

Διομότιμοι σχηματισμοί και αρχιτεκτονικές σε περιβάλλον επίγειας ψηφιακής ευρυ-εκπομπής



του Ευάγγελου Μαρκάκη

Η συγκεκριμένη διδακτορική εργασία είναι σε εξέλιξη από το 2008 και γίνεται εξ' ολοκλήρου στο εργαστήριο έρευνας και ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων «ΠΑΣΙΦΑΗ», υπό την επίβλεψη του επίκουρου καθηγητή Ε. Πάλλη από το τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων του ΤΕΙ Κρήτης και του αναπληρωτή καθηγητή Χ. Σκιάνη από το τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, στους οποίους εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες για την καθοδήγηση, ενθάρρυνση και υποστήριξη που μου προσφέρουν. Ευχαριστώ επίσης, τον Καθηγητή Β. Ζαχαρόπουλο για την αμέριστη συμπαράσταση που μου έχει δείξει όλα αυτά τα χρόνια.

Η ευρεία αποδοχή και χρήση του Διαδικτύου ως ένα από τα βασικά μέσα επικοινωνίας στην καθημερινή ζωή των πολιτών, έχει οδηγήσει στην εμφάνιση μιας πληθώρας νέων ηλεκτρονικών υπηρεσιών και εφαρμογών, πλούσιων σε προσωπικό περιεχόμενο χρηστών (user created content), μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η ψηφιακή διαδραστική τηλεόραση (Digital Interactive TV), η κατά παραγγελία εικόνα και ήχος (Video/Audio on Demand), η μετάδοση κατανεμημένου περιεχομένου (Content Distribution), η ζωντανή ροοθήκευση (Live streaming), κτλ. Βασικό χαρα-

κτηριστικό αυτών των υπηρεσιών/ εφαρμογών, είναι η ενεργός συμμετοχή των χρηστών (Ενεργοί Πολίτες/Χρήστες), τόσο κατά τη διαδικασία παραγωγής πρωτογενούς πολυμεσικού περιεχομένου όσο και κατά την παροχή/μετάδοση του μέσα από το Διαδίκτυο. Το γεγονός αυτό επιτάσσει την ύπαρξη ευρυζωνικών υποδομών, ικανών να παρέχουν όχι μόνο τους απαραίτητους πόρους για εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, αλλά και να επιτρέπουν τη δυναμική τους διαχείριση με βάση τις επιλογές του κάθε χρήστη και τις απαιτήσεις σε πόρους της κάθε υπηρεσίας. Τέτοιες, ωστόσο, ευρυζωνικές υποδομές συναντώνται σήμερα κυρίως σε πυκνοκατοικημένες και γρήγορα αναπτυσσόμενες περιοχές, όπως αστικά κέντρα, βιομηχανοποιημένες ζώνες, περιοχές τουριστικού και πολιτισμικού ενδιαφέροντος κτλ., αφού σε όλες τις υπόλοιπες (κοινώς γνωστές ως "λιγότερο αναπτυγμένες" περιοχές), ο παράγοντας "κόστος εγκατάστασης χρήσης προς έσοδα" καθιστά την ανάπτυξη τους ως μη συμφέρουσα.

Λύση προς αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να αποτελέσει η δημιουργία πρότυπων δικτυακών υποδομών, οι οποίες στηρίζονται στη σύγκλιση μιας σειράς τεχνολογικών καινοτομιών, μεταξύ των οποίων είναι:

- η **επίγεια ψηφιακή διαδραστική ευρυεκπομπή** (Interactive DVB-T) και η χρήση της ως οικονομικά προσιτή λύση για τα-

χεία ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας ευρυζωνικών υποδομών πρόσβασης, σε υπηρεσίες διαδικτύου από πολίτες “λιγότερο αναπτυγμένων” περιοχών,

- **τα διομότιμα δίκτυα/συστήματα** (Peer-to - Peer – P2P) ως τεχνολογία των τελικών χρηστών για την παροχή και λήψη υπηρεσιών προσωπικού περιεχομένου, κάνοντας δυναμική/βέλτιστη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων με τη χρήση τεχνικών αυτό-οργάνωσης (self-organisation) και αυτό-εξάπλωσης (self-deployment).

Πιο συγκεκριμένα και όσον αφορά την επίγεια ψηφιακή διαδραστική ευρυεκπομπή, πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες έχουν δείξει ότι η μετάβαση από την αναλογική στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (γνωστή ως “Digital Switchover” - DSO) μπορεί να αποτελέσει τη βάση για γρήγορη και οικονομικά συμφέρουσα ρύση ευρυζωνικής δικτύωσης των “λιγότερο ανεπτυγμένων” περιοχών^{1,2}. Με άλλα λόγια, με την υποχρεωτική μετάβαση στην επίγεια ψηφιακή ευρυεκπομπή, κάθε πόλη/χωριό/οικισμός, ακόμα και σε λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές, αποκτά πρόσβαση σε μία ασύρματη ευρυζωνική δικτυακή υποδομή με ακτίνα κάλυψης πολλών δεκάδων χιλιομέτρων (π.χ. 50Km στην περίπτωση του Νομού Ηρακλείου), το κόστος της οποίας είναι μηδαμινό, αφού η όλη επένδυση (σε εξοπλισμό και υποδομές) γίνεται από τους τηλεοπτικούς σταθμούς, στα πλαίσια των

τυπικών τους υποχρεώσεων για DSO. Στα πλαίσια αυτά, εκμεταλλευόμενοι τα ενδογενή χαρακτηριστικά του προτύπου DVB-T a) να ενσωματώνει ετερογενή κίνηση (π.χ. δεδομένα διαδικτύου – IP) μέσα στο ίδιο ρεύμα μεταφοράς (transport stream)³, και β) να καλύπτει-εξυπηρετεί πολίτες διεσπαρμένους σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. ακτίνα κάλυψης 100km), και κάνοντας χρήση αναγεννητικών σχηματισμών στο κανάλι καθόδου (downlink), είναι δυνατή η ευρυζωνική δικτύωση απομακρυσμένων περιοχών, και η ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης σε τοπικό επίπεδο, ακόμα και μόνο με τη χρήση απλών τηλεφωνικών συνδέσεων (PSTN/ISDN)⁴. Μια τέτοια υποδομή υπάρχει σήμερα εγκατεστημένη και σε πλήρη λειτουργία στο Ηράκλειο της Κρήτης, η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ανταγωνιστικού Έργου ATHENA.

Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία διομότιμων συστημάτων (P2P) επιτρέπει την ισότιμη συμμετοχή κόμβων στη δημιουργία δικτυακών περιβαλλόντων διαμοιρασμού πληροφοριών κοινού ενδιαφέροντος. Τα συστήματα peer-to-peer αποτελούν δημοφιλές πεδίο έρευνας στο χώρο της πληροφορικής και των επικοινωνιών, και χρησιμοποιούνται κυρίως για την υλοποίηση εντελώς αποκεντρωμένων δικτύων από αλληλεξαρτούμενους κόμβους. Τέτοια δίκτυα ενδείκνυνται για εφαρμογές ομαδικής επικοινωνίας, αποθήκευσης αρχείων, κατανομής περιεχομένου και ανταλλαγής αρχείων. Η

1: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/directorate_d/cnt/athena_trimmed_by_lvn_en.pdf

2: http://ec.europa.eu/information_society/eeurope/i2010/docs/implementation/ec_study_buckley.pdf

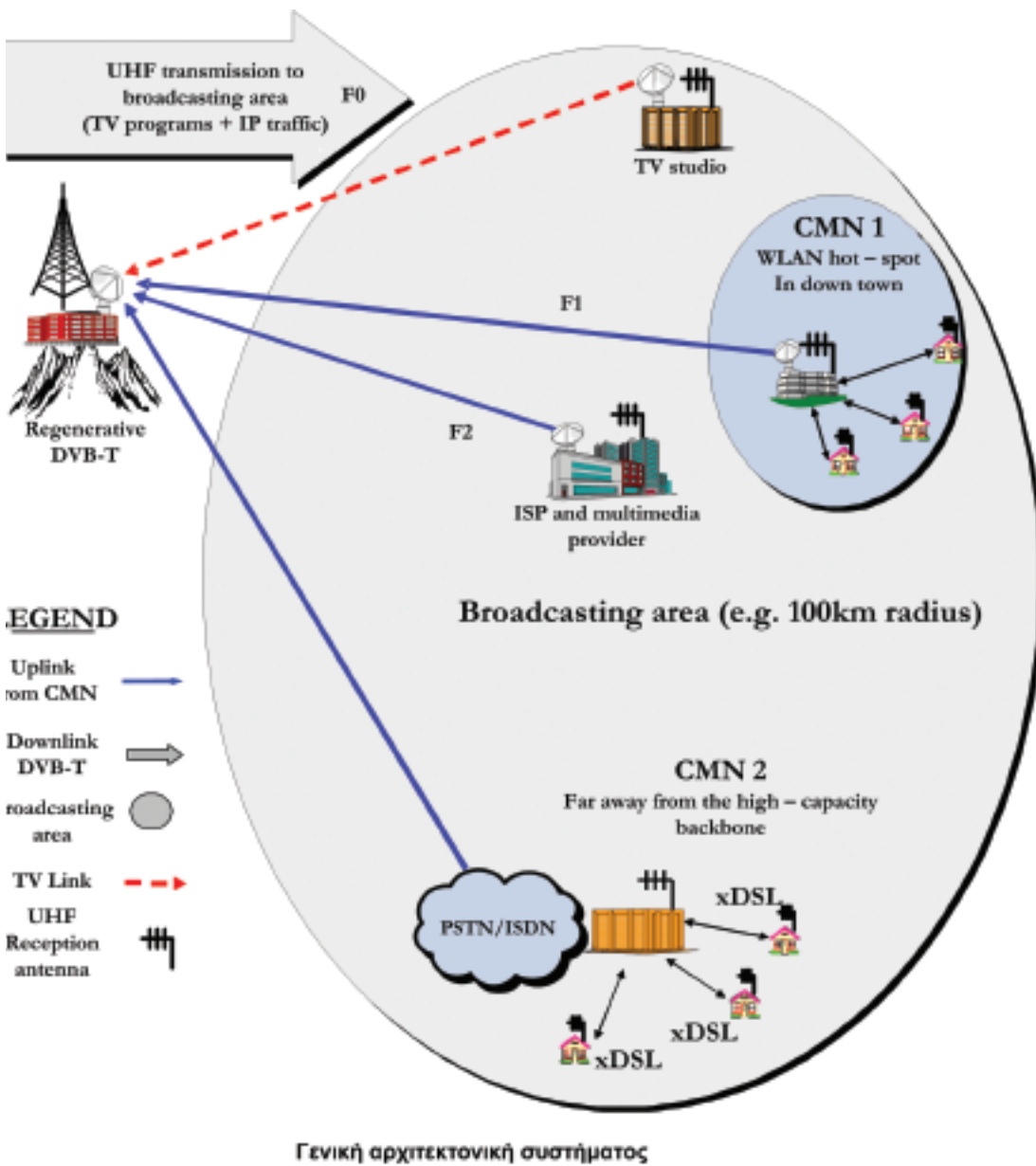
3: ETS 300 802, “Digital Video Broadcasting (DVB); Network-independent protocols for DVB interactive services”, ETSI, 1997

4: E. Pallis, “Digital Switchover in UHF: the ATHENA Concept for Broadband Access” European Transactions on Telecommunications, vol. 17, no. 2, March 2006, pp. 175–182.

τεχνολογία δικτύων P2P έχει γίνει αρκετά δημοφιλής κυρίως από την επιτυχία του Napster και του Bittorrent, δύο εφαρμογών που διαμοιράζουν δεδομένα, προσελκύοντας εκατομμύρια χρηστών.

2. Κίνητρο της έρευνας

Η γενική αρχιτεκτονική της δικτυακής υποδομής ATHENA παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Η δικτυακή αυτή υποδομή αποτελείται από δύο υποσυστήματα, ένα κεντρικό σημείο εκπομπής και έναν αριθμό ενδιάμε-

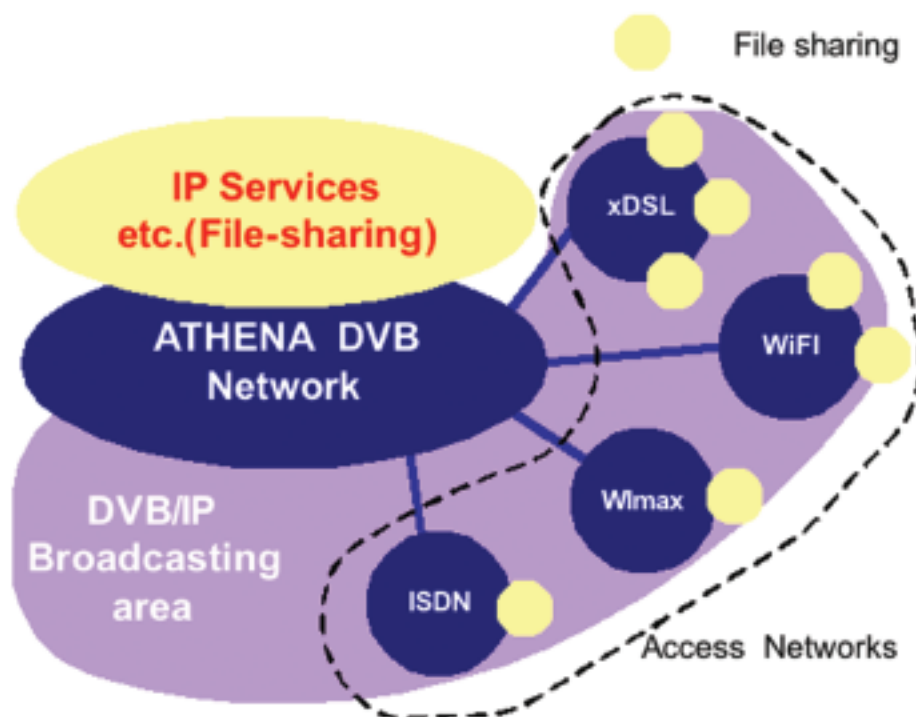


Σχήμα 1 Γενική αρχιτεκτονική δικτύου επίγειας ψηφιακής διαδραστικής ευρυεκπομπής, που κάνει χρήση αναγεννητικών σχηματισμών για την ευρυζωνική δικτύωση πολιτών σε λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές (ΑΘΗΝΑ)

σων κόμβων επικοινωνίας (CMN) οι οποίοι βρίσκονται μέσα στην περιοχή εκπομπής. Κάθε CMN επιτρέπει σε έναν αριθμό τελικών χρηστών (γεωγραφικά κοντά στο CMN) να αποκτήσουν πρόσβαση σε υπηρεσίες πρωτοκόλλου IP, οι οποίες παρέχονται από τη δικτυακή υποδομή. Η επικοινωνία μεταξύ των τελικών χρηστών και του αντίστοιχου CMN (δίκτυο πρόσβασης) επιτυγχάνεται με τη χρήση ευρυζωνι-

μία μονάδα επεξεργασίας την αναγεννά και την πολυπλέκει σε μία κοινή ροή μεταφοράς MPEG-2 μαζί με τα ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα, τα οποία προέρχονται από τον τηλεοπτικό σταθμό για το σχηματισμό του τελικού μπουκέτου DVB-T.

Κάθε χρήστης λαμβάνει τις κατάλληλες διαδικτυακές υπηρεσίες μέσω του CMN στο οποίο είναι συνδεδεμένος και παράλληλα λαμβάνει τα ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμ-



Σχήμα 2: Διαστρωμάτωση δικτύου ΑΘΗΝΑ

κών συνδέσεων (π.χ. WLAN, xDSL). Κάθε CMN συγκεντρώνει όλη την κίνηση IP που προέρχεται από τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό και την προωθεί στο κεντρικό σημείο εκπομπής (σημείο εκπομπής UHF προσβάσιμο από όλα τα CMN) με τη χρήση συγκεκριμένων μονόδρομων καναλιών επιστροφής. Έτσι η IP κίνηση που προέρχεται από όλα τα CMN λαμβάνεται από το κεντρικό σημείο εκπομπής, όπου

ματα και τα δεδομένα IP multicast (π.χ. IPTV) από την κοινή ροή μεταφοράς του DVB-T με τη χρήση μίας απλής κεραίας UHF. Σε αυτήν τη διάταξη, οι μεταδιδόμενες υπηρεσίες καθώς και τα δεδομένα επιστροφής (requests/acknowledgements) ενθυλακώνονται μέσα στην κοινή ροή μεταφοράς DVB-T βελτιώνοντας την απόδοση της δικτυακής υποδομής. Επιπλέον, με την κυψελωτή διάταξη η οποία υιοθετή-

θηκε, αξιοποιείται η ροή DVB-T ως μία τοπολογία δικτύου κορμού που διασυνδέει όλους τους κόμβους μέσα στην περιοχή εκπομπής. Έτσι, ένα μοναδικό, εικονικό, κοινό δίκτυο κορμού IP (σχήμα 2) δημιουργείται, το οποίο είναι διαθέσιμο σε κάθε κόμβο μέσω των αντίστοιχων CMN, στους οποίους παρέχεται η διαδικτυακή κίνηση από τη ροή DVB-T.

Ωστόσο, το περιορισμένο εύρος ζώνης ανά κανάλι καθόδου του DVB-T (μέγιστο τα 30Mbps για κάθε τηλεοπτική συχνότητα) καθώς και η έλλειψη τεχνικών ενοποιημένης διαχείρισης των χρηστών και των υπηρεσιών, περιορίζουν σημαντικά τη δυνατότητα της κλιμακοθετησιμότητας (scalability) των δικτυακών αυτών υποδομών. Παράλληλα, το γεγονός ότι η δέσμευση πόρων γίνεται ανά χρηστή, περιορίζει τον αριθμό χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει η πλατφόρμα DVB-T. Στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής έρευνας, χρησιμοποιούμε υπερκείμενα διομότιμα δίκτυα για να επιλύσουμε θέματα βέλτιστης εκμετάλλευσης πόρων, δυναμικής διαχείρισης των πόρων/χρηστών και ελαχιστοποίηση της χρησιμοποίησης του «ακριβού» καναλιού καθόδου, επιτυγχάνοντας αύξηση της κλιμακοθετησιμότητας της Επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

Διομότιμοι σχηματισμοί σε περιβάλλον επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης

Σε συνέχεια της παραπάνω αρχιτεκτονικής και στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής έρευνας, έχουν μελετηθεί τεχνικές για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας P2P, με στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων δικτυακών πόρων. Η παρακάτω αρχιτεκτονική έχει παρουσιαστεί στο IEEE GLOBECOM 2010.

Μεθοδολογία και προτεινόμενη προσέγγιση

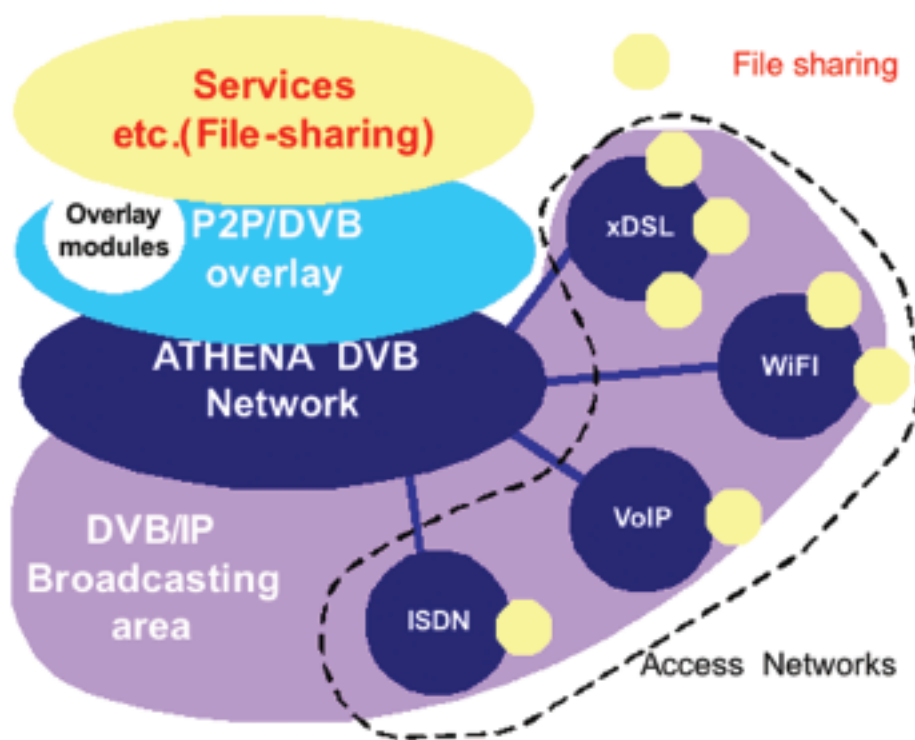
Οι εφαρμογές P2P είναι καταμεμημένες (distributed) όσον αφορά το χρόνο και το χώρο διασποράς του περιεχομένου και χαρακτηρίζονται ως “network -agnostic”, αφού τους είναι αδιάφορο το είδος και η τεχνολογία των υποκείμενων δικτύων. Ως αποτέλεσμα αυτών των χαρακτηριστικών τους, η λειτουργία των P2P εφαρμογών σε κεντροποιημένα συστήματα, όπως αυτό της Επίγειας Ψηφιακής τηλεόρασης που περιλαμβάνει ένα κεντρικό σημείο εκπομπής, αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, η λύση του οποίου προϋποθέτει **α)** τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των δύο αρχιτεκτονικών (P2P και DVB-T) και **β)** λογικές οντότητες που θα επιλαμβάνονται δικτυακών λειτουργιών συντήρησης και διαχείρισης. Προς αυτήν την κατεύθυνση, αρχικά επικεντρωθήκαμε στη δημιουργία ενός πληροφοριακού μοντέλου (information model), το οποίο θα μπορεί να συλλέξει τις κατάλληλες πληροφορίες από τις εφαρμογές P2P και τις λειτουργίες του DVB-T, προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε πόρους της κάθε υπηρεσίας που ζητά ο χρήστης. Με την κατάλληλη αξιοποίηση των συλλεχθέντων πληροφοριών, θα επιτραπεί η αυτοοργάνωση του υπερκείμενου δικτύου P2P/DVB-T, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της υπηρεσίας.

Εν συνεχεία, η έρευνα επικεντρώθηκε στη δημιουργία ενός ενήμερου σχετικά με την τοποθεσία των peers υπερκείμενου δικτύου (locality aware overlay), το οποίο θα ελαττώνει τη συνολική κίνηση στο δίκτυο μέσω της ανταλλαγής περιεχομένου ανάμεσα στους peers, οι οποίοι είναι γεωγραφικά κοντά στο υποκείμενο δίκτυο (underlay network), δηλαδή τοπικά σε κάθε κόμβο του ATHENA. Στα πλαίσια αυτά, θα ανα-

πτυχθεί ένας Data Hash Table (DHT) πάνω από αυτό το υπερκείμενο δίκτυο, έτσι ώστε να συνδυαστούν οι ιδιότητές του με τις αιτήσεις που γίνονται κάθε φορά σχετικά με την τοποθεσία του κατανεμημένου περιεχομένου. Οι σημερινές τεχνικές για τη δημιουργία τοποθεσιακά ενήμερων DHTs καταλήγουν σε συστήματα υψηλής αστάθειας, όσον αφορά το φόρτο δρομολόγη-

Αρχιτεκτονική

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το προτεινόμενο σύστημα DVB-T που χρησιμοποιεί P2P υπερκείμενα δίκτυα και κάνει χρήση όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών παρουσιάζεται παρακάτω (βλέπε σχήμα 3). Σε αυτό το δίκτυο χρησιμοποιούμε την τεχνολογία P2P, προκειμένου να ενεργοποιήσουμε του τελικούς χρήστες να αξιο-



Σχήμα 3: DVB-T αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί υπερκείμενα δίκτυα P2P.

σης και τη γεωγραφική κατανομή για τα ετερογενή συστήματα. όπως αυτό της ψηφιακής τηλεόρασης.

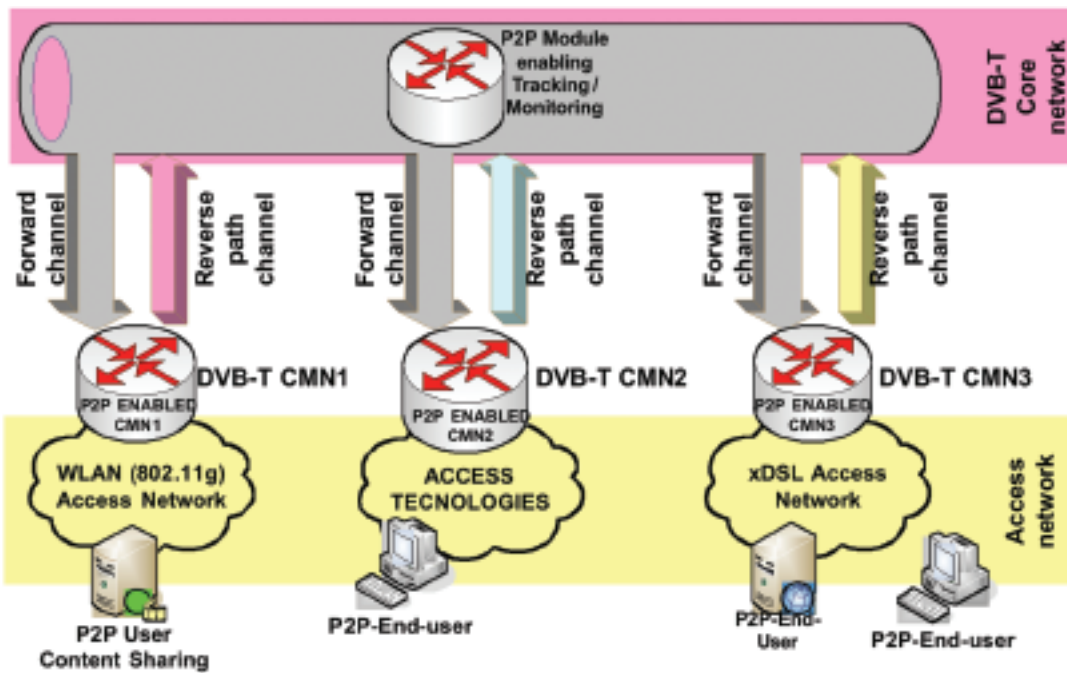
ποιήσουν τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους των "γειτόνων" τους.

Η συνολική διαμόρφωση ενός συστήματος DVB-T, που χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική P2P για την αντιμετώπιση θεμάτων που άπτονται της εκμετάλλευσης και της διαχείρισης πόρων καθώς και της αυτο-ανάπτυξης των χρηστών, παρουσιάζ-

ζεται στο Σχήμα 4. Σε ένα τέτοιο σύστημα, κάθε δίκτυο πρόσβασης που διαχειρίζεται από ένα Cell Main Node (CMN) θεωρείται ως ένα αυτόνομο δίκτυο που χρησιμοποιούν P2P χρήστες .

Οι χρήστες που κάνουν χρήση της τεχνολογίας P2P συνδέονται στο δίκτυο DVB-T διάμεσου ενός CMN που έχουμε ενεργοποιήσει συγκεκριμένες P2P διεπα-

ενθυλακώνεται σε μια κοινή ροή μεταφοράς του DVB-T. Οι χρήστες θα λάβουν πληροφορία από μια P2P διεπαφή που βρίσκεται στο κεντρικό σημείο εκπομπής. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε τελικός χρήστης μπορεί να μάθει πληροφορίες για το περιεχόμενο της υπηρεσίας, για τον τύπο της υπηρεσίας, την δικτυακή γεωγραφική θέση και πληροφορίες για την Καθυστέρηση Κυκλικής Διαδρομής.

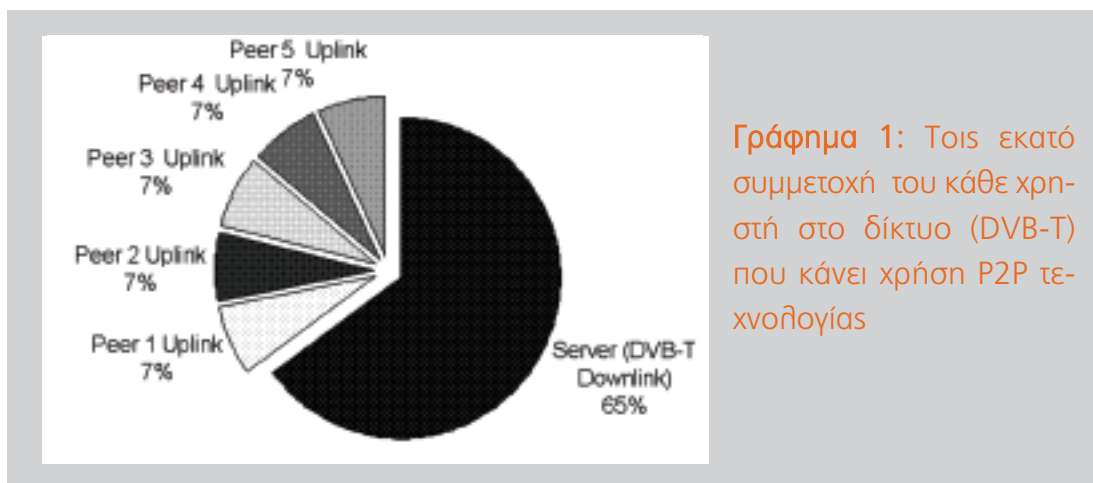


Σχήμα 4: Πλατφόρμα DVB-T που κάνει χρήση της τεχνολογίας P2P

φές. Το κάθε CMN επικοινωνεί με το άλλο διάμεσου του δικτύου DVB-T κάνοντας χρήση του καναλιού επιστροφής. Όλη η p2p κίνηση θα περάσει διαμέσου των CMNs στο κεντρικό σημείο εκπομπής. Στο κεντρικό σημείο εκπομπής, όλη η κίνηση που πηγάζει από τους χρηστές που κάνουν χρήση της P2P τεχνολογίας μαζί με πληροφορίες για το περιεχόμενο της υπηρεσίας,

Αποτελέσματα και μελλοντική εργασία

Για την αποτίμηση των δικτυακών επιδόσεων πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από μετρήσεις πάνω απο την πλατφόρμα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Πιο συγκεκριμένα, στην πλευρά του δικτύου πρόσβασης των χρηστών που βρίσκονται στο CMN2 (σχήμα 4) έγιναν αλλαγές στο εύρος των καναλιών ανόδου και καθόδου της τεχνολο-



γίας xDSL, προκειμένου να βγάλουμε συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας της τεχνολογίας διομότιμων δικτύων. Στα παρακάτω γραφήματα ενδεικτικά παρουσιάζεται η βελτίωση που έχουμε επιτύχει στη δικτυακή απόδοση του συστήματος επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με τη χρήση της τεχνολογίας διομότιμων δικτύων.

Στα πλαίσια της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής έχουμε επιτύχει κατά 35% μείωση στη χρησιμοποίηση του καναλιού DVB-T, έχοντας ως βασικό στόχο την περαιτέρω μείωση της χρησιμοποίησης του καναλιού DVB-T.

Παράλληλα με τα παραπάνω αναπτύσσεται ένας μηχανισμός διαχείρισης των

υπηρεσιών που μεταδίδονται μέσω του DVB-T καναλιού. Ο μηχανισμός αυτός θα λαμβάνει υπόψη του παραμέτρους όπως η πολλαπλή ζήτηση της ίδιας υπηρεσίας από μία ή διαφορετικές ομάδες χρηστών προκειμένου, δημιουργώντας τις κατάλληλες διαδρομές εσωτερικά στο δίκτυο ψηφιακής τηλεόρασης, να επιτυγχάνει την περαιτέρω βελτίωση στην εκμετάλλευση δικτυακών πόρων και να παρέχει δυναμική διαχείριση των πόρων/χρηστών έτσι ώστε να μειωθεί περισσότερο η χρησιμοποίηση του «ακριβού» καναλιού καθόδου της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

Γράφημα 2: Δεδομένα που πέρασαν από το κανάλι DVB-T σε σχέση με τους χρήστες.

