



master in information systems

Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στα πληροφοριακά συστήματα

**Φορητότητα Δικτύων -
Βελτιστοποίηση Δρομολόγησης
Network Mobility-Route Optimization**

Σάνδρος Βασίλειος

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master Information Systems
Computer Networks
Professor: A.A. Economides

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2012

Περίληψη

Η αυξανόμενη χρήση IP-συσκευών σε φορητές εφαρμογές έχει δημιουργήσει ζήτηση για αδιάκοπη σύνδεση σε ολόκληρα δίκτυα IP-συσκευών. Η Φορητότητα Δικτύων λύνει αυτό την ανάγκη επεκτείνοντας το πρωτόκολλο Mobile IP. Το MIPv6 και το πρωτόκολλο Βασικής Υποστήριξης NEMO (NEMO BSP) χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν «κινητούς φιλόξενους κόμβους» (host mobility) και φορητότητα δικτύων(NEMO), αντίστοιχα. Πρόσφατες έρευνες στην Φορητότητα Δικτύων έχουν προτείνει μια σειρά από σχήματα Βελτιστοποίησης Δρομολόγησης που επιλύουν μη επαρκείς δρομολογήσεις. Στόχος είναι η χρήση των κατάλληλων σχημάτων βελτιστοποίησης για το πρωτόκολλο Mobile IPv6 στους Κόμβους Ανταποκριτές (Correspondent Nodes) για τα κινητά δίκτυα. Η λύση πρέπει να υποστηρίζει εμφωλευμένα κινητά δίκτυα, ενώ επιπλέον χρειάζεται μείωση του επιπλέον φόρτου στο πακέτο και τις καθυστερήσεις σε σχέση με τον βασικό σχεδιασμό της Φορητότητας Δικτύων.

Abstract

The increased use of IP devices in mobile applications has created demand for uninterrupted connectivity for entire networks of IP devices. Network Mobility (NEMO) solves this issue by extending Mobile IP. The Mobile Internet Protocol version 6 (MIPv6) and NEMO Basic Support Protocol (BSP) are used to support host mobility and network mobility, respectively. The recent researches on NEMO have proposed several Route Optimization (RO) schemes that solves inefficient route. The goal is to use the appropriate route optimization scheme for Mobile IPv6 available in the Correspondent Nodes to provide route optimization for mobile networks. The selected scheme should support nested mobile networks without requiring additional tunneling, thus reducing packet overhead and latency with regard to Network Mobility basic solution.

1.Φορητότητα Δικτύων (NEtwork MObility) –Παρουσίαση Θέματος

Με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες δικτύων, μια συσκευή με συγκεκριμένη IP χρησιμοποιώντας Mobile IP (MIP) είναι δυνατό να μετακινείται από σημείο σε σημείο στο Internet χωρίς να χάνει την σύνδεσή της κατά την διάρκεια της κίνησης. Ωστόσο, εξ' αιτίας του πολλαπλασιασμού των IP διευθύνσεων για φορητές συσκευές καθώς και της ζήτησης για συνεχή σύνδεση το Internet, παρατηρούμε ολόκληρα υποδίκτυα τέτοιων IP-συσκευών να μετακινούνται από σημείο σε σημείο. Η φορητότητα αυτή μπορεί να καθίσταται δυνατή χρησιμοποιώντας standard Mobile IP, κάτι τέτοιο όμως απαιτεί όλες αυτές οι συσκευές να υποστηρίζουν Mobile IP ενώ δημιουργείται επιπλέον επιβάρυνση (overhead) για το δίκτυο, μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και δυσκολίες στην διαχείριση.

Μια διαφορετική λύση στο πρόβλημα είναι η Φορητότητα Δικτύων (Network Mobility-NEMO). Η NEMO ουσιαστικά μεταφέρει την λειτουργία της φορητότητας από της IP συσκευές σε κινητούς δρομολογητές δικτύου(mobile routers) . Ο δρομολογητής (router) έχει την δυνατότητα να αλλάζει το σημείο σύνδεσης (attachment point) στο internet με έναν τρόπο διαφανή ως προς τους συνδεδεμένους κόμβους. (C. Perkins,2002)

Για την διαχείριση NEMO η Internet Engineering Task Force (IETF) δημιούργησε το Πρωτόκολλο Βασικής Υποστήριξης Φορητότητα Δικτύων (Network Mobility Basic Support Protocol), το οποίο υποστηρίζει τη φορητότητα ολόκληρων Κινητών Δικτύων και τη πρόσδεσή τους σε διαφορετικά σημεία του διαδικτύου. Το πρωτόκολλο αυτό είναι επέκταση του MIPv6 (Mobile IPv6).

Το βασικότερο πρόβλημα το οποίο προκύπτει από την διαχείριση Κινητών Δικτύων είναι η δρομολόγηση. Η μη αποτελεσματική δρομολόγηση προκαλεί καθυστέρηση στην μετάβαση της πληροφορίας και μείωση της απόδοσης του δικτύου. Συνεπώς οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται στην βελτιστοποίηση της δρομολόγησης (Route Optimization) σε Κινητά Δίκτυα.

1.1 Εφαρμογές Κινητών Δικτύων

Στην σημερινή εποχή και με την ταχύτητα των τεχνολογικών εξελίξεων ολοένα αυξανόμενη, βρισκόμαστε πολύ κοντά, ορισμένοι υποστηρίζουν ότι βρισκόμαστε ήδη, στο σημείο όπου υπάρχει απαίτηση για συνεχή σύνδεση στο διαδίκτυο σε οποιοδήποτε μέρος ακόμα και εν κινήσει, ολόκληρων υποδικτύων. Αυτά μπορεί να είναι αεροπλάνα, αυτοκίνητα και μέσα μαζικής μεταφοράς ακόμα και άνθρωποι οι οποίοι κουβαλούν πολλές συσκευές που έχουν δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Ωστόσο, κατά την διάρκεια της κίνησης, αυτά τα υποδίκτυα πρέπει συνεχώς να αλλάζουν το σημείο σύνδεσης τους λόγω της διαθεσιμότητας σύνδεσης στο Internet. Η NEMO δίνει την δυνατότητα στις συσκευές αυτών των υποδικτύων να διατηρούν χωρίς αλλαγές την σύνδεση με άλλες συσκευές στο internet, με την έννοια της ίδιας IP και του ίδιου προθέματος δικτύου (network prefix). (Mocerri, P., 2006)

Αεροπλάνα- Μέχρι πρόσφατα όλες οι συσκευές με δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης έπρεπε υποχρεωτικά να είναι απενεργοποιημένες καθώς υπήρχε ρίσκο παρεμβολής με τα ηλεκτρονικά συστήματα του αεροπλάνου. Σταδιακά όμως ολοένα και περισσότερες εταιρίες δίνουν άδεια εγκατάστασης Wi-Fi (802.11) εξοπλισμού ασύρματων δικτύων στα αεροσκάφη τους. Αυτό δημιουργεί τις προϋποθέσεις για παροχή σύνδεσης στο internet κατά την διάρκεια της πτήσης. Σε αυτή την περίπτωση η NEMO φαντάζει ιδανική λύση αδιάκοπτης παροχής σύνδεσης σε πολλούς επιβάτες.

Αυτοκίνητα κ MMM- Ήδη υπάρχει πληθώρα εφαρμογών συστημάτων δικτύωσης σε αυτοκίνητα και μέσα μαζικής μεταφοράς, ενώ δεν είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς ότι πολύ σύντομα ακόμα και μέσω internet θα παρέχεται πλοήγηση, αναπαραγωγή πολυμέσων και συστήματα οδήγησης. Η Φορητότητα Δικτύων (NEMO) έχει την δυνατότητα να παρέχει σε τέτοιου είδους συστήματα ένα συγκεκριμένο σημείο πρόσβασης στο internet το οποίο θα διαμοιράζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Ειδικά στην περίπτωση των συστημάτων οδήγησης η λύση της Φορητότητας δικτύων ίσως είναι και απαραίτητη. (Ernst, T., Uehara, K., 2002)

Personal Area Networks(PANs)- Οι άνθρωποι στην καθημερινότητα τους κουβαλούν όλο και περισσότερες συσκευές όπως κινητά,tabs,notebooks,laptop, συσκευές μουσικής. Αντί κάθε συσκευή να συνδέεται στο internet ξεχωριστά από τις υπόλοιπες, όλες θα μπορούσαν να συνδεθούν μέσω ενός Προσωπικού Δικτύου (PAN). Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας την Φορητότητα Δικτύων (NEMO) μια συσκευή όπως το κινητό τηλέφωνο μπορεί να λειτουργήσει ως δρομολογητής για τις υπόλοιπες συσκευές παρέχοντας συνεχή πρόσβαση στο δίκτυο. (Ernst, T.,2005)

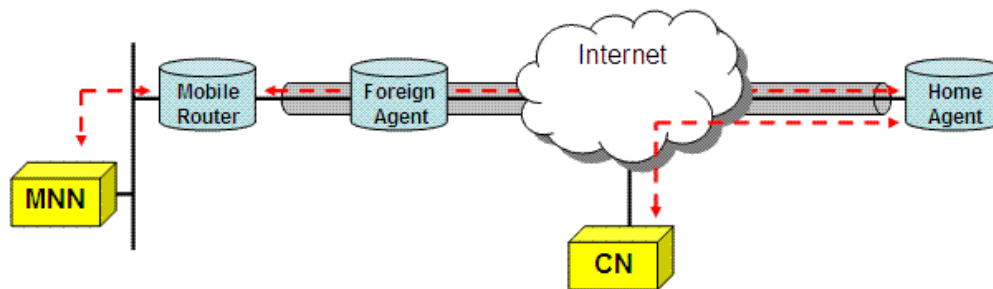
1.2 Πως δουλεύει η Φορητότητα Δικτύων

Ο ευκολότερος τρόπος για να γίνει κατανοητή η NEMO είναι πρώτα να εξηγήσουμε τι είναι η Mobile IP. Η Mobile IP δίνει την δυνατότητα σε μια συσκευή να αλλάξει το σημείο μέσω του οποίου συνδέεται (attachment point) στο internet χωρίς να χάσει λειτουργικότητα υψηλού επιπέδου μέσα από την χρήση tunneling μεταξύ του Κινητού Κόμβου (Mobile Node) και αυτού που φιλοξενεί το τοπικό δίκτυο (Home Agent-HA). Όταν ένας κινητός κόμβος (MN) βρίσκεται σε ένα διαφορετικό, “ξένο” δίκτυο, παίρνει μια τοπική διεύθυνση Care-of Address (CoA). Στην συνέχεια ο κινητός κόμβος(MN) στέλνει την CoA στον Home Agent του νέου δικτύου προκειμένου αυτός να την δεσμεύσει (ανήκει δηλαδή σε κάποιο συγκεκριμένο τερματικό ώστε να μην ξαναδοθεί η ίδια διεύθυνση). Μόλις ολοκληρωθεί η δέσμευση ο Home Agent προωθεί πακέτα στον Κινητό Κόμβο (MN) μέσω ενός τούνελ (tunnel) στην CoA που έχει δηλώσει. Για την πραγματοποίηση της αντίστροφης δρομολόγησης πακέτων ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Καθώς ο κινητός κόμβος (MN) κινείται μεταξύ διαφορετικών δικτύων στέλνει ενημερώσεις δέσμευσης (Binding Updates)με την CoA. (Mocerri, P.,2006)

Η Φορητότητα Δικτύων (NEMO) είναι η επέκταση του Mobile IP και επιτρέπει σε ένα ολόκληρο υποδίκτυο να αλλάζει το σημείο σύνδεσης με το internet. Στην NEMO το ρόλο του κινητού κόμβου (Mobile Node) πλέον παίζει ο κινητός δρομολογητής (Mobile Router). Οι κόμβοι οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στον Mobile Router ονομάζονται Κόμβοι Κινητού Δικτύου (Mobile Network Nodes) δεν αντιλαμβάνονται την κίνηση του δικτύου και δεν πραγματοποιούν καμία διαδικασία φορητότητας. Όλη η διαδικασία με τις ενημερώσεις δέσμευσης (binding updates) στους διαφορετικούς Home Agents πραγματοποιείται από τους Κινητούς

Δρομολογητές (Mobile Routers). Ωστόσο οι ενημερώσεις δέσμευσης περιέχουν το πρόθεμα ολόκληρου του υποδικτύου και ο Home Agent πρέπει να δεσμεύσει σε μια CoA ένα ολόκληρο υποδίκτυο, άρα και να προωθεί όλα τα πακέτα για αυτό το υποδίκτυο στον Mobile Router. (Devarapalli, V. et al., 2005)

Η εικόνα 1 δείχνει το μονοπάτι που ακολουθούν τα πακέτα που χρησιμοποιούν την Φορητότητα Δικτύων (NEMO). Τα πακέτα IP από έναν Κόμβο εκτός δικτύου (CN) στέλνονται πρώτα μέσω internet στον Home Agent και στην συνέχεια παραδίδονται από τον Home Agent στον Mobile Router και στον αντίστοιχο κόμβο MNN. Η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται για την αποστολή πακέτων IP από τον MNN στον CN.



Εικόνα 1 Κίνηση IP πακέτων ανάμεσα σε έναν Κόμβο Κινητού Δικτύου (MNN) και ένας Κόμβο εκτός δικτύου (CN)

2.Πρωτόκολλο NEMO

Ένα κινητό δίκτυο μπορεί να είναι ένα κομμάτι ενός δικτύου ή υποδικτύου που κινείται και συνδέεται σε διαφορετικά σημεία μιας δομής δρομολόγησης, ενώ μπορεί να προσεγγιστεί μέσω συγκεκριμένων εισόδων οι οποίες ονομάζονται Mobile Routers και είναι υπεύθυνοι για την μετακίνηση του δικτύου. Τα κινητά δίκτυα έχουν το λιγότερο έναν κινητό δρομολογητή (Mobile Router) που τους εξυπηρετεί. Ο Mobile Router δεν διανέμει τα δρομολόγια εντός του δικτύου στην υπόλοιπη δομή, αντιθέτως διαθέτει ένα τούνελ (tunnel) επικοινωνίας διπλής κατεύθυνσης με τον Home Agent ο οποίος φιλοξενεί ένα σύνολο κινητών δικτύων. Ο Mobile Router

αποτελεί την προεπιλεγμένη πύλη εισόδου για το κινητό δίκτυο. (Devarapalli, V. et al., 2005)

Ένα κινητό δίκτυο μπορεί επίσης να περιλαμβάνει πολλαπλά και εμφωλευμένα υποδίκτυα. Ένας δρομολογητής χωρίς υποστήριξη φορητότητας μπορεί μόνιμα να είναι συνδεδεμένος σε ένα κινητό δίκτυο για τοπική διανομή πακέτων. Επίσης κινητοί δρομολογητές (Mobile Routers) μπορούν να είναι συνδεδεμένοι σε κινητά δίκτυα άλλων Mobile Routers σχηματίζοντας έτσι έναν γράφο. Συγκεκριμένα, με το βασικό πρωτόκολλο NEMO, κάθε Mobile Router συνδέεται με ένα άλλο κινητό δίκτυο μέσω μίας μόνο διεπαφής. Αν αποφεύγονται οι κύκλοι-επαναλήψεις δρομολογίου (loops) τότε ο γράφος είναι δέντρο.

Κάθε κινητός δρομολογητής(Mobile Router)έχει μια μοναδική διεύθυνση (Home Address) μέσω της οποίας μπορεί να προσπελαστεί όταν είναι εγγεγραμμένος σε κάποιον Home Agent. Η Home Address αποτελείται από ένα πρόθεμα το οποίο είναι αποθηκευμένο και διανέμεται από τον Home Agent.

Όταν ένας κινητός δρομολογητής(Mobile Router)αποσυνδέεται από τον αρχικό σύνδεσμο και συνδέεται σε έναν νέο δρομολογητή, αποκτά μια Care-of Address (CoA). Ο Mobile Router μπορεί ανά πάσα στιγμή να δρα είτε σαν κινητό host είτε σαν δρομολογητής. Από την στιγμή που ο κινητός δρομολογητής (Mobile Router) αποκτήσει την CoA στέλνει αυτομάτως μια ενημέρωση δέσμευσης (Binding Update) στον Home Agent. Ο Home Agent λαμβάνει την ενημέρωση και δημιουργεί μια καταχώρηση που δεσμεύει την Home Address του κινητού δρομολογητή με την CoA στο συγκεκριμένο σημείο σύνδεσης. (K.J. Lee, J. Park, and H. Kim, 2003)

Εάν ο κινητός δρομολογητής (Mobile Router) αρχίζει και λειτουργεί ως δρομολογητής τότε ενημερώνει τον Home Agent με μια ειδοποίηση (R)(flag) στο Binding Update στο οποίο μπορεί να περιλαμβάνονται και πληροφορίες σχετικά με το πρόθεμα του κινητού δικτύου ώστε ο Home Agent να προωθεί πακέτα στον κινητό δρομολογητή που αφορούν τους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι μέσω του Mobile Router στο κινητό δίκτυο. Σε περίπτωση που το κινητό δίκτυο διαθέτει παραπάνω από ένα πρόθεμα IPv6 και ο Home Agent θέλει να έχει την δυνατότητα προώθησης

στο σύνολο αυτών των προθεμάτων, τότε περιλαμβάνει αυτή την επιλογή σε ένα συγκεκριμένο Binding Update.

Ο Home Agent αναγνωρίζει την ενημέρωση δέσμησης (Binding Update) στέλνοντας μια αναγνώριση δέσμησης (Binding Acknowledgement) στον κινητό δρομολογητή. Από την στιγμή που υπάρξει θετική αναγνώριση σημαίνει ότι ο Home Agent πλέον προωθεί πακέτα μέσω ενός τούνελ (tunnel) στο κινητό δίκτυο. Μόλις η διαδικασία δέσμησης ολοκληρωθεί, δημιουργείται ένα τούνελ διπλής κατεύθυνσης ανάμεσα στον Home Agent και τον Mobile Router. Το τέρμα του τούνελ από την μια μεριά είναι η Care-of Address του Mobile Router ενώ αντίστοιχα από την άλλη μεριά είναι η διεύθυνση του Home Agent. Αν ένα πακέτο με διεύθυνση πηγής (source address) που ανήκει στο Πρόθεμα του Κινητού Δικτύου παραληφθεί από το Κινητό Δίκτυο, ο Mobile Router αποστέλλει μέσω του τούνελ αντίστροφα το πακέτο στον Home Agent. Αυτή η αντίστροφη αποστολή μέσω του τούνελ γίνεται με κωδικοποίηση IP-in-IP. Ο Home Agent αποκωδικοποιεί το πακέτο και το προωθεί στον αντίστοιχο κόμβο παραλήπτη. (Conta, A. and S. Deering, 1998)

Όταν ένας κόμβος αποστολέας στέλνει ένα πακέτο σε έναν κόμβο εντός του κινητού δικτύου, το πακέτο δρομολογείται στον Home Agent που είναι συνδεδεμένος με τον Mobile Router. Το πρόθεμα δικτύου του κινητού δρομολογητή είναι καταγεγραμμένο στον Home Agent, έτσι λοιπόν από την στιγμή που ο Home Agent λάβει το πακέτο που αφορά κάποιον από τους κόμβους του κινητού δικτύου το στέλνει μέσω του τούνελ στην Care-of Address του κινητού δρομολογητή ο οποίος με την σειρά του αποκωδικοποιεί το πακέτο και το προωθεί στην Διεπαφή που είναι συνδεδεμένο το κινητό δίκτυο. Πριν αποκωδικοποιήσει το πακέτο ο κινητός δρομολογητής πρέπει να ελέγξει ότι η διεύθυνση πηγής του πακέτου είναι αυτή του Home Agent. Αυτός ο έλεγχος δεν είναι απαραίτητος αν το πακέτο προστατεύεται από IPsec. Ο κινητός δρομολογητής πρέπει και αυτός με την σειρά του να είναι σίγουρος ότι η διεύθυνση προορισμού του πακέτου στην εσωτερική κεφαλίδα του IPv6 ανήκει σε κάποιο πρόθεμα που χρησιμοποιείται στο κινητό δίκτυο, αν όχι το πακέτο διαγράφεται.

Το κινητό δίκτυο μπορεί να περιέχει κόμβους που δεν υποστηρίζουν φορητότητα και άλλους κόμβους που να υποστηρίζουν φορητότητα. Ένας κόμβος στο

κινητό δίκτυο μπορεί να είναι είτε σταθερός είτε κινητός δρομολογητής. Το πρωτόκολλο NEMO διασφαλίζει την διαφάνεια τις φορητότητας του δικτύου στους κόμβους του κινητού δικτύου. Οι κινητοί κόμβοι που συνδέονται με το κινητό δίκτυο το χρησιμοποιούν σαν ένα κανονικό σημείο πρόσβασης IPv6 δικτύου και εκτελούν το πρωτόκολλο κινητού IPv6. (V. P. Kafle, E. Kamioka, and S. Yamada, 2006)

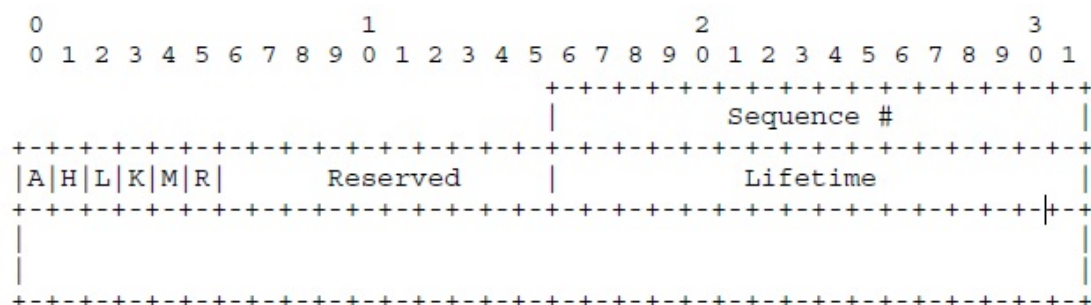
Ο κινητός δρομολογητής και ο Home Agent μπορούν να εκτελούν ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για τις μεταξύ τους αποστολές μέσω του τούνελ. Σε αυτή την περίπτωση ο κινητός δρομολογητής δεν χρειάζεται να περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το πρόθεμα στην ενημέρωση δέσμευσης (Binding Update).

Τα σήματα στην φορητότητα δικτύων (NEMO) στέλνονται μέσω Mobile IP μηνυμάτων. Αυτά τα μηνύματα στο μεν IPv6 πρωτόκολλο στέλνονται χρησιμοποιώντας Mobile Extension Header ενώ στο IPv4 μέσω του UDP μηνυμάτων ελέγχου. Τα δύο βασικότερα μηνύματα που χρησιμοποιούνται από την NEMO, όπως αναφέρθηκαν, είναι τα Binding Updates (BUs) and Binding Acknowledgements.

3. Μορφή μηνυμάτων

Binding Update

Μια καινούργια σημαία (flag-(R)) περιλαμβάνεται στο Binding Update για να δείξει στον Home Agent πότε το BU προέρχεται από έναν κινητό δρομολογητή και όχι από έναν κινητό κόμβο. Η υπόλοιπη μορφοποίηση του BU παραμένει η ίδια. (Johnson, D., Perkins, C., and J. Arkko, 2004)

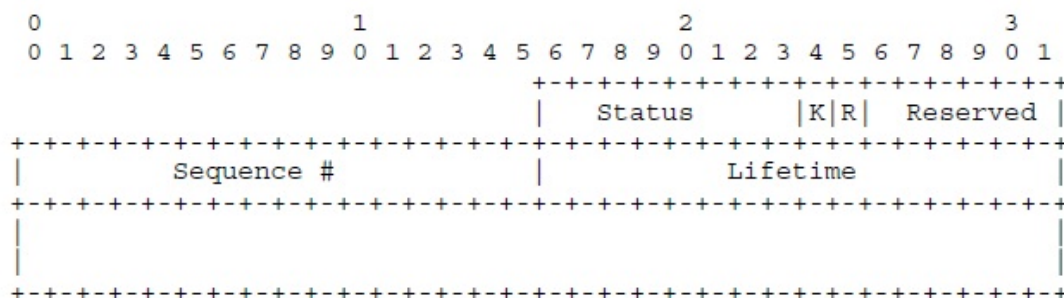


Σημαία Κινητού Δρομολογητή (R)

Η σημαία κινητού δρομολογητή χρησιμοποιείται για να δείξει στον Home Agent ότι η ενημέρωση δέσμευσης (BU) προέρχεται από έναν κινητό δρομολογητή. Αν η σημαία έχει τιμή 0, τότε ο Home Agent καταλαβαίνει ότι ο κινητός δρομολογητής συμπεριφέρεται ως κινητός κόμβος, και επομένως δεν πρέπει να προωθεί πακέτα που προορίζονται για το κινητό δίκτυο στον συγκεκριμένο κινητό δρομολογητή.

Binding Acknowledgement

Μια καινούργια σημαία (flag-(R)) περιλαμβάνεται στο Binding Acknowledgement για να δείξει ότι ο Home Agent επεξεργάστηκε το αντίστοιχο BU και υποστηρίζει την σύνδεση με κινητούς δρομολογητές. Η επιβεβαίωση στέλνεται μόνο αν στο αντίστοιχο Binding Update η σημαία έχει τιμή 1.



Το πεδίο status μπορεί να πάρει τις ακόλουθες δεκαδικές τιμές

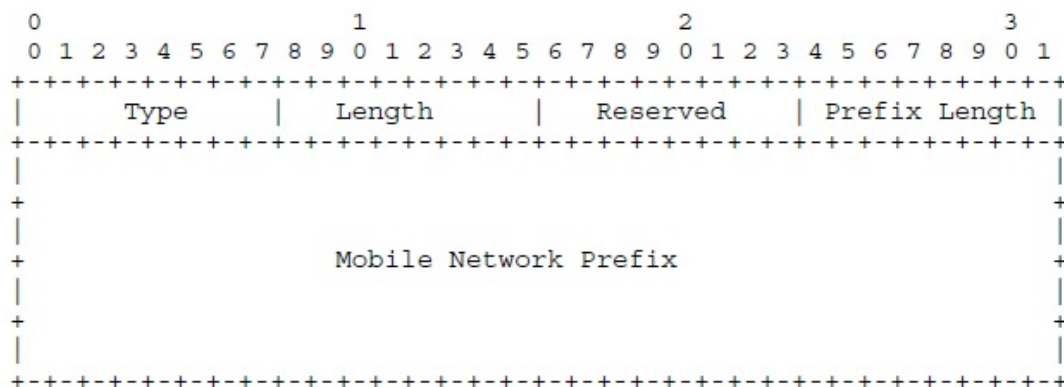
- 140 Δεν επιτράπηκε η λειτουργία του Κινητού Δρομολογητή
- 141 Μη έγκυρο Πρόθεμα
- 142 Μη εξουσιοδοτημένος για πρόθεμα
- 143 Απέτυχε η εγκατάσταση προώθησης

Τιμές για το status χαμηλότερες από 128 δείχνουν ότι το Binding Update επεξεργάστηκε επιτυχώς. Τιμές μεγαλύτερες από 128 δείχνουν ότι το Binding Update απορρίφθηκε από τον Home Agent.

Επιλογή Προθέματος Κινητού Δικτύου

Η επιλογή προθέματος κινητού δικτύου περιλαμβάνεται στο Binding Update για να δείξει το πρόθεμα του κινητού δικτύου στον Home Agent. Μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από μια επιλογές προθέματος αν ο κινητός δρομολογητής έχει περισσότερα του ενός προθέματα IPv6 στο κινητό δίκτυο και θέλει ο Home Agent να δρομολογεί πακέτα για κάθε ένα από αυτά τα προθέματα.

Η επιλογή προθέματος κινητού δικτύου έχει απαιτήσεις σύνταξης $8n+4$. Η συγκεκριμένη διάταξη φαίνεται παρακάτω



Το πεδίο Length είναι ένας ακέραιος 8-bit που δείχνει το μήκος σε οκτάδες της επιλογής. Το πεδίο Reserved είναι μη χρησιμοποιήσιμο ακόμη. Η τιμή του πρέπει να είναι 0 από τον αποστολέα και να αγνοηθεί από τον παραλήπτη. Το πεδίο Prefix Length είναι ένας ακέραιος 8-bit που δείχνει το μήκος του προθέματος IPv6 ενώ το Mobile Network Prefix περιέχεται το πρόθεμα του κινητού δικτύου σε 16-bit μορφή. (Devarapalli, V. et al., 2005)

4. Το πρόβλημα της Βελτιστοποίησης Δρομολογίου σε NEMO

Με βάση το πρωτόκολλο Βασικής Υποστήριξης Φορητότητας Δικτύων, όπως περιγράφηκε παραπάνω όλα τα πακέτα από και προς τους κόμβους που ανήκουν στο κινητό δίκτυο πρέπει να περνούν μέσω του Home Agent ακόμα και αν υπάρχει συντομότερη διαδρομή μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη. Επιπλέον, με τους εμφωλευμένους Κινητούς Δρομολογητές αυτά τα πακέτα δεδομένων πρέπει να περάσουν μέσα από πολλούς Home Agents και πολλά επίπεδα κωδικοποίησης τα

οποία θα μπορούσαν ενδεχομένως να αποφευχθούν. Αυτό έχει σαν συνέπεια να μειώνεται η αποτελεσματικότητα του δικτύου και να δημιουργούνται προβλήματα στην διανομή των πακέτων τα οποία μπορεί να παρεμποδίζουν την επικοινωνία από και προς τους κόμβους του Κινητού Δικτύου. (S. Jung, F. Zhao, and H. Kim, 2004)

Στις ακόλουθες υποενότητες θα περιγράψουμε την επίδραση στην δρομολόγηση ενός πακέτου με το πρωτόκολλο Βασικής Υποστήριξης NEMO, πως μπορεί να προκληθεί συμφόρηση στο δίκτυο και πως αυτή η πιθανότητα πολλαπλασιάζεται σε εμφωλευμένα δίκτυα. Θα περιγράψουμε επίσης την ύπαρξη υπο-βέλτιστων δρομολογίων ακόμα και με την χρήση MIPv6 ενώ θα ακολουθήσει μια περιγραφή για την πολιτική ασφαλείας σε οικιακά δίκτυα που μπορεί να απαγορεύσει την επιπλέον κίνηση ενός επισκέπτη-κόμβου (Visiting Node) σε ένα κινητό δίκτυο. Επιπλέον θα δούμε την επίδραση του τούνελ μεταξύ Κινητού Δρομολογητή και Home Agent (MRHA tunnel) στις επικοινωνίες μεταξύ δύο κόμβων κινητών δικτύων σε διαφορετικούς συνδέσμους του ίδιου κινητού δικτύου. Τέλος θα δείξουμε για ποιον λόγο προκαλείται αδιέξοδη κατάσταση όταν ο Home Agent είναι μέρος του κινητού δικτύου. (C. Ng, P. Thubert, M. Watari, F. Zhao, 2007)

4.1 Υπο-Βέλτιστη Δρομολόγηση με Πρωτόκολλο NEMO Basic Support

Με το NEMO Basic Support πρωτόκολλο, όλα τα πακέτα μεταξύ ενός κόμβου-αποστολέα και ενός κόμβου-παραλήπτη περνάν μέσα από το MRHA τούνελ και αυτό έχει προκαλεί ένα υπο-βέλτιστο αποτέλεσμα δρομολόγησης με τις εξής συνέπειες (C. Ng, P. Thubert, M. Watari, F. Zhao, 2007) :

- **Μεγαλύτερο δρομολόγιο οδηγεί σε αύξηση της καθυστέρησης**
 Λόγω της ενδιάμεσης χρήσης του τούνελ, ο χρόνος μεταφοράς του πακέτου είναι μεγαλύτερος απ' ότι αν υπήρχε απευθείας σύνδεση των δύο κόμβων. Όταν ο κόμβος παραλήπτης βρίσκεται κοντά στον Home Agent, η διαφορά στον χρόνο μετάδοσης μπορεί να είναι πολύ μικρή ενώ σε αντίθετη περίπτωση η διαφορά θα είναι μεγάλη. Ενδεχομένως εφαρμογές όπως η μετάδοση πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο να μην μπορούν να διαχειριστούν

καθυστερήσεις τέτοιου μεγέθους. Γενικά η αύξηση της καθυστέρησης μπορεί να έχει αντίκτυπο και στην απόδοση των πρωτοκόλλων μετάδοσης όπως το TCP αφού ο ρυθμός αποστολής καθορίζεται εν μέρει από το roundtrip time (RTT) που αντιλαμβάνονται τα τερματικά. Επιπλέον, η χρήση μεγαλύτερου δρομολογίου προκαλεί και μεγαλύτερη χρήση πόρων άρα και μεγαλύτερη κίνηση.

- **Αυξημένο Overhead στα Πακέτα**

Η κωδικοποίηση των πακέτων στο MRHA τούνελ έχει σαν συνέπεια την αύξηση του μεγέθους των πακέτων λόγω της προσθήκης επιπλέον κεφαλίδας και άρα την μείωση της αποτελεσματικότητας στο διαθέσιμο bandwidth. Για παράδειγμα σε μια εφαρμογή με φωνητικές εντολές που χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο 8kbps και παίρνει δείγμα φωνής ανά 20ms η μετάδοση των πακέτων θα είναι 50 πακέτα το δευτερόλεπτο. Κάθε επιπλέον κεφαλίδα IPv6 είναι 320 εξτρά bits ανά πακέτο (16 kbps), το οποίο σημαίνει διπλάσιο φορτίο.

- **Καθυστέρηση Επεξεργασίας**

Η κωδικοποίηση των πακέτων στο MRHA τούνελ έχει επίσης σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος επεξεργασίας στα σημεία της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Αυτή η καθυστέρηση μπορεί να περιλαμβάνει εξακρίβωση ορθότητας τοπολογίας (topological correctness verifications), υπολογισμός MTU, διάσπαση και συναρμολόγηση.

- **Αυξημένη Πιθανότητα Κατακερματισμού του Πακέτου**

Η αύξηση στο μέγεθος των πακέτων, όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως, αυξάνουν τις πιθανότητες κατακερματισμού του πακέτου. Αυτό ενδεχομένως να συμβεί αν προηγουμένως δεν έχει διεξαχθεί αναζήτηση MTU ή αν ο μηχανισμός MTU αναζήτησης δεν λάβει υπόψη την επιπλέον κωδικοποίηση των πακέτων. Φυσικά ενδεχόμενος κατακερματισμός θα αυξήσει τις καθυστερήσεις και την αποτελεσματικότητα του διαθέσιμου bandwidth.

- **Ευαισθησία στην αποτυχία**

Υπό την προϋπόθεση ότι κάθε σύνδεσμος έχει την ίδια πιθανότητα αποτυχίας, ένα μεγαλύτερο δρομολόγιο αυξάνει αυτή την πιθανότητα για αποτυχία. Επιπρόσθετα, τα πακέτα που δρομολογούνται μέσω του MRHA τούνελ έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να χαθούν να καθυστερήσουν λόγω αποτυχίας κάποιου συνδέσμου σε σύγκριση με πακέτα που μεταφέρονται απευθείας από τον κόμβο του Κινητού Δικτύου στον κόμβο παραλήπτη.

5. Ανάγκη για QoS (Quality of Service, Ποιότητα της υπηρεσίας) σε Σχήματα Βελτιστοποίησης Δρομολογίου για εφαρμογές στο Internet

Οι διαδικτυακές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στα κινητά δίκτυα πρέπει να διαχειριστούν μεγαλύτερες καθυστερήσεις, μεγάλη αναλογία λαθών, χαμηλότερο bandwidth σε σύγκριση με τα κανονικά δίκτυα. Οι πελάτες δεν θέλουν μόνο φορητότητα αλλά και ποιότητα (P. Calduwel Newton, L. Arockiam, 2009). Οι διάφορες διαδικτυακές εφαρμογές όπως η μεταφορά αρχείων, τα e-mails, η ιντερνετική τηλεφωνία, οι τηλεδιασκέψεις κλπ. απαιτούν εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Η Ποιότητα Υπηρεσίας είναι ένα σύνολο απαιτήσεων που πρέπει να ικανοποιούνται αλλά επιπλέον είναι και ένας μηχανισμός ανταγωνισμού για επιπλέον υπηρεσίες από τους παρόχους. Το “κλειδί” για την επιτυχή διευθυνσιοδότηση της Ποιότητας Υπηρεσίας είναι η δρομολόγηση. Κατά την ανάθεση διεύθυνσης σε ένα ασύρματο κινητό κομμάτι, πολλά διαφορετικά θέματα μπορεί να προκύψουν. Χαμηλότερη ικανότητα διεκπεραίωσης, αυξημένες καθυστερήσεις, μεταβολή καθυστέρησης (jitter) και μεγάλη συχνότητα εμφάνισης λαθών είναι αναπόφευκτα προβλήματα στα ασύρματα κινητά δίκτυα.

Κάποιες εφαρμογές απαιτούν αυστηρά σταθερή καθυστέρηση, άλλες έναν ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης, ενώ άλλες απλά μεγάλη ικανότητα διεκπεραίωσης. Τα κινητά δίκτυα με φορητότητα δικτύου (NEMO) έχουν μεγαλύτερες επιπτώσεις από τις προδιαγραφές της Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS). Αν στη νέα τοποθεσία υπάρχουν πολλές συσκευές, το διαθέσιμο bandwidth μπορεί να μην είναι επαρκές για να παρέχει τον ίδιο βαθμό διεκπεραίωσης με την προηγούμενη τοποθεσία. Συνεπώς οι μηχανισμοί βελτιστοποίησης δρομολόγησης είναι απαραίτητο να διασφαλίζουν Ποιότητα Υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα.

Γενικά, οι διαδικτυακές εφαρμογές χωρίζονται σε δύο τύπους : τις εφαρμογές σε πραγματικό και σε μη πραγματικό χρόνο. Οι εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου θα περιμένουν για πακέτα πριν η εφαρμογή να επεξεργαστεί στην πραγματικότητα τα δεδομένα. Ορισμένες από τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου είναι τα διαδραστικά video, εφαρμογές ήχου και εικόνας συνεχούς ροής ένας-προς-πολλούς αποδέκτες κλπ. Οι εφαρμογές διαδραστικού βίντεο και εικόνας επιτρέπουν στους χρήστες να χρησιμοποιούν πολυμέσα για την επικοινωνία μεταξύ τους σε πραγματικό χρόνο. Σε τέτοιες περιπτώσεις μια καθυστέρηση μεταξύ 150ms και 400ms είναι αποδεκτή. (P. Calduwel Newton1, L. Arockiam, 2010)

Η ένας-προς-πολλούς μετάδοση ήχου και εικόνας είναι παρόμοια με την εκπομπή του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης, εκτός από το γεγονός ότι η μετάδοση γίνεται μέσω ίντερνετ. Σε αυτή την ομάδα εφαρμογών όπου ο πελάτης δεν μπορεί να ελέγξει την μετάδοση του εξυπηρετητή καθυστερήσεις μέχρι κάποια δέκατα του δευτερολέπτου είναι ανεκτές. Εφαρμογές αποθηκευμένου βίντεο και ήχου είναι κατ' απαίτηση εφαρμογές όπου τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε εξυπηρετητές, εδώ καθυστερήσεις από ένα μέχρι 10 δευτερόλεπτα είναι αποδεκτές (Aggelou, G.,2009). Άλλες εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου όπως η πρόσβαση στον ιστό, μεταφορά αρχείων και τα e-mail έχουν κατά βάση στατικό περιεχόμενο και έχουν ανοχή σε μεγάλες καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο αλλά πολύ μικρή ανοχή σε απώλεια πακέτων.

Βασισμένοι στα παραπάνω είναι ξεκάθαρο γιατί κάθε εφαρμογή απαιτεί διαφορετική Ποιότητα Υπηρεσιών, συνεπώς διαφορετικά είδη μηχανισμών βέλτιστης δρομολόγησης απαιτούνται για να παρέχουν καλύτερη Ποιότητα Υπηρεσιών για διαδικτυακές εφαρμογές. Η επιλογή του κατάλληλου μηχανισμού πρέπει να γίνει με άξονα την παροχή καλύτερων υπηρεσιών, αλλά οι περισσότεροι δεν επικεντρώνονται ε όλες τις παραμέτρους της Ποιότητας Υπηρεσιών όπως η καθυστέρηση, η απώλεια πακέτων, η μεταβολή καθυστέρησης και το εύρος συχνοτήτων.

6. Κατηγοριοποίηση Σχημάτων Βέλτιστης Δρομολόγησης

Στην βιβλιογραφία πολλά σχήματα βελτιστοποίησης δρομολόγησης έχουν προταθεί και μπορούν να επιλεγθούν με βάση τον βαθμό βελτιστοποίησης. Τα

διάφορα σχήματα έχουν κατηγοριοποιηθεί ως εξής (Abu Zafar M. Shahriar, Mohammed Atiquzzaman and William Ivancic, 2010):

- Ανάθεσης
- Ιεραρχικά
- Δρομολόγησης από την πηγή
- Υποστηριζόμενα από το Border Gateway Protocol

Ανάθεσης

Σε αυτά τα σχήματα, το πρόθεμα του ξένου δικτύου ανατίθεται μέσα στο κινητό δίκτυο. Η λογική της ανάθεσης του προθέματος είναι απλή, και παρέχει βέλτιστο δρομολόγιο με χαμηλό επιπλέον φόρτο κεφαλίδας με κόστος τον μη εντοπισμό της τοποθεσίας. Επιπλέον, η αποστολή του Binding Update (BU) σε έναν αντίστοιχο κόμβο απαιτεί επιπρόσθετη σηματοδότηση μαζί με την ανάγκη για υποστήριξη πρωτοκόλλου από τον αντίστοιχο κόμβο, κάνοντας το σχήμα δύσκολο στην εφαρμογή του. Τα σχήματα επιπλέον δεν επικεντρώνονται στην δρομολόγηση εντός δικτύου.

Ιεραρχικά

Σε αυτό το ιεραρχικό σχήμα, ένα πακέτο, αντί να μεταφέρεται μέσα από όλους τους Home Agents, φτάνει στο νέο δίκτυο είτε από τον Home Agent του Κόμβου Κινητού Δικτύου (MNN) είτε μέσω του Home Agent του MNN και του Κινητού Δρομολογητή Ανωτάτου Επιπέδου. Σε αντίθεση με την προσέγγιση της ανάθεσης, ένας Κινητός Δρομολογητής δεν στέλνει την Care-of Address του στον αντίστοιχο κόμβο. Επιπλέον ο αριθμός των τούνελ που χρησιμοποιούνται για επικοινωνία διαφέρει ανάμεσα στα σχήματα ενώ ο αριθμός των τούνελ επηρεάζει τον βαθμό βέλτιστης δρομολόγησης και τον επιπλέον φόρτο της επικεφαλίδας. Κάτι ακόμα που ποικίλει επίσης είναι και η διαχείριση της τοποθεσίας.

Δρομολόγηση από την πηγή

Εδώ, η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται στέλνοντας τις Care-of Addresses του Κινητού Κόμβου στον αντίστοιχο κόμβο ο οποίος εισάγει τις CoAs στην κεφαλίδα του πακέτου ώστε να ανταποκριθεί στην δομή εμφώλευσης του Κινητού Κόμβου. Αυτό βέβαια, αυξάνει τον επιπλέον φόρτο του δικτύου. Οι απαιτήσεις μνήμης είναι μικρές

καθώς κάθε Κινητός Κόμβος πρέπει να αποθηκεύει μόνο των συνδεδεμένων Κινητών Κόμβων για το επόμενο άλμα. Αυτή η μέθοδος θυσιάζει τον εντοπισμό τοποθεσίας και την ανάπτυξη όμως αυξάνει την σηματοδότηση.

Υποστηριζόμενα από το Border Gateway Protocol

Σε αντίθεση με όσα περιγράφηκαν μέχρι τώρα, τα σχήματα σε αυτό το είδος είναι βασισμένα στο BGP για την διαχείριση της φορητότητας (Y. Rekhter, T. Li, and S. Hares, 2006). Όταν το κινητό δίκτυο μετακινείται, οι δρομολογητές BGP ενημερώνονται για να κάνουν τις απαραίτητες αλλαγές στους πίνακες δρομολόγησης, προωθώντας τις καταχωρήσεις για το πρόθεμα στο κινητό δίκτυο. Πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή του δρομολογίου του κινητού δικτύου μεταδίδονται σε μερικούς δρομολογητές οι οποίοι ανταλλάσσουν πληροφορίες με ομότιμους τους, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης στο Internet. Έτσι, οι δρομολογητές περιέχουν καταχωρήσεις για να δρομολογούν πακέτα του κινητού δικτύου ανεξάρτητα από την τοποθεσία του και είναι υπεύθυνοι για την διαχείριση της τοποθεσίας.

7. Κατάλληλα σχήματα Βελτιστοποίησης Δρομολόγησης για διαδικτυακές εφαρμογές

Η επιλογή των κατάλληλων μηχανισμών σε διαφορετικά επίπεδα είναι πολύ σημαντική. Η επιλογή σχημάτων κωδικοποίησης, διεπαφής δικτύου κλπ. είναι απαραίτητα στοιχεία για την καλύτερη Ποιότητα των Υπηρεσιών. Αυτό το κομμάτι επικεντρώνεται στην επιλογή του κατάλληλου σχήματος βέλτιστης δρομολόγησης για την αύξηση του QoS στα NEMO. Τα διάφορα σχήματα και ο βαθμός βελτιστοποίησης και σηματοδότησης κεφαλίδας δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

(P. Calduwel Newton¹, L. Arockiam, 2010)

RO Schemes	Degree of RO	Signaling Overhead
OPR	Optimal	Low
xMIPv6	Optimal	Low
PCH-based	Optimal	Low
Simple Prefix Delegation	Optimal	Medium
ND-Proxy	Optimal	Medium
Ad hoc-based	Optimal	Medium
Optinet	Optimal	High
MIRON*	Optimal	High
HIP-based	Optimal	High
S-RO	Optimal	High
SIP-based*	Optimal	High

* Handoff-aware RO Schemes

Στην προσπάθεια να εξισορροπηθούν θέματα, όπως η σηματοδότηση, κάποια σχήματα επιτρέπουν ένα ή δύο επίπεδα tunneling ή ως ένα βαθμό μη-βελτιστοποίησης στο δρομολόγιο μεταξύ του αντίστοιχου κόμβου και ενός Κινητού Κόμβου Δικτύου. (E. Perera, A. Seneviratne, and V. Sivaraman, 2004)

Τα σχήματα βελτιστοποίησης δρομολόγησης που είναι κατάλληλα για κάθε διαδικτυακή εφαρμογή φαίνονται στον αμέσως επόμενο πίνακα (P. Calduwel Newton1, L. Arockiam, 2010). Αν και ο βαθμός βελτιστοποίησης για όλα τα σχήματα είναι βέλτιστος ο επιπλέον φόρτος σηματοδότησης ποικίλει (χαμηλός, μέτριος, υψηλός). Από την στιγμή που οι πραγματικού χρόνου εφαρμογές διαδραστικού βίντεο και εικόνας δεν έχουν μεγάλα περιθώρια σε καθυστερήσεις, μεταβολή καθυστέρησης και εύρους συχνοτήτων, τα σχήματα με χαμηλό επιπλέον φόρτο σηματοδότησης είναι περισσότερο κατάλληλα.

Internet Applications	RO Schemes
Real-time interactive audio and video	<ul style="list-style-type: none"> • OPR • xMIPv6 • PCH-based
One-to-many streaming of real-time audio and video	<ul style="list-style-type: none"> • Simple Prefix Delegation • ND-proxy • Ad hoc-based
Streaming of stored audio and video applications	<ul style="list-style-type: none"> • Optinet • HIP-based • S-RO
Non-real-time applications	<ul style="list-style-type: none"> • MIRON • SIP-based

Από την στιγμή που εφαρμογές για ένας-προς-πολλούς αποστολή σε πραγματικό χρόνο έχουν κάποια επίπεδα ανοχής σε καθυστερήσεις, μεταβολή καθυστέρησης και εύρος συχνοτήτων, τα σχήματα βελτιστοποίησης δρομολογίου που έχουν μέτριο επιπλέον φόρτο σηματοδότησης είναι κατάλληλα. Αντίστοιχα στην αποστολή αποθηκευμένων δεδομένων ήχου και εικόνας όπου τα επιτρεπτά επίπεδα ανοχής είναι ακόμη μεγαλύτερα χρησιμοποιούνται και αντίστοιχα σχήματα με μεγαλύτερο επιπλέον φόρτο για το δίκτυο. Στην Φορητότητα Δικτύων (NEMO) απώλειες πακέτων μπορούν να συμβούν κατά την διάρκεια του handoff, της μετάβασης δηλαδή από ένα σημείο μετάδοσης σε ένα άλλο κατά την διάρκεια της κίνησης. (C. Ng, P. Thubert, M. Watari, F. Zhao, 2007)

8.Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, είδαμε τι είναι η Φορητότητα Δικτύου και τα προβλήματα του Βασικού Πρωτοκόλλου NEMO σε ένα εμφωλευμένο κινητό δίκτυο με πολλαπλές ενθυλακώσεις. Αν και έχουν προταθεί σχήματα δρομολόγησης για να λύσουν τα προβλήματα αυτά, δεν αποτελούν βέλτιστες λύσεις για όλες τις περιπτώσεις ενώ απαιτούν τροποποιήσεις στο Βασικό Πρωτόκολλο. Για την χρήση των σχημάτων βελτιστοποίησης δρομολόγησης σε πραγματικές εφαρμογές και την ανάπτυξή τους, είναι απαραίτητη η μείωση του επιπλέον φόρτου στα δεδομένα όπως είναι ο επίφορτος κεφαλίδας (header overhead) και η σηματοδότηση. Επιπλέον τα σχήματα δεν πρέπει να απαιτούν σημαντικές αλλαγές στην υπάρχουσα δομή του διαδικτύου και στα υπάρχοντα πρωτόκολλα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1] C. Perkins, Ed. "RFC 3344: IP Mobility Support for IPv4," IETF, Network Working Group, August, 2002. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3344.txt>

Full standard specification of Mobile IP for IPv4.

[2] Paul Mocerri "Enabling Network Mobility: A Survey of NEMO", September, 2006. http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse57406/ftp/network_mobility/index.html

[3] Ernst, T., K. Uehara. "Connecting Automobiles to the Internet," Proceedings 3rd International Workshop on ITS Telecommunications (ITST), November 2002. <http://www.sfc.wide.ad.jp/~kei/papers/itst2002-ernst.pdf>

[4] Ernst, T. "Network Mobility Support Goals and Requirements," NEMO Working Group, Internet-Draft, October 24, 2005. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-nemo-requirements-05.txt>

- [5] Devarapalli, V., R. Wakikawa, A. Petrescu P. Thubert. "RFC 3963: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF, NEMO Working Group, January, 2005. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3963.txt>
- [6] Conta, A. and S. Deering, "Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification", RFC 2473, December 1998.
- [7] Johnson, D., Perkins, C., and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
- [8] C. Ng, P. Thubert, M. Watari, F. Zhao. "RFC 4888: Network Mobility Route Optimization Problem Statement," , July 2007.
- [9] P. Calduwel Newton, L. Arockiam, "Reliability Analysis for General Packet Radio Service with Quality of Service Support", CiiT International Journal of Wireless Communication (ISSN 0974 – 9756), India, May 2009, pp. 79-83.
- [10] George Aggelou, "Mobile Ad Hoc Networks: From Wireless LANs to 4G Networks", Tata McGraw-Hill Edition, 2009.
- [11] Abu Zafar M. Shahriar, Mohammed Atiquzzaman and William Ivancic, "Route Optimization in Network Mobility: Solutions, Classification, Comparison, and Future Research Directions", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 12, No. 1, First Quarter 2010, pp.24-38.
- [12] Y. Rekhter, T. Li, and S. Hares, "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", RFC 4271, Jan. 2006.
- [13] P. Calduwel Newton¹, L. Arockiam², "Route Optimization Mechanisms for Internet Applications in Mobile Networks: A Survey", International Journal of Future Generation Communication and Networking ,Vol. 3, No. 3, September 2010.
- [14] F. Zhao, S. F. Wu, and S. Jung, "MEMO Route Optimization Problem Statement, Requirements and Evaluation Considerations," IETF draft, October 2004.
- [15] D. B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," IETF draft, June 2003.
- [16] L. Li-hua, X.L. Ma, and L. Yuan-an, "Route optimization solution for nested mobile network in local mobility domain with multiple local mobility anchors." In

International Symposium on Communications and Information Technologies”, October 2007.

[17] M. S. Jeong, Y. H. Cho, and J. T. Park, “Hierarchical mobile network binding scheme for route optimization in NEMO”. *Wireless Personal Commun.*, 43(3):975–995, November 2007.

[18] V. P. Kafle, E. Kamioka, and S. Yamada, “Mobile router-assisted route optimization for Network Mobility (NEMO) support.” *IEICE Trans. Inf. Syst.*, E89-D(1):158–170, January 2006.

[19] M. Watari, T. Ernst, and J. Murai, “Routing optimization for nested mobile networks.” *IEICE Trans. Commun.*, E89-B(10):2786–2793, October 2006.

[20] K.J. Lee, J. Park, and H. Kim, “Route optimization for mobile nodes in mobile network based on prefix delegation.” In *IEEE 58th Vehicular Technology Conference*, pages 2035–2038, October 2003.

[21] E. Perera, A. Seneviratne, and V. Sivaraman, “An architecture to enable optimal routing for network mobility”. In *International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks*, pages 68–72, June 2004.

[22] S. Jung, F. Zhao, and H. Kim. “Threat analysis on network mobility (NEMO)”. In *Sixth International Conference on Information and Communications Security*, October 2004.