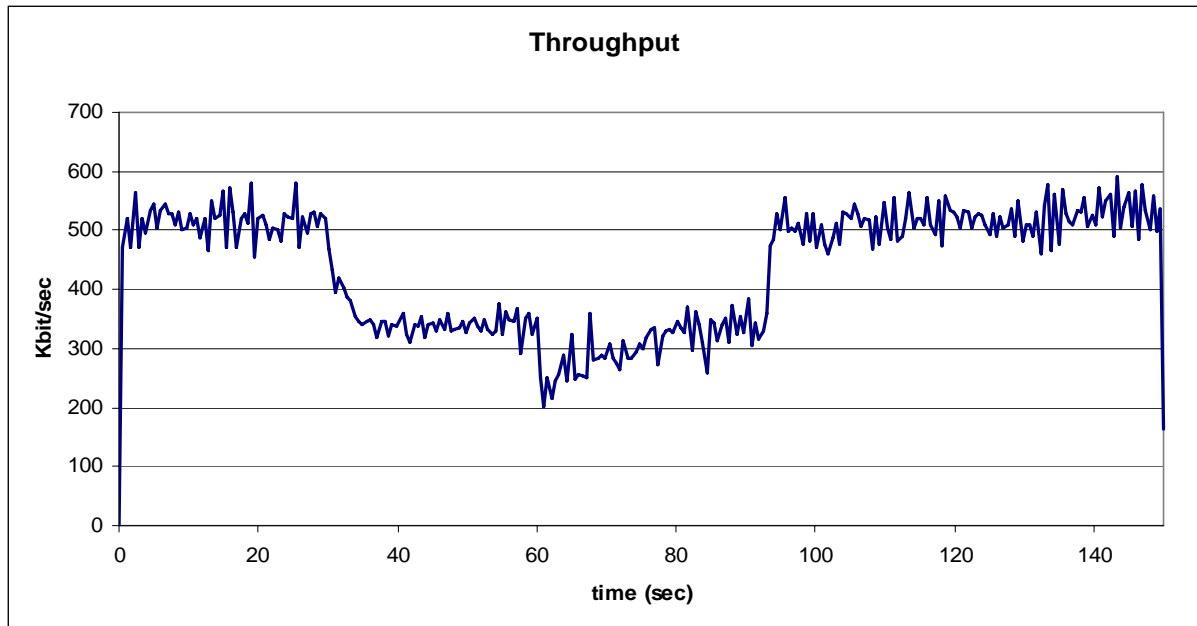
10.8.1 Περιγραφή

Στο 8^ο σενάριο έχουν δημιουργηθεί δύο ασύρματα δίκτυα 802.11 και ένα ασύρματο δίκτυο Bluetooth. Τα ασύρματα δίκτυα 802.11 λειτουργούν στο κανάλι 1 και 11 ετεροχρονισμένα. Καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης το δίκτυο Bluetooth είναι ενεργό. Στο 30^ο sec ενεργοποιείται το 1^ο ασύρματο δίκτυο (ch1) για 60 secs. Στο 60^ο sec ενεργοποιείται το 2^ο ασύρματο δίκτυο (ch11) επίσης για 60 secs. Έγινε επιλογή 2 καναλιών που απέχουν πολύ μεταξύ τους (αρκετά MHz διαφορά) έτσι ώστε η παρεμβολές να είναι καθαρά μεταξύ του Bluetooth και των δύο ασυρμάτων δικτύων ξεχωριστά, και όχι μεταξύ των δύο καναλιών του 802.11. Η περιγραφή του 8^{ου} σεναρίου παρουσιάζεται στο πλέγμα συχνότητας χρόνου στο Σχήμα 10-32.

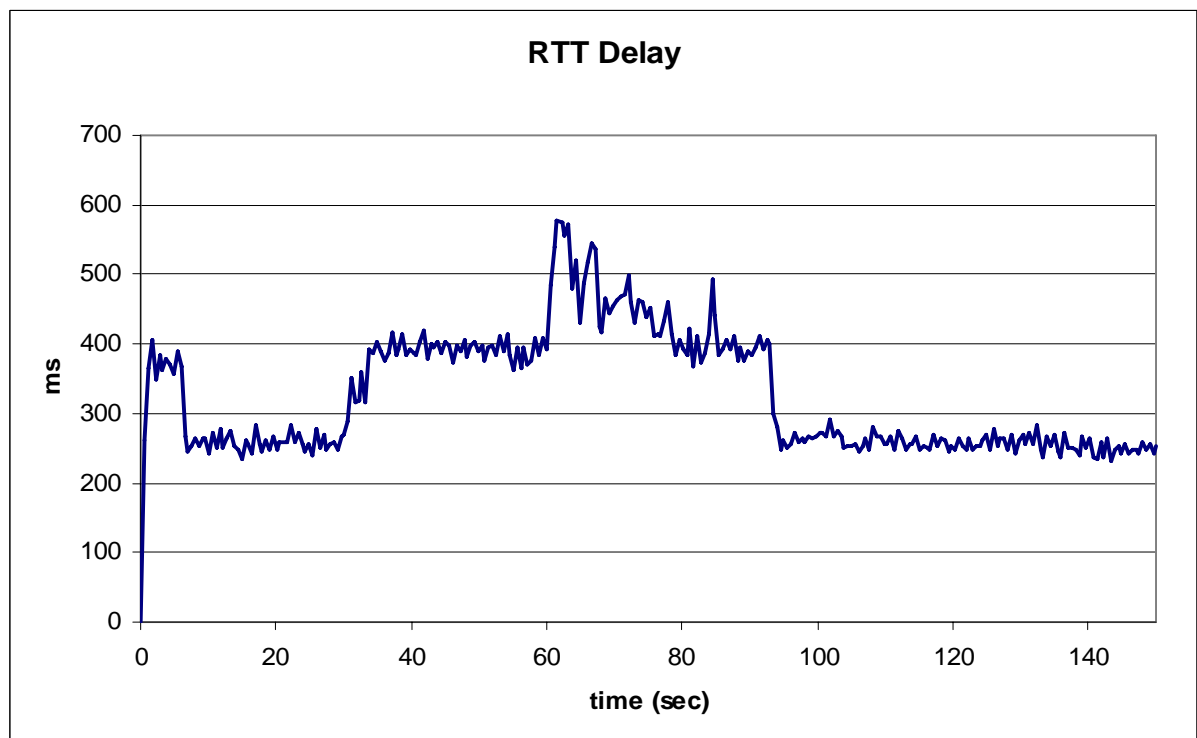


Σχήμα 10-32: 8^ο σενάριο, Τριπλό co-existence

10.8.2 Αποτελέσματα TCP



Σχήμα 10-33: 8^ο σενάριο, Bluetooth Throughput



Σχήμα 10-34: 8^ο σενάριο, Bluetooth RTT-Delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec | 60-90 sec | 90-150 sec |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|------------|
| Average throughput (Mb/s) | 515.93 | 346.72 | 302.78 | 514.40 |
| Average RTT Delay (ms) | 278.89 | 384.95 | 446.06 | 257.42 |

Πίνακας 10-20: 8^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων TCP

10.8.2.1 Αναφορά μετρήσεων

Στον Πίνακα 10-21 παρουσιάζεται η αναφορά της μέτρησης, την οποία δημιούργησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος tcptrace.

```

1 arg remaining, starting with 'subnet1_case8_tcp_client'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov 4, 2004

8712 packets seen, 8712 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:00.057805, 150713 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:02:30.387118
TCP connection info:
1 TCP connection traced:
TCP connection 1:
  host a:          192.168.10.1:1343
  host b:          192.168.10.2:5001
  complete conn:  yes
  first packet:   Thu Dec 14 18:37:37.882435 2006
  last packet:    Thu Dec 14 18:40:08.269553 2006
  elapsed time:   0:02:30.387118
  total packets: 8712
  filename:       subnet1_case8_tcp_client
a->b:                b->a:
total packets:      5806                total packets:      2906
ack pkts sent:      5805                ack pkts sent:      2906
pure acks sent:     2                    pure acks sent:     2904
sack pkts sent:     0                    sack pkts sent:     0
dsack pkts sent:   0                    dsack pkts sent:   0
max sack blks/ack: 0                    max sack blks/ack: 0
unique bytes sent:  7921688              unique bytes sent:  0
actual data pkts:   5802                actual data pkts:   0
actual data bytes:  7921688              actual data bytes:  0
rexmt data pkts:    0                    rexmt data pkts:    0
rexmt data bytes:   0                    rexmt data bytes:   0
zwnd probe pkts:    0                    zwnd probe pkts:    0
zwnd probe bytes:   0                    zwnd probe bytes:   0
outoforder pkts:    0                    outoforder pkts:    0
pushed data pkts:   968                  pushed data pkts:   0
SYN/FIN pkts sent: 1/1                  SYN/FIN pkts sent: 1/1
req sack:           Y                    req sack:           Y
sacks sent:         0                    sacks sent:         0
urgent data pkts:   0 pkts                urgent data pkts:   0 pkts
urgent data bytes:  0 bytes                urgent data bytes:  0 bytes
mss requested:     1460 bytes              mss requested:     1460 bytes
max segm size:     1460 bytes              max segm size:     0 bytes
min segm size:     24 bytes                min segm size:     0 bytes
avg segm size:     1365 bytes              avg segm size:     0 bytes
max win adv:       17520 bytes              max win adv:       17520 bytes
min win adv:       16384 bytes              min win adv:       17520 bytes
zero win adv:      0 times                 zero win adv:      0 times
avg win adv:       17519 bytes              avg win adv:       17520 bytes
initial window:    1484 bytes              initial window:    0 bytes
initial window:    2 pkts                 initial window:    0 pkts
ttl stream length: 7921688 bytes           ttl stream length: 0 bytes
missed data:       0 bytes                 missed data:       0 bytes
truncated data:    7678022 bytes           truncated data:    0 bytes
truncated packets: 5801 pkts              truncated packets: 0 pkts
data xmit time:    150.120 secs             data xmit time:    0.000 secs
idletime max:     248.7 ms                  idletime max:     150.0 ms
throughput:       52675 Bps                 throughput:        0 Bps

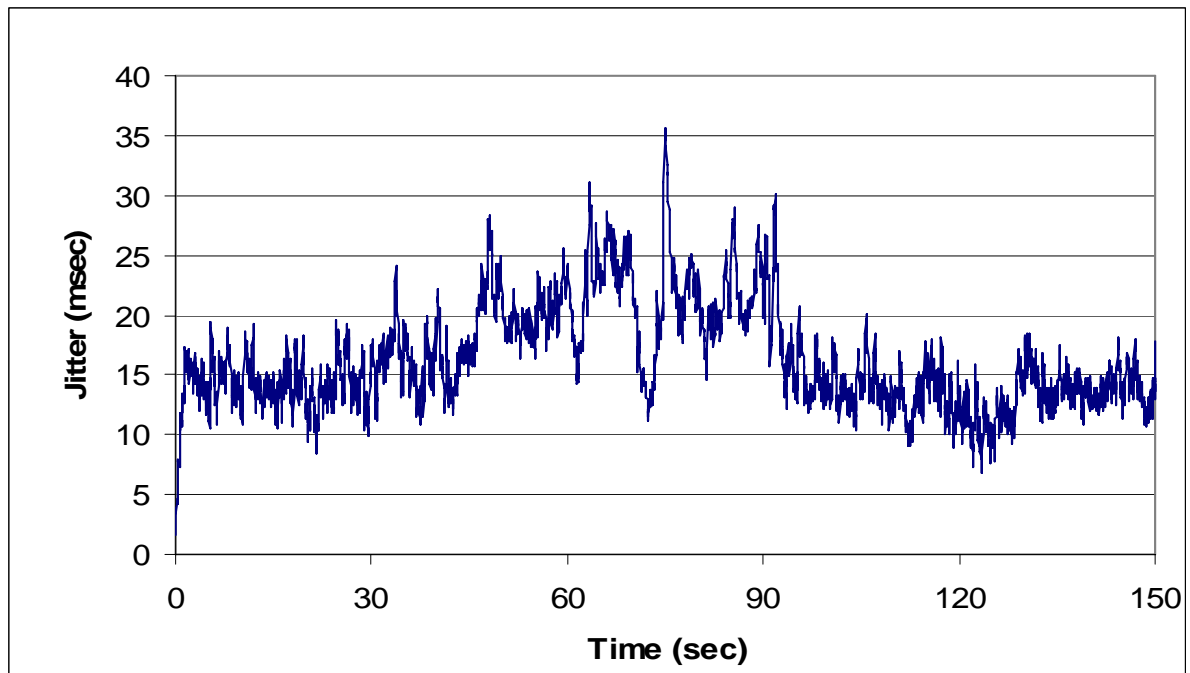
RTT samples:      2905                    RTT samples:      2
RTT min:          18.1 ms                   RTT min:          0.0 ms
RTT max:          638.9 ms                  RTT max:          0.1 ms
RTT avg:          309.8 ms                  RTT avg:          0.0 ms
RTT stdev:        80.2 ms                   RTT stdev:        0.0 ms

```

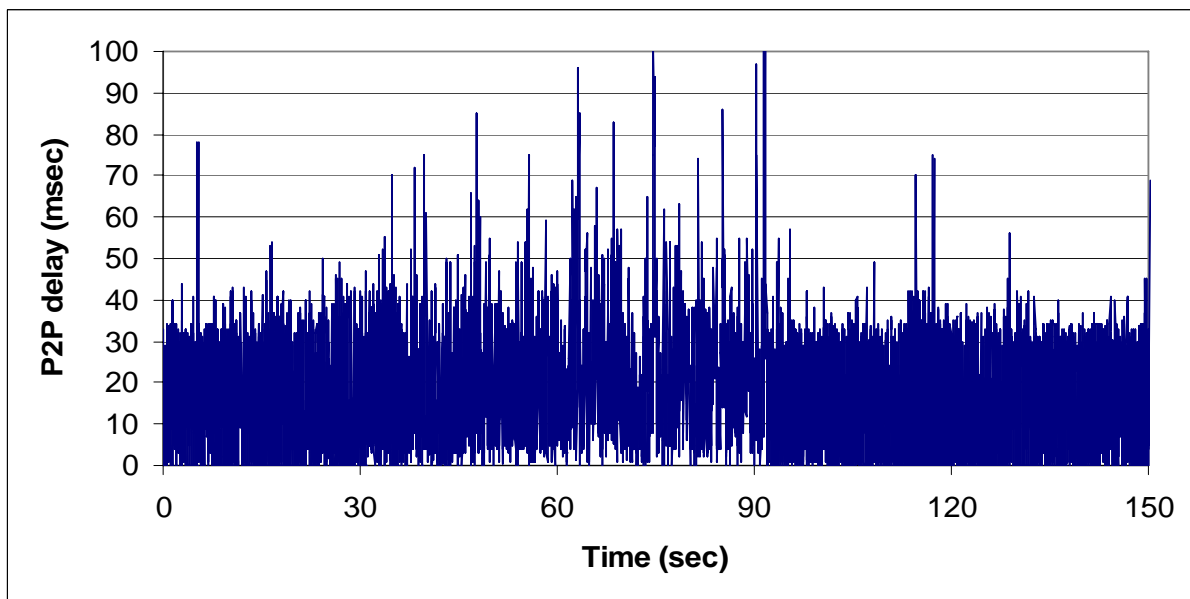
| | | | |
|--------------------|----------|--------------------|--------|
| RTT from 3WHS: | 18.1 ms | RTT from 3WHS: | 0.1 ms |
| RTT full_sz smpls: | 1992 | RTT full_sz smpls: | 1 |
| RTT full_sz min: | 64.0 ms | RTT full_sz min: | 0.0 ms |
| RTT full_sz max: | 638.9 ms | RTT full_sz max: | 0.0 ms |
| RTT full_sz avg: | 313.7 ms | RTT full_sz avg: | 0.0 ms |
| RTT full_sz stdev: | 83.8 ms | RTT full_sz stdev: | 0.0 ms |
| post-loss acks: | 0 | post-loss acks: | 0 |
| segs cum acked: | 2899 | segs cum acked: | 0 |
| duplicate acks: | 1 | duplicate acks: | 1 |
| triple dupacks: | 0 | triple dupacks: | 0 |
| max # retrans: | 0 | max # retrans: | 0 |
| min retr time: | 0.0 ms | min retr time: | 0.0 ms |
| max retr time: | 0.0 ms | max retr time: | 0.0 ms |
| avg retr time: | 0.0 ms | avg retr time: | 0.0 ms |
| sdv retr time: | 0.0 ms | sdv retr time: | 0.0 ms |

Πίνακας 10-21: Tcptrace - Τριπλό co-existence

10.8.3 Αποτελέσματα UDP



Σχήμα 10-35: 8^ο σενάριο, Jitter



Σχήμα 10-36: 8^ο σενάριο, Packet to Packet Delay

| | 0-30 sec | 30-60 sec | 60-90 sec | 90-120 sec | 120-150 sec |
|------------------------|----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| average Jitter (ms) | 14.02 | 17.91 | 21.28 | 14.23 | 13.17 |
| min Jitter (ms) | 1.57 | 10.89 | 11.13 | 8.87 | 6.78 |
| max Jitter (ms) | 19.60 | 28.33 | 35.68 | 30.19 | 18.44 |
| average P2P delay (ms) | 14.21 | 17.96 | 21.19 | 14.11 | 13.23 |
| min P2P delay (ms) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| max P2P delay (ms) | 78.00 | 84.97 | 101.99 | 123.10 | 55.99 |

Πίνακας 10-22: 8^ο σενάριο, Στατιστικά μετρήσεων UDP

10.8.4 Παράμετροι αναφοράς tcptrace

- total packets: The total number of packets seen.
- ack pkts sent: The total number of ack packets seen (TCP segments seen with the ACK bit set).
- pure acks sent: The total number of ack packets seen that were not piggy-backed with data (just the TCP header and no TCP data payload) and did not have any of the SYN/FIN/RST flags set.
- sack pkts sent: The total number of ack packets seen carrying TCP SACK [4] blocks.
- dsack pkts sent: The total number of sack packets seen that carried duplicate SACK (D-SACK) [6] blocks.
- max sack blks/ack: The maximum number of sack blocks seen in any sack packet.
- unique bytes sent: The number of unique bytes sent, i.e., the total bytes of data sent excluding retransmitted bytes and any bytes sent doing window probing.
- actual data pkts: The count of all the packets with at least a byte of TCP data payload.
- actual data bytes: The total bytes of data seen. Note that this includes bytes from retransmissions / window probe packets if any.
- rexmt data pkts: The count of all the packets found to be retransmissions.
- rexmt data bytes: The total bytes of data found in the retransmitted packets.
- zwnd probe pkts: The count of all the window probe packets seen. (Window probe packets are typically sent by a sender when the receiver last advertised a zero receive window, to see if the window has opened up now).
- zwnd probe bytes: The total bytes of data sent in the window probe packets.
- outoforder pkts: The count of all the packets that were seen to arrive out of order.
- pushed data pkts: The count of all the packets seen with the PUSH bit set in the TCP header.
- SYN/FIN pkts sent: The count of all the packets seen with the SYN/FIN bits set in the TCP header respectively.
- req 1323 ws/ts: If the endpoint requested Window Scaling/Time Stamp options as specified in RFC 1323[9] a `Y' is printed on the respective field. If the option was not requested, an `N' is printed. For example, an ``N/Y'' in this field means that the window-scaling option was not specified, while the Time-stamp option was specified in the SYN segment.

- adv wind scale: The window scaling factor used. Again, this field is valid only if the connection was captured fully to include the SYN packets. Since the connection would use window scaling if and only if both sides requested window scaling [9], this field is reset to 0 (even if a window scale was requested in the SYN packet for this direction), if the SYN packet in the reverse direction did not carry the window scale option.
- req sack: If the end-point sent a SACK permitted option in the SYN packet opening the connection, a 'Y' is printed; otherwise 'N' is printed.
- sacks sent: The total number of ACK packets seen carrying SACK information.
- urgent data pkts: The total number of packets with the URG bit turned on in the TCP header.
- urgent data bytes: The total bytes of urgent data sent. This field is calculated by summing the urgent pointer offset values found in packets having the URG bit set in the TCP header.
- mss requested: The Maximum Segment Size (MSS) requested as a TCP option in the SYN packet opening the connection.
- max segm size: The maximum segment size observed during the lifetime of the connection.
- min segm size: The minimum segment size observed during the lifetime of the connection.
- avg segm size: The average segment size observed during the lifetime of the connection calculated as the value reported in the actual data bytes field divided by the actual data pkts reported.
- max win adv: The maximum window advertisement seen. If the connection is using window scaling (both sides negotiated window scaling during the opening of the connection), this is the maximum window-scaled advertisement seen in the connection. For a connection using window scaling, both the SYN segments opening the connection have to be captured in the dumpfile for this and the following window statistics to be accurate.
- min win adv: The minimum window advertisement seen. This is the minimum window-scaled advertisement seen if both sides negotiated window scaling.
- zero win adv: The number of times a zero receive window was advertised.
- avg win adv: The average window advertisement seen, calculated as the sum of all window advertisements divided by the total number of packets seen. If the connection endpoints negotiated window scaling, this average is calculated as the sum of all window-

scaled advertisements divided by the number of window-scaled packets seen. Note that in the window-scaled case, the window advertisements in the SYN packets are excluded since the SYN packets themselves cannot have their window advertisements scaled, as per RFC 1323.

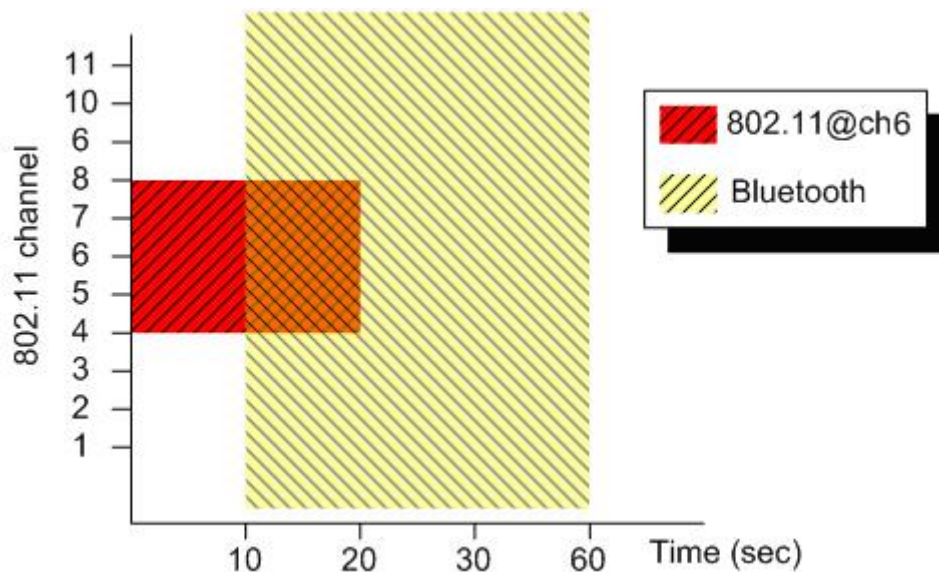
- initial window: The total number of bytes sent in the initial window i.e., the number of bytes seen in the initial flight of data before receiving the first ack packet from the other endpoint. Note that the ack packet from the other endpoint is the first ack acknowledging some data (the ACKs part of the 3-way handshake do not count), and any retransmitted packets in this stage are excluded.
- initial window: The total number of segments (packets) sent in the initial window as explained above.
- ttd stream length: The Theoretical Stream Length. This is calculated as the difference between the sequence numbers of the SYN and FIN packets, giving the length of the data stream seen. Note that this calculation is aware of sequence space wrap-arounds, and is printed only if the connection was complete (both the SYN and FIN packets were seen).
- missed data: The missed data, calculated as the difference between the ttd stream length and unique bytes sent. If the connection was not complete, this calculation is invalid and an ``NA'' (Not Available) is printed.
- truncated data: The truncated data, calculated as the total bytes of data truncated during packet capture. For example, with tcpdump, the snaplen option can be set to 64 (with -s option) so that just the headers of the packet (assuming there are no options) are captured, truncating most of the packet data. In an Ethernet with maximum segment size of 1500 bytes, this would amount to truncated data of $1500 - 64 = 1436$ bytes for a packet.
- truncated packets: The total number of packets truncated as explained above.
- data xmit time: Total data transmit time, calculated as the difference between the times of capture of the first and last packets carrying non-zero TCP data payload.
- idletime max: Maximum idle time, calculated as the maximum time between consecutive packets seen in the direction.
- throughput: The average throughput calculated as the unique bytes sent divided by the elapsed time.

10.9. Μετρήσεις φάσματος

Παράλληλα με της μετρήσεις επίδοσης για τα ασύρματα δίκτυα, πραγματοποιήθηκε καταγραφή του φάσματος για την ISM μπάντα. Οι μετρήσεις αυτές δείχνουν το πρόβλημα της συνύπαρξης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κεραία που χρησιμοποιήθηκε στον αναλυτή δεν ήταν χαρακτηρισμένη, οπότε τα καταγραμμένα επίπεδα ισχύος δεν είναι τα σωστά κατά απόλυτη τιμή. Εντούτοις το γεγονός αυτό δεν επηρεάζει τα συμπεράσματα των μετρήσεων, αφού τις μετρήσεις αυτές τις χρησιμοποιούμε για να συγκρίνουμε τα επίπεδα ισχύος της ασύρματης δραστηριότητας στο χώρο, και όχι για να κάνουμε εκτίμηση ισχύος.

10.9.1 Σενάριο (A) - 802.11@ch6 & Bluetooth co-existence

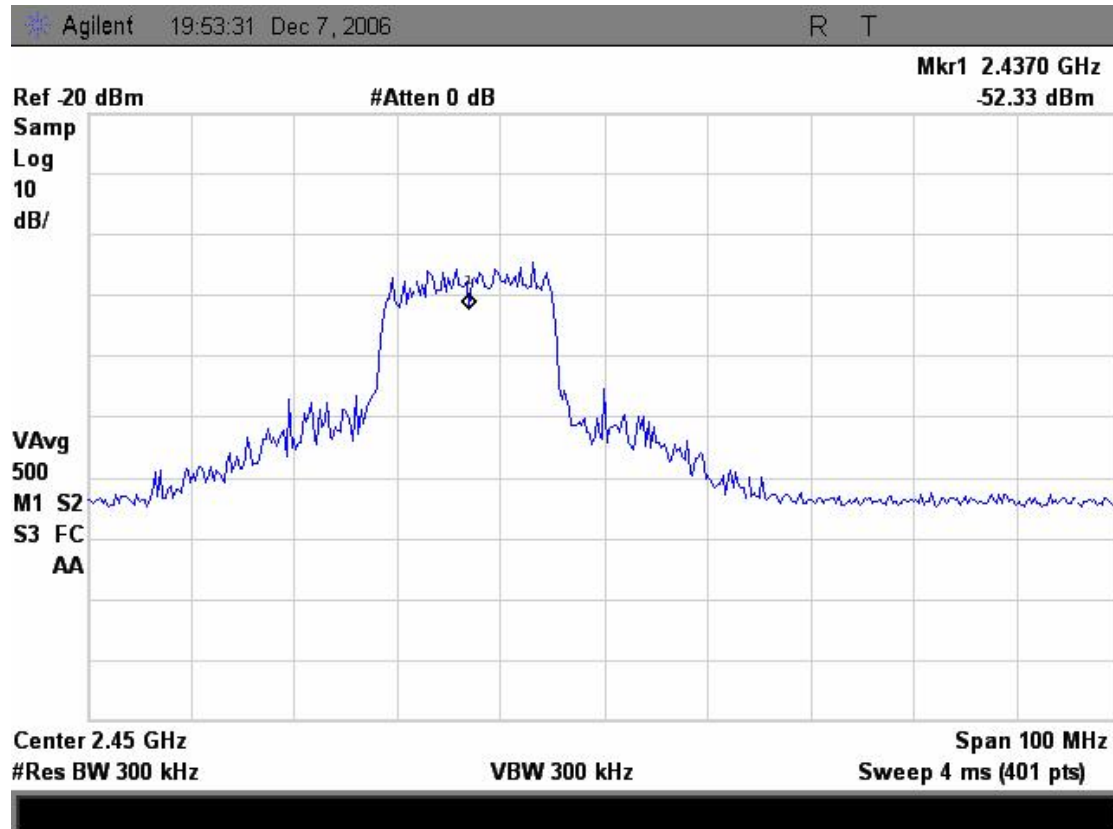
Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται μετρήσεις φάσματος στην περίπτωση συνύπαρξης Bluetooth και 802.11. Το σενάριο στο οποίο έγινε η καταγραφή φάσματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 10-37.



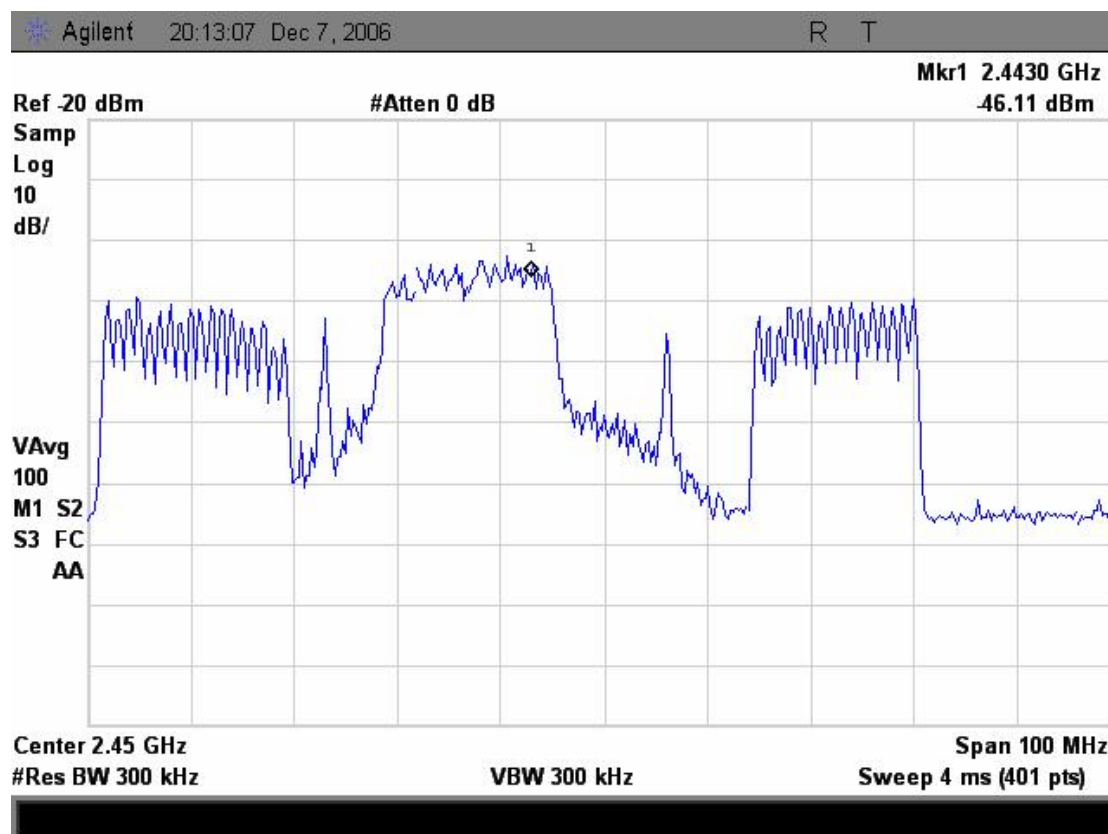
Σχήμα 10-37: Περιγραφή σεναρίου (A) επισκόπησης φάσματος στο πλέγμα χρόνου-συχνότητας

Το ασύρματο δίκτυο 802.11 λειτουργεί σε Infrastructure mode και χρησιμοποιεί το κανάλι 6 (2.437GHz). Οι μετρήσεις αυτές αφορούν ένα σενάριο συνύπαρξης. Αρχικά υπάρχει μετάδοση στο ασύρματο 802.11 δίκτυο. Το φάσμα της ISM ζώνης παρουσιάζεται στο Σχήμα 10-38. Μετά από 10 δευτερόλεπτα μετάδοσης ξεκινά και η μετάδοση πάνω από το ασύρματο δίκτυο Bluetooth. Το φάσμα που καταγράφηκε μετά από 2 δευτερόλεπτα μετάδοσης (time=10+2 sec)

παρουσιάζεται στο Σχήμα 10-39. Παρατηρείται το γεγονός ότι το hopping pattern του Bluetooth δεν περιλαμβάνει συχνότητες του καναλιού 6 του 802.11. Αυτό συμβαίνει επειδή το Bluetooth δίκτυο το οποίο συμμετείχε στη μέτρηση χρησιμοποιεί μηχανισμό συλλειτουργίας adaptive frequency hopping.

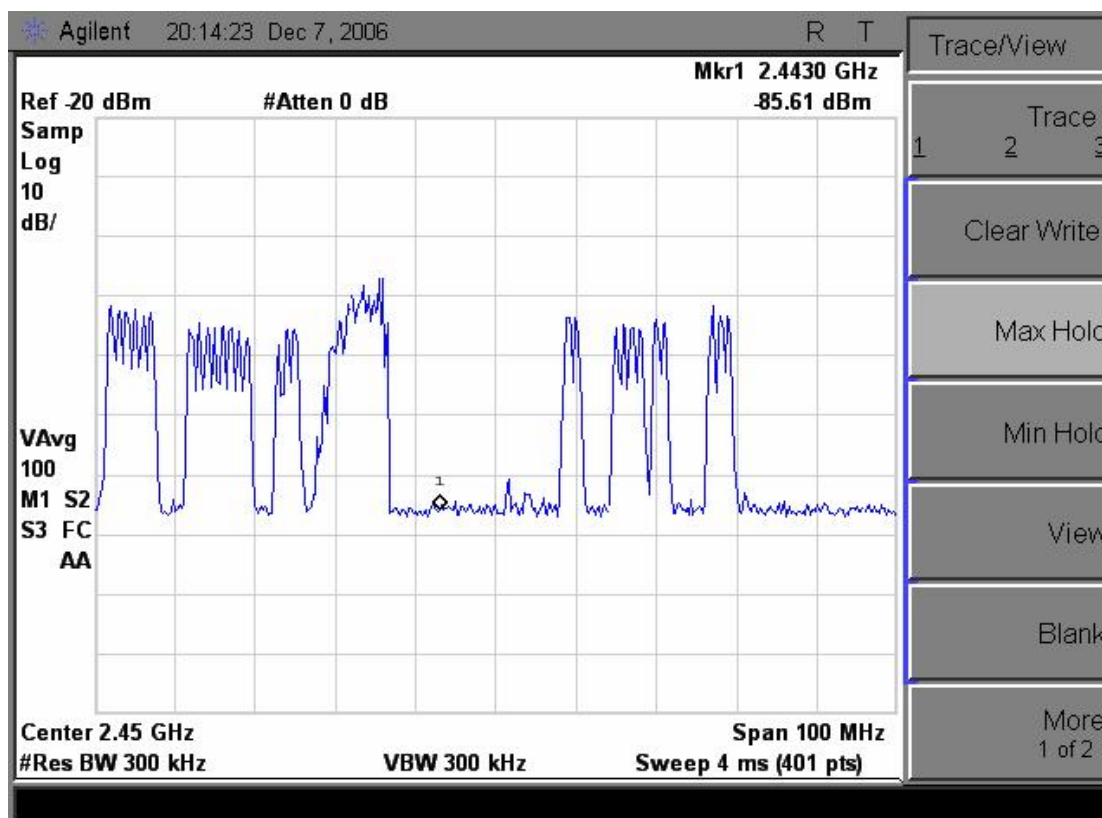


Σχήμα 10-38: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=0

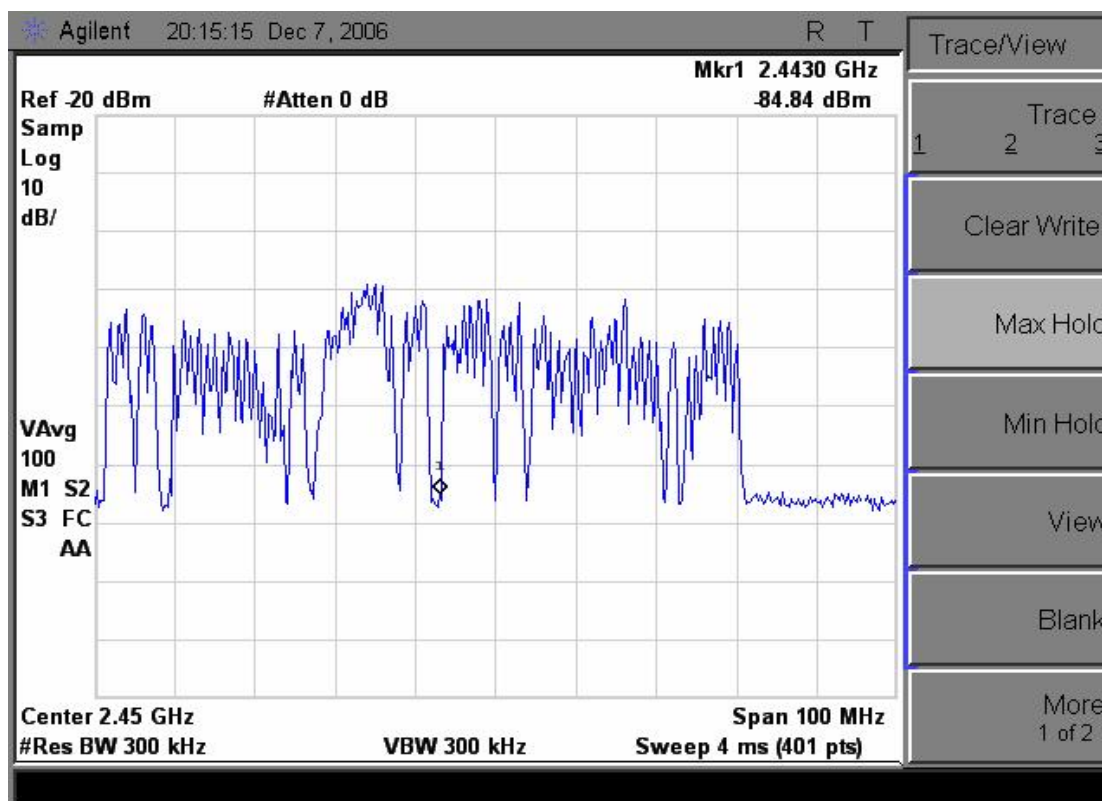


Σχήμα 10-39: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=12 sec

Στη συνέχεια μετά από 18 sec ($time=12+18=30sec$) το δίκτυο 802.11 τίθεται εκτός λειτουργίας. Το φάσμα όπως καταγράφηκε μετά από 2 sec ($time=30+2=32sec$) απεικονίζεται στο Σχήμα 10-40. Παρατηρείται ότι τα πρώτα δευτερόλεπτα από τη στιγμή που σταμάτησε η συνύπαρξη το Bluetooth εξακολουθεί να αποφεύγει συχνότητες που χρησιμοποιούσε το 802.11 δίκτυο. Μετά από 28 δευτερόλεπτα από την στιγμή που έπαψε η συνύπαρξη, η εικόνα του φάσματος καταγράφηκε και παρουσιάζεται στο Σχήμα 10-41.



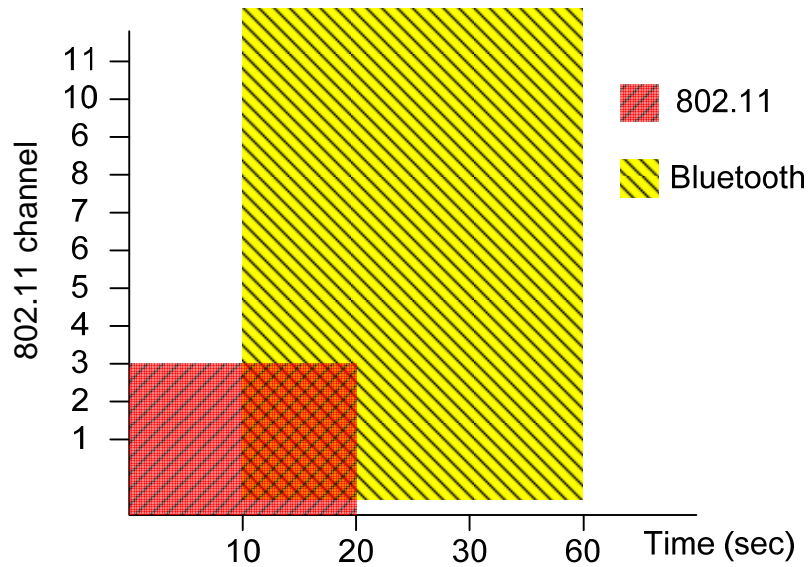
Σχήμα 10-40: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=32 sec



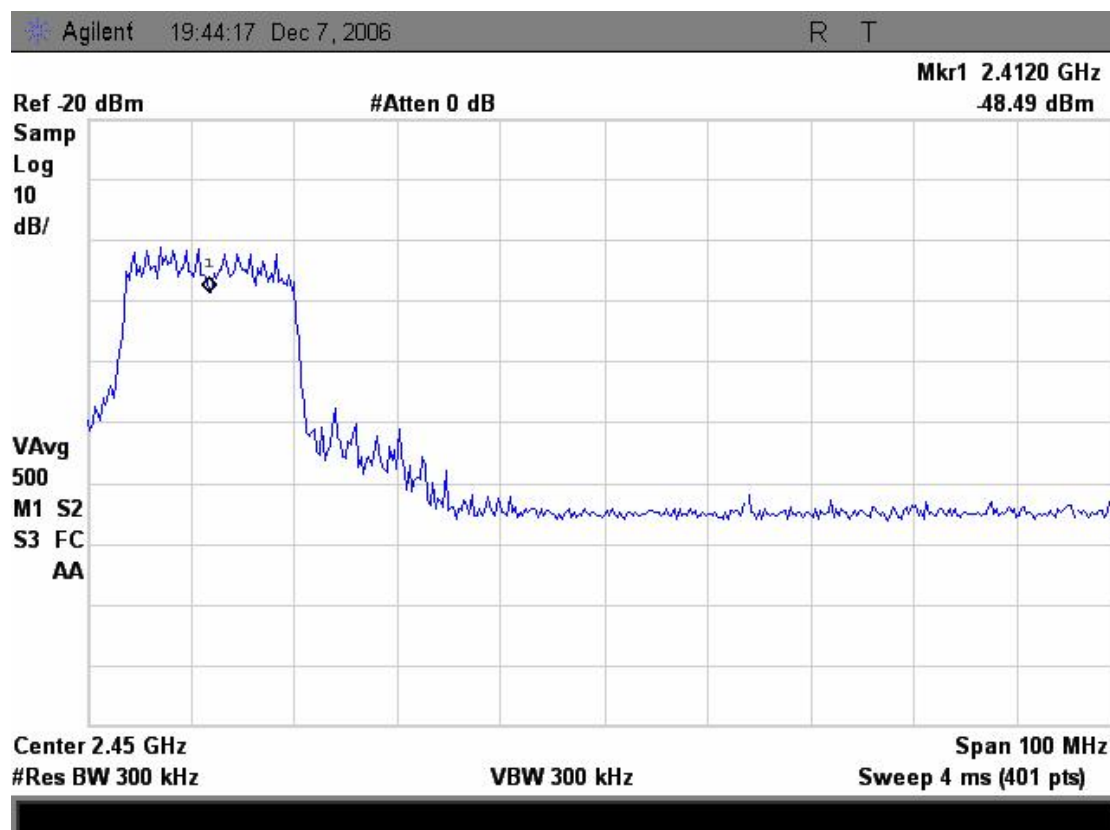
Σχήμα 10-41: 802.11@ch6 & Bluetooth Co-existence time=60 sec

10.9.2 Σενάριο (B) - 802.11@ch1 & Bluetooth co-existence

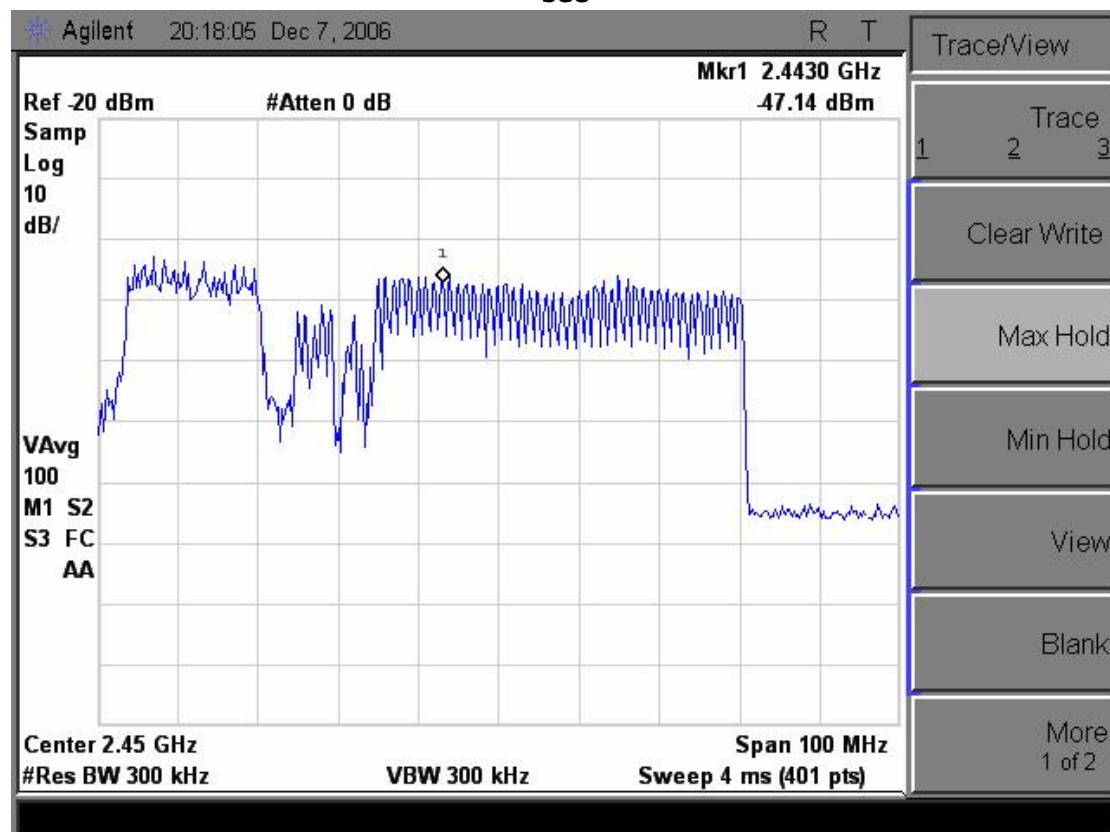
Οι προαναφερθέντες μετρήσεις φάσματος επαναλήφθηκαν και για τη περίπτωση όπου το ασύρματο δίκτυο 802.11 λειτουργεί στο κανάλι 1. Η χρονική εξέλιξη του σεναρίου αυτού περιγράφεται από το Σχήμα 10-42. Στο σενάριο αυτό εξάγονται παρόμοια συμπεράσματα όπως φαίνεται και από τα ακόλουθα σχήματα.



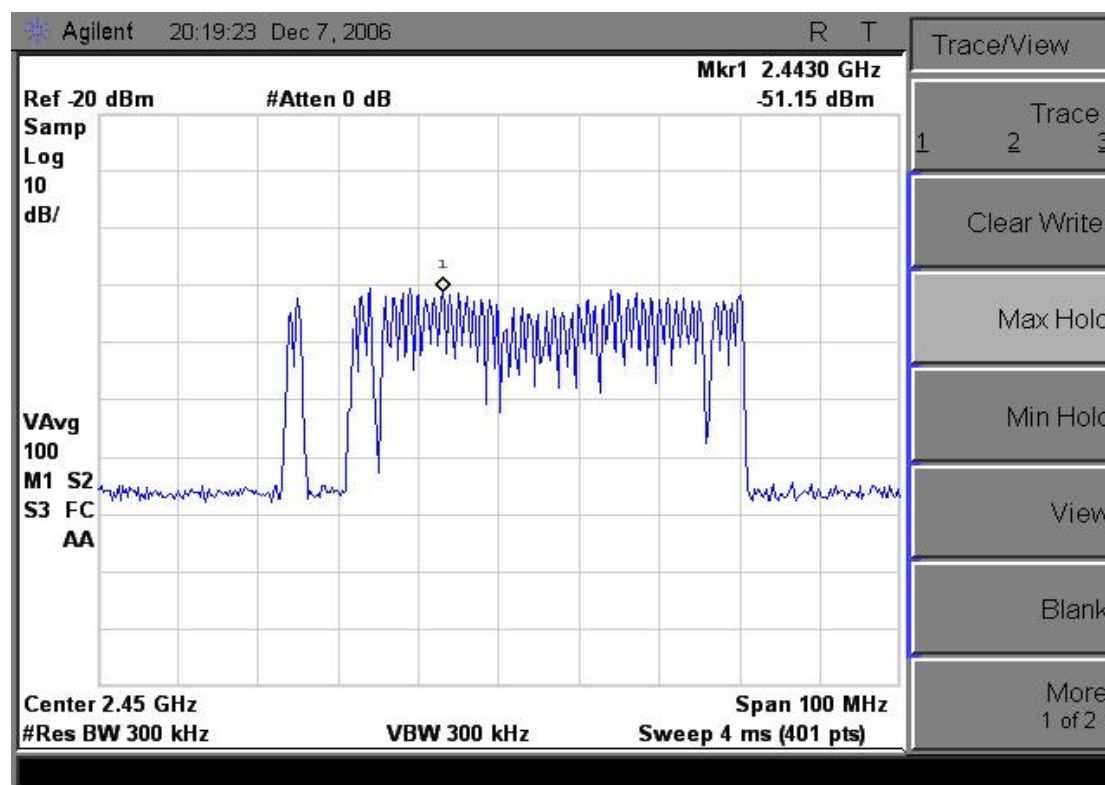
Σχήμα 10-42: Περιγραφή σεναρίου (B) επισκόπησης φάσματος στο πλέγμα χρόνου-συχνότητας



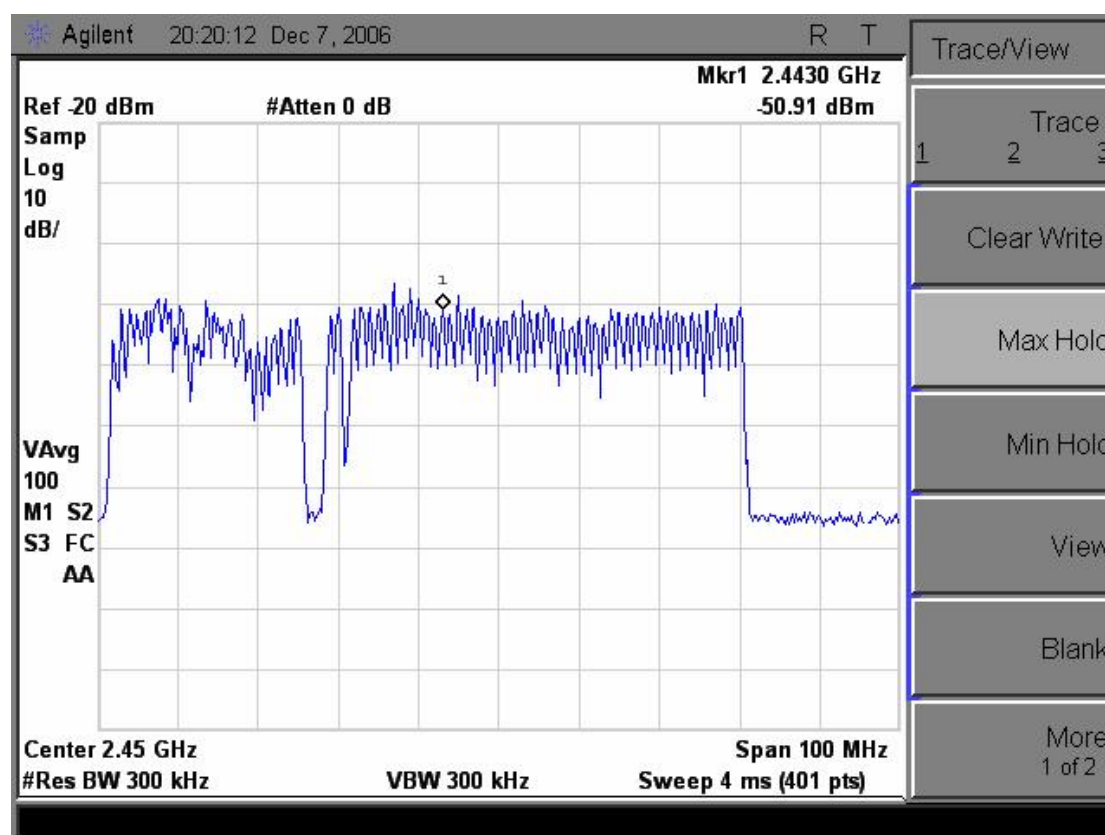
Σχήμα 10-43: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=0 sec



Σχήμα 10-44: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=12 sec



Σχήμα 10-45: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=32



Σχήμα 10-46: ISM φάσμα, 802.11@ch1 & Bluetooth Co-existence time=60 sec

11. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Μετά το πέρας όλων των παραπάνω διεξοδικών μετρήσεων πάνω στα ασύρματα δίκτυα 802.11 και Bluetooth, μπορούν να εξαχθούν με ασφάλεια, κάποια συμπεράσματα για τη συνολική συμπεριφορά τους στην κατάσταση της συλλειτουργίας που αξιολογήθηκαν. Μια γενική εικόνα των αποτελεσμάτων, δείχνει πως, ο τρόπος υλοποίησης των ζεύξεων αλλά και της μετάδοσης της πληροφορίας, σε κάθε δίκτυο ξεχωριστά, επιτρέπει τη συνύπαρξη και συλλειτουργία τους χωρίς σημαντική επιβάρυνση της λειτουργίας του ενός πάνω στο άλλο. Βέβαια οι παρεμβολές και ο επηρεασμός μεταξύ των δύο δικτύων είναι αναπόφευκτος, λόγω φυσικά της ίδιας μπάντας λειτουργίας, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει τελικά πως η συνύπαρξή τους είναι απαγορευτική. Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιμέρους παρατηρήσεις και συμπεράσματα για το κάθε σενάριο ξεχωριστά.

11.1. Σενάρια

11.1.1 1° Σενάριο

Ελέγχοντας τις τιμές του throughput στο πρώτο σενάριο (για TCP μετρήσεις), παρατηρείται μια αστάθεια στην τιμή του στα πρώτα 30 secs όπου και έχουμε τη συλλειτουργία των δύο καναλιών. Η τιμή αυτή αυξομειώνεται από 2 Mbit/s έως και 18 Mbit/s με τη μέση τιμή να είναι στα 7,12 Mbit/s. Στο ίδιο διάστημα, το RTT Delay παρουσιάζει εξίσου μεγάλες αυξομειώσεις με τη μέση τιμή του να κυμαίνεται στα 21,47 ms, τιμή που δείχνει πως οι αλληλο-παρεμβολές των δύο καναλιών επιφέρουν σημαντική καθυστέρηση στην ταχύτητα του δικτύου.

Από τα 30 secs κι έπειτα, όταν πλέον η μετάδοση του channel 6 έχει τερματιστεί, η εξομάλυνση και των δύο τιμών είναι εμφανής. Το throughput αγγίζει την μέση τιμή των 16,49 Mbit/s, αισθητά βελτιωμένο σε σχέση με τα προηγούμενα 30 secs, χωρίς να παρουσιάζεται το φαινόμενο της έντονης αυξομείωσης της τιμής του. Το RTT Delay επίσης εξομαλύνεται και εμφανίζεται μειωμένο, η μέση τιμή του είναι 5,07 ms, χωρίς την παρουσίαση των αυξομειώσεων των προηγούμενων 30 secs. Συμπερασματικά, αυτό που πρέπει να αναφερθεί, είναι πως στην TCP κίνηση, δύο κοντινά κανάλια, όπως είναι το 1 και 3 της μέτρησης, αλληλοεπηρεάζονται άμεσα, με δυσμενείς συνέπειες του ενός πάνω στο άλλο, επηρεάζοντας κατά πολύ τους ρυθμούς μετάδοσης του καθενός.

Όσον αφορά τις UDP μετρήσεις, οι διαφορές στα δύο διαστήματα του χρόνου που ελέγχονται οι μετρήσεις, είναι ελάχιστες. Επομένως το συμπέρασμα είναι πως σε κατάσταση

συλλειτουργίας των καναλιών 1 και 3, δεν παρατηρείται σχεδόν καμιά αλλαγή στους ρυθμούς μετάδοσης σε UDP κίνηση.

11.1.2 2° Σενάριο

Το συγκεκριμένο σενάριο διαφοροποιείται από το προηγούμενο στο κανάλι μετάδοσης του ενός ασυρμάτου δικτύου. Το κανάλι 6 δεν προκαλεί αλληλο-παρεμβολές και αυτό είναι εμφανές τόσο από τις τιμές του throughput και RTT Delay σε TCP κίνηση, όσο και στις τιμές του Jitter και Packet to Packet Delay σε UDP κίνηση.

Στα πρώτα 30 secs το μέσο throughput κινείται στα 13,87 Mbit/s, δηλαδή τιμή πολύ κοντά με την τιμή των επόμενων 30 secs, 16,12 Mbit/s, όπου η μετάδοση του channel 6 έχει διακοπεί. Το ίδιο ισχύει και για το RTT Delay όπου στο πρώτο διάστημα η τιμή του είναι 6,43 ms ενώ στο δεύτερο διάστημα είναι 5,35, δηλαδή ελάχιστα βελτιωμένο. Συμπερασματικά, τα δύο κανάλια που δεν κινούνται σε αλληλο-καλυπτόμενα MHz, επηρεάζονται ανεπαίσθητα το ένα με το άλλο.

Στην UDP κίνηση το σκηνικό είναι παρόμοιο με το πρώτο σενάριο. Το μέσο Jitter καθώς και το μέσο P2P Delay είναι σχεδόν αμετάβλητα στα δύο διαστήματα της μέτρησης, αποτέλεσμα που συνάδει στο γεγονός πως η UDP κίνηση μένει ανεπηρέαστη και σ' αυτή την περίπτωση.

11.1.3 3° Σενάριο

Το 3° σενάριο κινείται στην ίδια λογική με τα προηγούμενα δύο, με τη διαφοροποίηση πως πλέον στη θέση του 6^{ου} καναλιού υπάρχει το κανάλι 11. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν τα αναμενόμενα. Λόγω της μεγάλης απόστασης των MHz που χωρίζει τα δύο κανάλια, οι αλληλο-παρεμβολές είναι ασήμαντες. Στην TCP κίνηση το μέσο throughput και RTT Delay αλλάζουν ελάχιστα στα δυο διαστήματα των μετρήσεων. Στα πρώτα 30 secs το throughput είναι 15,92 Mbit/s και το RTT Delay 5,51 ms και αντίστοιχα στα υπόλοιπα 30 secs της μέτρησης 17,05 Mbit/s και 4,88 ms, δηλαδή διαφορές που παραπέμπουν στο συμπέρασμα πως ουσιαστικά τα δύο κανάλια δεν αλληλο-επηρεάζονται σε κατάσταση συλλειτουργίας.

Στην UDP κίνηση, για άλλη μια φορά, τα αποτελέσματα είναι πανομοιότυπα και στα δύο διαστήματα της μέτρησης, με το Jitter και το P2P Delay να διαφοροποιούνται ασήμαντα.

11.1.4 4° Σενάριο

Η δημιουργία του ασυρμάτου δικτύου του 4^{ου} σεναρίου έδωσε μια γενική εικόνα των «καθαρών» τιμών που δίνει η μέτρησή του σε παρθένο περιβάλλον. Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε για να υπάρχει ένα σημείο αναφοράς για τις συνολικές

μετρήσεις και να υπάρχουν τιμές που θα είναι άμεσα συγκρίσιμες με τις τιμές που δίνουν δίκτυα που βρίσκονται σε συλλειτουργία. Σαν «καθαρή» μέση τιμή του throughput για TCP κίνηση στο κανάλι 1 μετρήθηκε η 16,98 Mbit/s και του RTT Delay η 4,92. Μια παρατήρηση που προκύπτει από αυτή τη μέτρηση, είναι πως στο 1^ο σενάριο, στο διάστημα της συλλειτουργίας των δύο δικτύων, το μέσο throughput αυξήθηκε κατά **2,3 φορές** από το 1^ο στο 2^ο διάστημα, και μάλιστα έφτασε απροβλημάτιστα την «καθαρή» μέση τιμή του. Άρα η επιρροή στο throughput μόλις σταματήσει το ένα ασύρματο δίκτυο, είναι άμεση. Η τιμή του RTT Delay υπό-τετραπλασιάστηκε και έφτασε την «καθαρή» μέση τιμή του.

Σε UDP κίνηση, η «καθαρή» μέση τιμή του Jitter μετρήθηκε στα 1,258 ms ενώ του P2P Delay στα 1,265 ms.

11.1.5 5^ο Σενάριο

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του 5^{ου} σεναρίου, όπου πλέον υφίσταται συλλειτουργία 802.11 και Bluetooth. Στα πρώτα 30 δευτερόλεπτα η λειτουργία του 802.11 είναι η αναμενόμενη, με τις τιμές των throughput και RTT Delay να είναι αυτές που μετρήθηκαν στο 4^ο σενάριο. Στο 30^ο δευτερόλεπτο η είσοδος του Bluetooth επηρεάζει άμεσα την όλη μετάδοση του δικτύου. Το throughput πέφτει στη μέση τιμή των 10,83 Mbit/s καθ' όλη τη διάρκεια που υπάρχει δικτυακή κίνηση στο δίκτυο Bluetooth, δηλαδή έχουμε **μια πτώση κατά 36,8%** επί του αρχικού throughput. Στο ίδιο διάστημα, το RTT Delay σχεδόν **διπλασιάστηκε**. Μετά την πάροδο των 30 secs της συλλειτουργίας οι τιμές του throughput και RTT Delay επανήλθαν στα αρχικά τους φυσιολογικά επίπεδα.

Τελικά, οι τιμές των αποτελεσμάτων οδηγούν αυτόματα στο συμπέρασμα, πως η συνύπαρξη αλλά και η συλλειτουργία των δύο δικτύων είναι εφικτή και βιώσιμη, με την παραχώρηση όμως της μειωμένης απόδοσης των δικτύων καθ' όλη τη διάρκεια της ταυτόχρονης ροής δεδομένων.

11.1.6 6^ο Σενάριο

Στο 7^ο σενάριο αυτό που προκαλεί εντύπωση, είναι η συμπεριφορά του Bluetooth, μετά την παύση της λειτουργίας του 802.11 (channel 1). Τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα «κυλούν» ομαλά, όπως φαίνεται από τις τιμές του throughput και RTT Delay, 520,12 Mbit/s και 279,86 ms αντίστοιχα. Με την έναρξη της λειτουργίας του 802.11 (ch1), παρατηρείται **πτώση** του throughput κατά **37,9%** και **αύξηση** του RTT Delay κατά **54,1%**. Ως εδώ τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα. Αυτό που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι οι τιμές του throughput και RTT Delay στο διάστημα 60-90 secs, όπου το ασύρματο δίκτυο 802.11 έχει πάψει να λειτουργεί και το Bluetooth συνεχίζει μέχρι το πέρας της μέτρησης. Οι τιμές, λοιπόν των δύο αυτών μεγεθών, βελτιώθηκαν

ελάχιστα. Το μεν throughput αυξήθηκε μόλις κατά **13,9%**, τιμή μικρή σε σχέση με την «καθίζηση» που υπέστη, το δε RTT Delay μειώθηκε μόνο κατά **10%**. Είναι σαφές πως οι επιδόσεις του Bluetooth σε κατάσταση συλλειτουργίας επηρεάζονται άμεσα αρνητικά όπως και του 802.11, αλλά σε αντίθεση με το 802.11, δε μπορούν να επανέλθουν στο επίπεδο που βρισκόταν πριν τη συλλειτουργία, μόλις αυτή διακοπεί.

11.1.7 7° Σενάριο

Στο 7° σενάριο μελετήθηκε η λειτουργία του Bluetooth σε «καθαρό» περιβάλλον. Ο λόγος που έγινε αυτό είναι ο ίδιος με το 4° σενάριο. Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε για να υπάρχει ένα σημείο αναφοράς για τις συνολικές μετρήσεις και να υπάρχουν τιμές που θα είναι άμεσα συγκρίσιμες με τις τιμές που δίνουν δίκτυα που βρίσκονται σε συλλειτουργία. Στην TCP κίνηση η τιμή του μέσου throughput είναι **521,56 kb/s**, ενώ η μέση τιμή του RTT Delay είναι **269,31 ms**.

Στη μέτρηση της UDP κίνησης η μέση τιμή του Jitter ανέρχεται στα **1,258 ms** και του P2P Delay στα **14,935 ms**. Επομένως αυτές είναι οι τιμές με τις οποίες θα συγκρίνεται κάθε μέτρηση Bluetooth.

11.1.8 8° Σενάριο

Το 8° σενάριο είναι το πλέον περίπλοκο. Στα 30 πρώτα secs όπου δεν υπάρχει καμιά παρεμβολή από άλλο δίκτυο, η λειτουργία του Bluetooth είναι απροβλημάτιστη όπως είναι το αναμενόμενο, με τις τιμές των throughput και RTT Delay να είναι αυτές που μετρηθήκανε σε καθαρό περιβάλλον. Στο 30° sec όπου ανοίγει το ασύρματο δίκτυο (channel 1), οι τιμές αλλάζουν και παρατηρείται πτώση τόσο στο throughput όσο και στο RTT Delay. Η **μείωση** που υφίσταται το throughput είναι της τάξης του **32%** (από 515,93 σε 346,72) και αντίστοιχα η **αύξηση** του RTT Delay είναι της τάξης του **38%** (από 278,89 σε 384,85).

Στο 60° sec το φαινόμενο της μείωσης της απόδοσης του δικτύου του Bluetooth εντείνεται με την έναρξη της λειτουργίας του 3^{ου} κατά σειρά ασυρμάτου δικτύου 802.11 στο κανάλι 11. Υπάρχει περαιτέρω **μείωση** του throughput, που αγγίζει το **41%** της αρχικής τιμής και **12,6%** της τιμής των 30 πρώτων δευτερολέπτων της συλλειτουργίας του Bluetooth και του 1^{ου} ασυρμάτου δικτύου 802.11. Το RTT Delay αυξάνεται κι άλλο με αύξηση της τάξης του **59%** της αρχικής τιμής και **15,9%** της τιμής των 30 πρώτων δευτερολέπτων της συλλειτουργίας του Bluetooth και του 1^{ου} ασυρμάτου δικτύου 802.11.

Στο 90° sec το 1° ασύρματο δίκτυο (channel 1) σταματάει να λειτουργεί και για τα επόμενα 30 secs συλλειτουργούν το Bluetooth με το 802.11 (channel 11). Το

throughput επανέρχεται στα επίπεδα των 30 πρώτων δευτερολέπτων, όπως και το RTT Delay, και συνεχίζει έτσι και μετά την παύση του ασυρμάτου δικτύου (channel 11), μέχρι το τέλος των 150 secs που διαρκεί όλη η μέτρηση. Φαίνεται καθαρά πως το κανάλι 11 δεν επηρεάζει το Bluetooth όταν συλλειτουργούν, παρά μόνο στη περίπτωση που υπάρχει και 3^ο ασύρματο δίκτυο, όπως σ' αυτή την περίπτωση που υπάρχει το κανάλι 1.

Στη μέτρηση της UDP κίνησης, σημειώθηκαν αυξομειώσεις στις τιμές του Jitter αλλά και του P2P Delay. Χαρακτηριστικά είναι τα διαστήματα 30-60 secs και 60-90 secs, όπου υπάρχει **αύξηση** του Jitter κατά **27,7%** και **51,8%** αντίστοιχα, σε σχέση με την τιμή του στο διάστημα 0-30 secs. Στο υπόλοιπο διάστημα της μέτρησης μειώνεται στα αρχικά επίπεδα. Επομένως, στο διάστημα των 30 secs της τριπλής συλλειτουργίας, η μεταβολή της καθυστέρησης από πακέτο σε πακέτο αυξήθηκε κατά το ήμισυ, με αποτέλεσμα την πτώση της απόδοσης του δικτύου Bluetooth. Στα ίδια επίπεδα κυμάνθηκε και το P2P Delay.

12. Μέθοδοι βελτίωσης συλλειτουργίας

12.1. *Dynamic Channel Selection for Wi-Fi Networks (Δυναμική επιλογή καναλιού για τα Wi-Fi δίκτυα)*

Ένας από τους καλύτερους τρόπους συνύπαρξης είναι η αποφυγή χρήσης των συχνοτήτων στην 2.4 ISM μπάντα, όταν αυτές χρησιμοποιούνται από άλλες συσκευές. Στα σύγχρονα Wi-Fi προϊόντα, ο χρήστης ή ο εκάστοτε διαχειριστής του συστήματος επιλέγει το κανάλι. Είναι πιθανή η δυναμική επιλογή του καναλιού στο οποίο το Wi-Fi δίκτυο θα λειτουργήσει. Η δυναμική επιλογή του καναλιού επιτρέπει στο access point του Wi-Fi να καθορίσει το ίδιο ποιο κανάλι είναι καλύτερα να χρησιμοποιήσει, στηριζόμενο στην πρόσφατη χρήση της μπάντας. Ο καθορισμός του καλύτερου καναλιού για τη λειτουργία μπορεί να επιτευχθεί από αρκετές μεθόδους.

- Packet Error Rate (Ποσοστό λάθους πακέτου). Η επικοινωνία με κάποια άλλη Wi-Fi συσκευή επιτρέπει τη μέτρηση του ποσοστού λάθους πακέτου για κάθε κανάλι. Τα κανάλια με χαμηλότερο PER είναι και τα επιθυμητά
- Channel Noise (Θόρυβος καναλιού). Η επικοινωνία με κάποια άλλη Wi-Fi συσκευή επιτρέπει τη μέτρηση του λόγου σήματος προς θόρυβο σε κάθε κανάλι. Τα κανάλια με υψηλό λόγο σήματος είναι και τα επιθυμητά.
- Channel Multipath and Intersymbol Interference (Κανάλι πολλαπλού μονοπατιού και παρεμβολή διασυμβόλου). Η επικοινωνία με κάποια άλλη Wi-Fi συσκευή επιτρέπει τη μέτρηση της παρεμβολής του διασυμβόλου και των πολλαπλών μονοπατιών που πειραματίζεται στο κανάλι. Κανάλια με χαμηλά ποσοστά από παρεμβολές διασυμβόλου και πολλαπλών μονοπατιών είναι επιθυμητά.
- Received Signal Strength (Λαμβανόμενη Ισχύς Σήματος). Ανεξάρτητα του αν υπάρχουν άλλες Wi-Fi συσκευές στην περιοχή, ένα σημείο πρόσβασης μπορεί να καθορίσει ποιο κανάλι θα λειτουργήσει βασισμένο στην ισχύ του σήματος από τις παρεμβολές στη μπάντα. Για παράδειγμα αυτό μπορεί να καθοριστεί παρακολουθώντας τη ρύθμιση του αυτόματου ελέγχου κέρδους σε κάθε κανάλι.

12.2. Adaptive Fragmentation for Wi-Fi Networks (Προσαρμοσμένος Κατακερματισμός για τα Wi-Fi Δίκτυα)

Τα Wi-Fi δίκτυα έχουν την ικανότητα να τεμαχίζουν τα πακέτα που μεταδίδονται έτσι ώστε να περιορίσουν το μήκος τους. Όταν δεν υπάρχει παρεμβολή στο δίκτυο, ο τεμαχισμός μειώνει το throughput του δικτύου, εξαιτίας της αύξησης του Overhead των αρχικών πακέτων. Εντούτοις, με την παρουσία της παρεμβολής έχει αποδειχθεί ότι ο τεμαχισμός μπορεί να αυξήσει το throughput. Μειώνοντας τη διάρκεια του κάθε πακέτου, η πιθανότητα της παρεμβολής κατά τη διάρκεια ενός Wi-Fi πακέτου μπορεί να μειωθεί. Πρέπει να υπάρξει μια ισορροπία ανάμεσα στο ελάχιστο ποσοστό λάθους πακέτου η οποία μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας βραχύτερα πακέτα και τα αυξημένα overhead να χρησιμοποιούν περισσότερα headers στο δίκτυο.

Ένας τρόπος υλοποίησης του προσαρμοσμένου τεμαχισμού είναι να παρακολουθούμε το ποσοστό λάθους πακέτων στο δίκτυο και ανάλογα να προσαρμόζουμε το επίπεδο τεμαχισμού. Η προσαρμογή του επιπέδου τεμαχισμού είναι επίσης μια συνάρτηση της ποσότητας του overhead που σχετίζεται με κάθε πακέτο. Το ευνοϊκότερο επίπεδο τεμαχισμού μπορεί να φτάσει με περίπου 10 ενημερώσεις χρησιμοποιώντας έναν ελάχιστο προσαρμοστικό μέσο τετραγωνικό αλγόριθμο.

12.3. Bluetooth Coexistence Enhancements (Εμπλουτισμός συλλειτουργίας)

Οι συσκευές Bluetooth μπορούν προσαρμοστικά να επιλέγουν τον τύπο του λάθους ελέγχου που χρησιμοποιείται και το μήκος από κάθε πακέτο που θα μεταδώσουν ώστε να αυξηθεί το throughput. Επιπλέον η ροή ελέγχου (flow control) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε δυναμικά να αυξηθεί και να μειωθεί το ποσοστό της μετάδοσης.

12.4. Intelligent Frequency Hopping (Εξυπνη Αναπήδηση Συχνότητας)

Οι συσκευές αναπήδησης συχνότητας έχουν ένα έμφυτο επίπεδο ευρωστίας εξαιτίας του γεγονότος ότι δε μεταδίδουν συνεχώς στην ίδια συχνότητα. Η αλλαγή της κεντρικής συχνότητας μετάδοσης (αναπήδηση), σημαίνει ότι η πιθανότητα να συγκρουστεί με τη μετάδοση κάποιας άλλης συσκευής σε αρκετά περιορισμένη γωνία και σε οποιοδήποτε χρόνο, είναι πολύ μικρή. Το επίπεδο ευρωστίας στην

παρεμβολή που έχουν οι συσκευές Bluetooth, λαμβάνεται τυφλά/τυχαία, δεδομένου ότι ο πομπός (transmitter) δε γνωρίζει για την παρεμβολή στη μπάνια. Εάν οι ακολουθίες αναπήδησεων (Hops) σχεδιάστηκαν ώστε να αποφεύγουν τις άλλες συσκευές στη μπάνια, τότε η απόδοση των Bluetooth και των άλλων συσκευών στη μπάνια θα μπορούσε να βελτιωθεί. Παρακάτω περιγράφεται ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της Έξυπνης Αναπήδησης Συχνότητας.

Αν μια συσκευή ήταν ενεργή στο κανάλι 6 του Wi-Fi, θα συνέφερε στη Bluetooth συσκευή να μη μεταδώσει στη συχνότητα από 2.429-2.445 GHz, δεδομένου ότι η οποιαδήποτε μετάδοση σ' αυτή τη συχνότητα θα είχε ως αποτέλεσμα transmission errors (λάθη μετάδοσης) για τις συσκευές Bluetooth ή και για τις Wi-Fi. Δυστυχώς, οι τρέχοντες κανονισμοί της FCC απαιτούν στις συσκευές Bluetooth να μεταπηδούν τουλάχιστον σε 75 κανάλια, έτσι είναι αδύνατον να αλλάξουν το φάσμα συχνότητας στο οποίο οι συσκευές Bluetooth αναπηδούν. Στην FCC έχει υποβληθεί αίτηση από την Texas Instruments και άλλες εταιρίες να επιτρέψουν στις συσκευές Bluetooth και σε άλλες συσκευές αναπήδησης, να αναπηδούν στα 15 MHz. Μια τέτοια αλλαγή θα επέτρεπε στους σχεδιαστές του intelligent hopping σχεδίου να βελτιώσουν την απόδοση των Bluetooth σε ένα πλήθος καταστάσεων

Ακόμη και χωρίς αλλαγές στους κανονισμούς για την ISM ζώνη των 2.4 GHz, υπάρχουν διάφορα σχήματα αναπήδησης συχνοτήτων, τα οποία επιτρέπουν τη βελτίωση του throughput παρουσία των παρεμβολών. Μια τέτοια ακολουθία αναπήδησης μπορεί να σχεδιαστεί βασισμένη στο γεγονός ότι είναι καλύτερα να έχουμε μερικές «καλές» (καθαρές) συχνότητες αναπήδησης. Δεδομένου ότι τα ACK είναι ενσωματωμένα στα πακέτα του Bluetooth, το throughput μπορεί να βελτιωθεί αναπηδώντας σε μια ακολουθία από καλές συχνότητες αναπήδησεως και με αυτόν τον τρόπο δε χρειάζεται να ξαναστείλουμε άσκοπα τα δεδομένα των χαμένων ACK. Σχεδιάζοντας τις ακολουθίες αναπήδησης να λειτουργούν σε «καλές» και «κακές» συχνότητες αναπήδησης, εξαιτίας της ύπαρξης των συσκευών Wi-Fi σε πολλές περιοχές, έχει αποδειχθεί ότι αυξάνεται σημαντικά η απόδοση των διαφόρων συσκευών Wi-Fi και Bluetooth.

12.5. Transmit Power Control (Μετάδοση με έλεγχο ισχύς)

Κατά τη χρησιμοποίηση ενός κοινού πόρου όπως η ζώνη ISM των 2.4 GHz, είναι σημαντικό να μη χρησιμοποιηθούν περισσότεροι πόροι απ' ότι απαιτούνται πραγματικά. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως χρυσός κανόνας για υπερφορτωμένες

ζώνες. Ένα καλό παράδειγμα για την κατανόηση της μετάδοσης με έλεγχο ισχύς είναι το παρακάτω.

Αν δύο συσκευές της ζώνης των 2.4 GHz μπορούν να επικοινωνούν μεταδίδοντας σε επίπεδο ισχύς των 4 dBm, είναι πλεοναστική η χρήση των 20 dBm. Μεταδίδοντας τόση πολύ ισχύ σε μια μπάντα, έχει ως συνέπεια η συνολική χωρητικότητα της περιοχής να μειώνεται και η επικοινωνία των άλλων χρηστών της μπάντας να παρεμποδίζεται άσκοπα. Δεδομένου ότι η απόσταση μεταξύ των συσκευών δεν αλλάζει γρήγορα, η απαραίτητη ισχύς μετάδοσης επίσης δεν τείνει να αλλάξει γρήγορα. Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές Bluetooth και Wi-Fi μπορούν να προσθέσουν δυναμικά τον έλεγχο ισχύς χωρίς να υποβαθμίσουν την απόδοση καθεμιάς συσκευής. Εντούτοις, το γεγονός ότι οι συσκευές δε μεταδίδουν πλέον με τη μέγιστη ισχύ, σημαίνει ότι όλες οι συσκευές στην περιοχή είναι πιθανότερο να επικοινωνούν επιτυχώς μεταξύ τους.

12.6. Μέθοδοι για τον συνδυασμό του Wi-Fi & Bluetooth στην ίδια συσκευή

Όταν το Wi-Fi και το Bluetooth βρίσκονται στην ίδια συσκευή υπάρχει η δυνατότητα για ένα υψηλότερο επίπεδο ευρωστίας και συνύπαρξης. Στην περίπτωση του παραπάνω σεναρίου ένα απλό συγκαναλικό σχέδιο με μια μονάδα συντονισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαθέσει slots για να μεταδώσει και για να λάβει, στο συγχρονισμό πρόσβασης του καναλιού. Ένα παράδειγμα είναι όταν οι συγκεκριμένες υβριδικές συσκευές προσπαθούν/επιδιώκουν να κάνουν μια ανταγωνιστική κράτηση.

Σε μια τέτοια κατασκευή είναι σημαντικό να αυξήσουμε το throughput και των δύο δικτύων. Είναι εξίσου σημαντικό να διατηρηθεί η «δικαιοσύνη» μεταξύ του Bluetooth και του Wi-Fi αποφεύγοντας της μεγάλες καθυστερήσεις της κίνησης. Το προτεινόμενο σχέδιο (που υλοποιεί την παραπάνω ανάλυση) επιτρέπει την ευελιξία της διάθεσης του throughput μεταξύ των δύο δικτύων (να διατίθεται το throughput με ευελιξία). Το σχέδιο αυτό χρησιμοποιεί ένα απλό πρωτόκολλο κράτησης/αποθεμάτων των μεταδόσεων των Wi-Fi και Bluetooth. Το σχήμα απαιτεί μόνο μια απλή μονάδα συγχρονισμού για να επικοινωνούν οι κρατήσεις μεταξύ των hardware των Bluetooth και Wi-Fi. Επιπλέον, η μονάδα συντονισμού επιλύει τη σύγκρουση των κρατήσεων χρησιμοποιώντας μια στατιστική μέθοδο που επιτρέπει το μέγιστο throughput για κάθε δίκτυο.

13. Ακρώνυμα και συντομογραφίες

| | |
|----------|---|
| <u>A</u> | |
| ACK | Acknowledgment |
| AP | Access Point |
| <u>D</u> | |
| dBm | DeciBels below 1 Milliwatt |
| DCS | Dynamic Channel Selection |
| DSSS | Direct sequence spread spectrum |
| <u>E</u> | |
| EDFC | Enhanced DCF |
| <u>F</u> | |
| FCC | Federal Communications Commission |
| FHSS | Frequency hopping spread spectrum |
| <u>H</u> | |
| HCF | Hybrid Coordination Function |
| <u>I</u> | |
| IAPP | Inter Access Point Protocol |
| IEEE | Institute of Electrical & Electronics Engineers |
| IP | Internet Protocol |
| ISM | Industrial Scientific & Medical |
| <u>M</u> | |
| MAC | Medium Access Control |
| Mbit/s | Megabit per second |
| Mbps | Megabits per second |
| Ms | Millisecond |
| <u>O</u> | |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing |
| OSI | Open System Interconnection |
| <u>P</u> | |
| P2P | Packet to Packet |
| PDA | Personal digital assistance |
| PHY | Physical Layer |
| <u>R</u> | |
| RF | Radio Frequency |
| RTT | Round Trip Time |
| <u>S</u> | |
| Secs | Seconds |
| <u>T</u> | |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TPC | Transmit Power Control |
| TDM | Time Division Multiplexing |
| TTL | Time to live |
| <u>U</u> | |
| UDP | User Datagram Protocol |
| <u>W</u> | |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity |
| WLAN | Wireless local area network |
| WPAN | Wireless personal area network |

14. Πηγές – Αναφορές

- [1]. **Robert Morrow, McGraw-Hill NETWORKING:** "Wireless Network Coexistence", 2004
- [2]. **Robert Morrow, McGraw-Hill TELECOM:** "Bluetooth Operation and Use", 2002
- [3]. **Toby J. Velte, PH.D., Anthony T. Velte:** "Cisco 802.11 Wireless Networking Quick Reference", 2005
- [4]. **Andrew S. Tanenbaum:** "Δίκτυα Υπολογιστών", Τρίτη Έκδοση, 2000
- [5]. **Andrew S. Tanenbaum:** "Δίκτυα Υπολογιστών", Τέταρτη Αμερικάνικη Έκδοση, 2003
- [6]. **©2005 Koninklijke Philips Electronics N.V.:** "13426_Whitepaper.indd "
- [7]. **Carla F. Chiasserini, Ramesh R. Rao:** "Performance of IEEE 802.11 WLANs in a Bluetooth Environment - Whitepaper", 2002
- [8]. **Angela Doufexi, Arun Arumugam, Simon Armour and Andrew Nix:** "An Investigation of the Impact of Bluetooth Interference on the Performance of 802.11g Wireless Local Area Networks - Whitepaper", 2003
- [9]. **Matthew B. Shoemake, Ph.D.:** "Wi-Fi (IEEE 802.11b) and Bluetooth. Coexistence Issues and Solutions for the 2.4 GHz ISM Band", Texas Instruments, February 2001
- [10]. **Jie Liang:** "Proposal for Non-Collaborative BT Mechanisms for Enhanced Coexistence, IEEE 802.15-01/026", January 2001.
- [11]. **Jie Liang:** "Proposal for Collaborative BT and 802.11b MAC Mechanisms for Enhanced Coexistence, IEEE 802.15-01/080", January 2001.
- [12]. **Bluetooth in a Typical Office Environment:** "In Proceedings of 12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC 2001", San Diego, September 2001, pages 71 - 75.
- [13]. **R. J. Punnoose, R. S. Tseng, D. D. Stancil:** "Experimental Results for Interference between Bluetooth and IEEE 802.11b DSSS Systems. In Proceedings of IEEE Vehicular Society Conference", October 2001.
- [14]. **B. Treister, K. C. Chen, A. Batra:** "Clause 14.3 Adaptive Frequency Hopping. Technical Report IEEE P802.15-TG2_366r1", March 2003, available [Online]: http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2001/Jul01/01366r1P802-15_TG2-Clause-14-3-Adaptive-Frequency-Hopping.doc [March 2003].

- [15]. **Cambridge Silicon Radio**. "Private Communications" Don Dent and Tracy Hopkins [October 2002 - April 2003].
- [16]. **N. Golmie, F. Mouveux**: "Interference in the 2.4 GHz ISM Band: Impact on the Bluetooth Access Control Performance."
- [17]. **Specification of the Bluetooth System**: Available [Online]: <http://www.bluetooth.com> [March 2003].
- [18]. **Std. IEEE 802.11b-1999**: "Supplement to Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks Specific requirements--Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz band", September 1999.
- [19]. **Oren Eliezer**: "Non-Collaborative Mechanisms for the Enhancement of Coexistence Performance", IEEE 802.15-01/092, January 2001.
- [20]. **Bluetooth vs. Wi-Fi in networking**: Available [Online]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>, November 2004.
- [21]. **IEEE 802.11**: Available [Online]: <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11> , December 2006.
- [22]. **PC Magazine**: 6^ο έτος, τεύχος 06, 06/2006
- [23]. **Bluetooth® Measurement Fundamentals**: Agilent Technologies, Inc., Printed in USA, October 12, 2006 5988-3760EN
- [24]. **TCP vs UDP**, Erik Rodriguez, August 10, 2003, <http://www.skullbox.net/tcpudp.php>