

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MPLS ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

**Κατερίνα Κουνούνη**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ**



**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Μάρτιος 2008**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MPLS ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

**Κατερίνα Κουνούνη**

Επιβλέπων Καθηγητής

Βάσος Βασιλείου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάρτιος 2008

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βάσο Βασιλείου για την υποστήριξη και καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια της υλοποίησης αυτής της εργασίας, αλλά και για την επίτευξη μιας άψογης συνεργασίας.

# Περίληψη

Η ασύρματη σύνδεση με ένα δίκτυο και η ταυτόχρονη επικοινωνία με απομακρυσμένους κόμβους χωρίς προβλήματα είναι άμεση ανάγκη για τα σημερινά δίκτυα. Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός προσομοιωτή δικτύου στο εργαλείο Ns, που διαχειρίζεται την κινητικότητα των κόμβων αποδοτικά. Μελετώντας την ερευνητική εργασία που έχει γίνει στον τομέα αυτό έχουμε διαπιστώσει πώς ο συνδυασμός της τεχνολογία δικτύου MPLS με ένα πρωτόκολλο που διαχειρίζεται την κινητικότητας δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με ένα δίκτυο από IP κόμβους.

Το έγγραφο αυτό αρχικά μας περιγράφει την θεωρητική πλευρά των πρωτοκόλλων και τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν. Ξεκινώντας παρουσιάζεται η τεχνολογία δικτύου MPLS, δίνοντας τους βασικούς ορισμούς, τον τρόπο διαχείρισης των πακέτων και τις διαφορές με ένα IP δίκτυο. Έπειτα δίνονται με αρκετή λεπτομέρεια ο σκοπός, οι νέες οντότητες και ο τρόπος διαχείρισης της κινητικότητας από τα πρωτόκολλα FHMIP, FMIP, HMIP και MIP.

Στην συνέχεια του εγγράφου δίνεται η περιγραφή των προσομοιωτών και ότι αφορά τα στοιχεία που περιλαμβάνουν. Αρχικά παρουσιάζεται ο Network Simulator (Ns) , το εργαλείο με το οποίο έχει γίνει η προσομοίωση και υλοποίηση των πρωτοκόλλων. Έπειτα δίνεται περιγραφή της υλοποίησης και λειτουργιών που μας παρέχονται από τα πρωτοκόλλα και τεχνολογίες δικτύου. Ένα σημαντικό μέρος του εγγράφου αναφέρεται στην περιγραφή των σεναρίων και κατηγοριών που έχουν δημιουργηθεί για σκοπούς σύγκρισης.

Το τελευταίο μέρος του εγγράφου δίνει τα πειραματικά αποτελέσματα, την σύγκριση των σεναρίων και τα συμπεράσματα. Αρχικά δίνεται η μεθοδολογία λήψης των αποτελεσμάτων και οι μετρικές που λαμβάνονται υπόψη για την σύγκριση των σεναρίων. Συγκεκριμένα μετριέται το χάσιμο πακέτων, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, η ρυθμοαπόδοση και ο χρόνος εκτέλεσης του handoff. Έπειτα αναλύονται τα αποτελέσματα για όλα τα σενάρια και επιλέγεται το σενάριο που έχει την καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις μετρικές. Τέλος δίνονται κάποια γενικά συμπεράσματα από όλη την διαδικασία προσομοίωσης του δικτύου.

# Περιεχόμενα

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Κεφάλαιο 1 .....</b>                                          | <b>1</b>  |
| <b>Εισαγωγή .....</b>                                            | <b>1</b>  |
| 1.1 Ορισμός του προβλήματος.....                                 | 1         |
| 1.2 Σκοπός της εργασίας .....                                    | 2         |
| 1.3 Προηγούμενη ερευνητική εργασία σε σχετικά θέματα.....        | 2         |
| <b>Κεφάλαιο 2 .....</b>                                          | <b>6</b>  |
| <b>Θεωρητική περιγραφή του MPLS.....</b>                         | <b>6</b>  |
| 2.1 Εισαγωγή.....                                                | 6         |
| 2.2 Ορισμοί.....                                                 | 6         |
| 2.3 MPLS λειτουργίες .....                                       | 7         |
| 2.3.1 Δημιουργία ετικέτας και διανομή.....                       | 8         |
| 2.3.2 Δημιουργία πίνακα .....                                    | 8         |
| 2.3.3 Δημιουργία LSPs .....                                      | 9         |
| 2.3.4 Εισαγωγή ετικέτας και διαδικασία εύρεσης στον πίνακα. .... | 9         |
| 2.3.4 Προώθηση πακέτου .....                                     | 9         |
| 2.4 RSVP-TE πρωτόκολλο κατανομής ετικετών.....                   | 10        |
| 2.5 Πλεονεκτήματα του MPLS – Συμπεράσματα.....                   | 10        |
| <b>Κεφάλαιο 3 .....</b>                                          | <b>12</b> |
| <b>Θεωρητική περιγραφή του Mobile IPv4 .....</b>                 | <b>12</b> |
| 3.1 Εισαγωγή.....                                                | 12        |
| 3.2 Ορισμοί.....                                                 | 12        |
| 3.4 Λειτουργίες του Mobile IPv4 πρωτόκολλου.....                 | 13        |
| <b>Κεφάλαιο 4.....</b>                                           | <b>16</b> |
| <b>Θεωρητική περιγραφή του Mobile IPv6 .....</b>                 | <b>16</b> |
| 4.1 Εισαγωγή.....                                                | 16        |
| 4.2 Λειτουργίες του MIPv6 πρωτόκολλου.....                       | 17        |
| 4.3 Διαφορές του MIPv6 σε σχέση με το MIPv4.....                 | 19        |
| <b>Κεφάλαιο 5.....</b>                                           | <b>20</b> |
| <b>Θεωρητική περιγραφή του Hierarchical Mobile IPv6 .....</b>    | <b>20</b> |
| 5.1 Εισαγωγή.....                                                | 20        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2 Ορισμοί.....                                                                  | 21        |
| 5.3 Νέα οντότητα Mobile Access Router (MAP) .....                                 | 21        |
| 5.4 Λειτουργίες του HMIPv6 πρωτοκόλλου.....                                       | 22        |
| <b>Κεφάλαιο 6 .....</b>                                                           | <b>24</b> |
| <b>Θεωρητική περιγραφή του Fast Handoff Mobile IPv6 .....</b>                     | <b>24</b> |
| 6.1 Εισαγωγή.....                                                                 | 24        |
| 6.2 Ορισμοί.....                                                                  | 25        |
| 6.3 Λειτουργίες του Fast handoff MIPv6 πρωτοκόλλου.....                           | 26        |
| <b>Κεφάλαιο 7 .....</b>                                                           | <b>28</b> |
| <b>Θεωρητική περιγραφή του Fast Handoff για το Hierarchical Mobile IPv6 .....</b> | <b>28</b> |
| 7.1 Εισαγωγή.....                                                                 | 28        |
| 7.2 Ορισμοί.....                                                                  | 29        |
| 7.3 Απλή σύνδεση FMIPv6 και HMIPv6 πρωτόκολλων .....                              | 29        |
| 7.4 Αρχιτεκτονική του F-HMIPv6 .....                                              | 29        |
| 7.5 Βελτιστοποίηση της ροής δεδομένων στο F-HMIPv6 .....                          | 30        |
| 7.6 Λειτουργίες του F-HMIPv6 Πρωτοκόλλου .....                                    | 31        |
| <b>Κεφάλαιο 8 .....</b>                                                           | <b>33</b> |
| <b>Περιβάλλον Προσομοίωσης NS2 .....</b>                                          | <b>33</b> |
| 8.1 Εργαλείο προσομοίωσης Ns (Network Simulation) .....                           | 33        |
| 8.2 NAM.....                                                                      | 34        |
| 8.3 IP Node στον NS .....                                                         | 34        |
| 8.4 Mobile IP Node στον NS .....                                                  | 36        |
| 8.5 Wireless Node στον NS.....                                                    | 38        |
| 8.6 MPLS node στον NS .....                                                       | 40        |
| 8.7 Ιεραρχικό MPLS στον NS.....                                                   | 42        |
| 8.8 Mobile IP base station με MPLS υποστήριξη .....                               | 44        |
| 8.9 NOAH .....                                                                    | 45        |
| 8.10 Πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητα στον Ns .....                            | 46        |
| 8.10.1 Γενικές λειτουργίες.....                                                   | 46        |
| 8.10.2 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου MIP στον Ns .....                                | 47        |
| 8.10.3 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου FMIP στον Ns .....                               | 48        |

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.10.4 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου HMIP στον Ns .....                      | 49         |
| 8.10.5 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου FHMIP στον Ns .....                     | 49         |
| <b>Κεφάλαιο 9 .....</b>                                                  | <b>51</b>  |
| <b>Υλοποίηση προσομοιωτών .....</b>                                      | <b>51</b>  |
| 9.1 Εισαγωγή .....                                                       | 51         |
| 9.2 Λεπτομέρειες υλοποίησης σεναρίων .....                               | 53         |
| 9.3 Υλοποίηση σεναρίων σε MPLS κόμβους .....                             | 57         |
| <b>Κεφάλαιο 10 .....</b>                                                 | <b>60</b>  |
| <b>Πειραματικά αποτελέσματα, Σύγκριση και Συμπεράσματα .....</b>         | <b>60</b>  |
| 10.1 Εισαγωγή .....                                                      | 60         |
| 10.2 Επεξήγηση των trace files .....                                     | 61         |
| 10.3 Ανάλυση trace files .....                                           | 62         |
| 10.3.1 Μετρική ποσοστό χαμένων πακέτων .....                             | 63         |
| 10.3.2 Μετρική καθυστέρηση από άκρο σε άκρο .....                        | 64         |
| 10.3.2 Μετρική ρυθμοαπόδοσης .....                                       | 66         |
| 10.3.4 Μετρική καθυστέρησης των handoff .....                            | 67         |
| 10.4 Παρουσίαση και Ανάλυση αποτελεσμάτων .....                          | 68         |
| 10.4.1 Αποτελέσματα μετρικής μέσου όρου καθυστέρησης από άκρο σε άκρο .. | 68         |
| 10.4.2 Αποτελέσματα μετρικής ποσοστού χαμένων πακέτων .....              | 73         |
| 10.4.3 Αποτελέσματα μετρικής ρυθμοαπόδοσης .....                         | 75         |
| 10.4.3 Αποτελέσματα μετρικής καθυστέρησης των handoff .....              | 77         |
| 10.4.4 Αποτελέσματα μετρικών με μεγαλύτερο ρυθμό αποστολής δεδομένων ..  | 79         |
| 10.5 Επιλογή της βέλτιστης λύσης .....                                   | 81         |
| 10.6 Συμπεράσματα .....                                                  | 81         |
| 10.8 Μελλοντική εργασία .....                                            | 82         |
| <b>Παράρτημα Α .....</b>                                                 | <b>A-1</b> |
| <b>Ενσωμάτωση του HMPLS και Διαχείρισης Κινητικότητας .....</b>          | <b>A-1</b> |
| A.1 Εισαγωγή του HMPLS στον ns2.31 .....                                 | A-1        |
| A.2 Εισαγωγή του FHMIP στον ns2.31 .....                                 | A-1        |
| A.2.1 Διορθώσεις στον κώδικα υλοποίησης των πρωτοκόλλων .....            | A-2        |
| <b>Παράρτημα Β .....</b>                                                 | <b>B-1</b> |
| <b>Bash Script για την ανάλυση των αποτελεσμάτων .....</b>               | <b>B-1</b> |

|                                                                      |          |
|----------------------------------------------------------------------|----------|
| B.1 Bash Script για την μετρική ποσοστού χαμένων πακέτων .....       | B-1      |
| B.2 Bash Script για την μετρική μέσου όρου καθυστέρησης .....        | B-2      |
| B.3 Bash Script για την μετρική ρυθμοαπόδοσης.....                   | B-4      |
| B.4 Bash Script για την μετρική καθυστέρησης εκτέλεσης handoff ..... | B-5      |
| <b>Βιβλιογραφία .....</b>                                            | <b>1</b> |

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

---

|                                                            |   |
|------------------------------------------------------------|---|
| 1.1 Ορισμός του προβλήματος.....                           | 1 |
| 1.2 Σκοπός της εργασίας.....                               | 2 |
| 1.3 Προηγούμενη ερευνητική εργασία σε σχετικά θέματα ..... | 2 |

---

### 1.1 Ορισμός του προβλήματος

Τα περισσότερα τοπικά δίκτυα σε εταιρίες, πανεπιστήμια, καφετερίες παρέχουν ασύρματη σύνδεση με το διαδίκτυο. Πρωταρχική ανάγκη για τους κινητούς αυτούς κόμβους είναι η εξασφάλιση της συνεχούς επικοινωνίας με άλλους κόμβους χωρίς καθυστερήσεις και χάσιμο πακέτων. Παρόλα αυτά στην περίπτωση που ο κινητός κόμβος μετακινηθεί και συνδεθεί με άλλο Base Station, δημιουργούνται ανεπιθύμητα προβλήματα.

Η ανάγκη για εξασφάλιση αποδοτικής διαχείρισης κινητικότητας έγινε η ώθηση για αρκετές έρευνες και μελέτες. Για τον σκοπό αυτό έχουν προταθεί αρκετά πρωτοκόλλα. Τα πρωτόκολλα Fast Handoff Hierarchical Mobile IP (FHMIP)<sup>1</sup>, Fast Handoff Mobile IP (FMIP)<sup>2</sup>, Hierarchical Mobile IP (HMIP)<sup>3</sup>, Mobile IP (MIP)<sup>4</sup> έχουν αναγνωριστεί από την κοινότητα Internet Engineering Task Force και θα χρησιμοποιηθούν για σκοπούς σύγκρισης. Το μειονέκτημα αυτών των πρωτοκόλλων είναι ότι βασίζονται σε δίκτυο με δρομολόγηση βάση της IP διεύθυνσης περιορίζοντας έτσι την αποδοτικότητά τους.

## 1.2 Σκοπός της εργασίας

Η εύρεση λύσης με αποδοτική διαχείριση της κινητικότητας είναι το έναυσμα αυτής της διπλωματικής εργασίας. Μελετώντας την ερευνητική εργασία που έχει γίνει στον τομέα αυτό έχουμε διαπιστώσει πως η εισαγωγή της τεχνολογία δικτύου MPLS<sup>5</sup> δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με ένα δίκτυο που αποτελείται από IP κόμβους. Καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως ο συνδυασμός ενός από τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα σε MPLS domain θα αντιμετωπίσει τους περιορισμούς που θέτονται από ένα IP domain.

Ο καλύτερος τρόπος για αξιολόγησης μια λύσης πριν την εφαρμογή της στην πραγματικότητα είναι η προσομοίωση. Το εργαλείο NS (Network Simulation)<sup>6</sup> περιέχει τα γνωστότερα διαδικτυακά πρωτόκολλα, πρωτόκολλα εφαρμογών, προσομοιώσεις διαχείρισης ορών και δρομολόγησης. Επόμενος δημιουργήθηκαν διάφορες προσομοιώσεις δικτύου που συνδυάζουν κάθε φορά ένα από τα πρωτόκολλα FHMP, FMIP, HMIP και MIP με μια από τις τεχνολογίες δικτύου IP και MPLS. Η σύγκριση και επιλογή ενός συνδυασμού πρωτοκόλλου διαχείρισης κινητικότητας με τεχνολογία δικτύου στηρίχτηκε σε αποτελέσματα συγκριμένων μετρικών (καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, χάζισμο πακέτων, ρυθμοαπόδοση και καθυστέρηση handoff).

## 1.3 Προηγούμενη ερευνητική εργασία σε σχετικά θέματα

Η μελέτη των πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικών δεν περιορίστηκε σε Internet Draft, αλλά και σε άρθρα που προτείνουν λύσεις για αποδοτικότερη διαχείριση κινητικότητας συνδυάζοντας την αρχιτεκτονική MPLS. Μερικά από τα άρθρα παρουσιάζουν αποτελέσματα από προσομοιώσεις που έχουν δημιουργηθεί για τον σκοπό αυτόν στο NS. Συνοπτικά στα ακόλουθα έχω δώσει περισσότερη σημασία.

- **“Micro mobile MPLS protocol in next generation wireless access networks”**, Rami Langar Gwendal Le Grand, Sami Tohme<sup>7</sup>

Στο άρθρο αυτό προτείνεται ένα συνδυασμό του πρωτοκόλλου Mobile IP και της τεχνολογίας MPLS. Με το πρωτόκολλο αυτό είναι δυνατή η αποδοτική κινητικότητα των κόμβων μέσα στο domain (τοπικά). Η αποδοτικότητα του πρωτοκόλλου οφείλεται στην τεχνολογία MPLS.

Με το εργαλείο NS έχει δημιουργηθεί προσομοίωση αυτού του πρωτοκόλλου. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποίησαν τα μετρίσιμα στοιχεία “packet loss” και “handoff delay” και συγκρίνανε τα αποτελέσματα με αυτά των micro-mobility πρωτοκόλλων Cellular, Hawaii και Mobile IP Regional Registration. Με την γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων έχει φανεί ότι το Micro Mobile MPLS δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις.

- **“Fast handoff process in Micro Mobile MPLS protocol for Micro-Mobility Management in Next Generation Networks”**, Rami Langar Gwendal Le Grand, Sami Tohme<sup>8</sup>

Το άρθρο αυτό προτείνει ένα συνδυασμός του πρωτοκόλλου Mobile IP και της τεχνολογίας MPLS. Με την πρόταση αυτή είναι δυνατή η αποδοτική κινητικότητα των κόμβων μέσα στο domain (τοπικά) καθώς και για “fast handoff”. Η τοπολογία και η διαδικασίες που εκτελούνται είναι ίδιες με αυτές του micro mobility MPLS. Για την επίτευξη του “fast handoff” γίνεται εγκαθίδρυση μονοπατιού (LSP) πριν ο κινητός κόμβος κινηθεί προς το νέο Foreign Network ή Foreign Domain.

Για το πρωτόκολλο αυτό έχει δημιουργηθεί προσομοίωση στον Ns. Η αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου στηρίζεται στα μετρίσιμα στοιχεία “handoff delay” και “average packet loss”. Χρησιμοποιώντας δυο σενάρια το πρώτο με συμφόρηση και το δεύτερο χωρίς, συγκρίνοντας τα με τα πρωτοκολλά Cellular, Hawaii και Mobile IP Regional Registration κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- ο Στο σενάριο που υπήρχε traffic παρατηρήθηκε πώς με το πρωτόκολλο αυτό έχουμε μείωση στο χάσιμο πακέτων και βελτίωση της καθυστέρηση λόγω handoff.

- ο Στο σενάριο που είχαμε traffic, η χρήση εγκαθίδρυση μονοπατιών πριν ο MH κινηθεί στον νέο δίκτυο ή domain επιτρέπει στο πρωτόκολλο να κάνει Fast Handover και μείωση στο χάσιμο πακέτων ανά handoff.

- **“An Effective Integration of Hierarchical Cellular And Hierarchical Mobile MPLS”**, Xingchuan Yuan, Qing-ping Wang, Qing-chun Yu, Li shan Kang, Yuping Chen<sup>9</sup>

Το άρθρο αυτό παρουσιάζει μια αποδοτική συνένωση του Hierarchical Cellular και Hierarchical Mobile MPLS τα οποία συνενώνουν το wireless cell με το wire cell. Η ιδέα αυτού του άρθρου είναι να χρησιμοποιήσουν το wire transmissions ακόμη και όταν είναι απαραίτητο το wireless transmissions. Η πρόταση αυτή βελτιώνει το end-to-end delay αλλά δεν επηρεάζει το throughput.

Για να πετύχουν fast handover προτείνεται πώς ο MN θα αναγνωρίσει ότι έχει αλλάξει domain χρησιμοποιεί τα macro cell για να λάβει πακέτα από τον παλιό FA και παράλληλα εγκαθιδρύεται μονοπάτι (LSP) από τον καινούργιο FA στο FDA(domain agent) έτσι μόλις δεν έχει μηνύματα να λάβει από το παλιό FA αποδεσμεύει το macro cell και χρησιμοποιεί το pre-establish LSP.

- **“Wireless MPLS: A new Layer 2.5 Micro-mobility Schema”**, Kaouthar Sethom, Hossam Afifi, Guy Pujolle<sup>10</sup>

Η πρόταση αυτού το άρθρου επικεντρώνεται στην λύση προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα προτεινόμενα πρωτοκολλά για micro-mobility. Συγκριμένα προτείνει λύσεις για τα ακόλουθα:

- ο Signalling overhead
- ο Foreign network detection and reconfiguration

Η ονομαζόμενη λύση layer 2.5 mobility υποστηρίζει fast handover βασισμένη στον μηχανισμό προώθησης MPLS και στο virtual architecture: W-MPLS. Επίσης δίνει την δυνατότητα να παροχής QoS μέσω traffic engineering.

- **Supporting Mobility Events within a Hierarchical Mobile IP-over-MPLS Network**, Vasos Vassiliou and Andreas Pitsillides<sup>11</sup>

Το άρθρο αυτό εξετάζει τα γεγονότα κινητικότητας και ιδιαίτερα τα handover σε overlay περιβάλλον, όπου το Ιεραρχικό MPLS λειτουργεί πάνω από MPLS δίκτυο. Εξετάζει σε λεπτομέρεια τις λειτουργίες του intra και inter handover κάτω από δύο σενάρια. Επιπλέον βελτιώνει τις υπάρχων μεθόδους του MIP-MPLS καθορίζοντας μια απλή δομή βασισμένης στο Hierarchical Mobile Ipv6, και κατά δεύτερο σκιαγραφεί τις σχεδιαστικές πτυχές του πρωτοκόλλου.

# Κεφάλαιο 2

## Θεωρητική περιγραφή του MPLS

---

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 2.1 Εισαγωγή.....                              | 6  |
| 2.2 Ορισμοί .....                              | 6  |
| 2.3 MPLS λειτουργίες.....                      | 7  |
| 2.4 RSVP-TE πρωτόκολλο κατανομής ετικετών..... | 10 |
| 2.5 Πλεονεκτήματα του MPLS – Συμπεράσματα..... | 10 |

---

### 2.1 Εισαγωγή

MPLS<sup>5</sup>, δηλαδή Multi-protocol Label Switching. Το MPLS είναι μια τεχνολογία που έχει καθοριστεί από την IETF (Internet Engineering Task Force) και προσβλέπει στον αποδοτικό προσδιορισμό, δρομολόγηση, προώθηση, και μεταγωγή της ροής της κυκλοφορίας μέσα στο δίκτυο. Τα σημερινά δίκτυα υποφέρουν από προβλήματα ταχύτητας, επεκτασιμότητας, διαχείρισης ποιότητας υπηρεσιών και διαχείριση κινητικότητας μηνυμάτων. Το MPLS παρουσιάστηκε ως ευπροσάρμοστη λύση για τα προβλήματα αυτά. Το σημαντικό σε αυτή την αρχιτεκτονική είναι ότι μπορεί να υπάρξει πάνω από οποιοδήποτε τύπο επιπέδου δικτύου (IP, ATM, frame relay) γι’ αυτό και το όνομα του περιέχει την λέξη “Multiprotocol”.

### 2.2 Ορισμοί

Για την κατανόηση της λειτουργίας του MPLS, δίνω σε συντομία κάποιους από τους ποίο σημαντικούς ορισμούς που χρησιμοποιούνται σε ένα MPLS δίκτυο.

**MPLS network** – δίκτυο το οποίο αποτελείται από δρομολογητές που υποστηρίζουν MPLS

**Label Switch Router (LSR)** – είναι ο δρομολογητής που υποστηρίζει MPLS

**Edge Label Switch Router** – είναι δρομολογητής που ενώνεται με δρομολογητές που δεν υποστηρίζουν MPLS. Βρίσκεται στο άκρο το δικτύου MPLS.

**Ingress Label Switch Router** – είναι δρομολογητής που ενώνεται με δρομολογητές που δεν υποστηρίζουν MPLS. Βρίσκεται στο άκρο το δικτύου MPLS, στο σημείο που το πακέτο μπαίνει σε MPLS δίκτυο.

**Forwarding Equivalent Class (FEC)** – είναι μια ομάδα πακέτων που απαιτεί παρόμοια διαχείριση.

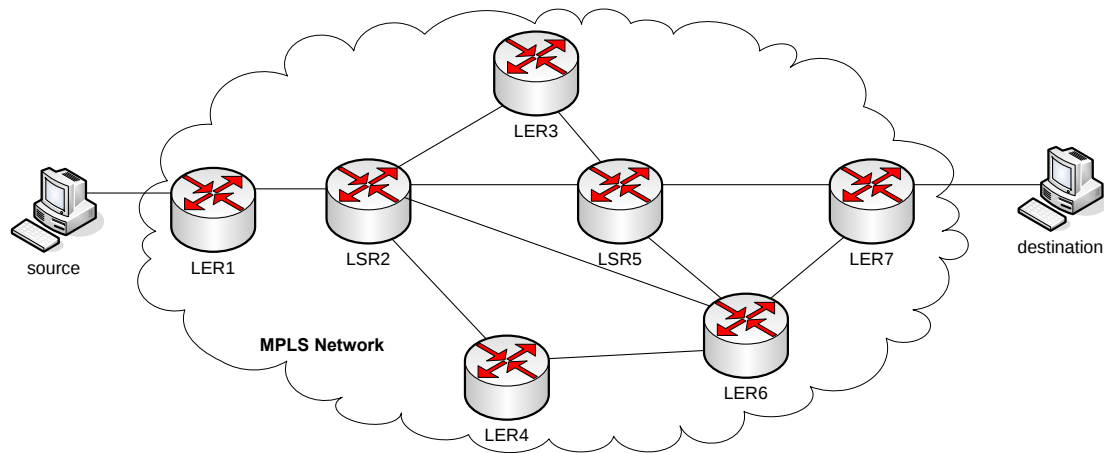
**Label** – είναι μια αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει ένα FEC.

**Label Switching Path (LSP)** – είναι ολοκληρωμένο μονοπάτι που σχετίζει εισερχόμενα πακέτα που έχουν ετικέτα με κάποια εξερχόμενη ενέργεια.

**Label Distribution Protocol** – το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για να κατανέμει τις ετικέτες μεταξύ των LSRs.

## 2.3 MPLS λειτουργίες

Η αρχιτεκτονική MPLS προσβλέπει στον αποδοτικό προσδιορισμό, δρομολόγηση, προώθηση, και μεταγωγή της ροής της κυκλοφορίας μέσα στο δίκτυο. Ο στόχος της επιτυγχάνεται με της λειτουργίες που εκτελούνται στα πακέτα που εισέρχονται σε ένα MPLS δίκτυο. Τα βήματα που ακολουθούνται αναλύονται στην συνέχεια και αναφέρονται στην Εικόνα 1.1.



**Εικόνα 2.1 Διάγραμμα δικτύου MPLS**

### 2.3.1 Δημιουργία ετικέτας και διανομή

- Πριν οποιαδήποτε μεταφορά πακέτων ξεκινήσει, οι δρομολογητές παίρνουν την απόφαση να δεσμεύσουν μια ετικέτα και να δημιουργήσουν τους πίνακες τους. Η δέσμευση μια ετικέτας συνδέεται με ένα συγκεκριμένο FEC. Οι downstream δρομολογητές ξεκινούν διανομή ετικετών και δέσμευση ετικέτας/FEC.
- Για τα σήματα που στέλνονται για το LDP πρωτόκολλο εγκαθιδρύεται TCP σύνδεση. Τα χαρακτηριστικά σχετικά με την κίνηση των μηνυμάτων και δυνατότητες του MPLS διαβιβάζονται χρησιμοποιώντας το LDP πρωτόκολλο.

### 2.3.2 Δημιουργία πίνακα

- Όταν τα LSR λαμβάνουν label binding δημιουργούν εγγραφές στο Label Information Base (LIB).
- Στα περιεχόμενα του πίνακα θα καθορίζεται η σύνδεση μεταξύ της ετικέτας και του FEC, συγκεκριμένα η εγγραφή του LIB περιέχει input port, input label με output port, output label
- Οι εγγραφές αυτές ανανεώνονται όποτε έχουμε επανά-διαβίβαση πακέτων.

### 2.3.3 Δημιουργία LSPs

- Η δημιουργία του LSP γίνεται στην αντίθετη κατεύθυνση της εισαγωγής εγγραφών στο πίνακα LIB.

### 2.3.4 Εισαγωγή ετικέτας και διαδικασία εύρεσης στον πίνακα.

- Ο δρομολογητής LER1 χρησιμοποιεί το LIB πίνακα για βρει τον επόμενο κόμβο για ένα συγκεκριμένο FEC
- Οι επόμενοι κόμβοι απλά χρησιμοποιούν την ετικέτα για να βρουν τον επόμενο δρομολογητή.
- Μόλις το πακέτο φτάσει στο egress LER7, η ετικέτα απομακρύνεται από το πακέτο και το πακέτο μεταφέρεται στο προορισμό ανάλογα με το routing protocol που χρησιμοποιείται από τον επόμενο κόμβο.

### 2.3.4 Προώθηση πακέτου

- Ο LER1 δρομολογητής αν δεν έχει εγγραφή στο πίνακα LIB για ένα συγκεκριμένο FEC τότε στέλνει label request στον επόμενος κόμβο (LSR2)
- Το αίτημα μεταδίδεται στο δίκτυο από τον LER1 στο LER7
- Κάθε δρομολογητής ξεχωριστά λαμβάνει ένα label από τον downstream κόμβο. Η εγκαθίδρυση του LSP γίνεται χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο σηματοδότησης.
- LER1 θα εισάγει την εγγραφή στον πίνακα και θα προωθήσει το πακέτο στο LSR2
- Κάθε δρομολογητής με την σειρά του θα ελέγξει το label βάση του πίνακα LIB και θα βρει τον επόμενο δρομολογητή του μονοπατιού. Πριν το προωθήσει αντικαθιστά το label με το αντίστοιχο output label.

- Όταν ο LER7 παραλάβει το μήνυμα θα μετακινήσει το label από το πακέτο επειδή βγαίνει από το MPLS domain και θα το προωθήσει στο προορισμό (βάση της Εικόνας 2.1).

## 2.4 RSVP-TE πρωτόκολλο κατανομής ετικετών

Το RSVP-TE<sup>12</sup> πρωτόκολλο είναι μια προσθήκη στο πρωτόκολλο RSVP (Resource Reservation Protocol) για την εγκαθίδρυση των LSP σε MPLS δίκτυο. Υποστηρίζει την εγκαθίδρυση συγκεκριμένων διαδρομών, με ή χωρίς κράτηση πόρων.

Το RSVP-TE καθορίζει ένα session ως μια ροή δεδομένων με ένα συγκεκριμένο προορισμό και πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου. Ο κόμβος εισόδου του LSP χρησιμοποιεί ένα αριθμό από μεθόδους για να διαπιστώσει ποια πακέτα προσδιορίζουν μια συγκεκριμένη ετικέτα. Όταν μια ετικέτα ανατίθεται σε ένα σύνολο από πακέτα, τότε η ροή του LSP καθορίζεται αποδοτικά.

## 2.5 Πλεονεκτήματα του MPLS – Συμπεράσματα

Η επιλογή του MPLS για την αρχιτεκτονική του σώματος του δικτύου στηρίζεται στα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με την συνηθισμένη προώθηση από IP κόμβους:

- Η προώθηση των πακέτων με MPLS μπορεί να γίνει με switches τα οποία:
  - ο Είναι ικανά για έλεγχο των ετικετών και αντικατάσταση αλλά είτε δεν είναι ικανά για ανάλυση της επικεφαλίδας του επιπέδου δικτύου ή δεν είναι ικανά για ανάλυση της επικεφαλίδας του επιπέδου δικτύου με ικανοποιητική ταχύτητα.
- Από την στιγμή που ένα πακέτο αναθέτεται σε ένα FEC όταν εισάγετε στο δίκτυο ο δρομολογητής εισόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον καθορισμό της ανάθεσης οποιασδήποτε πληροφορίας είναι σχετική με το πακέτο, ακόμη και αν αυτή η πληροφορία δεν μπορεί να συλλέγει από την επικεφαλίδα του επιπέδου δικτύου.

- ο Για παράδειγμα πακέτα που φτάνουν σε διαφορετικά ports μπορεί να ανατεθούν σε διαφορετικά FEC. Στην συνηθισμένη προώθηση IP, μπορεί να μελετήσει πληροφορίες που βρίσκονται μόνο στην επικεφαλίδα του πακέτου.
- Ένα πακέτο που εισάγετε στο δίκτυο από ένα συγκεκριμένο δρομολογητή μπορεί να πάρει ετικέτα διαφορετική από ένα ίδιο πακέτο που εισάγετε στο δίκτυο από διαφορετικό δρομολογητή, και ως αποτέλεσμα αποφάσεις προώθησης που εξαρτιούνται από τον δρομολογητή εισόδου μπορούν να γίνουν εύκολα. Αυτό δεν μπορεί να γίνει με συνηθισμένη προώθηση, από την στιγμή που η αναγνώριση από τον δρομολογητή εισόδου δεν ταξιδεύει με το πακέτο.
- Οι αιτίες που καθορίζουν πως το πακέτο αναθέτετε σε ένα FEC μπορεί να γίνουν πολύ πολύπλοκοι, χωρίς καμία επιρροή σε δρομολογητές που προωθούν πακέτα με ετικέτα.
- Κάποιες φορές είναι επιθυμητό ένα πακέτο να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη διαδρομή που είναι επιλεγμένη ρητά πριν ή την στιγμή που το πακέτο εισάγετε στο δίκτυο, λόγο πολιτικής ή για υποστήριξη traffic engineering. Με την συνηθισμένη προώθηση αυτό απαιτεί το πακέτο να μεταφέρει μια κωδικοποίηση κατά μήκος της διαδρομής αυτής (“source routing”). Στο MPLS, η ετικέτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει την διαδρομή, έτσι και η αναγνώριση της ρητής διαδρομής δεν χρειάζεται να μεταφέρετε.

# Κεφάλαιο 3

## Θεωρητική περιγραφή του Mobile IPv4

---

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 3.1 Εισαγωγή.....                                 | 12 |
| 3.2 Ορισμοί .....                                 | 12 |
| 3.4 Λειτουργίες του Mobile IPv4 πρωτόκολλου ..... | 13 |

---

### 3.1 Εισαγωγή

Το πρωτόκολλο κινητικότητας MIPv4<sup>13</sup> καθορίζει τις επεκτάσεις που έχουν γίνει στο IPv4 για να υπάρχει ξεκάθαρη δρομολόγηση IP διαγραμμάτων σε κινητό κόμβο στο Internet. Συγκεκριμένα το MIPv4 παρέχει ένα μηχανισμό που επιτρέπει στον κινητό κόμβο να αλλάζει το σημείο σύνδεσης αλλά όχι την IP διεύθυνση.

Όταν βρίσκεται μακριά από το home δίκτυο, ο κινητός κόμβος είναι επίσης συνδεδεμένος με την care-of-address διεύθυνση, η οποία παρέχει πληροφορίες για το τρέχον σημείο σύνδεσης στο Internet. Το πρωτόκολλο παρέχεται για να εγγραφεί την CoA με τον home agent. Ο home agent στέλνει διαγράμματα που προορίζονται για τον κινητό κόμβο μέσω ενός τούνελ που καταλήγει στο τρέχον CoA του.

### 3.2 Ορισμοί

**Mobile Node**, ένας κόμβος ή δρομολογητής που αλλάζει το σημείο σύνδεσης από έναν δίκτυο ή υπό-δίκτυο σε άλλο.

**Home Agent**, ο δρομολογητής στο home δίκτυο του κινητού κόμβου ο οποίος διαβιβάζει μέσω τούνελ τα διαγράμματα που προορίζονται για τον κινητό κόμβο όταν αυτός είναι σε ξένο δίκτυο. Διατηρεί την πληροφορία της τρέχων τοποθεσία του κινητού κόμβου.

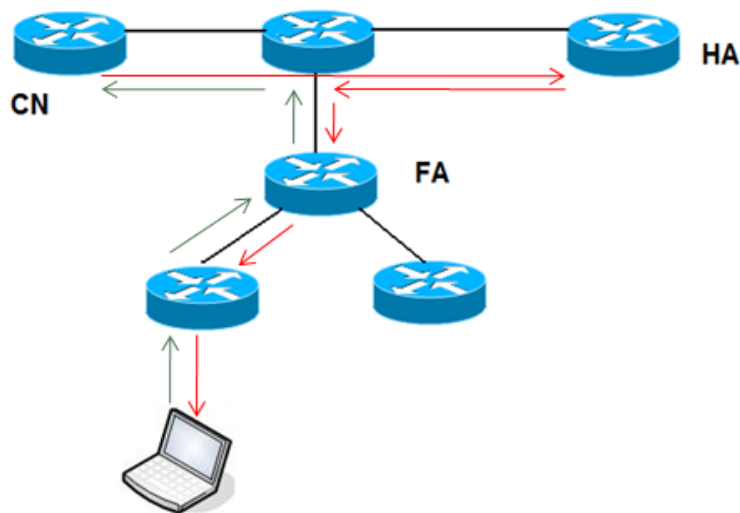
**Foreign Agent**, ο δρομολογητής στο δίκτυο που επισκέπτεται ο κινητός κόμβος ο οποίος παρέχει υπηρεσίες δρομολόγησης στον κινητό κόμβο κατά την διάρκεια που είναι καταχωρημένος. Ο foreign agent παραλαμβάνει τα διαγράμματα που αποστέλλονται από τον home agent και τα παραδίδει στον κινητό κόμβο. Για τα μηνύματα που στέλνονται από τον κινητό κόμβο, ο foreign agent μπορεί να εξυπηρετεί ως προκαθορισμένος δρομολογητής για καταγραμμένους κινητούς κόμβους.

**Care-of-address**, όταν ο κινητός κόμβος είναι μακριά από το home δίκτυο αυτή η διεύθυνση είναι το σημείο τερματισμού του τούνελ στο οποίο προωθούνται τα διαγράμματα. Το MIPv4 χρησιμοποιεί δύο τύπους CoA:

- **Foreign agent CoA**, διεύθυνση του foreign agent με τον οποίο είναι καταχωρημένος ο κινητός κόμβος
- **Co-located CoA**, είναι μια τοπική διεύθυνση που είναι σχετισμένη με ένα από τα network interface του κινητού κόμβου.

### 3.4 Λειτουργίες του Mobile IPv4 πρωτοκόλλου

Για την εκτέλεση του πρωτοκόλλου απαιτείτε η ανταλλαγή κάποιων μηνυμάτων μεταξύ του κινητού κόμβου και του Home Agent, αλλά και μεταξύ του κινητού κόμβου και του Foreign Agent. Για καλύτερη κατανόηση της ροής των πακέτων δίνεται η Εικόνα 3.1



**Εικόνα 3.1 Ροή πακέτων όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται εκτός του Home network**

Τα BS διαφημίζουν την παρουσία τους μέσω «**Agent Advertisement**» μηνύματα. Ένας κινητός κόμβος μπορεί επιλεκτικά να ζητήσει Agent Advertisement μήνυμα από οποιαδήποτε BS μέσω «**Agent Solicitation**» μήνυμα. Μέσω των Agent Advertisement μηνυμάτων ο κινητός κόμβος εντοπίζει εάν βρίσκεται σε home ή σε foreign δίκτυο.

Όταν ο κινητός κόμβος εντοπίσει πώς βρίσκεται στο home network, ενεργεί χωρίς υπηρεσίες κινητικότητας. Εάν επιστρέψει στο home network από κάπου αλλού που ήταν καταχωρημένος τότε ο κινητός κόμβος διαγράφει την εγγραφή του με τον home agent μέσω ανταλλαγής «**Registration Request**» και «**Registration Reply**» μηνυμάτων.

Όταν ο κινητός κόμβος εντοπίσει πώς έχει μετακινηθεί σε ένα ξένο δίκτυο, τότε αποκτά μια care-of-address. Η care-of-address μπορεί να καθοριστεί από διαφημίσεις των foreign agents, ή κάποιο εξωτερικό μηχανισμό ανάθεσης όπως το DHCP (για co-located care-of-address)

Όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται εκτός του home network μέσω ανταλλαγής Registration Request και Registration Reply μηνυμάτων ενημερώνει για την νέα care-of-address τον home agent.

Τα διαγράμματα που στέλνονται στην home διεύθυνση του κινητού κόμβου προωθούνται από τον home agent μέσω του τούνελ στο care-of-address του κινητού κόμβου, παραλαμβάνονται στο τέλος του τούνελ από τον foreign agent και παραδίδονται στο κινητό κόμβο.

Με την αντίστροφη διαδικασία τα διαγράμματα στέλνονται από τον κινητό κόμβο χρησιμοποιώντας IP μηχανισμό δρομολόγησης, η μετάβαση μέσω του home agent δεν είναι απαραίτητη.

# Κεφάλαιο 4

## Θεωρητική περιγραφή του Mobile IPv6

---

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 4.1 Εισαγωγή.....                                 | 16 |
| 4.2 Λειτουργίες του MIPv6 πρωτόκολλου .....       | 17 |
| 4.3 Διαφορές του MIPv6 σε σχέση με το MIPv4 ..... | 19 |

---

### 4.1 Εισαγωγή

Το MIPv6<sup>4</sup> πρωτόκολλο επιτρέπει στους κόμβους να παραμένουν προσπελάσιμοι κατά την διάρκεια κίνησης τους στο IPv6 Internet. Κάθε κινητός κόμβος πάντα αναγνωρίζεται από το home address του, ανεξάρτητα από το τρέχον σημείο σύνδεσης του στο Internet. Από την στιγμή που βρίσκεται μακριά από το home network, ο κινητός κόμβος είναι συνδεδεμένος με μία care-of-address, η οποία παρέχει πληροφορίες σχετικές με την τρέχον τοποθεσία του κινητού κόμβου.

Το πρωτόκολλο επιτρέπει στους IPv6 κόμβους να αποθηκεύουν την home address με το care-of-address του κινητού κόμβου, ούτως ώστε οποιαδήποτε πακέτα προορίζονται για τον κινητό κόμβο να στέλνονται απευθείας στο care-of-address. Για να υποστηρίζεται αυτή η διαδικασία το Mobile IPv6 καθορίζει μια νέα επιλογή προορισμού (destination option). Όλοι οι IPv6 κόμβοι, είτε κινητοί είτε σταθεροί, μπορούν να επικοινωνήσουν με κινητούς κόμβους.

Το πρωτόκολλο Mobile IPv6 είναι κατάλληλο τόσο για κινητικότητα μεταξύ ομοιογενή μέσα όσο για κινητικότητα μεταξύ ετερογενή μέσα. Για παράδειγμα, το Mobile IPv6 διευκολύνει την κινητικότητα του κόμβου από ένα Ethernet segment σε ένα άλλο τόσο καλά όσο διευκολύνει την κινητικότητα κόμβου από Ethernet segment σε wireless LAN cell.

## 4.2 Λειτουργίες του MIPv6 πρωτόκολλου

Ένας κινητός κόμβος αναμένεται ότι θα είναι πάντα προσπελάσιμος από την home διεύθυνση του ανεξάρτητα αν βρίσκεται μακριά από το home δίκτυο.

Όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται μέσα στο home subnet τότε τα πακέτα που στέλνονται σε αυτό δρομολογούνται με το τυπικό Internet αλγόριθμο.

Όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται μακριά από το home subnet τότε είναι προσπελάσιμος με ένα ή περισσότερα care-of-address. Ο κινητός κόμβος μπορεί να αποκτήσει την care-of-address μέσω των τυπικών IPv6 μηχανισμών, όπως είναι το stateless και stateful auto-configuration.

Το διάστημα που ο κινητός κόμβος παραμένει σε εκείνη την τοποθεσία τα πακέτα που προορίζονται για την care-of-address θα δρομολογούνται στον κινητό κόμβο. Μπορεί επίσης ο κινητός κόμβος να παραλαμβάνει πακέτα από πολλές care-of-address όταν παρόλο που έχει κινηθεί σε άλλη ένωση είναι ακόμη προσπελάσιμος και από την προηγούμενη.

Η συσχέτιση μεταξύ του home address και του care-of-address του κινητού κόμβου ονομάζεται “**binding**”. Όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται μακριά από το home subnet κάνει καταγραφή της care-of-address με ένα δρομολογητή του home subnet, ζητώντας του να ενεργεί ως ο “**home agent**” του. Το binding registration γίνεται από τον κινητό κόμβο στέλνοντας “**Binding Update**” στον home agent. Ο home agent απαντά στο μήνυμα με “**Binding Acknowledgement**” μήνυμα.

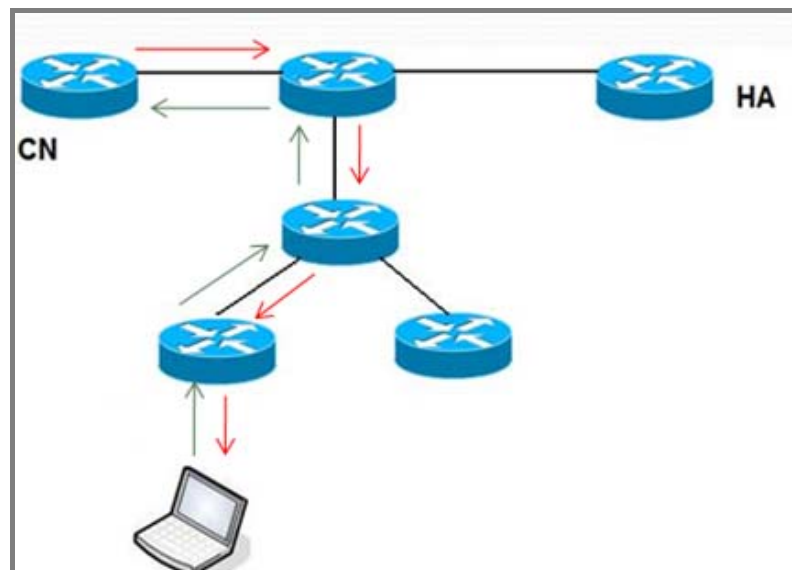
Ο κινητός κόμβος παρέχει πληροφορίες για την τρέχον τοποθεσία στον correspondent κόμβο. Αυτό συμβαίνει μέσω του “**correspondent registration**”. Ως μέρος αυτής της διαδικασίας εκτελείτε “**return routability**” έλεγχος για να εξουσιοδοτήσει την εγκαθίδρυση του binding.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για επικοινωνία μεταξύ correspondent και κινητού κόμβου.

- Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται “**bidirectional tunnelling**” με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζεται ο correspondent κόμβος να υποστηρίζει MIPv6 ούτε και ο

κινητός κόμβος να καταγράψει το τρέχων binding. Επομένως τα πακέτα που στέλνονται στον correspondent κόμβο αρχικά μεταφέρονται μέσω reverse tunnel στον home agent και έπειτα δρομολογούνται κανονικά στον correspondent κόμβο.

- Ο δεύτερος τρόπος ονομάζεται “**route optimization**” όπου ο κινητός κόμβος πρέπει να καταγράψει το τρέχων binding με τον correspondent κόμβο. Με αυτόν τον τρόπο τα πακέτα δρομολογούνται απευθείας στο care-of-address του κινητού κόμβου. Επομένως πριν ένας correspondent κόμβος στείλει πακέτα στον κινητό κόμβο ψάχνει στο binding cache για εγγραφή, όταν βρεθεί εγγραφή δρομολογεί το πακέτο στην care-of-address του κινητού κόμβου. Επιπλέον στο πακέτο που στέλνεται χρησιμοποιείται ένας νέος τύπος IPv6 routing header το οποίο μεταφέρει το επιθυμητό home address καθώς και στο μήνυμα που στέλνεται από τον κινητό κόμβο προσθέτετε ένα νέο destination option το “**home address**”. Η Εικόνα 4.1 παρουσιάζει την ροή των πακέτων που ανταλλάσσονται μεταξύ του κινητού κόμβου και CN όταν ακολουθείται η διαδικασία return routability.



**Εικόνα 4.1 Ροή μηνυμάτων με την διαδικασία “route optimization”**

Στο MIPv6 παρέχεται ο μηχανισμός “**dynamic home agent address discovery**”, επιτρέπει στον κινητό κόμβο να ανακαλύπτει δυναμικά την διεύθυνση του home

agent και όταν δεν βρίσκεται στο home subnet και με το “**mobile prefix discovery**”, μαθαίνει νέες πληροφορίες για το home subnet prefixes.

Με το route optimization επιτυγχάνεται δρομολόγηση των πακέτων από την συντομότερη διαδρομή, μείωση της συμφόρησης στον home link καθώς επίσης και στην περίπτωση προβλήματος σε οποιοδήποτε link ενώνει το home agent και κινητού κόμβου δεν θα επηρεάζει την επικοινωνία με άλλους κόμβους.

### 4.3 Διαφορές του MIPv6 σε σχέση με το MIPv4

Η σχεδίαση του Mobile IPv6 υποστηρίζεται από IPv6 δρομολογητές επομένως επωφελείται από τις εμπειρίες που αποκτήθηκαν από την ανάπτυξη του Mobile IPv4 και από τις ευκαιρίες που παρέχονται από το IPv6. Το Mobile IPv6 παρόλα αυτά μοιράζεται πολλά χαρακτηριστικά με το IPv4, ενσωματώθηκε στο IPv6 και προσφέρει πολλές άλλες βελτιώσεις. Οι διαφορές τους είναι οι ακόλουθες:

- Δεν χρειάζεται να ανατεθούν ξεχωριστοί δρομολογητές ως foreign agent. Το Mobile IPv6 ενεργεί σε κάθε τοποθεσία χωρίς ειδική υποστήριξη να απαιτείται από τον τοπικό δρομολογητή.
- Το route optimization στο Mobile IPv6 μπορεί να λειτουργήσει ασφαλισμένα χωρίς προηγούμενη διευθέτηση σχέσης ασφαλείας. Αναμένετε πώς η βελτιστοποίηση δρομολόγησης μπορεί να αναπτυχθεί σε μια σφαιρική κλίμακα μεταξύ όλων των κινητών κόμβων και των κόμβων που ανταποκρίνονται.
- Το Mobile IPv6 είναι αποσυνδεδεμένο από οποιοδήποτε συγκεκριμένο link layer, επειδή χρησιμοποιεί IPv6 Neighbor Discovery αντί του ARP. Αυτό επίσης βελτιώνει το ευρωστία του πρωτοκόλλου.
- Ο μηχανισμός dynamic home agent address discovery στο Mobile IPv6 επιστρέφει μια μονή απάντηση στον κινητό κόμβο.

# Κεφάλαιο 5

## Θεωρητική περιγραφή του Hierarchical Mobile IPv6

---

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 5.1 Εισαγωγή.....                                 | 20 |
| 5.2 Ορισμοί .....                                 | 21 |
| 5.3 Νέα οντότητα Mobile Access Router (MAP) ..... | 21 |
| 5.4 Λειτουργίες του HMIPv6 πρωτοκόλλου .....      | 22 |

---

### 5.1 Εισαγωγή

Το HMIPv6<sup>3</sup> είναι μια επέκταση του MIPv6 και του IPv6 Neighbour Discovery για να επιτρέπει διαχείριση τοπικής κινητικότητας. Η ιεραρχική διαχείριση κινητικότητας σχεδιάστηκε για να μειώσει την ποσότητα των σημάτων που στέλνονται από τον κινητού κόμβο στους Correspondent κόμβους και Home Agent και για να ελαττώσει την επιρροή του Mobile IPv6 ή άλλων πρωτοκόλλων. Η νέα οντότητα Mobility Anchor Point (MAP) που εισάγεται χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την απόδοση του Mobile IPv6 σε σχέση με την καθυστέρηση του handover.

Το Mobile IPv6 επιτρέπει στους κόμβους να κινούνται μέσα στην τοπολογία του διαδικτύου ενώ επικοινωνούν με του correspondent κόμβους. Για να είναι εφικτό, ο κινητός κόμβος στέλνει Binding Update στον Home Agent του και στους Correspondent κόμβους, κάθε φορά που κινείται. Τα Authenticating binding updates απαιτούν περίπου 1.5 round-trip time μεταξύ του κινητού κόμβου και κάθε correspondent node στην καλύτερη περίπτωση. Επιπρόσθετα, 1 round-trip time χρειάζεται για την ενημέρωση τον Home Agent (αυτό μπορεί να γίνει παράλληλα με την ενημέρωση των CN κόμβων). Αυτές οι round-trip καθυστερήσεις συμβαίνουν κάθε φορά που έχουμε handover με νέο Access Router. Επομένως περιορίζοντας αυτήν την επιπρόσθετη καθυστέρηση η επίδοση του Mobile IPv6 θα βελτιωθεί σημαντικά. Επιπλέον, στην περίπτωση των ασύρματων ενώσεων, μια τέτοια λύση μειώνει τον αριθμό των μηνυμάτων που στέλνονται μέσω «air interface» σε όλους

τους correspondent κόμβους και τον Home Agent. Το local anchor point θα επιτρέψει επίσης στο Mobile IPv6 να ωφεληθεί από την μειωμένη αποστολή σημάτων κινητικότητας με εξωτερικά δίκτυα.

## 5.2 Ορισμοί

**Access Router (AR)**, είναι ο προεπιλεγμένος δρομολογητής του κινητού κόμβου.

**Mobility Anchor Point (MAP)**, Ο Mobility Anchor Point είναι ένας δρομολογητής που βρίσκεται στο δίκτυο που επισκέπτεται ο κινητός κόμβος. Ο MAP χρησιμοποιείται ως ο τοπικός home agent. Μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι από ένας MAP στο επισκεπτόμενο δίκτυο.

**Regional Care-of-Address (RCoA)**, είναι η διεύθυνση που αποκτά ο κινητός κόμβος από το επισκεπτόμενο δίκτυο. Η RCoA είναι μια διεύθυνση από το MAP υποδίκτυο. Καθορίζεται αυτόματα από τον κινητό κόμβο όταν λάβει το MAP option.

**On-link Care-of-Address (LCoA)**, είναι η διεύθυνση που καθορίζει το interface του κινητού κόμβου βασισμένη στο “**prefix advertised**” από το προεπιλεγμένο δρομολογητή. Είναι η γνωστή Care-of-address.

**Local Binding Update**, ο κινητός κόμβος στέλνει Local Binding Update στον MAP για να εγκαθιδρύσει binding μεταξύ του RCoA και LCoA.

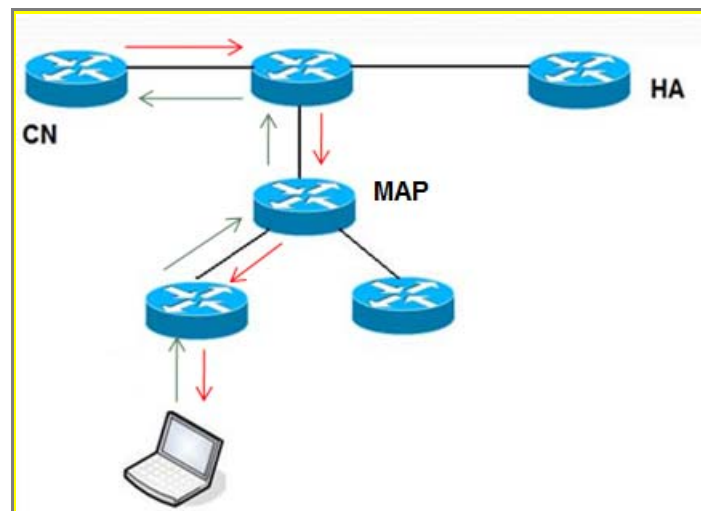
## 5.3 Νέα οντότητα Mobile Access Router (MAP)

Ο MAP κόμβος μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε επίπεδο του ιεραρχικού δικτύου από δρομολογητές, συμπεριλαμβανομένου των Access Routers. Αντίθετα από τους Foreign Agents στο IPv4, ο MAP δεν απαιτείται σε κάθε υποδίκτυο. Η οντότητα MAP θα μειώσει την ποσότητα των Mobile IPv6 σημάτων εκτός του τοπικού domain. Η εισαγωγή του MAP παρέχει μια λύση στις καθυστερήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως με το εξής τρόπο:

- Ο κινητός κόμβος στέλνει Binding Update στο τοπικό MAP αντί στο HA (που είναι τυπικά πιο μακριά) και CNs.
- Μόνο ένα μήνυμα Binding Update χρειάζεται να σταλεί από τον κινητό κόμβο στον HA και όλους τους CNs πριν την κίνηση μηνυμάτων για να ξανά δρομολογηθεί στην νέα του τοποθεσία. Αυτό είναι ανεξάρτητο από τον αριθμό των CN που ο κινητός κόμβος επικοινωνεί.

#### 5.4 Λειτουργίες του HMIPv6 πρωτοκόλλου

Η τοπολογία του δικτύου που περιέχει τον MAP agent κόμβο παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1. σε σχέση με αυτήν θα επεξηγηθεί η λειτουργία του πρωτόκολλου.



**Εικόνα 5.1 Τοπολογία δικτύου με HMIPv6**

Όταν ο κινητός κόμβος φτάσει στο επισκεπτόμενο δίκτυο θα ανακαλύψει την γενική (global) διεύθυνση του MAP. Αυτή η διεύθυνση είναι αποθηκευμένη στους Access Routers που επικοινωνούν με τον κινητό κόμβο μέσω των Router Advertisement (RAs) μηνυμάτων. Στα μηνύματα αυτά υπάρχει επίσης και η πληροφορία για την απόσταση του κινητού κόμβου από τον MAP. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως

**“MAP discovery”** και συνεχίζεται όταν ο κόμβος κινείται από υποδίκτυο σε υποδίκτυο.

Κάθε φορά που ο κινητός κόμβος κινείται θα αναγνωρίζει αν συνεχίζει να βρίσκεται κάτω από το ίδιο MAP domain. Αν διαπιστώσει ότι έχει αλλάξει MAP domain θα πρέπει να ενημερώσει τον HA και Correspondent κόμβους για την νέα του διεύθυνση με binding update.

Όταν ο κινητός κόμβος εισέλθει σε νέο MAP domain πρέπει πρώτα να καταχωρηθεί με το MAP στέλνοντας του BU που περιέχουν το Home Address και το Local CoA. Ο MAP πρέπει να αποθηκεύσει αυτήν την πληροφορία στο Binding Cache ούτως ώστε να μπορέσει να προωθήσει τα πακέτα στον τελικό τους προορισμό όταν αυτά παραλαμβάνονται από διαφορετικούς correspondent κόμβους και HAs. Διαφορετικά αν ο κινητός κόμβος αλλάξει την LCoA διεύθυνση αλλά παραμένει στο τοπικό domain του MAP, χρειάζεται να καταγράψει την νέα διεύθυνση με το MAP. Μόνο η Regional CoA του κόμβου χρειάζεται να καταχωρηθεί στους correspondent κόμβους και παραμένει η ίδια όταν ο κόμβος κινείται μέσα στο MAP domain. Αυτό κάνει την κινητικότητα του κόμβου ως προς τους correspondent κόμβους περισσότερο ξεκάθαρη.

Ο κινητός κόμβος πάντα χρειάζεται να γνωρίζει τον πραγματικό αποστολέα οποιουδήποτε πακέτου που λαμβάνει για να αναγνωρίσει αν απαιτείτε βελτιστοποίηση δρομολόγησης. Αυτή η πληροφορία θα είναι διαθέσιμη στον κινητό κόμβο επειδή ο MAP δεν τροποποιεί το περιεχόμενο του αρχικού πακέτου. Ο κινητός κόμβος έχει επίσης την δυνατότητα να επιλέξει κατά πόσο θα ενεργεί ως HMIPv6 ή ως MIPv6 κόμβος. Στην περίπτωση που το επισκεπτόμενο δίκτυο είναι μέσα στο home δίκτυο η χρήση του MAP είναι περιττή επομένως χρησιμοποιείται MIPv6 για διαχείριση κινητικότητας.

Για να χρησιμοποιείται το bandwidth του δικτύου περισσότερο αποδοτικά, ο κινητός κόμβος μπορεί να επιλέξει να καταχωρηθεί με περισσότερους από ένα MAP agent παράλληλα και να χρησιμοποιεί κάθε MAP διεύθυνση για συγκεκριμένη ομάδα από correspondent κόμβους. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την τρέχων LCoA για CoA όταν κρίνεται περισσότερο αποδοτικό.

# Κεφάλαιο 6

## Θεωρητική περιγραφή του Fast Handoff Mobile IPv6

---

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 6.1 Εισαγωγή.....                                        | 24 |
| 6.2 Ορισμοί .....                                        | 25 |
| 6.3 Λειτουργίες του Fast handoff MIPv6 πρωτοκόλλου ..... | 26 |

---

### 6.1 Εισαγωγή

Το Mobile IPv6 επιτρέπει σε ένα κινητό κόμβο να διατηρήσει την διασύνδεση του με το Internet όταν κινείται από ένα Access Router σε άλλο, η διαδικασία ονομάζεται “**handover**”. Κατά την διάρκεια του handover υπάρχει ένα διάστημα που ο κινητός κόμβος είναι ανίκανος να στείλει ή να παραλάβει πακέτα λόγω της καθυστέρησης αλλαγής σύνδεσης και των λειτουργιών του IP πρωτοκόλλου. Αυτό το “**handover latency**” απορρέει από την καθορισμένες Mobile IPv6 διαδικασίες, ονομαζόμενες ως ανίχνευση κινητικότητας (movement detection), νέος καθορισμός Care-of-address, και Binding Update, τα οποία είναι μη αποδεχτά σε traffic πραγματικού χρόνου όπως Voice over IP.

Το πρωτόκολλο FMIPv6<sup>2</sup> διευθετεί το πρόβλημα καθυστέρησης κατά την διάρκεια του handoff που παρατηρείται στο MIPv6. Συγκεκριμένα επιτρέπει σε ένα κινητό κόμβο να στείλει και να παραλάβει πακέτα μόλις εντοπιστεί από ένα νέο AR. Το πρωτόκολλο καθορίζει τα IP μηνύματα τα οποία είναι ανεξάρτητα από την τεχνολογία σύνδεσης. Το πρωτόκολλο μελετά τα handovers που λειτουργούν εσωτερικά με το Mobile IP (μόλις συνδεθεί με νέο access router), ο κινητός κόμβος συμπλέκεται σε Mobile IP λειτουργίες συμπεριλαμβανομένου Return Routability. Δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για τον κινητό κόμβο για να συμπεριφέρεται διαφορετικά από τις καθορισμένες Mobile IP λειτουργίες.

## 6.2 Ορισμοί

**Previous Access Router (PAR)**, είναι ο προκαθορισμένος δρομολογητής του κινητού κόμβου πριν το handover

**New Access Router (NAR)**, είναι ο προκαθορισμένος δρομολογητής του κινητού κόμβου μετά το handover

**Previous CoA**, είναι το CoA του κινητού κόμβου που είναι έγκυρο στο PAR

**New CoA**, είναι το CoA του κινητού κόμβου που είναι έγκυρο στο NAR

**Handover**, η διαδικασία στην οποία τερματίζουμε την υπάρχων σύνδεση και ξεκινούμε μια νέα

**Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr)**, είναι το μήνυμα που στέλνει ο κινητός κόμβο στο PAR και ζητά πληροφορίες για ένα handover.

**Proxy Router Advertisement (PrRtAdv)**, είναι μήνυμα που στέλνεται από το PAR στον κινητό κόμβο και παρέχει πληροφορίες για γειτονικές συνδέσεις που διευκολύνουν την επισπευσμένη ανίχνευση κίνησης. Το μήνυμα αυτό λειτουργεί ως η ενεργοποίηση της έναρξης του handover

**Assigned Addressing**, είναι ένας συγκεκριμένος τύπος καθορισμού NCoA από το NAR

**Fast Binding Update (FBU)**, είναι μήνυμα από το κινητό κόμβο που καθοδηγεί το PAR να ανακατευθύνει το traffic που προορίζεται για τον κινητό κόμβο.

**Fast Binding Acknowledgment (FBack)**, είναι το μήνυμα που στέλνει ο PAR ως απάντηση του FBU

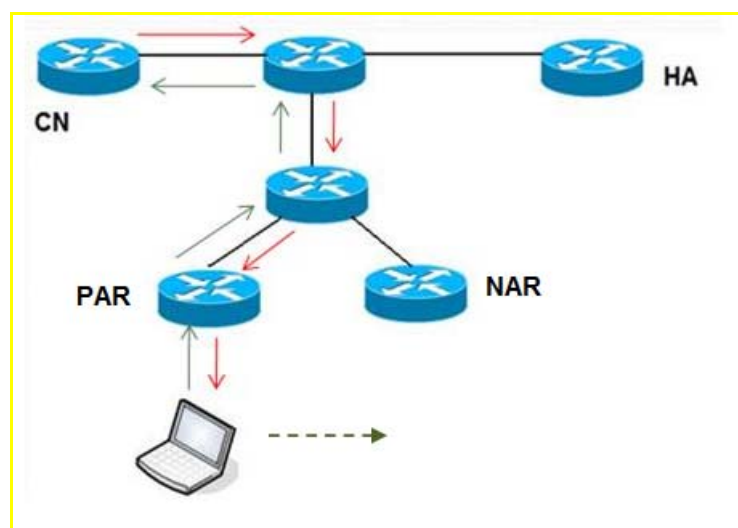
**Fast Neighbor Advertisement (FNA)**, είναι το μήνυμα από τον κινητό κόμβο στο NAR για ανακοινώσει την σύνδεση του, και να επιβεβαιώσει την χρήση του NCoA όταν ο κινητός κόμβος δεν έχει λάβει απάντηση (FBack).

**Handover Initiate (HI)**, το μήνυμα που στέλνεται από το PAR στο NAR που αφορά το handover του κινητού κόμβου.

**Handover Acknowledge (HACK)**, η απάντηση του NAR στο HI.

### 6.3 Λειτουργίες του Fast handoff MIPv6 πρωτοκόλλου

Η τοπολογία δικτύου που επισκέφτηκε ο κινητός κόμβος παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.1. σε σχέση με αυτήν θα επεξηγηθεί η λειτουργία του πρωτοκόλλου.



**Εικόνα 6.1 Τοπολογία δικτύου FMIPv6**

Το πρωτόκολλο επιτρέπει στον κινητό κόμβο να αναγνωρίσει γρήγορα ότι έχει κινηθεί σε ένα νέο υποδίκτυο. Το νέο Access Router και η αντίστοιχη πληροφορία του subnet prefix παρέχονται στον κινητό κόμβο όταν είναι ακόμα συνδεδεμένος με το τρέχων Access Router.

Για παράδειγμα μπορεί ο κινητός κόμβος να ανακαλύψει τα διαθέσιμα Access Routers με μηχανισμό link-layer και μετά να ζητήσει πληροφορίες με το RtSolPr μήνυμα για αυτά από το PAR. Η απάντηση από το PAR δίνεται με το PrRtAdv που περιέχει μία ή περισσότερες σχέσης [AR-ID, AR-info]. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει είτε μετά από Router Discovery είτε οποιαδήποτε άλλη στιγμή.

Για κάθε access point δεσμεύεται ένα αναγνωριστικό. Το αναγνωριστικό αυτό μαζί με το Access Router Information παρέχουν πληροφορίες στον κινητό κόμβο όταν συνδεθεί με ένα Access Point. Το γεγονός αυτό του δίνει το δικαίωμα να γνωρίζει απευθείας πληροφορίες όπως prefix, διεύθυνση IP, και διεύθυνση L2. Με τα μηνύματα RtSolPr και PrRtAdv ο κινητός κόμβος διατυπώνει ένα νέο πιθανό care-of-address όταν βρίσκετε ακόμη στο previous access router. Επομένως μειώνετε ο χρόνος για το prefix discovery. Αυτή η πιθανή διεύθυνση μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως μόλις συνδεθεί με το νέο link, όταν λάβει Fast Binding Acknowledgment πριν την κίνηση του. Αν δεν λάβει αυτό το μήνυμα τότε μπορεί να χρησιμοποιήσει την διεύθυνση όταν ανακοινώσει την σύνδεση του μέσω του Fast Neighbor Advertisement. Ο νέος access router ανταποκρίνεται μόνο όταν αυτή η διεύθυνση ήδη χρησιμοποιείται έτσι μειώνετε ο χρόνος καθυστέρησης του καθορισμού NCoA.

Για να μειώσουμε την καθυστέρηση του Binding Update, το πρωτόκολλο καθορίζει ένα τούνελ μεταξύ του παλιού CoA και το νέου CoA. Ο κινητός κόμβος στέλνει ένα Fast Binding Update μήνυμα στο Previous Access Router για να εγκαθιδρύσει αυτό το τούνελ. Αν είναι εφικτό ο κινητός κόμβος θα έπρεπε να στείλει το FBU μέσω του PAR. Διαφορετικά πρέπει να σταλεί αμέσως μετά την σύνδεση με τον NAR που έχει εντοπιστεί. Ως αποτέλεσμα ο PAR ξεκινά στέλνει στο τούνελ πακέτα που φτάνουν από το PCoA στο NCoA. Αυτό το τούνελ παραμένει ενεργό μέχρι ο κινητός κόμβος να συμπληρώσει τα Binding Update με τους correspondent κόμβους και HA. Στην αντίθετη κατεύθυνση ο κινητός κόμβος πρέπει να στέλνει πίσω τα πακέτα στο PAR μέχρι να συμπληρώσει τα Binding Update.

Το πρωτόκολλο παρέχει και τις ακόλουθες σημαντικές δυνατότητες.

- Ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των access routers για επιβεβαίωση ότι το NCoA είναι αποδεκτό. Αυτό μπορεί να συμβεί με το να στείλει το FBack ο NAR μετά που έχει επιτρέψει την χρήση του NCoA.
- Οι Access Router μπορούν επίσης να μεταφέρουν περιεχόμενα σχετικά με το δίκτυο όπως QoS, access control και τα λοιπά. Αυτά μπορούν να γίνουν μέσω των μηνυμάτων Handover Initiate και Handover Acknowledge.

# Κεφάλαιο 7

## Θεωρητική περιγραφή του Fast Handoff για το Hierarchical Mobile IPv6

---

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 7.1 Εισαγωγή.....                                       | 28 |
| 7.2 Ορισμοί .....                                       | 29 |
| 7.3 Απλή σύνδεση FMIPv6 και HMIPv6 πρωτόκολλων.....     | 29 |
| 7.4 Αρχιτεκτονική του F-HMIPv6.....                     | 29 |
| 7.5 Βελτιστοποίηση της ροής δεδομένων στο F-HMIPv6..... | 30 |
| 7.6 Λειτουργίες του F-HMIPv6 Πρωτοκόλλου .....          | 31 |

---

### 7.1 Εισαγωγή

Το πρωτόκολλο αυτό υποστηρίζει Fast Handover σε HMIPv6 δίκτυο<sup>1</sup>. Το HMIPv6 υλοποιήθηκε για να μειώσει τα σήματα που στέλνονται και την καθυστέρηση των BU στο Mobile IP. Σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου το HMIPv6 χρειάζεται περισσότερη βελτίωση στην διαδικασία του handover. Μέχρι στιγμής το FMIPv6 είναι το πρωτόκολλο που μειώνει την καθυστέρηση. Η συνένωση των δυο αυτών πρωτοκόλλων είναι πολύ απλή. Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί πως μια τέτοια απλή προσέγγιση μπορεί να περιλαμβάνει αχρείαστη καθυστέρηση επεξεργασίας. Το F-HMIPv6, λαμβάνει υπόψη την αποδοτικότερη συνένωση των δύο αυτών πρωτοκόλλων. Για αυτό το λόγω οι σημαντικές λειτουργίες για το handover ολοκληρώνονται μέσω του MAP, αντί με τους Access Routers όπως συμβαίνει στο FMIPv6. Για αυτόν τον λόγω ο κινητός κόμβος ανταλλάσει τα μηνύματα RtSolPr, PrPtAdv, FBU και FBack με τον MAP. Συγκεκριμένα το F-HMIPv6 χρησιμοποίησε μόνο τα μηνύματα του FMIPv6 για την υποστήριξη του handover.

## 7.2 Ορισμοί

Οι ορισμοί που χρησιμοποιούνται για το πρωτόκολλο F-HMIPv6 είναι ίδιοι με αυτούς των FMIPv6 και HMIPv6 με επιπλέον τους δύο ακόλουθους τύπους:

**PLCoA**, είναι η LCoA που ισχύει στον Previous Access Router (PAR).

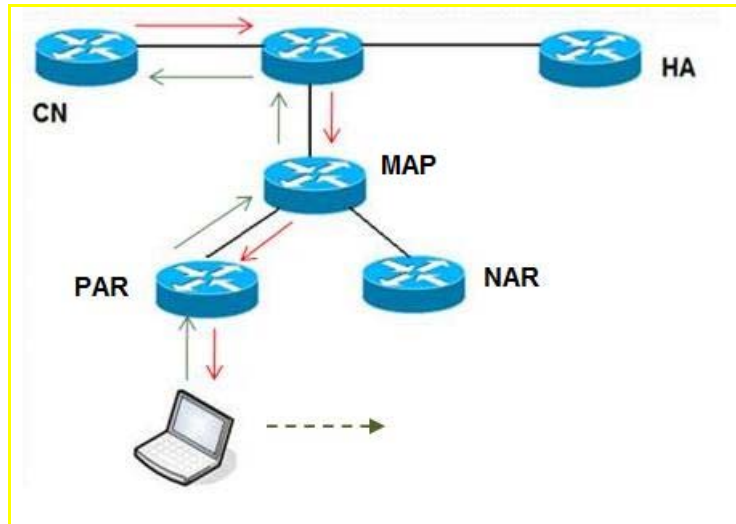
**NLCoA**, είναι η LCoA που ισχύει στον Next Access Router (PAR).

## 7.3 Απλή σύνδεση FMIPv6 και HMIPv6 πρωτόκολλων

Η απλή σύνδεση των δύο πρωτοκόλλων FMIPv6 και HMIPv6 περιλαμβάνει την απευθείας σύνδεση του FMIPv6 handover με το HMIPv6 δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση το bi-directional tunnel θα εγκαθιδρυθεί μεταξύ του PAR και NAR θα είναι μέσω του MAP με τις διαδικασίες που προτείνει το FMIPv6. Η πιο πάνω διαδικασία θα επηρεάσει αρνητικά λόγω του μη αποδοτικού signalling και μονοπατιού προώθησης πακέτων. Τα πακέτα που προορίζονται για το κινητό κόμβο θα πρέπει να περάσουν από τον MAP και έπειτα στο PLCoA. Όταν συμβαίνει handover τότε τα πακέτα αυτά θα σταλούν μέσω του τούνελ στον NAR. Ο PAR θα πρέπει πρώτα να παρεμποδίσει τα μηνύματα που φτάνουν από τον MAP και μετά να τα στείλει στον NAR.

## 7.4 Αρχιτεκτονική του F-HMIPv6

Η προτεινομένη αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.1 όπου ο MAP δρομολογητής ενεργεί ως συνάθροιση στο ιεραρχικό domain.



**Εικόνα 7.1 Τοπολογία δικτύου FHMIPv6**

Όταν ο κινητός κόμβος εισέλθει σε νέο HMIPv6 domain πρώτα εκτελεί την HMIPv6 διαδικασία καταχώρησης με τον HA και MAP όπως συμβαίνει στο MIPv6 και HMIPv6. Επίσης όταν ο κινητός κόμβος κινηθεί από τον PAR στον NAR γίνεται το Local Binding Update που προτείνεται από το HMIPv6. Στο σημείο αυτό αν απαιτείται fast handover τότε το F-HMIPv6 πρωτόκολλο θα εφαρμοστεί.

### **7.5 Βελτιστοποίηση της ροής δεδομένων στο F-HMIPv6**

Τα πακέτα που στέλνονται από τον CN θα περάσουν μέσω του τούνελ από τον MAP στον NAR κατά την διάρκεια του handover. Αντίθετα πριν από το handover τα πακέτα θα σταλούν στον κινητό κόμβο μέσω του τούνελ από τον MAP στον PLCoA του κινητού κόμβου.

## 7.6 Λειτουργίες του F-HMIPv6 Πρωτοκόλλου

Τα βήματα που εκτελούνται όταν η διαχείριση κινητικότητας γίνεται βάση του πρωτοκόλλου F-HMIPv6 είναι τα ακόλουθα:

- Ο κινητός κόμβος στέλνει RtSolPr μήνυμα στον MAP. Το μήνυμα πρέπει να περιέχει πληροφορίες με το αναγνωριστικό ή την layer 2 διεύθυνση του NAR που τον ενδιαφέρει
- Στην απάντηση του MAP με PrRtAdv μήνυμα θα περιέχει πληροφορίες για την NLCoA που θα χρησιμοποιήσει ο κινητός κόμβος στο NAR.
- Ο MAP πρέπει να γνωρίζει το network prefix και link layer address αντίστοιχου του NAR
- Ο κινητός κόμβος στέλνει FBU στον MAP που περιέχει το PLCoA και την διεύθυνση του NAR
- Όταν ο MAP λάβει το FBU από τον MN τότε στέλνει HI μήνυμα στον NAR για να εγκαθιδρύσει bi-directional tunnel. Ο NAR με την λήψη του μηνύματος θα πρέπει να δημιουργήσει μian αντίστοιχη εγγραφή για το PLCoA του κινητού κόμβου και τέλος θα απαντήσει με HACK μήνυμα.
- Ο MAP θα στείλει FBACk μήνυμα στο MN μέσω του PLCoA και NLCoA. Έπειτα θα ξεκινήσει να προωθεί τα πακέτα που προορίζονται για το MN μέσω του NAR.
- Όταν ο κινητός κόμβος αναγνωρίσει ότι έχει αλλάξει σημείο σύνδεσης θα στείλει FNA μήνυμα στον NAR και θα παραλάβει RA απάντηση. Τότε ο NAR θα παραδώσει τα υποθηκευμένα μηνύματα στον MN.
- Ο MN θα στέλλει Local BU στον MAP όπως συμβαίνει στο HMIPv6 και ο MAP θα σταματήσει να προωθεί τα μηνύματα στον NAR και θα τα στέλνει κατευθείαν στον MN.

- Ο ΜΑΡ θα απαντήσει με LBack μήνυμα στον ΜΝ και οι ακόλουθες διαδικασίες θα εκτελούνται όπως καθορίζει το ΗΜΙΡν6 πρωτόκολλο.

# Κεφάλαιο 8

## Περιβάλλον Προσομοίωσης NS2

---

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 8.1 Εργαλείο προσομοίωσης Ns (Network Simulation) ..... | 33 |
| 8.2 NAM .....                                           | 34 |
| 8.3 IP Node στον NS.....                                | 34 |
| 8.4 Mobile IP Node στον NS .....                        | 36 |
| 8.5 Wireless Node στον NS .....                         | 38 |
| 8.6 MPLS node στον NS.....                              | 40 |
| 8.7 Ιεραρχικό MPLS στον NS .....                        | 42 |
| 8.8 Mobile IP base station με MPLS υποστήριξη.....      | 44 |
| 8.9 NOAH.....                                           | 45 |
| 8.10 Πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητα στον Ns.....   | 46 |

---

### 8.1 Εργαλείο προσομοίωσης Ns (Network Simulation)

Ο Ns<sup>6</sup> υλοποιήθηκε από το Uc Berkeley το 1989. Τώρα είναι διαθέσιμη δεύτερη έκδοση ως αποτέλεσμα του έργου VINT. Ο Ns περιέχει προγραμματισμό γεγονότων και IP-based στοιχεία δικτύου. Είναι γραμμένος με OTcl και C++ γλώσσά προγραμματισμού. Ο NS-2 συναντά τις ανάγκες και των δύο γλωσσών C++ και OTcl. Η C++ είναι γρήγορη στο να τρέξει αλλά πιο αργή στο να αλλάξει, κάνοντας την κατάλληλη για λεπτομερή υλοποίηση πρωτοκόλλου. Η Otcl τρέχει πιο αργά αλλά μπορεί να αλλάξει πολύ γρήγορα κάνοντας την κατάλληλη για την διαμόρφωση της προσομοίωσης

Η OTcl είναι μια αντικειμενοστρεφής έκδοση της Tcl. Η OTcl χρησιμοποιείται για προγραμματισμό των γεγονότων και δυναμικό καθορισμό της τοπολογίας του δικτύου, στοιχείων και παραμέτρων της προσομοίωσης. Ο βασικός πυρήνας της προσομοίωσης είναι γραμμένος σε C++ για να επιτρέπει γρήγορη προσομοίωση και μεγάλα σενάρια.

Για την λεπτομερή ανάλυση της απόδοση των πρωτοκόλλων οι περισσότεροι παράμετροι δικτύου, μέγεθος πακέτου, ψηφιολέξη, εύρος ζώνης, καθυστέρηση, χαρακτηριστικά συνδέσεις αλλάζονται στο Tcl χώρο. Όταν η αξιολόγηση απαιτεί περισσότερο περιπλοκή και λεπτομερή ανάλυση τότε το υλοποιημένο σενάριο αλλάζει πιο γρήγορα στο C++ χώρο.

## 8.2 NAM

Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης από τον NS μπορεί να παρουσιαστεί σε γραφικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας το εργαλείο NAM<sup>6</sup>. Το NAM είναι βασισμένο σε TCL/TK εργαλείο αναπαράστασης και επιτρέπει απεικόνιση της προσομοιωμένης τοπολογίας και των trace packets της προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο. Το NAM διαβάζει δεδομένα από το trace αρχείο, που παράγονται κατά την διάρκεια της προσομοιωμένης διαδικασίας και χρησιμοποιούνται ως είσοδος στον NAM console για την απεικόνιση της προσομοιωμένης διαδικασίας.

## 8.3 IP Node στον NS

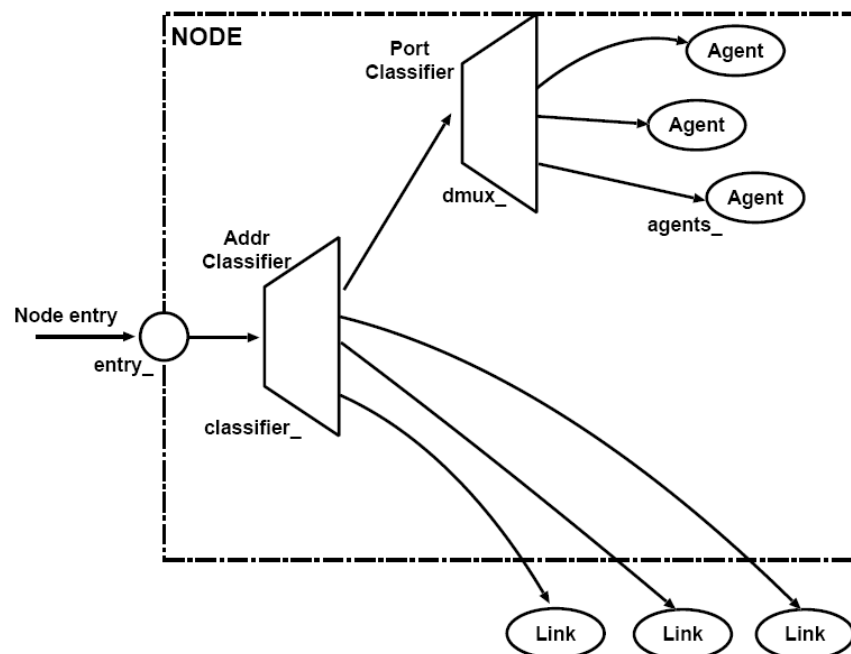
Το στιγμιότυπο ενός IP κόμβου<sup>6</sup> που δημιουργείται είναι από τα πιο απλά αντικείμενα classifier. Όλοι οι κόμβοι που δημιουργούνται περιέχουν τουλάχιστο τα ακόλουθα στοιχεία:

- Id κόμβου
- Λίστα από γειτόνων
- Λίστα από agents
- Τύπο του αναγνωριστικού του κόμβου
- Ενότητα δρομολόγησης

Ο κόμβος από μόνος του είναι ένα αντικείμενο OTcl παρόλα αυτά τα περισσότερα στοιχεία του κόμβου είναι από μόνα τους Tcl αντικείμενα. Ένας τυπικός IP κόμβος<sup>6</sup> αποτελείται από:

- **Address Classifier**, χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει μονοσήμαντη προώθηση πακέτου. Εφαρμόζει bitwise shift και mask στην διεύθυνση προορισμού του πακέτου για να δημιουργήσει το slot number
- **Port Classifier**, στην περίπτωση που το πακέτο προορίζεται για τον εαυτό του βρίσκει το αντίστοιχο port number.

Η τυπική δομή του κόμβου παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.1.



**Εικόνα 8.1 Τυπική δομή του κόμβου στον Ns**

Ο κόμβος όταν λάβει πακέτα ελέγχει την διεύθυνση προορισμού, και κάποιες περιπτώσεις την διεύθυνση αποστολής. Ο classifier παρέχει ένα τρόπο να ταιριάζει ένα πακέτο έναντι λογικών κριτηρίων. Κάθε classifier περιέχει ένα πίνακα από αντικείμενα προσομοίωσης που μπορούν να βρεθούν με ένα slot number. Η δουλειά ενός classifier είναι να καθορίσει τον αριθμό του slot που σχετίζεται με το πακέτο που παραλαμβάνεται και να το προωθήσει στο αντικείμενο που αναφέρεται. Αν το εισερχόμενο πακέτο ταιριάζει με τα λογικά κριτήρια τότε αντιμετωπίζεται από το

συγκεκριμένο slot. Αν το πακέτο δεν ταιριάζει με οποιοδήποτε λογικό κριτήριο τότε το πακέτο αντιμετωπίζεται από το προκαθορισμένο target του classifier.

Όταν παραλαμβάνονται πακέτα στον κόμβο, ο address classifier κοιτάζει την διεύθυνση προορισμού του πακέτου. Αν το πακέτο είναι για άλλο κόμβο και η εγγραφή για τον κόμβο είναι στον πίνακα δρομολόγησης τότε το πακέτο μεταβιβάζεται στην ανταποκρινόμενη σύνδεση. Διαφορετικά το πακέτο διαχειρίζεται από το προκαθορισμένο target. Αλλά αν το πακέτο προορίζεται για τον εαυτό του, ο address classifier διαβιβάζει το πακέτο στο port classifier. Ο port classifier τότε κοιτάζει στο port number προορισμού και ο agent στο αντίστοιχο port number που χειρίζεται το πακέτο.

#### **8.4 Mobile IP Node στον NS**

Η διαχείριση κινητικότητας έχει υλοποιηθεί στον Ns με τους κόμβους του δικτύου να αναγνωρίζονται μοναδικά από την ιεραρχικής διεύθυνση. Υπάρχουν δύο τύποι κόμβων<sup>6</sup> στο Mobile Ipv4:

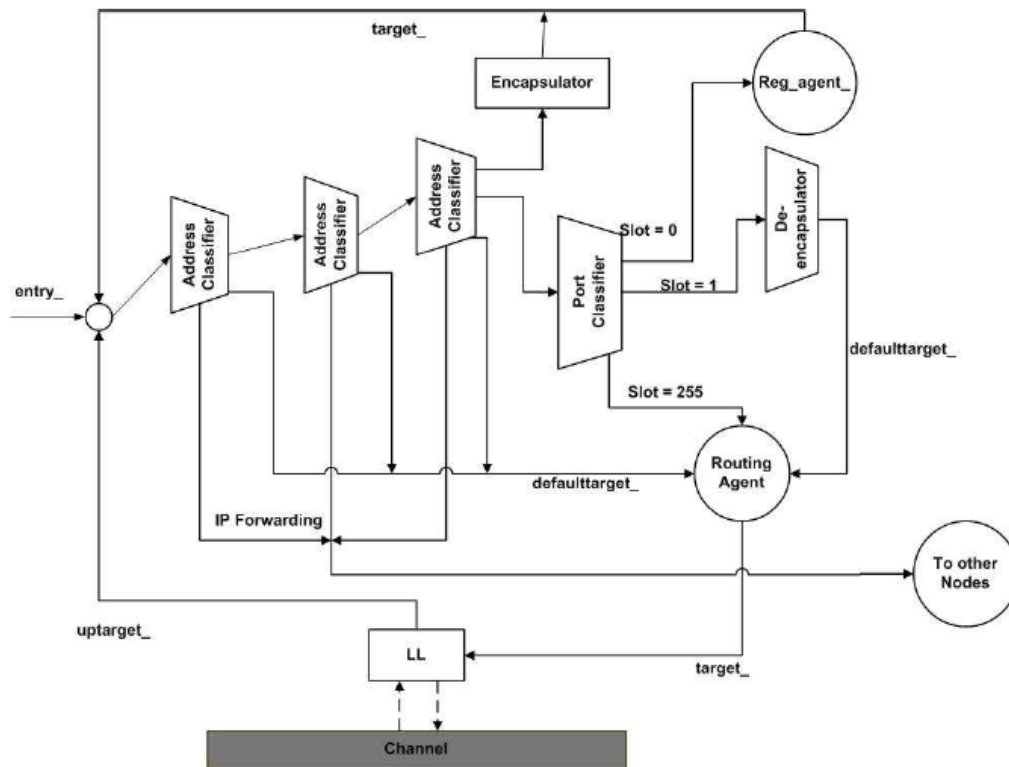
- Mobile IP Base station
- Mobile IP Mobile host

Ο base station κόμβος είναι υπεύθυνος για την παράδοση των πακέτων εκτός και εντός του wireless domain. Κάθε wireless domain έχει μια μοναδική διεύθυνση domain. Όλα τα πακέτα που κατευθύνονται στο wireless κόμβο θα φτάσουν το base station που είναι συνδεδεμένος, ο οποίος τελικά θα παραδώσει τα πακέτα στον προορισμό. Συγκεκριμένα όταν ένας κόμβος είναι ο home agent παραλαμβάνει πακέτα από το την πλευρά του κινητού κόμβου και μέσω του “encapsulator” τα δεδομένα ενθυλακώνονται σε IP-in-IP header. Τα δεδομένα αυτά στέλνονται στο decapsulator του foreign agent ο οποίος βγάζει το header από τα δεδομένα και προωθεί το πακέτο στον κινητό κόμβο. Ένας base station κόμβος περιέχει:

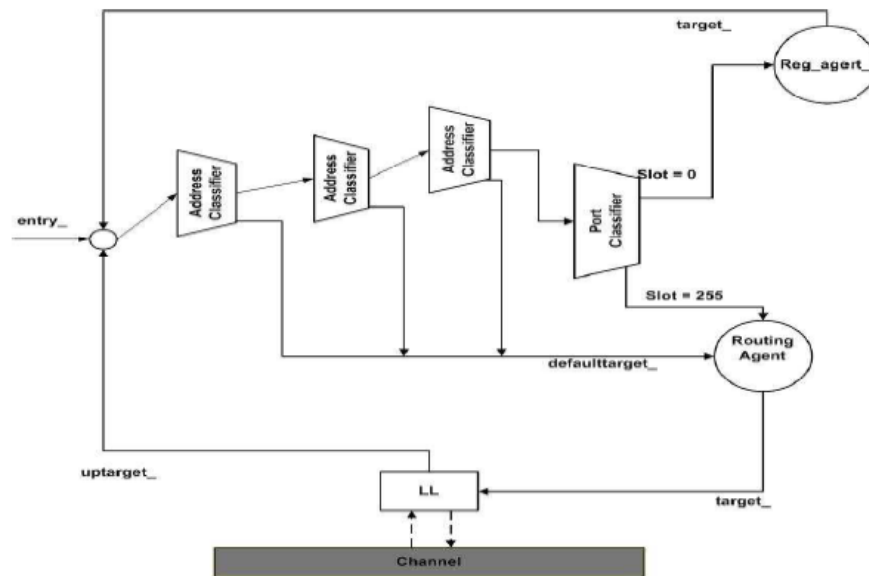
- Τρεις Address classifiers για την υποστήριξη της ιεραρχικής διεύθυνσης.

- Port classifier
- Encapsulator, Decapsulator, Registration agent και Routing agent.

Η διαφορά στο mobile node είναι ότι δεν υπάρχει ο Decapsulator και Encapsulator agent. Διαγραμματικά η δομή του Base Station κόμβου και Mobile IP κόμβου παρουσιάζεται αντίστοιχα στην Εικόνα 8.2 και Εικόνα 8.3.



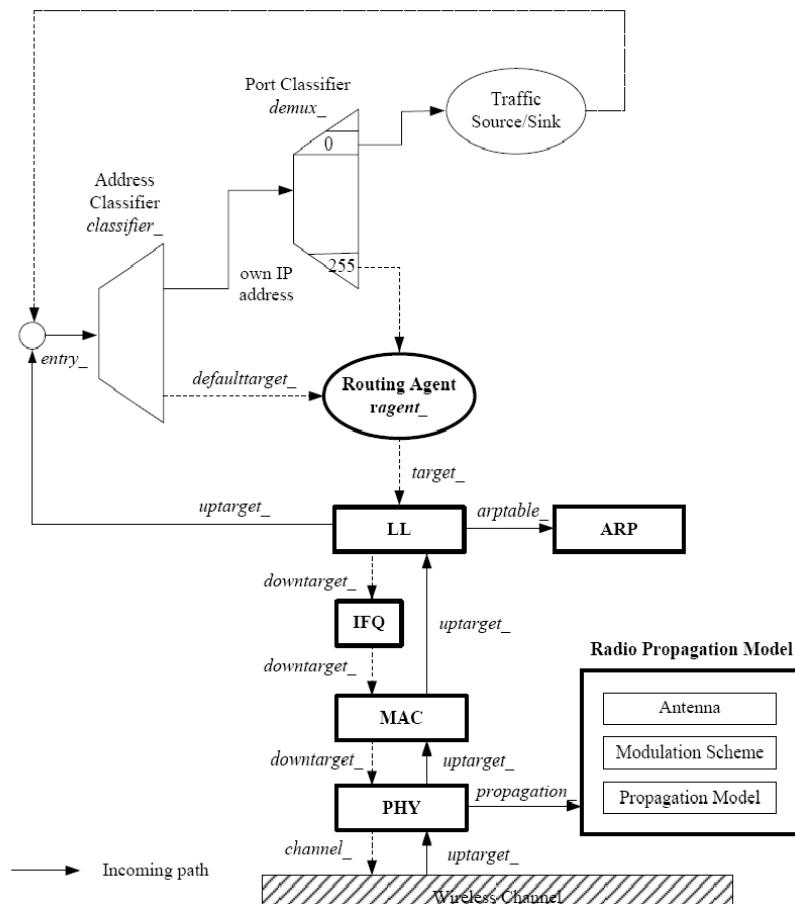
Εικόνα 8.2 Δομή Base Station κόμβου στον Ns



**Εικόνα 8.3 Δομή Mobile IP κόμβου στον Ns**

## 8.5 Wireless Node στον NS

Η υλοποίηση του ιεραρχικού ασύρματου κόμβος με κινητικότητα<sup>14</sup> όπως αναμενόταν είναι περισσότερο περίπλοκη από ότι ένας MPLS κόμβος ή ένας κανονικός IP κόμβος. Περιέχει όπως και ο ιεραρχικός IP κόμβος Hierarchical και Port Classifier με την ίδια λειτουργικότητα, αλλά και κάποια επιπλέον module που παρουσιάζονται στην Εικόνα 8.4 και επεξηγούνται στην συνέχεια.



**Εικόνα 8.4 Δομή Ιεραρχικού Ασύρματου κόμβου με κινητικότητα**

Τα επιπρόσθετα module<sup>15</sup> που συναντούμε στην υλοποίηση του ασύρματου κόμβου είναι τα ακόλουθα:

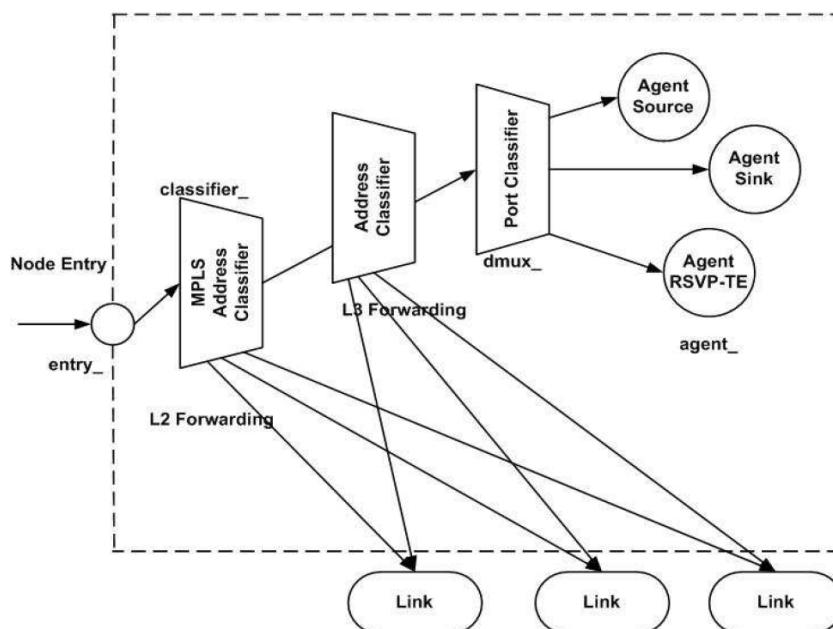
- **Link Layer object:** υποστηρίζει πρωτόκολλα του επιπέδου δεδομένων και μηχανισμούς όπως fragmentation, reassembly, queuing, link-level retransmissions, piggybacking κτλ.
- **Address Resolution Protocol module:** βρίσκει το αντίστοιχο MAC address για μια IP διεύθυνση.
- **Interface Priority Queue:** δίνει προτεραιότητα σε πακέτα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης τρέχοντας ένα φίλτρο και αποβάλλει τα πακέτα έχουν συγκεκριμένη διεύθυνση
- **Medium Access Protocol module:** παρέχει πολλαπλές ιδιότητες όπως carrier sense, collision detection και avoidance κτλ.

- **Network Interface:** είναι η διεπιφάνεια για τον κινητό κόμβο για να έχει πρόσβαση σε ένα κανάλι. Κάθε πακέτο που βγαίνει από το NetIF έχει στην επικεφαλίδα του πληροφορίες της διεπιφάνειας για transmitting όπως transmission power και wavelength.
- **Radio Propagation Model:** χρησιμοποιεί Free-space attenuation ( $1/r^2$ ) κοντινές αποστάσεις και approximation με Two Way Ground ( $1/r^4$ ) για μεγάλες αποστάσεις.
- **Antenna:** οι κινητοί κόμβοι χρησιμοποιούν omni-directional antenna.

## 8.6 MPLS node στον NS

Η υλοποίηση του MPLS κόμβου στον NS είναι αρκετά απλή (Εικόνα 8.5), αλλά ικανή να υποστηρίξει τις δύο λειτουργίες που χαρακτηρίζουν την τεχνολογία MPLS:

- LDP (Label Distribution Protocol)
- Label Switching



Εικόνα 8.5 Δομή του MPLS κόμβου στον NS

Για την λειτουργία των MPLS κόμβων δημιουργήθηκε το MPLS address classifier το οποίο διαχωρίζει τα πακέτα που έχουν ή δεν έχουν ετικέτα και εκτελεί τις ανάλογες λειτουργίες. Ανάλογα με την περίπτωση εκτελούνται διαφορετικές λειτουργίες, συγκεκριμένα εάν:

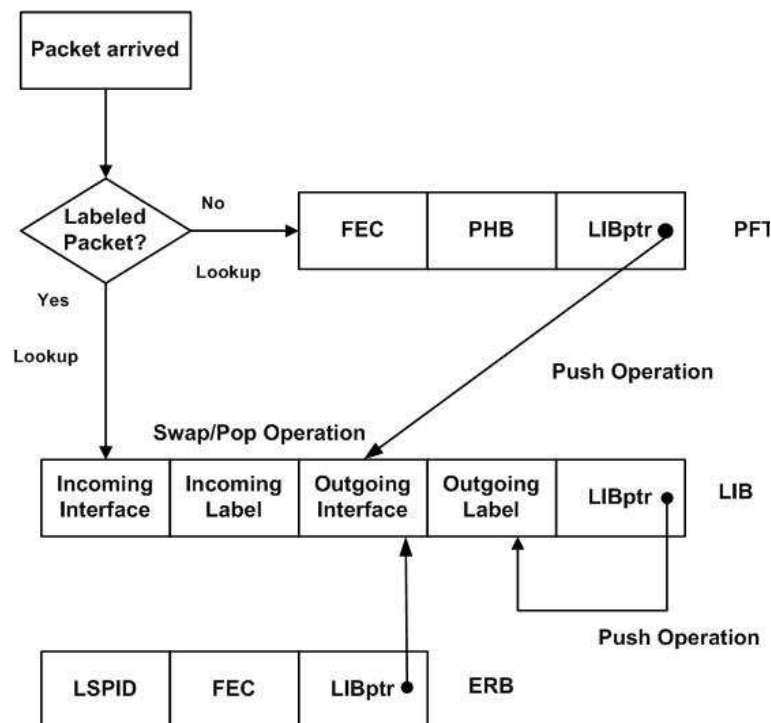
- Το εισερχόμενο πακέτο περιέχει ετικέτα, ο MPLS classifier θα εκτελέσει L2 switching. Επομένως θα κάνει ανταλλαγή της ετικέτας με την αντίστοιχη που ορίζεται από τον πίνακα LIB και θα το προωθήσει στον επόμενο κόμβο.
- Το εισερχόμενο πακέτο δεν περιέχει ετικέτα και υπάρχει LSP για το συγκεκριμένο FEC, ο MPLS classifier θα δημιουργήσει το MPLS header θα εισάγει την αντίστοιχη ετικέτα εξόδου και θα το προωθήσει στον επόμενο κόμβο.
- Το εισερχόμενο πακέτο δεν έχει ετικέτα και δεν υπάρχει αντίστοιχο LSP, τότε το MPLS node θα παραδώσει το πακέτο στον address classifier και θα εκτελεστεί L3 forwarding (βάση της διεύθυνσης προορισμού).
- Το εισερχόμενο πακέτο έχει παραλήπτη τον κόμβο στον οποίο βρισκόμαστε, τότε το πακέτο παραδίδεται στο τοπικό agent.
- Ο RSVP-TE Agent χρησιμοποιείται για την διανομή των ετικετών και την εγκαθίδρυση των LSPs.

Ο MPLS κόμβος χρησιμοποιεί τρεις πίνακες για να διαχειριστεί τις πληροφορίες σχετικά με τα LSPs και την διανομή των ετικετών, διαγραμματικά η δομή των πινάκων αυτών παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.6:

- **Label Information Base (LIB) table** – ο πίνακας αυτός περιέχει πληροφορίες συσχέτισης της εισερχομένη ετικέτας και διασύνδεσης με την εξερχόμενη ετικέτα και διασύνδεση, καθώς και ένα αναγνωριστικό της εγγραφής. Επομένως χρησιμοποιείται όταν εκτελούμε L2 Switching.
- **Partial Forwarding Table (PFT)** - ο πίνακας αυτός περιέχει το FEC (όταν χρησιμοποιείται η διεύθυνση προορισμού), δείκτης στον πίνακα LIB και δείκτης στον πίνακα PHB (per hop behaviour). Επομένως όταν ένα πακέτο παραληφθεί και δεν περιέχει ετικέτα τότε αν ο δείκτης στον πίνακα LIB δεν

είναι κενός χρησιμοποιούμε την εγγραφή για να πάρουμε την εξερχόμενη ετικέτα για να κάνουμε ανταλλαγή και την εξερχόμενη διασύνδεση για να προωθήσουμε το πακέτο. Διαφορετικά χρησιμοποιούμε το δείκτη του πίνακα ERB για να κάνουμε L3 forwarding.

- **Explicit Routing Information Base (ERB) table** - ο πίνακας αυτός περιέχει δείκτη στον πίνακα LIB, αναγνωριστικό της σαφής ροής και της τιμής του FEC. Επομένως ο πίνακας χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε σαφή ροή για ένα συγκεκριμένο FEC.



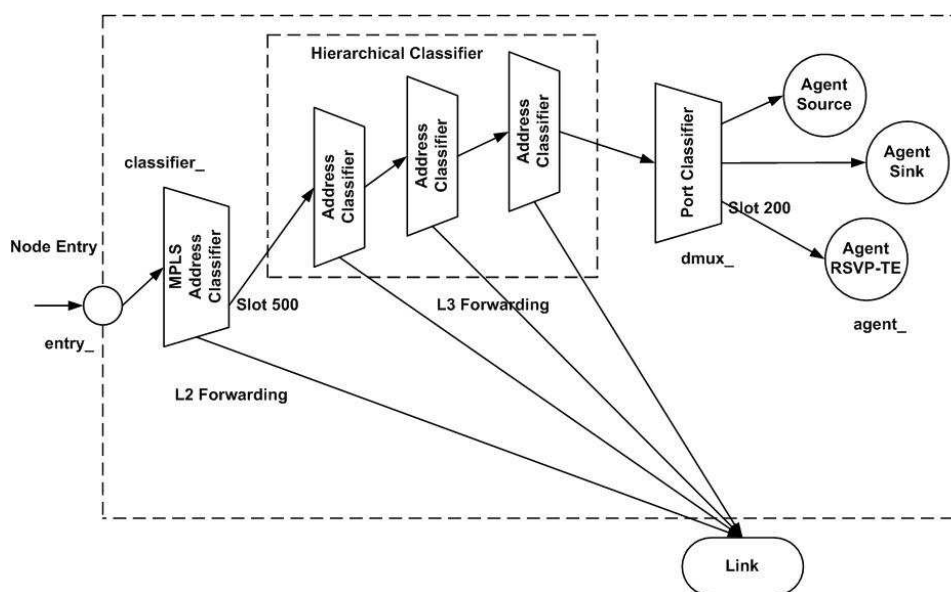
**Εικόνα 8.6 Δομή των πινάκων που διαχειρίζονται την πληροφορία για τα LSP**

## 8.7 Ιεραρχικό MPLS στον NS

Για να είναι δυνατός ο έλεγχος οποιουδήποτε πρωτοκόλλου micromobility σε MPLS δίκτυο, θα πρέπει οι MPLS κόμβοι να υποστηρίζουν ιεραρχική δρομολόγηση. Όπως θα έχει παρατηρηθεί από τις Εικόνες 8.3 και 8.2 για την δομή του Mobile IP και Base

Station κόμβου χρησιμοποιούνται τρεις Address Classifier ενώ στον MPLS κόμβο βλέπουμε ένα Address Classifier.

Για την υποστήριξη ιεραρχικής δρομολόγησης σε MPLS κόμβο<sup>17</sup> εφάρμοσα το patch **Hier\_MPLS\_2.27\_beta** στον ns2.31. Η διαδικασία εφαρμογής του αναφέρεται στο Παράρτημα A.1. Με αυτό το patch δεν δημιουργείτε ένα καινούργιο module για ιεραρχική υποστήριξη, αντίθετα στην τρέχον υλοποίηση του MPLS ενσωματώθηκε η ιεραρχική δρομολόγηση. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την χρήση του απλού MPLS κόμβου αλλά και την χρήση του ιεραρχικού MPLS κόμβου για υλοποίηση προσομοίωσης με ασύρματη κινητικότητα. Η χρήση του RSVP-TE Agent στα σενάρια για την εγκαθίδρυση των LSPs και κατανομή των ετικετών είναι απαραίτητη. Το πρωτόκολλο RSVP-TE είναι το μόνο που υποστηρίζει τις ιεραρχικές διευθύνσεις στους MPLS κόμβους του δικτύου. Η δομή του ιεραρχικού MPLS κόμβου με την ενσωμάτωση του patch παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.7.



**Εικόνα 8.7 Δομή του ιεραρχικού MPLS κόμβου**

Η εισαγωγή του Hierarchical Classifier στον MPLS κόμβο γίνεται μέσω του slot number 500 που το συνδέει με το υπάρχων MPLS Addresses Classifier. Στην προσομοίωση η δημιουργία ιεραρχικού MPLS κόμβου επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο κώδικα.

```
$ns node-config addressType -hierarchical
$ns node-config MPLS -ON
```

```
set node(0) [$ns node 1.1.0]
$ns add-to-mpls-list $node(0)
```

Η λίστα με τα module που θα φορτωθούν στο κόμβο όταν δημιουργηθεί είναι:

- Hierarchical module (πρώτη εντολή)
- MPLS mode (δεύτερη εντολή)

Η τέταρτη εντολή είναι απαραίτητη για μπορέσει ο κόμβος να προστεθεί στην λίστα με τους MPLS κόμβους.

## 8.8 Mobile IP base station με MPLS υποστήριξη

Η υλοποίηση ενός προσομοιωτή δικτύου MPLS με υποστήριξη κινητικότητας προϋποθέτει και την ύπαρξη MPLS base station κόμβου<sup>17</sup>. Το patch **Hier\_MPLS\_2.27\_beta** μας παρέχει και αυτήν την δυνατότητα.

```
$ns node-config addressType -hierarchical
$ns node-config MPLS -ON

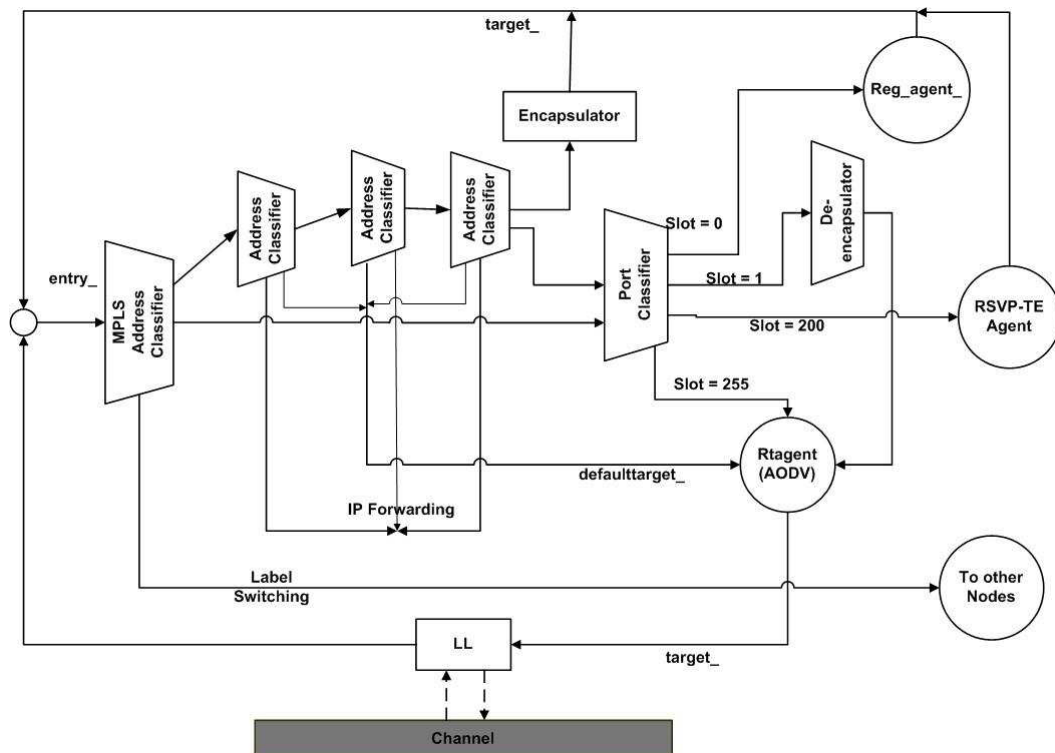
$ns node-config MobileIP -ON
$ns node-config -wiredrouting -ON

set node(0) [$ns node 1.1.0]
$ns add-to-mpls-list $node(0)
```

Με τις πρώτες τέσσερις γραμμές προσθέτουμε στην λίστα των modules που θα φορτωθούν στον κόμβο όταν δημιουργηθεί το module hierarchical, MPLS, MobileIP και wiredRouting.

Ο κόμβος που δημιουργείται περιέχει όσα περιέχει ένας IP Base Station κόμβος, επιπρόσθετα το MPLS Address Classifier που είναι υπεύθυνος για τον διαχωρισμό των πακέτων σε όσα έχουν ή δεν έχουν ετικέτα και την εκτέλεση των αντίστοιχων

λειτουργιών. Επόμενος ο κόμβος που δημιουργείται έχει την μορφή που παρουσιάζει η Εικόνα 8.8.



Εικόνα 8.8 Δομή του Base Station με υποστήριξη MPLS

## 8.9 NOAH

NOAH είναι ένας wireless routing agent<sup>16</sup> που υποστηρίζει μόνο απευθείας επικοινωνία του BS και του κινητού κόμβου. Χρησιμοποιείται κυρίως όταν θέλουμε να αποφύγουμε την επικοινωνία του κινητού κόμβου με τον BS μέσω άλλων κινητών κόμβων.

Το NOAH προσφέρει κάποιες βελτιστοποιήσεις στην βασική υλοποίηση του MIP. Συγκεκριμένα υποστηρίζει την επικάλυψη που έχει η εμβέλεια των BS, και βελτιώνει τον μηχανισμό του handover μέσω έξυπνης επιλογής του foreign agent. Χρησιμοποιείται ως ο κυρίως routing agent για το FHMIP extension στον Ns.

## 8.10 Πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητα στον Ns

Θεωρητικά υπάρχουν αρκετά πρωτόκολλα που διαχειρίζονται την κινητικότητα, κάποια από αυτά προτείνουν λύσεις για βελτιστοποίηση της καθυστέρησης και το χάσιμο πακέτων λόγω αλλαγής BS. Το patch ns2.31\_fhmip δημιουργήθηκε από τον Robert Hsieh's και έχει αναβαθμιστεί για την έκδοση ns2.31 από τον Pedro Vale Estrela. Το patch αυτό υλοποιεί τα περισσότερα πρωτόκολλα micromobility στον Ns<sup>16</sup> όπως:

- MIP
- HMIP
- FMIP
- HMIP + FMIP

### 8.10.1 Γενικές λειτουργίες

Η υλοποίηση των πρωτοκόλλων περιλαμβάνει κάποιες κοινές λειτουργίες και περιορισμούς που αναφέρονται στην συνέχεια:

- Όλα τα Base Station συμπεριλαμβανομένου και του Home Agent κάθε ένα δευτερόλεπτο στέλνουν beacon advertisement.
- Όταν ο κινητός κόμβος δεν λάβει τα advertisement αυτά στην εμβέλεια που εκπέμπει τότε στέλνει solicitation message.
- Κάθε φορά που ο κινητός κόμβος λαμβάνει τα advertisement ξεκινά registration με το συγκεκριμένο BS. Έπειτα προωθεί το μήνυμα στον HA. Αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα με το εάν έχει είδη γίνει register με το συγκεκριμένο Base Station.

- Η ενημέρωση του BS και HA γίνεται κάθε ένα δευτερόλεπτο κάτι που δεν ισχύει στην θεωρία των πρωτοκόλλων.
- Τα πρωτόκολλα FHMIP, FMIP, HMIP χρησιμοποιούν προτεραιότητες στα BS και δηλώνονται με ένα ακέραιο αριθμό. Όταν το BS που στέλνει το advertisement μήνυμα έχει αριθμό προτεραιότητας μεγαλύτερο από το BS που είναι είδη register ο κινητός κόμβος, τότε στέλνεται αμέσως το registration request στον νέο BS και HA.
- Δεν μπορούν να προσομοιωθούν σενάρια με περισσότερους από ένα wireless κόμβους

Ο κώδικας που υλοποιεί τα πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας εντοπίστηκαν κάποια σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία τους. Τα προβλήματα που έχουν εντοπιστεί και οι αλλαγές που έχουν γίνει στο κώδικα υλοποίησης των πρωτοκόλλων αναφέρονται στο Παράρτημα A.2.1 του εγγράφου.

### 8.10.2 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου MIP στον Ns

Η υλοποίηση του MIP στον Ns<sup>16</sup> έχει περισσότερες ομοιότητες με την θεωρητική περιγραφή του MIPv4. Κατά την διάρκεια που ο κινητός κόμβος κινείται προς τον NAR λαμβάνει advertisement από τον PAR δεν αντιδρά στα advertisement που λαμβάνει από τον NAR. Όταν η σύνδεση με τον PAR έχει χαθεί (ο κινητός κόμβος βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του PAR) τότε ο κινητός κόμβος στέλνει registration request στον HA για την νέα CoA. Η διαδικασία και τα μηνύματα ελέγχου που στέλνονται για το handoff με τον νέο AR είναι τα ακόλουθα.

```
15.316096 simple timeout 0.500000 [COA 5.1.1]
15.316096 MH 1.1.1 sends request (packet 3456) to 5.2.1
15.318842 BS 5.2.1 forwarding reg-request from 1.1.1 to HA 1.1.0, packet 3456
15.769188 HA 1.1.0 updated (FA 5.2.1), packet 3456
16.219534 BS 5.2.1 received reply from BS 1.1.0, packet 3456
16.221029 MH 1.1.1 received reply from BS 5.2.1 [COA: 1023.2047.2047], packet 3456
16.241029 MH 1.1.1 has new coa (5.2.1)
16.241029 Complete L2 handoff
```

### 8.10.3 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου FMIP στον Ns

Η υλοποίηση του πρωτοκόλλου FMIP στον Ns<sup>16</sup> συμπεριλαμβάνει αρκετές από τις λειτουργίες του FMIPv6 σε απλοποιημένη μορφή. Συγκεκριμένα στο πρωτόκολλο FMIP είναι υλοποιημένο το fast handoff συμπεριλαμβανομένου των priorities στους BS. Όταν ο PAR λάβει RTSOLPR από τον κινητό κόμβο τότε ανταλλάσει μηνύματα HI-HACK με τον NAR για την εγκαθίδρυση τούνελ μεταξύ τους. Έπειτα ο PAR στέλνει το PRRTADV μήνυμα στον κινητό κόμβο. Όταν ο κινητός κόμβος λάβει το PRRTADV στέλνει registration request στον HA μέσω του νέου AR.

Όταν ο PAR λάβει το HACK από τον NAR μπορεί να στέλνει στο τούνελ που καταλήγει στο NAR τα μηνύματα που φτάνουν σε αυτόν αλλά προορίζονται για τον κινητό κόμβο. Η διαδικασία αυτή σταματά όταν ο HA ενημερωθεί με την νέα διεύθυνση του κινητού κόμβου, όπου στέλνει τα μηνύματα στην νέα Coa διεύθυνση. Η διαδικασία και τα μηνύματα ελέγχου που στέλνονται για το handoff με τον νέο AR είναι τα ακόλουθα.

```
8.846802 MH 1.1.1 received ADS with coa 5.2.1
8.846802 MH [1.1.1] sends RTSOLPR to PAR [5.1.1], packet 1803
8.848163 PAR [5.1.1] recv RTSOLPR from [1.1.1], packet 1803
9.148393 NAR [5.2.1] recv HI from [5.1.1], packet 1803
9.448624 PAR [5.1.1] recv HACK from [5.2.1], packet 1803
9.451816 DECAP[5.1.1] Remove outer header [5.1.1] Restore inner header [1.1.1:2.1.0],
packet 1783
9.451816 ENCAP TunnelExit:[5.2.1/1] OrigPkt:[1.1.1], packet 1783
.....
10.651087 MN [1.1.1] recv PRRTADV from [5.1.1], packet 1803
10.651087 MH 1.1.1 sends request (packet 2264) to 5.2.1
10.652612 BS 5.2.1 forwarding reg-request from 1.1.1 to HA 1.1.0, packet 2264
11.102958 HA 1.1.0 updated (FA 5.2.1), packet 2264
11.553304 BS 5.2.1 received reply from BS 1.1.0, packet 2264
11.575258 MH 1.1.1 received reply from BS 5.2.1 [COA: 1023.2047.2047], packet 2264
11.595258 MH 1.1.1 has new coa (5.2.1)
11.595258 Complete L2 handoff
```

#### 8.10.4 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου HMIP στον Ns

Η υλοποίηση του HMIP<sup>16</sup> περιέχει αρκετές σημαντικές λειτουργίες από την θεωρητική περιγραφή του πρωτοκόλλου. Συγκριμένα υπάρχει όπως και στην θεωρητική περιγραφή η οντότητα MAP agent. Ο MAP agent είναι ένας ενσύρματος κόμβος που ενεργεί ως η ενδιάμεση στάση των πακέτων που στέλνονται από τον HA και BS. Η έννοια του priority ισχύει, επομένως όταν ο κινητός κόμβος λάβει advertisement από τον NAR τότε αμέσως στέλνει registration request στον MAP agent με την νέα CoA. Όταν παραλάβει το αίτημα ο MAP ενημερώνει την πληροφορία του (διεύθυνση) για τον BS agent του κινητού κόμβου και απαντά με MAP REQUEST REPLY. Έπειτα ο κινητός κόμβος στέλνει μέσω του νέου BS agent request στον HA με την νέα (αν έχει αλλάξει) MAP διεύθυνση. Η διαδικασία και τα μηνύματα ελέγχου που στέλνονται για το handoff με τον νέο AR είναι τα ακόλουθα.

```
9.167335 MH 1.1.1 received ADS with coa 5.2.1
dst of request 4.0.0 (MAP), packet 1883
BS 5.2.1 forwarding map-reg-request from 1.1.1 to MAP 4.0.0, packet 1883
MAP[4.0.0] received MAP_REG_REQUEST
9.408756 MAP 4.0.0 updated (FA 5.2.1), packet 1883
send MAP_REG_REPLY
BS recv MAP_REG_REPLY
9.635065 MH 1.1.1 received reply from MAP via BS 5.2.1 [COA: 5.1.1], packet 1883
dst of request 1.1.0 (HA), packet 2003
9.655065 MH 1.1.1 has new coa (5.2.1) and new map (4.0.0)
9.655065 Complete L2 handoff
```

#### 8.10.5 Υλοποίηση του πρωτοκόλλου FHMIP στον Ns

Η υλοποίηση του πρωτοκόλλου FHMIP<sup>16</sup> στον Ns συνδυάζει τις λειτουργίες του FMIP και HMIP. Περιέχει όπως και τα υπόλοιπα πρωτόκολλα την έννοια των priorities στα Base Station. Επομένως όταν ο κινητός κόμβος λάβει το advertisement από τον NAR, όπως και στο FMIP εγκαθιδρύει το τούνελ μεταξύ του PAR και NAR. Όταν λάβει ο κινητός κόμβος το PRRTADV από τον PAR τότε αντίθετα με το HMIP αλλά όπως στο HMIP πρωτόκολλο στέλνεται registration request στον MAP και έπειτα στον HA. Η υλοποίηση του FHMIP παρέχεται περισσότερο ως

βελτιστοποίηση του FMIP στο σημείο της ενημέρωσης του HA με την νέα CoA διεύθυνση. Ο MAP ενημερώνεται πιο σύντομα έτσι έχουμε μικρότερο αριθμό πακέτων να στέλνεται στο τούνελ. Η διαδικασία και τα μηνύματα ελέγχου που στέλνονται για το handoff με τον νέο AR είναι τα ακόλουθα.

```
8.846802 MH 1.1.1 received ADS with coa 5.2.1
8.846802 MH [1.1.1] sends RTSOLPR to PAR [5.1.1], packet 1803
8.848163 PAR [5.1.1] recv RTSOLPR from [1.1.1], packet 1803
9.148393 NAR [5.2.1] recv HI from [5.1.1], packet 1803
9.448624 PAR [5.1.1] recv HACK from [5.2.1], packet 1803
9.451816 DECAP[5.1.1] Remove outer header [5.1.1] Restore inner header [1.1.1:2.1.0],
packet 1783
9.451816 ENCAP TunnelExit:[5.2.1/1] OrigPkt:[1.1.1], packet 1783
.....
10.651087 MN [1.1.1] recv PRRTADV from [5.1.1], packet 1803
10.651087 MH 1.1.1 sends request (packet 2264) to 5.2.1
10.652612 BS 5.2.1 forwarding reg-request from 1.1.1 to HA 1.1.0, packet 2264
11.102958 HA 1.1.0 updated (FA 5.2.1), packet 2264
11.553304 BS 5.2.1 received reply from BS 1.1.0, packet 2264
11.575258 MH 1.1.1 received reply from BS 5.2.1 [COA: 1023.2047.2047], packet 2264
11.595258 MH 1.1.1 has new coa (5.2.1)
11.595258 Complete L2 handoff
```

# Κεφάλαιο 9

## Υλοποίηση προσομοιωτών

---

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 9.1 Εισαγωγή.....                           | 51 |
| 9.2 Λεπτομέρειες υλοποίησης σεναρίων .....  | 53 |
| 9.3 Υλοποίηση σεναρίων σε MPLS κόμβους..... | 57 |

---

### 9.1 Εισαγωγή

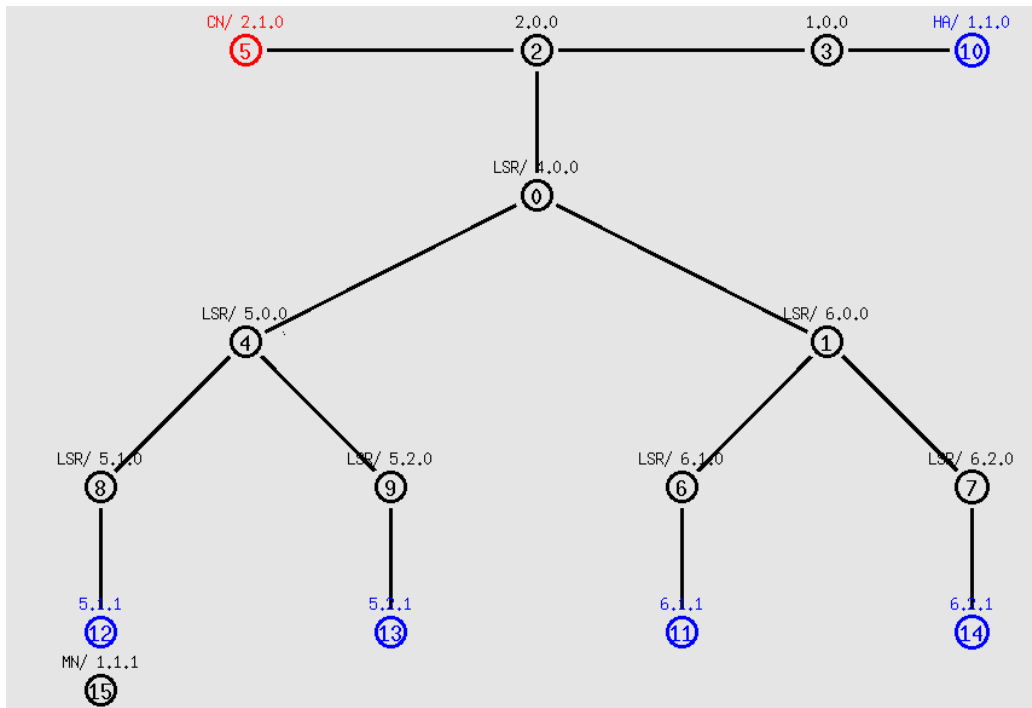
Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος της αποδοτικότητας διαχείρισης κινητικότητας σε MPLS δίκτυο. Συγκεκριμένα εξετάζονται τέσσερα πρωτόκολλα κινητικότητας, το FHMIP, HMIP, FMIP και MIP. Όπως έχω αναφέρει και στα προηγούμενα κεφάλαια η τρέχων έκδοση του ns2.31 δεν υποστηρίζει την δημιουργία MPLS κόμβου με ιεραρχική διεύθυνση, αλλά ούτε και τα πρωτόκολλα που έχω αναφέρει. Για την εισαγωγή αυτών των δύο λειτουργιών στον ns ακολουθήθηκε μια διαδικασία που αναφέρω στο Παράρτημα A.2 του εγγράφου.

Για σκοπούς σύγκρισης αποτελεσμάτων δημιούργησα τρεις κατηγορίες σεναρίων όπου η κάθε μια περιέχει τέσσερα σενάρια. Το κάθε σενάριο χρησιμοποιεί διαφορετικό πρωτόκολλο κινητικότητας. Συγκεκριμένα έχω τις κατηγορίες:

- **Κατηγορία 1<sup>η</sup>: Το σώμα του δικτύου αποτελείται από IP κόμβους.** Η κατηγορία αυτή προσομοιώνει την λειτουργία των πρωτοκόλλων όπως αυτή περιγράφεται από τα RFC.
- **Κατηγορία 2<sup>η</sup>: Το σώμα του δικτύου αποτελείται από MPLS κόμβους.** Η κατηγορία αυτή δημιουργήθηκε για την μελέτη της αποδοτικότητας των πρωτοκόλλων με απλή αντικατάσταση του δικτύου από IP κόμβους με MPLS κόμβους.

- **Κατηγορία 3<sup>η</sup>:** Το σώμα του δικτύου αποτελείται από MPLS κόμβους αλλά τα Base Stations στα άκρα είναι IP κόμβοι. Η κατηγορία αυτή δημιουργήθηκε για σκοπούς έλεγχου της επίδρασης ενός MPLS Base Station σε ένα δίκτυο, συγκρίνοντας το με την δεύτερη κατηγορία.

Η τοπολογία του δικτύου είναι κοινή για όλα τα σενάρια και έχει την μορφή που παρουσιάζει η Εικόνα 9.1.



**Εικόνα 9.1 Κοινή τοπολογία σεναρίων**

Η λειτουργία των οντοτήτων που συναντούμε στην τοπολογία ανεξάρτητα από την κατηγορία στην οποία ανήκει και το πρωτόκολλο κινητικότητας του σεναρίου είναι οι ακόλουθες:

**CN (Correspondent Node)**, είναι ο κόμβος που θέλει να επικοινωνήσει με τον κινητό κόμβο και να του στείλει πακέτα.

**HA (Home Agent)**, είναι ο κόμβος που ενεργεί ως agent για τον κινητό κόμβο. Γνωρίζει την τρέχων διεύθυνση του κόμβου. Έχει την δυνατότητα να λάβει τα πακέτα που προορίζονται για την home address του κόμβου, τα κάνει encapsulation και έπειτα τα προωθήσει στην CoA του κόμβου (την διεύθυνση του Base Station).

**MN (Mobile Node)**, είναι ο κόμβος που έχει την δυνατότητα να κινείται και να παραλαμβάνει τα πακέτα που προορίζονται για αυτόν μέσω ενός base station από ασύρματη σύνδεση.

**AR (Access Router)**, είναι ο κόμβος που λειτουργεί ως agent για τον κινητό κόμβο. Μπορούν να λάβουν τα μηνύματα που στέλνονται για τον κινητό κόμβο, κάνουν decapsulation το μήνυμα και το προωθήσουν στον κινητό κόμβο.

Συγκεκριμένα σε κάθε σενάριο έχουμε ένα HA, MN και CN, τέσσερις BS και εννέα ενσύρματους κόμβους (είτε MPLS είτε IP κόμβους)

## 9.2 Λεπτομέρειες υλοποίησης σεναρίων

Όπως έχει περιγραφεί και στην εισαγωγή του Κεφαλαίου 9 ο HA και τα AR είναι mobile Base Station και η υλοποίηση στον Ns είναι διαφορετική από τον κανονικό κόμβο.

|                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| set opt(chan)   | Channel/WirelessChannel  |
| set opt(prop)   | Propagation/TwoRayGround |
| set opt(netif)  | Phy/WirelessPhy          |
| set opt(mac)    | Mac/802_11               |
| set opt(ifq)    | Queue/DropTail/PriQueue  |
| set opt(ll)     | LL                       |
| set opt(ant)    | Antenna/OmniAntenna      |
| set opt(ifqlen) | 50                       |

```
# Create access point(s)
$ns_ node-config -mobileIP ON \
    -adhocRouting NOAH \
    -llType $opt(ll) \
    -macType $opt(mac) \
    -ifqType $opt(ifq) \
    -ifqLen $opt(ifqlen) \
    -antType $opt(ant) \
    -propType $opt(prop) \
    -phyType $opt(netif) \
    -channel [new $opt(chan)] \
        -topoInstance $topo \
    -wiredRouting ON \
        -agentTrace ON \
    -routerTrace OFF \
    -macTrace ON
```

Με τις πιο πάνω διαμορφώσεις καθορίζουμε τον τύπο των επιπέδων στο stack του κόμβου, καθώς και κάποιες άλλες δυνατότητες που παρέχονται στον κόμβο. Τα κυριότερα είναι ότι:

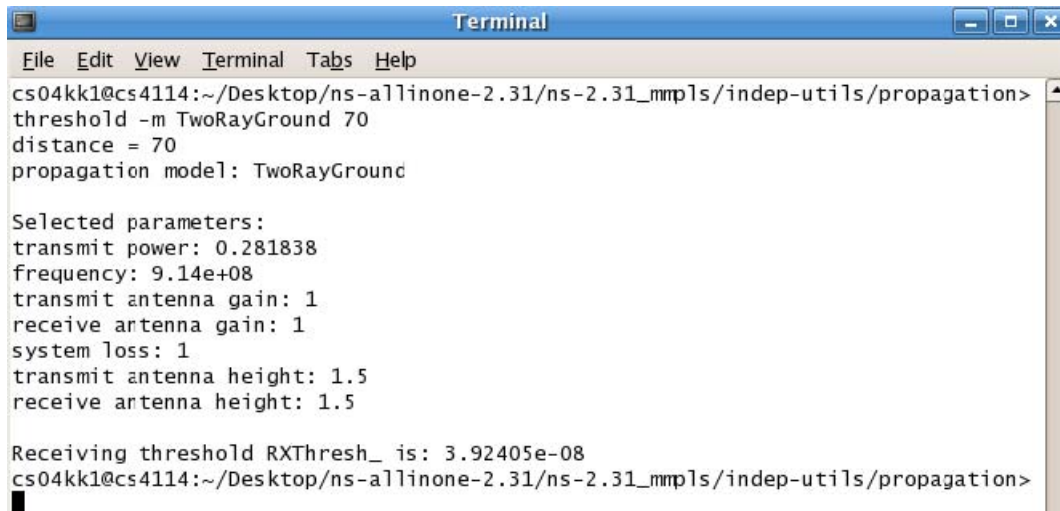
- Στο φυσικό επίπεδο υποστηρίζεται wireless channel, ο τύπος του link layer είναι LL, στο επίπεδο Mac ακολουθείτε το πρωτόκολλο 802\_11 και στο επίπεδο δικτύου είναι WirelessPhy.
- Έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει Mobile IP
- Το adhoc πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι το NOAH του οποίου τα χαρακτηριστικά περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 9
- Το μοντέλο του Propagation είναι Two Ray Ground και της αντένας είναι Omni Antenna

Ο κινητός κόμβος χρειάζεται τα module που φορτώνονται για τα base station εκτός από wire routing. Επομένως όταν δημιουργούμε τον κινητό κόμβο θα πρέπει να απενεργοποιούμε το module για το wire routing. Επίσης θα καθορίζουμε ποιος κόμβος είναι ο HA agent του.

```
$ns_ node-config -wiredRouting OFF
set node(0) [$ns_ node 1.1.1]; $node(0) set X_ 100.0; $node(0) set Y_ 30.0; $node(0) random-motion 0
[$node(0) set regagent _] set home_agent_ [AddrParams addr2id [SHA1 node-addr]]
```

Στα σενάρια που υλοποίησα είναι σημαντικό να καθορίσω την εμβέλεια επικοινωνίας των Access Router με τον κινητό κόμβο, αυτό μπορεί να καθοριστεί δίνοντας την κατάλληλη τιμή στο Received Threshold στο επίπεδο δικτύου. Ο Ns παρέχει ένα πρόγραμμα το οποίο τρέχοντας το εκτελέσιμο του με παραμέτρους τον τύπο του propagation και το μήκος της ακτίνας από τον AR, απαντά με τις κατάλληλες τιμές που πρέπει να δοθούν για τον καθορισμό της εμβέλειας επικοινωνίας.

Στα σενάρια χρειάζεται να υπάρχει επικάλυψη στην εμβέλεια των AR. Η απόσταση μεταξύ των AR είναι 100m, επομένως καθορίζοντας το μέγεθος της ακτίνας στα 70m δίνουμε 20m επιφάνεια όπου ο κινητός κόμβος μπορεί να επικοινωνήσει και με τα δύο γειτονικά AR. Η Εικόνα 9.2 παρουσιάζει το αποτέλεσμα της εκτέλεσης του προγράμματος threshold.



```
Terminal
File Edit View Terminal Tabs Help
cs04kk1@cs4114:~/Desktop/ns-allinone-2.31/ns-2.31_mmp1s/indep-utils/propagation>
threshold -m TwoRayGround 70
distance = 70
propagation model: TwoRayGround

Selected parameters:
transmit power: 0.281838
frequency: 9.14e+08
transmit antenna gain: 1
receive antenna gain: 1
system loss: 1
transmit antenna height: 1.5
receive antenna height: 1.5

Receiving threshold RXThresh_ is: 3.92405e-08
cs04kk1@cs4114:~/Desktop/ns-allinone-2.31/ns-2.31_mmp1s/indep-utils/propagation>
```

**Εικόνα 9.2 - Υπολογισμός του Received Threshold**

Βάση των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση του προγράμματος θέτουμε τις ακόλουθες τιμές στις παραμέτρους του WirelessPhy των Base Stations.

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| Phy/WirelessPhy set Pt_        | 0.281838    |
| Phy/WirelessPhy set freq_      | 9.14e+08    |
| Phy/WirelessPhy set CPTthresh_ | 10.0        |
| Phy/WirelessPhy set CSTthresh_ | 3.92405e-08 |
| Phy/WirelessPhy set RXThresh_  | 3.92405e-08 |
| Phy/WirelessPhy set L_         | 1.0         |

Σε όλα τα σενάρια υπάρχει κινητικότητα ενός κόμβου (MN) προς διαφορετικό AR και ταυτόχρονη επικοινωνία με ένα ενσύρματο κόμβο (CN) που βρίσκεται σε διαφορετικό υποδίκτυο από αυτό του MN. Συγκεκριμένα το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι το UDP και η εφαρμογή που τρέχουν είναι CBR. Επίσης καθορίζεται πώς το flow id έχει τον αριθμό 7, το χρώμα της ροής στο Nam είναι κόκκινο και τα πακέτα έχουν μέγεθος 100 bytes και με συχνότητα αποστολής 0.2Mb σε κάθε δευτερόλεπτο.

```
set source1 [new Agent/UDP]
$source1 set fid_ 7
$ns_ color 7 "red"

set sink1 [new Agent/LossMonitor]
$ns_ attach-agent $CN1 $source1
$ns_ attach-agent $node(0) $sink1
$ns_ connect $source1 $sink1

set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]
$source1 set packetSize_ 100
$cbr1 set packetSize_ 100
```

```
$cbr1 set rate_ 0.2Mb  
$cbr1 attach-agent $source1
```

Για την υλοποίηση των σεναρίων απαιτείται οι κόμβοι του δικτύου να αναγνωρίζονται μοναδικά με μια ιεραρχική διεύθυνση. Με τον ακόλουθο κώδικα δηλώνουμε τον αριθμό των domain, cluster και node που θα χρησιμοποιηθούν.

```
$ns_ node-config -addressType hierarchical  
  
AddrParams set domain_num_ 7  
AddrParams set cluster_num_ {3 3 3 3 3 3 3}  
AddrParams set nodes_num_ {2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2}
```

### 9.2.1 Υλοποίηση σεναρίου με πρωτόκολλο κινητικότητας FHMIP, HMIP, FMIP και MIP

Στα πρωτόκολλα FHMIP, HMIP και FMIP δηλώνουμε την προτεραιότητα των BS κόμβων βάση της σειράς επίσκεψης του κινητού κόμβου. Η προτεραιότητα επιτρέπει στον κινητό κόμβο να αλλάξει AR μόλις λάβει advertisement από τον AR με μεγαλύτερη προτεραιότητα.

```
[$n(3) set regagent_] priority 3  
[$n(4) set regagent_] priority 4  
[$n(2) set regagent_] priority 5  
[$n(5) set regagent_] priority 6
```

Το χρονικό διάστημα που ο κάθε BS θα στέλνει το advertisement μήνυμα είναι ένα δευτερόλεπτο.

```
[$HA1 set regagent_] beacon-period 1  
[$n(5) set regagent_] beacon-period 1  
[$n(2) set regagent_] beacon-period 1  
[$n(3) set regagent_] beacon-period 1  
[$n(4) set regagent_] beacon-period 1
```

Ο καθορισμός του ενσύρματου κόμβου που θα αντιπροσωπεύει τον MAP agent υπάρχει στα σενάρια με το πρωτόκολλο FHMIP και HMIP.

```
$ns_ attach-mapagent $node(6)
```

Η διαφορά στην λειτουργία των πρωτοκόλλων είναι με το εκτελέσιμο του Ns που χρησιμοποιούμε για να τα τρέξουμε. Για τον σκοπό αυτό έχω δημιουργήσει τα εκτελέσιμα ns\_fmip, ns\_hmip, ns\_fmip και ns\_mip τα οποία έχουν διαφορετικά default στο αρχείο mobile/mip-reg.cc η διαδικασία περιγράφεται στο Παράρτημα A.2

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των διαφόρων σεναρίων θα πρέπει να τα προσαρμόσουμε την ταχύτητα κίνησης του MN στην χειρότερη περίπτωση. Η χειρότερη περίπτωση καθορίζεται από τον χρόνο που χρειάζεται ένα πρωτόκολλο κινητικότητας να ανταλλάξει τα μηνύματα που απαιτούνται. Το πρωτόκολλο FMIP έχει τις περισσότερες απαιτήσεις σε χρόνο λόγω τις ανταλλαγή των μηνυμάτων για την εγκαθίδρυση του τούνελ μεταξύ του PAR και NAR και το registration με τον HA.

Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να κοιτάξουμε είναι η διαφορά που υπάρχει μεταξύ της αρχιτεκτονικής του κόμβου. Στην περίπτωση που όλοι οι κόμβοι είναι IP παρατήρησα κάποια επιπλέον ανάγκη για καθυστέρηση. Μετά από πειράματα κατέληξα σε ταχύτητα 7 m/sec. Επομένως ο κινητός κόμβος κινείται προς τα δεξιά με σταθερή ταχύτητα σταματώντας για 2 δευτερόλεπτα κάτω από κάθε AR, συνολικά χρειάζεται 50 δευτερόλεπτα για να φτάσει και στο τελευταίο AR.

```
$ns_ at 0.0 "$node(0) setdest 100.0 30.0 7"  
$ns_ at 2.0 "$node(0) setdest 200.0 30.0 7"  
$ns_ at 18.0 "$node(0) setdest 300.0 30.0 7"  
$ns_ at 34.0 "$node(0) setdest 400.0 30.0 7"  
$ns_ at 50.0001 "stop"
```

### 9.3 Υλοποίηση σεναρίων σε MPLS κόμβους

Στην περίπτωση που τα σενάρια ανήκουν στην κατηγορία που το σώμα του δικτύου αποτελείται από MPLS κόμβους τότε για την δημιουργία ενός ενσύρματου κόμβου γράφουμε τον ακόλουθο κώδικα.

```
set node(6) [$ns_ node 4.0.0]; $node(6) set X_ 250.0; $node(6) set Y_ 200.0;
```

```
$ns_ add-to-mpls-list $node(6)
```

Το ίδιο συμβαίνει και με τα Base Station, θα πρέπει πριν την δημιουργία των κόμβων να προστεθεί ο απαραίτητος κώδικας (αναφέρεται στο υποκεφάλαιο 9.2) που θα φορτώσει τα module.

Επιπλέον όλες οι ενώσεις των MPLS κόμβων έχουν 10Mb bandwidth, με 60 millisecond καθυστέρηση και τύπο ουράς CBQ (Class Based Queuing). Ο τύπος CBQ επιτρέπει τον διαχωρισμό των ροών.

```
$ns_ duplex-link $node(4) $node(2) 10Mb 60ms CBQ
```

Έπειτα όλοι οι MPLS κόμβους διαμορφώνονται με CBQ ούτως ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν την υπηρεσία SBT (Simple Best-Effort Traffic). Τα πακέτα που περιέχουν το flow id 0 και 1 (Mobile IP μηνύματα) ,7 (πακέτα που στέλνονται από τον CN → MN) να σχετίζονται με την υπηρεσία SBTS.

```
$ns_ cfg-cbq-for-SBTS 10 DropTail 990000.000000 0.010000 auto 0.000000  
$ns_ bind-rsvpte-to-SBTS  
$ns_ bind-flowid-to-SBTS 0  
$ns_ bind-flowid-to-SBTS 1  
$ns_ bind-flowid-to-SBTS 7
```

Όταν οι MPLS κόμβοι και οι ενώσεις μεταξύ τους έχουν δημιουργηθεί υπολογίζεται η συντομότερη διαδρομή από κάθε MPLS κόμβο σε όλους τους άλλους MPLS κόμβους και ενημερώνεται το routing table.

```
$ns_ compute-routes
```

Στην συνέχεια καθορίζεται το πώς θα γίνει η κατανομή των RSVP-TE μηνυμάτων μεταξύ όλων των RSVP agent ακόμη και όταν δεν υπάρχουν πακέτα για να μεταφερθούν. Για κάθε FEC (προορισμό) δημιουργείται ένα LSP. Τα LSPs δημιουργούνται με την αποστολή μηνυμάτων mapping από κάθε RSVP agent σε όλους τους άλλους με το FEC και το label που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την αποστολή των μηνυμάτων.

```
$ns_ enable-control-driven
```

Για κάθε ροή με το flow id 7 που περνά από MPLS κόμβο με την διεύθυνση 4.0.0 (στα πρωτόκολλα fhmir και hmip εξυπηρετεί την οντότητα MAP) και καταλήγει σε ένα από τα BS δημιουργείται ένα session.

```
set ses(0) [$LSR(12) session $n(3) 1]
set ses(1) [$LSR(12) session $n(4) 1]
set ses(2) [$LSR(12) session $n(2) 1]
set ses(3) [$LSR(12) session $n(5) 1]
```

Στην συνέχεια δηλώνεται ρητά η διαδρομή από την οποία θα περάσουν τα πακέτα και δεσμεύεται bandwidth για την συγκεκριμένη ροή. Για κάθε LSP που δημιουργείται ανατίθεται και ένα LSP id. Για κάθε LSP id συσχετίζεται με το flow id της ροής και τον προορισμό της ροής.

```
$ns_ at 0.5 "$LSR(12) PATH-resv-er $ses(0) 1000.000000 50 50 $n(3) 1001 5 5 5.0.0_5.1.0_5.1.1"
$ns_ at 0.5 "$LSR(12) PATH-resv-er $ses(1) 1000.000000 50 50 $n(4) 1003 5 5 5.0.0_5.2.0_5.2.1"
$ns_ at 0.5 "$LSR(12) PATH-resv-er $ses(2) 1000.000000 50 50 $n(2) 1005 5 5 6.0.0_6.1.0_6.1.1"
$ns_ at 0.5 "$LSR(12) PATH-resv-er $ses(3) 1000.000000 50 50 $n(5) 1007 5 5 6.0.0_6.2.0_6.2.1"

$ns_ at 1.000000 "$LSR(12) bind-flow-erlsp 5.1.1 7 1001"
$ns_ at 1.000000 "$LSR(12) bind-flow-erlsp 5.2.1 7 1003"
$ns_ at 1.000000 "$LSR(12) bind-flow-erlsp 6.1.1 7 1005"
$ns_ at 1.000000 "$LSR(12) bind-flow-erlsp 6.2.1 7 1007"
```

#### 9.4 Υλοποίηση σεναρίων με IP κόμβους

Στις δύο κατηγορίες σεναρίων όπου το σώμα του δικτύου αποτελείται από IP κόμβους αλλά και σε αυτήν που τα BS είναι IP κόμβοι θα πρέπει δημιουργείται η σύνδεση ο τύπος της ουράς να είναι DropTail, τα υπόλοιπα στοιχεία παραμένουν τα ίδια.

```
$ns_ duplex-link $node(4) $node(2) 10Mb 60ms DropTail
```

# Κεφάλαιο 10

## Πειραματικά αποτελέσματα, Σύγκριση και Συμπεράσματα

---

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 10.1 Εισαγωγή.....                              | 60 |
| 10.2 Επεξήγηση των trace files.....             | 61 |
| 10.3 Ανάλυση trace files.....                   | 62 |
| 10.4 Παρουσίαση και Ανάλυση αποτελεσμάτων ..... | 68 |
| 10.5 Επιλογή της βέλτιστης λύσης .....          | 81 |
| 10.6 Συμπεράσματα .....                         | 81 |
| 10.8 Μελλοντική εργασία .....                   | 82 |

---

### 10.1 Εισαγωγή

Η εισαγωγή της MPLS τεχνολογίας σε ένα δίκτυο από θεωρητική άποψη βελτιώνει την απόδοση λόγω switching με ετικέτες. Επιπλέον όταν υπάρχει ανάγκη για διαχείριση κινητικότητας χρησιμοποιώντας ένα από τα πρωτόκολλα FHMIP, HMIP και FMIP επιτρέπει την μείωση της καθυστέρησης στην ενημέρωση του HA αλλά και του handover με τον νέο AR. Ο συνδυασμός των δύο προβλέπεται πώς θα δίνει καλύτερα αποτελέσματα από άποψη απόδοσης.

Για σκοπούς ανάλυσης και σύγκρισης θα πρέπει να τεθούν κάποιες μετρικές σύγκρισης. Η καλύτερη περίπτωση διαχείρισης κινητικότητας θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από καθόλου απώλειες και αποστολής πακέτων στον κινητό κόμβο χωρίς επιπλέον καθυστέρηση. Το χάσιμο πακέτων εξαρτάται από το πόσο έγκαιρα ενημερώνεται ο HA ή ο MAP για την νέα διεύθυνση. Η ενημέρωση του HA συνδέεται με τον χρόνο που χρειάζεται για να εκτελεστεί το handover με τον NAR. Ενώ αντίθετα η καθυστέρηση εξαρτάται περισσότερο από τον τρόπο δρομολόγησης των πακέτων. Όλες οι πιο πάνω μετρικές έχουν αντίκτυπο στην ρυθμοαπόδοση, η οποία θα καθορίσει την αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου.

Ο υπολογισμός των ποιο πάνω μετρικών απαιτεί ανάλυση όλων των γεγονότων στο δίκτυο. Όλα τα γεγονότα της προσομοίωσης των σεναρίων αποθηκεύονται στο αρχείο με την κατάληξη tr (trace file). Για τον σκοπό αυτό έχω δημιουργήσει τρία bash script προγράμματα που αναλύουν το περιεχόμενο των trace file και ακόμη δύο που αναλύουν την έξοδο της εκτέλεσης του προγράμματος. Τα πρώτα τρία αρχεία δίνουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις μετρικές delay (end-to-end), drops και throughput σε σχέση με τα πακέτα που στέλνονται ή παραλαμβάνονται και το χρόνο προσομοίωσης. Τα δύο τελευταία υπολογίζουν τον χρόνο που χρειάζεται για να εκτελεστεί το handover με νέο AR.

## 10.2 Επεξήγηση των trace files

Τα trace file αρχεία παράγονται από το τρέξιμο των σεναρίων και περιέχουν τριών ειδών πληροφοριών:

- Γεγονός κίνησης του κινητού κόμβου
- Γεγονός κίνηση πακέτου σε ενσύρματο ένωση (πακέτα ενημέρωσης Mobile IP, udp επικοινωνίας, δέσμευση μονοπατιού και της εφαρμογής CBR)
- Γεγονός κίνηση πακέτου σε ασύρματη ένωση

Παράδειγμα εγγραφής από το trace file που αντιπροσωπεύει γεγονός κίνησης πακέτου σε ενσύρματη ένωση.

|                                                    |
|----------------------------------------------------|
| r 0.301359 12 8 udp 48 ----- 0 5.1.1.0 1.1.1.0 0 2 |
|----------------------------------------------------|

Η πιο πάνω εγγραφή μας δίνει τις πληροφορίες:

- Ο κόμβος με το id 8 (4<sup>ο</sup> δεδομένο) παράλαβε (r – 1<sup>ο</sup> δεδομένο) το πακέτο από τον κόμβο 12 (3<sup>ο</sup> δεδομένο) στον χρόνο 0.301359.
- Το όνομα του πακέτου είναι udp (5<sup>ο</sup> δεδομένο) και έχει μέγεθος 48 bytes.

- Το πακέτο ανήκει στην ροή με id 0, έχει διεύθυνση πηγής 5.1.1 και port number 0 και διεύθυνση προορισμού 1.1.1 και port number 0
- Το μοναδικό αναγνωριστικό του πακέτου είναι ο αριθμός 2 και ο ακολουθιακός αριθμός είναι το 0

Παράδειγμα εγγραφής από το trace file που αντιπροσωπεύει γεγονός κίνησης πακέτου σε ασύρματη ένωση.

```
s -t 3.013767141 -Hs 12 -Hd 4196353 -Ni 12 -Nx 100.00 -Ny 50.00 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -NI MAC
-Nw --- -Ma 13a -Md 5 -Ms 2 -Mt 800 -Is 8390656.2 -Id 4196353.2 -It cbr -Il 152 -If 7 -Ii 386 -Iv 26 -
Pn cbr -Pi 343 -Pf 0 -Po 0
```

Η πιο πάνω εγγραφή μας δίνει τις ακόλουθες σημαντικές πληροφορίες:

- Το πακέτο στάλθηκε (s) από τον κόμβο με id 12 (-Hs 12) και ο επόμενος κόμβος προς τον προορισμό είναι ο κινητός κόμβος (-Hd 4196353) στον χρόνο 3.013767141 (-t 3.013767141)
- Ο κόμβος που παρέλαβε το πακέτο έχει id 12 (-Ni 12) βρίσκεται στην θέση 100 στον άξονα X, 50 στον άξονα Y και 0 στον άξονα Z (-Nx 100.00 -Ny 50.00 -Nz 0.00)
- Το πακέτο ανήκει στην εφαρμογή CBR (-It cbr), ο κόμβος πηγής του έχει την διεύθυνση 2.1.0 και έχει προορισμό την διεύθυνση 1.1.1 (-Is 8390656.2 -Id 4196353.2), ανήκει στην ροή με το id 7 (-If 7), το μέγεθος του πακέτου είναι 152 byte (-Il 152)
- Έχει μοναδικό αναγνωριστικό 384 (-Ii 386) και ο ακολουθιακός αριθμός είναι το 343 (-Pi 343)

### 10.3 Ανάλυση trace files

Για την αξιολόγηση των σεναρίων επεξεργάστηκα στα trace file με bash script προγράμματα. Η μετρικές σύγκρισης είναι οι ακόλουθες:

- Μέσος όρος των πακέτων που έχουν αποβληθεί σε σχέση με τον αριθμό πακέτων που στέλνονται από τον CN
- Μέσος όρος των πακέτων που έχουν αποβληθεί σε σχέση με το χρόνο προσομοίωσης
- Μέσος όρος καθυστέρηση από άκρο σε άκρο σε σχέση με τον αριθμό πακέτων που παραλαμβάνονται από τον MN
- Μέσος όρος καθυστέρηση από άκρο σε άκρο σε σχέση με το χρόνο προσομοίωσης
- Ρυθμόαπόδοση σε σχέση με τον αριθμό πακέτων που παραλαμβάνονται από τον MN
- Ρυθμόαπόδοση σε σχέση με το χρόνο προσομοίωσης
- Χρόνος εκτέλεσης του handoff σε σχέση με το πλήθος των handoff.

Για τις πιο πάνω μετρικές ο χρόνος προσομοίωσης που υπολόγιζα είναι κάθε 1 δευτερόλεπτο και για τα πακέτα είναι κάθε 20 πακέτα που λαμβάνονταν ή στέλνονταν αντίστοιχα.

### **10.3.1 Μετρική ποσοστό χαμένων πακέτων**

Η διαδικασία μέτρησης των πακέτων που έχουν αποβληθεί σε σχέση με το πλήθος των πακέτων που έχουν σταλεί από τον CN περιλαμβάνει:

- Αναγνώριση και μέτρηση των εγγραφών που αναφέρονται σε πακέτο που έχει σταλεί από τον κόμβο με το id 5 (CN) στον κόμβο με το id 2 (επόμενος κόμβος στην διαδρομή), ανήκει στην εφαρμογή cbr και έχει γίνει en-queue στην ουρά.
- Αναγνώριση και μέτρηση των εγγραφών που αναφέρονται σε πακέτο που έχει μέγεθος 51 λέξεων, έχει αποβληθεί από ένα από τα BS και ο προορισμός του ήταν ο κινητός κόμβος.
- Αν το πλήθος των πακέτων που έχουν σταλεί ξεπερνούν τον αριθμό του μετρητή τότε τυπώνεται στο αντίστοιχο αρχείο εξόδου το πλήθος τον

πακέτων που στάλθηκαν και το ποσοστό (επί της 100) των πακέτων που έχουν αποβληθεί.

Η διαδικασία μέτρησης των πακέτων που έχουν αποβληθεί σε σχέση με το τον χρόνο προσομοίωσης περιλαμβάνει:

- Αναγνώριση και μέτρηση των εγγραφών που αναφέρονται σε πακέτο που έχει σταλεί από τον κόμβο με το id 5 (CN) στον κόμβο με το id 2 (επόμενος κόμβος στην διαδρομή), ανήκει στην εφαρμογή cbr και έχει γίνει enqueue στην ουρά.
- Αναγνώριση και μέτρηση των εγγραφών που αναφέρονται σε πακέτο που έχει μέγεθος 51 λέξεων, έχει αποβληθεί από ένα από τα BS και ο προορισμός του ήταν ο κινητός κόμβος.
- Αν ο χρόνος που αναφέρεται από τις wireless εγγραφές είναι μεγαλύτερος από τον μετρητή χρόνου, τότε τυπώνεται στο αντίστοιχο αρχείο εξόδου ο χρόνος του μετρητή και το ποσοστό (επί της 100) των πακέτων που έχουν αποβληθεί.

### **10.3.2 Μετρική καθυστέρηση από άκρο σε άκρο**

Η διαδικασία μέτρησης της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο σε σχέση με το πλήθος των πακέτων που ο κινητός κόμβος έχει παραλάβει:

- Αναγνώριση της εγγραφής που αναφέρονται σε πακέτο που έχει σταλεί από τον κόμβο με το id 5 (CN) στον κόμβο με το id 2 (επόμενος κόμβος στην διαδρομή), ανήκει στην εφαρμογή cbr και έχει γίνει enqueue στην ουρά. Για κάθε εγγραφή που αναγνωρίζεται αποθηκεύεται στην θέση (ακολουθιακός αριθμός του πακέτου) του πίνακα (timeBegin) ο χρόνος που στάλθηκε το πακέτο .
- Αναγνώριση και της εγγραφής που αναφέρονται σε πακέτο που έχει μέγεθος 51 λέξεων, το έχει λάβει ο κινητός κόμβος στο επίπεδο της εφαρμογής. Για κάθε εγγραφή που αναγνωρίζεται:

- ο Αποθηκεύεται στην θέση (ακολουθιακός αριθμός του πακέτου) του πίνακα (timeEnd) ο χρόνος που λήφθηκε το πακέτο
  - ο Υπολογίζεται η διαφορά του χρόνου που το πακέτο στάλθηκε με τον χρόνο που λήφθηκε.
  - ο Ενημερώνεται ο μετρητής των πακέτων που έχουν ληφθεί με το νέο πακέτο.
- Αν το πλήθος των πακέτων που έχουν ληφθεί έχει ξεπεράσει τον αριθμό του μετρητή τότε τυπώνεται στο αντίστοιχο αρχείο εξόδου ο μέσος όρος καθυστέρησης από άκρο σε άκρο και το πλήθος των πακέτων που έχουν ληφθεί.

Η διαδικασία μέτρησης της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης:

- Αναγνώριση της εγγραφής που αναφέρονται σε πακέτο που έχει σταλεί από τον κόμβο με το id 5 (CN) στον κόμβο με το id 2 (επόμενος κόμβος στην διαδρομή), ανήκει στην εφαρμογή cbr και έχει γίνει enqueue στην ουρά. Για κάθε εγγραφή που αναγνωρίζεται αποθηκεύεται στην θέση (ακολουθιακός αριθμός του πακέτου) του πίνακα (timeBegin) ο χρόνος που στάλθηκε το πακέτο .
- Αναγνώριση και της εγγραφής που αναφέρονται σε πακέτο που έχει μέγεθος 51 λέξεων, το έχει λάβει ο κινητός κόμβος στο επίπεδο της εφαρμογής. Για κάθε εγγραφή που αναγνωρίζεται:
  - ο Αποθηκεύεται στην θέση (ακολουθιακός αριθμός του πακέτου) του πίνακα (timeEnd) ο χρόνος που λήφθηκε το πακέτο
  - ο Υπολογίζεται η διαφορά του χρόνου που το πακέτο στάλθηκε με τον χρόνο που λήφθηκε.
  - ο Ενημερώνεται ο μετρητής των πακέτων που έχουν ληφθεί με το νέο πακέτο.

- Αν ο χρόνος παραλαβής του πακέτου έχει ξεπεράσει τον μετρητή του χρόνου τότε τυπώνεται στο αντίστοιχο αρχείο εξόδου ο μέσος όρος καθυστέρησης από άκρο σε άκρο και το χρονικό σημείο της προσομοίωσης.

### 10.3.2 Μετρική ρυθμοαπόδοσης

Η διαδικασία μέτρησης της ρυθμοαπόδοσης σε σχέση με το πλήθος των πακέτων που ο κινητός κόμβος έχει παραλάβει:

- Αναγνώριση της εγγραφής που αναφέρονται σε πακέτο που έχει μέγεθος 51 λέξεων, το έχει λάβει ο κινητός κόμβος στο επίπεδο της εφαρμογής. Για κάθε εγγραφή που αναγνωρίζεται:
  - Ενημερώνεται ο μετρητής των πακέτων που έχουν ληφθεί με το νέο πακέτο.
  - Ενημερώνεται ο μετρητής του συνολικού αριθμού bytes που έχει λάβει με το μέγεθος του νέου πακέτου
- Αν το πλήθος των πακέτων που έχουν ληφθεί έχει ξεπεράσει τον αριθμό του μετρητή τότε τυπώνεται στο αντίστοιχο αρχείο εξόδου η ρυθμοαπόδοση μέχρι της συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Η διαδικασία μέτρησης της ρυθμοαπόδοσης σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης:

- Αναγνώριση της εγγραφής που αναφέρονται σε πακέτο που έχει μέγεθος 51 λέξεων, το έχει λάβει ο κινητός κόμβος στο επίπεδο της εφαρμογής. Για κάθε εγγραφή που αναγνωρίζεται ενημερώνεται ο μετρητής του συνολικού αριθμού bytes που έχει λάβει με το μέγεθος του νέου πακέτου
- Αν ο χρόνος παραλαβής του πακέτου έχει ξεπεράσει τον μετρητή του χρόνου τότε τυπώνεται στο αντίστοιχο αρχείο εξόδου η ρυθμοαπόδοση μέχρι την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

### 10.3.4 Μετρική καθυστέρησης των handoff

Τα πρωτόκολλα FHMIP, FMIP και HMIP λειτουργούν με ίδιο τρόπο όσο αφορά την έναρξη του handoff με τον νέο AR, στην συνέχεια όμως διαχειρίζονται διαφορετικά την κινητικότητα. Συγκριμένα ξεκινούν το handover με το πρώτο advertisement που λαμβάνουν από τον NAR. Αντίθετα το πρωτόκολλο MIP προϋποθέτει την λήξη της τρέχων CoA. Για τον σκοπό αυτό έχω δημιουργήσει δύο bash script (διαφορετικό για το MIP πρωτοκολλο) που υπολογίζουν την διάρκεια του handoff.

Η υλοποίηση των πρωτοκόλλων κινητικότητας στον Ns δίνει τις πληροφορίες τα μηνύματα που διακινούνται στην οθόνη. Συγκεκριμένα μας δίνουν πληροφορίες για:

- Τα πακέτα που στέλνονται και την διαδικασία που εκτελείται σε αυτά encapsulation, decapsulation, send, received και forward
- Την ενημέρωση της CoA και MAP διεύθυνσης από τον HA, MAP και MN.
- Τα μηνύματα έλεγχου που στέλνονται για διαχείριση της κινητικότητας (HI, HACK, PRTSOL, PRRADV, MAP\_REQUEST κτλ)

Διαδικασία μέτρησης της καθυστέρησης των handover για την περίπτωση του FHMIP, FMIP και HMIP:

- Αναγνώριση της πρώτης εγγραφής που αναφέρεται στην αποστολή advertisement από τον NAR στο MN και αποθήκευση του χρόνου.
- Αναγνώριση της εγγραφής που αναφέρεται στην ολοκλήρωση του handover και υπολογισμού της διαφοράς μεταξύ του χρόνου έναρξης. Τύπωμα σε αρχείο του χρόνου καθυστέρησης του handover.

Διαδικασία μέτρησης της καθυστέρησης των handover για την περίπτωση του MIP:

- Για την πρώτη ανάθεση του CoA δεν απαιτείται λήξη του CoA όπως στις άλλες περιπτώσεις, επομένως αναγνωρίζεται η έναρξη του handoff από το πρώτο adv που στέλνεται.

- Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις αναγνωρίζεται από το time out της προηγούμενης CoA.
- Αναγνώριση της εγγραφής που αναφέρεται στην ολοκλήρωση του handover και υπολογισμού της διαφοράς μεταξύ του χρόνου έναρξης. Τύπωμα σε αρχείο του χρόνου καθυστέρησης του handover.

## 10.4 Παρουσίαση και Ανάλυση αποτελεσμάτων

Οι μετρικές καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, χάσιμο πακέτων και ρυθμοαπόδοση παρουσιάζονται από γραφικές παραστάσεις. Τα αποτελέσματα για το χρόνο εκτέλεση των handoff είναι περισσότερο συγκεκριμένα και έτσι παρουσιάζονται με την χρήση πινάκων. Τα δεδομένα για τις γραφικές και τους πίνακες τα παίρνουμε από τα αποτελέσματα των bash script.

Για σκοπού σύγκρισης αποτελεσμάτων σε σχέση με την εισαγωγή της τεχνολογίας MPLS στην προσομοίωση, δίνονται και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για περισσότερο όγκο δεδομένων (0.3Mb per sec).

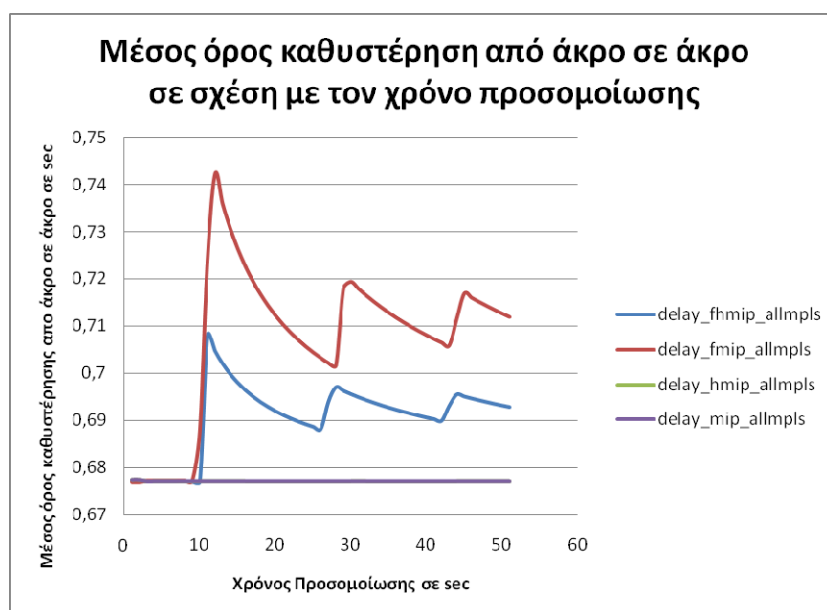
### 10.4.1 Αποτελέσματα μετρικής μέσου όρου καθυστέρησης από άκρο σε άκρο

Οι Γραφικές Παραστάσεις 10.1, 10.2 και 10.3 παρουσιάζουν τον μέσο όρο της καθυστέρηση από άκρο σε άκρο σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης για τις κατηγορίες IP Domain, MPLS Domain και MPLS Domain με IP Base Stations αντίστοιχα.

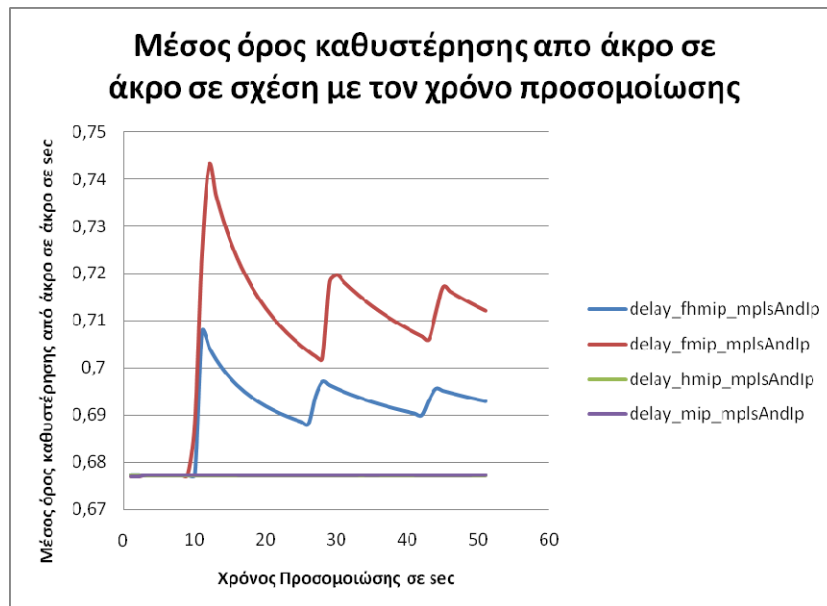
Παρατηρούμε πως η μορφή των γραφικών παραμένει η ίδια ανεξάρτητα από την κατηγορία στην οποία ανήκει. Τα πρωτόκολλα HMIP και MIP έχουν μέσο όρο καθυστέρησης που κυμαίνεται στην ίδια εμβέλεια με μικρές μεταβολές. Αντίθετα το πρωτόκολλο FMIP και FHMIP έχει τρεις σημαντικές μεταβολές (αντίστοιχες στα τρία handover).



**Γραφική Παράσταση 10.1**



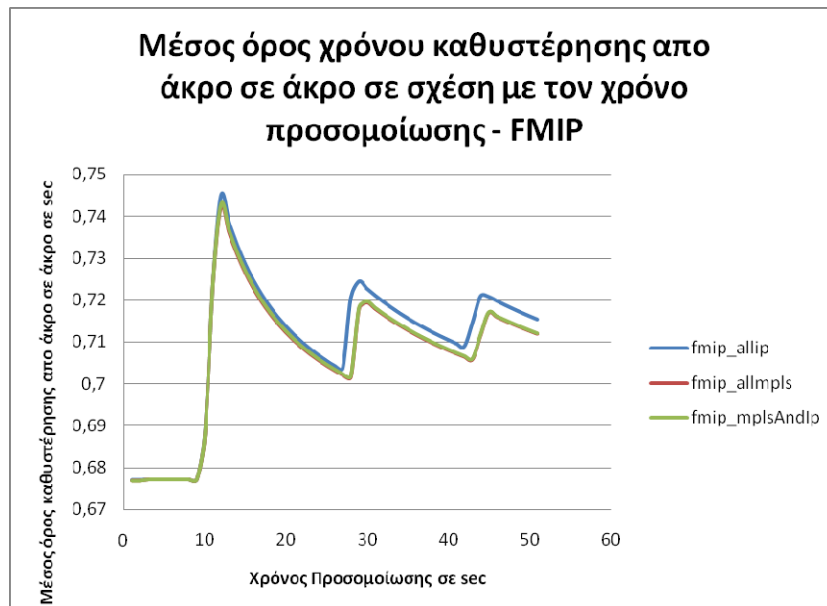
**Γραφική Παράσταση 10.2**



**Γραφική Παράσταση 10.3**

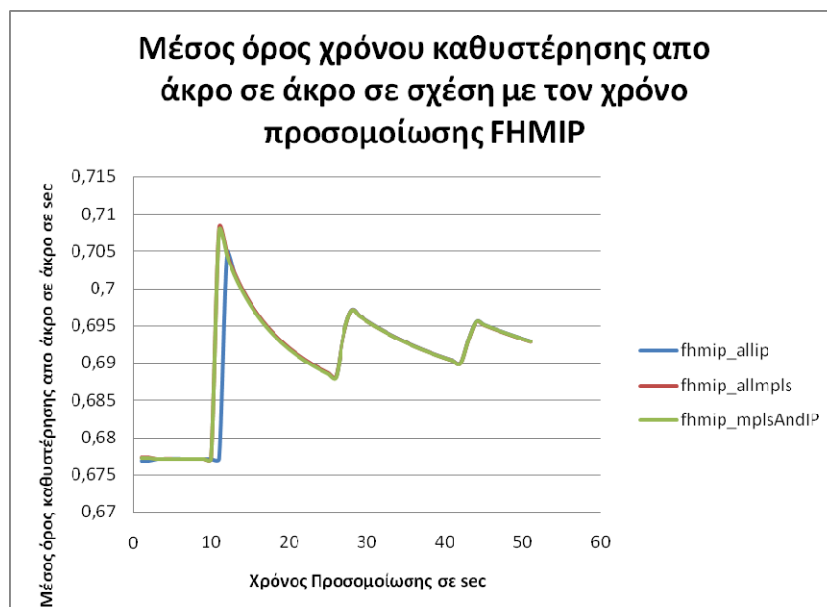
Στα πρωτόκολλα FMIP και FHMIP υπάρχει η έννοια του τούνελ. Όταν ο κινητός εκτελέσει handoff με τον NAR τότε δημιουργείται ένα τούνελ μεταξύ του PAR και NAR. Η διαδικασία αυτή του τούνελ προσθέτει καθυστέρησης στην αποστολή των πακέτων.

Από την Γραφικής Παράστασης 10.4 μπορούμε να διαπιστώσουμε τους χρόνους στους οποίους έχουμε επαναδρομολόγηση (απότομη αύξηση του χρόνου καθυστέρησης) των πακέτων στον νεό AR. Επείσης είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε την διαφορά των τιμών καθυστέρησης μεταξύ των τριών κατηγοριών. Όταν η τοπολογία αποτελείτε κυρίων από MPLS κόμβους έχουμε γρηγορότερη απόστολή πακέτων και συνεπών λιγότερη καθυστέρηση. Η μειωμένη αυτής της καθυστέρηση οφείλεται στα LSP που εγκαθυδρίονται για την ροή των πακέτων από τον Root του δικτύου στα Base Station πριν από την έναρξη της εφαρμογής, συνεπώς και γρηγορότερη δρομολόγηση.



**Γραφική Παράσταση 10.4**

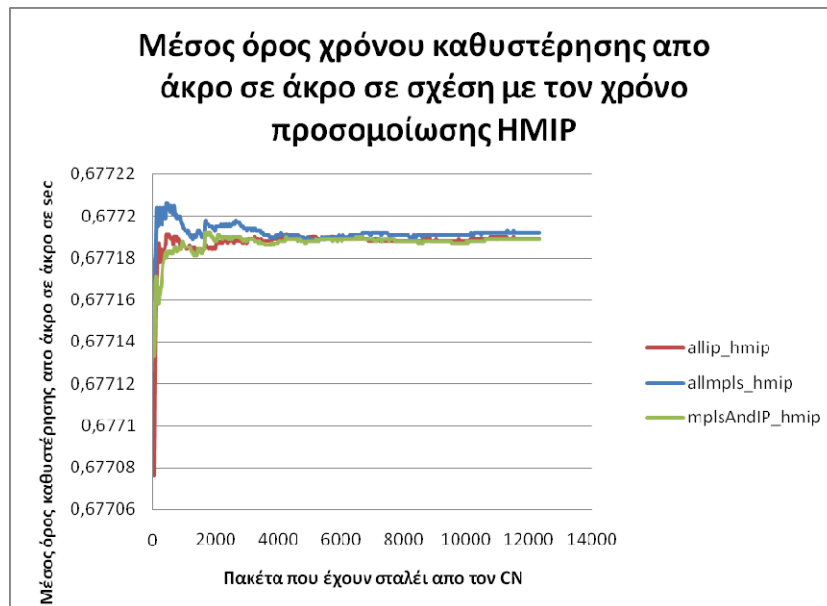
Στην γραφική παράσταση 10.5 παρατηρούμε πώς δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των κατηγοριών. Πιθανός να οφίλεται στον λιγότερο αριθμό πακέτων που μπαίνουν στο τούνελ, λόγω της πιο σύντομης ενημέρωσης μέσω του MAP για την νέα Coa.



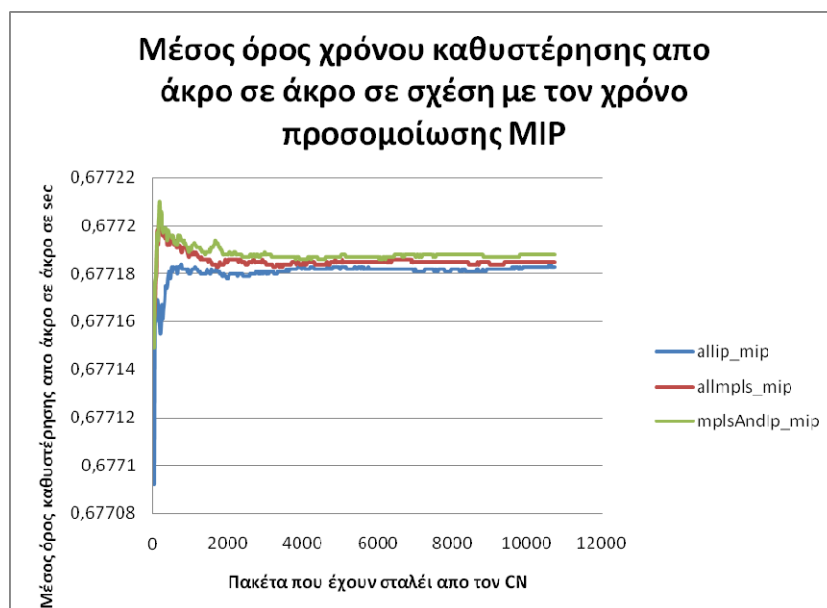
**Γραφική Παράσταση 10.5**

Στις γραφικές παραστάσεις τα πρωτόκολλα HMIP και MIP υπάρχει μια ελάχιστη διαφορά (ανάλογα με τον φόρτο του δικτύου από τα μηνύματα ελέγχου που στέλνονται) στον χρόνο σταθεροποίησης του μέσου όρου καθυστέρησης. Κοιτάζοντας

τις Γραφικές Παραστάσεις 10.6 και 10.7 παρατηρούμε πώς από τα 40000 πακέτα που έχουν ληφθεί και μετά ο μέσος όρος παραμένει σταθερός με μικρές διακυμάνσεις.



**Γραφική Παράσταση 10.6**

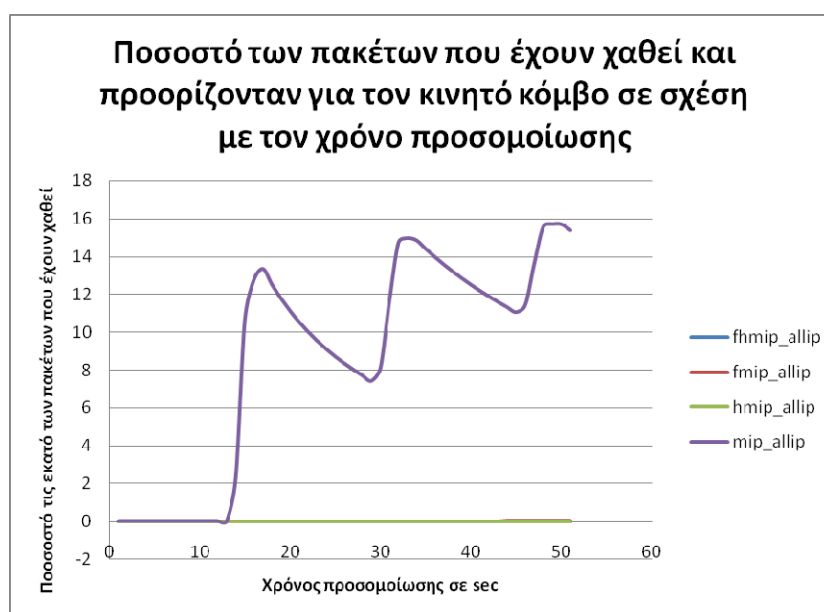


**Γραφική Παράσταση 10.7**

### 10.4.2 Αποτελέσματα μετρικής ποσοστού χαμένων πακέτων

Οι Γραφικές Παραστάσεις 10.7, 10.8 και 10.9 παρουσιάζουν το ποσοστό των πακέτων που έχουν χαθεί και προορίζονταν για τον κινητό κόμβο σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης για όλα τα σενάρια σε IP Domain, MPLS Domain και MPLS Domain με IP Base Stations.

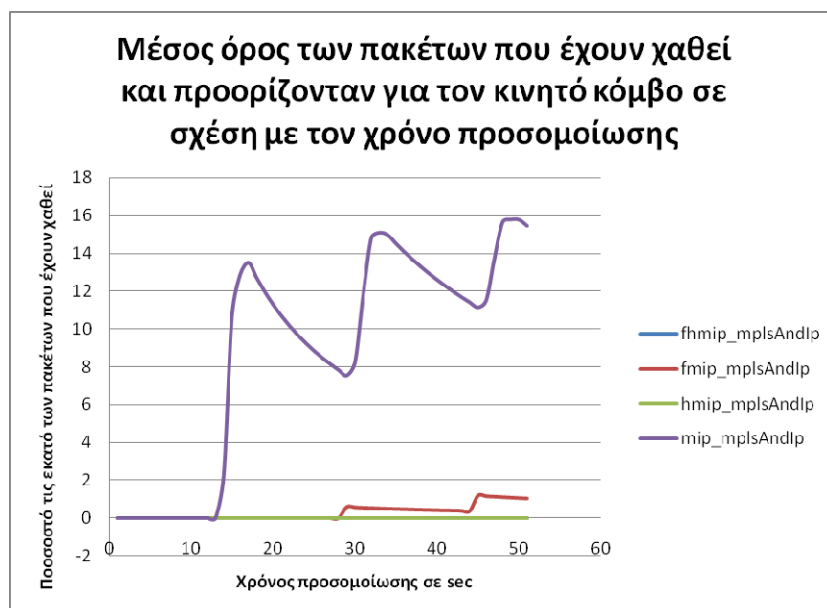
Παρατηρούμε πως και στα τρία πρωτόκολλα FHMIP, HMIP και FMIP ανεξάρτητα από την κατηγορία στην οποία ανήκουν, το ποσοστό των πακέτων που χάνονται είναι σχεδόν μηδενικό. Η απουσία χαμένων πακέτων οφείλεται στην άμεση ενημέρωση του HA και MAP (όπου εμφανίζεται) για την νέα CoA, αλλά και την έναρξη του handoff με το πρώτο advertisement που λαμβάνεται από τον HA. Αντίθετα στο πρωτόκολλο MIP λόγω της μη αποδοτικής διαχείρισης της κινητικότητας παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια των handoff υπάρχουν σημαντικές απώλειες πακέτων. Τα ποσοστά των χαμένων πακέτων για το πρωτόκολλο MIP είναι τα ίδια ανεξάρτητα με την κατηγορία στην οποία ανήκει το σενάριο.



**Γραφική Παράσταση 10.7**



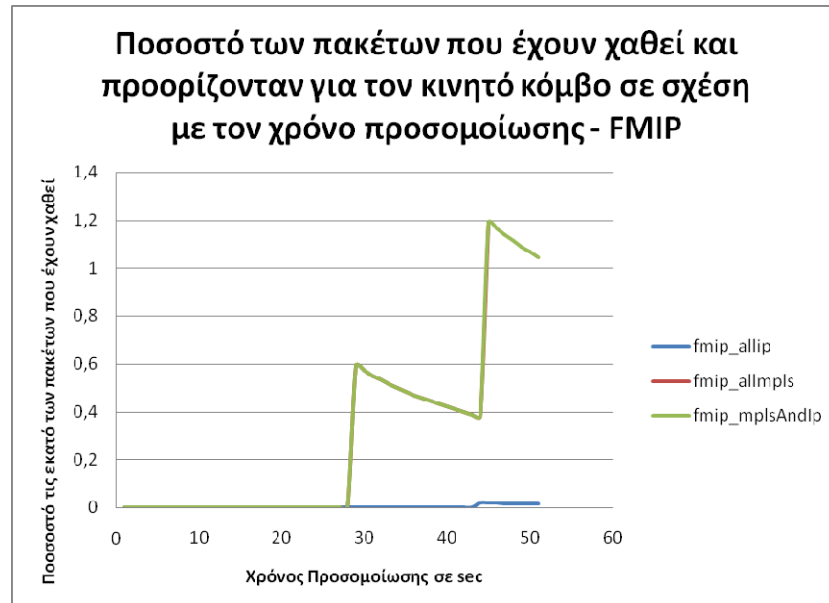
**Γραφική Παράσταση 10.8**



**Γραφική Παράσταση 10.9**

Η Γραφική Παράσταση 10.10 δίνει το ποσοστό των πακέτων που χάνονται για το πρωτόκολλο FMIP. Στις κατηγορίες με MPLS domain και MPLS domain με IP Base Station κατά την διάρκεια του 2<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> handoff υπήρξε χάσιμο πακέτων με τα ίδια ακριβώς ποσοστά. Μελετώντας το αντίστοιχο trace file διαπίστωσα πώς τα πακέτα χάθηκαν επειδή υπήρχε καθυστέρηση στην ενημέρωση του HA με την νέα CoA. Για

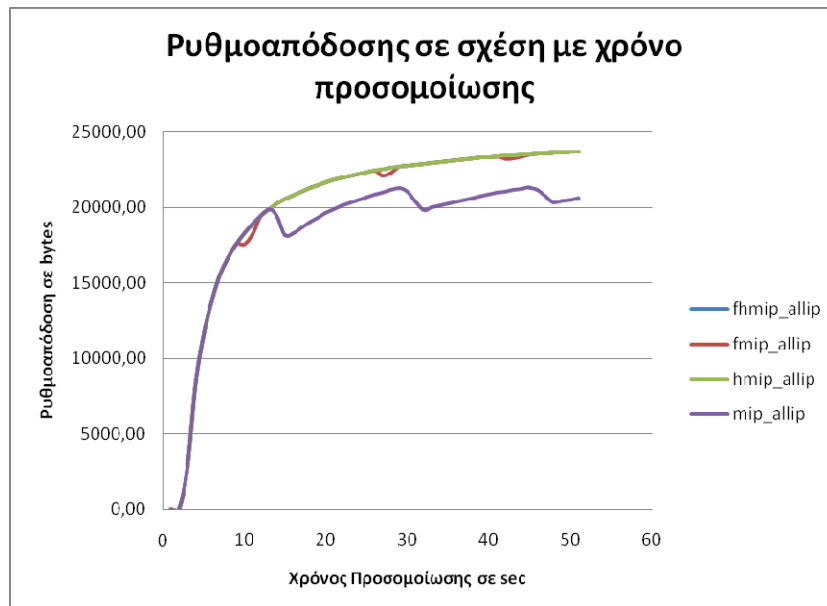
τον ίδιο λόγο και στην κατηγορία σε IP domain έχουμε ένα μικρό ποσοστό πακέτων που χάνονται.



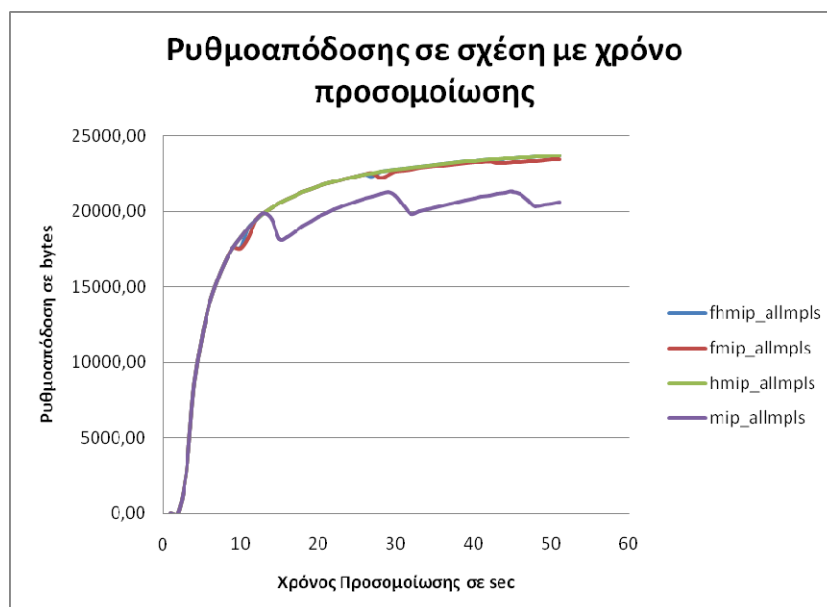
**Γραφική Παράσταση 10.10**

#### **10.4.3 Αποτελέσματα μετρικής ρυθμοαπόδοσης**

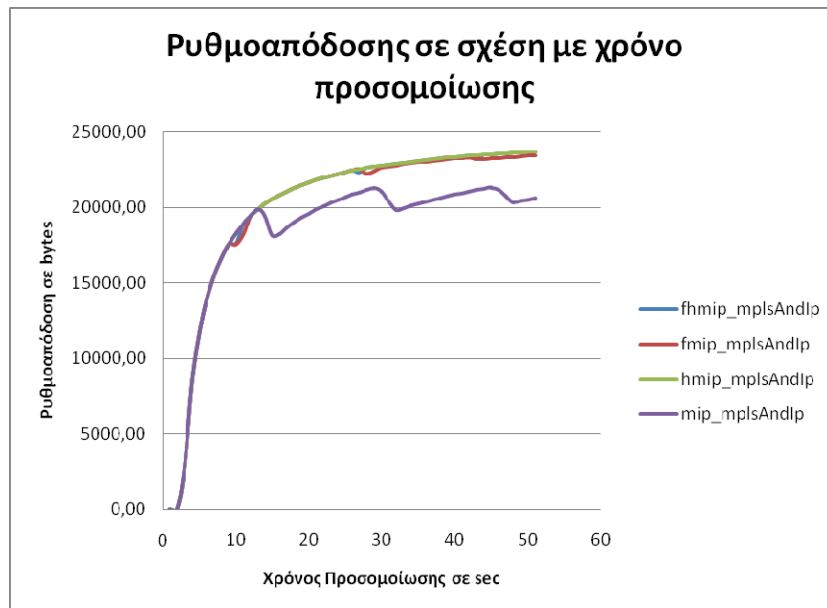
Οι Γραφικές Παραστάσεις 10.11, 10.12, 10.13 παρουσιάζουν την ρυθμοαπόδοση σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης για όλα τα πρωτόκολλα στις αντίστοιχες κατηγορίες. Η συμπεριφορά των κατηγοριών σε σχέση με την μετρική αυτή δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά. Το πρωτόκολλο HMIP έχει την πιο ομαλή αύξηση του μεγέθους των δεδομένων που λαμβάνει ο κινητός κόμβος κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Για το πρωτόκολλο MIP παρατηρούμε πως σε κάποια σημεία της προσομοίωσης υπάρχει μείωση της ρυθμοαπόδοσης, αυτό οφείλεται στο χάσιμο πακέτων λόγω του handover. Το πρωτόκολλο FMIP λόγω του τούνελ συνεπώς και των καθυστερήσεων στην παραλαβή των πακέτων αλλά και των χαμένων πακέτων παρατηρούνται κάποιες μικρές μειώσεις. Τέλος το FHMIP δίνει μια ελάχιστη μείωση λόγω της καθυστέρησης στην αποστολή των μηνυμάτων.



**Γραφική Παράσταση 10.12**



**Γραφική Παράσταση 10.13**



**Γραφική Παράσταση 10.14**

#### 10.4.3 Αποτελέσματα μετρικής καθυστέρηση των handoff

Η μετρική του handoff delay μας δίνει ένα ακόμη μέτρο σύγκρισης για τα πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας.

Η βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου FHMIP έναντι του FMIP δίνεται πιο καθαρά με την μετρική αυτή. Συγκεκριμένα ο FHMIP (Πίνακας 10.1) παρουσιάζει μικρότερο αριθμό καθυστέρηση από το FMIP (Πίνακας 10.2). Το πρωτόκολλο εποφελείται από την οκλήρωση της διαδικασίας με την σύντομη ενημέρωση του MAP agent. Η επιπρόσθετη καθυστέρηση που παρουσιάζεται και στα δύο πρωτόλλα οφείλεται στα επιπρόσθετα πακέτα που περνούν από τις συνδέσεις λόγω του τουνελ μεταξύ του PAR και NAR.

Το πρωτόκολλο HMIP (Πίνακας 10.3) δίνει κατά μέσο όρο την μικρότερη καθυστέρηση εκτέλεσης του handoff. Η ενημέρωση του MAP agent για την νέα CoA γίνεται μέσω του NAR. Επιπλέον το handoff ολοκληρώνεται μόλις ενημερώσει την πληροφορία για την νέα CoA και MAP διεύθυνση.

Τέλος το πρωτόκολλο MIP (Πίνακας 10.4) συγκριτικά δίνει καλύτερα αποτελέσματα από το πρωτόκολλο FHMIP και FMIP λόγω της ενημέρωσης μόνο του HA, αλλά χειρότερα από το πρωτοκολλο HMIP. Η ολοκλήρωση του handoff συμβέnei όταν ενημερώση της πληροφορία του για CoA.

| Καθυστέρηση handoff<br>(sec) – FHMIP | allip  | allmpls | mplsAndIp | Average Time per<br>Handoff |
|--------------------------------------|--------|---------|-----------|-----------------------------|
| 0                                    | 0,4754 | 0,4752  | 0,4752    | 0,4753                      |
| 1                                    | 1,4768 | 1,4811  | 1,4678    | 1,4752                      |
| 2                                    | 1,4753 | 1,4720  | 1,4744    | 1,4739                      |
| 3                                    | 1,4768 | 1,4725  | 1,4773    | 1,4755                      |
| Average Time per<br>Category         | 1,2260 | 1,2252  | 1,2237    |                             |

**Πίνακας 10.1 – Χρόνοι καθυστέρησης ολοκλήρωσης του handoff για το πρωτόκολλο FHMIP**

| Καθυστέρηση handoff<br>(sec) – FMIP | allip    | allmpls  | mplsandip | Average per<br>Handoff |
|-------------------------------------|----------|----------|-----------|------------------------|
| 0                                   | 0,925696 | 0,926256 | 0,926456  | 0,92613                |
| 1                                   | 2,731404 | 2,748456 | 2,75956   | 2,74647                |
| 2                                   | 2,279928 | 2,279923 | 2,284004  | 2,28128                |
| 3                                   | 2,679313 | 2,681917 | 2,683862  | 2,68169                |
| Average time per<br>Category        | 2,154085 | 2,159138 | 2,163471  |                        |

**Πίνακας 10.2 – Χρόνοι καθυστέρησης ολοκλήρωσης του handoff για το πρωτόκολλο FMIP**

| Καθυστέρηση handoff<br>(sec) – HMIP | Allip    | allmpls  | mplsAndIp | Average Time per<br>Handoff |
|-------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------------------------|
| 1                                   | 0,47537  | 0,47521  | 0,47517   | 0,47525                     |
| 2                                   | 0,477181 | 0,48773  | 0,479277  | 0,481396                    |
| 3                                   | 0,476871 | 0,476452 | 0,478745  | 0,477356                    |
| 4                                   | 0,47722  | 0,476367 | 0,479688  | 0,477758                    |
| Average Time per<br>Category        | 0,476661 | 0,47894  | 0,47822   |                             |

**Πίνακας 10.3 – Χρόνοι καθυστέρησης ολοκλήρωσης του handoff για το πρωτόκολλο HMIP**

| Καθυστέρηση handoff<br>(sec) – MIP | Allip    | allmpls  | mplsAndIp | Average Time per<br>Handoff |
|------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------------------------|
| 0                                  | 0,925696 | 0,926256 | 0,926456  | 0,926136                    |
| 1                                  | 0,234837 | 0,241029 | 0,244629  | 0,240165                    |
| 2                                  | 0,925696 | 0,925416 | 0,925736  | 0,925616                    |
| 3                                  | 0,925816 | 0,925936 | 0,926096  | 0,925949                    |
| Average Time per<br>Category       | 0,753011 | 0,754659 | 0,755729  |                             |

**Πίνακας 10.4 – Χρόνοι καθυστέρησης ολοκλήρωσης του handoff για το πρωτόκολλο MIP**

#### **10.4.4 Αποτελέσματα μετρικών με μεγαλύτερο ρυθμό αποστολής δεδομένων**

Ο αποδοτικός συνδυασμός ενός πρωτοκόλλου κινητικότητας σε MPLS domain παρουσιάζεται στα σενάρια όπου ο ρυθμός αποστολής πακέτων είναι μεγαλύτερος. Για τον σκοπό αυτό ο ρυθμός αποστολής μηνυμάτων από τον CN έγινε 0.3 MB per sec. Τα συνολικά αποτελέσματα για τις μετρικές καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, χάσιμο πακέτων και ρυθμοαπόδοση παρουσιάζονται στους Πίνακες 10.5, 10.6, 10.7 αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα σε σχέση με τα πρωτόκολλα αλλά και τις διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου κατέληξα στις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Όταν η τοπολογία του δικτύου αποτελείται από MPLS κόμβους τότε ο κινητός κόμβος παραλαμβάνει περισσότερα πακέτα. Αυτό φαίνεται από τα ποσοστά χαμένων πακέτων που έχουν τις μικρότερες τιμές για όλα τα πρωτόκολλα.
- Οι μετρήσεις για τον μέσο όρο καθυστέρησης δίνουν καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση του πρωτοκόλλου HMIP σε MPLS domain. Τα αποτελέσματα στα υπόλοιπα πρωτόκολλα είναι καλύτερα σε IP domain. Παρόλα αυτά ο μέσος όρος δεν είναι αντιπροσωπευτικός αν λάβουμε υπόψη τα ποσοστά χαμένων πακέτων.
- Τα αποτελέσματα του χρόνου καθυστέρησης και των χαμένων πακέτων έχουν αντίκτυπο στην ρυθμοαπόδοση. Η κατηγορία με MPLS domain δίνει και πάλι καλύτερα αποτελέσματα. Συνοψίζοντας παρατηρούμε πώς με το πρωτόκολλο κινητικότητας HMIP σε MPLS domain ο κινητός κόμβος λαμβάνει με επιτυχία περισσότερη ποσότητα δεδομένων ανά δευτερόλεπτο.

| Μέσος όρος Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (sec) | Ip Domain | Mpls Domain | Mpls Domain με IP Base Station |
|-----------------------------------------------|-----------|-------------|--------------------------------|
| FHMIP                                         | 0,689196  | 0,69491     | 0,692577                       |
| FMIP                                          | 0,704229  | 0,712341    | 0,712259                       |
| HMIP                                          | 0,677196  | 0,677195    | 0,677208                       |
| MIP                                           | 0,677189  | 0,677191    | 0,67719                        |

**Πίνακας 10.5 – Μέσος όρος καθυστέρησης από άκρο σε άκρο**

| Ποσοστό χαμένων πακέτων | Ip Domain | Mpls Domain | Mpls Domain με IP Base Station |
|-------------------------|-----------|-------------|--------------------------------|
| FHMIP                   | 2,522532  | 0,079996    | 0                              |
| FMIP                    | 5,189057  | 1,413258    | 1,439923                       |
| HMIP                    | 3,082502  | 0           | 0                              |
| MIP                     | 14,27657  | 14,271239   | 14,303237                      |

**Πίνακας 10.6 – Ποσοστό χαμένων πακέτων**

| Μέσος Όρος Ρυθμοαπόδοση (bytes) | Ip Domain | Mpls Domain | Mpls Domain με IP Base Station |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------------------------------|
| FHMIP                           | 36202     | 36964       | 24662                          |
| FMIP                            | 35340     | 36462       | 36452                          |
| HMIP                            | 35998     | 36994       | 36994                          |
| MIP                             | 32278     | 32278       | 32274                          |

**Πίνακας 10.7 – Μέσος όρος Ρυθμοαπόδοσης**

## 10.5 Επιλογή της βέλτιστης λύσης

Η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου κινητικότητας θα στηριχτεί στις μετρικές χάσιμο πακέτων, καθυστέρηση από άκρο σε άκρο και χρόνος εκτέλεσης του handoff. Όπως έχω αναλύσει στο προηγούμενο υποκεφάλαιο με γραφικές παραστάσεις, στα σενάρια με 0.2Mb ρυθμό αποστολής πακέτων τα πρωτόκολλα FHMIP και HMIP δεν έχουν καθόλου απώλειες πακέτων. Η ίδια συμπεριφορά ισχύει και στην περίπτωση με 0.3Mb ρυθμό αποστολής πακέτων, για τις κατηγορίες σε MPLS domain και MPLS domain με IP BS. Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται κατά κύριο λόγο στην οντότητα MAP και στην θέση της στην τοπολογία. Η ανάλυση του χρόνου εκτέλεσης του handoff μας δίνει αρκετά σημαντική διαφορά μεταξύ του HMIP και των υπόλοιπων πρωτοκόλλων.

Στην περίπτωση που τα hops μεταξύ του PAR και NAR είναι λιγότερα από την απόσταση με το MAP το πρωτόκολλο FHMIP θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα. Η χρήση του τούνελ θα αποφύγει το χάσιμο πακέτων από τον PAR και η MAP οντότητα θα βελτιώσει τον χρόνο ενημέρωσης. Ο έλεγχος αυτής της περίπτωσης δεν είναι εφικτός λόγω του περιορισμού επιπέδων στην υλοποίηση του Ns.

Από τα αποτελέσματα των σεναρίων με ρυθμό αποστολής πακέτων 0.3Mb μπορούμε να διαπιστώσουμε πόσο αποδοτική είναι η εισαγωγή του MPLS δικτύου στο τοπικό δίκτυο σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες. Η εγκαθίδρυση των μονοπατιών από το root του τοπικού δικτύου στα BS μας έδωσε καλύτερους χρόνους στην αποστολή των πακέτων, μειωμένο ποσοστό χάσιμο πακέτων και περισσότερη ρυθμοαπόδοση.

## 10.6 Συμπεράσματα

Η επιλογή του πρωτοκόλλου διαχείρισης των handover δεν πρέπει να στηριχθεί σε εμπειρικά αποτελέσματα αλλά βάση των χαρακτηριστικών του δικτύου. Όπως έχω αναφέρει η αποδοτικότητα των πρωτοκόλλων που περιέχουν τον MAP agent εξαρτάται από την απόσταση με τα BS. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του πρωτοκόλλου FMIP, όταν ο PAR και ο NAR έχουν αρκετά hops ενδιάμεσα το

handover καθυστερεί να ολοκληρωθεί και στα πακέτα που μπαίνουν στο τούνελ προσθ  εται επιπλέον καθυστέρηση.

Ο συνδυασμός του πρωτοκόλλου διαχείρισης κινητικότητας και MPLS δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Ιδιαίτερα όταν εκμεταλλευτούμε την εγκαθίδρυση μονοπατιών και το label switching από τους MPLS κόμβους. Επίσης το MPLS μας δίνει την δυνατότητα δρομολόγησης από συγκεκριμένη διαδρομή στην περίπτωση που υπάρχει συμφόρηση ή κάποιο σφάλμα σε κόμβο ή σύνδεση.

## 10.8 Μελλοντική εργασία

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από την προσομοίωση του συνδυασμού MPLS και ενός πρωτοκόλλου κινητικότητας περιορίζεται και από την υλοποίηση αυτών στον Ns. Όπως θα έχετε παρατηρήσει η υλοποίηση των πρωτοκόλλων κινητικότητας έχει παραλείψει αρκετές λειτουργίες που περιγράφονται στην θεωρία. Η μελλοντική μου εργασία θα στηριχθεί κυρίως στην υλοποίηση των ακόλουθων λειτουργιών, συγκεκριμένα:

- Υλοποίηση του “**correspondent registration**” όπως αναφέρεται στα πρωτόκολλα MIPv6, HMIPv6, FHIPv6 και FMIPv6. Αρκετά σημαντική βελτιστοποίηση αν λάβουμε υπόψη την αποσυμφόρηση των συνδέσεων από τον HA στα BS αλλά και στην καθυστέρησης παραλαβής των πακέτων από τον κινητό κόμβο.
- Υλοποίηση της σημαντικής λειτουργίας των πρωτοκόλλων FMIP και FHIPv6 όπου η ενημέρωση του κινητού κόμβου για τα διαθέσιμα AR γίνεται πριν από την κίνηση του
- Βέλτιστη συνένωση του FMIP και HMIPv6 για το πρωτόκολλο FHIPv6 όπου τα αποτελέσματα θα είναι καλύτερα σε σχέση με το HMIPv6
- Έλεγχος των σεναρίων σε σχέση με άλλες τοπολογίες όπου η τοπολογία του δικτύου μπορεί να υπερβεί τα τρία επίπεδα ιεραρχικότητα (για έλεγχο του HMIPv6 όταν ο MAP βρίσκεται περισσότερα hops μακριά)

- Να επιτρέπεται η χρήση περισσότερων από ένα κινητών κόμβων.

# Παράρτημα Α

## Ενσωμάτωση του HMPLS και Διαχείρισης Κινητικότητας

---

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| A.1 Εισαγωγή του HMPLS στον ns2.31 ..... | A-1 |
| A.2 Εισαγωγή του FHMIP στον ns2.31 ..... | A-1 |

---

### A.1 Εισαγωγή του HMPLS στον ns2.31

Για την υποστήριξη ιεραρχικής δρομολόγησης σε MPLS δίκτυο εφάρμοσα το patch **Hier\_MPLS\_2.27\_beta** στον ns2.31. Τα συγκεκριμένο patch προσφέρεται δωρεάν από το εργαστήριο IDEO και παρέχει υποστήριξη ιεραρχικής δρομολόγησης σε RSVP-TE και MPLS. Το MPLS patch είναι βασισμένο στην έκδοση 2 του mns και την RSVP-TE υλοποίηση από το René Böringer. Η υλοποίηση του ιεραρχικού MPLS και RSVP-TE έχει υλοποιηθεί από τον Ahmad Saeed. Τα βήματα που ακολούθησα για την εισαγωγή του patch στην έκδοση 2.31 του ns είναι τα ακόλουθα.

```
ns2.31> cat Hier_MPLS_2.27_beta.patch | patch -p1
ns2.31> configure
ns2.31> make
```

### A.2 Εισαγωγή του FHMIP στον ns2.31

Το ns2.31\_fhmip.patch έχει υλοποιηθεί από τον Hsieh et al., Το patch αυτό παρέχει τα περισσότερα μοντέλα για διαχείρισης handoff. Συγκεκριμένα υποστηρίζονται τα πρωτόκολλο MIP, HMIP, FMIP, FHMIP. Η υλοποίηση είναι βασισμένη στο MIP και NOAH. Τα βήματα που ακολούθησα για την εισαγωγή του patch στην έκδοση 2.31 του ns είναι τα ακόλουθα.

```
ns2.31> cat ns2.31_fhmip.patch | patch -p1
ns2.31> configure
```

```
ns2.31> make
```

Ο τύπος του πρωτοκόλλου που θα τρέξει στην προσομοίωση εξαρτάται από τα define που καθορίζονται στον κώδικα του mobile/mip-reg.cc. Συγκεκριμένα θα πρέπει να καθοριστούν τα define όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα A.1 και να γίνει compile το Makefile του ns2.31.

| Πρωτόκολλο handover | Καθορισμένα define                                                                                  |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FHMIP               | #define MAP_MODE<br>#define FAST_HANDOVER<br>#define FAST_MAP_HANDOVER<br>#define OPTIMIZED_HANDOFF |
| FMIP                | #define FAST_HANDOVER<br>#define OPTIMIZED_HANDOFF                                                  |
| HMIP                | #define MAP_MODE<br>#define OPTIMIZED_HANDOFF                                                       |
| MIP                 | Τίποτα                                                                                              |

#### A.2.1 Διορθώσεις στον κώδικα υλοποίησης των πρωτοκόλλων

Στον κώδικα (mobile/mip-reg.cc) που υλοποιεί τα πρωτόκολλα που διαχειρίζονται τα handover εντοπίστηκαν κάποια σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία τους.

Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν οι ακόλουθες λανθασμένες λειτουργίες:

- Δεν λειτουργούσαν όταν υπήρχε περισσότερα από ένα handover.
- Το FHMIP είχε χειρότερα αποτελέσματα στις μετρικές χάσιμο πακέτων και ρυθμοαπόδοση. Η αλλαγή που έχω κάνει στον κώδικα του πρωτοκόλλου επιτρέπει το tunneling των πακέτων έτσι επιτυγχάνουμε μείωση των χαμένων πακέτων και αύξηση της ρυθμοαπόδοσης. Το μειονέκτημα αυτής της λύσης σε σχέση με το hmip είναι καθυστέρηση που προσθέτεται στην αποστολή των μηνυμάτων που περνούν από το τούνελ. Η καθυστέρηση σε σχέση με το πρωτόκολλο FMIP είναι μικρότερη.
- Όταν στο διάστημα εκτέλεσης του handover ο κινητός κόμβος λάβει advertisement από τον προηγούμενο AR τότε το CoA αλλάζει. Επομένως το Registration Request που στέλνεται στον HA όταν τελειώσει το handover έχει την διεύθυνση του PAR.

- Δεν επέτρεπε στο πρωτόκολλο FHMIP όταν συμπλήρωνε την ενημέρωση του MAP να στείλει request στον HA, όπως συμβαίνει με το HMIP

# Παράρτημα Β

## Bash Script για την ανάλυση των αποτελεσμάτων

---

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| B.1 Bash Script για την μετρική ποσοστού χαμένων πακέτων.....       | B-1 |
| B.2 Bash Script για την μετρική μέσου όρου καθυστέρησης.....        | B-2 |
| B.3 Bash Script για την μετρική ρυθμοαπόδοσης .....                 | B-4 |
| B.4 Bash Script για την μετρική καθυστέρησης εκτέλεσης handoff..... | B-5 |

---

### B.1 Bash Script για την μετρική ποσοστού χαμένων πακέτων

Το bash script δέχεται τρεις παραμέτρους, το όνομα του trace file, το όνομα του αρχείου που θα περιέχει τον μέσο όρο των πακέτων που έχουν αποβληθεί σε σχέση με το πλήθος των πακέτων που στάλθηκαν από τον CN και το όνομα του αρχείου που θα περιέχει τον μέσο όρο των πακέτων που έχουν αποβληθεί σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης.

```
awk '
BEGIN {countDrop=0;
      countSent=0;
      time=1;
      drop=0;
      send=0;
}
{
  count the packet that have been send from CN
  if ($1=="+" && $3=="5" && $4=="2" && $5=="cbr" ){
    ++countSent;
  }
  #count the packet that have been drop from AR
  else if ($1=="d" && $6=="-Hd" && $7=="4196353" && NF==51){
    ++countDrop;
  }

  if(NF==51 && $3 > time){
    printf("%d\t%f\n",time,(countDrop/countSent)*100);
    ++time;
  }
}
END {
  if(countSent!=0){
    avgDrop=(countDrop/countSent)*100;
```

```

        printf("%f %d %d",avgDrop,countDrop,countSent);
    }
} ' < $1 > $3
awk '
BEGIN {countDrop=0;
        countSent=0;
        timeSent=20;
    }
    {
        #count the packet that have been send from CN
        if ($1=="+" && $3=="5" && $4=="2" && $5=="cbr" ){
            ++countSent;
            if(countSent > timeSent){
                printf("%d\t%f\n",timeSent,(countDrop/countSent)*100);
                timeSent=timeSent+20;
            }
        }
        #count the packet that have been drop from AR
        if ($1=="d" && $6=="-Hd" && $7=="4196353" && NF==51){
            ++countDrop;
        }
    }
}
END {
    if(countSent!=0){
        avgDrop=(countDrop/countSent)*100;
        printf("%f %d %d",avgDrop,countDrop,countSent);
    }
} ' < $1 > $2

```

## B.2 Bash Script για την μετρική μέσου όρου καθυστέρησης

Το bash script πρόγραμμα δέχεται τρεις παραμέτρους, το όνομα του trace file, το όνομα του αρχείου που θα περιέχει την καθυστέρηση αποστολής πακέτων σε σχέση με το πλήθος των πακέτων που ο κινητός κόμβος έχει παραλάβει και το όνομα του αρχείου που θα περιέχει την καθυστέρηση αποστολής πακέτων σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης.

```

#!/bin/bash

awk '
BEGIN {
    count=0;
    countReceiv=0;
    sumDelay=0;
    timePacketReceiv=20;}
    {
        #find the time that the packet start from CN ( CN=5 NextHop=2 )
        if ($1=="+" && $3=="5" && $4=="2" && $5=="cbr" ){

```

```

        timeBegin[$11]=$2;
    }
    #find the time that packet has been received from MN
    if ($1=="r" && $4=="-Hs" && $5=="15" && $19=="AGT" && $6=="-Hd" &&
$7=="4196353" && NF==51){

        timeEnd[$47]=$3;
        delayTime[$47]=timeEnd[$47] - timeBegin[$47] ;
        sumDelay = sumDelay + delayTime[$47];
        ++countReceiv;

        #record for the packets that have been received
        if(countReceiv!=0 && timePacketReceiv < countReceiv){
            printf("%d\t%f\n",timePacketReceiv,sumDelay/countReceiv);
            timePacketReceiv=timePacketReceiv+20;
        }
    }
}
END {

    #compute the average time of delay
    if(countReceiv!=0)
        avgDelay=sumDelay/countReceiv;
    printf("%f",avgDelay);
}' < $1 > $2

awk '
BEGIN {count=0; countReceiv=0; sumDelay=0; time=1;}
{
    #find the time that the packet start from CN ( CN=5 NextHop=2 )      if ($1=="+" &&
$3=="5" && $4=="2" && $5=="cbr" ){
        timeBegin[$11]=$2;
        ++count;
    }

    #find the time that packet has been received from MN
    if ($1=="r" && $4=="-Hs" && $5=="15" && $19=="AGT" && $6=="-Hd" && $7=="4196353"
&& NF==51){
        timeEnd[$47]=$3;
        delayTime[$47]=timeEnd[$47] - timeBegin[$47] ;
        sumDelay = sumDelay + delayTime[$47];
        ++countReceiv;
    }

    #record the time and the average delay
    if(NF==51 && time < $3 && countReceiv!=0){
        printf("%d\t%f\n",time,sumDelay/countReceiv)
        ++time; }
}
END {
    #compute the average delay time
    avgDelay=sumDelay/countReceiv;
    printf("%f",avgDelay);
}' < $1 > $3

```

### B.3 Bash Script για την μετρική ρυθμοαπόδοσης

Το bash script πρόγραμμα δέχεται τρεις παραμέτρους, το όνομα του trace file, το όνομα του αρχείου που θα περιέχει την ρυθμοαπόδοση σε σχέση με το πλήθος των πακέτων που ο κινητός κόμβος έχει παραλάβει και το όνομα του αρχείου που θα περιέχει την ρυθμοαπόδοση σε σχέση με τον χρόνο προσομοίωσης.

```
#!/bin/bash

awk '
    BEGIN {bytesReceived=0;
           countReceivedPacket=0;
           totalBytePerSecn=0;
           time=1;
           totalSimultime=50; #total simulation time
           timeCountReceiv=20;
        }
    {
        if ($1=="r" && $4=="-Hs" && $5=="15" && $19=="AGT" && $6=="-Hd" &&
$7=="4196353" && NF==51){
            #add the packet size of received packet
            bytesReceived=bytesReceived + $37;
            ++countReceivedPacket;
            if(countReceivedPacket > timeCountReceiv) {
                printf("%d\t%f\n",timeCountReceiv,((bytesReceived)/$3));
                timeCountReceiv=timeCountReceiv+20;
            }
        }
    }
    END {
        throughput=bytesReceived/totalSimultime;
        printf("The average throuput is %f",throughput);
    }' < $1 > $2
```

```
awk '
    BEGIN {bytesReceived=0;
           totalBytePerSecn=0;
           time=1;
           totalSimultime=51; #total simulation time
        }
    {
        if ($1=="r" && $4=="-Hs" && $5=="15" && $19=="AGT" && $6=="-Hd" &&
$7=="4196353" && NF==51){
            bytesReceived=bytesReceived + $37
```

```

    }

    if($3 > time && NF==51){
        printf("%d\t%f\n",time,((bytesReceived)/$3));
        ++time;
    }
}

END {
    throughput=bytesReceived/totalSimultime;
    printf("The average throughput is %f",throughput);
}' < $1 > $3

```

#### B.4 Bash Script για την μετρική καθυστέρησης εκτέλεσης handoff

Επειδή το MIP πρωτόκολλο συμπεριφέρεται διαφορετικά από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα δημιούργησα ξεχωριστό bash script. Και τα δύο bash script προγράμματα δέχονται δύο παραμέτρους, το όνομα του αρχείου εξόδου και το όνομα του αρχείου που θα περιέχει την καθυστέρησης για κάθε handover σε σχέση με τα handover που συμβαίνουν με την σειρά.

##### Bash script για τα πρωτόκολλα FHMIP, FMIP και HMIP

```

#!/bin/bash

awk '
BEGIN {
    BS_addr[0]="NULL";
    BS_addr[1]="5.1.1";
    BS_addr[2]="5.2.1";
    BS_addr[3]="6.1.1";
    BS_addr[4]="6.2.1";
    found=1;
    block=0;
}
{
    #find the time MN node received ADS from NAR
    if ($4=="received" && $5=="ADS" && BS_addr[found]==$8 && block==0 ){
        timeStart=$1;
        block=1;
    }
    #find the time handoff has been execute
    else if ($2=="Complete" && $3="L2" && $4=="handoff"){
        printf("%s\n",$0);
        timeEnd=$1;
        handoffDelay=timeEnd-timeStart;
    }
}
'

```

```

        printf("%f\n",handoffDelay);
        found=found+1;
        block=0;
    }

}' < $1 > $2

```

### Bash script για το πρωτόκολλο MIP

```

awk '
BEGIN {
    BS_addr[0]="NULL";
    BS_addr[1]="(5.1.1)";
    BS_addr[2]="(5.2.1)";
    BS_addr[3]="(6.1.1)";
    BS_addr[4]="(6.2.1)";
    found=1;
    block=0;
}
{
    #time start the handover for the first CoA
    if (found==1 && $4=="received" && $5=="ADS" && "5.1.1"==$8 &&
block==0){
        timeStart=$1;
        block=1;
    }

    else if ($2=="current" && $3=="coa" && BS_addr[found-1]==$4 ){
        timeStart=$1;
    }
    else if ($2=="Complete" && $3="L2" && $4=="handoff"){
        timeEnd=$1;
        handoffDelay=timeEnd-timeStart;
        printf("%f\n",handoffDelay);
        found=found+1;
        block=0;
    }

}' < $1 > $2

```

# Βιβλιογραφία

---

- <sup>1</sup> H. Jung, "Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6)", (work in progress), Internet Engineering Task Force, October 2005.
- <sup>2</sup> Rajeev Koodli. Fast Handovers for Mobile IPv6 (work in progress). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, 2002.
- <sup>3</sup> H. Soliman, et al., "Hierarchical MIPv6 Mobility Management," IETF Internet Draft, Nov. 2001.
- <sup>4</sup> D. B. Johnson, C. E. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," IETF Internet Draft, Nov. 2001.
- <sup>5</sup> A. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture," Request for Comment 3031, IETF, Jan. 2001.
- <sup>6</sup> The ns Manual. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.
- <sup>7</sup> R. Langar, G. Le Grand and S. Tohme, "Micro Mobile MPLS Protocol in Next Generation Wireless Access Networks", 9th CDMA International Conference, Seoul, Korea, October, 2004.
- <sup>8</sup> R. Langar, G. Le Grand and S. Tohme, "Fast Handoff process in Micro Mobile MPLS protocol for Micro-Mobility Management in Next Generation Networks", IEEE/IFIP International Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS), St. Moritz, Switzerland, January 2005.
- <sup>9</sup> Xingchuan Yuan, Qing-ping Wang, Qing-chun Yu, Li shan Kang, Yuping Chen, "An Effective Integration of Hierarchical Cellular And Hierarchical Mobile MPLS", IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM, Sept. 2006
- <sup>10</sup> K. Sethom, H. Afifi and G. Pujolle, "Wireless MPLS: a new layer 2.5 micro-mobility scheme",ACMMobiWac 2004, Philadelphia, PA, USA.
- <sup>11</sup> Vasos Vassiliou and Andreas Pitsillides, "Supporting Mobility Events within a Hierarchical Mobile IP-over-MPLS Network", JOURNAL OF COMMUNICATIONS, VOL. 2, NO. 2, MARCH 2007
- <sup>12</sup> D. Awduche et al, "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels", Request for Comment 3209, IE Internet Engineering Task Force TF, Dec. 2001.
- <sup>13</sup> C. Perkins Ed., "IP Mobility Support for IPv4", Request for Comment 3344, Internet Engineering Task Force, Aug. 2002.

---

<sup>14</sup> Laurent Paquereau and Bjarne E. Helvik, "A Module-based Wireless Node for ns-2", in Proceedings of the first Workshop on NS2: the IP network simulator (WNS2), Pisa, Italy, 2006.

<sup>15</sup> [www.isi.edu/nsnam/ns/ns-tutorial/tutorial-02/slides/Wireless\\_world\\_in\\_NS.ppt](http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-tutorial/tutorial-02/slides/Wireless_world_in_NS.ppt)

<sup>16</sup> Svetoslav Yankov, Sven Wiethoelter, "Handover Blackout Duration of Layer 3 Mobility Management Schemes", May 2006

<sup>17</sup> "HMPLS Implementation" Technical Report, TU Ilmenau