



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Μελέτη τη πρωτοκόλλου IEEE 802.21 (Media Independent Handover)
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Δέσποινα Κοντούλη
Πατρώνυμο	Ιωάννης
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ/ 09056
Επιβλέπων	Δημήτριος Δ. Βέργαδος, Λέκτορας

Ημερομηνία Παράδοσης **Απρίλιος 2014**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Δημήτριος Δ. Βέργαδος
Λέκτορας

Χρήστος Δουληγέρης
Καθηγητής

Δέσποινα Πολέμη
Καθηγήτρια

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το λέκτορα κ. Δημήτριο Βέργαδο για την επίβλεψη, την υποστήριξη και τη συνεργασία που είχαμε για την ολοκλήρωση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Αγγελική Σγώρα για τις υποδείξεις και τις συμβουλές της για την ολοκλήρωση της διπλωματικής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αγάπη και τη συμπαράσταση που μου παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	5
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2 ΔΙΑΠΟΜΠΗ – HANDOVER Ή HANDOFF	8
2.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗ	9
2.2 ΚΑΘΕΤΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗ	10
2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗ.....	10
2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ	15
3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΙΕΕΕ 802.21 – MEDIA INDEPENDENT HANDOVER	16
3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ.....	16
3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	17
3.3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΜΙΗ.....	18
3.4 ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ - ΜΙΗ EVENT SERVICE.....	19
3.5 ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΝΤΟΛΩΝ – ΜΙΗ COMMAND SERVICE	22
3.6 ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – ΜΙΗ INFORMATION SERVICE	25
3.7 ΜΙΗ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	26
3.8 SERVICE ACCESS POINTS (SAP)	27
3.9 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΙΗ.....	29
4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ	31
4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΥΠΟΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ	31
4.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΥΠΟΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	35
4.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΙΕΕΕ 802.11, ΙΕΕΕ 802.16 ΚΑΙ 3G/UMTS	38
5 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	45
6 ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΙΕΕΕ 802.21	49
7 ΠΕΡΙΛΗΨΗ	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	52

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, εμφανίζονται στην αγορά συσκευές που υποστηρίζουν πολλαπλές τεχνολογίες, όπως κινητά που μπορούν να συνδεόνται τόσο σε 3G/4G δίκτυα, όσο και σε ασύρματα τοπικά δίκτυα. Έτσι, οι αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών για πρόσβαση σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών, που να μπορούν να τους καλύπτουν πλήρως, παντού και πάντα (η αρχή του ABC-Always Best Connected - Συνδεδεμένος πάντα, με τις καλύτερες προϋποθέσεις), οδήγησε στην ανάπτυξη ενός προτύπου που να παρέχει τους μηχανισμούς εκείνους που βελτιστοποιούν τη διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων [10].

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει σκοπό να παρουσιάσει το πρότυπο IEEE 802.21 (Media Independent Handover) και τα βασικά του χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, γίνεται πλήρης περιγραφή του πρωτοκόλλου όπως έχει οριστεί από την IEEE, των βασικών δομικών του στοιχείων και του τρόπου που αυτά αλληλεπιδρούν προκειμένου να επιτευχθεί η διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων. Τέλος, παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου κατά τη διαδικασία της διαπομπής, κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου 802.21.

Abstract

The recent years, new mobile devices are becoming available in the market, that are equipped with multiple interfaces, such as mobile phones than can connect to 3G and 4G networks as well as to Wi-Fi hotspots. Thus, the increasing demands of the end users to connect to those networks anytime, anywhere, anyway (the ABC-Always Best Connected principle), has led to the development of a standard that can provide all the needed mechanisms to accomplish a seamless handover between heterogeneous systems.

This thesis aims to study the IEEE 802.21 Media Independent Handover protocol and the basic elements of it. In particular an external study on the protocol is carried on, as well as the way that its elements interact through the handover initiation and preparation phase. Finally, we provide some examples of the messages that are transmitted between the network nodes, so as to accomplish the handover execution, based on the 802.21 protocol.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από τη ραγδαία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που εξυπηρετούν ολοένα και περισσότερες ανάγκες των χρηστών. Καθώς οι κατασκευαστές εξοπλίζουν με ολοένα και περισσότερες δυνατότητες και διεπαφές τις συσκευές, οι οργανισμοί και οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών αναζητούν τρόπους ώστε να παρέχουν στο χρήστη υπηρεσίες που να του εξασφαλίζουν άριστη ποιότητα αλλά κυρίως την αδιάλειπτη σύνδεση με τις υπηρεσίες αυτές.

Τα δίκτυα με τεχνολογίες 4G και WiMAX ολοένα και εξαπλώνονται, με σκοπό να προσφέρουν ολοένα και μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, καλύπτοντας μεγάλες περιοχές πρόσβασης. Από την άλλη, η τεχνολογία WiFi 802.11 έχει πλέον εδραιώσει τη θέση της στις επικοινωνίες, παρέχοντας πολύ υψηλές ταχύτητες πρόσβασης σε μικρότερες περιοχές κάλυψης. Ωστόσο, καθένα από τα διαφορετικά αυτά δίκτυα, είναι σε θέση να καλύψει διαφορετικές ανάγκες του τελικού χρήστη σε θέματα ασφάλειας, ταχύτητας και απόδοσης και πάντα με διαφορετικό κόστος. Η απόδοση του ίδιου δικτύου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη γεωγραφική του θέση ή την ταχύτητα με την οποία κινείται ο χρήστης. Για παράδειγμα, στο περιβάλλον μιας πυκνοκατοικημένης πόλης ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να είναι αισθητά μικρότερος από αυτόν εκτός των ορίων της.

Από την άλλη, ο χρήστης είναι σε θέση να χρησιμοποιεί ολοένα και περισσότερες και πιο σύνθετες εφαρμογές στις συσκευές που χειρίζεται. Εφαρμογές απλές όπως η αποστολή ενός μηνύματος SMS ή η πλοήγηση στο Διαδίκτυο αλλά και πιο σύνθετες, όπως η τηλεφωνία μέσω διαδικτύου (Voice-over-IP – VoIP) και η δικτυακή τηλεόραση (IPTV), όλες απαιτούν την αδιάλειπτη σύνδεση με την υπηρεσία, τη μέγιστη απόδοση και την ελαχιστοποίηση του ποσοστού των σφαλμάτων που μπορεί να συμβαίνουν [17].

Στην παρούσα χρονική περίοδο δεν υπάρχει τρόπος ώστε ο χρήστης να μεταβαίνει στο δίκτυο που του εξασφαλίζει την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS), με αυτόματο τρόπο. Για παράδειγμα, ένας χρήστης που χρησιμοποιεί μια εφαρμογή πολυμέσων στο κινητό του και ο οποίος εισέρχεται στην περιοχή κάλυψης ενός δωρεάν ασύρματου δικτύου, είναι φυσικό να προτιμήσει να συνδεθεί στο τρέχον σημείο πρόσβασης του τοπικού ασύρματου δικτύου, το οποίο έχει μηδενικό κόστος και υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης, από το να δέχεται υψηλές ογκομετρικές χρεώσεις και μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης για τη χρήση μέσω του δικτύου 3G.

Το κενό αυτό στη μετάβαση από ένα σύστημα σε ένα άλλο, που χρησιμοποιεί διαφορετική τεχνολογία, έρχεται να καλύψει το πρωτόκολλο IEEE 802.21 - Media Independent Handover. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει ένα πλαίσιο διαπομπής ανεξαρτήτου μέσου που συνδέει τις υπηρεσίες, προκειμένου να επιτευχθεί μία διαφανής διαπομπή από τη μία τεχνολογία στην άλλη. Στο πρότυπο περιγράφεται μια σειρά από υπηρεσίες διαπομπής ανεξαρτήτου μέσου που αλληλεπιδρούν με τα υψηλότερα επίπεδα της στοιβάς πρωτοκόλλων. Έτσι, κάθε τεχνολογία απαιτείται να διαθέτει μόνο μία επέκταση συγκεκριμένου μέσου προκειμένου να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα με το πλαίσιο IEEE 802.21.

Στο πρωτόκολλο ορίζονται τα εργαλεία που απαιτούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών (information), γεγονότων (events) και εντολών (commands) προκειμένου να υλοποιηθεί η αρχικοποίηση και η προετοιμασία της διαπομπής, ενώ η διαδικασία της εκτέλεσης της διαπομπής υλοποιείται στα ανώτερα επίπεδα.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη και ανάλυση του προτύπου και όλων των στοιχείων από τα οποία αποτελείται και δίνονται παραδείγματα περιπτώσεων διαπομπής μεταξύ ετερογενών συστημάτων.

Συγκεκριμένα, η δομή που ακολουθείται είναι η ακόλουθη:

- Στο Κεφάλαιο 2, θα παρουσιαστούν τα διαφορετικά είδη διαπομπής που υπάρχουν και καλύπτουν τις περιπτώσεις τόσο μεταξύ ετερογενών, όσο και μεταξύ όμοιων συστημάτων,
- στο Κεφάλαιο 3, θα αναλυθεί το πρωτόκολλο IEEE 802.21 και τα στοιχεία τα οποία περιλαμβάνει,
- στο Κεφάλαιο 4, θα παρουσιαστούν παραδείγματα διαπομπής μεταξύ ετερογενών συστημάτων και των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά τη διαδικασία της διαπομπής,

- στο κεφάλαιο 5, θα παρουσιαστούν εργασίες σχετικές με το πρωτόκολλο IEEE 802.21
- στο Κεφάλαιο 6 θα παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αντιμετωπίζονται με τη χρήση του πρωτοκόλλου διαπομπής και
- τέλος, στο κεφάλαιο 7 γίνεται μία σύντομη περίληψη των όσων αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

2 ΔΙΑΠΟΜΠΗ – HANDOVER Ή HANDOFF

Με τον όρο διαπομπή στις τηλεπικοινωνίες εννοείται η διαδικασία με την οποία ένα κινητό τερματικό (κινητό τηλέφωνο, υπολογιστής, κλπ) μεταβαίνει από το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης, σε ένα καινούριο, χωρίς να διακοπεί η σύνδεση με την υπηρεσία που λαμβάνει.

Η διαπομπή στις κινητές επικοινωνίες είναι μια απαραίτητη διαδικασία που εξασφαλίζει τόσο την κινητικότητα του τερματικού όσο και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και των απαιτήσεων του χρήστη. Η έναρξη της διαδικασίας της διαπομπής βασίζεται σε μετρήσεις διαφόρων τιμών, όπως της ισχύς του λαμβανόμενου σήματος.

Τα είδη της διαπομπής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει διάφορων παραμέτρων, όπως είναι ο τύπος του δικτύου, τα εμπλεκόμενα δικτυακά στοιχεία, το πλήθος των ενεργών συνδέσεων και ο τύπος της κίνησης που υποστηρίζει το δίκτυο [26].

Έτσι αρχικά, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις διαπομπές σε *οριζόντιες* ή *ομογενείς* (horizontal ή homogeneous αντίστοιχα) και σε *κάθετες* ή *ετερογενείς* (vertical ή heterogeneous αντίστοιχα):

- Η οριζόντια διαπομπή λαμβάνει χώρα μεταξύ ίδιου τύπου δικτύων (π.χ. αλλαγή κυψέλης σε κυψελωτά δίκτυα).
- Η κάθετη διαπομπή υλοποιείται μεταξύ διαφορετικού τύπου δικτύων (π.χ. από ένα δίκτυο Wi-Fi σε ένα 3G).

Από την άλλη, ανάλογα με το σύστημα μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα μία διαπομπή και τον τρόπο με τον οποίο ενεργοποιούνται οι απαραίτητοι μηχανισμοί για να υλοποιηθεί, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα είδη της ως εξής [12]:

- Intertechnology handover – η διαπομπή πραγματοποιείται μεταξύ ετερογενών συστημάτων, όπως για παράδειγμα η μετάβαση από το WLAN δίκτυο σε ένα κυψελωτό, όταν το τερματικό βγει εκτός εμβέλειας του πρώτου. Αυτού του είδους η διαπομπή ονομάζεται και *κάθετη διαπομπή* (Vertical Handoff) και μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα της υπηρεσίας που λαμβάνει μια εφαρμογή, καθώς διαφορετικές τεχνολογίες υποστηρίζουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καθυστέρησης.
- Intratechnology handover – η διαπομπή πραγματοποιείται μεταξύ συστημάτων που υποστηρίζουν την ίδια τεχνολογία, όπως για παράδειγμα η αλλαγή κυψέλης στα κυψελωτά δίκτυα. Αυτού του είδους η διαπομπή συναντάται στη βιβλιογραφία και ως *οριζόντια διαπομπή* (Horizontal handoff).
- Interdomain handover – η διαπομπή πραγματοποιείται όταν τα δύο σημεία πρόσβασης ανήκουν σε διαφορετικό διαχειριστή συστήματος. Τέτοιου είδους διαπομπή συμβαίνει κατά τη διαδικασία περιαγωγής (roaming) και είναι δυνατόν να εμπλέκει τόσο intertechnology όσο και intratechnology διαπομπή.
- Intradomain handover – η διαπομπή πραγματοποιείται σε ένα νέο σύστημα το οποίο όμως ανήκει στον ίδιο διαχειριστή. Μπορεί με τη σειρά της να εμπλέκει inter- ή intratechnology διαπομπή.
- Intersubnet handover – η διαπομπή πραγματοποιείται όταν τα δύο σημεία πρόσβασης ανήκουν σε διαφορετικά υποδίκτυα. Μπορεί με τη σειρά της να εμπλέκει inter- ή intradomain και inter- ή intra-technology διαπομπή.
- Intrasubnet handover - η διαπομπή πραγματοποιείται όταν τα δύο σημεία πρόσβασης ανήκουν στο ίδιο υποδίκτυο.

Επίσης, μπορούμε να διαχωρίσουμε το είδος της διαπομπής σε *σκληρή*, *ήπια* και *ηπιότερη* ανάλογα με το πότε λαμβάνει χώρα η μετάβαση στο νέο σημείο εξυπηρέτησης.

- Σκληρή διαπομπή – Κατά τη σκληρή διαπομπή, το κανάλι στην υποψήφια κυψέλη εξυπηρέτησης δεσμεύεται μόνο αφότου ελευθερωθεί το κανάλι στην τρέχουσα κυψέλη εξυπηρέτησης (break before make)

- Ήπια διαπομπή – Σε αυτό το είδος διαπομπής, το κανάλι στην τρέχουσα κυψέλη παραμένει δεσμευμένο και χρησιμοποιείται παράλληλα με αυτό στην υποψήφια κυψέλη, έως ότου πραγματοποιηθεί η μετάβαση στο νέο κανάλι εξυπηρέτησης (make before break).
- Ηπιότερη διαπομπή – Είναι μία ειδική περίπτωση ήπιας διαπομπής, όπου τα κανάλια που δεσμεύονται και αποδεσμεύονται κατά τη διαπομπή ανήκουν στο ίδιο σημείο πρόσβασης.

Ωστόσο, η διαπομπή δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία. Για να επιτευχθεί πρέπει να ληφθούν μια σειρά από αποφάσεις, να γίνει μέτρηση κάποιων τιμών και σύγκριση αυτών και να ακολουθήσει η ανταλλαγή των απαραίτητων μηνυμάτων προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

Η διαδικασία αυτή δε, γίνεται περισσότερο σύνθετη όταν πρόκειται για ετερογενή συστήματα. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη τόσο η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, όσο και οι προτιμήσεις του χρήστη, η κατάσταση του δικτύου, ο τύπος της εφαρμογής και οι απαιτήσεις σε ταχύτητα και αξιοπιστία, το κόστος κλπ.

2.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η διαδικασία της διαπομπής αποτελεί μία σύνθετη εργασία η οποία λαμβάνει χώρα σε διάφορα στάδια, βασίζεται σε μετρήσεις και σε τιμές παραμέτρων, όπως είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος και υλοποιείται στηριζόμενη σε συγκεκριμένες στρατηγικές.

Έτσι, η διαδικασία της οριζόντιας διαπομπής, που αποτελεί τη μία εκ των δύο μεγάλων κατηγοριών διαπομπής, μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις [26]:

- Φάση μετρήσεων (Measurement). Σε αυτή τη φάση λαμβάνουν χώρα μια σειρά από μετρήσεις παραμέτρων όπως είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος (RSS), ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SIR), η απόσταση από ένα σημείο, ο ρυθμός σφαλμάτων, τόσο στην πλευρά του χρήστη, όσο και στην πλευρά του BS.
- Αρχικοποίηση (Initiation). Σε αυτή τη κρίνεται αν είναι απαραίτητη η διαπομπή και εφόσον είναι γίνεται η αρχικοποίηση της διαδικασίας.
- Λήψη απόφασης (Decision). Σε αυτή τη φάση λαμβάνεται η απόφαση για διαπομπή σε ένα νέο κανάλι επικοινωνίας, ανάλογα με την κίνηση που υπάρχει σε αυτό ή τους διαθέσιμους πόρους. Η απόφαση μπορεί να ληφθεί τόσο από το ίδιο το τερματικό, όσο και από την πλευρά του δικτύου, ενώ υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες λήψης απόφασης:
 - Διαπομπή ελεγχόμενη από το τερματικό (Mobile-Controlled Handoff - MCHO). Το τερματικό είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση του λαμβανόμενου σήματος από τους γύρω σταθμούς (BS) και των επιπέδων παρεμβολής στα κανάλια επικοινωνίας. Όταν η στάθμη του σήματος πέσει, το τερματικό επιλέγει να μεταβεί σε νέο σταθμό εξυπηρέτησης.
 - Διαπομπή ελεγχόμενη από το δίκτυο (Network-Controlled Handoff – NCHO). Οι μετρήσεις του σήματος του τερματικού γίνονται από το σταθμό εξυπηρέτησης. Η διαδικασία της διαπομπής καλείται όταν ισχύουν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια, όπως τα επίπεδα της παρεμβολής (SIR).
 - Διαπομπή υποβοηθούμενη από το τερματικό (Mobile-Assisted Handoff – MAHO). Το δίκτυο ζητά να μετρήσει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος από τα περιβάλλοντα σημεία εξυπηρέτησης και βάσει των μετρήσεων είναι αυτό που λαμβάνει την απόφαση για διαπομπή.
- Εκτέλεση (Execution). Σε αυτή τη φάση το δίκτυο επιτρέπει στο τερματικό να μεταβεί από το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης (κανάλι, κεραία κλπ, ανάλογα με το είδος της διαπομπής) στο νέο σημείο εξυπηρέτησης.

Η όλη διαδικασία της διαπομπής ελέγχεται από τα σχέδια διαπομπής (handoff schemes) που αποτελούν ουσιαστικά τις διαφορετικές μεθόδους που εφαρμόζονται προκειμένου να δοθεί προτεραιότητα ή όχι στα αιτήματα διαπομπής. Τα σχήματα βασίζονται σε συγκεκριμένες πολιτικές και μπορούμε να τα διαχωρίσουμε στα σχήματα προτεραιότητας

(Prioritization Schemes) και στα σχήματα της μη-προτεραιότητας (Non-Prioritized Schemes). Η βασική ιδέα πίσω από τα πρώτα είναι να δώσει προτεραιότητα στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων διαπομπής, έναντι των αιτημάτων για καινούριες κλήσεις. Από την άλλη, η βασική ιδέα πίσω από τα δεύτερα είναι ότι τόσο οι καινούριες κλήσεις όσο και τα αιτήματα για διαπομπή αντιμετωπίζονται ισότιμα, εφόσον υπάρχει διαθέσιμο κανάλι επικοινωνίας.

Έτσι, έχουμε τα σχέδια δέσμευσης καναλιών (channel reservation schemes) τα οποία δεσμεύουν συγκεκριμένο αριθμό καναλιών που προσφέρονται για διαπομπή, τα σχέδια ουράς (handoff queueing schemes) τα οποία τοποθετούν τα αιτήματα για διαπομπή σε ουρά αντί να τα απορρίπτουν, τα σχέδια μεταφοράς καναλιού (channel transferred handoff schemes) τα οποία επιτρέπουν τη μεταφορά του καναλιού από μία γειτονική κυψέλη, τα σχέδια υποβάθμισης (subrating schemes) που υποβαθμίζουν το εύρος ζώνης μιας κλήσης προκειμένου να εξυπηρετήσουν περισσότερους χρήστες, τα γενετικά σχέδια (genetic handoff schemes) που χρησιμοποιούν γενετικούς αλγόριθμους προκειμένου να εφαρμόσουν τις πολιτικές και τέλος τα υβριδικά σχέδια (hybrid handoff schemes) που συνδυάζουν όλα τα παραπάνω προκειμένου να εξυπηρετήσουν κατά προτεραιότητα τα αιτήματα για διαπομπή [26].

2.2 ΚΑΘΕΤΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η ύπαρξη διαφορετικών δικτυακών τεχνολογιών γέννησε την ανάγκη για διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων. Η όλη διαδικασία της διαπομπής μεταξύ αυτών αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία με το βάρος να δίνεται τόσο στη λήψη της απόφασης για διαπομπή όσο και στο ποια από τις διαθέσιμες τεχνολογίες θα επιλεγεί τελικά.

Όπως και στην οριζόντια διαπομπή, η διαδικασία της κάθετης διαπομπής χωρίζεται σε τρεις φάσεις [26]:

- Τη φάση ανακάλυψης (system discovery). Ο χρήστης προσδιορίζει τα διαθέσιμα δίκτυα και τις διαθέσιμες υπηρεσίες του κάθε δικτύου.
- Τη φάση απόφασης (handoff decision). Το κινητό τερματικό καθορίζει το δίκτυο στο οποίο θα γίνει η διαπομπή, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης, οι προτιμήσεις του χρήστη κλπ.
- Τη φάση εκτέλεσης (handoff execution). Αποκαθίσταται η σύνδεση με το νέο δίκτυο, με τρόπο διαφανή προς το χρήστη.

Η πιο σημαντική φάση στην κάθετη διαπομπή είναι αυτή της λήψης της απόφασης. Κι αυτό γιατί τα ετερογενή συστήματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και εκ των πραγμάτων προσφέρουν διαφορετικές υπηρεσίες στον χρήστη που δεν είναι εύκολο να συγκριθούν. Γι αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί μια σειρά από διαφορετικούς αλγόριθμους για την επίτευξη της λήψης της απόφασης.

Οι αλγόριθμοι αυτοί βασίζονται τόσο στις μετρήσεις των χαρακτηριστικών απόδοσης του δικτύου (εύρος ζώνης, θόρυβος, παρεμβολή, κατανάλωση ενέργειας, κόστος, απώλεια δεδομένων κ.ά.) όσο και στις προτιμήσεις του χρήστη (π.χ. να επιλέγεται πάντα δίκτυο WiFi για να μην υπάρχει χρέωση) ή στις ανάγκες της εφαρμογής που βρίσκεται σε εξέλιξη στο τερματικό.

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗ

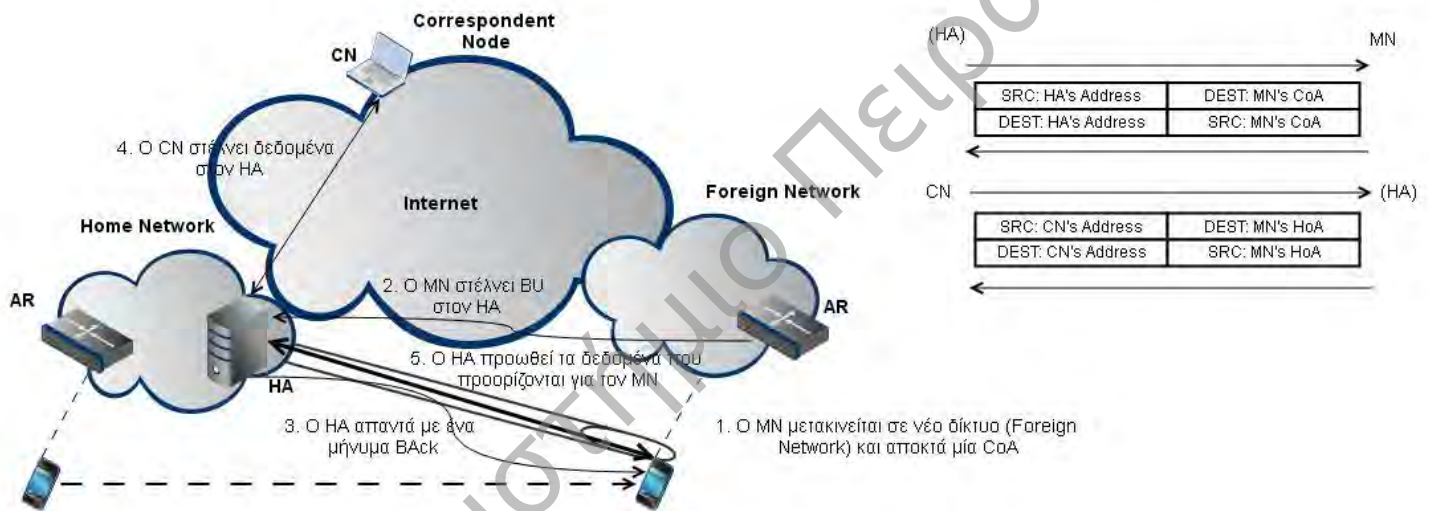
Πέραν του πρωτοκόλλου IEEE 802.21 υπάρχουν μια σειρά από τεχνολογίες που υποστηρίζουν τη διαπομπή μεταξύ συστημάτων, τόσο στο επίπεδο δικτύου, όσο και στα ανώτερα επίπεδα. Πρόκειται για πρωτόκολλα που υποστηρίζουν την κινητικότητα, δηλαδή τη δυνατότητα ενός κινητού τερματικού να μεταβεί από ένα δίκτυο σε ένα άλλο, με διαφανή προς το χρήστη και τις υπηρεσίες που λαμβάνει, τρόπο.

2.3.1 MIPv6 (Mobile IPv6)

Στα ασύρματα περιβάλλοντα αυτό που έχει πρωταρχική σημασία είναι η εξασφάλιση της κινητικότητας των χρηστών. Της δυνατότητας δηλαδή ενός κινητού να μεταβεί σε ένα νέο δίκτυο, διατηρώντας τη σύνδεση με τις υπηρεσίες που λαμβάνει. Έτσι, στόχος του MIPv6 είναι η διατήρηση της διεύθυνσης IP του χρήστη, ανεξάρτητα από το σημείο από το οποίο

εξυπηρετείται με σκοπό τη διατήρηση της συνδεσιμότητας του κινητού τερματικού. Αυτό επιτυγχάνεται με την απόδοση μιας νέας διεύθυνσης IP (CoA – Care of Address) στο κινητό όταν συνδέεται σε διαφορετικό δίκτυο και την αντιστοίχιση αυτής με την οικία διεύθυνση (Home Address).

Πιο συγκεκριμένα, ο κινητός κόμβος (Mobile Node – MN) αποκτά μια διεύθυνση με τη σύνδεσή του στο οικείο δίκτυο (Home Address – HoA) και διατηρεί αυτή τη διεύθυνση προκειμένου να εξασφαλίσει την επικοινωνία του. Όταν μεταβεί σε κάποιο άλλο δίκτυο, αποκτά μία προσωρινή διεύθυνση (Care-of-Address – CoA) από το νέο δρομολογητή (Foreign Agent – FA). Το κινητό τερματικό τότε στέλνει ένα μήνυμα ενημέρωσης (Binding Update – BU) στον οικείο δρομολογητή (Home Agent – HA) προκειμένου να δημιουργήσει έναν δεσμό μεταξύ της παλιάς διεύθυνσης του κινητού (HoA) και της νέας (CoA). Τα δεδομένα που έχουν σαν παραλήπτη το κινητό και φτάνουν στον HA από έναν άλλο κόμβο (Correspondent Node – CN), προωθούνται στο πρώτο χρησιμοποιώντας τη νέα CoA, δημιουργώντας έτσι ένα τούνελ επικοινωνίας. Έτσι, το κινητό παραμένει προσβάσιμο ακόμη κι αν αλλάξει δίκτυο και μάλιστα με τρόπο διαφανή προς τα ανώτερα επίπεδα. Αντίστοιχα, όταν ο MN θελήσει να στείλει δεδομένα στο CN, χρησιμοποιεί το ίδιο τούνελ επικοινωνίας. Στην εικόνα 1 φαίνεται η διαδικασία και η αποστολή των μηνυμάτων μεταξύ MN, CN και HA. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως *Triangle Routing* και μπορεί να αποβεί αρκετά χρονοβόρα.



Εικόνα 1 : Η διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων στο MIPv6 με τη χρήση tunnel.

Το MIPv6 υποστηρίζει τη βελτιστοποίηση δρομολόγησης (Route Optimization) παρέχοντας στο κινητό τη δυνατότητα να παρακάμψει τη διαδικασία Triangle Routing. Έτσι, όταν ένα κινητό παραλάβει ένα μήνυμα από το HA, αυτόματα είναι σε θέση να γνωρίζει πως ο CN δεν είναι ενημερος για τη νέα του θέση και φροντίζει να τον ενημερώσει στέλνοντας απευθείας στο CN ένα μήνυμα ενημέρωσης για τη νέα του διεύθυνση (BU), παρακάμπτοντας έτσι την επικοινωνία με τον HA. Στη συνέχεια ο MN στέλνει τα δεδομένα στον CN χρησιμοποιώντας σαν διεύθυνση πηγής τη διεύθυνση CoA. Στη συνέχεια ο CN αντικαθιστά τη CoA με τη HoA και προωθεί τα δεδομένα στα ανώτερα επίπεδα, με τρόπο διαφανή προς αυτά. Από την άλλη, ο CN στέλνει δεδομένα στο MN χρησιμοποιώντας ως διεύθυνση προορισμού τη CoA [28].

Ωστόσο, η διαδικασία της βελτιστοποιημένης δρομολόγησης δημιουργεί και διάφορα προβλήματα ασφάλειας, με την ανταλλαγή των μηνυμάτων BU μεταξύ CN και MN. Κακόβουλα ή μη εξουσιοδοτημένα μηνύματα BU ανοίγουν την πόρτα για επίθεση στην ασφάλεια ενός συστήματος.

Για παράδειγμα, ένας εισβολέας θα μπορούσε να προσποιηθεί ότι είναι ο MN, στέλνοντας στον CN ένα μήνυμα ανανέωσης BU με CoA τη δική του διεύθυνση. Έτσι ο CN θα έστειλε τα δεδομένα που προορίζονται για το MN στον εισβολέα, νομίζοντας ότι ο πρώτος έχει μεταβεί σε νέα διεύθυνση και αντίστοιχα ο MN δεν θα παραλάμβανε τα δεδομένα που προορίζονται για αυτόν καθώς θα είχαν υποκλαπεί από τον εισβολέα (False Binding Update attack).

Ένα άλλο πρόβλημα επίθεσης προκύπτει όταν κάποιος προσπαθήσει να μπει ανάμεσα στον MN και τον CN προσποιούμενος στον πρώτο ότι είναι ο CN και στον CN ότι είναι ο MN, στέλνοντας και στους δύο ένα μήνυμα BU με τη δική του διεύθυνση ως CoA (Man-in-the-Middle attack).

Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει η διαδικασία *Return Routability* που εφαρμόζεται στο MIPv6 με την οποία εξασφαλίζεται η αμοιβαία εμπιστοσύνη μεταξύ MN και CN για την ανταλλαγή BU μηνυμάτων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι όροι *Kcn (Node Key)*, *nonce* και *nonce index*. Ο *Kcn* είναι ένας αριθμός 20-octet και τον κατέχει κάθε CN προκειμένου να τον χρησιμοποιήσει ως αναγνωριστικό στα *keygen tokens* που παράγει. Ο όρος *nonce* είναι ένας αριθμός 64-bit που κατέχει ο CN και τον οποίο ανανεώνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τέλος, ο *nonce index* είναι ένας κατάλογος που περιέχει τα *nonce* που δημιουργήθηκαν και βοηθά τον CN να ανακαλύψει ποιο *nonce* χρησιμοποιήθηκε με κάθε μήνυμα (το τρέχον ή κάποιο από τα προηγούμενα) [28].

Έτσι, ο MN στέλνει δύο μηνύματα με *cookies* στον CN. Ένα μέσω του HA (HTi – Home Test init) και ένα απευθείας στον CN (CTi – Care-of Test init). Ο CN χρησιμοποιεί τα *Kcn* και *nonce* προκειμένου να δημιουργήσει δύο tokens

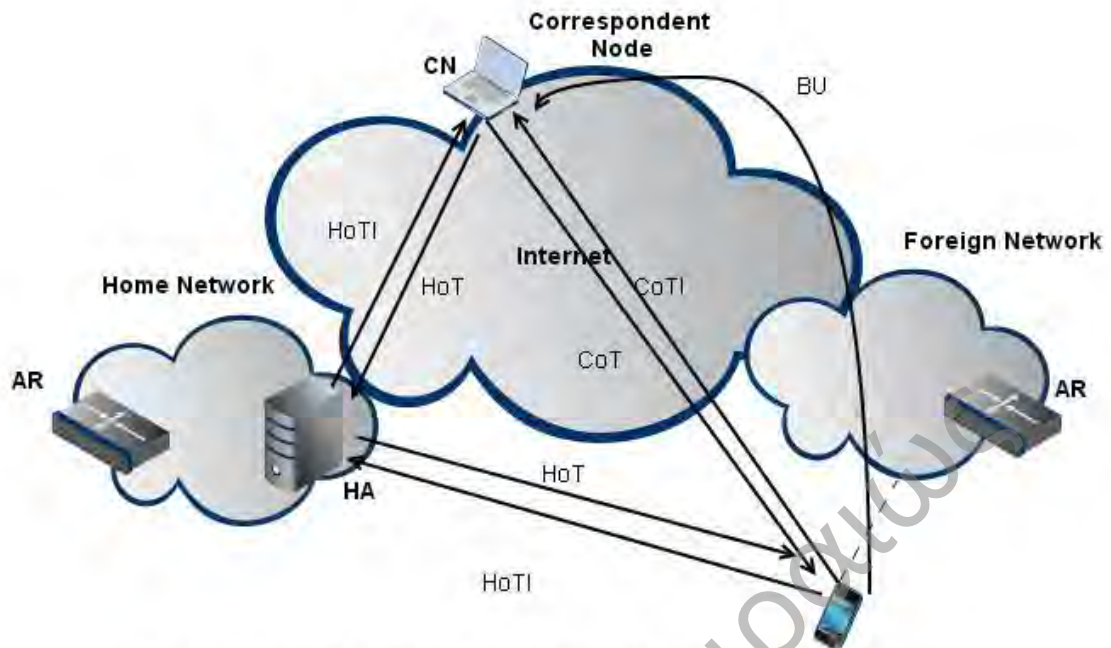
home keygen token := FIRST (64, HMAC_SHA1 (Kcn, (HoA | nonce | "0")))
 care-of keygen token := FIRST (64, HMAC_SHA1 (Kcn, (CoA | nonce | "1")))

Ο CN στέλνει πίσω στον MN τόσο τα *cookies* όσο και τα δύο tokens που δημιούργησε (HT – Home Test και CT – Care-of Test) προκειμένου ο τελευταίος να δημιουργήσει το Binding Management Key.

$K_{bm} := \text{SHA1}(\text{home keygen token} \parallel \text{care of keygen token})$

Τέλος, ο MN στέλνει ένα BU στον CN το οποίο είναι υπογεγραμμένο με το K_{bm} κι έτσι ο CN χρησιμοποιώντας τα *care-of token* και *home token* υπολογίζει το K_{bm} και βάσει αυτού μπορεί να πιστοποιήσει τον κινητό κόμβο. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η διαδικασία της διαπομπής στο MIPv6 με χρήση της τεχνικής *Return Routability*.

Το πρωτόκολλο MIPv6 ωστόσο προσδίδει καθυστέρηση στην όλη διαδικασία της διαπομπής την οποία έρχεται να βελτιώσει το FMIPv6 που αποτελεί μια προέκταση του πρώτου με στόχο τη μείωση του χρόνου καθυστέρησης που οφείλεται στη διαπομπή και το οποίο περιγράφεται στη συνέχεια.



1. Ο MN στέλνει HoTI (Home Test Init) στον CN μέσω του HA
2. Ο MN στέλνει απευθείας CoTI (Care-of Test Init) στον CN
3. Ο CN δημιουργεί το κλειδί Binding Management Key K_{bm}
4. Ο CN στέλνει HoT (Home Test) στον MN μέσω του HA
5. Ο CN στέλνει CoT (Care-of Test) απευθείας στον MN
6. Ο MN παράγει το K_{bm} και στέλνει BU στον CN υπογεγραμμένο με το K_{bm}
7. Ο CN πιστοποιεί τον MN κι έτσι δεν χρειάζεται να απαντήσει με Back
8. Ο CN στέλνει απευθείας δεδομένα στη CoA του MN

Εικόνα 2: Η διαδικασία της ανταλλαγής μηνυμάτων στο MIPv6 με τη χρήση *Return Routability*.

2.3.2 FMIPv6 (Fast Handovers for Mobile IPv6)

Το πρωτόκολλο MIPv6 υποστηρίζει μεν τη διαδικασία της διαπομπής, ωστόσο συχνά ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί αυτή (λόγω των διεργασιών Binding Update, new Care-of-Address, movement detection) είναι απαγορευτικός για υπηρεσίες όπως VoIP (Voice over IP) [29]. Έτσι, το πρωτόκολλο FMIPv6 έχει στόχο να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαπομπής (handoff latency) εξαιτίας των διεργασιών που υλοποιούνται με τη χρήση του πρωτοκόλλου MIPv6.

Στο FMIPv6 ορίζονται οι έννοιες AR (Access Router) που αποτελεί τον τρέχον δρομολογητή στον οποίο είναι συνδεδεμένο το κινητό, AP (Access Point) που αποτελεί το σημείο (συσσκευή) που επιτρέπει στον κινητό κόμβο την πρόσβαση στις ασύρματες επικοινωνίες και αποτελεί μία Layer 2 συσκευή συνδεδεμένη σε κάποιο IP υποδίκτυο, PAR (Previous Access Router) ο δρομολογητής που συνδέεται το τερματικό πριν τη διαπομπή, NAR (New Access Router) ο δρομολογητής που συνδέεται το τερματικό μετά τη διαπομπή, PCoA (Previous Care-of-Address) η διεύθυνση IP στο PAR, NCoA (New Care-of-Address) η διεύθυνση IP στο δίκτυο NAR, RtSolPr (Router Solicitation for Proxy Advertisement) ένα μήνυμα από τον MN στο PAR ζητώντας πληροφορίες για μια ενδεχόμενη διαπομπή, PrRtAdv (Proxy Router Advertisement) ένα μήνυμα από τον PAR στον MN που παρέχει πληροφορίες για τα γειτονικά δίκτυα βοηθώντας στην επικείμενη μετάβαση σε ένα νέο δίκτυο.

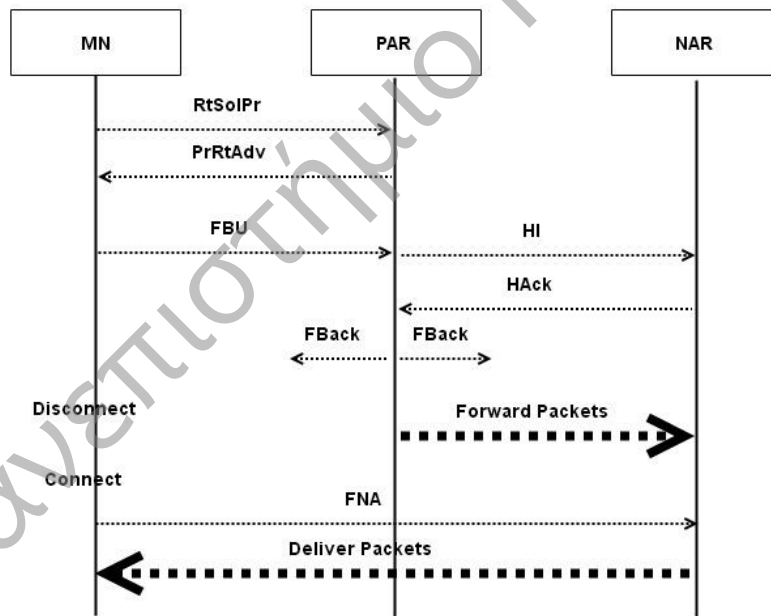
Κύριος στόχος του FMIPv6 είναι να αποδοθεί μία νέα CoA (NCoA) προτού ακόμη το κινητό συνδεθεί στο νέο δρομολογητή. Αυτό το καταφέρνει επιτρέποντας στο κινητό τερματικό να συλλέξει πληροφορίες για τα γειτονικά σημεία πρόσβασης καθώς και πληροφορίες για τους

δρομολογητές που εξυπηρετούν αυτά, με τη βοήθεια των μηνυμάτων RtSolPr και PrRtAdv. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν δύο τύποι διαπομπής, ο *Predictive* τύπος και ο *Reactive*.

Έτσι, η διαδικασία ξεκινά με το κινητό να στέλνει ένα μήνυμα RtSolPr στον τρέχον δρομολογητή, ζητώντας πληροφορίες για τα γειτονικά σημεία πρόσβασης. Το μήνυμα αυτό μπορεί να το στείλει σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, είτε κατά βούληση, είτε ως φυσικό επακόλουθο μιας αλλαγής που σημειώθηκε στην κατάσταση του δικτύου (trigger event). Σε απάντηση, ο δρομολογητής στέλνει ένα μήνυμα PrRtAdv που περιέχει πληροφορίες για τα γειτονικά σημεία πρόσβασης.

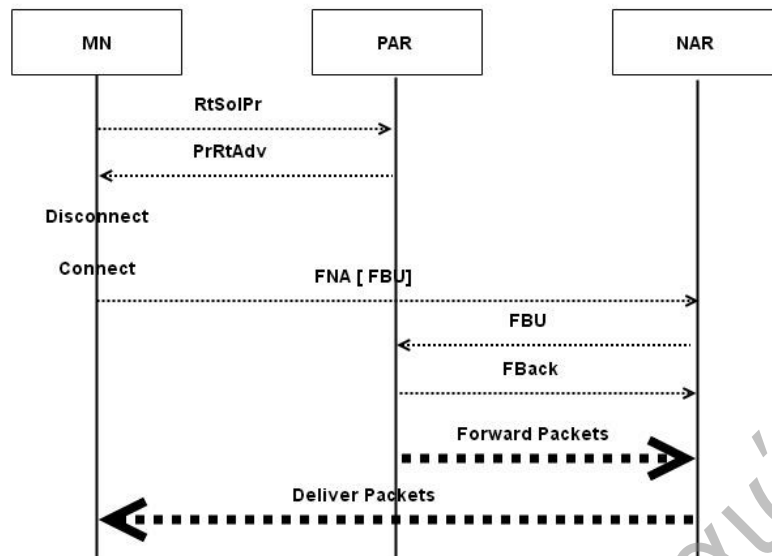
Στη συνέχεια ο MN στέλνει ένα μήνυμα FBU (Fast Binding Update) στο PAR προκειμένου ο τελευταίος να συνδέσει την παλιά διεύθυνση (PCoA) του κινητού με την καινούρια (NCoA) έτσι ώστε τα μηνύματα που προορίζονται για την παλιά διεύθυνση να μπορούν να προωθηθούν στη νέα. Στο σημείο αυτό η διαδικασία μπορεί να συνεχίσει με δύο διαφορετικούς τρόπους.

Στην περίπτωση του Predictive τύπου διαπομπής, προτού ο PAR στείλει απάντηση στο κινητό τερματικό (μήνυμα Fback), οφείλει να στείλει ένα μήνυμα HI (Handover Initiate) στον NAR προκειμένου να ενημερώσει για την επικείμενη διαπομπή και για τη NCoA, ενώ αντίστοιχα ο NAR απαντά με ένα μήνυμα HAck (Handover Acknowledge) στο οποίο περιέχεται η νέα διεύθυνση του κινητού. Στη συνέχεια, το κινητό λαμβάνει το μήνυμα Fback στο προηγούμενο σημείο εξυπηρέτησης, ενώ τα πακέτα δεδομένων προωθούνται στο NAR όπου το κινητό να συνδεθεί στο NAR. Αμέσως μετά τη διαπομπή το κινητό οφείλει να στείλει ένα μήνυμα FNA (Fast Neighbor Attachment) στο NAR προκειμένου να ενημερώσει για τη σύνδεση μεταξύ του MN και του NAR καθώς επίσης να μπορούν τόσο τα νέα πακέτα δεδομένων όσο και αυτά που έχουν αποταμιευτεί να σταλούν απευθείας στο κινητό τερματικό [29]. Στην εικόνα 3 απεικονίζεται η ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διαδικασία της διαπομπής.



Εικόνα 3: *Predictive FMIPv6*

Στην περίπτωση του Reactive τύπου διαπομπής, το κινητό στέλνει το μήνυμα FBU αμέσως μετά τη σύνδεσή του στο νέο δίκτυο, ενσωματώνοντάς το σε ένα μήνυμα FNA. Έτσι το PAR δημιουργεί μία σύνδεση μεταξύ παλιάς και νέας διεύθυνσης και τη στέλνει στο NAR. Τέλος, τα πακέτα δεδομένων μπορούν πλέον να προωθούνται από το NAR στο κινητό τερματικό. Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται η ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αυτή.



Εικόνα 4: Reactive FMIPv6

2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ

Η διαδικασία της διαπομπής προσφέρει αδιαμφισβήτητα οφέλη στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Χωρίς αυτή εξάλλου δεν θα ήταν δυνατό να εξασφαλιστεί η κινητικότητα των χρηστών. Τα πλεονεκτήματα αυτά, τόσο για τη διαπομπή σε ομογενή όσο και σε ετερογενή συστήματα είναι:

- εξασφαλίζεται η κινητικότητα των χρηστών,
- ο χρήστης λαμβάνει υπηρεσία με την καλύτερη δυνατή ποιότητα σήματος,
- μπορεί να επιτευχθεί αποσυμφόρηση ενός σημείου εξυπηρέτησης με τη διαπομπή των τερματικών σε νέα σημεία εξυπηρέτησης
- μπορεί να μειωθεί το κόστος της χρήσης μιας υπηρεσίας με τη διαπομπή σε συστήματα χωρίς χρέωση (ετερογενής διαπομπή)
- επιλογή του καταλληλότερου συστήματος εξυπηρέτησης με βάση τις ανάγκες του χρήστη (ετερογενής διαπομπή).

Από την άλλη, υπάρχουν και τα αντίστοιχα μειονεκτήματα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία της διαπομπής. Τα μειονεκτήματα αυτά, τόσο για ομογενή όσο και για ετερογενή συστήματα, είναι:

- στις περιπτώσεις ήπιας διαπομπής, δεσμεύονται πόροι από δύο σημεία εξυπηρέτησης,
- αν δεν επιλεγούν τα κατάλληλα κριτήρια για τη διαπομπή τότε μπορεί να συμβούν επαναλαμβανόμενες διαπομπές μεταξύ δύο σημείων εξυπηρέτησης,
- αν τα κριτήρια είναι συντηρητικά, τότε μπορεί να χαθεί η κλήση πριν επιτευχθεί η διαπομπή.

3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IEEE 802.21 – MEDIA INDEPENDENT HANDOVER

Το πρότυπο IEEE 802.21 παρέχει όλες τις απαιτούμενες υπηρεσίες για τη διαπομπή τόσο μεταξύ συστημάτων που ανήκουν στην κατηγορία IEEE 802, όσο και για συστήματα που δεν ανήκουν σε αυτή (3GPP, 3GPP2) [17].

Σκοπός του προτύπου είναι η εξασφάλιση μιας απόλυτα διαφανούς διαδικασίας διαπομπής μεταξύ ετερογενών δικτύων – κάθετη διαπομπή (vertical handoff) – όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν ή όταν οι ανάγκες το απαιτούν [4]. Για παράδειγμα, η μετάβαση σε ένα νέο δίκτυο, κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής κλήσης, πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι πιθανότητες ο χρήστης να αντιληφθεί κάποια διακοπή κατά τη διάρκεια της συνομιλίας, να είναι μηδενικές [1].

Το πρότυπο υποστηρίζει την ανάγκη για διαπομπή τόσο σταθερών κόμβων όσο και κινητών. Ένας σταθερός κόμβος μπορεί να χρειαστεί να μεταβεί σε διαφορετικό δίκτυο αν, για παράδειγμα, αυξηθούν οι ανάγκες του σε ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Από την άλλη, ένας κινητός κόμβος καλείται να αλλάξει δίκτυο γιατί αλλάζουν συχνά τα δεδομένα και η ποιότητα της σύνδεσης, λόγω της κινητικότητας του κόμβου (μείωση της ισχύς λαμβανόμενου σήματος, αύξηση του θορύβου κ.ά.).

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι τόσο οι κόμβοι του δικτύου, όσο και τα σημεία πρόσβασης σε αυτό θα πρέπει να υποστηρίζουν την λειτουργία πολλών διαφορετικών τεχνολογιών δικτύων και συνεπώς την αποστολή και λήψη δεδομένων σε διαφορετικές συχνότητες.

3.1 Βασικά Στοιχεία του Προτύπου

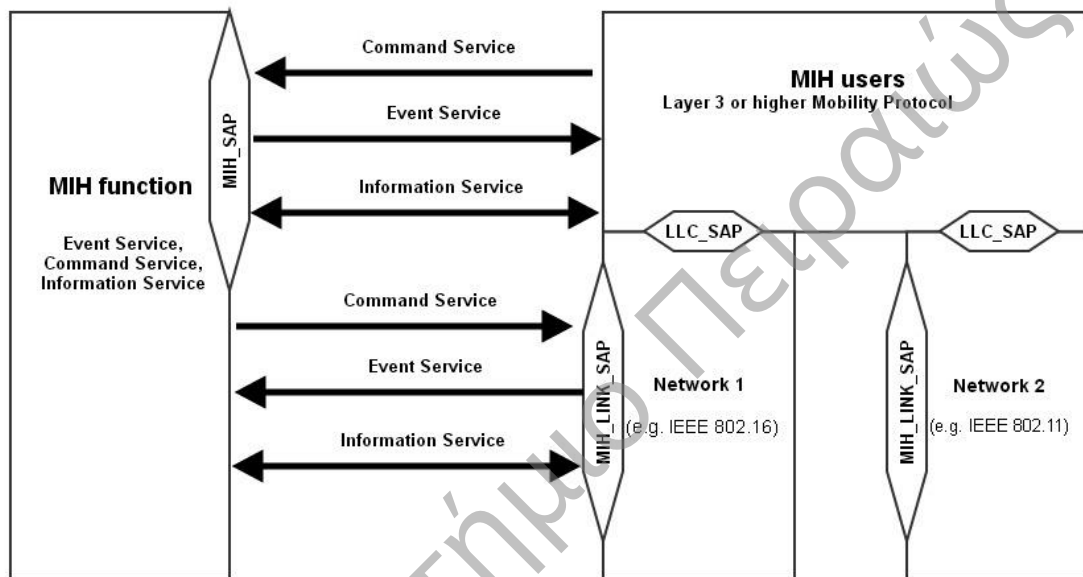
Το πρότυπο υποστηρίζει, όπως προαναφέρθηκε, τη διαπομπή μεταξύ ετερογενών δικτύων. Η διαπομπή συμβαίνει με βάση ορισμένες προϋποθέσεις και βάσει ειδικών αναγκών είτε του κόμβου, είτε του δικτύου. Η διαπομπή στηρίζεται σε μετρήσεις που γίνονται (π.χ. η ισχύς λαμβανόμενου σήματος) και διαδικασιών που ενεργοποιούνται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Ειδικότερα, το πρότυπο αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία [2]:

- Ένα γενικότερο πλαίσιο το οποίο εξασφαλίζει τη συνέχεια στην προσφερόμενη υπηρεσία κατά τη μετάβαση ενός κινητού κόμβου από έναν τύπο δικτύου σε έναν άλλο. Το πλαίσιο βασίζεται στην παρουσία μιας στοίβας πρωτοκόλλων διαχείρισης κινητικότητας, μέσα σε όλα τα στοιχεία που υποστηρίζουν τη διαπομπή. Το πλαίσιο παρέχει διαφορετικά μοντέλα αναφοράς για διαφορετικές τεχνολογίες του επιπέδου ζεύξης,
- ένα σύνολο από συναρτήσεις που υποστηρίζουν τη διαπομπή, μέσα στη στοίβα πρωτοκόλλων των στοιχείων που απαρτίζουν το δίκτυο και μία νέα οντότητα που δημιουργείται εκεί, η οποία ονομάζεται MIH Function (MIHF),
- ένα σημείο πρόσβασης των χρηστών στις υπηρεσίες των συναρτήσεων MIHF, που ονομάζεται MIH_SAP (MIH Service Access Point). Η λειτουργία MIHF παρέχει τις ακόλουθες υπηρεσίες:
 1. Υπηρεσία γεγονότων (MIES – Media Independent Event Service) η οποία εντοπίζει αλλαγές στις ιδιότητες του επιπέδου ζεύξης δεδομένων και ενεργοποιεί τα κατάλληλα γεγονότα (triggers), τόσο από τοπικές όσο και από απομακρυσμένες διεπαφές.
 2. Υπηρεσία εντολών (MICS – Media Independent Command Service) η οποία παρέχει ένα σύνολο εντολών στους χρήστες, για την παρακολούθηση των ιδιοτήτων της σύνδεσης που είναι σχετικές με τη διαπομπή, και την εναλλαγή μεταξύ των συνδέσεων όταν απαιτείται.
 3. Υπηρεσία πληροφόρησης (MIIS – Media Independent Information Service) η οποία παρέχει πληροφορίες για τα διαφορετικά δίκτυα και τις υπηρεσίες που αυτά

προσφέρουν και συνεπώς τη δυνατότητα για τη λήψη της καλύτερης δυνατής απόφασης για διαπομπή μεταξύ των ετερογενών δικτύων.

- Τον ορισμό ενός νέου σημείου πρόσβασης υπηρεσιών επιπέδου διασύνδεσης (Link Layer SAP) και τα σχετικά θεμελιακά στοιχεία για κάθε διαφορετική τεχνολογία. Τα νέα αυτά στοιχεία επιτρέπουν στη λειτουργία MIHF να συλλέξει πληροφορίες σχετικές με τη σύνδεση και να ελέγξει τη συμπεριφορά της σύνδεσης κατά τη διάρκεια της διαπομπής [1].

Η εικόνα 5 παρουσιάζει τη θέση της λειτουργίας MIHF μέσα στη στοίβα πρωτοκόλλων ενός κόμβου του δικτύου. Η λειτουργία MIHF παρέχει υπηρεσίες στα ανώτερα επίπεδα μέσω μιας ανεξαρτήτου μέσου διεπαφής (MIH SAP) και λαμβάνει υπηρεσίες και πληροφορίες από τα κατώτερα επίπεδα, μέσω διεπαφής συγκεκριμένου μέσου (MIH LINK SAP).



Εικόνα 5: Η θέση της MIHF μέσα στη στοίβα πρωτοκόλλων

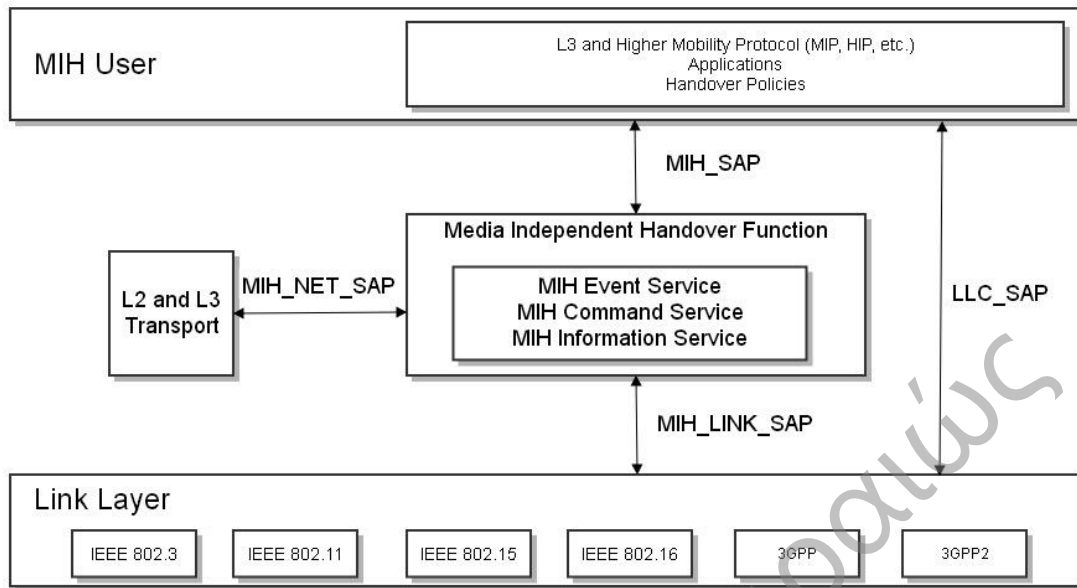
Όπως φαίνεται και από την εικόνα 5, κάθε κινητό τερματικό που υποστηρίζει το πρωτόκολλο IEEE 802.21 διαθέτει περισσότερες από μία διεπαφές για να υποστηρίξει διαφορετικές τεχνολογίες, όπως ασύρματες, ενσύρματες καθώς και συνδυασμό αυτών.

3.2 Αρχιτεκτονική

Το πρότυπο υποστηρίζει τόσο την ήπια όσο και τη σκληρή διαπομπή και απαιτεί τη συνεργασία μεταξύ τερματικού και δικτύου προκειμένου να επιτευχθεί η διαδικασία της διαπομπής [1].

Στην εικόνα 6, κάθε οντότητα που μπορεί να συμμετέχει σε ένα MIH δίκτυο, περιέχει ένα βασικό δομικό στοιχείο, τη συνάρτηση MIH (MIH Function - MIHF). Η συνάρτηση λειτουργεί σαν ένα λογικό επίπεδο μεταξύ του επιπέδου διασύνδεσης (Link layer) και του επιπέδου δικτύου (Network Layer) και βοηθά στη διαδικασία της διαπομπής, με την ανταλλαγή μηνυμάτων, παρέχοντας όλες εκείνες τις πληροφορίες που απαιτούνται για τη διαπομπή τόσο στα κινητά τερματικά όσο και στις οντότητες του δικτύου. Η επικοινωνία της MIHF με τα ανώτερα και κατώτερα επίπεδα γίνεται με τη χρήση των σημείων πρόσβασης SAP, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Οι λειτουργίες των ανώτερων επιπέδων, που μεταξύ άλλων είναι η επιλογή του νέου δικτύου στο οποίο θα γίνει η διαπομπή, ομαδοποιούνται σε μία οντότητα που ονομάζεται χρήστης MIH (MIH User - MIHU). Ο MIHU λαμβάνει αποφάσεις στηριζόμενος τόσο στις πληροφορίες που δέχεται από τη MIHF, όπως η κατάσταση του δικτύου, όσο και σε διάφορα κριτήρια που έχουν τεθεί από τον χρήστη ή από τον πάροχο της υπηρεσίας του, όπως το κόστος, η απαιτούμενη ποιότητα της υπηρεσίας (QoS), η ανοχή στο θόρυβο κ.ά [1].



Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική του προτύπου IEEE 802.21

Από την άλλη, η επικοινωνία με τα κατώτερα επίπεδα γίνεται και πάλι με τη χρήση των SAP, που ανήκουν στην κατηγορία MIH_LINK_SAP και θα αναλυθούν, επίσης, στη συνέχεια.

Τέλος, η αρχιτεκτονική του 802.21 προτύπου ορίζει τρεις διαφορετικές υπηρεσίες (Services) που περιέχονται στη MIHF και βοηθούν στην επικοινωνία της με τα ανώτερα και κατώτερα επίπεδα. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι: Υπηρεσία Γεγονότων (MIH Event Service), Υπηρεσία Εντολών (MIH Command Service) και Υπηρεσία Πληροφοριών (MIH Information Service), που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

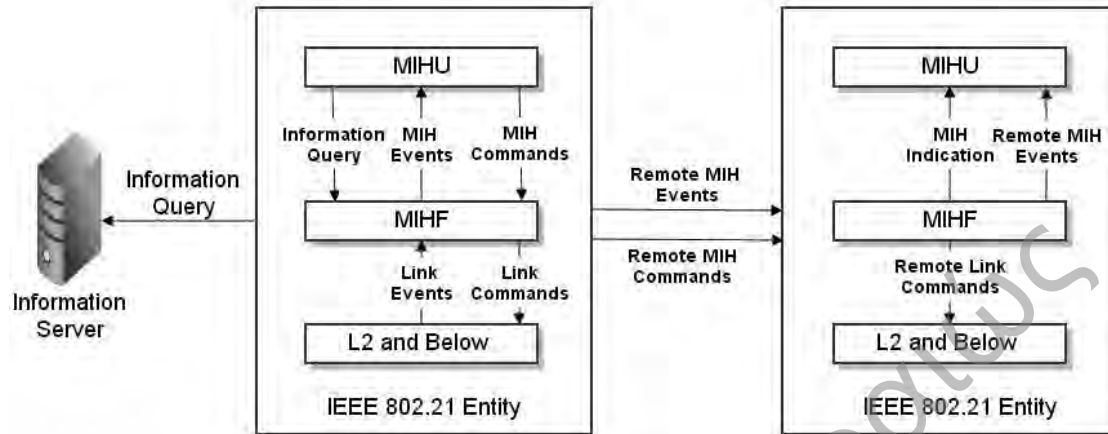
3.3 Υπηρεσίες MIH

Το πρότυπο 802.21 ορίζει τρεις διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών που παρέχονται από τη MIHF και συμμετέχουν στη διαδικασία διαπομπής μεταξύ ετερογενών δικτύων [1]. Οι υπηρεσίες αυτές είναι:

- Η υπηρεσία γεγονότων (Media Independent Event Service – MIES) που παρέχει ομαδοποίηση, φιλτράρισμα και αναφορά των γεγονότων που συμβαίνουν κατά τη δυναμική αλλαγή των χαρακτηριστικών, της κατάστασης και της ποιότητας της σύνδεσης μεταξύ δύο οντοτήτων του δικτύου [1].
- Η υπηρεσία εντολών (Media Independent Command Service – MICS) που επιτρέπει στους MIHU να διαχειρίζονται και να ελέγχουν τη συμπεριφορά της σύνδεσης σε σχέση με τους μηχανισμούς διαπομπής και κινητικότητας [1].
- Η υπηρεσία πληροφοριών (Media Independent Information Service – MIIS) που παρέχει τις απαραίτητες λεπτομέρειες των χαρακτηριστικών και των υπηρεσιών που διατίθενται από το τρέχον ή τα γειτονικά δίκτυα. Οι πληροφορίες αυτές εγγυώνται την αποτελεσματικότητα στη λήψη απόφασης για διαπομπή [1].

Σε ένα σύστημα που περιέχει πολλές διεπαφές, κυμαλωτού τύπου (3GPP, 3GPP2) ή IEEE 802, η συνάρτηση MIH με τη χρήση των παραπάνω υπηρεσιών, βοηθά τους χρήστες να αντιληφθούν το περιβάλλον που βρίσκεται γύρω τους, τα δίκτυα και τις υπηρεσίες που παρέχονται μέσα σε αυτό, οδηγώντας τους στη λήψη της βέλτιστης απόφασης για διαπομπή. Έτσι, εξασφαλίζεται τόσο η συνέχεια στην ποιότητα της υπηρεσίας (QoS), όσο και η καλύτερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.

Η εικόνα 7 παρουσιάζει τις υπηρεσίες της MIH συνάρτησης και την αλληλεπίδραση με τα κατώτερα και ανώτερα επίπεδα.



Εικόνα 7: Οι υπηρεσίες μιας MIHF

Οι υπηρεσίες αυτές διαχειρίζονται και ρυθμίζονται με τη χρήση των ακόλουθων ενεργειών:

- Ανακάλυψη MIH διαθεσιμότητας. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται από έναν χρήστη MIH προκειμένου να ανακαλύψει τις υπηρεσίες που προσφέρονται (Υπηρεσία Γεγονότων, Υπηρεσία Εντολών, Υπηρεσία Πληροφοριών) από μία τοπική ή απομακρυσμένη συνάρτηση MIHF
- MIH εγγραφή. Είναι η διαδικασία με την οποία ζητείται πρόσβαση σε συγκεκριμένες υπηρεσίες MIH
- MIH εγγραφή γεγονότων. Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει σε ένα MIH χρήστη να ζητήσει πρόσβαση σε συγκεκριμένο σύνολο γεγονότων μιας συνάρτησης MIH

Οι παραπάνω ενέργειες εκτελούνται προκειμένου ένας MIH κόμβος να ανακαλύψει τις υπηρεσίες που υποστηρίζει ένας ομότιμος κόμβος MIH. Ερωτήματα για ανακάλυψη της διαθεσιμότητας είναι δυνατόν να τεθούν από έναν κόμβο σε πολλούς διαφορετικούς, προκειμένου να γίνει η επιλογή για τον καταλληλότερο κόμβο στον οποίο θα γίνει η διαπομπή [1].

3.4 Υπηρεσία Γεγονότων - MIH Event Service

Η υπηρεσία γεγονότων δημιουργεί μία αναφορά των γεγονότων που συμβαίνουν, όπως η αλλαγή στην κατάσταση και τη συμπεριφορά μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο του δικτύου, το επίπεδο διασύνδεσης ή το επίπεδο λογικής διασύνδεσης [1]. Επίσης, είναι σε θέση να κάνει πρόγνωση για πιθανές αλλαγές στην κατάσταση των επιπέδων αυτών.

Τα γεγονότα αυτά ενεργοποιούνται είτε στα κατώτερα επίπεδα (Link Events) του δικτύου (μετά από τον εντοπισμό αλλαγών) ή μέσα στη MIH συνάρτηση (MIH Events). Προορισμός των γεγονότων είναι είτε η συνάρτηση MIHF είτε κάποια οντότητα σε ανώτερο επίπεδο. Γενικότερα, όπως φαίνεται και από την εικόνα 7, στην περίπτωση τοπικών γεγονότων, αυτά κατευθύνονται από τα κατώτερα επίπεδα προς κάποια οντότητα σε ανώτερο επίπεδο.

Στην περίπτωση απομακρυσμένων γεγονότων, αυτά μεταφέρονται από τη συνάρτηση MIHF της μίας στοίβας πρωτοκόλλων, στη συνάρτηση MIHF της απομακρυσμένης στοίβας πρωτοκόλλων και από εκεί στα ανώτερα επίπεδα της απομακρυσμένης οντότητας. Οι

απομακρυσμένες συναρτήσεις μπορεί να βρίσκονται για παράδειγμα σε έναν κινητό κόμβο και μια σταθερή δικτυακή οντότητα (π.χ. ένα σημείο πρόσβασης δικτύου).

Περισσότερες από μία οντότητες σε κάποιο ανώτερο επίπεδο μπορεί να ενδιαφέρονται για κάποιο γεγονός και συνεπώς ένα συγκεκριμένο γεγονός μπορεί να έχει σαν παραλήπτη περισσότερους από έναν προορισμούς. Επίσης, μία οντότητα σε ένα ανώτερο επίπεδο, μπορεί να εγγραφεί σε κάποια υπηρεσία προκειμένου να λαμβάνει ειδοποίηση από συγκεκριμένη πηγή γεγονότων. Η συνάρτηση MIHF είναι αυτή που αναλαμβάνει την προώθηση των γεγονότων στους διαφορετικούς προορισμούς.

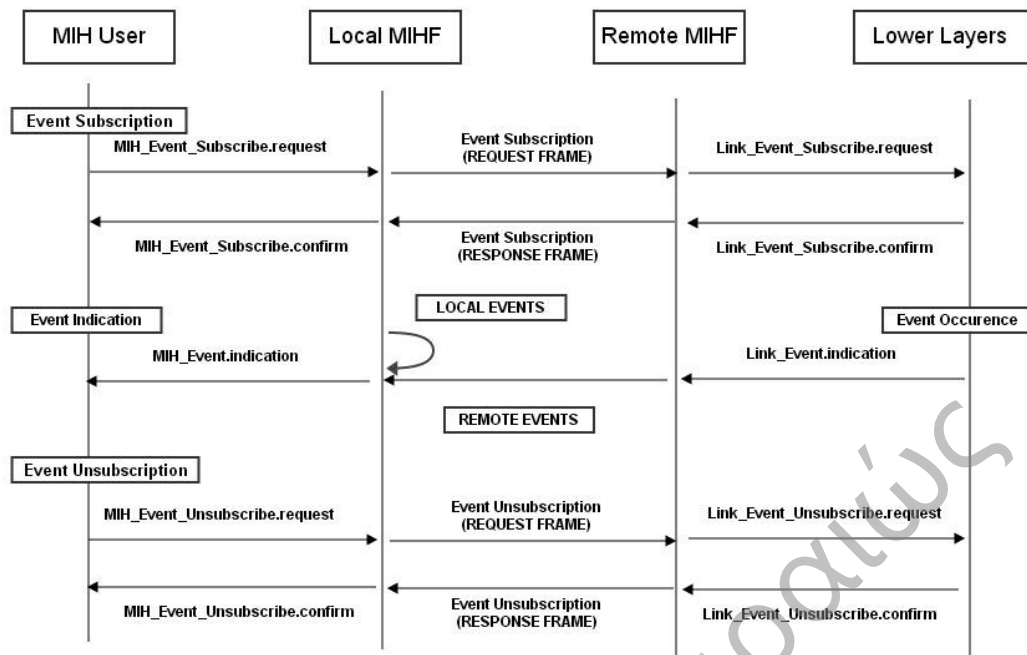
Ο χαρακτήρας των γεγονότων αυτών είναι συμβουλευτικός και όχι υποχρεωτικός. Μία οντότητα δηλαδή, μπορεί να παραλάβει ένα γεγονός χωρίς απαραίτητα να ενεργήσει με βάση το γεγονός αυτό.

Η Υπηρεσία Γεγονότων διαιρείται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τα γεγονότα διασύνδεσης (Link Events) και τα γεγονότα MIH (MIH Events). Τα Link Events δημιουργούνται σε κατώτερα επίπεδα από αυτό της MIHF και έχουν σαν προορισμό τη συνάρτηση MIHF. Τα γεγονότα αυτά μπορεί να γεννιούνται από διαφορετικές διεπαφές τύπου IEEE 802, 3GPP ή 3GPP2, αλλά όχι αυστηρά μόνο από αυτές.

Από την άλλη, τα MIH Events προέρχονται από τη MIHF και έχουν σαν προορισμό μία οντότητα σε ανώτερο επίπεδο ή αποτελούν Link Events που προωθούνται από τη MIHF στα ανώτερα επίπεδα, οπότε έχουν αλλάξει ιδιότητα και θεωρούνται MIH Events.

Προκειμένου οι οντότητες στα ανώτερα επίπεδα του δικτύου να είναι σε θέση να λαμβάνουν τα γεγονότα, απαιτείται η εγγραφή τους στην υπηρεσία γεγονότων. Η εγγραφή αυτή μπορεί να διαχωριστεί σε εγγραφή στα Link events και εγγραφή στα MIH events. Η εγγραφή στα Link events γίνεται προκειμένου η MIHF να είναι σε θέση να γνωρίζει τα διαφορετικά γεγονότα που παρέχονται από τη διασύνδεση, ενώ η εγγραφή στα MIH events γίνεται από τα ανώτερα επίπεδα για να μπορούν να επιλέγουν τα γεγονότα που θα λαμβάνουν.

Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται η ροή των γεγονότων μεταξύ MIHF, MIHU, απομακρυσμένης MIHF και κατώτερων επιπέδων και οι διαδικασίες της εγγραφής και της διαγραφής. Όπως φαίνεται από την εικόνα, ο χρήστης υποβάλλει αίτημα εγγραφής στην υπηρεσία γεγονότων (MIH event), προς την τοπική MIHF. Το αίτημα αυτό μεταβιβάζεται σε απομακρυσμένη MIHF και εξυπηρετείται από τα κατώτερα απομακρυσμένα επίπεδα. Η επιβεβαίωση του αιτήματος μεταφέρεται από τα απομακρυσμένα κατώτερα επίπεδα στην αντίστοιχη MIHF ως Link event κι από εκεί στην τοπική MIHF και τελικά στον χρήστη. Αντίστοιχη είναι και η διαδικασία της διαγραφής από την υπηρεσία γεγονότων. Τέλος, παρατηρούμε τη ροή των γεγονότων από τα απομακρυσμένα κατώτερα επίπεδα μιας οντότητας, στον χρήστη.



Εικόνα 8: Η ροή των γεγονότων μεταξύ MIHF, MIHU και απομακρυσμένης MIHF.

Σημαντικό είναι να τονιστεί, για άλλη μια φορά, ότι ένα γεγονός μπορεί να μετατραπεί από Link event σε MIH event κατά τη μεταφορά του μέσα στα επίπεδα των κόμβων του δικτύου.

Η υπηρεσία γεγονότων (MIES) παρέχει τις ακόλουθες κατηγορίες γεγονότων διασύνδεσης (Link Events) [1]:

- **Γεγονότα αλλαγής κατάστασης επιπέδων MAC και PHY (State Change Events):** Τα γεγονότα αυτά ανταποκρίνονται σε αλλαγές στην κατάσταση στο επίπεδο MAC και το φυσικό (PHY) επίπεδο. Για παράδειγμα το γεγονός Link_Up ανήκει σε αυτή την κατηγορία.
- **Γεγονότα αλλαγής των παραμέτρων διασύνδεσης (Link Parameter Events):** Αυτά τα γεγονότα συμβαίνουν εξαιτίας αλλαγών στις παραμέτρους του επιπέδου διασύνδεσης. Για παράδειγμα, το γεγονός Link_Parameters_Report ανήκει σε αυτή την κατηγορία.
- **Γεγονότα πρόβλεψης αλλαγών (Predictive Events):** Τα γεγονότα αυτά προβλέπουν την πιθανότητα να συμβεί κάποια αλλαγή στην κατάσταση της διασύνδεσης, στο άμεσο μέλλον, βασιζόμενα στην τωρινή και πρότερη κατάσταση της διασύνδεσης. Για παράδειγμα, η μείωση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος σε έναν σταθμό ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN), υποδηλώνει την επερχόμενη απώλεια σήματος.
- **Γεγονότα διαπομπής (Link Handover Events):** Τα γεγονότα αυτά ενημερώνουν τα ανώτερα επίπεδα για την ύπαρξη διαπομπών επιπέδου L2.
- **Γεγονότα μεταβίβασης διασύνδεσης (Link Transmission Events):** Τα γεγονότα αυτά δείχνουν την κατάσταση μεταφοράς στο επίπεδο διασύνδεσης (π.χ. επιτυχημένη ή αποτυχημένη) των μονάδων δεδομένων (PDU - Protocol Data Units) ανώτερων επιπέδων. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται από τα ανώτερα επίπεδα για τη βελτίωση της διαχείρισης του αποταμιευτήρα (buffer), προκειμένου να ελαττωθεί το ποσοστό απώλειας δεδομένων κατά τη διαδικασία της διαπομπής.

Για παράδειγμα, η διαπομπή ενός κινητού κόμβου από ένα δίκτυο σε ένα άλλο, έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή της σύνδεσης με το ένα δίκτυο και τη μετάβαση στο νέο δίκτυο. Ωστόσο, ενδέχεται κατά τη διαδικασία της διαπομπής να έχουν παραμείνει πακέτα δεδομένων στον αποταμιευτήρα, τα οποία είτε δεν εστάλησαν ποτέ, πριν συμβεί η διαπομπή, είτε εστάλησαν άλλα εκκρεμεί η διαδικασία έγκυρης παραλαβής από τον παραλήπτη. Αυτά τα πακέτα δεδομένων, θα απορριφθούν όταν η παλιά σύνδεση

διακοπεί και συνεπώς δεν θα φτάσουν ποτέ στον παραλήπτη, εκτός αν προβλέψει για αυτά ο αποστολέας και αναλάβει να τα μεταδώσει εκ νέου πάνω από τη νέα σύνδεση.

Στους πίνακες 1 και 2 παρουσιάζονται μερικά από τα γεγονότα διασύνδεσης και τα γεγονότα MIH.

Όνομα γεγονότος	Τύπος γεγονότος	Περιγραφή
Link_Detected	Αλλαγή κατάστασης	Ένα νέο δίκτυο πρόσβασης έχει εντοπιστεί. Το γεγονός αυτό ενεργοποιείται σε έναν κινητό κόμβο όταν εντοπίζει ένα PoA.
Link_Parameters_Report	Παράμετροι διασύνδεσης	Οι παράμετροι διασύνδεσης έχουν αγγίξει συγκεκριμένο κατώφλι τιμών.
Link_Going_Down	Γεγονός πρόβλεψης αλλαγών	Η κατάσταση της σύνδεσης έχει υποβαθμιστεί και επίκειται απώλεια της σύνδεσης.
Link_Handover_Complete	Γεγονός Διαπομπής	Η διαδικασία της διαπομπής σε νέο PoA έχει ολοκληρωθεί.
Link_PDU_Transmit_Status	Γεγονός μεταβίβασης διαδικασίας	Καθορίζει την κατάσταση μεταφοράς μιας μονάδας δεδομένων (PDU).

Πίνακας 1: Γεγονότα επιπέδου διασύνδεσης που υποστηρίζει το πρότυπο.

Όνομα γεγονότος	(L)ocal (R)emote	Περιγραφή
MIH_Link_Detected	L, R	Ένα νέο δίκτυο πρόσβασης έχει εντοπιστεί. Το γεγονός αυτό ενεργοποιείται σε έναν κινητό κόμβο όταν εντοπίζει ένα PoA.
MIH_Link_Up	L, R	Μία σύνδεση έχει πραγματοποιηθεί και το κανάλι επικοινωνίας είναι έτοιμο για χρήση.
MIH_Link_Down	L, R	Η σύνδεση έχει διακοπεί και το κανάλι επικοινωνίας δεν είναι διαθέσιμο.
MIH_Link_Parameters_Report	L, R	Οι παράμετροι διασύνδεσης έχουν αγγίξει συγκεκριμένο κατώφλι τιμών και πρέπει να γίνει η αναφορά τους.
MIH_Link_Going_Down	L, R	Η κατάσταση της σύνδεσης έχει υποβαθμιστεί και επίκειται απώλεια της σύνδεσης.
MIH_Link_Handover_Complete	L, R	Η διαδικασία της διαπομπής σε νέο PoA έχει ολοκληρωθεί.
MIH_Link_PDU_Transmit_Status	L	Καθορίζει την κατάσταση μεταφοράς μιας μονάδας δεδομένων (PDU).

Πίνακας 2: Μερικά από τα MIH Γεγονότα που υποστηρίζει το πρότυπο.

Όπως παρατηρείται στους δύο πίνακες, οι λειτουργίες που εκτελούν τα γεγονότα διασύνδεσης και MIH είναι ίδιες. Το μόνο που αλλάζει είναι το επίπεδο στο οποίο επενεργούν και η κατεύθυνση της επικοινωνίας με τη MIHF (για τα Link γεγονότα προς τη MIHF, ενώ για τα MIH γεγονότα από τη MIHF προς τον χρήστη).

3.5 Υπηρεσία Εντολών – MIH Command Service

Η υπηρεσία εντολών επιτρέπει στα ανώτερα επίπεδα να ελέγχουν τα κατώτερα επίπεδα (φυσικό επίπεδο, επίπεδο ζεύξης δεδομένων, επίπεδο λογικής σύνδεσης) κατά τη διαδικασία της διαπομπής [1]. Όταν ένα κατώτερο επίπεδο παραλάβει μια εντολή από κάποιο ανώτερο επίπεδο, είναι υποχρεωμένο να την εκτελέσει.

Οι εντολές καλούνται είτε από τους χρήστες (MIH Commands) και προωθούνται προς τη συνάρτηση MIH, είτε από τις συναρτήσεις MIH (Link Commands) και προωθούνται στα κατώτερα επίπεδα.

Όπως και στην περίπτωση των γεγονότων, ο παραλήπτης μιας εντολής μπορεί να βρίσκεται είτε σε κάποιο τοπικό επίπεδο της στοίβας πρωτοκόλλων ή να είναι ένα απομακρυσμένο επίπεδο. Στη δεύτερη περίπτωση, οι εντολές προωθούνται από την τοπική MIH συνάρτηση σε μία απομακρυσμένη και από εκεί στα κατώτερα επίπεδα της απομακρυσμένης οντότητας.

Το πρότυπο 802.21 παρέχει ένα σύνολο εντολών που βοηθούν στην επιλογή δικτύου κάτω από διαφορετικές καταστάσεις. Οι εντολές αυτές επιτρέπουν τόσο στους κινητούς κόμβους, όσο και στο ίδιο το δίκτυο να κινήσουν τις διαδικασίες διαπομπής ενός κόμβου σε ένα νέο δίκτυο και βοηθούν στην ανταλλαγή πληροφοριών που είναι σχετικές με τα διαθέσιμα δίκτυα. Οι εντολές αυτές δεν επηρεάζουν τη δρομολόγηση των πακέτων στο δίκτυο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας, όπως το MIP (Mobile IP) και το SIP (Session Initiation Protocol) [1].

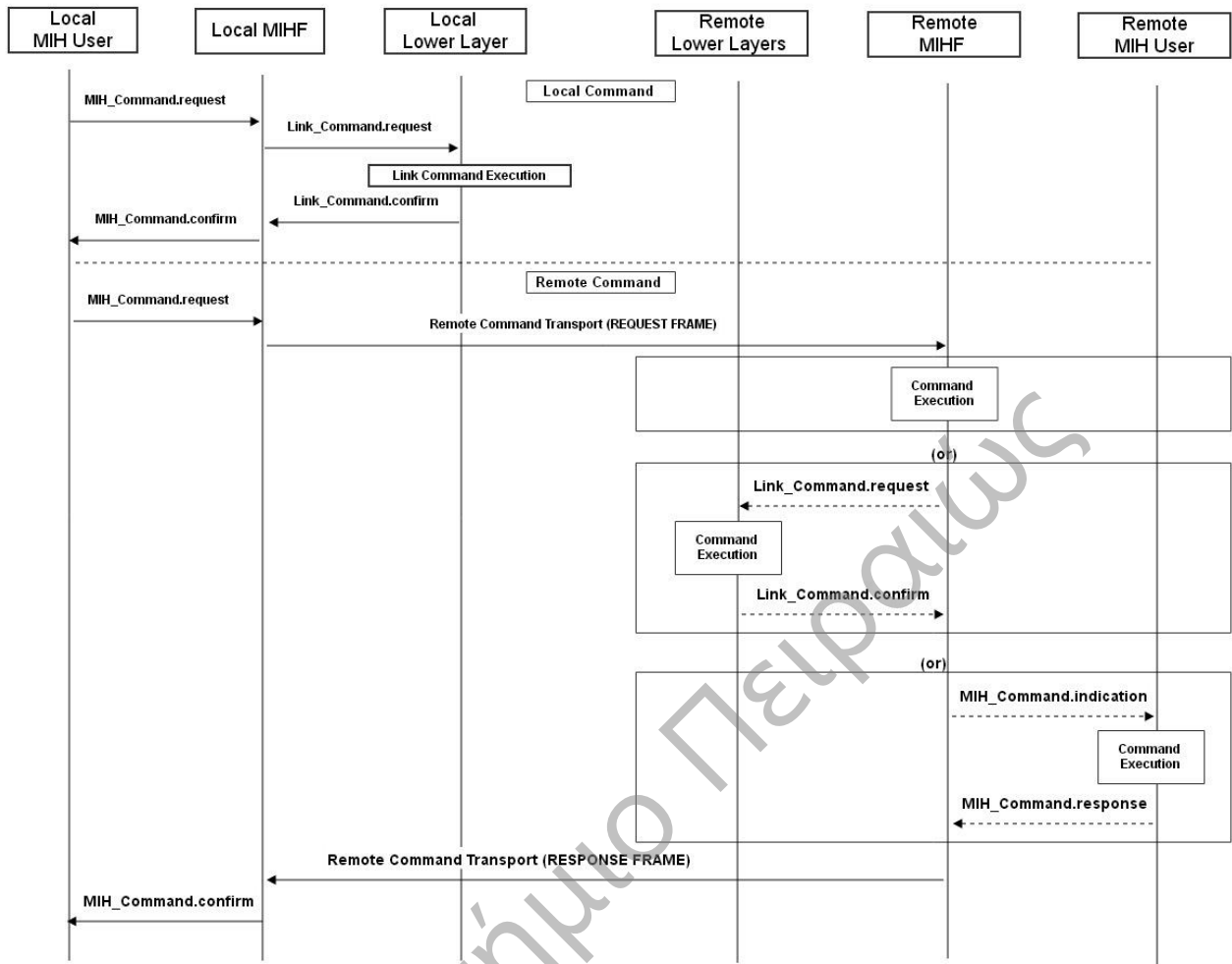
Οι πληροφορίες που παρέχονται από την υπηρεσία MICS είναι δυναμικές και αφορούν σε πληροφορίες όπως η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, η ταχύτητα του καναλιού μετάδοσης κλπ, ενώ οι πληροφορίες που παρέχονται από το σύστημα MIRS, είναι περισσότερο στατικές και αφορούν σε πληροφορίες σχετικές με τον πάροχο της υπηρεσίας ή πληροφορίες για τις υπηρεσίες των ανώτερων επιπέδων.

Όπως και στην περίπτωση των γεγονότων, έτσι και για τις εντολές, παρέχεται ένα μεγάλο σύνολο από αυτές που βοηθούν στη ρύθμιση, τον έλεγχο και την άντληση πληροφοριών από τα κατώτερα επίπεδα όπως το MAC, το PHY και το επίπεδο διαχείρισης ραδιοπόρων (Radio Resource Management). Οι εντολές αυτές διακρίνονται, επίσης, σε δύο κατηγορίες, τις εντολές διασύνδεσης (Link Commands) και τις MIH εντολές (MIH Commands).

Οι εντολές διασύνδεσης προέρχονται από τη MIHF και προωθούνται στα κατώτερα επίπεδα, προκειμένου να μπορούν να ελέγχουν τις οντότητες που βρίσκονται στα επίπεδα αυτά. Οι εντολές διασύνδεσης μπορεί να είναι μόνο τοπικές. Παρότι οι εντολές αυτές δημιουργούνται στη συνάρτηση MIHF, εκτελούνται για λογαριασμό του χρήστη.

Από την άλλη, οι εντολές MIH δημιουργούνται στο επίπεδο του χρήστη και στέλνονται στη MIHF. Οι εντολές αυτές μπορεί να είναι τόσο τοπικές όσο και απομακρυσμένες. Οι τοπικές στέλνονται από το χρήστη στην τοπική συνάρτηση MIHF, ενώ οι απομακρυσμένες στέλνονται στις αντίστοιχες απομακρυσμένες MIHF και εκτελούνται εκεί ή προωθούνται στα κατώτερα επίπεδα σαν εντολές διασύνδεσης. Ακόμη, μπορούν να προωθηθούν στο απομακρυσμένο επίπεδο χρήστη (MIHU) ως απάντηση ενός αιτήματος από αυτόν.

Η εικόνα 9 παρουσιάζει τη ροή των εντολών μεταξύ των επιπέδων δύο απομακρυσμένων κόμβων δικτύου. Οι απομακρυσμένες εντολές μεταφέρονται είτε μέσω πρωτοκόλλων του επιπέδου δικτύου, είτε με τη χρήση πρωτοκόλλων του επιπέδου διασύνδεσης.



Εικόνα 9: Η ροή των εντολών μεταξύ δύο απομακρυσμένων MIHF.

Οι πίνακες 3 και 4 εμφανίζουν μερικές από τις εντολές της κατηγορίας εντολών διασύνδεσης και εντολών MIH, αντίστοιχα.

Εντολή Διασύνδεσης	Περιγραφή
Link_Capability_Discover	Ερευνά για τη λίστα με τις εντολές και τα γεγονότα επιπέδου διασύνδεσης που υποστηρίζει ο κόμβος.
Link_Event_Subscribe	Εγγραφή σε ένα ή περισσότερα γεγονότα διασύνδεσης.
Link_Get_Parameters	Καταγράφει τις τιμές των παραμέτρων που ελήφθησαν από το ενεργό κανάλι επικοινωνίας, όπως η αναλογία σήματος-προς-θόρυβο (SNR), ο ρυθμός ανίχνευσης σφάλματος (BER), η ισχύς του σήματος κ.ά.

Πίνακας 3: Μερικές εντολές επιπέδου διασύνδεσης.

MIH Εντολή	(L)ocal (R)emote	Περιγραφή
MIH_Link_Get_Parameters	L, R	Καταγράφει την κατάσταση της σύνδεσης.
MIH_Net_HO_Candidate_Query	R	Διαπομπή που ενεργοποιείται από την πλευρά του δικτύου και στέλνει μια λίστα με τα προτεινόμενα δίκτυα και τα σχετιζόμενα σημεία σύνδεσης (PoA).
MIH_MN_HO_Complete	R	Εντολή με την οποία υποδεικνύεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας της διαπομπής, από τη MIHF στην πλευρά του χρήστη προς την αντίστοιχη MIHF στην πλευρά της πηγής ή του προορισμού.

Πίνακας 4: Μερικές εντολές MIH.

3.6 Υπηρεσία Πληροφοριών – MIH Information Service

Η υπηρεσία αυτή παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Ο συνδυασμός αυτών των πληροφοριών με την πολιτική λειτουργίας του δικτύου ή τις ανάγκες του κάθε χρήστη, οδηγεί στη λήψη των αποφάσεων διαπομπής [1].

Οι πληροφορίες παρέχονται από έναν κεντρικό εξυπηρετητή. Υπάρχουν δύο τρόποι άντλησης αυτών των πληροφοριών. Είτε διατίθενται από τον εξυπηρετητή μετά από ζήτηση του κινητού κόμβου (pull mode), είτε προωθούνται από τον εξυπηρετητή στον κινητό κόμβο (push mode).

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 10, ο χρήστης MIHU ζητά πληροφορίες από τη συνάρτηση MIHF και αυτή με τη σειρά της υποβάλλει ερωτήματα στον εξυπηρετητή για να αντλήσει τις πληροφορίες.

Η υπηρεσία πληροφοριών (MIS) υποστηρίζει ένα σύνολο από στοιχεία πληροφοριών (Information Elements – IE). Αυτά τα στοιχεία παρέχουν πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την επιλογή του καταλληλότερου δικτύου διαπομπής.

Επίσης, η υπηρεσία πληροφοριών δίνει τη δυνατότητα σε ένα κινητό τερματικό να ανακτήσει πληροφορίες για τα δίκτυα που υπάρχουν στην περιοχή που κινείται, είτε αυτά ανήκουν στην κατηγορία του δικτύου που εξυπηρετεί τον κόμβο, είτε σε διαφορετική κατηγορία δικτύων. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται με την κατάλληλη συνεργασία του κινητού κόμβου με τον πάροχο της υπηρεσίας. Οι πληροφορίες, συλλέγονται από κεντρικούς σταθμούς πληροφοριών και έτσι κάθε κινητό τερματικό δεν είναι υποχρεωτικό να ενεργοποιεί τις αντίστοιχες διεπαφές προκειμένου να αντλήσει πληροφορίες για τα υποψήφια δίκτυα.

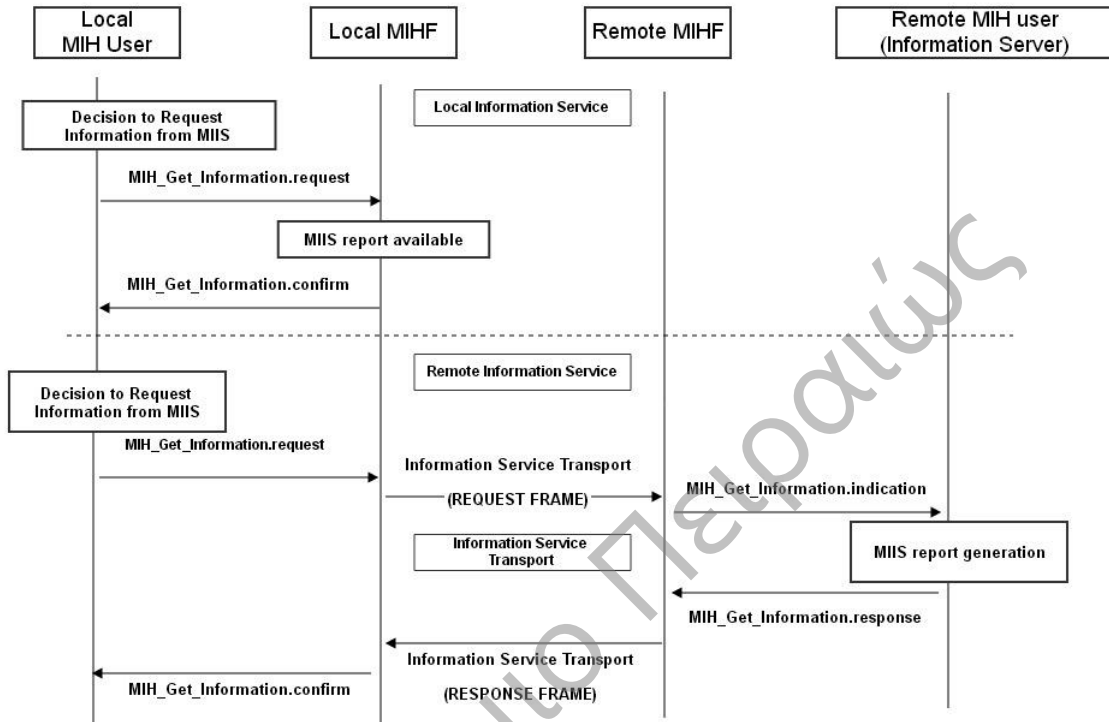
Έτσι, μερικές από τις βασικές λειτουργίες του Συστήματος Πληροφοριών είναι:

- Να παρέχει πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα μέσα σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε τύπο ασύρματου δικτύου.
- Να παρέχει πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους του επιπέδου διασύνδεσης, που βοηθούν τον κινητό κόμβο στην επιλογή του κατάλληλου δικτύου. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να γνωρίζει αν το υποψήφιο δίκτυο υποστηρίζει ικανοποιητικά επίπεδα ασφάλειας και ποιότητας της προσφερόμενης υπηρεσίας (QoS) προκειμένου να ικανοποιήσει μια διαπομπή σε αυτό.
- Να παρέχει πληροφορίες σχετικές με τις δυνατότητες των διαφορετικών PoA στην περιοχή, προκειμένου να κάνει τις κατάλληλες ρυθμίσεις στις ραδιοσυχνότητες, για την όσο το δυνατόν καλύτερη σύνδεση στο νέο δίκτυο.
- Να παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες για τις υπηρεσίες που παρέχονται στα ανώτερα επίπεδα. Για παράδειγμα, η κατηγοριοποίηση των δικτύων σε δημόσια, οικιακά, επιχειρησιακά κ.ά. επηρεάζει την απόφαση για διαπομπή στο συγκεκριμένο δίκτυο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο κινητός κόμβος μπορεί να λαμβάνει πληροφορίες από το σημείο πρόσβασης (PoA) χωρίς να έχει εγγραφεί σε αυτό. Οι

πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για να αποφασιστεί στη συνέχεια αν θα επιλεγεί το συγκεκριμένο σημείο πρόσβασης.

Τέλος, η εικόνα 10 δείχνει τη ροή των πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων επιπέδων ενός τοπικού και ενός απομακρυσμένου κόμβου.



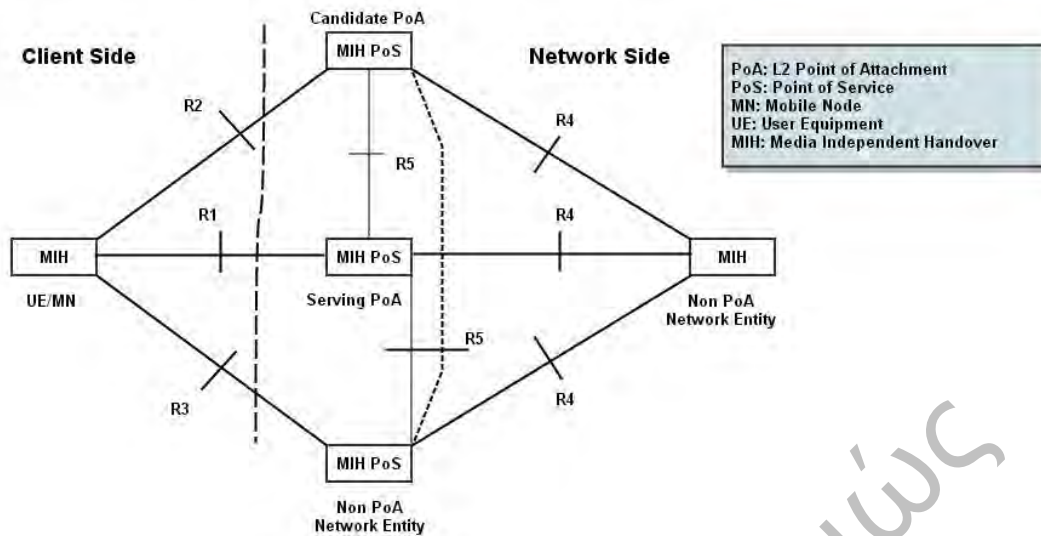
Εικόνα 10: Η ροή των πληροφοριών μεταξύ δύο απομακρυσμένων MIHF

3.7 MIH πλαίσιο αναφοράς

Σε αυτή την παράγραφο θα περιγραφούν τα σημεία κλειδιά ενός δικτύου MIH και οι πιθανές συνδέσεις που μπορούν να υπάρξουν μεταξύ των συναρτήσεων MIHF ενός κινητού κόμβου και του δικτύου.

Στην εικόνα 11 φαίνεται ένας κινητός κόμβος (MN) και διάφορες δικτυακές οντότητες που μπορούν να υποστηρίξουν τη λειτουργία μιας MIH συνάρτησης. Στην εικόνα εμφανίζονται όλες οι πιθανές συνδέσεις μεταξύ των διαφορετικών MIH συναρτήσεων. Οι συνδέσεις αυτές δεν αντιστοιχούν κατ' ανάγκη σε μηχανισμούς μεταφοράς δεδομένων. Το μοντέλο αναφοράς περιέχει τις ακόλουθες οντότητες [1]:

- MIH σημείο εξυπηρέτησης (MIH PoS - Point of Service). Πρόκειται για δικτυακή οντότητα που ανταλλάσσει μηνύματα με τον κινητό κόμβο (MN). Ένας κινητός κόμβος μπορεί να έχει αρκετά διαφορετικά PoS, καθώς μπορεί να ανταλλάσσει μηνύματα με περισσότερες από μια δικτυακές οντότητες.
- MIH non-PoS. Πρόκειται για δικτυακή οντότητα που δεν ανταλλάσσει μηνύματα με τον κινητό κόμβο. Μία δικτυακή οντότητα μπορεί να αποτελεί PoS για έναν κινητό κόμβο με τον οποίο ανταλλάσσει μηνύματα και non-PoS για έναν κόμβο με τον οποίο δεν ανταλλάσσει μηνύματα.
- MIH σημείο σύνδεσης (MIH PoA - Point of Attachment). Πρόκειται για το τερματικό σημείο μιας σύνδεσης σε επίπεδο διασύνδεσης δικτύου, που περιέχει τον κινητό κόμβο στο άλλο άκρο της σύνδεσης.



Εικόνα 11: Το μοντέλο αναφοράς ενός MIH δικτύου

Για την επικοινωνία των παραπάνω οντοτήτων, το πρότυπο ορίζει πέντε διαφορετικά σημεία αναφοράς επικοινωνίας.

- Σημείο αναφοράς RP1 (MN – Serving PoA): Το σημείο αυτό αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ μιας συνάρτησης MIHF που βρίσκεται σε έναν κινητό κόμβο (MN) και του τρέχοντος σημείου εξυπηρέτησης PoS της δικτυακής οντότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη πληροφοριών σχετικών με την κατάσταση της σύνδεσής του.
- Σημείο αναφοράς RP2 (MN – Candidate PoA): Το σημείο αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ του κινητού κόμβου και ενός υποψήφιου PoA. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συλλέξει πληροφορίες για το υποψήφιο σημείο σύνδεσης, πριν προβεί στη διαπομπή.
- Σημείο αναφοράς RP3 (MN – non-PoA): Το σημείο αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ του κινητού κόμβου με ένα MIH PoS που βρίσκεται σε μία non-PoA δικτυακή οντότητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μία δικτυακή οντότητα για να ενημερώσει τον κινητό κόμβο για τις διαφορετικές μεθόδους διαμόρφωσης IP στο δίκτυο.
- Σημείο αναφοράς RP4 (PoS – non-PoS): Το σημείο αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ ενός MIH PoS και ενός MIH non-PoS. Χρησιμοποιείται κυρίως όταν ένας MIH εξυπηρετητής που εξυπηρετεί έναν κινητό κόμβο πρέπει να λάβει πληροφορίες από έναν άλλο MIH εξυπηρετητή (non-PoS).
- Σημείο αναφοράς RP5 (PoS – PoS): Το σημείο αυτό αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ δύο διαφορετικών PoS που ανήκουν σε διαφορετικές δικτυακές οντότητες.

3.8 Service Access Points (SAP)

Όπως προαναφέρθηκε, η συνάρτηση MIHF αποτελεί τη γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ των χαμηλότερων επιπέδων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, με τα υψηλότερα, για την ανταλλαγή των κατάλληλων μηνυμάτων που θα οδηγήσουν στην επιτυχημένη διαπομπή ενός κινητού σταθμού. Η επικοινωνία αυτή βασίζεται σε κάποια πρωτογενή στοιχεία, που είναι ομαδοποιημένα σε σημεία πρόσβασης στις υπηρεσίες που παρέχει η MIHF (MIES, MICS, MIIS), τα οποία ονομάζονται SAP (Service Access Point) [1].

Τα στοιχεία αυτά χωρίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Τα MIH_SAP τα οποία αποτελούν τη διεπαφή της συνάρτησης MIHF με τα ανώτερα πρωτόκολλα επικοινωνίας,
- τα MIH_LINK_SAP που αποτελούν τη διεπαφή της συνάρτησης MIHF με τα κατώτερα πρωτόκολλα επικοινωνίας και

- τα MIH_NET_SAP που αποτελούν τη διεπαφή της συνάρτησης MIHF με αντίστοιχες MIHF που βρίσκονται σε κάποιον απομακρυσμένο σταθμό.

Η πρώτη κατηγορία στοιχείων (MIH_SAP) είναι ανεξάρτητη του μέσου μετάδοσης και επιτρέπει στη MIHF να προσφέρει τις υπηρεσίες της στα ανώτερα επίπεδα. Προκειμένου τα ανώτερα επίπεδα να είναι σε θέση να λαμβάνουν τα γεγονότα που παράγονται από τη MIHF ή τα κατώτερα επίπεδα, πρέπει να εγγραφούν σαν χρήστες σε αυτή (MIHU). Επίσης, οι εντολές από τα ανώτερα επίπεδα, μπορούν να στέλνονται απευθείας στη συνάρτηση MIHF, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία MIH_SAP.

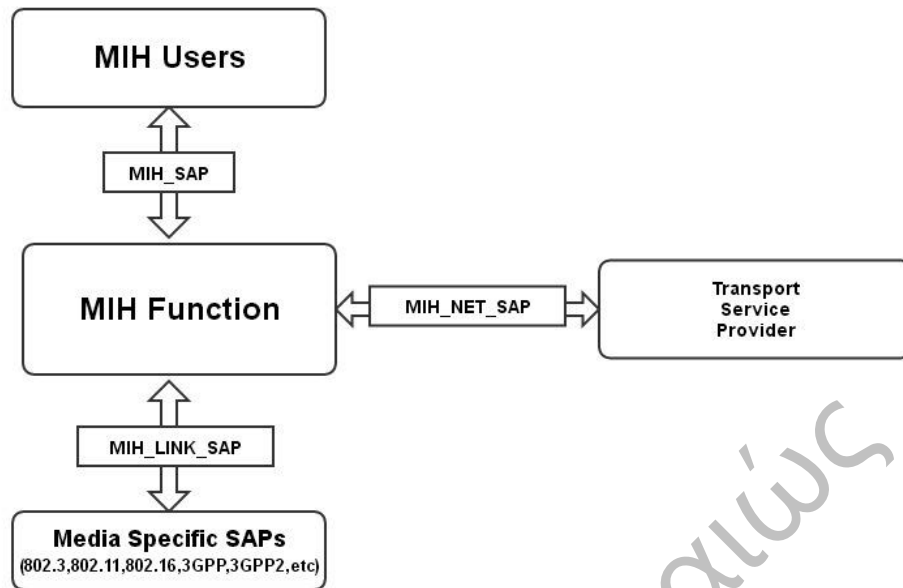
Από την άλλη, τα στοιχεία MIH_LINK_SAP εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης. Οι ενέργειες προωθούνται από τα κατώτερα επίπεδα στη συνάρτηση MIHF με τη βοήθεια των υπαρχόντων SAP, όπως αυτά των επιπέδων MAC, PHY και LLC, ενώ οι εντολές που παράγονται στη MIHF για τον έλεγχο των κατώτερων επιπέδων κατά τη φάση της διαπομπής, αποτελούν μέρος των στοιχείων SAP των συγκεκριμένων πρωτοκόλλων που διαχειρίζονται τα επίπεδα MAC και PHY και συνεπώς έχουν ήδη οριστεί.

Στην εικόνα 12 φαίνονται η συνάρτηση MIHF που βρίσκεται σε κάποια μονάδα μέσα στο δίκτυο και η επικοινωνία των στοιχείων SAP με τα ανώτερα και κατώτερα επίπεδα.

Στον πίνακα 5, παρουσιάζονται τα κυριότερα SAP που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης, ενώ στον πίνακα 6 τα SAP που δεν εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης.

Όνομα SAP	Περιγραφή
MIH_LINK_SAP	Αφηρημένη διεπαφή εξαρτώμενη από το μέσον, μεταξύ MIHF και διαφορετικών τεχνολογιών επιπέδου διασύνδεσης (Link layer). Για κάθε τεχνολογία έχει προταθεί τροποποίηση του συγκεκριμένου SAP.
MIH_NET_SAP	Αφηρημένη διεπαφή εξαρτώμενη από το μέσον, μεταξύ MIHF και αντίστοιχης MIHF σε απομακρυσμένο κόμβο
MLME_SAP	Διεπαφή μεταξύ μιας MIHF και του επιπέδου διαχείρισης ενός δικτύου IEEE 802.11.
C_SAP	Διεπαφή μεταξύ μιας MIHF και του επιπέδου ελέγχου του IEEE 802.16
M_SAP	Διεπαφή μεταξύ μιας MIHF και του επιπέδου διαχείρισης ενός δικτύου IEEE 802.16
MSCGF_SAP	Παρέχει υπηρεσίες στη MIHF ανάλογα με την κατάσταση των συσκευών στο επίπεδο MAC και την αλληλεπίδραση μεταξύ των 802.11 υποεπιπέδων.
MIH_3GLINK_SAP	Διεπαφή μεταξύ μιας MIHF και των διαφορετικών στοιχείων που υπάρχουν στα πρωτόκολλα των κυψελωτών συστημάτων.
LSAP	Διεπαφή μεταξύ μιας MIHF και του επιπέδου λογικής διασύνδεσης ενός δικτύου IEEE 802.3 ή IEEE 802.11.

Πίνακας 5: SAP που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης



Εικόνα 12: Τα SAP και η διασύνδεσή τους με τη MIHF.

Όνομα SAP	Περιγραφή
MIH_SAP	Ορίζει την ανεξάρτητη μέσου διεπαφή μεταξύ μιας MIHF και ενός χρήστη MIHU, όπως ένα πρωτόκολλο κινητικότητας ανώτερου επιπέδου ή μια λειτουργία διαπομπής

Πίνακας 6: SAP που δεν εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης.

3.9 Πρωτόκολλο MIH

Το πρωτόκολλο MIH (MIHP) καθορίζει το σύνολο των κανόνων βάσει των οποίων λαμβάνει χώρα η επικοινωνία μεταξύ δύο MIHF. Το πρωτόκολλο ορίζει τη μορφή των μηνυμάτων, την επικεφαλίδα και την κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία των απομακρυσμένων MIHF [1].

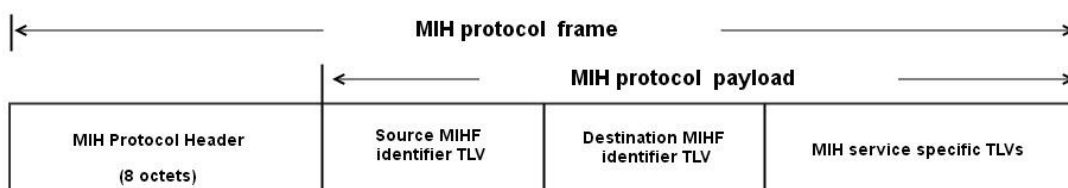
Η επικοινωνία μεταξύ δύο MIHF λαμβάνει χώρα με την ανταλλαγή μηνυμάτων, τα οποία ομαδοποιούνται σε μία συναλλαγή που φέρει κοινό κωδικό (Transaction ID) για όλα τα μηνύματα που ανήκουν σε αυτή. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ένας κόμβος δεν μπορεί να περιμένει ή να δημιουργεί περισσότερες από μία συναλλαγές. Έτσι εξασφαλίζεται μία σωστή ροή και εξυπηρέτηση των αιτημάτων που υποβάλλονται μεταξύ των κόμβων του δικτύου [2].

Επίσης, η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ δύο οντοτήτων, απαιτεί αξιοπιστία και υπευθυνότητα και από τις δύο μεριές. Όταν δεν υπάρχει αξιοπιστία χρησιμοποιείται ο μηχανισμός της επιβεβαίωσης της αποστολής των μηνυμάτων (Acknowledgement - ACK). Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιεί δύο bit πληροφορίας στην επικεφαλίδα των μηνυμάτων, ώστε αποστολέας και παραλήπτης να δηλώνουν σε κάθε χρονική στιγμή την έγκυρη αποστολή και παραλαβή μηνυμάτων.

Παράλληλα, το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί δύο αναγνωριστικά για την ανταλλαγή μηνυμάτων: το αναγνωριστικό της συνάρτησης MIHF (MIHF ID) και το αναγνωριστικό της συναλλαγής (Transaction ID).

Το αναγνωριστικό MIHF ID δίνεται σε κάθε MIHF κατά τη διαδικασία της ρύθμισής της, ενώ το αναγνωριστικό συναλλαγής δημιουργείται στον κόμβο που γέννησε τη συναλλαγή και μεταφέρεται μέσα στην επικεφαλίδα του μηνύματος.

Η μορφή του πλαισίου ή μηνύματος του πρωτοκόλλου MIH φαίνεται στην εικόνα 13. Το κάθε μήνυμα αποτελείται από την επικεφαλίδα (header) και το ωφέλιμο φορτίο σε μορφή TLV (Type-Length-Value).

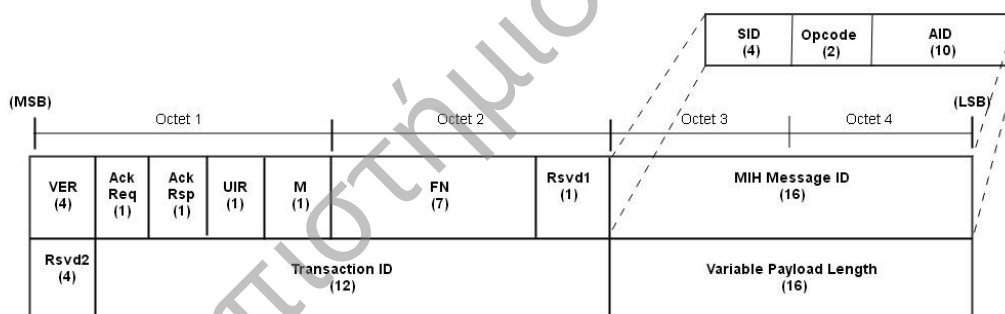


Εικόνα 13 : Η μορφή του πλαισίου/μηνύματος στο πρωτόκολλο MIH.

Η επικεφαλίδα του κάθε πλαισίου περιέχει σημαντικές πληροφορίες και γι αυτό είναι παρούσα σε κάθε πλαίσιο. Η επικεφαλίδα αποτελείται από οχτώ οχτάδες και η μορφή της φαίνεται στην εικόνα 14. Στις παρενθέσεις εμφανίζεται ο αριθμός των bit που συνιστούν το κάθε πεδίο.

Το πεδίο VER καθορίζει την έκδοση (version) του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται. Τα πεδία Ack_Req και Ack_Rsp βοηθούν στη διαδικασία της επιβεβαίωσης της λήψης των δεδομένων, όπως προαναφέρθηκε. Το πεδίο UIR (Unauthenticated Information Request) χρησιμοποιείται από την υπηρεσία πληροφοριών για να καθορίσει αν το μήνυμα στέλνεται σε κατάσταση προ-έγκρισης έτσι ώστε το μέγεθος του μηνύματος που θα απαντήσει να είναι περιορισμένο.

Το πεδίο M (More Fragment) δηλώνει ότι το μήνυμα αποτελεί ένα μόνο μέρος του συνολικού μηνύματος και συνεπώς θα ακολουθήσουν και άλλα κομμάτια του μηνύματος. Το πεδίο FN (Fragment Number) ορίζει στη συνέχεια τον αύξοντα αριθμό του μηνύματος που έχει διασπαστεί. Ο αριθμός αυτός για το πρώτο μήνυμα είναι το 0 και με την αποστολή κάθε κομματιού αυξάνεται κατά ένα. Ο μέγιστος αριθμός που μπορεί να πάρει είναι ο 127 και συνεπώς ο μέγιστος αριθμός των κομματιών στα οποία μπορεί να διασπαστεί ένα μήνυμα είναι 128.



Εικόνα 14 : Η μορφή της επικεφαλίδας του πρωτοκόλλου MIH και τα πεδία που περιλαμβάνει.

Τα πεδία Rsvd1 και Rsvd2 (reserved) είναι σκόπιμα δεσμευμένα. Όταν δεν χρησιμοποιούνται παίρνουν την τιμή '0'. Το πεδίο MIH Message ID χωρίζεται περαιτέρω σε τρία υπό-πεδία. Το πεδίο SID (Service Identifier) καθορίζει τη διαφορετική υπηρεσία στην οποία μπορεί να ανήκει (MIIS, MIES, MICS ή Service Management). Το πεδίο Opcode καθορίζει αν το μήνυμα είναι τύπου Request, Response ή Indication. Τέλος το πεδίο AID (Action Identifier) εξαρτάται από την τιμή του πεδίου SID. Για παράδειγμα, αν το πεδίο SID υποδεικνύει την υπηρεσία MIES τότε το πεδίο AID εκφράζει το συγκεκριμένο τύπο γεγονότος.

Το πεδίο Transaction ID περιέχει το αναγνωριστικό κάθε συναλλαγής και βοηθά στη διαδικασία επιβεβαίωσης παραλαβής ενός μηνύματος. Τέλος, το πεδίο Variable Payload Length περιέχει το συνολικό μέγεθος του μηνύματος που εμπεριέχεται στο συγκεκριμένο πλαίσιο. Στο μέγεθος αυτό δεν περιλαμβάνεται αυτό της επικεφαλίδας του μηνύματος.

4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε, το πρωτόκολλο υποστηρίζει διαπομπή κινούμενη τόσο από την πλευρά του χρήστη όσο και από την πλευρά του δικτύου. Έτσι, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα ροής για τη διαπομπή και για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις, έτσι όπως παρουσιάζεται στο πρότυπο IEEE 802.21 και εν συνεχεία ένα παραδείγματα διαπομπής μεταξύ ετερογενών συστημάτων.

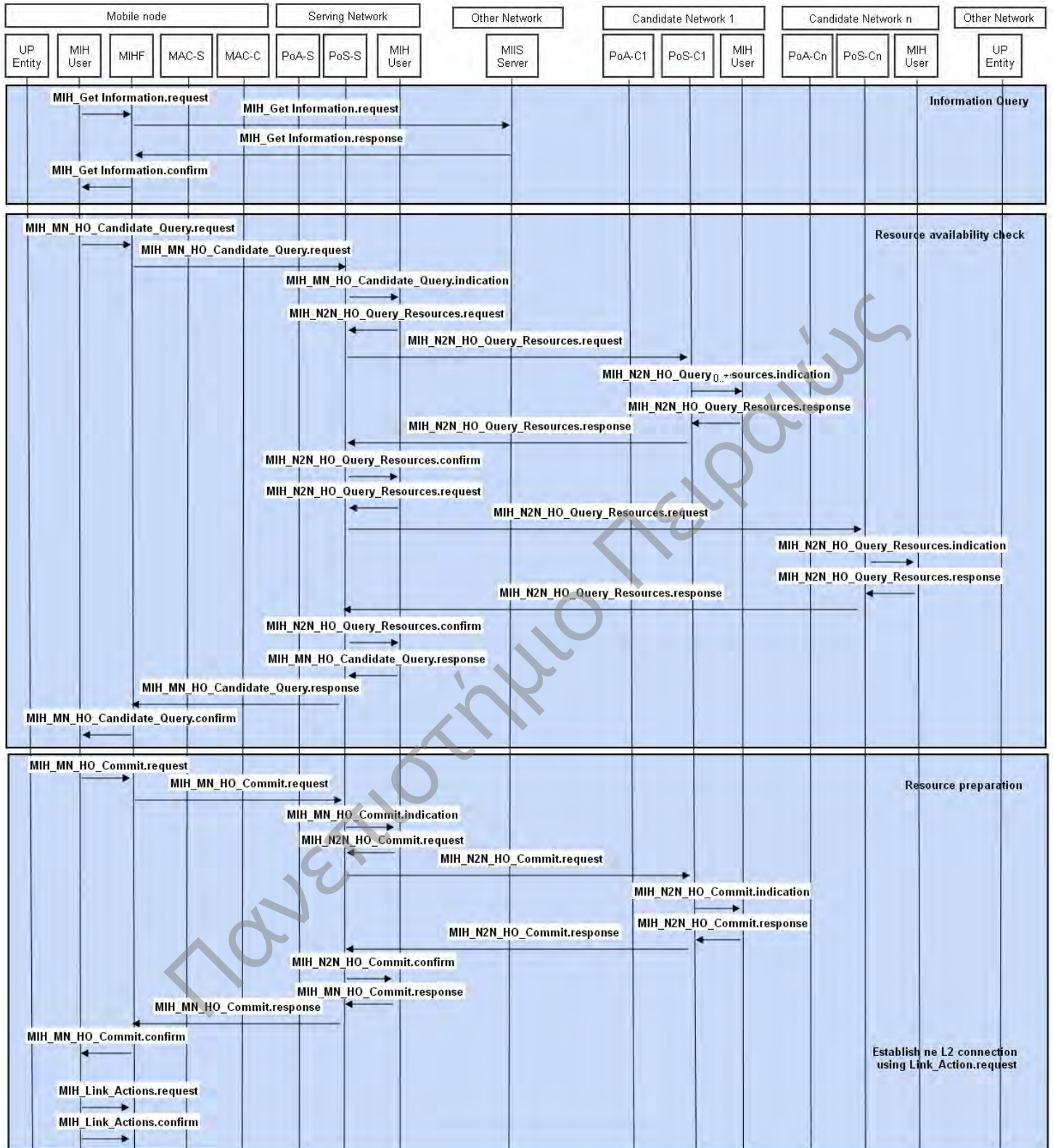
4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΥΠΟΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ

Η διαδικασία λειτουργεί ως ακολούθως και παρουσιάζεται στην εικόνα 15 [1]:

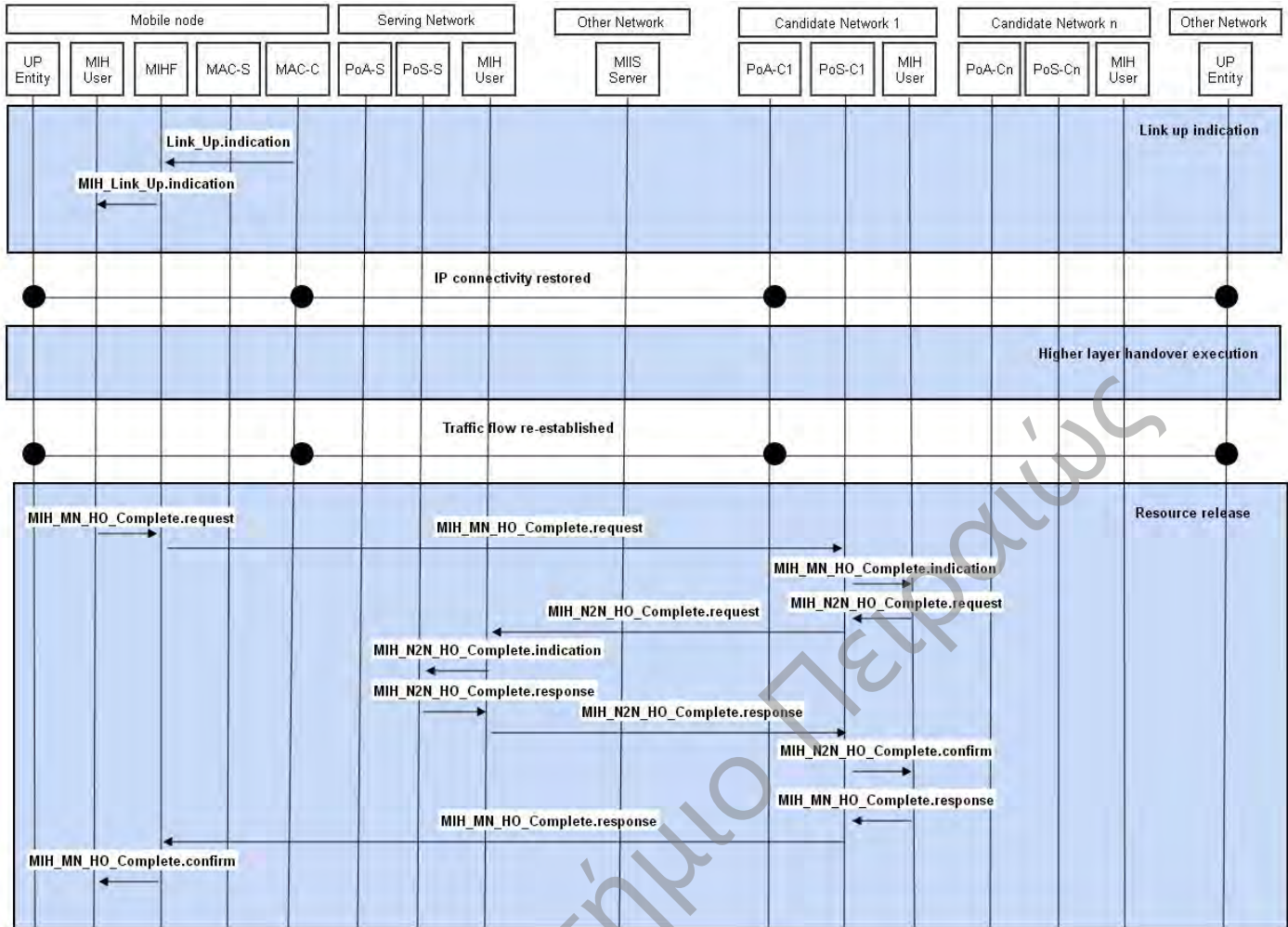
1. Ο κινητός κόμβος συνδέεται στο τρέχον δίκτυο μέσω του PoS και μπορεί και επικοινωνεί με τον MHS.
2. Ο κόμβος ζητά πληροφορίες σχετικές με τα γειτονικά διαθέσιμα δίκτυα από τον IS (MIH_Get_Information.request), από τον οποίο και λαμβάνει απάντηση (MIH_Get_Information.response). Η πληροφορία αυτή παρέχεται με την πρώτη σύνδεση του κινητού στο δίκτυο. Το ερώτημα υποβάλλεται από τον MIH User στην τοπική MIH Function και από εκεί στην αντίστοιχη MIHF του Information Server.
3. Στη συνέχεια ο κινητός κόμβος ενημερώνει την MIHF προκειμένου να υποβάλει ερώτημα στα υποψήφια δίκτυα για μια ενδεχόμενη διαπομπή σε κάποιο από αυτά (MIH_MN_HO_Candidate_Query.request). Το αίτημα περιλαμβάνει ερωτήσεις σχετικά με τις διαθέσιμους πόρους στα υποψήφια δίκτυα. Το ερώτημα κατευθύνεται από την τοπική MIHF του κινητού κόμβου, σε αυτήν του τρέχοντος PoS και εν συνεχεία στα ανώτερα επίπεδα (MIHU) του σημείου εξυπηρέτησης (MIH_MN_HO_Candidate_Query.indication).
4. Το τρέχον PoS θέτει ερώτημα σε ένα ή σε περισσότερα υποψήφια δίκτυα σχετικά με τη διαθεσιμότητα των πόρων του, καθώς και πληροφορίες σχετικές με τη διεύθυνση IP. Έτσι, ένα ερώτημα MIH_N2N_HO_Query_Resources.request απευθύνεται από την τοπική MIHF του τρέχοντος σημείου εξυπηρέτησης, σε κάθε MIHF των υποψήφιων σημείων εξυπηρέτησης και αντίστοιχα η MIHF δέχεται απάντηση από κάθε MIHF των υποψήφιων δικτύων με ένα MIH_N2N_HO_Query_Resources.response.
5. Τα αιτήματα ικανοποιούνται από τα υποψήφια δίκτυα (MIH_N2N_HO_Query_Resources.confirm) και ενημερώνεται ο κόμβος μέσω του τρέχοντος PoS για τη διαθεσιμότητά τους (MIH_MN_HO_Candidate_Query.response).
6. Ο κινητός κόμβος ενημερώνει το τρέχον PoS για την επιλογή του δικτύου στο οποίο θέλει να μεταβεί με ένα αίτημα MIH_MN_HO_Commit.request που κατευθύνεται από τον MIHU του κινητού κόμβου στην τοπική MIHF και από εκεί στη MIHF του τρέχοντος σημείου εξυπηρέτησης για να φτάσει τελικά στον MIHU του τρέχοντος σημείου εξυπηρέτησης.
7. Το τρέχον PoS (MIHU) ζητά από το υποψήφιο PoS την προετοιμασία και δέσμευση των πόρων για τη διαπομπή του κινητού στο συγκεκριμένο δίκτυο (MIH_N2N_HO_Commit.request), και το υποψήφιο PoS απαντά στο μήνυμα (MIH_N2N_HO_Commit.response).
8. Ο κινητός κόμβος λαμβάνει την απάντηση στο αίτημα για διαπομπή από το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης (MIH_MN_HO_Commit.response) και ενημερώνεται για την κατάσταση του επιλεγμένου δικτύου. Αν η κατάστασή του δικτύου δεν υποδεικνύεται ως **επιτυχής** τότε ο παραλήπτης του αιτήματος εκτελεί τις κατάλληλες διαδικασίες για τη διαχείριση του σφάλματος.
9. Αν όλα πάνε καλά και το υποψήφιο δίκτυο είναι σε θέση να δεχτεί τη διαπομπή ενός νέου κινητού τερματικού, πραγματοποιείται η νέα σύνδεση στο επίπεδο L2 με τη χρήση της διαδικασίας MIH_Link_Actions, η οποία ελέγχει τη συμπεριφορά των διασυνδέσεων και ενημερώνεται ο MIHU του κινητού τερματικού από τα κατώτερα επίπεδα (Link_Up.indication) για τη διασύνδεση σε επίπεδο L2. Το κανάλι είναι πλέον έτοιμο για χρήση.

10. Στη συνέχεια διενεργούνται συγκεκριμένες διαδικασίες για την αποκατάσταση της συνδεσιμότητας και πραγματοποιείται η διαπομπή σε ανώτερα επίπεδα. Έτσι, η ροή των δεδομένων συνεχίζεται μέσω του νέου καναλιού με το καινούριο δίκτυο.
11. Τέλος, το κινητό τερματικό ενημερώνει το νέο σημείο εξυπηρέτησης για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της διαπομπής (MIH_MN_HO_Complete.request) και αυτό με τη σειρά του ενημερώνει το προηγούμενο σημείο εξυπηρέτησης (MIH_N2N_HO_Complete.request) προκειμένου να ελευθερωθούν όλοι οι δεσμευμένοι πόροι του δικτύου. Με την ελευθέρωση των πόρων από το προηγούμενο δίκτυο εξυπηρέτησης και την ενημέρωση του κινητού κόμβου ολοκληρώνεται η διαδικασία της διαπομπής (MIH_MN_HO_Complete.confirm).

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Εικόνα 15: Η διαδικασία διαπομπής υποκινούμενης από το χρήστη.

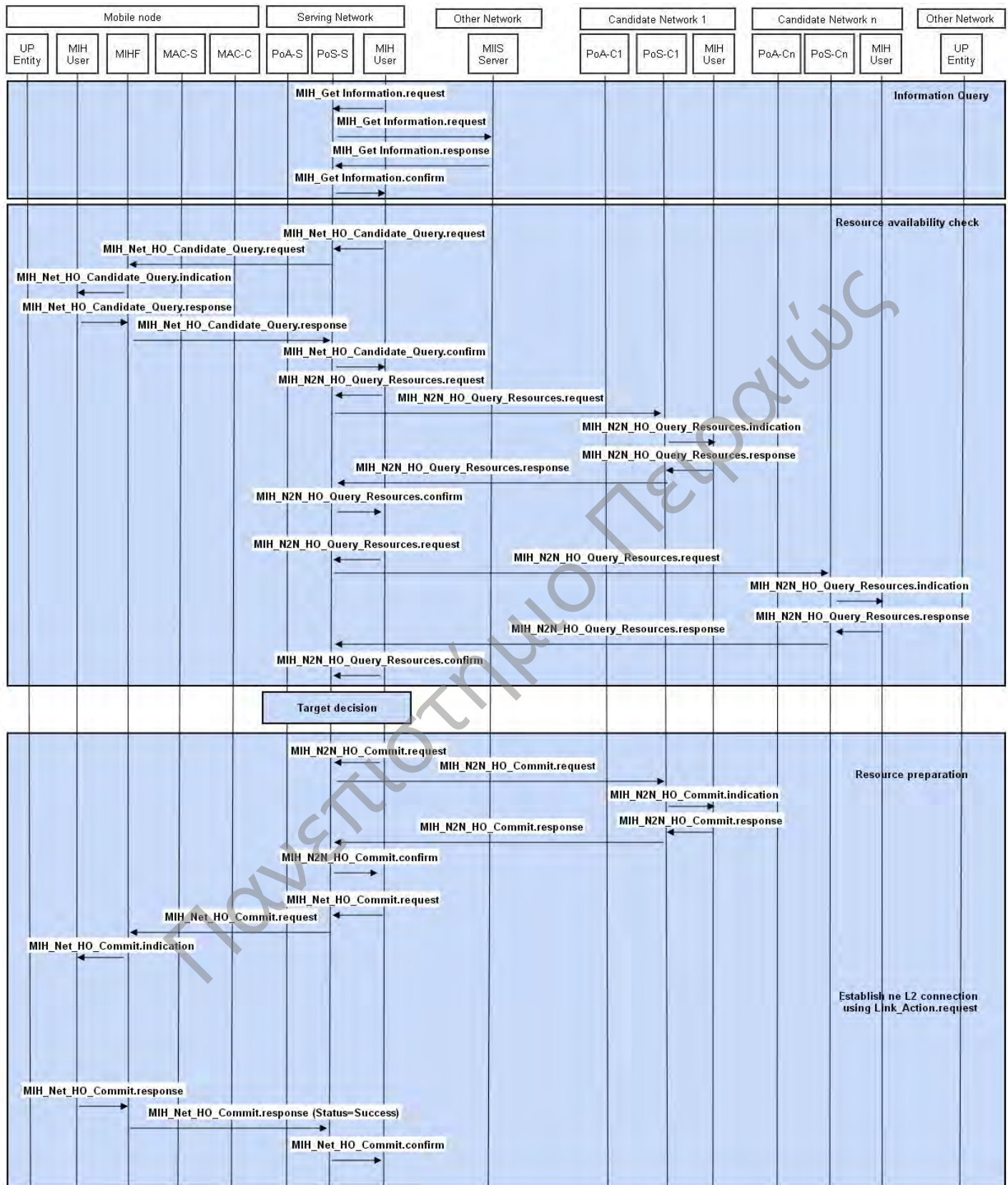


Εικόνα 15: Η διαδικασία διαπομπής υποκινούμενης από το χρήστη (συνέχεια).

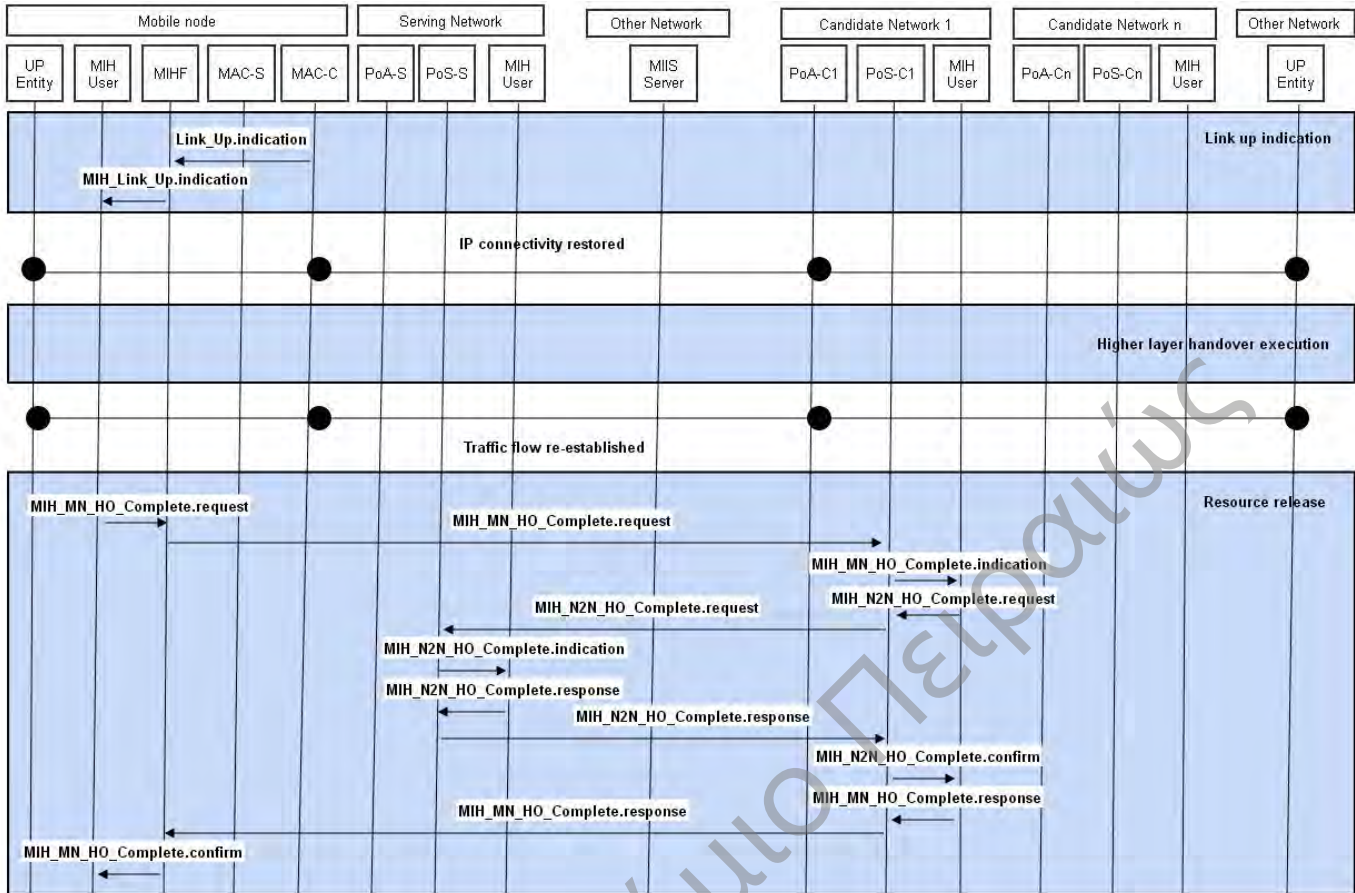
4.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΥΠΟΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η διαδικασία ακολουθεί τη ροή της αντίστοιχης διαδικασίας που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ωστόσο, η διαδικασία ενεργοποιείται από το ίδιο το δίκτυο και αυτό είναι που αναλαμβάνει τη διαχείριση των διαδικασιών και των γεγονότων. Η διαδικασία λειτουργεί ως ακολούθως και παρουσιάζεται στην εικόνα 16 [1]:

1. Το τρέχον PoS ζητά πληροφορίες από τον IS σχετικές με τα γειτονικά δίκτυα (MIH_Get_Information.request) και ο IS απαντά με το αντίστοιχο μήνυμα (MIH_Get_Information.response). Το ερώτημα υποβάλλεται από τον MIH User του δικτύου στη MIH Function και από εκεί στην αντίστοιχη MIHF του Information Server.
2. Το τρέχον PoS ενεργοποιεί μία διαπομπή στέλνοντας μήνυμα στον κινητό κόμβο σχετικά με τα διαθέσιμα δίκτυα (MIH_Net_HO_Candidate_Query.request). Το ερώτημα απευθύνεται στον MIHU του κινητού τερματικού και εκείνο με τη σειρά του απαντά με ένα MIH_Net_HO_Candidate_Query.response μήνυμα που περιέχει πληροφορίες για τους πόρους που απαιτεί από τα υποψήφια δίκτυα.
3. Στη συνέχεια το δίκτυο, μέσω του PoS, υποβάλει ερώτημα σε καθένα από τα υποψήφια δίκτυα σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους των δικτύων (MIH_N2N_HO_Query_Resources.request). Το ερώτημα κατευθύνεται από τον MIHU στο τρέχον σημείο εξυπηρέτησης προς την τοπική MIHF του τρέχοντος δικτύου και στη συνέχεια προωθείται στη MIHF του υποψήφιου PoS και εν συνεχεία στα ανώτερα επίπεδα (MIHU) του υποψήφιου σημείου εξυπηρέτησης (MIH_N2N_HO_Query_Resources.indication). Αντίστοιχα, η MIHF του τρέχοντος δικτύου, λαμβάνει απάντηση από καθένα από τα υποψήφια δίκτυα σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους τους με μία MIH_N2N_HO_Query_Resources.confirm.
4. Το τρέχον PoS αποφασίζει ποιο θα είναι το επόμενο σημείο διαπομπής με βάση τις διαθέσιμες πηγές των υποψήφιων δικτύων.
5. Το τρέχον PoS στέλνει μήνυμα στο υποψήφιο PoS (MIH_N2N_HO_Commit.request) για την προετοιμασία των πόρων στο δίκτυο και εκείνο επιστρέφει το αντίστοιχο μήνυμα επιβεβαίωσης (MIH_N2N_HO_Commit.response).
6. Μετά την επιβεβαίωση της προετοιμασίας των διαθέσιμων πηγών στο υποψήφιο δίκτυο (MIH_N2N_HO_Commit.confirm), το τρέχον PoS δίνει εντολή στον κινητό κόμβο να υποβάλει αίτημα για διαπομπή στο υποψήφιο PoS (MIH_Net_HO_Commit.request).
7. Η νέα σύνδεση στο επίπεδο L2 έχει πραγματοποιηθεί (Link_Action.request) και το κινητό στέλνει μήνυμα στο τρέχον PoS για την επιβεβαίωση της διαπομπής (MIH_Net_HO_Commit.response).
8. Ο MIHU του κινητού τερματικού ενημερώνεται από τα κατώτερα επίπεδα (MAC) για τη διασύνδεση σε επίπεδο L2 (Link_Up.indication). Το κανάλι είναι πλέον έτοιμο για χρήση.
9. Στη συνέχεια διενεργούνται συγκεκριμένες διαδικασίες για την αποκατάσταση της συνδεσιμότητας και πραγματοποιείται η διαπομπή σε ανώτερα επίπεδα. Έτσι, η ροή των δεδομένων συνεχίζεται μέσω του νέου καναλιού με το καινούριο δίκτυο.
10. Μετά την ολοκλήρωση της διαπομπής και στα ανώτερα επίπεδα, το κινητό τερματικό ενημερώνει το νέο PoS για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της διαπομπής (MIH_MN_HO_Complete.request) προκειμένου να αποδεσμευτούν όλοι οι πόροι που είχαν διατεθεί σε αυτό το τερματικό. Το νέο δίκτυο με τη σειρά του ζητά από το προηγούμενο PoS να ελευθερώσει τους πόρους που είχαν δεσμευτεί για το συγκεκριμένο κινητό (MIH_N2N_HO_Complete.request) και εκείνο με τη σειρά του διενεργεί την αποδέσμευση και ενημερώνει το νέο σημείο εξυπηρέτησης (MIH_N2N_HO_Complete.response).
11. Τέλος, το τρέχον PoS ενημερώνει το κινητό για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και την αποδέσμευση των πόρων του δικτύου (MIH_MN_HO_Complete.response).



Εικόνα 16: Η διαδικασία διαπομπής υποκινούμενης από το δίκτυο.



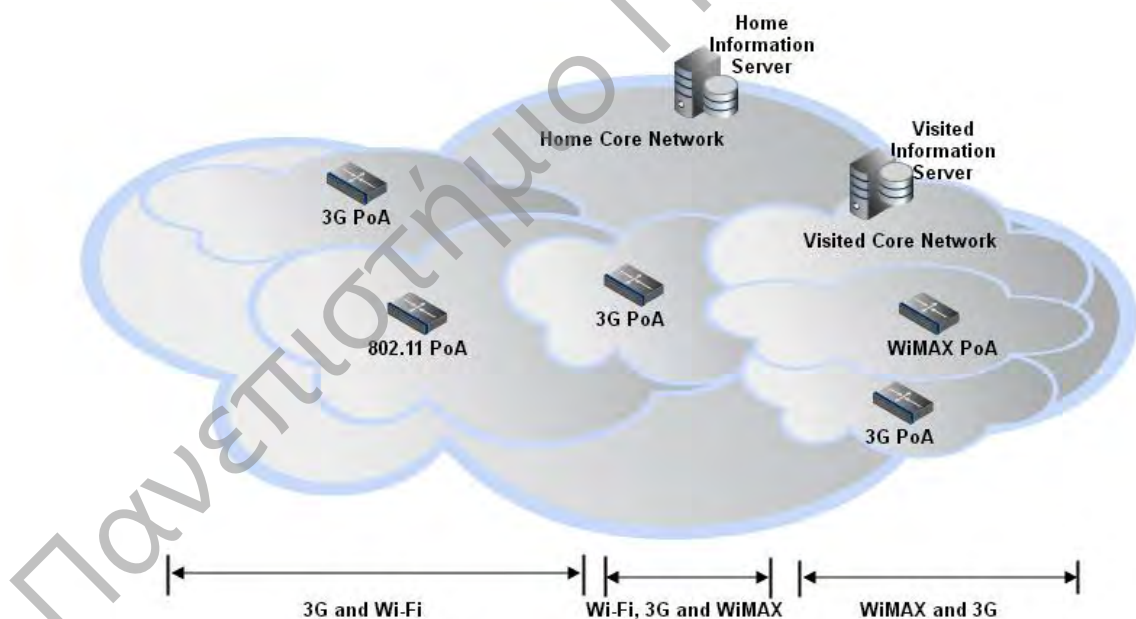
Εικόνα 16: Η διαδικασία διαπομπής υποκινούμενης από το δίκτυο (συνέχεια).

4.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΜΕΤΑΞΥ IEEE 802.11, IEEE 802.16 ΚΑΙ 3G/UMTS

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός κινητού τερματικού που κινείται μέσα στην περιοχή εμβέλειας τριών διαφορετικών τύπων δικτύων και των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου προκειμένου να επιτευχθεί η διαδικασία της διαπομπής μεταξύ των ετερογενών συστημάτων.

Στην εικόνα 17 φαίνεται ένα παράδειγμα τοπολογίας δικτύων όπου υπάρχει επικάλυψη μεταξύ αυτών. Στο παράδειγμα υποθέτουμε ότι ένα κινητό τερματικό, το οποίο προβάλλει στην οθόνη του ένα IPTV κανάλι, κινείται μέσα σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Η περιοχή καλύπτεται από τρεις διαφορετικές τεχνολογίες δικτύων. Την τεχνολογία Wi-Fi (IEEE 802.11), την τεχνολογία WiMAX (IEEE 802.16) και την τεχνολογία 3G/UMTS (3GPP). Επίσης, θεωρούμε ότι όλα τα δίκτυα και η κινητή συσκευή είναι συμβατά με το πρότυπο IEEE 802.21 και ότι η περιοχή του Wi-Fi καλύπτεται από διαφορετικά 802.11 PoA [2].

Προκειμένου η συσκευή να μπορεί να λαμβάνει τα δεδομένα από την υπηρεσία IPTV με διαφάνεια, χωρίς δηλαδή να αντιλαμβάνεται την αλλαγή από το ένα σύστημα στο άλλο, πρέπει να λαμβάνονται διάφορες τιμές χαρακτηριστικών των δικτύων, ώστε ο χρήστης να λαμβάνει πάντα την καλύτερη υπηρεσία. Τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη είναι το προσφερόμενο εύρος ζώνης, το κόστος ανά μονάδα μεταφοράς δεδομένων, η ταχύτητα του τερματικού, η περιοχή που καλύπτει η κάθε κυψέλη του δικτύου, τα επίπεδα ποιότητας της υπηρεσίας που προσφέρεται κλπ [2].



Εικόνα 17: Η τοπολογία του δικτύου που χρησιμοποιείται στο παράδειγμα.

Στην εικόνα 18 φαίνονται οι διάφορες φάσεις στις οποίες καλείται να ληφθεί απόφαση για διαπομπή σε διαφορετικό δίκτυο και τα δίκτυα που είναι διαθέσιμα στη συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται το κινητό.



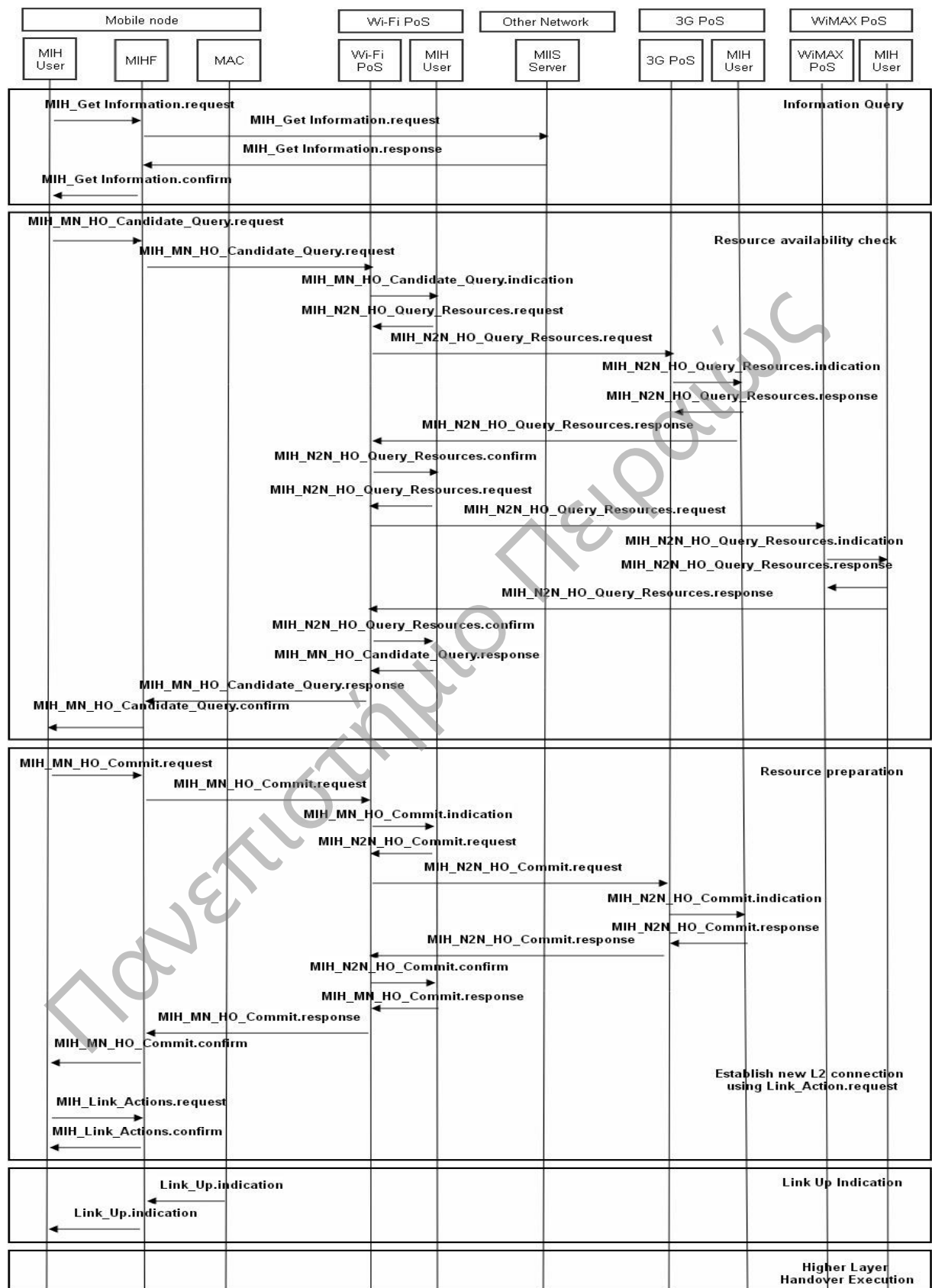
Εικόνα 18: Οι διάφορες φάσεις στις οποίες καλείται η διαδικασία της διαπομπής.

Στην πρώτη φάση, το κινητό έχει να επιλέξει ανάμεσα σε ένα Wi-Fi δίκτυο και ένα 3G/UMTS δίκτυο. Σε αυτό το σημείο, θα παίξει πολύ σημαντικό ρόλο ο τρόπος με τον οποίο έχει συμφωνήσει ο πελάτης να χρεώνεται για τις υπηρεσίες δεδομένων. Είναι προφανές ότι αν η πολιτική είναι τέτοια ώστε να χρεώνεται ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων, η επιλογή του ασύρματου τοπικού δικτύου είναι σαφώς καλύτερη λύση. Η υπηρεσία πληροφοριών του προτύπου IEEE 802.21 παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση.

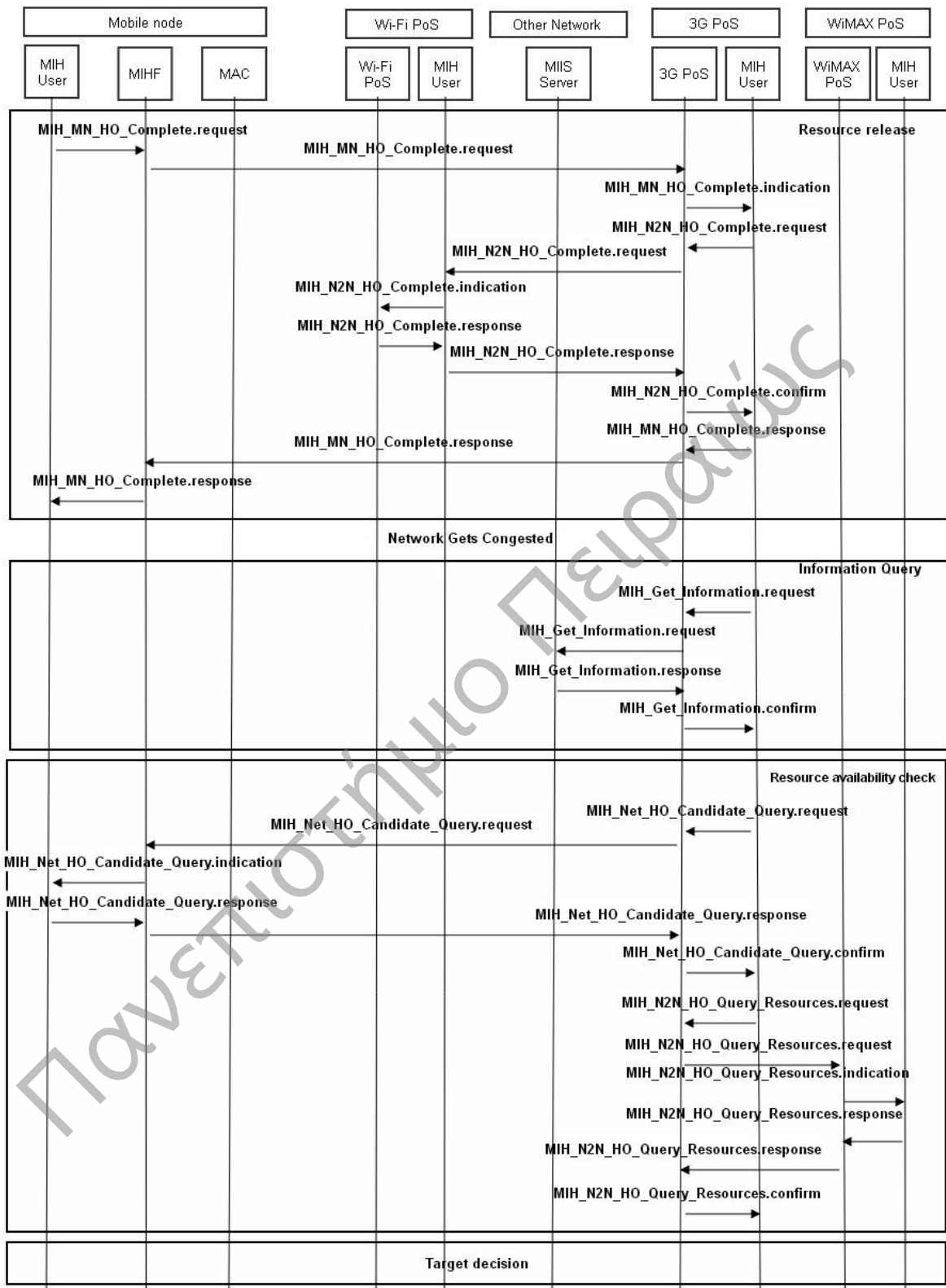
Στη δεύτερη φάση, τα δίκτυα Wi-Fi και 3G παραμένουν διαθέσιμα, ενώ είναι πλέον διαθέσιμο και ένα δίκτυο WiMAX. Έτσι, αν στην πρώτη φάση είχε γίνει επιλογή για το 3G δίκτυο, τότε στη δεύτερη φάση γίνεται αναγκαία η διαπομπή στο τοπικό Wi-Fi δίκτυο ή στο δίκτυο WiMAX. Αντίθετα, αν στην πρώτη φάση το κινητό εξυπηρετείτο από το τοπικό Wi-Fi δίκτυο, τότε σε αυτή τη φάση θα έπρεπε να λάβει υπόψη πληροφορίες από τις υπηρεσίες MICS και MIES του προτύπου IEEE 802.21 προκειμένου να προβεί ή όχι σε διαπομπή σε ένα από τα δίκτυα WiMAX ή 3G.

Τέλος, στην τρίτη φάση, το κινητό βρίσκεται εκτός εμβέλειας του Wi-Fi και αντιλαμβάνεται ότι κινείται σε περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο WiMAX και το 3G δίκτυο. Έτσι, ανάλογα και πάλι από το ποιο δίκτυο εξυπηρετούσε το χρήστη στην προηγούμενη φάση, θα γίνει διαπομπή σε διαφορετικό δίκτυο.

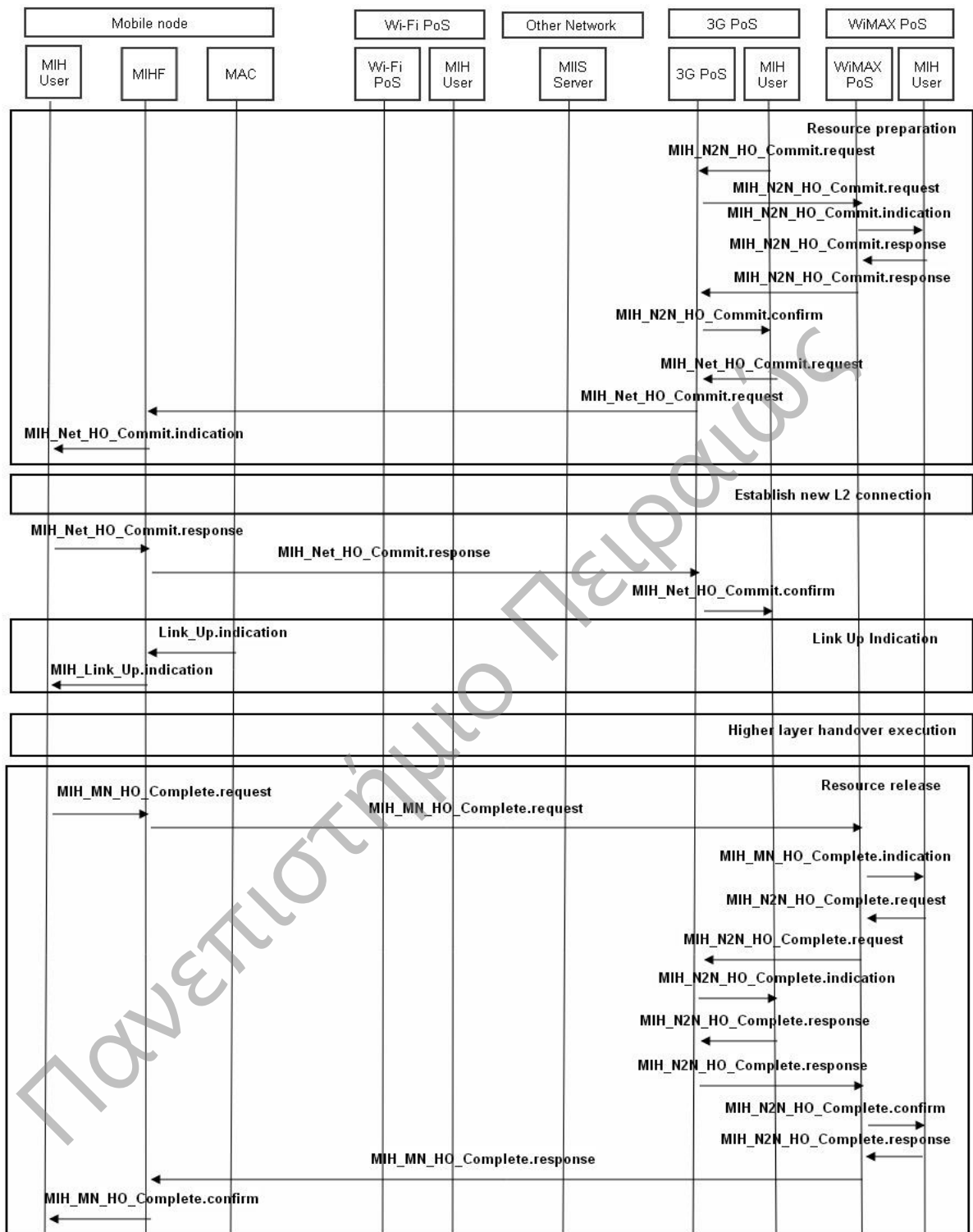
Στο παράδειγμά μας θα θεωρήσουμε ότι το κινητό εξυπηρετείται στην πρώτη φάση από το δίκτυο Wi-Fi. Στη δεύτερη φάση γίνεται διαπομπή στο δίκτυο 3G, ενώ στην τρίτη φάση γίνεται και πάλι διαπομπή στο δίκτυο WiMAX. Στην εικόνα 19 παρουσιάζονται τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των υπηρεσιών του προτύπου IEEE 802.21 προκειμένου να γίνει η διαπομπή μεταξύ των ετερογενών δικτύων.



Εικόνα 19: Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται στις διάφορες φάσεις του παραδείγματος.



Εικόνα 19: Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται στις διάφορες φάσεις του παραδείγματος (συνέχεια).



Εικόνα 19: Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται στις διάφορες φάσεις του παραδείγματος (συνέχεια).

Στην πρώτη φάση (φάση I) το κινητό είναι συνδεδεμένο και εξυπηρετείται από το Wi-Fi δίκτυο. Καθώς ο χρήστης μεταβαίνει από τη φάση I στη φάση II, ζητά από την υπηρεσία πληροφοριών να ενημερωθεί για τα περιβάλλοντα διαθέσιμα δίκτυα, προκειμένου να προβεί σε διαπομπή. Για παράδειγμα, ο χρήστης εξυπηρετείται από το τοπικό δίκτυο ενός πανεπιστημίου και καθώς κινείται εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου, αναζητά μία λύση για να καλύψει τις ανάγκες του, χωρίς να χρειαστεί να διακοπεί η σύνδεση με την υπηρεσία που λαμβάνει.

Ο χρήστης MIHU που βρίσκεται στον κινητό κόμβο, προωθεί το αίτημα λήψης πληροφοριών στη συνάρτηση MIHF που βρίσκεται στη στοιβα πρωτοκόλλων του κινητού κόμβου, η οποία με τη σειρά της μεταβιβάζει το αίτημα στην υπηρεσία πληροφοριών MIIS, από την οποία ζητά να ενημερωθεί για τα περιβάλλοντα διαθέσιμα δίκτυα (αίτημα MIH_Get_Information.request). Η υπηρεσία πληροφοριών ενημερώνει τον κόμβο και ο χρήστης αποκτά μία εικόνα για την κατάσταση των γειτονικών δικτύων (MIH_Get_Information.response). Ο εξυπηρετητής που διαθέτει αυτές τις πληροφορίες μπορεί να βρίσκεται τόσο στο ίδιο δίκτυο με τον κινητό κόμβο, όσο και σε διαφορετικό δίκτυο.

Στη συνέχεια ο κινητός κόμβος, ξεκινά τη διαδικασία της διαπομπής, στέλνοντας ένα αίτημα για τη διαθεσιμότητα των πόρων των διαθέσιμων δικτύων (MIH_MN_HO_Candidate_Query.request). Το αίτημα αυτό στέλνεται μέσω του PoS του τρέχοντος δικτύου (Wi-Fi PoS) στα αντίστοιχα PoS των δύο υποψήφιων δικτύων (Wi-MAX PoS και 3G PoS) (MIH_N2N_HO_Query_Resources.request). Οι απαντήσεις στα ερωτήματα, σχετικά με τη διαθεσιμότητα των δικτύων, δίνονται από τα αντίστοιχα PoS των δύο δικτύων (3G PoS και WiMAX PoS) (MIH_MN_HO_Candidate_Query.response).

Στη συνέχεια, ο χρήστης MIHU που βρίσκεται στο κινητό, καλείται να λάβει την απόφαση για την επιλογή του κατάλληλου δικτύου, μελετώντας τα δεδομένα που έχει στη διάθεσή του καθώς και τις απαιτήσεις του. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγει να γίνει η διαπομπή στο δίκτυο 3G.

Αφού επιλέξει το νέο δίκτυο, στέλνει ένα αίτημα MIH_MN_HO_Commit.request, προκειμένου το υποψήφιο δίκτυο να δεσμεύσει τους πόρους που χρειάζεται και να ετοιμαστεί για την υποδοχή του νέου χρήστη. Το αίτημα αυτό, προωθείται και πάλι μέσω του τρέχοντος σημείου εξυπηρέτησης (Wi-Fi PoS) στο υποψήφιο σημείο εξυπηρέτησης (3G PoS) (MIH_N2N_HO_Commit.request), το οποίο αναλαμβάνει να στείλει την απάντηση.

Το υποψήφιο δίκτυο ενημερώνει το χρήστη για τη διαθεσιμότητα των πόρων και για το γεγονός ότι είναι έτοιμο να δεχτεί και να εξυπηρετήσει το νέο χρήστη (MIH_MN_HO_Commit.response). Έτσι δημιουργείται μια νέα σύνδεση επιπέδου διασύνδεσης (L2 connection) του κινητού με το PoA στην περιοχή που βρίσκεται το υποψήφιο 3G PoS και ο χρήστης MIHU που βρίσκεται στον κινητό κόμβο αναλαμβάνει τον έλεγχο του κατώτερου επιπέδου διασύνδεσης. Στο σημείο αυτό, ολοκληρώνονται όλες οι ενέργειες για τη διασύνδεση του κινητού κόμβου στο νέο κανάλι επικοινωνίας (Link_Up.indication), ενώ πραγματοποιείται και η διαπομπή στα ανώτερα επίπεδα.

Αισίως, ο χρήστης ζητά από το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης που βρίσκεται στο δίκτυο 3G να ελευθερωθούν οι πόροι του δικτύου που είχαν δεσμευτεί για το συγκεκριμένο τερματικό από το προηγούμενο δίκτυο Wi-Fi (MIH_MN_HO_Complete.request). Έτσι, το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης στο δίκτυο 3G αναλαμβάνει να ενημερώσει το δίκτυο Wi-Fi για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της διαπομπής και την ανάγκη για απελευθέρωση των πόρων του δικτύου (MIH_N2N_HO_Complete.request). Το δίκτυο Wi-Fi αποδεσμεύει τους πόρους και ενημερώνει το τρέχον PoS για την ολοκλήρωση της διαδικασίας (MIH_N2N_HO_Complete.response), ενώ το τρέχον PoS με τη σειρά του προωθεί το μήνυμα στον χρήστη στο κινητό τερματικό (MIH_MN_HO_Complete.request).

Στο επόμενο στάδιο, το δίκτυο που εξυπηρετεί το χρήστη βρίσκεται σε κατάσταση συμφόρησης και έτσι ξεκινά από μόνο του μία διαδικασία διαπομπής για το συγκεκριμένο κινητό τερματικό. Αρχικά, αναλαμβάνει να αναζητήσει πληροφορίες για τα περιβάλλοντα δίκτυα (MIH_Get_Information.request) από την υπηρεσία πληροφοριών (MIIS Server) και ενημερώνει το χρήστη για τη διάθεση που έχει για διαπομπή (MIH_Net_HO_Candidate_Query.request). Αν ο χρήστης απαντήσει θετικά, η διαδικασία εξελίσσεται όπως και στην προηγούμενη φάση, με τη διαφορά ότι η διαχείριση της διαπομπής γίνεται μέσα από το ίδιο το δίκτυο.

Έτσι, το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης (3G PoS) προωθεί ένα αίτημα διαπομπής στο υποψήφιο σημείο εξυπηρέτησης (WiMAX PoS) (MIH_N2N_HO_Query_Resources.request) προκειμένου να ενημερώσει για τη διάθεση για διαπομπή και να ενημερωθεί για τους διαθέσιμους πόρους στο συγκεκριμένο δίκτυο (MIH_N2N_HO_Query_Resources.response).

Με βάση την απάντηση που θα λάβει, για το αν δηλαδή υπάρχουν ή όχι διαθέσιμοι πόροι και επομένως το υποψήφιο δίκτυο είναι σε θέση να φιλοξενήσει το νέο χρήστη, λαμβάνεται η απόφαση για διαπομπή ή όχι στο συγκεκριμένο δίκτυο. Να σημειωθεί ότι αν υπήρχαν περισσότερα από ένα διαθέσιμα δίκτυα, το τρέχον σημείο εξυπηρέτησης (3G PoS) θα υπέβαλε αίτημα για διαπομπή και δέσμευση πόρων σε καθένα από αυτά.

Στη συνέχεια, το τρέχον PoS ενημερώνει το υποψήφιο δίκτυο για την επικείμενη διαπομπή του κινητού τερματικού στο συγκεκριμένο δίκτυο (MIH_N2N_HO_Commit.request). Αν λάβει θετική απάντηση (MIH_N2N_HO_Commit.confirm με Status=Success), η διαδικασία θα ολοκληρωθεί ενημερώνοντας τον κινητό κόμβο για τη διαπομπή (MIH_Net_HO_Commit,request) προκειμένου κι αυτός με τη σειρά του να ενεργοποιήσει την αντίστοιχη διεπαφή για να μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από το νέο κανάλι διασύνδεσης.

Στο σημείο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί η διασύνδεση στο νέο κανάλι επικοινωνίας σε επίπεδο L2, πριν ακόμη ο κινητός κόμβος επιβεβαιώσει την ολοκλήρωση της διαπομπής (MIH_Net_HO_Commit.response) ενώ στη συνέχεια το κατώτερο επίπεδο MAC στον κινητό κόμβο ενημερώνει τον χρήστη MIHU στο ανώτερο επίπεδο για την ενεργοποίηση της νέας διασύνδεσης στο κινητό τερματικό (Link_Up.indication). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η διαδικασία της διαπομπής στα ανώτερα επίπεδα.

Τέλος, η διαδικασία της διαπομπής ολοκληρώνεται με την αποδέσμευση των πόρων του δικτύου 3G που είχαν δεσμευτεί για το συγκεκριμένο κινητό τερματικό. Η διαδικασία πραγματοποιείται με ένα μήνυμα MIH_MN_HO_Complete.request του κινητού τερματικού, στο σημείο εξυπηρέτησης του δικτύου 3G (3G PoS), μέσω του νέου σημείου εξυπηρέτησης που βρίσκεται στο δίκτυο WiMAX.

Βλέπουμε λοιπόν ότι μια διαδικασία διαπομπής μπορεί να ενεργοποιηθεί τόσο από ένα κινητό τερματικό (χρήστης), προκειμένου να διασφαλιστούν οι ανάγκες και οι απαιτήσεις του χρήστη, όσο και μέσα από το ίδιο το δίκτυο, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η όλη δε διαδικασία βασίζεται στην ανταλλαγή μηνυμάτων, ερωτημάτων και επιβεβαίωσης αυτών, μεταξύ των οντοτήτων που συμμετέχουν στη διαδικασία της διαπομπής.

5 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Σχετικά με το πρωτόκολλο IEEE 802.21 έχουν γίνει μια σειρά από εργασίες που αφορούν τόσο στην απλή παρουσίαση του προτύπου [4], αλλά κυρίως στην απόδοση του πρωτοκόλλου, στην τεχνική της λήψη της απόφασης για διαπομπή και στην υλοποίηση της υπηρεσίας πληροφοριών MIIS. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν μερικές από αυτές και τα αποτελέσματά τους.

Ξεκινώντας, στο [6] τονίζεται η σημασία του πρωτοκόλλου IEEE 802.21 και ο ρόλος που μπορεί να παίξει στην ενοποίηση των τεχνολογιών WiMAX και WiFi ώστε να αποτελέσουν τη βάση για τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι οι ανάγκες των δικτύων 4^{ης} γενιάς για αυξημένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και κινητικότητα μπορούν να καλυφθούν αποκλειστικά από αυτές τις δύο τεχνολογίες (η ανάγκη για ταχύτητα μετάδοσης από τα τοπικά δίκτυα και για κινητικότητα από τα WiMAX) και τη διαφανή διαπομπή μεταξύ αυτών με τη χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.21.

Έτσι, οι συγγραφείς ορίζουν πέντε διαφορετικούς τύπους διαπομπής που χρειάζεται ένα σύστημα IMT Advanced προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και κινητικότητα. Πιο συγκεκριμένα, οι τύποι ένα (1) και δύο (2) αφορούν τις περιπτώσεις όπου η ταχύτητα με την οποία κινείται ο χρήστης παραμένει σταθερή ή μειώνεται, αλλά παράλληλα αυξάνεται η ανάγκη για ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Ο τύπος τρία (3) αφορά την περίπτωση όπου η ταχύτητα του χρήστη αυξάνεται, κρίνοντας αναγκαία τη διαπομπή σε δίκτυο που υποστηρίζει μεγαλύτερη κινητικότητα, με κόστος την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων (WiMAX). Τέλος, οι τύποι τέσσερα (4) και πέντε (5), υποστηρίζουν τη διαπομπή από ένα δίκτυο με μικρότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε ένα άλλο με μεγαλύτερο και αντίστροφα.

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι τρεις διαφορετικές υπηρεσίες (MIIS, MICS και MIES) που παρέχει το πρότυπο IEEE 802.21, οι οποίες υποστηρίζουν τη διαπομπή μεταξύ των ετερογενών συστημάτων τόσο συλλέγοντας πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα, όσο και ενεργοποιώντας τους κατάλληλους μηχανισμούς στις δικτυακές οντότητες (γεγονότα και εντολές), συμπεριλαμβανομένου του κινητού τερματικού, για να δεχτούν ή όχι ένα νέο χρήστη στο σύστημά τους.

Τέλος, τονίζεται η δυσκολία στην ενσωμάτωση του προτύπου, τόσο στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες, καθώς απαιτούνται αλλαγές και επεκτάσεις των προτύπων για να υποστηρίξουν τη διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων όσο και στις δικτυακές συσκευές, στις οποίες πρέπει να προστεθεί ένα νέο επίπεδο στην αρχιτεκτονική τους.

Στο [7], προτείνεται ένας αλγόριθμος απόφασης για διαπομπή με τη χρήση των υπηρεσιών που προσφέρει το πρωτόκολλο MIH 802.21, μεταξύ Wi-Fi και WiMAX δικτύων και υποστηρίζει την πρόβλεψη για ποιότητα στις υπηρεσίες (QoS). Ο αλγόριθμος βασίζεται στην απόδοση βαρών σε παραμέτρους όπως το κόστος της υπηρεσίας ανά δίκτυο, το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, ο ρυθμός σφαλμάτων και η μεταβολή καθυστέρησης. Στη συνέχεια υπολογίζεται το σκορ για κάθε δίκτυο, βάσει των παραμέτρων και επιλέγεται το δίκτυο με την καλύτερη απόδοση ανάλογα με την κλάση κίνησης στην οποία ανήκει.

Πιο συγκεκριμένα, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν κάποιες κοινές παραμέτρους που εκφράζουν την κίνηση τόσο στα δίκτυα Wi-Fi όσο και στα WiMAX και τις κατηγοριοποιούν σε τέσσερις κλάσεις C1 (voice), C2 (video), C3 (background) και C4 (best effort). Σε κάθε κλάση αποδίδονται τιμές στις παραμέτρους κόστος, εύρος ζώνης, καθυστέρηση, ρυθμός σφαλμάτων και καθυστέρηση μετάδοσης, ενώ κάθε παράμετρος κατηγοριοποιείται με τιμές από το ένα (1) έως το εννιά (9) (1: ισοδύναμα σημαντική παράμετρος, 3: μέτρια πιο σημαντική παράμετρος, 5: αρκετά πιο σημαντική, 7: πολύ πιο σημαντική, 9: εξαιρετικά πιο σημαντική), σε σχέση με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Βάσει τις γεωμετρικής μέσης μεθόδου αποδίδονται βάρη σε κάθε παράμετρο και για τις τέσσερις κλάσεις και στη συνέχεια για κάθε υποψήφιο δίκτυο εκτιμάται ένα σκορ.

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τόσο το εκτιμώμενο σκορ για κάθε δίκτυο, όσο και την τιμή της ισχύος του σήματος (RSS) προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο της συχνής διαπομπής μεταξύ των δικτύων και να παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν πως ο αλγόριθμος μειώνει το πλήθος των διαπομπών μεταξύ των δικτύων, ακριβώς γιατί δεν βασίζεται αποκλειστικά στην τιμή RSS, που

εκ των πραγμάτων δεν μπορεί να γίνει δίκαιη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων δικτύων, αλλά λαμβάνει υπόψη και άλλες παραμέτρους προκειμένου να προβεί ή όχι σε διαπομπή.

Στο [8], προτείνεται ένας βελτιωμένος μηχανισμός διαπομπής με πρόσθετες παραμέτρους σε σχέση με τον μηχανισμό και τις παραμέτρους που υποστηρίζει το πρωτόκολλο IEEE 802.21. Ο μηχανισμός προσβλέπει στη μείωση του χρόνου διαπομπής που οφείλεται στο χρόνο αναζήτησης του δρομολογητή για το πρωτόκολλο MIPv6.

Πιο συγκεκριμένα, η καθυστέρηση που προκαλείται με τη χρήση του πρωτοκόλλου MIPv6 εκφράζεται ως το άθροισμα των καθυστερήσεων που προκαλείται τόσο στο επίπεδο L2 (διασύνδεσης) όσο και στο επίπεδο L3 (δικτύου). Το πρωτόκολλο MIPv6 χρησιμοποιεί τρεις διαδικασίες για να ολοκληρώσει τη διαπομπή. Τη διαδικασία *ανίχνευσης κίνησης* (movement detection), η οποία περιλαμβάνει τις απαραίτητες διαδικασίες για την ανίχνευση ενός νέου δρομολογητή (Access Router – AR), την πιστοποίηση και τη σύνδεση σε αυτόν. Τη διαδικασία της *λήψης μιας νέας IP διεύθυνσης* (CoA configuration) και τέλος τη διαδικασία *ενημέρωσης* (binding update) με την οποία ενημερώνονται οι *Home Agent (HA)* και *Correspondent Nodes (CNs)* για τη νέα διεύθυνση του κινητού. Η όλη διαδικασία είναι χρονοβόρα και συχνά οδηγεί σε απώλεια δεδομένων και διακοπή της υπηρεσίας.

Από την άλλη, με το πρωτόκολλο FMIPv6 το κινητό τερματικό έχει ρυθμίσει τη νέα του IP διεύθυνση, πριν ακόμη συνδεθεί στο νέο δίκτυο κάτι που μειώνει το χρόνο διαπομπής. Αυτό μπορεί να το επιτύχει με την πιστοποίηση της νέας IP διεύθυνσης κατά τη διάρκεια της φάσης *initiation handover* που προηγείται της διαπομπής σε επίπεδο L2.

Ωστόσο, οι εντολές που υποστηρίζει το πρωτόκολλο MIH 802.21, δεν βελτιώνουν σημαντικά τη λειτουργία του MIPv6 γιατί χρησιμοποιούνται μόνο για τη συλλογή πληροφοριών από το επίπεδο L2. Έτσι, στο νέο βελτιωμένο σχήμα ορίζεται μία νέα εντολή (MIH-PrefixInfo) και μία νέα παράμετρο (Prefix) που προστίθεται στις υπάρχουσες εντολές MIH-LinkList και MIH-LinkAvailable. Με τη βοήθεια αυτών ο τερματικός κόμβος συλλέγει πληροφορίες για τα γειτονικά διαθέσιμα δίκτυα, και την *Prefix* του υποψήφιου AP. Έτσι, ο κινητός κόμβος δε χρειάζεται να σπαταλήσει χρόνο για την αποστολή μηνυμάτων που θα αναζητούν διαθέσιμο δρομολογητή καθώς έχει ήδη συλλέξει τις πληροφορίες με τα μηνύματα του πρωτοκόλλου MIH. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της διαδικασίας αναζήτησης δρομολογητή και κατ' επέκταση του χρόνου της διαπομπής.

Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση στην καθυστέρηση της διαπομπής μεταξύ του πρωτοκόλλου MIPv6 και του προτεινόμενου βελτιωμένου σχήματος. Πιο συγκεκριμένα, το βελτιωμένο σχήμα μπορεί να αφαιρέσει από το συνολικό χρόνο διαπομπής του MIPv6, το χρόνο που απαιτείται για την ανακάλυψη του δρομολογητή (Router Discovery), ενώ για το πρωτόκολλο FMIPv6 το χρόνο που απαιτείται για την ανακάλυψη του proxy δρομολογητή (Proxy Router Discovery), μειώνοντας έτσι όχι την καθυστέρηση διαπομπής, αλλά τη διαδικασία αρχικοποίησης της διαπομπής (handover initiation).

Στο [10], η προτεινόμενη αρχιτεκτονική λειτουργεί ως διαμεσολαβητής, συλλέγοντας στατιστικά από διάφορα επίπεδα. Κύριος στόχος είναι να ληφθούν υπόψη τα δεδομένα που αφορούν στην ποιότητα της υπηρεσίας (QoS), σε συνεργασία με τα δεδομένα από το επίπεδο διασύνδεσης και το επίπεδο δικτύου, προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για διαπομπή. Τα δεδομένα στο επίπεδο εφαρμογής αφορούν στην ποιότητα βίντεο, όπως καταγράφεται από την πλευρά του χρήστη.

Πιο συγκεκριμένα, οι συγγραφείς προτείνουν ένα νέο πλαίσιο που χρησιμοποιεί το ήδη υπάρχον IEEE 802.21. Στο νέο πλαίσιο υπάρχουν και πάλι οι τρεις βασικές υπηρεσίες (MIIS, MIES, MICS). Η υπηρεσία MIIS συλλέγει πληροφορίες τόσο από το δίκτυο (λίστα διαθέσιμων δικτύων, λίστα εξουσιοδοτημένων χρηστών, κ.ά.) όσο και από το κινητό τερματικό (δίκτυα που ανακαλύφθηκαν, παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας του δικτύου, κ.ά.). Η υπηρεσία MIES που συλλέγει δεδομένα και ενεργοποιεί τα κατάλληλα γεγονότα. Τα γεγονότα μπορεί να αφορούν σε πληροφορίες του καναλιού (όπως ο λόγος σήματος προς θόρυβο), σε αλλαγές της ποιότητας της υπηρεσίας σε επίπεδο εφαρμογής (όπως η λαμβανόμενη ποιότητα του σήματος) και σε αλλαγές του δικτύου. Η υπηρεσία MICS που βοηθά τα ανώτερα επίπεδα ώστε με τη χρήση εντολών να ελέγξουν τη λειτουργία των κατώτερων επιπέδων, όπως προκειμένου να αναζητήσουν καινούρια κανάλια επικοινωνίας.

Ο αλγόριθμος διαπομπής υλοποιείται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο λαμβάνεται η απόφαση για διαπομπή στηριζόμενη σε παραμέτρους από τα κατώτερα επίπεδα (θόρυβος, ισχύς λαμβανόμενου σήματος, απώλεια δεδομένων κλπ.) και εν συνεχεία από το επίπεδο εφαρμογής (παραμέτροι QoS). Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η προετοιμασία της διαπομπής

συγκρίνοντας τις τιμές των παραμέτρων με τις τιμές του κατωφλίου και επιλέγοντας το κατάλληλο δίκτυο με βάση τις προκαθορισμένες παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας. Στο τρίτο στάδιο εκτελείται η διαπομπή από τα ανώτερα επίπεδα.

Επίσης, ο αλγόριθμος μοντελοποιείται με μία συνάρτηση κόστους, που περιλαμβάνει τους κανόνες για την επιλογή του καταλληλότερου δικτύου, δηλαδή το κόστος για τις προσφερόμενες υπηρεσίες, το σχήμα ασφάλειας που χρησιμοποιεί το τρέχον και το υποψήφιο δίκτυο, οι παράμετροι QoS και η κατάσταση και η απόδοση τόσο του τρέχοντος όσο και του υποψήφιου δικτύου.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης μεταξύ 3G και WiFi δικτύων έδειξαν ότι η υιοθέτηση της αρχιτεκτονικής που προτείνεται μείωσε τα επίπεδα της καθυστέρησης της διαπομπής κατά 38% από WiFi σε UMTS δίκτυο και κατά 20% για την αντίστροφη διαπομπή.

Στο [11], προτείνεται ένας αλγόριθμος επιλογής δικτύου, που υλοποιεί ένα μηχανισμό επιλογής βασισμένο στο οριζόμενο από το χρήστη προφίλ πρόσβασης, με τη βοήθεια της υπηρεσίας πληροφοριών που παρέχει το πρωτόκολλο MIH. Επιπλέον χρησιμοποιεί κανόνες προτεραιότητας που αρχικά αποκλείουν τα ακατάλληλα δίκτυα και στη συνέχεια επιλέγει μεταξύ των υπολειπόμενων με βάση τις παραμέτρους της ποιότητας της υπηρεσίας (QoS).

Συγκεκριμένα, ο χρήστης καθορίζει τις προτιμήσεις του για τον τύπο του δικτύου μέσω ενός προφίλ χρήστη. Το προφίλ ορίζεται με τη μορφή ενός δέντρου, όπου στα φύλλα του δέντρου βρίσκονται οι παράμετροι καθορισμού του υποψήφιου δικτύου, όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας, το μέγιστο κόστος ανά λεπτό, το ελάχιστο απαιτούμενο εύρος ζώνης, κ.ά. Μετά τον ορισμό των παραμέτρων από τον χρήστη, απαιτείται η επικοινωνία με την υπηρεσία πληροφοριών, προκειμένου να συλλεχθούν πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα και να επιλεγεί το καταλληλότερο.

Έτσι, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επιλογή του δικτύου βασίζεται τόσο στις παραμέτρους που έχει θέσει ο χρήστης, όσο και στον τύπο της εφαρμογής που εκτελείται σε δεδομένη χρονική στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, όταν η τιμή του RSS πέφτει κάτω από αυτή του κατωφλίου, ενεργοποιείται ο μηχανισμός διαπομπής στη MIHF. Ο χρήστης λαμβάνει τις απαιτούμενες πληροφορίες για τα διαθέσιμα δίκτυα και τις προδιαγραφές τους από τον IS. Τα δίκτυα που δεν πληρούν τις ορισμένες από τον χρήστη προδιαγραφές αποκλείονται. Από τα υπόλοιπα επιλέγεται το καταλληλότερο ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής που εκτελείται. Για παράδειγμα, οι απαιτήσεις για μία εφαρμογή FTP είναι διαφορετικές από μία εφαρμογή video streaming. Έτσι, θα υπολογιζόταν κατά σειρά η τιμή των παραμέτρων RSS, εύρος ζώνης, καθυστέρηση και FER (Frame Error Rate).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που έγιναν σε περιβάλλον WLAN δικτύων για υπηρεσίες VoIP και συνέκριναν την απόδοση μεταξύ ενός μοντέλου επιλογής βασισμένο στο προφίλ του χρήστη και ενός μοντέλου βασισμένου μόνο στην τιμή του RSS, έδειξαν ότι οι τιμές της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο και του ρυθμού απώλειας πακέτων ήταν καλύτερες για το μοντέλο που βασίζεται στο προφίλ του χρήστη. Επίσης, με το μοντέλο αυτό μπορεί να επιτευχθεί η αποσυμφόρηση των δικτύων που εξυπηρετούν πολλούς χρήστες.

Τέλος, στο [12] προτείνεται ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης της διαπομπής (Media Independent Pre-Authentication – MPA), του οποίου η λειτουργία είναι διαφανής για τα πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας. Κύριος στόχος του πλαισίου είναι να μειώσει το χρόνο καθυστέρησης που προκαλεί η διαπομπή, τόσο στα επίπεδα διασύνδεσης και δικτύου, όσο και στο επίπεδο εφαρμογής.

Συγκεκριμένα, με το MPA ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει μία καινούρια IP διεύθυνση και άλλες παραμέτρους διαμόρφωσης για το νέο σημείο εξυπηρέτησης, και να στέλνει IP πακέτα χρησιμοποιώντας αυτή τη διεύθυνση πριν τη σύνδεση με το νέο σημείο εξυπηρέτησης. Έτσι, είναι δυνατή η επικοινωνία με το νέο σημείο εξυπηρέτησης πριν την εγκατάσταση της νέας σύνδεσης σε επίπεδο διασύνδεσης.

Αυτό το πετυχαίνει με τη χρήση τεσσάρων διαδικασιών που εξασφαλίζουν την επικοινωνία με το υποψήφιο δίκτυο. Η πρώτη διαδικασία, που ονομάζεται *pre-authentication*, εγκαθιστά μία ασφαλή σύνδεση με το υποψήφιο δίκτυο για την αποστολή των μηνυμάτων που θα ακολουθήσουν. Η δεύτερη διαδικασία, που ονομάζεται *pre-configuration*, χρησιμοποιεί ένα ασφαλές πρωτόκολλο διαμόρφωσης για τη λήψη μιας νέας IP διεύθυνσης και άλλων παραμέτρων από το υποψήφιο δίκτυο. Η τρίτη διαδικασία δημιουργεί ένα τούνελ επικοινωνίας μεταξύ του κινητού τερματικού και του υποψήφιου σημείου εξυπηρέτησης, μέσω του οποίου μπορούν να μεταφερθούν τα πακέτα δεδομένων. Τέλος, η τέταρτη διαδικασία διαγράφει το τούνελ ακριβώς πριν τη σύνδεση με το νέο σημείο εξυπηρέτησης και αποδίδει τη διεύθυνση IP

που είχε λάβει στον κινητό κόμβο, ακριβώς μετά τη σύνδεση με το νέο δίκτυο. Οι δύο τελευταίες διαδικασίες αναφέρονται ως *Secure Proactive Handover*. Έτσι, είναι δυνατή η ολοκλήρωση της διαπομπής στα ανώτερα επίπεδα, πριν την έναρξη ακόμη της διαπομπής σε επίπεδο διασύνδεσης, πράγμα το οποίο μπορεί να μειώσει τον όλο χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαπομπής.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι το νέο πλαίσιο μπορεί να μειώσει σημαντικά την απώλεια των δεδομένων αλλά και την καθυστέρηση τόσο στα πρωτόκολλα του επιπέδου δικτύου, όσο και σε αυτά του επιπέδου εφαρμογής.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

6 ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ IEEE 802.21

Αδιαμφισβήτητα, η υιοθέτηση μιας νέας τεχνολογίας που βοηθά στη διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες, στην εξέλιξή τους και στη συνεργασία μεταξύ αυτών για την αποδοτικότερη εκμετάλλευσή τους. Σημαντικά είναι επίσης τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει στον τελικό χρήστη, με τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών και τον εμπλουτισμό αυτών με μεγαλύτερες δυνατότητες.

Ωστόσο, όπως με κάθε καινούρια τεχνολογία, η ενσωμάτωση και η απορρόφηση μιας νέας τεχνολογίας απαιτεί κόστος, κόπο και χρόνο, τα οποία καλούνται να διαθέσουν οι εμπλεκόμενοι φορείς προκειμένου να βελτιώσουν τις υπηρεσίες τους.

Συνοψίζοντας λοιπόν, θα αναφέρουμε τα υπέρ και τα κατά της χρήσης του πρωτοκόλλου IEEE 802.21.

Χρόνος/Καθυστέρηση. Το πρωτόκολλο IEEE 802.21 δημιουργήθηκε για να υποστηρίξει τη διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων. Ωστόσο, η όλη διαδικασία της διαπομπής αποτελεί μία χρονοβόρα διαδικασία. Από την εκκίνηση της διαδικασίας της διαπομπής και την αναζήτηση των απαραίτητων πληροφοριών για την επιλογή του καταλληλότερου δικτύου υπηρεσιών, έως την ολοκλήρωση της διαπομπής και τη μετάβαση στο νέο δίκτυο υπηρεσιών, απαιτείται η ανταλλαγή μιας σειράς μηνυμάτων μέσα στη στοίβα πρωτοκόλλων ενός ή περισσότερων δικτυακών οντοτήτων για τη διεκπεραίωση της.

Η ανταλλαγή αυτών των μηνυμάτων έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη καθυστέρησης στην επικοινωνία, ιδιαίτερα δε στην περίπτωση που τα μηνύματα αυτά ανταλλάσσονται μεταξύ διαφορετικών δικτυακών οντοτήτων. Επίσης, πέραν της καθυστέρησης που προσθέτει η χρήση του προτύπου IEEE 802.21 και η εκτέλεση της διαπομπής στο επίπεδο διασύνδεσης, προστίθεται και η καθυστέρηση της διαπομπής των ανώτερων επιπέδων, που απαιτείται για την επιτυχή μετάβαση ενός κινητού από ένα δίκτυο σε ένα άλλο.

Ασφάλεια. Η διαδικασία της διαπομπής απαιτεί την ανταλλαγή μιας σειράς μηνυμάτων μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων ενός δικτύου. Έτσι, όπως συμβαίνει σε όλες τις μορφές επικοινωνίας, η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων απαιτεί την αμοιβαία εμπιστοσύνη μεταξύ αυτών ή έναν τρόπο για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια στην επικοινωνία μεταξύ τους. Ωστόσο, η αρχική έκδοση του προτύπου IEEE 802.21 δεν διέθετε τα απαραίτητα στοιχεία για να καλύψει τις ανάγκες για ασφάλεια.

Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε η επέκταση του πρωτοκόλλου IEEE 802.21a, η οποία παρέχει τα απαραίτητα επίπεδα ασφάλειας για τη διαπομπή μεταξύ δύο ετερογενών συστημάτων.

Απόδοση δικτύων. Η κάθε τεχνολογία καλύπτει διαφορετικές ανάγκες σε ταχύτητα εξυπηρέτησης, ασφάλεια, κόστος, κλπ. Ο συνδυασμός των τεχνολογιών που προσφέρει το πρωτόκολλο IEEE 802.21 και η όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευσή τους μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση ενός δικτύου.

Έτσι, από τη μία μπορεί να ωφελήσει τους ίδιους τους πάροχους υπηρεσιών που θα είναι σε θέση να συνδυάσουν διαφορετικούς τύπους δικτύων προκειμένου να αναπτύξουν τα δίκτυά τους και να είναι σε θέση να προσφέρουν τις υπηρεσίες και τις δυνατότητες που προσφέρουν τα δίκτυα αυτά.

Από την άλλη, ωφελούνται και οι τελικοί χρήστες που μπορούν να λαμβάνουν τις καλύτερες δυνατές υπηρεσίες, ανά πάσα χρονική στιγμή, ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών που χρησιμοποιούν ή τις προσωπικές τους επιλογές.

Ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών. Συνδυάζοντας μια σειρά από διαφορετικές τεχνολογίες, βελτιώνεται η απόδοση ενός δικτύου και κατ'επέκταση η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται. Έτσι, με τη χρήση του πρωτοκόλλου διαπομπής IEEE 802.21 είναι δυνατόν να παρέχονται οι καλύτερες δυνατές υπηρεσίες (ταχύτητα, ασφάλεια, κόστος, καθυστέρηση,

απώλεια δεδομένων κλπ) παντού, πάντα και ανάλογα πάντα με τις ανάγκες των εφαρμογών που χρησιμοποιεί ο χρήστης [12].

Από την άλλη, η διαπομπή μεταξύ ετερογενών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας της λαμβανόμενης υπηρεσίας, καθώς διαφορετικοί τύποι δικτύων παρέχουν διαφορετικό εύρος ζώνης, ρυθμό σφαλμάτων, καθυστέρηση, απώλεια δεδομένων κ.λπ [12].

Ενσωμάτωση στα δίκτυα. Για την ενσωμάτωση του πρωτοκόλλου στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες απαιτείται κόπος, κόστος και χρόνος, όπως και με τις περισσότερες νέες τεχνολογίες, ώστε να σχεδιαστεί εκ νέου η αρχιτεκτονική των διάφορων δικτυακών οντοτήτων και να προστεθεί σε αυτές το βασικό δομικό στοιχείο που υλοποιεί το πρωτόκολλο IEEE 802.21, η λειτουργία MIHF [6].

Επίσης, η συλλογή και η συντήρηση πληροφοριών αποτελεί πρόκληση για την ανάπτυξη και τη λειτουργία ενός δικτύου που υποστηρίζει το πρωτόκολλο IEEE 802.21. Η συλλογή στατικών πληροφοριών αποτελεί μια σχετικά διαχειρίσιμη διαδικασία, όμως η συλλογή δυναμικών πληροφοριών για κάθε διαφορετικό PoA του δικτύου είναι μια δύσκολη διαδικασία. Εξάλλου, οι περισσότεροι διαχειριστές διαθέτουν αυτές τις πληροφορίες αλλά δεν είναι σε θέση να τις διαμοιράσουν χωρίς να υπάρξει κάποια μορφή εμπορικής σχέσης [6].

Κόστος. Η χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.21 μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κόστους των υπηρεσιών που λαμβάνει ο τελικός χρήστης. Έτσι ο χρήστης με τις κατάλληλες ρυθμίσεις μπορεί να εξασφαλίσει τη σύνδεση, κατά προτεραιότητα, σε δίκτυα μηδενικού κόστους (WiFi).

Ωστόσο, το μεγαλύτερο ερώτημα που προκύπτει είναι αν οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας είναι πρόθυμες να επιτρέπουν στους χρήστες τους να μεταβαίνουν σε δίκτυα μηδενικού κόστους (όπως ένα WiFi), από το να χρησιμοποιούν τις δικές τους δαπανηρές υπηρεσίες.

Τελικά, όπως κάθε νέα τεχνολογία, η χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.21 στα δίκτυα μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, χωρίς ωστόσο να παραβλέπουμε και τα σημαντικά μειονεκτήματα από τη χρήση του.

Χρειάζεται επομένως η σχεδίαση των συστημάτων με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του πρωτοκόλλου, εξαλείφοντας παράλληλα τα σημαντικά μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του.

Για το λόγο αυτό, έχουν σχεδιαστεί και συνεχίζουν να σχεδιάζονται αλγόριθμοι και επεκτάσεις του πρωτοκόλλου που υποστηρίζουν τη διαπομπή μεταξύ των ετερογενών συστημάτων βασιζόμενοι τόσο στις ανάγκες του χρήστη (μέσα από τον καθορισμό προσωπικών παραμέτρων, προσωπικές ρυθμίσεις), τη δεδομένη χρονική στιγμή, όσο και στις δυνατότητες που υποστηρίζει το δίκτυο.

7 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρότυπο IEEE 802.21 σχεδιάστηκε για να παρέχει τα απαραίτητα μέσα για την επίτευξη της διαπομπής μεταξύ ετερογενών συστημάτων. Τα υπάρχοντα συστήματα είναι σε θέση να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες των χρηστών, ωστόσο το κάθε ένα διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες λειτουργίας και κατά συνέπεια οι δυνατότητές τους περιορίζονται με βάση τους κανόνες αυτούς. Έτσι, το πρωτόκολλο διαπομπής έχει σκοπό να μπορέσει να ενοποιήσει τη λειτουργία των υπάρχοντων δικτύων, έτσι ώστε να παρέχονται στον τελικό χρήστη υπηρεσίες με την καλύτερη δυνατή ποιότητα και τη μέγιστη απόδοση.

Το πρωτόκολλο διαπομπής λειτουργεί σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ των επιπέδων δύο (2) και τρία (3) της σιόμβας των πρωτοκόλλων και το γεγονός ότι είναι ανεξαρτήτου μέσου (media independent) του επιτρέπει να μπορεί να ενσωματωθεί στα υπάρχοντα δίκτυα με ευκολία. Η αρχιτεκτονική του βασίζεται σε τρεις βασικές υπηρεσίες (Γεγονότων, Εντολών, Πληροφοριών) οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ενεργοποίηση των κατάλληλων ενεργειών, την αποστολή πληροφοριών και την εκτέλεση εντολών, βάσει των οποίων λαμβάνεται η απόφαση για διαπομπή, είτε από τον τελικό χρήστη, εφόσον κριθεί απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ποιότητα στις υπηρεσίες που λαμβάνει, είτε από το ίδιο το δίκτυο για να καλύψει τις ανάγκες του.

Ωστόσο, όπως συμβαίνει με κάθε καινούρια τεχνολογία, απαιτείται χρόνος για να ενσωματωθεί στα υπάρχοντα δίκτυα και φυσικά διάθεση από τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών για να μπορέσει να ωφεληθεί ο τελικός χρήστης από τις δυνατότητες που παρέχει το πρωτόκολλο.

Βιβλιογραφία

- [1] IEEE Standard for Local and Metropolitan area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services, IEEE Std 802.21, 2008
- [2] IEEE 802.21: Media Independent Handover Services, E. Piri, K. Pentikousis, The Internet Protocol Journal, Vol. 12, No. 2
- [3] IEEE 802.21 Overview of Standard for Media Independent Handover Services, V. Gupta, M. Williams et al., IEEE 802 Plenary, 2006
- [4] IEEE 802.21 (Media Independent Handover Services) Overview, A. Oliva, T. Melia, et al., IEEE Wireless Communications, Aug 2008
- [5] Enhanced Mobility Support for Roaming Users: Extending the IEEE 802.21 Information Service, K. Anderson, A. G. Forte, H. Schulzrinne, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
- [6] Mobility Using IEEE 802.21 In A Heterogeneous IEEE 802.16/802.11-Based, IMT-Advanced (4G) Network, L. Eastwood, S. Migaldi, Q. Xie, V. Gupta, IEEE Wireless Communications, 2008
- [7] A Vertical Media-Independent Handover Decision Algorithm across Wi-Fi and WiMAX Networks, S. Yang et al., IEEE 2008
- [8] Reduction of Handover Latency Using MIH Services in MIPv6, Y. Young An et al., IEEE 2006.
- [9] A Cross-Layer Media-Independent Handover Scheme in Heterogeneous WiMAX/WiFi Networks, Y. Huang, Y. Chen, INC 2010
- [10] A Middleware Architecture Supporting Seamless And Secure Multimedia Services Across An Intertechnology Radio Access Network, J. Rodriguez, M. Tsagaropoulos, I. Politis, S. Kotsopoulos, T. Dagiuklas, IEEE Wireless Communications, 2009
- [11] A Profile-Based Network Selection With MIH Information Service, M. Wu, Y. Chen, T. Chung, C. Hsu
- [12] Media-Independent Pre-Authentication Supporting Secure Interdomain Handover Optimization, A. Dutta et al., IEEE Wireless Communication, 2008
- [13] Performance Metrics for IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) Signaling, D. Griffith, R. Rouil, N. Golmie, Springer Science & Business Media, 2008
- [14] A MIH Services Based Application-Driven vertical Handoff Scheme for Wireless Networks, H. Ze-qun, B. Song-nan, J. Jung, Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, 2009
- [15] A Software Architecture for Network-Assisted Handover in IEEE 802.21, C. Cicconetti, F. Galeassi, R. Mambri, Journal of Communications, 2011
- [16] On The Impact of MIH Triggering Techniques On The Performance Of Video Streaming Across Heterogeneous RATs, L. Dounis, M. Tsagaropoulos, I. Politis, T. Dagiuklas
- [17] IEEE 802.21: Media Independent Handover: Features, Applicability and Realization, K. Taniuchi, Y. Ohba, V. Fajardo et.al, IEEE Communications Magazine, 2009
- [18] Enhanced Media Independent Handover Framework, P. Neves, F. Fontes, S. Sargento, M. Melo, K. Pentikousis
- [19] A Multiple Cross-Layers Explicit Fast Handover Control Using MIH in 802.16e Networks, H. Huang, J. Wu, S. Yang, IEEE, 2008
- [20] Performance Analysis Of An IEEE 802.21 Based Vertical Handover Protocol Using NS-2, J. Marquez-Barja, C. T. Calafate, J. Cano, P. Manzoni
- [21] IEEE 802.21 MIH Based Handover For Next Generation Mobile Communication Systems, IEEE, 2008
- [22] Simulation Of 802.21 Handovers Using NS-2, H. Marques, J. Ribeiro, P. Marques, J. Rodriguez, Journal of Computer Systems, Networks and Communications, 2010
- [23] Introduction to Mobile Communications, Technology, Services, Markets, T. Wakefield, D. McNally, D. Bowler, A. Mayne, Auerbach Publications, 2007
- [24] A Decentralized Information Service for IEEE 802.21 – Media Independent Handover (MIH), K. de Voogeleer, S. Ickin, D. Erman
- [25] An IEEE 802.21-Based Universal Information Service, C. Dannewitz, S. Berg, H. Karl, Wireless World Research Forum
- [26] Handoff Prioritization and Decision Schemes in Wireless Cellular Networks: a Survey, A. Sgora, D. Vergados, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009
- [27] A Cross-Layer Media-Independent Handover Scheme in Heterogeneous WiMAX/WiFi Networks, Y. Huang, Y. Chen, Mobile and Wireless Networking,

[28] Mobility Support in IPv6, IETF RFC 6275, <http://tools.ietf.org/html/rfc6275>

[29] Fast Handovers for Mobile IPv6, IETF RFC 4068, <http://tools.ietf.org/html/rfc4068>

Πανεπιστήμιο Πειραιώς