

NetSpeaker: Πλατφόρμα ψηφιακών ασύρματων μεγαφώνων

Νίκος Κόκκος
Φοιτητής
nkokkos@freemail.gr
Γιάννης Μουρτζόπουλος
Αν. Καθηγητής
mourjop@wcl.ee.upatras.gr

Ανδρέας Φλώρος
Δρ. Ηλ/γος Μηχ/κός
floros@ionio.gr

Νικ. – Αλέξ. Τάτλας
Διπλ. Ηλ/γος Μηχ/κός
ntatlas@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μετάδοση ψηφιακού ήχου υψηλής πιστότητας σε πραγματικό χρόνο αποτελεί ένα άκρως προκλητικό αντικείμενο έρευνας, παρά τις συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια πρωτότυπη πλατφόρμα λογισμικού, η οποία αποτελεί τη βάση ανάπτυξης ολοκληρωμένων συστημάτων ηχείων με δυνατότητα δικτύωσης. Τα ηχεία αυτά θα συνδέονται είτε ενσύρματα, είτε ασύρματα στο (οικιακό ή και εταιρικό) δίκτυο μεταγωγής πακέτου και θα παρέχουν την απευθείας λήψη και αναπαραγωγή ηχητικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η προτεινόμενη πλατφόρμα αποτελείται από δύο εφαρμογές που ακολουθούν το μοντέλο εξυπηρετητή – καταναλωτή και επιτρέπουν την μετάδοση και αναπαραγωγή ψηφιακού ασυμπιεστού ήχου υψηλής ποιότητας. Η πλατφόρμα λειτούργησε σε περιβάλλον ασύρματου δικτύου, κάνοντας χρήση εμπορικών καρτών συμβατών με το πρωτόκολλο 802.11g, ενώ πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες δοκιμές με στόχο την εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος για διαφορετικές παραμέτρους του δικτύου, όπως η τοπολογία, το μήκος πακέτου κλπ.

NetSpeaker: a platform for wireless, digital loudspeakers

ABSTRACT

Real-time streaming of high-fidelity, digital audio formats represents a challenging research topic, despite the recent advances in wired and wireless networking technologies. In this work, a novel platform is presented, which realizes the basic framework for implementing network-enabled loudspeaker systems. These loudspeakers will be able to connect to a packet-based data network (i.e. within the home or office environment) using wireless or wired protocols, providing direct reception and playback of digital audio data in real-time. The proposed platform consists follows the server-client model, facilitating the transmission and playback of uncompressed PCM-coded audio over packet-oriented links. The implementation presented is based on off-the-shelf wireless networking hardware. Performance evaluation tests are presented under different networking parameters and link conditions, leading to an optimal set of parameters for high-quality wireless digital audio delivery.

Εισαγωγή

Η ευρύτατη ανάπτυξη των δικτύων μεταγωγής πακέτου (όπως π.χ. το Διαδίκτυο) επηρεάζει σημαντικά τους τρόπους μετάδοσης και διανομής της μουσικής πληροφορίας. Η μαζική εισαγωγή των ευρυζωνικών συνδέσεων στο οικιακό περιβάλλον και η ανάπτυξη τεχνικών κωδικοποίησης και συμπίεσης των δεδομένων (όπως π.χ. η τεχνολογία MP3 [1]) επιτρέπει την μετάδοση ψηφιακού περιεχομένου υψηλής ποιότητας και σε πραγματικό χρόνο, στα πλαίσια νέων διαδραστικών πολυμεσικών εφαρμογών όπως Δικτυακή Τηλεόραση και Ήχος (ΓvoIP και AoIP).

Παρόλη την ανάπτυξη στον τομέα της διαδικτυακής μετάδοσης [2], η διανομή του παραπάνω υλικού εντός του οικιακού περιβάλλοντος στις παραδοσιακές καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές ήχου και εικόνας απαιτεί διαφορετική προσέγγιση, καθώς καθοριστικό ρόλο επιτυχίας στην αγορά παίζουν παράμετροι όπως η φορητότητα, η κατανάλωση και η ευκολία εγκατάστασης / χρήσης. Ειδικά για εφαρμογές ήχου, η μετάδοση των ηχητικών δεδομένων μέσω τοπικών δικτύων (Local Area Networks, LANs) επιτρέπει την υποστήριξη πολλαπλών και σύνθετων σεναρίων διανομής από μια ή περισσότερες ψηφιακές πηγές σε έναν ή περισσότερους ακουστικούς δέκτες. Επιπλέον, η ραγδαία εξέλιξη στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless LANs, WLANs) έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (π.χ. μέσω του πρωτοκόλλου IEEE802.11g [3] και του επερχόμενου 802.11n), την ασφάλεια και την προσφορά εγγυήσεων για την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών [4] (μέσω του πρωτοκόλλου IEEE802.11e), ενισχύοντας σημαντικά την φορητότητα τέτοιων εφαρμογών, ενώ συγχρόνως μειώνει και το κόστος εγκατάστασης, λόγω της μη αναγκαίας ύπαρξης καλωδίων ψηφιακής μετάδοσης.

Στην εργασία αυτή δίνεται η περιγραφή μιας πλατφόρμας (με το όνομα NetSpeaker) μετάδοσης ηχητικών δεδομένων υψηλής ποιότητας και χωρίς συμπίεση σε πραγματικό χρόνο, μέσω δικτύων μεταγωγής πακέτου. Όπως θα συζητηθεί και στη συνέχεια, η πλατφόρμα αυτή υποστηρίζει τόσο ενσύρματη, όσο και ασύρματη μετάδοση ηχητικών δεδομένων ποιότητας CD εντός του οικιακού περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο RTP [5] και χαμηλού κόστους, τυπικό εμπορικό εξοπλισμό δικτύωσης. Εστιάζοντας στην ασύρματη μετάδοση, μελετάται επίσης η απόδοση της παραπάνω πλατφόρμας, με δεδομένη την μελλοντική της υλοποίηση σε ενσωματωμένο υλικό για τη δημιουργία ασύρματων δικτυακών ηχείων, τα οποία θα συνδέονται στο τοπικό δίκτυο εύκολα και με χαμηλό κόστος.

1. Τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης ηχητικών δεδομένων

Στην αγορά σήμερα είναι διαθέσιμο ένα πλήθος συσκευών που υλοποιούν πρωτόκολλα ασύρματης μετάδοσης, τυποποιημένα ή μη. Εστιάζοντας στην τεχνολογία WLAN, ο κυριότερος εκπρόσωπος είναι το πρότυπο 802.11g, το οποίο στην πράξη επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 26Mbps. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της ασύρματης τεχνολογίας είναι η μεταβλητή ποιότητα του καναλιού [6], γεγονός που οδηγεί σε αντίστοιχες μεταβολές της ποιότητας αναπαραγωγής και περιορίζει αισθητά την παραπάνω ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων.

Το πρωτόκολλο 802.11g ορίζει δύο διαφορετικές τοπολογίες δικτύου: α) την τοπολογία adhoc, η οποία μπορεί να εξυπηρετήσει μεταδόσεις τύπου σημείου-σε-

σημείο και β) την τοπολογία infrastructure, όπου όλες οι μεταδόσεις ελέγχονται και πραγματοποιούνται μέσω ενός κεντρικού κόμβου που ονομάζεται Σημείο Πρόσβασης (Access Point, AP). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ειδικά για ηχητικές εφαρμογές, οι παραπάνω τοπολογίες επιτρέπουν την υλοποίηση πολλαπλών και σύνθετων σεναρίων διασύνδεσης των ηχητικών συσκευών [8] μέσω του οικιακού δικτύου (το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται παράλληλα και για τη διασύνδεση με το διαδίκτυο [9]), από την υλοποίηση της μετάδοσης από σημείο-σε-σημείο (π.χ. από έναν κεντρικό media server προς έναν ή περισσότερους φορητούς αναπαραγωγείς ήχου), έως και την υποστήριξη πολυκάναλων εφαρμογών οικιακού κινηματογράφου ή και μετάδοσης ηχητικού υλικού σε πολλαπλούς χώρους ταυτόχρονα. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση πολυκάναλων εφαρμογών, απαιτείται ο ακριβής συγχρονισμός των ασύρματα διασυνδεδεμένων συσκευών, ο οποίος σε ενσύρματα περιβάλλοντα επιτυγχάνεται μέσω της μετάδοσης κατάλληλων σημάτων χρονισμού στα καλώδια.

Σε κάθε περίπτωση, η μετάδοση ηχητικών δεδομένων μέσω δικτύων μεταγωγής πακέτου σε πραγματικό χρόνο απαιτεί την ύπαρξη επιπλέον πρωτοκόλλων για την αντιμετώπιση των παραμορφώσεων που εισάγονται κατά την μετάδοση. Οι παραμορφώσεις αυτές μπορούν να συνοψιστούν σε καθυστερήσεις μετάδοσης, μη σταθερούς ρυθμούς μετάδοσης και απώλειες πακέτων. Για την μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου συχνά χρησιμοποιούνται επιπλέον πρωτόκολλα (όπως το Real Time Protocol, RTP) με στόχο την αντιμετώπιση των παραπάνω παραμορφώσεων, οι οποίες έχει αποδεχθεί ότι επηρεάζουν άμεσα τη συνολική ποιότητα της αναπαραγωγής [7]. Παράλληλα, μελλοντικές τυποποιήσεις / επεκτάσεις των ασύρματων WLAN πρωτοκόλλων αναμένεται να βελτιώσουν τη συνολική ποιότητα της αναπαραγωγής, μέσω των παροχών εγγυήσεων για τη διάθεση του απαραίτητου εύρους ζώνης, ανεξαρτήτως της ποιότητας της ασύρματης ζεύξης [10].

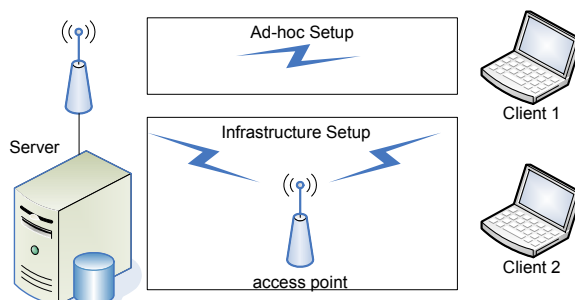
Ένα επιπλέον πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η μετατροπή του ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης των δεδομένων σε σύγχρονο, με στόχο τον απόλυτο συγχρονισμό των συσκευών αναπαραγωγής ήχου. Η παραπάνω μετατροπή, συνήθως πραγματοποιείται μέσω προσωρινής αποθήκευσης των λαμβανόμενων στη μεριά του δέκτη δεδομένων και της παράλληλης χρονικής αρίθμησης (time-stamping) των μεταδιδόμενων πακέτων.

Στην παρούσα εργασία, η προτεινόμενη πλατφόρμα NetSpeaker δοκιμάστηκε στην περίπτωση εφαρμογών μετάδοσης ηχητικών δεδομένων υψηλής ποιότητας από σημείο-σε-σημείο κάνοντας χρήση και των δύο τοπολογιών δικτύου, εστιάζοντας στον αλγόριθμο μετατροπής της ασύγχρονης μετάδοσης σε σύγχρονη. Ο παραπάνω αλγόριθμος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιεί μία μνήμη προσωρινής αποθήκευσης και προσαρμόζει το χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου δεδομένων, βάσει μιας εκτίμησης της συνεχώς μεταβαλλόμενης καθυστέρησης μετάδοσης, μετατρέποντας την πηγή των ηχητικών δεδομένων σε μια πηγή δεδομένων τύπου ριπής (burst).

2. Υλοποίηση της πλατφόρμας NetSpeaker

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η πλατφόρμα NetSpeaker υλοποιεί την ασύρματη μετάδοση PCM ηχητικών δεδομένων (τυπικά με ευκρίνεια κβαντισμού 16bit και συχνότητα δειγματοληψίας 44.1kHz) μεταξύ ενός κεντρικού κόμβου

(Server) του οικιακού δικτύου στο οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο το ηχητικό υλικό και ενός ή περισσότερων ηχητικών αναπαραγωγέων (Clients), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας NetSpeaker

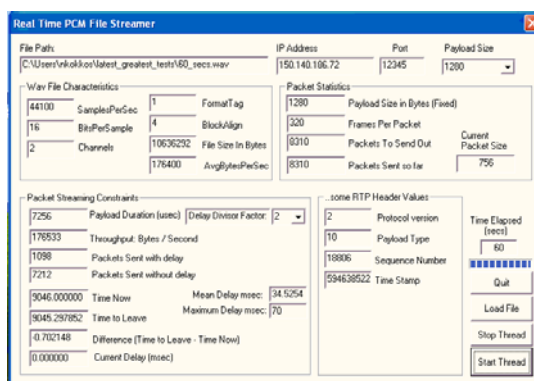
Η παραπάνω αρχιτεκτονική της πλατφόρμας στηρίζεται στο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο εξυπηρετή/εξυπηρετητή, αποτελούμενη από δύο εφαρμογές, οι οποίες αναπτύχθηκαν από τους συγγραφείς και εκτελούνται σε ένα τυπικό υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα MS-Windows και ασύρματο εξοπλισμός 802.11g. Οι εφαρμογές αυτές αναπτύχθηκαν σε γλώσσα C++, κάνοντας χρήση βιβλιοθηκών λογισμικού που υλοποιεί το πρωτόκολλο TCP/IP και RTP, καθώς επίσης και των τεχνολογιών DirectX και MFC.

2.1 Η εφαρμογή εξυπηρετή (Server)

Σε γενικές γραμμές, η εφαρμογή εξυπηρετή είναι υπεύθυνη για την αποκατάσταση των συνδέσεων με τους εξυπηρετητές, καθώς επίσης και για την αποθήκευση, ανάγνωση και μετάδοση του ηχητικού υλικού προς αυτούς. Το παράθυρο της εφαρμογής (Σχήμα 2.2) περιλαμβάνει ένα πλήθος πεδίων τα οποία χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση ενός πλήθους μετρήσεων που λαμβάνονται κατά την μετάδοση. Η πλήρης, μη πειραματική έκδοση της εφαρμογής, περιλαμβάνει μόνο ένα περιορισμένο αριθμό αυτών των πεδίων.

Η εφαρμογή εξυπηρετή αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: α) το υποσύστημα τεμαχιοποίησης και μεταγωγής των δεδομένων, το οποίο τοποθετεί τα προς μετάδοση δεδομένα σε πακέτα επιθυμητού μεγέθους, αναθέτοντας σε κάθε ένα από αυτά έναν μοναδικό αύξοντα αριθμό, ο οποίος χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο μετατροπής από ασύγχρονο-σε-σύγχρονο στην μεριά του δέκτη. Παράλληλα, για την αποφυγή επιπλέον καθυστερήσεων μετάδοσης που δημιουργούνται λόγω του πρωτοκόλλου TCP, επιλέχθηκε η μετάδοση μέσω του πρωτοκόλλου User Datagram Protocol (UDP), με αντίτιμο την απώλεια δεδομένων, λόγω μη υποστήριξης αναμετάδοσης των μεταδιδόμενων πακέτων. β) το υποσύστημα προσωρινής αποθήκευσης των δεδομένων και χρονοπρογραμματισμού των μεταδόσεων, το οποίο επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου. Στο αρχικό στάδιο της υλοποίησης της εφαρμογής, η μετάδοση των ηχητικών δεδομένων στηριζόταν στο μοντέλο μιας πηγής σταθερού ρυθμού. Με βάση το μοντέλο αυτό, για ηχητικά δεδομένα τύπου CD, η μετάδοση ενός πακέτου

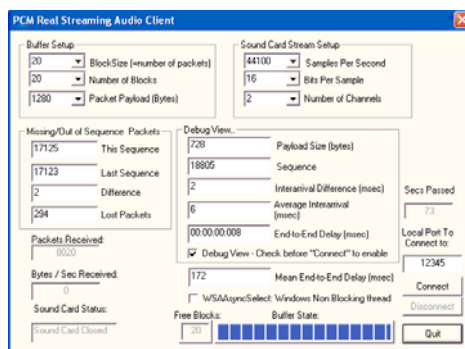
δεδομένων μήκους 1024bytes έπρεπε να λαμβάνει χώρα κάθε 5.8msec. Με δεδομένο ότι η παραπάνω χρονική ακρίβεια ήταν αδύνατο να επιτευχθεί από ένα λειτουργικό σύστημα μη πραγματικού χρόνου, ο αλγόριθμος μετάδοσης τροποποιήθηκε, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πηγής ριπής, το μέγεθος της οποίας στηρίζεται στην μέτρηση της στιγμιαίας καθυστέρησης μετάδοσης που λαμβάνεται από το δίκτυο.



Σχήμα 2.2 Η εφαρμογή εξυπηρέτη

2.2 Η εφαρμογή εξυπηρετητή (Client)

Η εφαρμογή εξυπηρετητή (Σχήμα 2.3) είναι υπεύθυνη: α) για την αρχικοποίηση της διαδικασίας σύνδεσης με τον εξυπηρέτη β) για τη λήψη και επεξεργασία των λαμβανόμενων δεδομένων και γ) για την αποστολή τους προς την προσωρινή μνήμη του υποσυστήματος αναπαραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της λήψης, ο εξυπηρετητής υπολογίζει την ολική (End-to-End, E2E) καθυστέρηση, λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική στιγμή δημιουργίας του πακέτου, η οποία αποθηκεύεται στην κεφαλίδα του RTP πρωτοκόλλου. Στη συνέχεια, με δεδομένο ότι λόγω της ύπαρξης ενός μόνο μονοπατιού μετάδοσης δεν είναι δυνατό να ληφθούν πακέτα με διαφορετική σειρά από ότι αναχώρησαν από την πηγή, διαπιστώνεται τυχόν απώλεια κάποιου πακέτου βάσει του μοναδικού RTP αύξοντα αριθμού. Η πληροφορία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από αλγορίθμους συγχρονισμού πολλαπλών δεκτών, όσο και από αλγορίθμους αποκατάστασης δεδομένων [11]. Σε κάθε περίπτωση, στη συνέχεια τα πακέτα δεδομένων οδηγούνται υπό μορφή blocks στο υποσύστημα αναπαραγωγής, το οποίο αποτελείται από μία κυκλική μνήμη προσωρινής αποθήκευσης, η ύπαρξη της οποίας είναι απαραίτητη για την μείωση σφαλμάτων ολίσθησης (jitter) που δημιουργούνται λόγω της ασύρματης μετάδοσης. Οι παράμετροι της προσωρινής αυτής μνήμης (όπως π.χ. το μέγεθος και το πλήθος των πακέτων που απαρτίζουν ένα block) μπορούν να ορισθούν από το χρήστη. Προφανώς, το μέγεθος της μνήμης αυτής παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της αναπαραγωγής. Μεγάλο μέγεθος μνήμης αντιμετωπίζει καλύτερα προβλήματα κακής ποιότητας μετάδοσης, με αντίτιμο την υψηλή τιμή της E2E καθυστέρησης και της αντίστοιχης αύξησης του κόστους και πολυπλοκότητας της υλοποίησης σε ενσωματωμένο υλικό.



Σχήμα 2.3 Η εφαρμογή εξυπηρετητή

3. Μετρήσεις και αποτελέσματα

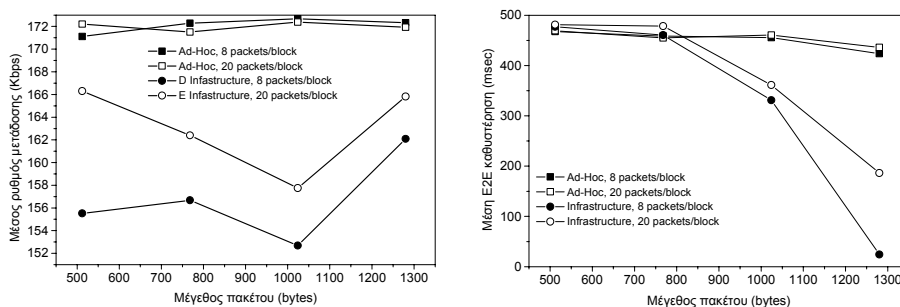
Η εκτίμηση της απόδοσης της προτεινόμενης πλατφόρμας πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας μετρήσεις του πραγματικού ρυθμού μετάδοσης, της απώλειας των πακέτων και της E2E καθυστέρησης μετάδοσης. Η παραπάνω μετρήσεις ελήφθησαν κατά τη διάρκεια μιας σειράς δοκιμών με παραμέτρους που φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις, οι εφαρμογές εξυπηρετή/εξυπηρετητή συγχρονίζονταν με έναν κόμβο χρονισμού πριν από κάθε δοκιμή, ενώ ο επιλεγμένος ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων ήταν ίσος προς 54Mbps. Επίσης, το προς μετάδοση ηχητικό υλικό ήταν ένα μουσικό κομμάτι από CD-Audio συνολικής διάρκειας ενός λεπτού

Πίνακας 3.1 Παράμετροι δοκιμών του συστήματος

Μέγεθος πακέτου (bytes)	Πλήθος πακέτων ανά block αναπαραγωγής	Τοπολογία δικτύου
512, 768, 1024, 1280	8, 20	Adhoc, Infrastructure

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές του μέσου ρυθμού μετάδοσης και μέσης E2E καθυστέρησης συναρτήσει του μεγέθους του πακέτου μετάδοσης. Από τα διαγράμματα αυτά είναι προφανές ότι στην περίπτωση adhoc τοπολογίας, επιτυγχάνεται πολύ καλύτερη απόδοση, η οποία διατηρείται σταθερή για οποιοδήποτε μέγεθος πακέτου. Αντίθετα, σε infrastructure τοπολογίες, ο επιτυγχανόμενος ρυθμός μετάδοσης μειώνεται αισθητά με την αύξηση του μεγέθους του μεταδιδόμενου πακέτου. Οι ίδιες τάσεις ισχύουν και στην περίπτωση των τιμών της E2E καθυστέρησης, σημειώνοντας ότι στην περίπτωση της infrastructure τοπολογίας, η μείωση της τιμής για μεγάλα μεγέθη πακέτου οφείλεται κυρίως στον υψηλό ρυθμό απώλειας των μεταδιδόμενων πακέτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός αυτός βρέθηκε να είναι πολύ μικρός και σταθερός για όλες τις περιπτώσεις μεγέθους πακέτου σε adhoc τοπολογίες, ενώ ήταν ιδιαίτερα αυξημένος στην περίπτωση infrastructure τοπολογιών. Τέλος, σε όλες τις περιπτώσεις δοκιμών σε

infrastructure τοπολογία, η μείωση της απόδοσης και της ποιότητας της αναπαραγωγής ήταν αισθητή μέσω της ακρόασης της λαμβανόμενης ροής ηχητικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 3.1 Μέτρηση μέσου ρυθμού μετάδοσης και E2E καθυστέρησης ως συνάρτηση του μεγέθους πακέτου

4. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα η οποία αποτελεί το τεχνολογικό πλαίσιο για την ασύρματη ή ενσύρματη μετάδοση ασυμπίεστων ηχητικών δεδομένων υψηλής ποιότητας εντός ενός τυπικού οικιακού περιβάλλοντος. Η πλατφόρμα αυτή στηρίζεται στο μοντέλο εξυπηρέτη/εξυπηρετητή και χρησιμοποιεί έναν πρωτότυπο αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού των μεταδόσεων, ο οποίος μπορεί να προγραμματίσει με την επιθυμητή ακρίβεια τις μεταδόσεις των πακέτων ηχητικών δεδομένων, ακόμα και σε λειτουργικό περιβάλλον μη πραγματικού χρόνου, αξιοποιώντας την εκτίμηση της στιγμιαίας καθυστέρησης μετάδοσης. Η μέτρηση της απόδοσης της πλατφόρμας πραγματοποιήθηκε με ένα πλήθος δοκιμών, αποδεικνύοντας ότι η μετάδοση ασυμπίεστων ηχητικών δεδομένων ποιότητας CD είναι πλέον εφικτή. Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις σύνθετων σεναρίων ασύρματης διασύνδεσης ηχητικών συσκευών, όπου απαιτείται η ύπαρξη ενός AP, η συνολική απόδοση και κατ' επέκταση η ποιότητα της αναπαραγωγής μπορεί υπό συνθήκες να μειωθεί αισθητά. Το πρόβλημα αυτό αναμένεται να αντιμετωπισθεί στο εγγύς μέλλον με την τυποποίηση νέων ασύρματων πρωτοκόλλων παροχής εγγυήσεων υπηρεσιών. Μια από τις πλέον άμεσες προτεραιότητες των συγγραφέων είναι η ενσωμάτωση των πρωτοκόλλων αυτών στην πλατφόρμα NetSpeaker, καθώς και η υλοποίησή της σε ενσωματωμένο υλικό με στόχο τη δημιουργία πλήρως δικτυακών (ασύρματων ή ενσύρματων) συστημάτων ηχείων.

6. Αναφορές

- [1] K. Brandenburg, "MP3 and AAC explained", presented at the Audio Engineering Society 17th International Conference (1999)
- [2] C. Lam and B. Tan, "The Internet is Changing the Music Industry", Communications of the ACM, **44**, No. 8, pp. 62 – 68, (2001)

- [3] IEEE802.11 WG, IEEE802.11g, “IEEE Standard for 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 Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band” (2003)
- [4] S. Mangold, S. Choi, G. R. Hiertz, O. Klein, B. Walke, “Analysis of IEEE 802.11e for QoS Support in Wireless LANs”, IEEE Wireless Communications, **10**, pp. 2-12 (2003)
- [5] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. RFC 3550: RTP: A transport protocol for real-time applications (2003)
- [6] D. Eckhardt and P. Steenkiste, “Measurement Analysis of the Error Characteristics of an In-Building Wireless Network”, in Proceedings of ACM SIGCOMM, Stanford, CA (1996).
- [7] N.A. Tatlas, A. Floros and J. Mourjopoulos, “An evaluation tool for Wireless Digital Audio Applications”, presented at the Audio Eng. Soc. 118th Convention, Barcelona, preprint 6386, (2005)
- [8] A. Floros and T. Karoubalis, “Delivering High-quality Audio over WLANs”, presented at the Audio Eng. Soc. 116th Convention, Berlin, preprint 5996 (2004)
- [9] T. Blank, B. Atkinson, M. Isard, J. Johnston and K. Olynyk, “An Internet Protocol (IP) Sound System”, presented at the 117th AES Convention, San Francisco, preprint 6211 (2004)
- [10] A. Floros, T. Karoubalis and S. Koutroubinas, “Bringing Quality in the 802.11 Wireless Arena”, Broadband Wireless and WiMax IEC Comprehensive Report, ISBN: 978-1-931695-30-x (2005)
- [11] N.A. Tatlas, A. Floros, T. Zarouchas and J. Mourjopoulos, “An Error – Concealment Technique for Wireless Digital Audio Delivery”, in Proceedings of the 5th International Conference on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, Patras (2006)