



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Διαχείριση ασύρματης κινητικότητας:
βελτιστοποίηση απόφασης διαπομπής και δυναμική
επιλογή των GFAs στο ιεραρχικό MIP.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΚΑΛΥΒΑ Ι. ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Επιβλέπων : Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2005



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Διαχείριση ασύρματης κινητικότητας:
βελτιστοποίηση απόφασης διαπομπής και δυναμική
επιλογή των GFAs στο ιεραρχικό ΜΙΡ.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΚΑΛΥΒΑ Ι. ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Επιβλέπων : Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17η Μαρτίου 2005.

.....
Μ. Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Βέργαδος
Λέκτορας Πανεπιστημίου Αιγαίου

.....
Γ. Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2005

.....
ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ι. ΚΑΛΥΒΑΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Ι. Καλύβας, 2005

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη πρωτοκόλλων διαχείρισης ασύρματης κινητικότητας χρηστών και η υποβολή προτάσεων σχετικά με τη βελτίωση της απόφασης διαπομπής στα ασύρματα δίκτυα και την επιλογή των GFAs στο ιεραρχικό μοντέλο του Mobile IP.

Αρχικά γίνεται ανάλυση διαφόρων πρωτοκόλλων που χειρίζονται την ασύρματη κινητικότητα ώστε να παρουσιαστούν προτάσεις και ιδέες που έχουν ήδη διατυπωθεί. Ακολουθεί μία προσομοίωση του πρωτοκόλλου Mobile IP στο λογισμικό Network Simulator v.2.27, όπου θα αναδειχθεί η σπουδαιότητα του μοντέλου κίνησης και του ρυθμού μετάδοσης των χρηστών στην απόδοση του δικτύου.

Επίσης, μελετάται η ενημέρωση θέσης και η διαπομπή για να καταλήξουμε στην υποβολή πρότασης για την βελτίωση της συνάρτησης απόφασης διαπομπής. Στόχος είναι η αποφυγή διαπομπών που έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της υπηρεσίας που βιώνει ο χρήστης.

Στη συνέχεια, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο ιεραρχικό Mobile IP (HMIP) και σε σχετικές εργασίες για να προταθεί στο τέλος ένας μηχανισμός δυναμικής επιλογής των GFAs με σκοπό την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης των intra- και inter-domain διαπομπών.

Λέξεις Κλειδιά

Διαδίκτυο, διαχείριση κινητικότητας, διαπομπή, γρήγορες διαπομπές, καθυστέρηση διαπομπής, ιεραρχικό μοντέλο, κατανεμημένη στρατηγική, ασύρματη κινητικότητα, ενημέρωση θέσης, διαπομπή εντός δικτύου, διαπομπή μεταξύ δικτύων.

Abstract

The aim of this thesis was the study of wireless mobility management protocols and to make suggestions for improving the handoff decision in wireless networks and the selection of the GFAs in the hierarchical version of Mobile IP.

In the beginning there is an analysis of various protocols that manage wireless mobility in order to present suggestions and ideas that have been already stated. A simulation of Mobile IP follows, with use of the Network Simulator v.2.27, where we will show the importance of the movement model and bit rate of users to the network's efficiency.

Also, we investigate location registration and handoff to conclude with suggestions for the development of handoff decision. The goal is to avoid handoffs that result to disintegration of the service the user experiences.

Next, we emphasize in hierarchical Mobile IP (HMIP) and related work and we suggest a mechanism for the dynamic selection of the GFAs in order to minimize the handoff latency in intra- and inter- domain handoffs.

Keywords

Internet, mobility management, handover, simulation, fast handovers, handover latency, hierarchical model, distributed strategy, wireless mobility, location registration, intra-domain handoffs, inter-domain handoffs.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτέλεσε την διπλωματική μου εργασία στα πλαίσια του κύκλου σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αποτελεί το σημαντικότερο σημείο της πορείας μου στο τμήμα και ολοκληρώνει τον κύκλο της πενταετούς φοιτήσεώς μου μετατρέποντας τη γνώση σε πράξη. Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κύριο Μιχαήλ Θεολόγου Καθηγητή Ε.Μ.Π για τις συμβουλές και την επιστημονική γνώση που μου παρείχε, τους κ.κ Δημήτρη Βέργαδο Υποψήφιο Διδάκτορα και Δημήτρη Βέργαδο Λέκτορα του Πανεπιστημίου Αιγαίου για την αμέριστη συμπαράσταση και τη βοήθεια τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με στήριξαν και πίστεψαν στην προσπάθειά μου αυτή.

Πίνακας Περιεχομένων

1.	Εισαγωγή.....	13
1.1	Ασύρματη κινητικότητα	15
1.2	Βασικές Αρχές Πρωτοκόλλων	16
1.3	Κατηγορίες Πρωτοκόλλων	16
2.	Ορολογία.....	18
2.1	Αναζήτηση (paging).....	18
2.2	Διαπομπή (handoff)	18
2.2.1	Σκληρή διαπομπή (hard handoff).....	18
2.2.2	Ημι-ήπια διαπομπή (semi-soft handoff).....	19
2.2.3	Ήπια διαπομπή (soft handoff)	19
3.	Ιεραρχική Στρατηγική.....	20
3.1	GSM , IS-41	20
3.1.1	Αναζήτηση	22
3.2	Ιεραρχική στρατηγική στα επίγεια δίκτυα κινητών επικοινωνιών	22
3.2.1	Στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης (Caching Strategy):.....	22
3.2.2	Στρατηγική επανάληψης προφίλ (Replication Strategy):	23
3.2.3	Στρατηγική προώθησης (Forwarding Strategy):.....	23
3.2.4	Στρατηγική τοπικής πρόσδεσης (local Anchoring Strategy):	23
3.2.5	Dynamic Hierarchical Database Architecture	24
3.3	Ιεραρχική στρατηγική σε Wireless IP.....	27
3.3.1	Mobile IPv4.....	28
3.3.1.1	Τριγωνική Δρομολόγηση (triangle routing)	30
3.3.2	MIP-RO	31
3.3.3	Mobile IPv6.....	32
3.3.4	Μειονεκτήματα του Mobile IP.....	33
3.4	Πρωτόκολλα διαχείρισης τοπικής κινητικότητας.....	33
3.4.1	Cellular IP [5].....	33
3.4.1.1	Αρχιτεκτονική.....	34
3.4.1.2	Σκληρή διαπομπή:	36
3.4.1.3	Ημι-ήπια διαπομπή:	38
3.4.2	HAWAII.....	41
3.4.2.1	Μηνύματα εγκατάστασης διαδρομής (path setup message)	43

3.4.2.2 Σχήματα εγκατάστασης διαδρομής (path setup schemes)	44
3.4.3 Ιεραρχικό Mobile IP (HMIP)	49
3.4.4 Δυναμικό Ιεραρχικό Mobile IP (Dynamic HMIP).....	50
3.4.5 TeleMIP.....	52
3.4.6 Intradomain mobility management protocol (IDMP)	54
3.4.6.1 Αρχιτεκτονική.....	54
3.4.6.2 Paging, Idle mode	54
3.4.7 Forwarding Chain & Aggregate Reservation (FCAR).....	55
3.4.7.1 Βασική Ιδέα	55
3.4.7.2 Γρήγορη διαπομπή (fast handoff).....	56
3.4.7.3 Γρήγορη εύρεση θέσεως (fast location lookup)	57
4. Κατανεμημένες αρχιτεκτονικές διαχείρισης κινητικότητας.....	58
4.1 Κατανεμημένες (distributed) αρχιτεκτονικές στα επίγεια δίκτυα κινητών επικοινωνιών (PCS)	58
4.1.1 Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική με DS για Global Roaming σε μελλοντικά PCS.....	58
4.1.1.1 Διαδικασία Εγγραφής Θέσης.....	60
4.1.1.2 Διαδικασία Παράδοσης Κλήσης.....	63
4.2 Κατανεμημένες αρχιτεκτονικές σε ασύρματα δίκτυα IP	64
4.2.1 Κατανεμημένο Δυναμικό HMIP	64
4.2.1.1 Αρχιτεκτονική.....	65
5. Σύγκριση Πρωτοκόλλων Διαχείρισης Κινητικότητας.....	68
6. Το πρόγραμμα ns (network simulator)	72
7. Προσομοίωση: Mobile IP	74
7.1 Αρχιτεκτονική.....	74
7.2 Μεγέθη προσομοίωσης.....	75
7.3 Αποτελέσματα.....	76
7.3.1 Για κίνηση 16 kbit/sec.....	76
7.3.2 Για κίνηση 800 kbit/sec.....	78
7.4 Συμπεράσματα	80
7.4.1 Μείωση των CBR bytes και πακέτων που αποστέλλουν και παραλαμβάνουν τα nodes.....	80
7.4.2 Αύξηση των UDP bytes που αποστέλλονται και παραλαμβάνονται από το wired node	80
7.4.3 Αύξηση της μέσης καθυστέρησης πακέτου από node σε BS.....	80
8. Διαπομπή.....	82
8.1 Κριτήρια για απόφαση διαπομπής.....	82

8.1.1	Ποσοστό χρησιμοποίησης πόρων στο παλιό και στο υποψήφιο νέο δίκτυο	82
8.1.2	Καθυστέρηση διαπομπής	82
8.2	Καθορισμός συνάρτησης διαπομπής	83
8.2.1	Βάρη παραμέτρων	83
8.2.1.1	Ποσοστό χρησιμοποίησης εύρους ζώνης	83
8.2.1.2	Ισχύς σημάτων	83
8.2.1.3	Καθυστέρηση διαπομπής.....	84
8.2.1.4	Κανονικοποίηση βαρών.....	84
8.2.2	Τιμές μεταβλητών	85
8.2.3	Τελική συνάρτηση διαπομπής.....	86
8.2.4	Αναγκαστική έκβαση απόφασης διαπομπής.....	86
9.	Παράμετροι επίδοσης στο ιεραρχικό μοντέλο	88
9.1	Σχετικές Εργασίες.....	88
9.2	Κεντρική Ιδέα	88
9.3	Καθυστέρηση διαπομπής.....	89
9.3.1	Αριθμός των κόμβων (hops)	89
9.3.1.1	Περίπτωση εφαρμογών πραγματικού χρόνου ή σκληρής διαπομπής.....	92
9.3.2	Γεωγραφική απόσταση.....	93
9.3.2.1	Πρόταση για συνυπολογισμό του γεωγραφικού κριτηρίου.....	96
9.4	Επιλογή αριθμού GFA	97
9.5	Πρόταση δυναμικής επιλογής των GFAs	97
9.5.1	Τοπολογία.....	98
9.5.2	Επιλογή αριθμού GFA	99
9.5.3	Συνάρτηση επιλογής GFAs	102
9.5.4	Απόσταση μεταξύ των GFAs.....	104
9.5.5	Συνυπολογισμός της απόστασης των GFAs	106
9.5.6	Τιμή του συντελεστή – βάρους p	107
9.5.7	Ανανέωση των GFAs	107
9.6	Καταμέτρηση χρηστών για κάθε BS	108
10.	Προτάσεις για περαιτέρω εργασία.....	110
11.	Αναφορές	111

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 3.2.5.1: Ιεραρχική Αρχιτεκτονική Βάσεων Δεδομένων	24
Σχήμα 3.2.5.2: Παράδειγμα διαχείρισης της πληροφορίας θέσης μιας κατανεμημένης στρατηγικής	26
Σχήμα 3.3.1.1: Το φαινόμενο τριγωνικής δρομολόγησης (triangle routing)	31
Σχήμα 3.3.2.1: Βέλτιστη δρομολόγηση (optimized routing)	31
Σχήμα 3.4.1.1: Ένα πολλαπλό Cellular IP δίκτυο	35
Σχήμα 3.4.1.2: Cellular IP δίκτυο	35
Σχήμα 3.4.1.3: Σκληρή Διαπομπή (hard handoff)	37
Σχήμα 3.4.1.4: Περιοχές paging	40
Σχήμα 3.4.2.1: Τοπολογία δικτύου HAWAII	42
Σχήμα 3.4.2.2: Μήνυμα εγκατάστασης διαδρομής μετά από Power Up	43
Σχήμα 3.4.2.3: MSF σχήμα προώθησης	45
Σχήμα 3.4.2.4: SSF σχήμα προώθησης	47
Σχήμα 3.4.2.5: UNF σχήμα μη-προώθησης	48
Σχήμα 3.4.2.6: MNF σχήμα μη-προώθησης	49
Σχήμα 3.4.3.1: Δικτυακό μοντέλο του ιεραρχικού Mobile IP	50
Σχήμα 3.4.4.1: Παράδειγμα στο δυναμικό H MIP	51
Σχήμα 3.4.5.1: Αρχιτεκτονική TeleMIP	53
Σχήμα 3.4.6.1: Παράδειγμα IDMP	55
Σχήμα 3.4.7.1: Παράδειγμα FCAR	56
Σχήμα 4.1.1.1: Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική με DS για Global Roaming σε μελλοντικά PCS	59
Σχήμα 4.1.1.2: Διάγραμμα ροής διαδικασίας εγγραφής θέσης	62
Σχήμα 4.1.1.3: Διάγραμμα ροής διαδικασίας πα'ραδοσης κλήσης	64
Σχήμα 4.2.1.1: Η τοπική ανανέωση θέσης στο δυναμικό ιεραρχικό μοντέλο του MIP66	
Σχήμα 7.3.1.1: CBR bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes	76
Σχήμα 7.3.1.2: CBR πακέτα που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes	76
Σχήμα 7.3.1.3: UDP bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από το wired node	77
Σχήμα 7.3.1.4: Μέση καθυστέρηση πακέτου από node σε BS	77
Σχήμα 7.3.2.1: CBR bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes	78
Σχήμα 7.3.2.2: CBR πακέτα που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes	78
Σχήμα 7.3.2.3: UDP bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από το wired node	79

Σχήμα 7.3.2.4: Μέση καθυστέρηση πακέτου από node σε BS.....	79
Σχήμα 7.4.3.1: Σύγκριση μέσης καθυστέρησης.....	81
Σχήμα 9.3.1.1: Ανανεώσεις διαπομπής σε ιεραρχικό μοντέλο	90
Σχήμα 9.3.1.2: Μετακίνηση από GFA σε GFA.....	92
Σχήμα 9.3.2.1: Γεωγραφική απόσταση FAs	94
Σχήμα 9.3.2.2: Απομακρυσμένος FA με μεγάλη συγκέντρωση χρηστών.....	95
Σχήμα 9.3.2.1.1: Γεωγραφικές περιοχές GFA	96
Σχήμα 9.5.1.1: Τετραγωνική τοπολογία	98
Σχήμα 9.5.2.1: Αρίθμηση κυψελών τοπολογίας.....	99
Σχήμα 9.5.2.2: Χωρισμός τοπολογίας σε 2 περιοχές GFA.....	101
Σχήμα 9.5.2.3: Χωρισμός τοπολογίας σε 4 περιοχές GFA.....	101
Σχήμα 9.5.2.4: Σύγκριση αριθμού GFA	102
Σχήμα 9.5.3.1: Παράδειγμα καθορισμού απόστασης D_i	103
Σχήμα 9.5.4.1: Γειτονικές περιοχές	105
Σχήμα 9.5.5.1: Κέντρο βάρους τοπολογίας	106
Σχήμα 9.6.1: Διάγραμμα ροής λίστας χρηστών σε BS	106

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη στη αγορά των φορητών υπολογιστών (laptops). Σήμερα, τα laptops έχουν γίνει προσιτά στο ευρύ κοινό καθώς η ισχύς τους είναι εφάμιλλη των σταθερών υπολογιστών γραφείου (desktop computers) με τιμή σίγουρα αυξημένη αλλά όχι απαγορευτική.

Σε συνδυασμό με την έκρηξη των χρηστών του διαδικτύου (Internet) και τις δυνατότητες και υπηρεσίες που αυτό προσφέρει είναι φανερό ότι ανοίγεται ένα παράθυρο για πρόσβαση στο Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web – www) ασύρματα από τα laptops. Μάλιστα, μπορούμε να ισχυριστούμε πως η μελλοντική περαιτέρω ανάπτυξη του Internet θα πυροδοτηθεί από τους χρήστες των laptops αφού αυτή η κατηγορία χρηστών αναπτύσσεται με την μεγαλύτερη ταχύτητα.

Ταυτόχρονα παρατηρείται μεγάλο ενδιαφέρον της αγοράς για ασύρματα συστήματα επικοινωνίας. Τέτοια παραδείγματα μπορούν να αποτελέσουν εταιρείες που θέλουν να αποφύγουν τις πολύπλοκες καλωδιώσεις μεταξύ των χρηστών της, οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας που προσφέρουν υπηρεσίες e-mail και web-browsing μέσω κινητών τηλεφώνων, καθώς και τράπεζες που χρησιμοποιούν ασύρματο δίκτυο (gprs) για απομονωμένα αυτόματα μηχανήματα ανάληψης (atm cashiers).

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα πως υπάρχει εμπορικό ενδιαφέρον για ασύρματα συστήματα δικτύωσης υπολογιστών μεταξύ τους και με πρόσβαση στο Internet. Ο κόσμος θέλει να δουλεύει με το laptop του όπου και αν βρίσκεται, σπίτι του ή στη δουλειά, με την ίδια πρόσβαση στο Internet αλλά και στα αρχεία της εταιρείας, με τις ίδιες εφαρμογές και ευκολίες που θα είχε με τον desktop υπολογιστή του στο γραφείο. Για να αναλογιστούμε την επίπτωση αυτών στην

καθημερινότητα του χρήστη αρκεί να σκεφτούμε τη ευκολία και ελευθερία που προσέφεραν τα κινητά τηλέφωνα στους χρήστες τους.

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα θα πρέπει να υποστηρίζουν μία ευρεία ποικιλία από χρήστες, εφαρμογές, και ανάγκες συνδέσεων. Ενώ οι ταχύτητες των συνδέσεων που απαιτούνται για παραδοσιακές υπηρεσίες όπως η κινητή τηλεφωνία είναι κατανοητές, και απαιτούν μικρό εύρος ζώνης, οι συρμοί πληροφοριών μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικές ανάγκες που ξεκινούν από ένα απλό e-mail σε real-time video conference. Τέτοιες υψηλές ταχύτητες συνδέσεων μπορούν να επιτευχθούν με την χρησιμοποίηση ολοένα και μικρότερων κυψελών ώστε να αποδίδεται μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε κάθε κανάλι επικοινωνίας. Αυτό βέβαια θα έχει ως αποτέλεσμα οι περιοχές που καλύπτονται από το δίκτυο να έχουν εγκατεστημένο μεγάλο αριθμό σταθμών κεραιών (Base Stations – BS).

Η πραγματική πρόκληση για τα ασύρματα δίκτυα είναι κατά πόσο μπορούν να σταθούν απέναντι στην σύγκριση με τα ενσύρματα δίκτυα. Οι κινητοί χρήστες θα περιμένουν να έχουν ίδια ποιότητα υπηρεσίας με τους ενσύρματους χρήστες, τουλάχιστον στο γραφείο τους, αν δεχθούμε ότι προτίθενται να δεχθούν μερικούς συμβιβασμούς για έξω από αυτό. Οπότε, θα απαιτούν ταχύτατες συνδέσεις με καμία παραχώρηση κατά την έξοδο τους από μία κυψέλη και την είσοδο τους σε κάποια άλλη. Το δίκτυο θα πρέπει να υποστηρίζει αυτή την διαπομπή κλήσης (handoff) με ελάχιστη αν όχι μηδαμινή απώλεια πακέτων.

Κοινό σημείο στα σημερινά ποικιλόμορφα ενσύρματα δίκτυα είναι η χρησιμοποίηση του Internet Protocol (IP) για το στρώμα δικτύου. Επίσης, ο μεγαλύτερος αριθμός εφαρμογών το χρησιμοποιεί. Έτσι, δεν θα μπορούσε παρά η προσπάθεια για κινητικότητα (mobility) των χρηστών να βασιστεί πάνω στο Internet Protocol.

1.1 Ασύρματη κινητικότητα

Οι δύο βασικές διαφορές ενός σταθερού χρήστη από έναν κινητό χρήστη (mobile host – MH) είναι οι εξής:

- Ο σταθερός χρήστης έχει ένα σταθερό σημείο διασύνδεσης, πράγμα που σημαίνει ότι η διεύθυνση IP του δηλώνει την ακριβή θέση του στο δίκτυο. Αυτό δεν συμβαίνει και με τον κινητό χρήστη καθώς αυτός μετακινείται συνεχώς οπότε και δεν μπορεί να του αποδοθεί μία διεύθυνση IP με την κλασσική έννοια.
- Ο σταθερός χρήστης επικοινωνεί μέσω καλωδίου ενώ ο κινητός χρησιμοποιεί τον αέρα με την χρήση κεραιών.

Έτσι, ανακύπτουν κάποια καίρια προβλήματα που ζητούν λύση. Αυτά είναι:

- **Location Management** (Διαχείριση Θέσης). Περιλαμβάνει δύο εργασίες: location registration (καταγραφή θέσης) και call delivery (αποστολή κλήσης).
- **Handoff** ή **Handover** (Διαπομπή Κλήσης). Το δίκτυο πρέπει να ανταποκρίνεται στην απαίτηση να μην κόβεται η επικοινωνία όταν ο MH μετακινείται από cell σε cell, π.χ. στην διάρκεια μιας συνομιλίας.
- **Security** (Θέματα Ασφαλείας). Αφορούν την εξακριβωμένη θέση του MH καθώς και τα αυξανόμενα προβλήματα ασφαλείας λόγω του ότι οποιοσδήποτε με μια κεραία μπορεί να ακούει τις συνομιλίες του MH.

Στην εργασία αυτή, θα επικεντρωθούμε στην ανάλυση της διαδικασίας εγγραφής θέσης και της διαπομπής που μαζί αποτελούν τη διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη. Η χρησιμοποίηση αποδοτικών τρόπων διαχείρισης, συμβάλλουν στην ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών.

1.2 Βασικές Αρχές Πρωτοκόλλων

Υπάρχουν κάποιες βασικές αρχές που πρέπει να τηρούνται από οποιοδήποτε πρωτόκολλο προτείνεται ως λύση. Αυτές είναι:

- **Compatibility** (Συμβατότητα): Το νέο πρωτόκολλο δεν μπορεί να απαιτεί αλλαγές σε εφαρμογές ή σε πρωτόκολλα δικτύου που ήδη χρησιμοποιούνται.
- **Transparency** (Διαφάνεια): Η κινητικότητα πρέπει να παραμείνει αόρατη για τις εφαρμογές και τα πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων.
- **Scalability** και **efficiency** (Κλιμάκωση και Αποδοτικότητα): Η εισαγωγή ενός μηχανισμού στο Internet δεν πρέπει να μειώνει την αποδοτικότητα του δικτύου. Το πρωτόκολλο πρέπει να παρουσιάζει κλιμακώσεις ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει την αύξηση των κινητών χρηστών.
- **Security** (Ασφάλεια): Όλα τα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφορίας όσον αφορά την θέση ενός ΜΗ πρέπει να γνησιοποιούνται (authentication).

1.3 Κατηγορίες Πρωτοκόλλων

Δύο βασικές κατηγορίες πρωτοκόλλων υπάρχουν για την διαχείριση της θέσης του κινητού χρήστη:

- **Ιεραρχική στρατηγική (auxiliary strategy)**: Βασίζεται στην δι-επίπεδη βάση δεδομένων (2-level database) των οντοτήτων HLR (Home Location Register) και VLR (Visitor Location Register) που συναντούμε στα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας GSM και IS-41 και που θα αναλύσουμε παρακάτω. Έτσι, η στρατηγική αυτή απαιτεί μικρές αλλαγές στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα.

- **Κατανεμημένη στρατηγική (distributed strategy):** Χρησιμοποιεί την ιεραρχική αρχιτεκτονική βάσεων δεδομένων, όπου η πιο διαδεδομένη είναι η τοπολογία δέντρου. Αυτή η στρατηγική μειώνει το φορτίο στην κεντρική βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας περισσότερες βάσεις δεδομένων και γραμμών, γι'αυτό και απαιτεί υψηλό κόστος εγκατάστασης. Επιπλέον, απαιτεί σημαντικές αλλαγές στο ήδη εγκατεστημένο δίκτυο.

Η ήδη υπάρχουσα σημερινή υποδομή δεν μπορεί να αγνοηθεί, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι έχουν ξοδευτεί πολλά χρήματα για να εγκατασταθεί. Στα συστήματα αυτά λογικό είναι να υπάρχει μία συνέχεια. Ακόμα και στην περίπτωση που τα πρωτόκολλα κατανεμημένης στρατηγικής έχουν καλύτερη απόδοση από τα ιεραρχικά, οι εταιρείες θα αρνιόντουσαν να απαρνηθούν το ήδη εγκατεστημένο δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας τους. Γι'αυτόν τον λόγο υπάρχει η πεποίθηση ότι η ιεραρχική αρχιτεκτονική θα γίνει πιο αποδεκτή και τελικά συγκεντρώνει τις μεγαλύτερες πιθανότητες να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον. Ωστόσο, σε αυτή την εργασία θα αναφερθούμε και στις δύο στρατηγικές.

Αυτό που φαντάζει λοιπόν, πιο πιθανό να συμβεί, είναι να χρησιμοποιηθούν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και για μεταφορά αρχείων πάνω από το πρωτόκολλο IP. Τα πρωτόκολλα που ανήκουν στην κατηγορία των ιεραρχικών αφορούν είτε χρήστες κινητής τηλεφωνίας είτε κινητούς χρήστες laptop που χρησιμοποιούν το δίκτυο για σύνδεση με το διαδίκτυο. Το κοινό σημείο αυτών των πρωτοκόλλων, και αυτό που εμείς θα εξετάσουμε είναι η διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη που διέπεται από τις ίδιες αρχές και για τις δύο περιπτώσεις. Διαφορές σίγουρα υπάρχουν.

2. Ορολογία

Στο σημείο αυτό κρίνουμε απαραίτητο να αναφερθούμε σε κάποιες έννοιες που θα συναντούμε αρκετά συχνά στη συνέχεια της εργασίας αυτής.

2.1 Αναζήτηση (paging)

Είναι μία τακτική που χρησιμοποιείτε για την μείωση των μηνυμάτων ανανέωσης θέσης. Όταν το σημείο διασύνδεσης στο δίκτυο δεν γνωρίζει ακριβώς που βρίσκεται ο κινητός χρήστης τότε ανακοινώνει σε μία περιοχή ότι τον ψάχνει (με κάποιο χαρακτηριστικό του στοιχείο). Το μήνυμα το λαμβάνει ο κινητός χρήστης και ανανεώνει την θέση του στο σημείο διασύνδεσης. Θα αναλύσουμε πιο διεξοδικά τη μέθοδο αυτή κατά την ανάλυση των πρωτοκόλλων.

2.2 Διαπομπή (handoff)

Η διαπομπή (handover ή handoff) είναι η διαδικασία που ακολουθείται όταν ο κινητός χρήστης μετακινηθεί από μία κυψέλη σε μία άλλη. Το επιθυμητό θα ήταν ο χρήστης να μην αντιλαμβάνεται επ' ουδενί τρόπο υποβάθμιση της υπηρεσίας του. Αυτό όμως παρουσιάζει πολλές δυσκολίες γι' αυτό και κάποια πρωτόκολλα δεν αντιμετωπίζουν επαρκώς το πρόβλημα. Έτσι, υπάρχουν γενικά 3 κατηγορίες διαπομπών:

2.2.1 Σκληρή διαπομπή (hard handoff)

Ο τρόπος αυτός εξασφαλίζει μία σειρά από διαδικασίες ώστε ο χρήστης να αλλάξει επιτυχώς δίκτυο και να συνεχίζει να λαμβάνει πακέτα. Ωστόσο, τα πακέτα που του στέλνονται το χρονικό διάστημα από την διαγραφή του στο παλιό δίκτυο μέχρι την εγγραφή του στο νέο, χάνονται. Το χρονικό διάστημα αυτό είναι γνωστό ως καθυστέρηση διαπομπής (handoff latency).

2.2.2 Ημι-ήπια διαπομπή (semi-soft handoff)

Στην ημι-απαλή διαπομπή λαμβάνονται κάποια μέτρα για τον περιορισμό του αριθμού των χαμένων πακέτων. Κυρίως περιλαμβάνει την δυνατότητα προώθησης πακέτων από το παλιό δίκτυο στο νέο. Έτσι, τα πακέτα που κατά την διάρκεια της καθυστέρησης διαπομπής θα χανόντουσαν, τώρα αποθηκεύονται στο σημείο διασύνδεσης του παλαιού δικτύου και προωθούνται στο νέο μόλις ολοκληρωθεί η εγγραφή του MN. Ωστόσο, τα πακέτα αυτά φτάνουν συνήθως με λανθασμένη χρονολογική σειρά, γεγονός το οποίο τα καθιστά άχρηστα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time). Ένας άλλος τρόπος βασίζεται στη δυνατότητα κάποιων πρωτοκόλλων να επιτρέπουν στο MN ταυτόχρονη ακρόαση και των δύο δικτύων.

2.2.3 Ήπια διαπομπή (soft handoff)

Υπάρχουν αρκετές προτάσεις για απαλή διαπομπή. Οι περισσότερες χρησιμοποιούν μηχανισμούς προειδοποίησης στο 2^ο στρώμα δηλ. το στρώμα ζεύξης δεδομένων (L2 trigger). Μία τέτοια τακτική βασίζεται στο ότι η MAC διεύθυνση δύο σταθμών είναι προφανώς διαφορετική. Έτσι, καθώς το MN λαμβάνει διαφημίσεις από κάποιο δίκτυο μπορεί να γνωρίζει ότι επίκειται διαπομπή αν η MAC διεύθυνση του αποστολέα είναι διαφορετική. Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία περιλαμβάνει τα πακέτα να μην στέλνονται μόνο στο παλιό δίκτυο αλλά και στο νέο (multicast) ώστε να παραληφθούν από το MN μόλις αυτό ολοκληρώσει την εγγραφή του. Άλλες προτάσεις εξετάζουν το ενδεχόμενο να προβλέψουμε μία διαπομπή με βάση την κίνηση του MN αλλά και με βάση το ιστορικό των μετακινήσεων του. Αν γνωρίζουμε την πιθανότητα το MN να επισκεφθεί ένα συγκεκριμένο δίκτυο τότε θα ήταν καλή ιδέα να στέλνονται διπλότυπα πακέτα στο πιθανό νέο δίκτυο.

3. Ιεραρχική Στρατηγική

Επειδή τα πρωτόκολλα αυτά βασίζονται στα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα GSM και IS-41, θα εξετάσουμε πρώτα την βασική αρχιτεκτονική και λειτουργία αυτών των δικτύων για να δούμε στην συνέχεια τι αλλαγές και προσθήκες προτείνονται.

3.1 GSM, IS-41

Όπως ήδη αναφέραμε, τα συστήματα αυτά βασίζονται σε μία διεπίπεδη ιεραρχία βάσεων δεδομένων, που αποτελείται από τον HLR και τον VLR. Ο HLR έχει μόνιμα καταγεγραμμένους τους χρήστες που είναι συνδρομητές στο συγκεκριμένο δίκτυο, ενώ ο VLR καταγράφει οποιονδήποτε χρήστη έχει μετακινηθεί προσωρινά στο δίκτυο του.

Η διαδικασία της καταγραφής θέσης (location registration) έχει ως εξής:

- Το MT (Mobile Terminal – Κινητό Τερματικό) μπαίνει σε ένα καινούριο LA (Location Area) και εκπέμπει ένα location update message (μήνυμα ανανέωσης θέσης) στο καινούριο BS.
- Το BS προωθεί το location update message στο MSC (Message Switching Center) το οποίο στέλνει ένα registration query (αίτηση εγγραφής) στο VLR.
- Το VLR ανανεώνει το αρχείο του για την θέση του MT. Αν το ίδιο VLR εξυπηρετούσε και την προηγούμενη και την καινούρια LA περιοχή τότε η διαδικασία τερματίζεται. Αν όχι, τότε η διεύθυνση του HLR του MT πρέπει να καθοριστεί από το MIN (Mobile Identification Number) του MT και εν συνεχεία το καινούριο VLR να στείλει ένα location registration message στο HLR.

- Το HLR κάνει τις απαραίτητες διαδικασίες για να βεβαιώσει την γνησιότητα του MT (authentication) και καταγράφει την ταυτότητα του καινούριου VLR που εξυπηρετεί το MT. Στην συνέχεια ο HLR στέλνει registration acknowledgement message στο καινούριο VLR και registration cancellation message στο παλιό VLR ώστε το τελευταίο να διαγράψει το αρχείο του MT.

Τώρα πια που έχει καταγραφεί η θέση του MT και το VLR που το εξυπηρετεί, το MT μπορεί να δεχθεί κλήσεις. Έτσι, η διαδικασία για call delivery έχει ως εξής:

- Το MT που καλεί (αποστολέας) στέλνει ένα call initiation signal στο δικό του MSC μέσω του BS που το εξυπηρετεί.
- Το MSC προσδιορίζει την θέση του HLR του παραλήπτη MT μέσω μιας βάσης δεδομένων που ονομάζεται Global Title Translation (GTT) και στέλνει ένα location request message στο HLR αυτό.
- Το HLR βρίσκει ποιο VLR εξυπηρετεί το καλλούμενο MT και στέλνει ένα route request message στο VLR το οποίο στην συνέχεια προωθεί αυτό το μήνυμα στο MSC που εξυπηρετεί το MT.
- Το MSC αναθέτει ένα Temporary Local Directory Number (TLDN) στο MT και στέλνει μία απάντηση στο HLR που περιέχει το TLDN.
- Το HLR προωθεί την πληροφορία αυτή στο MSC του αποστολέα MT.
- Το MSC του αποστολέα στέλνει ένα call setup request στο MSC του παραλήπτη μέσω του δικτύου SS7 (Signal System No.7) που είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για ανταλλαγές σημάτων.
- Το καλλούμενο MSC ξεκινά την διαδικασία paging στο συγκεκριμένο LA του MT, και στην συνέχεια το MT απαντά ώστε να λάβει την κλήση.

Η σηματοδοσία που απαιτείται για τα registration, update, terminal paging αυξάνουν τον φόρτο σηματοδοσίας στο δίκτυο μέσω των επαναλαμβανόμενων αιτήσεων στα VLR, στα HLR όπου και χρειάζεται να διανυθούν μεγάλες αποστάσεις, και των πολλών σημάτων paging στα LAs.

Γι' αυτό και πολλές έρευνες εστιάζουν στο πως θα μειωθεί αυτός ο φόρτος σηματοδοσίας στο δίκτυο και εξετάζουν τις αρχιτεκτονικές δομές των βάσεων δεδομένων, τις συνθήκες για location update, και τις περιοχές όπου πραγματοποιείται paging.

3.1.1 Αναζήτηση

Το BS δεν ξέρει που ακριβώς βρίσκεται το MT. Η διαδικασία της αναζήτησης έχει ως εξής: Το BS διεγείρει όλα τα MT στην περιοχή του με κάποιο σήμα που περιέχει κάποια μοναδικά στοιχεία του καλλούμενου MT (και τα οποία τα έχει λάβει από το HLR) με αποτέλεσμα μόνο το καλλούμενο MT να αντιδράσει στέλνοντας ένα σήμα πίσω στο BS. Με αυτό τον τρόπο πια εντοπίζεται με ποια κεραία του BS 'μιλά' το MT. Η αποτροπή υποκλοπών από άσχετα MT που βρίσκονται στην ίδια κεραία αποτελεί ένα θέμα security με το οποίο δεν θα ασχοληθούμε σε αυτή την εργασία.

3.2 Ιεραρχική στρατηγική στα επίγεια δίκτυα κινητών επικοινωνιών

3.2.1 Στρατηγική προσωρινής αποθήκευσης (Caching Strategy):

Η θέση του χρήστη κατά την προηγούμενη κλήση του αποθηκεύεται και ξαναχρησιμοποιείται για τις επόμενες κλήσεις.

3.2.2 Στρατηγική επανάληψης προφίλ (Replication Strategy):

Το μητρώο του MT αντιγράφεται σε διάφορες βάσεις θέσεων-δεδομένων (location databases). Όταν κάποια κλήση για αυτό το MT ξεκινά από μία περιοχή που εξυπηρετείται από αυτές τις βάσεις δεδομένων τότε η αίτηση για σύνδεση μπορεί να σταλεί κατευθείαν στο MSC του MT χωρίς αίτηση στον HLR.

Οι στρατηγικές CS και RS μπορούν να μειώσουν το ρυθμό πρόσβασης στον HLR και τον φόρτο σηματοδοσίας όταν ο ρυθμός αφίξεως κλήσεων είναι μεγάλος σε σύγκριση με τον ρυθμό κινητικότητας του MT.

3.2.3 Στρατηγική προώθησης (Forwarding Strategy):

Ένας forwarding pointer (δείκτης που προωθεί) στήνεται στον παλιό VLR που να δείχνει στον καινούριο VLR ώστε να αποφεύγεται η location registration στον HLR καθώς το MT αλλάζει RA (Region Area). Η στρατηγική αυτή μπορεί να συνδυαστεί με μερικούς κατανεμημένους HLR ώστε να μειώσει το registration cost. Παρόλα αυτά, το μήκος της αλυσίδας των σε σειρά forwarding pointers πρέπει να περιορίζεται ώστε να επιτυγχάνεται κέρδος κόστους.

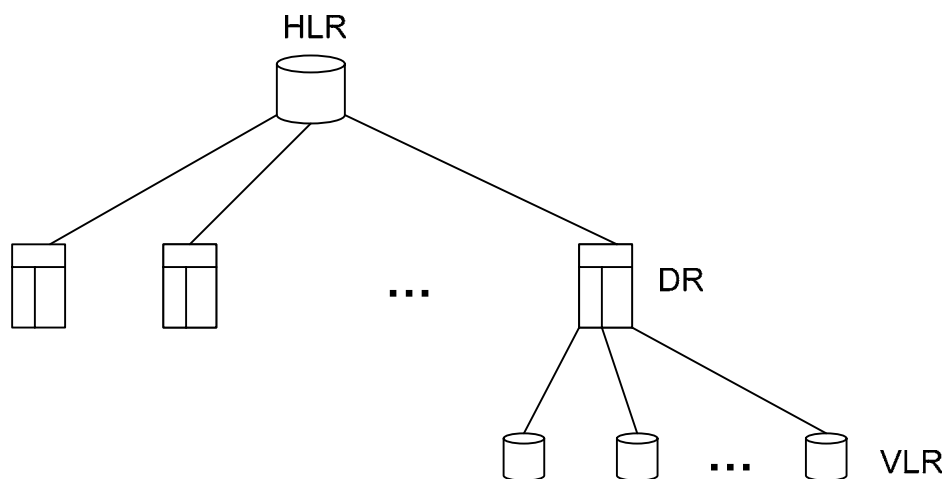
3.2.4 Στρατηγική τοπικής πρόσδεσης (local Anchoring Strategy):

Το MT αναφέρει την αλλαγή της θέσης του σε ένα κοντινό VLR που ονομάζεται Local Anchor ώστε να μειωθεί ο αριθμός των location registration messages μεταξύ του HLR και του VLR.

Οι στρατηγικές FS και AS μπορούν να μειώσουν το ρυθμό πρόσβασης στον HLR και τον φόρτο σηματοδοσίας όταν ο ρυθμός αφίξεως κλήσεων (call arrival rate) είναι μικρός σε σύγκριση με τον ρυθμό κινητικότητας (mobility rate) του MT.

3.2.5 Dynamic Hierarchical Database Architecture

Αυτή η στρατηγική [3] βασίζεται στο IS-41 standard με την προσθήκη ενός νέου επιπέδου βάσεων δεδομένων που ονομάζεται Directory Registers (DR's). Τα σημεία στα οποία βρίσκονται τα HLRs, VLRs και MSCs καθώς και οι λειτουργίες τους, παραμένουν σχεδόν αναλλοίωτες, ενώ κάποια επιπλέον επεξεργασία χειρίζεται από τα DRs. Κάθε DR εξυπηρετεί έναν αριθμό από MSC. Η περιοχή που καλύπτει το DR ονομάζεται Directory Area (DA).



Σχήμα 3.2.5.1: Ιεραρχική Αρχιτεκτονική Βάσεων Δεδομένων

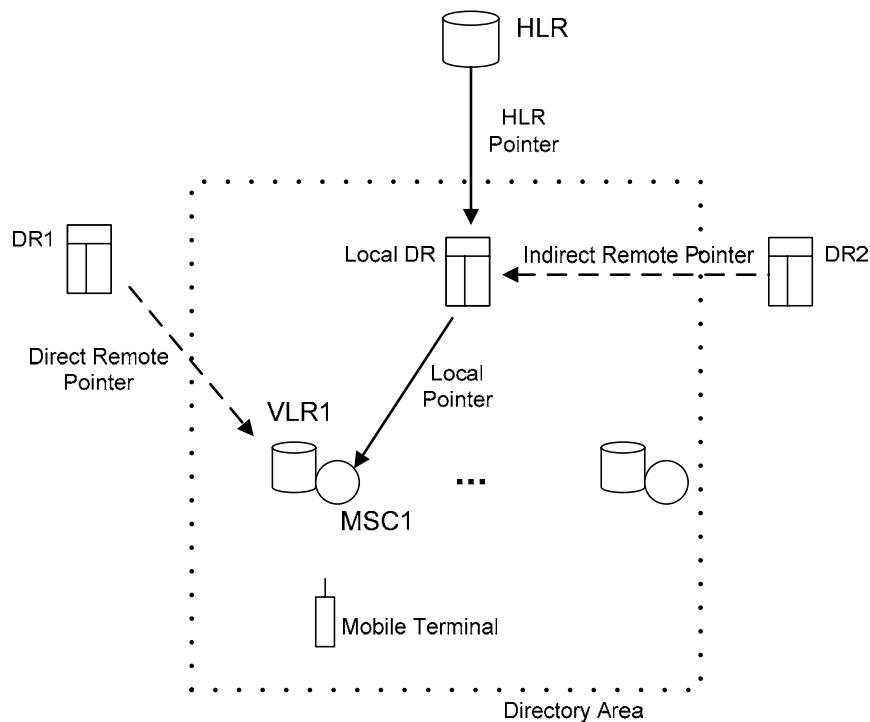
Το DR αποτελείται από μία βάση δεδομένων και έναν επεξεργαστή για να παρέχει τις κατάλληλες λειτουργίες. Οι ευθύνες των DR είναι:

1. να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει περιοδικά πληροφορίες για τη θέση των αντίστοιχων MT.

2. να αποθηκεύουν location pointers που δείχνουν την τωρινή θέση διαφόρων MT.
3. να προωθούν requests για location registration και call initiations από τα αντίστοιχα MTs προς τις οντότητες του δικτύου όπως φανερώνονται από τους location pointers.

Τρεις τύποι location pointers καθορίζονται για κάθε MT:

- Local Pointer: ένας local pointer για το MT αποθηκεύεται στο DR που τον εξυπηρετεί και ο οποίος δείχνει το τωρινό MSC που εξυπηρετεί το MT.
- Direct Remote Pointer: ένας direct remote pointer για ένα MT αποθηκεύεται σε ένα remote DR και δείχνει το τωρινό VLR που εξυπηρετεί το MT. Αυτοί οι pointers βελτιώνουν την επίδοση της προώθησης κλήσης (call delivery performance).
- Indirect Remote Pointer: ένας indirect remote pointer για ένα MT αποθηκεύεται σε ένα remote DR και δείχνει το τωρινό DR που εξυπηρετεί το MT. Αυτοί οι pointers βελτιώνουν και την επίδοση της εγγραφής θέσης (location registration) και την επίδοση προώθησης κλήσης (call delivery).



Σχήμα 3.2.5.2: Παράδειγμα διαχείρισης της πληροφορίας θέσης μιας κατακευμαμένης στρατηγικής

Αυτοί οι pointers χρησιμοποιούνται για να καταλείμεται η πληροφορία θέσης για τα MT. Για παράδειγμα, υποθέστε ότι το HLR του MT βρίσκεται στην Πάτρα, αλλά το MT περιηγείται (roaming) στην Θεσσαλονίκη. Αν ένας σημαντικός αριθμός κλήσεων για το MT ξεκινούν από την Αθήνα, ένας remote pointer για το MT μπορεί να τεθεί στο DR της Αθήνας. Έτσι, όταν μια νέα κλήση ξεκινήσει από την Αθήνα, η έρευνα της θέσης του MT θα προωθηθεί κατευθείαν στην Θεσσαλονίκη χωρίς να ερωτηθεί πρότινος το HLR που βρίσκεται στην Πάτρα. Αυτό, μειώνει την κίνηση σηματοδοσίας για call delivery.

Επίσης, ο HLR μπορεί να τεθεί να αποθηκεύει την ταυτότητα (ID) του DR που εξυπηρετεί το MT αντί του MSC. Έτσι, όταν το MT κινηθεί σε άλλο LA μέσα στο ίδιο DA της Θεσσαλονίκης, μόνο ο local pointer στο DR πρέπει να ανανεωθεί. Ξανά, δεν είναι υποχρεωτικό να υπάρχει πρόσβαση στον HR της Πάτρας. Αυτό, μειώνει την κίνηση σηματοδοσίας για το location registration.

Η στρατηγική αυτή έχει λοιπόν το πλεονέκτημα να βελτιώνει την κίνηση σηματοδοσίας και για location registration (αφού δεν χρειάζεται να ενημερώνεται κάθε φορά ο HLR) αλλά και για call delivery σε αντίθεση με προηγούμενες στρατηγικές που βελτιώνουν μονάχα ένα από τα δύο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σε αυτή την στρατηγική πρέπει να καθορίζονται:

1. το σύνολο των DR στα οποία πρέπει να τοποθετηθούν direct remote pointers για το MT.
2. το σύνολο των DR στα οποία πρέπει να τοποθετηθούν indirect remote pointers για το MT.
3. το αν το HLR θα πρέπει να αποθηκεύει την ID του MSC ή του DR που εξυπηρετούν το MT.

3.3 Ιεραρχική στρατηγική σε Wireless IP

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το πιο πιθανό σενάριο είναι το wireless IP να προσφερθεί στο μέλλον εμπορικά από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας. Έτσι, το σύστημα θα στηθεί πάνω στην ήδη υπάρχουσα διεπίπεδη βάση δεδομένων (εννοώντας τα HLR και VLR). Πρώτο πρωτόκολλο παραθέτουμε το πρωτόκολλο Mobile IP που εκπονήθηκε από μια ομάδα της IETF και το οποίο είναι κατάλληλο για να κάνουμε τις απαραίτητες αντιστοιχίες με τα PCS δίκτυα.

Ακολουθεί μία ευρύτερη ανάλυση του πρωτοκόλλου ώστε οι διάφορες βελτιώσεις, επεκτάσεις αλλά και διαφορετικές προτάσεις να μπορούν να γίνουν κατανοητές.

3.3.1 Mobile IPv4

Βασική ιδέα του πρωτοκόλλου είναι η ύπαρξη δύο διευθύνσεων IP για το Mobile Node (MN) π.χ. το laptop. Η μία ονομάζεται fixed home address και η άλλη care-of address. Αυτή η λύση προϋποθέτει την ύπαρξη ενός Home Agent (HA) και ενός Foreign Agent (FA). Έτσι, ο χρήστης MH (Mobile Host) μπορεί να κινείται από δίκτυο σε δίκτυο, διατηρώντας την home address του σταθερή. Ο HA είναι τοποθετημένος στο οικείο, τοπικό δίκτυο του χρήστη, ενώ παράλληλα ο FA είναι τοποθετημένος στο δίκτυο, το οποίο ο χρήστης επισκέπτεται.

Αν θεωρήσουμε ότι Mobile Agents (MA) χαρακτηρίζονται ο HA και ο FA, τότε η λειτουργία του Mobile IPv4 έχει ως εξής ^[2]:

- Οι MA διαφημίζουν την παρουσία τους στέλνοντας agent advertisement messages.
- Ένας MH μπορεί να αναζητήσει MA στέλνοντας agent solicitation messages.
- Ένας MH χρησιμοποιεί τις διαφημίσεις των MA για να προσδιορίσει αν βρίσκεται στο οικείο (home) ή σε ξένο (foreign) δίκτυο.
- Όταν ένας MH γυρνάει από ένα ξένο δίκτυο στο οικείο θα πρέπει να ξανα-εγγραφεί στον HA μέσω των Registration Request και Registration Reply messages.
- Όταν ένας MH ανακαλύψει πως βρίσκεται σε ένα καινούριο ξένο δίκτυο, αποκτά μία Care-Of Address (COA) είτε από τον FA είτε με άλλους τρόπους όπως π.χ. μέσω ενός DHCP server.
- Μόλις ο MH στο ξένο δίκτυο αποκτήσει την COA θα πρέπει να εγγράψει αυτήν την καινούρια COA διεύθυνση του στον HA του μέσω Registration Request και Registration Reply messages.

- Δεδομενογραφήματα (datagraphs) που στέλνονται στο οικείο δίκτυο παραλαμβάνονται από τον HA. Στην συνέχεια ενθυλακώνονται σε ένα καινούριο δεδομενογράφημα που περιέχει την Care-Of Address το οποίο στέλνεται στον FA είτε στον MH απευθείας αν ο MH ενεργεί και χωρίς την βοήθεια του FA.
- Δεδομενογραφήματα που στέλνονται από τον MH που βρίσκεται σε ξένο δίκτυο, δεν χρειάζεται να επιστραφούν στον HA, αλλά μπορούν να σταλούν απευθείας στον προορισμό τους.

Εδώ κρίνουμε σκόπιμο να κάνουμε ένα πρώτο σχόλιο για τις ομοιότητες αυτού του πρωτοκόλλου wireless IP με τα δίκτυα PCS. Παρατηρούμε με μια πρώτη ματιά την ομοιότητα της οντότητας HA με την HLR και του FA με την οντότητα VLR. Οι δύο πρώτες οντότητες φαίνεται ότι έχουν σκοπό να εξυπηρετούν τον χρήστη όταν αυτός βρίσκεται στο οικείο δίκτυο, ενώ οι δύο τελευταίες όταν αυτός φιλοξενείται σε ένα ξένο δίκτυο.

Επίσης, βλέπουμε ότι ο HA εμπλέκεται στην διαδικασία ακόμα και όταν ο παραλήπτης χρήστης βρίσκεται σε ξένο δίκτυο όπως και ο HLR τις περισσότερες φορές εμπλέκεται όταν ο χρήστης εξυπηρετείται από τον VLR. Στις ομοιότητες και διαφορές θα επανέλθουμε στην συνέχεια.

Σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω μπορούμε να ξεχωρίσουμε τρία κύρια μέρη στο πρωτόκολλο Mobile IP:

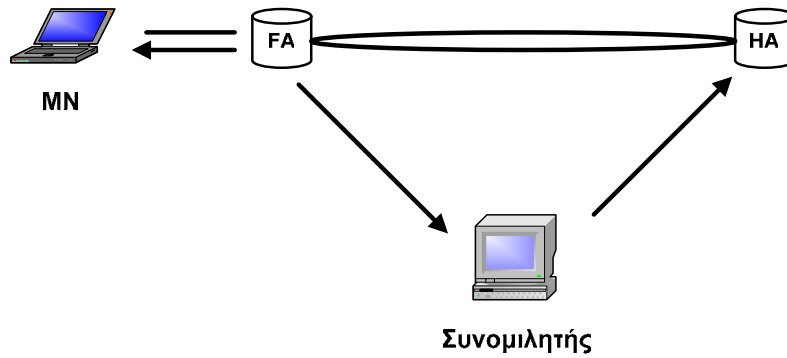
- 1) Agent discovery (Ανακάλυψη ατζέντη)
- 2) Registration (Εγγραφή)
- 3) Tunneling

Στην συνέχεια θα σημειώσουμε στις αδυναμίες του Mobile IPv4 όσον αφορά το location management. Έτσι, όσον αφορά:

- Inter-MSc κινητικότητα, που αναφέρεται στην κίνηση του χρήστη από ένα υποδίκτυο (subnetwork) σε ένα άλλο, το πρωτόκολλο παρουσιάζει ανεπαρκή διαδικασία ενημέρωσης του HA (inefficient HA notification). Ο χρήστης κάθε φορά που πραγματοποιεί μία interdomain μετακίνηση πρέπει να ειδοποιεί κάθε φορά τον HA. Στην περίπτωση που ο χρήστης κάνει roaming πολύ μακριά από τον HA, δημιουργεί μεγάλη κίνηση σηματοδοσίας αλλά και καθυστέρηση ενημέρωσης των ενδιαφερομένων που θέλουν να επικοινωνήσουν με αυτόν.
- Intra-MSc κινητικότητα, που αναφέρεται στην κίνηση του χρήστη μέσα στο υποδίκτυο, το πρωτόκολλο δεν διαχειρίζεται αποδοτικά την κίνηση διότι η κίνηση του χρήστη που γίνεται με σχετικά μεγάλη συχνότητα μέσα στο υποδίκτυο δεν διαχειρίζεται τοπικά. Ομοίως με πριν, ο HA πρέπει να ενημερώνεται σε κάθε περίπτωση. Επίσης, δεν αναλαμβάνεται μέριμνα για να σταλούν τα πακέτα από το παλιό BS στο καινούριο μετά από μία διαπομπή.

3.3.1.1 Τριγωνική Δρομολόγηση (triangle routing)

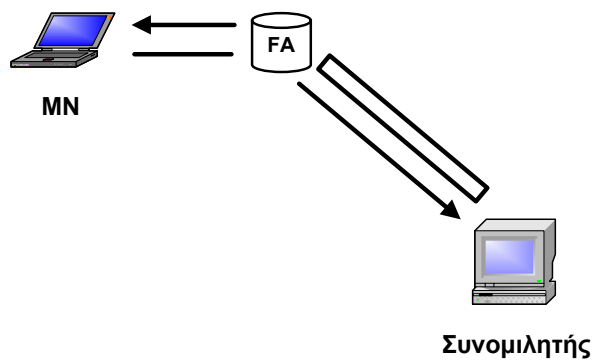
Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ενώ όταν το CN (correspondent node) θέλει να στείλει πακέτα στο ΜΗ τα πακέτα αυτά πάνε πρώτα στον HA για να προωθηθούν στο τελικό ΜΗ, στην αντίστροφη διαδρομή τα πακέτα πηγαίνουν κατευθείαν στο CN χωρίς την παρεμβολή του HA. Το φαινόμενο αυτό έχει το μειονέκτημα όχι μόνο το ότι τα πακέτα κάνουν επιπλέον διαδρομή με αποτέλεσμα να καθυστερούν αλλά και δημιουργούν επιπλέον κίνηση σηματοδοσίας. Τα παραπάνω εντείνονται όταν τα δύο ΜΗ είναι κοντά μεταξύ τους αλλά ο HA είναι μακριά.



Σχήμα 3.3.1.1: Το φαινόμενο τριγωνικής δρομολόγησης (triangle routing)

3.3.2 MIP-RO

Μία επέκταση του MIPv4 είναι το **MIP-RouteOptimization** το οποίο κυρίως αντιμετωπίζει το πρόβλημα της τριγωνικής δρομολόγησης. Επίσης, φροντίζει για την αποδοτικότερη λειτουργία του handoff μειώνοντας την ποσότητα των πακέτων που χάνονται κατά την διάρκεια του, καθώς επιτρέπει στον προηγούμενο FA να προωθήσει τα πακέτα στον καινούριο FA. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποστολή binding μηνύματος από κάθε νέο FA στον προηγούμενο.



Σχήμα 3.3.2.1: Βέλτιστη δρομολόγηση (optimized routing)

3.3.3 Mobile IPv6

Όμοια με την βελτίωση του IPv4 σε IPv6, και το Mobile IPv4 βελτιώνεται στο πρωτόκολλο Mobile IPv6. Στο Mobile IPv6 το πρόβλημα του triangle routing έχει διορθωθεί. Τα διάφορα nodes μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας με το ΜΗ χωρίς την αναγκαστική παρεμβολή του ΗΑ.

Άλλα τρία σημαντικά στοιχεία του v6 που βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά του MIPv4 είναι τα παρακάτω:

Address pool space (διαθέσιμος χώρος διευθύνσεων). Στο IPv4 οι διαθέσιμες διευθύνσεις παγκοσμίως αποτελούνται από 32 bit. Σύντομα, ο αριθμός αυτός κρίθηκε ανεπαρκής για τις ανάγκες του διαδικτύου γι'αυτό και χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικοί τρόποι (τοπικές διευθύνσεις) διευθυοδότησης. Στο IPv6 οι διευθύνσεις αποτελούνται από 128 bit, λύνοντας έτσι μόνιμα το πρόβλημα της έλλειψης διευθύνσεων.

Address autoconfiguration (αυτορύθμιση διεύθυνσης) είναι ένας μηχανισμός με τον οποίο ο ΜΗ μπορεί να αποκτήσει μία διεύθυνση και να ξεκινήσει να επικοινωνεί με το δίκτυο. Παρ'όλ'αυτά, αυτός ο μηχανισμός δεν αναιρεί ούτε την φύση του routing που βασίζεται στο πρόθεμα του δικτύου, ούτε την ανάγκη για διαχείριση της μεταβίβασης κλήσης όταν το ΜΗ μετακινηθεί από δίκτυο σε δίκτυο.

Neighbor discovery (ανακάλυψη γειτονικών στοιχείων) είναι ένα σύνολο μηχανισμών που σχετίζεται με το πως τα διάφορα nodes ανακαλύπτουν και αλληλεπιδρούν με γειτονικά τους nodes στο δίκτυο τους. Τα πακέτα, που φτάνουν στο οικείο δίκτυο, και έχουν παραλήπτη τον ΜΗ που κάνει roaming σε ξένο δίκτυο, λαμβάνονται από τον Home Agent του ΜΗ με neighbor discovery και όχι με ARP όπως στο v4.

3.3.4 Μειονεκτήματα του Mobile IP

Ωστόσο, στο πρωτόκολλο Mobile IP τα mobile node πρέπει να ενημερώνουν τον HA για κάθε τους κίνηση σε ξένο ή στο οικείο δίκτυο. Αυτό προκαλεί μεγάλες ποσότητες κίνησης σηματοδοσίας και μεγάλη καθυστέρηση (latency) στην διάρκεια handoffs. Εξαιτίας αυτών των προβλημάτων, πολλά πρωτόκολλα έχουν προταθεί για να λύσουν αυτό που αποκαλείται micro-mobility πρόβλημα. Σε όλες αυτές τις προτάσεις, το οικείο δίκτυο δεν είναι υποχρεωτικό να γνωρίζει την ακριβή θέση του mobile node (MN). Αντιθέτως, το οικείο δίκτυο πρέπει να ξέρει μόνο σε πιο ξένο δίκτυο βρίσκεται το MN, και η κινητικότητα μέσα σε αυτό το δίκτυο διαχειρίζεται από το επισκεπτόμενο δίκτυο.

Τα πρωτόκολλα αυτά δεν έχουν σκοπό να αντικαταστήσουν το Mobile IP, αλλά έρχονται να το επεκτείνουν και να το βελτιώσουν εκεί που δεν αποδίδει καλά. Έτσι, στο μέλλον το πιο πιθανό σενάριο που μπορεί να προκύψει είναι ένας συνδιασμός Mobile IP για διαχείριση της κινητικότητας σε global scope (global-mobility) σε συνεργασία με διάφορα πρωτόκολλα που μπορεί να διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο, από πόλη σε πόλη, από χώρα σε χώρα και που θα διαχειρίζονται την κινητικότητα σε local scope (micro- mobility).

3.4 Πρωτόκολλα διαχείρισης τοπικής κινητικότητας

3.4.1 Cellular IP [5]

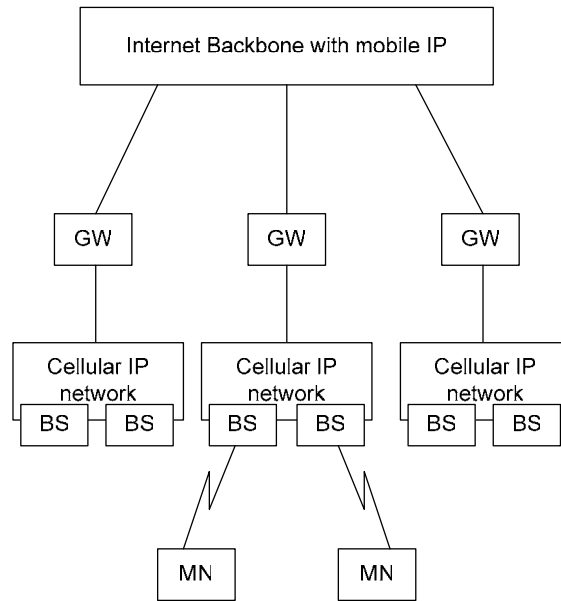
Το Cellular IP προσπαθεί να συνδυάσει τα χαρακτηριστικά των IP δικτύων με την ικανότητα των κινητών δικτύων να παρέχουν αποδοτική διαχείριση θέσης αλλά και ομαλή, γρήγορη διαπομπή. Σε αντίθεση με το Mobile IP που στοχεύει στην ικανοποίηση της κινητικότητας των χρηστών σε παγκόσμιο επίπεδο, το Cellular IP στοχεύει στην αποδοτική διαχείριση κινητικότητας σε γεωγραφικά περιορισμένες

περιοχές. Το πρωτόκολλο που θα συνδυάζεται με το cellular IP για τον έλεγχο σε παγκόσμια κλίμακα (global scope) μπορεί να είναι οποιοδήποτε πρωτόκολλο που θα συνδέει τα επιμέρους cellular IP δίκτυα και που θα προσφέρει μία αποδοτική στρατηγική προώθησης (forwarding).

Ακόμα και σε περιορισμένες γεωγραφικά περιοχές, ο αριθμός των χρηστών μπορεί να αυξηθεί τόσο πολύ που η αναζήτηση των στοιχείων κάθε χρήστη μέσω των βάσεων δεδομένων να καθυστερεί. Επιπρόσθετα, το mobility management απαιτεί γενικά από τους χρήστες να ενημερώνουν για κάθε αλλαγή θέσης τους, γεγονός μη αποδοτικό καθώς ο αριθμός χρηστών θα αυξάνει. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το πρωτόκολλο cellular IP χρησιμοποιεί την τεχνική του **passive connectivity** (παθητική σύνδεση) που χρησιμοποιείται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας: κάθε χρήστης που δεν έχει λάβει κάποια κλήση για κάποιο χρονικό διάστημα, δεν ειδοποιεί το δίκτυο για κάθε αλλαγή θέσεως του αλλά το δίκτυο γνωρίζει στο περίπου που αυτός βρίσκεται. Όταν το δίκτυο θελήσει, τον αναζητεί με την μέθοδο του **paging**. Επίσης, στην διάρκεια αυτού του διαστήματος σβήνονται και τα στοιχεία του χρήστη από τα routing tables για να μειώνεται ο αριθμός των στοιχείων στις βάσεις δεδομένων.

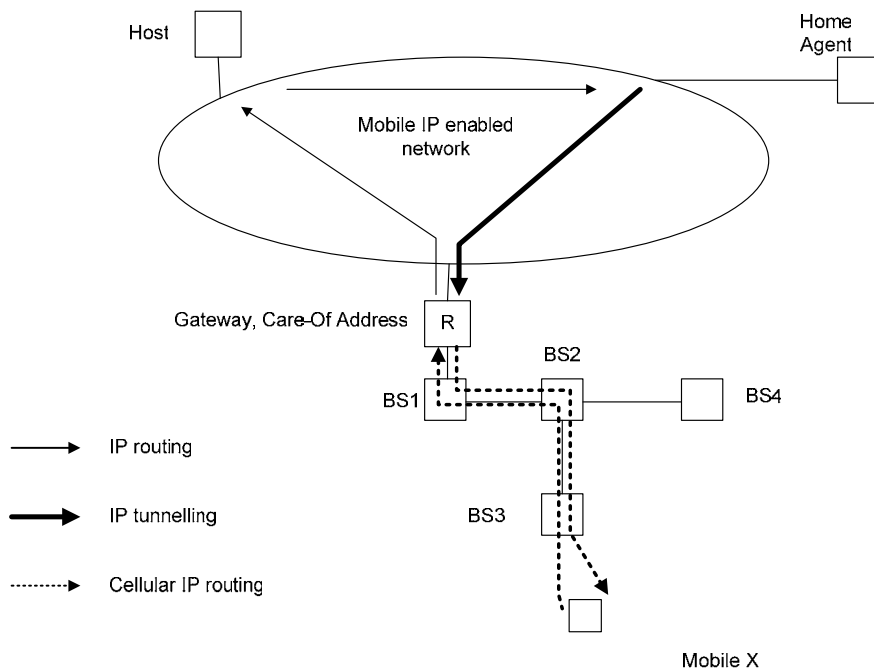
3.4.1.1 Αρχιτεκτονική

Το Cellular IP (CIP) δίκτυο συνδέεται με το Internet μέσω ενός gateway router (πύλη-δρομολογητής). Το mobility management μεταξύ των gateways γίνεται μέσω του Mobile IP (MIP) ενώ μέσα στα δίκτυα πρόσβασης χρηστών από το CIP.



Σχήμα 3.4.1.1: Ένα πολλαπλό Cellular IP δίκτυο

Οι κινητοί χρήστες που συνδέονται στο δίκτυο χρησιμοποιούν την IP διεύθυνση της gateway σαν την MIP διεύθυνση τους. Τα πακέτα που έχουν παραλήπτη τον χρήστη, γίνονται tunneled πρώτα στην gateway όπου γίνονται de-tunneled και στην συνέχεια προωθούνται στον χρήστη με CIP routing.



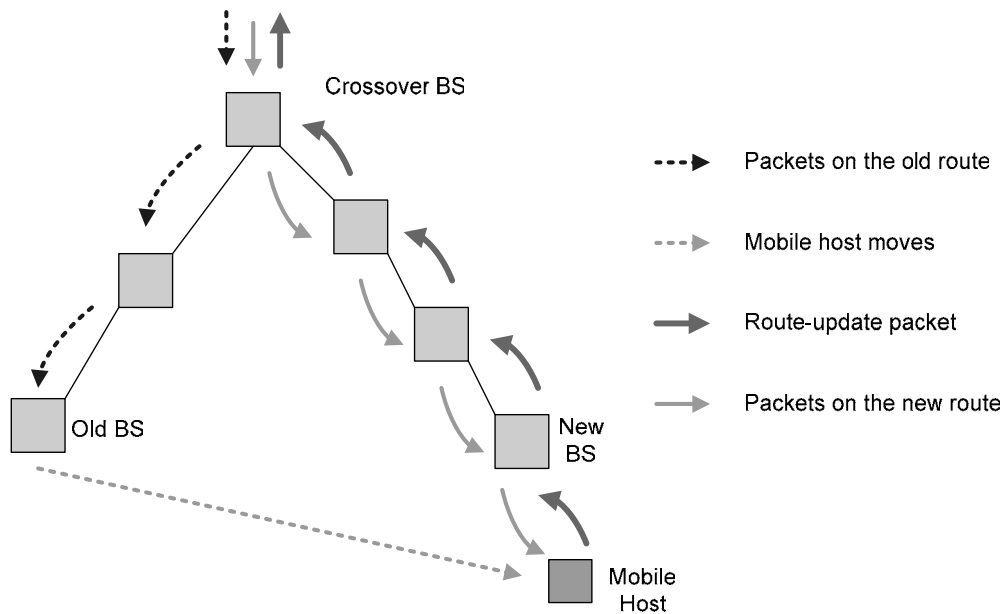
Σχήμα 3.4.1.2: Cellular IP δίκτυο

Στα CIP δίκτυα, το location management και το handoff συνδιάζονται με το routing. Uplink (με φορά από χαμηλότερο επίπεδο σε υψηλότερο) πακέτα που στέλνονται από τον χρήστη προς την gateway σε hop-by-hop βάση, δημιουργούν καταχωρήσεις στα routing tables των BSs έτσι ώστε η αντίστροφη διαδρομή να χρησιμοποιηθεί για την προώθηση πακέτων από την gateway στον χρήστη. Έτσι, η πληροφορία για την θέση ενός MH που αποθηκεύεται στα επιμέρους στοιχεία του δικτύου δεν είναι μία διεύθυνση δικτύου, απλά αναπαριστά το επόμενο hop στην κατεύθυνση με προορισμό το MH. Το CIP υποστηρίζει [6] δύο μεθόδους handoff, την hard και την semisoft.

3.4.1.2 Σκληρή διαπομπή:

Η σκληρή διαπομπή (hard handoff) στηρίζεται σε μια απλοϊκή προσέγγιση που θυσιάζει κάποια πακέτα με σκοπό να μειώσει το μέγεθος της σηματοδοσίας του handoff παρά προσπαθεί να εγγυηθεί μικρή απώλεια πακέτων.

Οι κινητοί χρήστες ακούν τα beacons των Base Stations και ξεκινούν handoff βασιζόμενοι στις μετρήσεις των εντάσεων των σημάτων. Το route update (ανανέωση δρομολόγησης) μήνυμα που εκπέμπει το MH δημιουργεί καταχωρήσεις δρομολόγησης κατά την πορεία του προς την πύλη. Αυτές οι καταχωρήσεις καθορίζουν και την downlink δρομολόγηση. Handoff latency (καθυστερήση διαπομπής) είναι ο χρόνος που ορίζεται από την αρχή της διαδικασίας handoff μέχρι την άφιξη του πρώτου πακέτου στη νέα θέση. Στην περίπτωση του hard handoff είναι ίσος με το round trip (πήγαινε-έλα) χρόνο μεταξύ του MH και του crossover BS. Crossover ονομάζεται το BS που είναι το πρώτο κοινό BS της παλιάς διαδρομής με τη νέα ακολουθώντας uplink μονοπάτι. Στην χειρότερη των περιπτώσεων είναι η gateway.



Σχήμα 3.4.1.3: Σκληρή Διαπομπή (*hard handoff*)

Κατά την διάρκεια του handoff latency μπορεί να χαθούν downlink πακέτα. Αυτό συμβαίνει γιατί ο χάρτης δρομολόγησης προς το παλιό BS δεν σβήνεται κατά την εκκίνηση του handoff αλλά όταν το route update μήνυμα φτάσει στο crossover BS. Ωστόσο, ο χρόνος για να επανακατευθυνθούν τα πακέτα στη νέα θέση είναι μικρότερος από αυτόν του MobileIP καθώς μόνο μία τοπική οντότητα πρέπει να ενημερωθεί σε σύγκριση με έναν απομακρυσμένο Home Agent.

Για να βελτιωθεί η διαδικασία, διάφορες προτάσεις έχουν διατυπωθεί. Η πιο σημαντική από αυτές προτείνει να στέλνει το καινούριο BS ένα ενημερωτικό μήνυμα στο παλιό, έτσι ώστε να υπάρχει προώθηση των πακέτων από το παλιό στο καινούριο BS. Ωστόσο, τα πακέτα που φτάσανε πριν το ενημερωτικό μήνυμα στο παλιό BS θα χαθούν και πάλι. Επίσης, αν ο χρόνος της ειδοποίησης αυτής δεν είναι αρκετά μικρότερος της διάρκειας του handoff, η βελτίωση είναι ελάχιστη.

Γι' αυτό το CIP θέλοντας να διατηρήσει την απλότητα του hard handoff αλλά και από την άλλη να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της απώλειας πακέτων, προτείνει μία άλλη προσέγγιση:

3.4.1.3 Ημι-ήπια διαπομπή:

Η ημι-ήπια (semisoft handoff) στηρίζεται στην ιδέα ότι ο MH μπορεί ταυτόχρονα για κάποιο διάστημα να ακούει και το παλιό και το καινούριο BS.

Πρώτα, για να μειωθεί ο χρόνος handoff latency, οι καταχωρήσεις για την χαρτογράφηση της δρομολόγησης στο καινούριο BS πρέπει να δημιουργηθούν πριν γίνει η μεταβίβαση κλήσης. Αυτό, επιτυγχάνεται αν ο MH πριν κάνει handoff, στείλει ένα semisoft μήνυμα στο καινούριο BS και αμέσως ξαναγυρίσει να ακούει το παλιό BS. Ο σκοπός αυτού του πακέτου είναι να δημιουργήσει μια νέα καταχώρηση χαρτογράφησης δρομολόγησης (routing cache mapping) μεταξύ του crossover και του νέου BS. Κατά την διάρκεια αυτής της φάσης ο MH εξακολουθεί να ακούει το παλιό base station. Μετά από ένα χρονικό διάστημα που ονομάζεται semisoft delay, ο MH πραγματοποιεί ένα ουσιαστικό handoff. Αυτός ο χρόνος μπορεί να είναι μία αυθαίρετη σταθερά, που να είναι όμως μεγαλύτερη από το round trip χρόνο μεταξύ MH και gateway (worst case). Αυτή η καθυστέρηση βεβαιώνει ότι την στιγμή που ο MH συντονιστεί με το καινούριο BS, τα downlink πακέτα θα μπορούν να παραδίδονται και μέσω του παλιού, και μέσω του νέου base station. Προφανώς, αυτά τα πακέτα καταναλώνουν διπλάσιους πόρους αυτή τη χρονική περίοδο. Ωστόσο, η περίοδος αυτή αποτελεί ένα μικρό κομμάτι της συνολικής διαδικασίας μεταβίβασης.

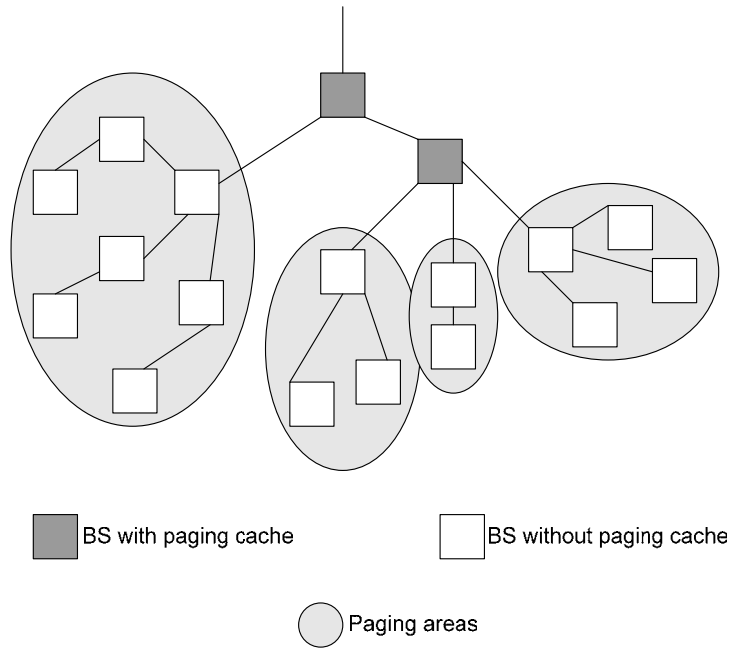
Ενώ τα semisoft πακέτα βεβαιώνουν ότι ο MH θα συνεχίσει να λαμβάνει πακέτα αμέσως μετά την μεταβίβαση, παρ' όλ' αυτά δεν βεβαιώνει smooth handoff μεταξύ των BSs. Εξηγούμε αμέσως. Ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου και τις συνθήκες κίνησης, οι χρόνοι για την εκπομπή πακέτων από το crossover σημείο

στο παλιό και νέο BS μπορεί να διαφέρουν, και οι συρμοί των πακέτων που εκπέμπονται από τα δύο base station είναι ασυγχρόνιστα. Αν το νέο BS είναι πιο μακριά από τον crossover σε σχέση με το παλιό, ο MH θα λάβει διπλά πακέτα, πράγμα το οποίο δεν επηρεάζει αρνητικά τις περισσότερες εφαρμογές. Αν είναι πιο κοντά, πακέτα θα χαθούν από το συρμό που λαμβάνει ο MH.

Το δεύτερο αρχιτεκτονικό στοιχείο της ημι-ήπιας διαπομπής λύνει το πρόβλημα για όταν το νέο BS είναι πιο κοντά, οπότε και χάνονται πακέτα. Η λύση βασίζεται στην παρατήρηση ότι δεν είναι υποχρεωτικός ο τέλειος συντονισμός των δύο συρμών πακέτων. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με την χρησιμοποίηση μιας τεχνητής καθυστέρησης μεταξύ του crossover και του νέου BS. Αυτή η συσκευή θα πρέπει να δημιουργεί μια ικανή καθυστέρηση που να καλύπτει, με μεγάλη πιθανότητα, την χρονική διαφορά μεταξύ των συρμών στην παλιά και νέα διαδρομή. Το καταλληλότερο μέρος όπου μπορεί να εγκατασταθεί αυτή η συσκευή είναι στο crossover BS. Έτσι, με την προσθήκη ενός flag (σημαίας) στα semisoft πακέτα που θα ειδοποιεί για την ανάγκη ύπαρξης τεχνητής καθυστέρησης, το πρόβλημα λύνεται. Η τεχνική τέλος, προϋποθέτει και μία αποστολή data ή route update πακέτο, μετά την διαδικασία μεταβίβασης, ώστε να αναιρείται η τεχνητή καθυστέρηση που, πια, δεν χρειάζεται. Σε περίπτωση που το είδος των πακέτων δεν επιτρέπει επιπλέον καθυστερήσεις, αυτά περνάνε από την συσκευή χωρίς την επιπλέον καθυστέρηση.

Το Cellular IP δανείζεται πολλά κοινά στοιχεία με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως ήδη αναφέραμε, με σκοπό να βελτιώσει την απόδοση του mobility management. Τέτοια στοιχεία είναι το passive connectivity που εξηγήσαμε νωρίτερα αλλά και το paging.

Οι BS ομαδοποιούνται γεωγραφικά σε paging areas.



Σχήμα 3.4.1.4: Περιοχές paging

Το CIP σύμφωνα με την μέθοδο passive connectivity, ορίζει ως παθητικό χρήστη (idle user), τον χρήστη που δεν έχει εκπέμψει πακέτα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, που ονομάζεται active-state-timeout, και που η τιμή του εξαρτάται από το δίκτυο. Λόγω τότε της έλλειψης ενημέρωσης (updates), οι καταχωρήσεις χαρτογράφησης δρομολόγησης (routing cache mappings) για τους παθητικούς χρήστες θα λήξουν. Για να μπορέσουν να μείνουν προσβάσιμοι, οι ΜΗ εκπέμπουν paging-update μηνύματα σε τακτά χρονικά διαστήματα που ονομάζονται paging-update-time. Οι ΜΗ στέλνουν paging-update μηνύματα στα BS όπου έχουν το πιο δυνατό σήμα και τα οποία προωθούνται hop by hop προς την πύλη. Αν οι BS διατηρούν βάση δεδομένων paging (cache), τότε οι παθητικοί χρήστες διατηρούν καταχωρήσεις σε αυτή την βάση δεδομένων αλλά όχι και στο routing cache table. Τα paging cache tables ανανεώνονται με κάθε paging ή route update μηνύματα σε αντίθεση με τα route cache tables που ανανεώνονται μόνο με route update. Λόγω του γεγονότος ότι οι χρόνοι timeout στα paging tables είναι μεγαλύτεροι από τους

αντίστοιχους των routing, η ανανέωση τους γίνεται πιο αραιά οπότε και γίνεται εξοικονόμηση πόρων λόγω μειωμένης κίνησης σηματοδοσίας. Το κέρδος έγκειται στο ότι ένα MN αλλάζει πιο αραιά paging area παρά BS.

Αναζήτηση κάνει το δίκτυο όταν η πύλη δεχτεί πακέτα που έχουν παραλήπτη κάποιον παθητικό χρήστη ο οποίος δεν έχει κάποια καταχώρηση σε routing table. Στην περίπτωση, τέλος, που δεν υπάρχει ούτε paging καταχώρηση, το BS θα προωθήσει τον συρμό σε όλες του τις συνδέσεις, εκτός βέβαια από αυτή από την οποία πήρε τον συρμό.

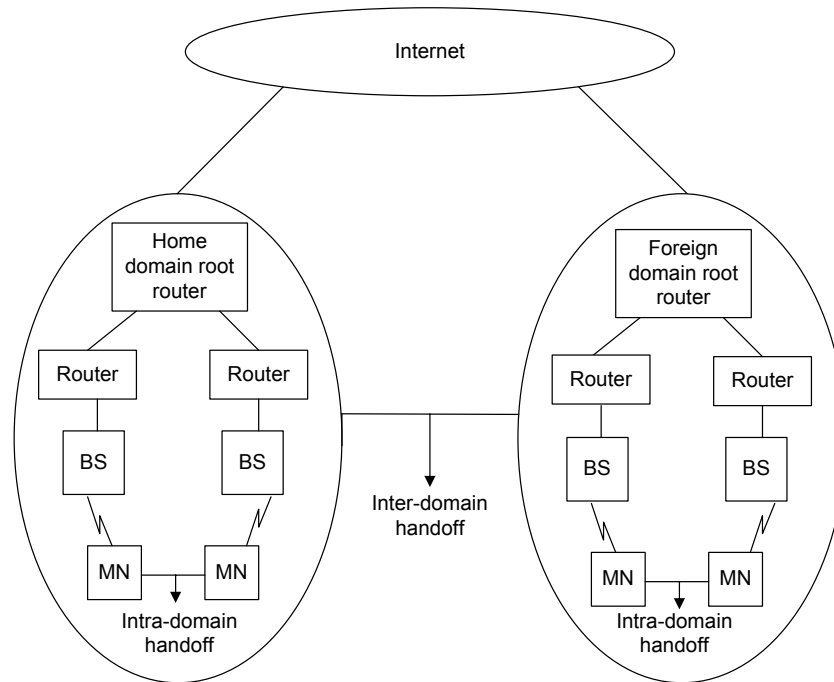
Ο διαχειριστής του δικτύου, λοιπόν, μπορεί να μειώσει τον φόρτο σηματοδοσίας paging σε ανταλλαγή με ανάγκη σε μνήμη και επεξεργαστική δύναμη που απαιτούν τα paging cache tables.

Τέλος, όταν ο παθητικός χρήστης δεχθεί paging από το δίκτυο, απευθείας στέλνει ένα route update μήνυμα προς την πύλη ώστε να δημιουργήσει μονοπάτι και να μπορέσει να λάβει τον συρμό.

3.4.2 HAWAII

Το πρωτόκολλο HAWAII [4] (Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure) έχει προταθεί για διαχείριση micro mobility. Στο HAWAII ο ΜΗ διατηρεί την διεύθυνση του ενώ κινείται σε μία περιοχή. Ο ΗΑ και τα ενδιαφερόμενα nodes έχουν άγνοια για την κίνηση του ΜΗ μέσα στην περιοχή αυτή. Διαδρομές (routes) για το ΜΗ δημιουργούνται με ειδικούς τρόπους ενεργοποίησης μονοπατιών (specialized path setup schemes) που ανανεώνουν τους πίνακες προώθησης (forwarding tables) με εισαγωγές στοιχείων του ΜΗ σε επιλεγμένους δρομολογητές (routers) της περιοχής.

Μία κοινή προσέγγιση για να παρέχεται αόρατη κινητικότητα ως προς τους ενδιαφερόμενους hosts, είναι να διαιρεθεί το δίκτυο σε ιεραρχίες. Το HAWAII χρησιμοποιεί παρόμοια στρατηγική, χωρίζοντας το δίκτυο σε ιεραρχίες περιοχών (domains). Η αρχιτεκτονική του δικτύου αναπαριστάται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 3.4.2.1: Τοπολογία δικτύου HAWAII

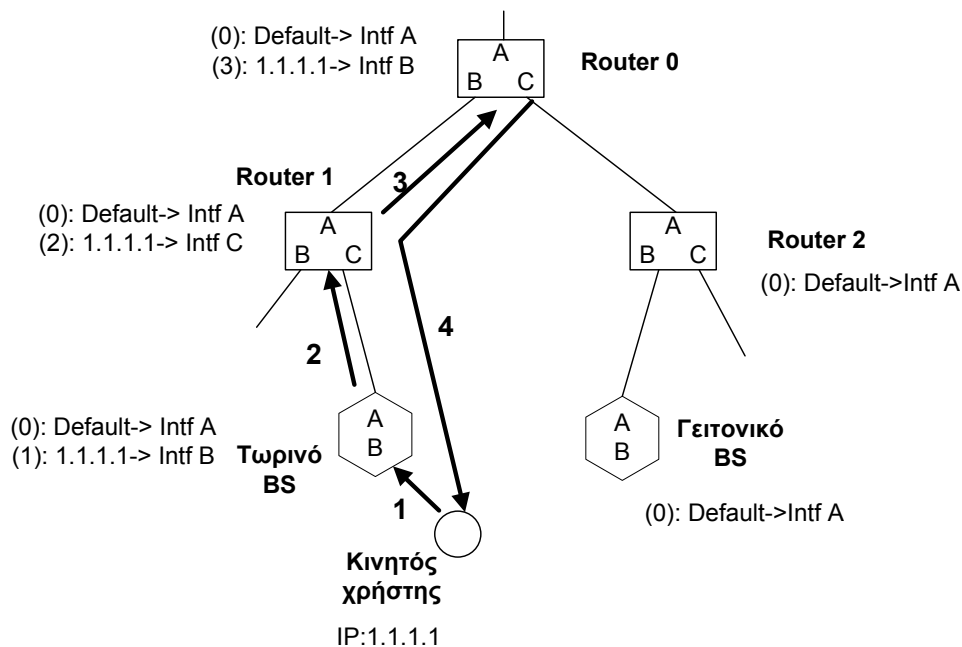
Η gateway (πύλη) σε κάθε domain ονομάζεται domain root router. Κάθε ΜΗ θεωρείται ότι έχει μία IP διεύθυνση και ένα οικείο domain. Όσο κινείται στο οικείο domain το ΜΗ διατηρεί την IP διεύθυνση του. Πακέτα που κατευθύνονται στον ΜΗ φτάνουν τον domain root router ανάλογα με την διεύθυνση του υποδικτύου του συγκεκριμένου domain και στην συνέχεια προωθούνται με ειδικά μονοπάτια που δημιουργούνται δυναμικά, προς τον ΜΗ.

Όταν το ΜΗ μπαίνει για πρώτη φορά στο ξένο domain, αλλάζουν οι παραδοσιακοί μηχανισμοί του Mobile IP και το ΜΗ παίρνει μία CoA χρησιμοποιώντας DHCP. Τα πακέτα γίνονται tunneled στην CoA από τον HA του οικείου domain.

3.4.2.1 Μηνύματα εγκατάστασης διαδρομής (path setup message)

Υπάρχουν τρία είδη:

- **Power-Up.** Το μήνυμα αυτό χρησιμοποιείται όταν το MN μπαίνει σε λειτουργία και βρίσκεται σε ένα domain. Δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο ειδικά μονοπάτια δρομολόγησης από το MN προς τον domain root router μέσω ενδιάμεσων routers και αντίστροφα, συνιστώντας έτσι ένα ιδεατό δέντρο. Σημειώνεται ότι οι υπόλοιποι routers στο domain δεν έχουν γνώση της IP διεύθυνσης του MN.



Σχήμα 3.4.2.2: Μήνυμα εγκατάστασης διαδρομής μετά από Power Up

- **Update.** Χρησιμοποιούνται για να δημιουργούνται και να ανανεώνονται τα μονοπάτια προς τις εκάστοτε θέσεις του MN ώστε να είναι εφικτή η σύνδεση του με το domain root router. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτή η ενημέρωση, μπορεί να είναι ένας από τους τέσσερις που αναφέρονται παρακάτω (path setup schemes).

- **Refresh.** Το MN περιοδικά στέλνει τέτοια μηνύματα στο BS ώστε να διατηρήσει την καταχώρηση του στην λίστα που διατηρεί το BS. Για τον ίδιο λόγο, το BS αλλά και κάποιοι επιλεγμένοι routers στέλνουν κατα περιόδους aggregate hop-by-hop refresh messages προς την κατεύθυνση του domain root router (DRR).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το πρωτοκόλλο HAWAII έχει την ικανότητα να αλλάζει το μονοπάτι δρομολόγησης στην σύνδεση end-to-end του MN με τον DRR. Γι'αυτό το path state (κατάσταση μονοπατιού) στο HAWAII ονομάζεται '**soft state**'. Η ικανότητα αυτή έχει ιδιαίτερα θετικές επιδράσεις στην αξιοπιστία του συστήματος, γιατί κατά την αποτυχία ενός router, το HAWAII μπορεί να βρεί εναλλακτικό μονοπάτι προς το MN.

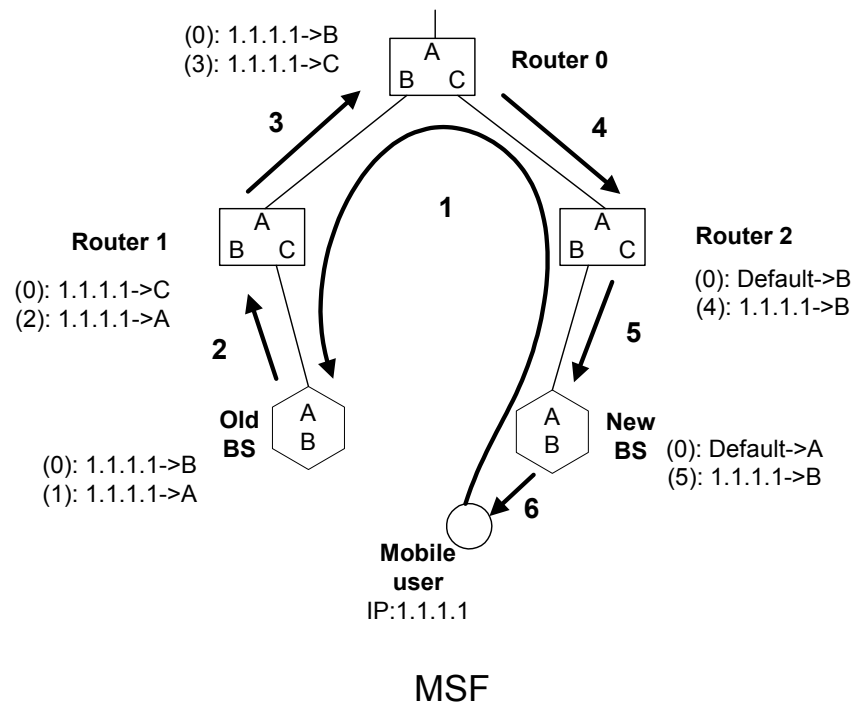
3.4.2.2 Σχήματα εγκατάστασης διαδρομής (path setup schemes)

Υπάρχουν δύο κατηγορίες, τα σχήματα προώθησης (forwarding) και τα σχήματα όχι-προώθησης (non-forwarding), ανάλογα με τον τρόπο που τα πακέτα παραδίδονται κατα την διαδικασία ενός handoff. Στα forwarding τα πακέτα προωθούνται από το παλιό BS στο καινούριο, ενώ στα non-forwarding αυτά παρακάμπτονται στον crossover router. **Crossover router** ονομάζεται ο πιο κοντινός προς τον MN router, που συμμετέχει και στο παλιό αλλά και στο νέο μονοπάτι.

Σχήματα προώθησης: MSF and SSF

Σε αυτή την κατηγορία, τα πακέτα πρώτα προωθούνται από το παλιό BS στο καινούριο και ύστερα αρχίζουν να παρακάμπτονται προς το καινούριο BS από τον crossover router. Το Multiple Stream Forwarding (MSF) χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα routing tables για να ανανεώσει τις εγγραφές του MN, ενώ το Single Stream Forwarding (SSF) επεκτείνει τα IP routing tables όπως θα δούμε παρακάτω.

Ας δούμε αναλυτικότερα το MSF σχήμα.

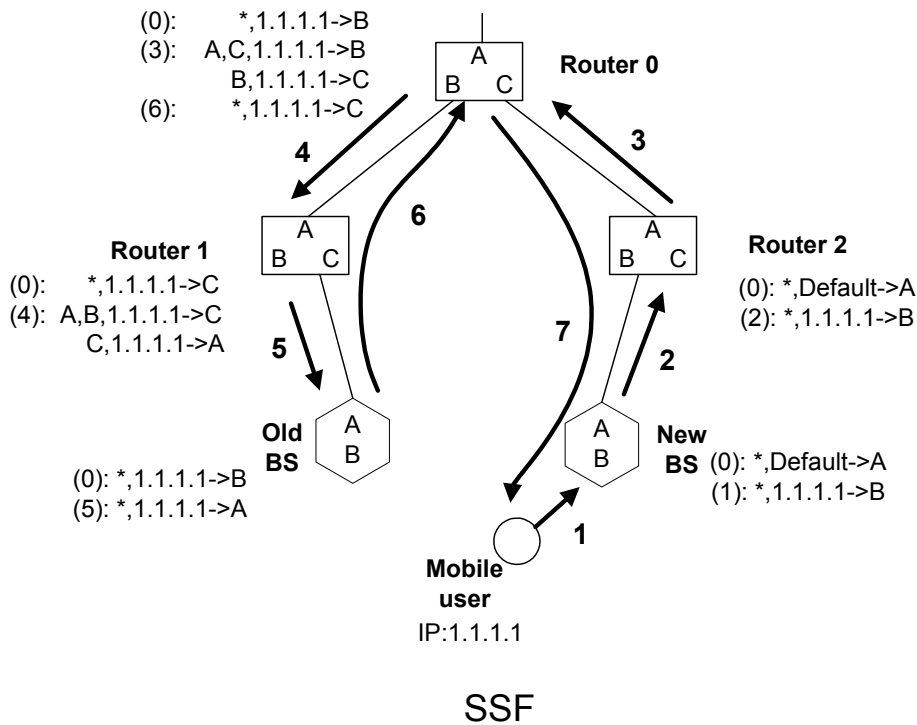


Σχήμα 3.4.2.3: MSF σχήμα προώθησης

Δίπλα στους routers φαίνονται οι καταχωρήσεις που υπάρχουν στους πίνακες προώθησης. Το πρώτο path setup message στέλνεται από το MH στο παλιό BS και περιέχει την διεύθυνση του νέου BS. Στην συνέχεια το παλιό BS ψάχνει το νέο BS στο routing table του για να καθορίσει το interface αλλά και τον επόμενο στη σειρά router. Έτσι, καθορίζει για την διεύθυνση του νέου BS το interface A. Ύστερα, στέλνει το message 2 στον router 1 ο οποίος λειτουργεί ομοίως και εν συνεχεία στέλνει μήνυμα στον επόμενο router 0. Αυτό συμβαίνει μέχρι να φτάσει το μήνυμα στον crossover router. Στην περίπτωση μας ο router 0 είναι crossover. Ομοίως, οι νέες καταχωρήσεις στον router 0 έχουν ως αποτέλεσμα τα νέα πακέτα που φτάνουν σε αυτόν να προωθούνται πια στο νέο BS και όχι στο παλιό. Το μήνυμα πια προωθείται προς το νέο BS (μήνυμα 5) το οποίο ανανεώνει τις καταχωρήσεις του και στέλνει ένα ACKnowledgement μήνυμα (επιβεβαίωσης) στο MH (μήνυμα 6).

Το MSF σχήμα είναι απλό και αποτελεσματικό όσον αφορά το γεγονός ότι μηδενίζεται το loss. Έχει όμως και κάποιες αδυναμίες. Πρώτον, είναι πολύ πιθανό κάποια παλαιότερα πακέτα να φτάνουν στον ΜΗ αργότερα από πιο νέα. Αυτό μπορεί να συμβεί αμέσως μετά την ανανέωση των tables του crossover router οπότε και τα πακέτα που φτάνουν σε αυτόν προωθούνται πιο γρήγορα στο ΜΗ παρά κάποια παλαιότερα που επαναπροωθούνται από το παλιό BS. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες σε εφαρμογές ήχου και TCP. Δεύτερον, το σχήμα αυτό μπορεί να προκαλέσει κάποια ανεπιθύμητα loops (πήγαινε-έλα) μεταξύ π.χ. του παλιού BS (αφού έχει ανανεώσει τα tables του) και του router 1 πριν προλάβει αυτό να επεξεργαστεί το message 2 και να ανανεώσει τις καταχωρήσεις του. Πάντως, αυτά τα φαινόμενα έχουν μικρή χρονική διάρκεια και μπορούν να περιοριστούν.

Ένας εναλλακτικός τρόπος είναι το SSF που χρησιμοποιεί μία μέθοδο που μοιάζει με το Mobile IP RO, στο οποίο τα πακέτα προωθούνται από το παλιό BS στο καινούριο με ένα stream (κύμα). Για να επιτευχθεί αυτό χωρίς την χρήση tunneling χρησιμοποιείται μία άλλη τεχνική που ονομάζεται interface-based forwarding η οποία απαιτεί πιο πολύπλοκα routing tables. Ενώ στα κοινά tables διατηρούνται καταχωρήσεις τις μορφής (IP Address → outgoing interface), εδώ χρειάζεται ένα επιπλέον στοιχείο: το incoming interface του πακέτου. Με αυτόν τον τρόπο, όπως βλέπουμε και στο επόμενο σχήμα, τα μηνύματα 1-5 ανανεώνουν τις κατάλληλες καταχωρήσεις, μέχρι που προσεγγίζεται τελικά το παλιό BS ώστε να προωθήσει με ένα stream όλα τα πακέτα στο νέο BS. Τέλος, το παλιό BS στέλνει το μήνυμα 6 στον crossover router 0 ώστε ο τελευταίος να αλλάξει την ροή των πακέτων και να στείλει ένα ACK στον ΜΗ.

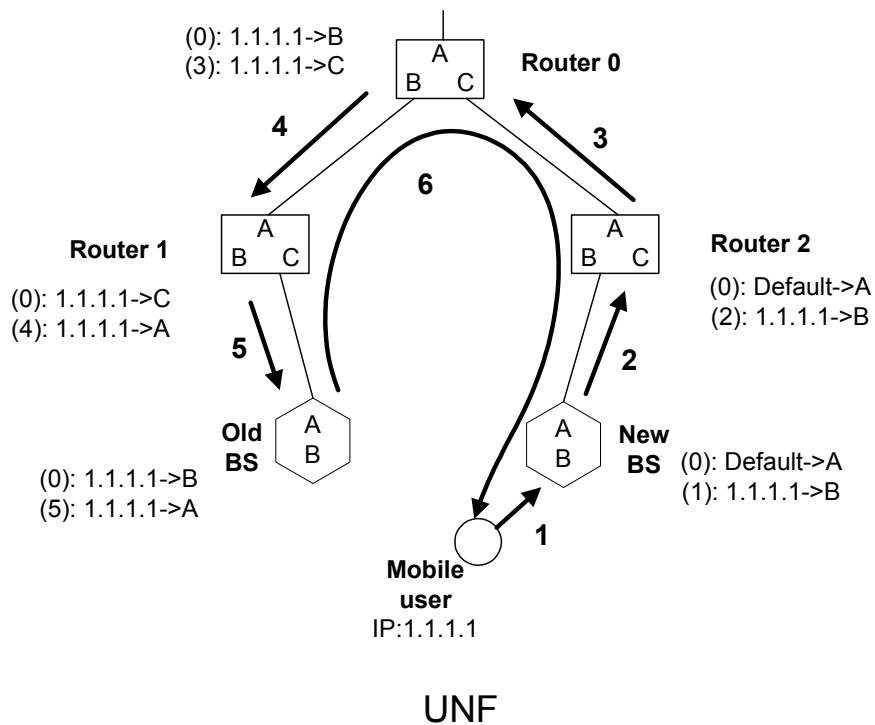


Σχήμα 3.4.2.4: SSF σχήμα προώθησης

Η τεχνική αυτή είναι πιο γρήγορη από την Mobile IP RO γιατί δεν χρειάζεται να ενημερωθούν πρώτα ο HA ή ο MH για να γίνει η αλλαγή στον router 0. Αν και έχει καλύτερη απόδοση από το MSF, ωστόσο η διαφορά δεν είναι μεγάλη, ειδικά όταν ο crossover router είναι κοντά. Επιπρόσθετα, είναι και αρκετά πολύπλοκο να εφαρμοστεί.

Σχήματα μη-προώθησης: UNF and MNF

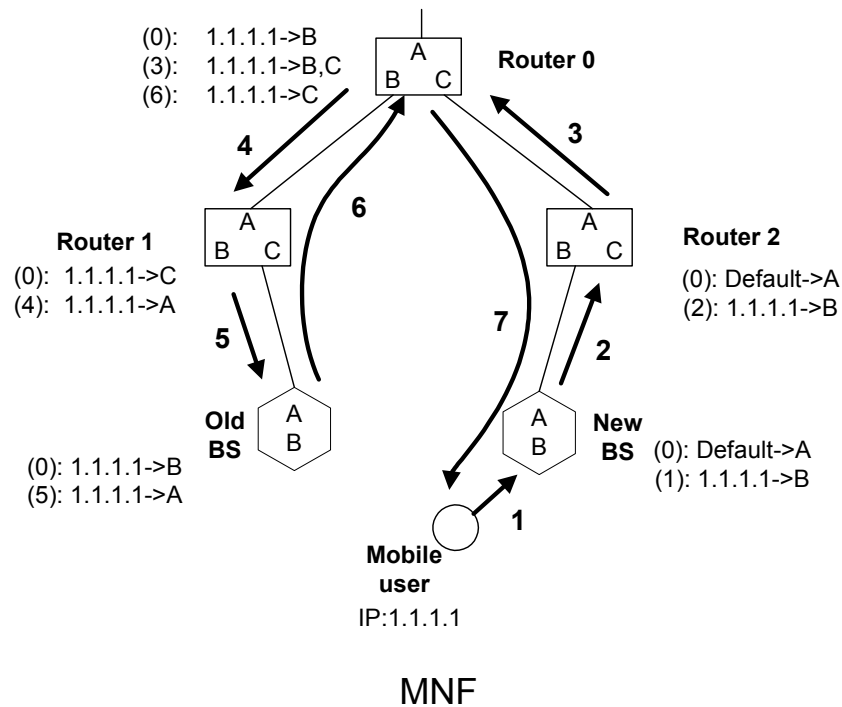
Η UNF τεχνική βελτιστοποιεί τα δίκτυα στα οποία ο MH μπορεί να ακούει ή να εκπέμπει σε περισσότερα από ένα BS ταυτόχρονα για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Τέτοια παραδείγματα είναι τα WaveLAN και τα Code Division Multiple Access (CDMA) δίκτυα.



Σχήμα 3.4.2.5: UNF σχήμα μη-προώθησης

Σύμφωνα με την UNF όταν ο νέος BS λάβει το path setup message, προσθέτει μία νέα καταχώρηση για την διεύθυνση του MH με outgoing interface το interface από το οποίο έλαβε το μήνυμα. Εν συνεχεία, κοιτώντας τα table του, καθορίζει τον επόμενο στην σειρά router (router 2) και του προωθεί το μήνυμα 2. Ομοίως, φτάνουμε στον crossover router 0, ο οποίος αλλάζει τη ροή των πακέτων και ύστερα προωθεί το μήνυμα 4 στον router 1. Με την ίδια λογική, το παλιό BS ενημερώνεται με το μήνυμα 5 και στέλνει ACK στο MH μέσω του νέου BS.

Η MNF τεχνική είναι παρόμοια με την UNF. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ο crossover router 0 κάνει multicast τα πακέτα που δέχεται για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Δηλαδή, με βάση το επόμενο σχήμα, ο router 0 εκπέμπει διπλά και προς το παλιό και προς το νέο BS, μέσω του interface A, για το χρονικό διάστημα μεταξύ των λήψεων των μηνυμάτων 3 και 6. Αυτό, μειώνει το packet loss σε δίκτυα στα οποία ο MH μπορεί να ακούει μονάχα σε ένα BS.

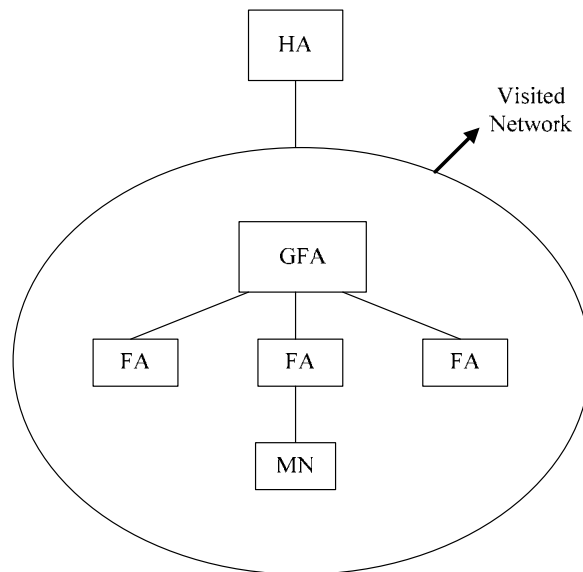


Σχήμα 3.4.2.6: MNF σχήμα μη-προώθησης

Με αυτή την αρχιτεκτονική και λειτουργία το πρωτόκολλο HAWAII καταφέρνει να μειώσει την κίνηση σηματοδότησης λόγω των μηνυμάτων ανανέωσης θέσης (location updates) σε σύγκριση με το Mobile IP.

3.4.3 Ιεραρχικό Mobile IP (HMIP)

Το HMIP όπως φανερώνει και το όνομα του, βασίζεται στην βασική ιδέα του Mobile IP με τους FAs. Όμως, προσθέτει ένα ακόμα επίπεδο στην ιεραρχία, τους Gateway Foreign Agents (GFAs). Ο GFA είναι ένα ειδικό είδος FA που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν στο ξένο δίκτυο υποστηρίζεται το regional tunnel management. Η αρχιτεκτονική της πρότασης αυτής απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.4.3.1: Δικτυακό μοντέλο του ιεραρχικού Mobile IP

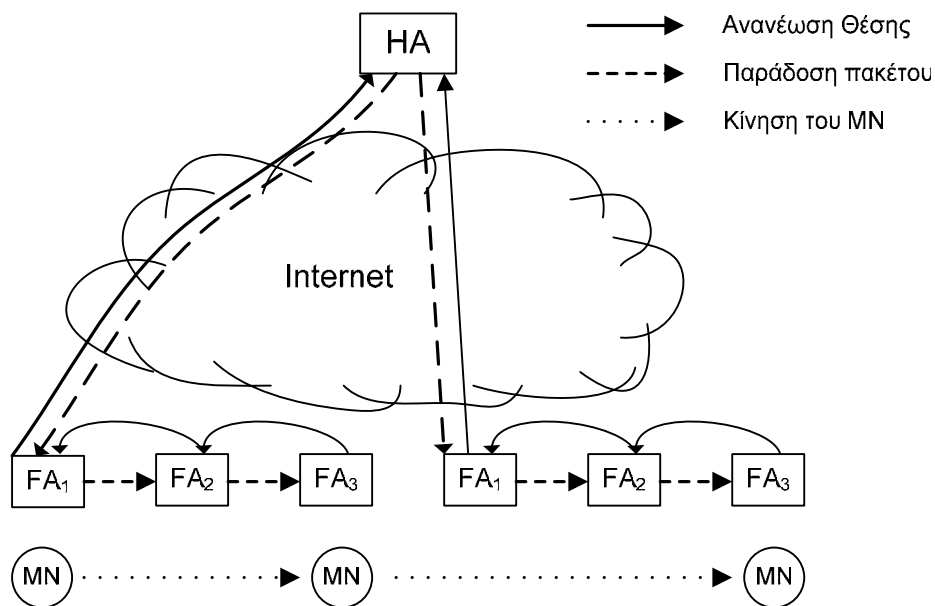
Το MH χρησιμοποιεί ως CoA, την IP διεύθυνση του GFA, για να εγγραφεί στον HA. Αυτή η CoA δεν αλλάζει όταν ο MH κινείται μεταξύ FAs που βρίσκονται κάτω από τον ίδιο GFA. Μετά την πρώτη, αρχική, εγγραφή στο GFA και ενημέρωση του HA, ο MH πληροφορεί και εγγράφεται μόνο στον GFA. Δηλαδή, δεν γίνονται εγγραφές με τον HA όσο ο MH κινείται κάτω από τον ίδιο GFA. Βέβαια, όποτε ο MH αλλάζει GFA πρέπει να ειδοποιεί τον HA.

Ένα μειονέκτημα του πρωτοκόλλου είναι ότι σε περίπτωση αποτυχίας ενός GFA θα επηρεαστούν όλοι οι FAs που συνδέονται σε αυτόν και εν συνεχεία όλοι οι χρήστες τους. Αυτό το μειονέκτημα δεν υπάρχει στο Dynamic Hierarchical Mobile IP που προτείνεται στην συνέχεια.

3.4.4 Δυναμικό Ιεραρχικό Mobile IP (Dynamic HMIP)

Το DHMIP [11] χρησιμοποιεί στην ουσία δείκτες μεταξύ FAs αντί να προβαίνει κάθε φορά σε ενημέρωση θέσης για κάθε διακοπή του MN. Έτσι, το DHMIP δεν χρησιμοποιεί κάποια νέα οντότητα (τύπου GFA) αλλά χρησιμοποιεί την

ήδη υπάρχουσα υποδομή. Ας θεωρήσουμε ότι το MN μετακινείται από τον HA στον FA₁. Γίνεται η ενημέρωση θέσης και στην συνέχεια μεταβαίνει στο FA₂. Σε αυτό το σημείο δεν θα ενημερωθεί ο HA αλλά ο FA₁ ώστε να δημιουργήσει μία καταχώρηση που θα προωθεί τα πακέτα που παραλαμβάνει στο νέο FA (στην περίπτωση μας τον FA₂). Όταν το MN μετακομίσει στον FA₃ η καταχώρηση στον FA₁ δεν θα αλλάξει, απλά θα δημιουργηθεί μία νέα καταχώρηση στον FA₂ ώστε αυτός να προωθεί πια τα πακέτα που του έρχονται στον FA₃. Έτσι, αν σταλούν πακέτα για το MN αυτά θα διανύσουν την διαδρομή HA, FA₁, FA₂ και FA₃ ώστε τελικά να παραδοθούν στο MN. Αν το βέλτιστο μήκος αλυσίδας που έχει οριστεί είναι 3, τότε κατά την μετακίνηση του MN από το FA₃ στο FA₄, θα σταλεί πλέον ανανέωση θέσης στον HA. Αλυσίδα θα αρχίσει πλέον να σχηματίζεται ξανά όταν το MN μετακινηθεί προς τα FA₅ και FA₆ οπότε και θα έχουμε για παράδειγμα άλλη μία παράδοση πακέτων.



Σχήμα 3.4.4.1: Παράδειγμα στο δυναμικό H MIP

Όπως ήδη αναφέραμε, υπάρχει ένα βέλτιστο μήκος αλυσίδας καθώς με την δημιουργία της μειώνεται μεν η σηματοδοσία αλλά αυξάνεται ταυτόχρονα η καθυστέρηση παράδοσης της υπηρεσίας καθώς αυτή θα πρέπει να περάσει από

αρκετά FAs. Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους της αλυσίδας αποτελεί κρίσιμη και πολύπλοκη επιλογή. Η πολυπλοκότητα της επιλογής συνίσταται από το γεγονός ότι όταν το μέγεθος Call to Mobility Rate (CMR) είναι μικρό (δηλαδή ο χρήστης έχει σχετικά μεγάλη κινητικότητα σε σχέση με τον ρυθμό που λαμβάνει πακέτα) τότε συμφέρει η αλυσίδα να είναι μεγάλη – σε αυτή την περίπτωση μειώνεται το κόστος της σηματοδότησης αλλά μεγαλώνει η καθυστέρηση της παράδοσης μιας κλήσης. Συγκεκριμένα το CMR ορίζεται ως $\rho = \lambda/\mu$ όπου λ ο ρυθμός των πακέτων με αποδέκτη το MN και $1/\mu$ το μέσο χρόνο διαμονής του σε ένα υποδίκτυο. Όταν το CMR είναι υψηλό, συμφέρει η αλυσίδα να είναι σχετικά μικρή. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο προτείνεται ο δυναμικός καθορισμός της αλυσίδας ανά τακτά χρονικά διαστήματα ξεχωριστά για κάθε MN, με βάση το CMR του.

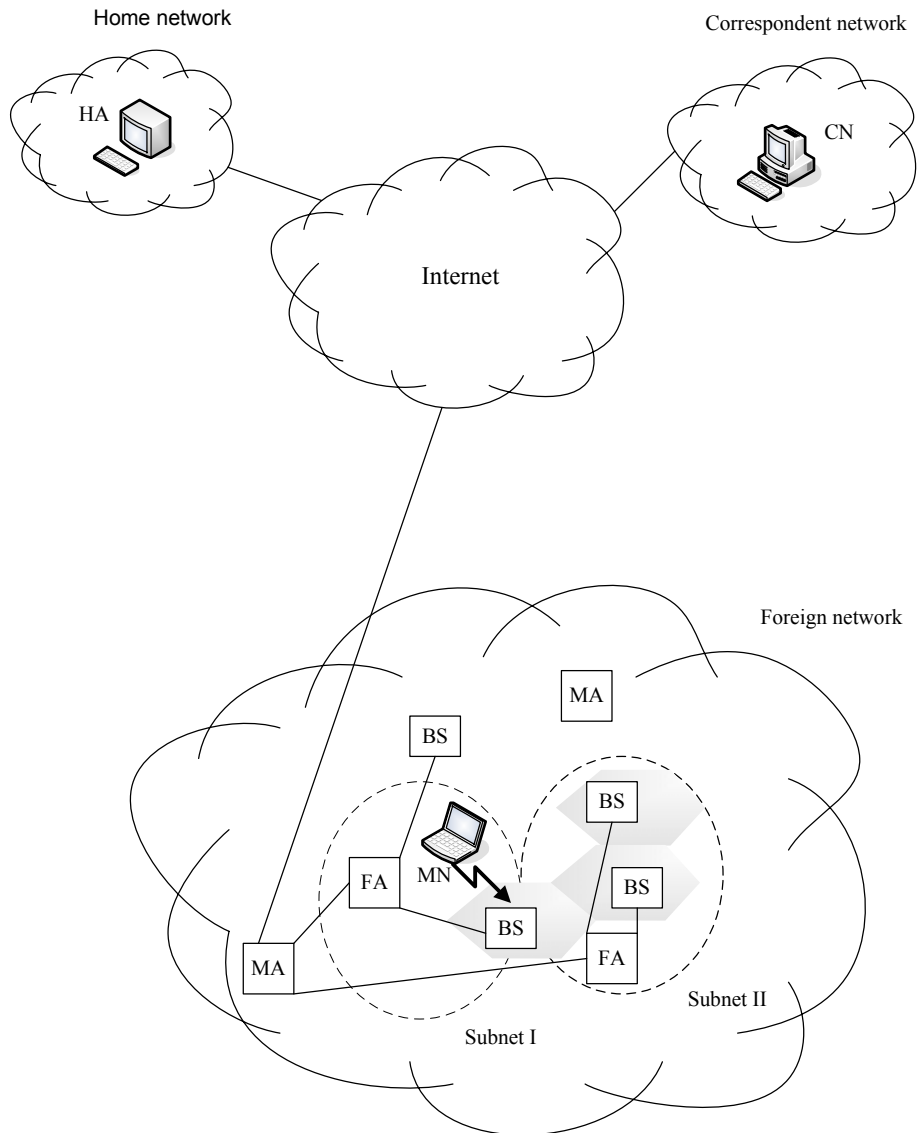
3.4.5 TeleMIP

Το TELEcommunications-Enhanced Mobile IP [7] είναι ένα πρωτόκολλο που όπως και το HMIP βασίζεται στην κεντρική ιδέα του MIP με τους FAs. Ορίζεται μία νέα οντότητα, ο Mobility Agent (MA) που βρίσκεται στο επίπεδο 3, αμέσως έξω από το κάθε υποδίκτυο και ο οποίος συνεργάζεται με τους αμέσως κατώτερους σε επίπεδο FA. Ο MA είναι ένας Internet host που διορίζεται δυναμικά από το δίκτυο για να προσφέρει υπηρεσίες στους MH που βρίσκονται μακριά από τον HA τους. Ο MA δίνει μία πιο μόνιμη CoA από ότι προσφέρον οι FAs. Όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα πακέτα δρομολογούνται από το MA.

Ο MH στο TeleMIP έχει δύο διευθύνσεις CoA που του προσφέρονται από τον FA που τον εξυπηρετεί. Μία τοπική (local) που μπορεί να είναι και η διεύθυνση του FA, και μία παγκόσμια (global) που είναι η διεύθυνση του MA. Όσο ο MH κινείται μέσα στον ίδιο FA, διατηρεί αυτές αναλλοίωτες. Όταν αλλάζει FA, αλλάζει την local

address και πληροφορεί τον MA για την αλλαγή αυτή. Όταν αλλάζει γεωγραφική περιοχή και εξυπηρετείται από διαφορετικό MA, ο νέος FA του προσφέρει δύο νέες, μία local και μία global τις οποίες και στέλνει στον HA του για να τον ενημερώσει.

Η αρχιτεκτονική του σχεδίου αυτού απεικονίζεται στην συνέχεια:



Σχήμα 3.4.5.1: Αρχιτεκτονική TeleMIP

Αυτό το σχέδιο προσφέρει γρήγορο handoff μέσα στο υποδίκτυο, και χαμηλή σηματοδότηση σε παγκόσμια κλίμακα καθώς οι περισσότερες ανανεώσεις θέσης φτάνουν μόνο μέχρι τον MA. Ανανεώσεις που φτάνουν μέχρι τον HA ή το

Correspondent Node γίνονται όταν ο ΜΗ μετακινηθεί σε άλλη γεωγραφική περιοχή από αυτή που εξυπηρετούσε ο μέχρι πρότινος ΜΑ του. Η συγκεκριμένη πρόταση στοχεύει συγκεκριμένα στο να αποτρέπει διακοπές σε εφαρμογές real-time (πραγματικού χρόνου). Επειδή, η έλλειψη άφθονων διευθύνσεων παγκοσμίως θεωρήθηκε σημαντικός παράγοντας, το σχέδιο αυτό έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε οι διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται από τους ΜΗ να έχουν τοπικό χαρακτήρα.

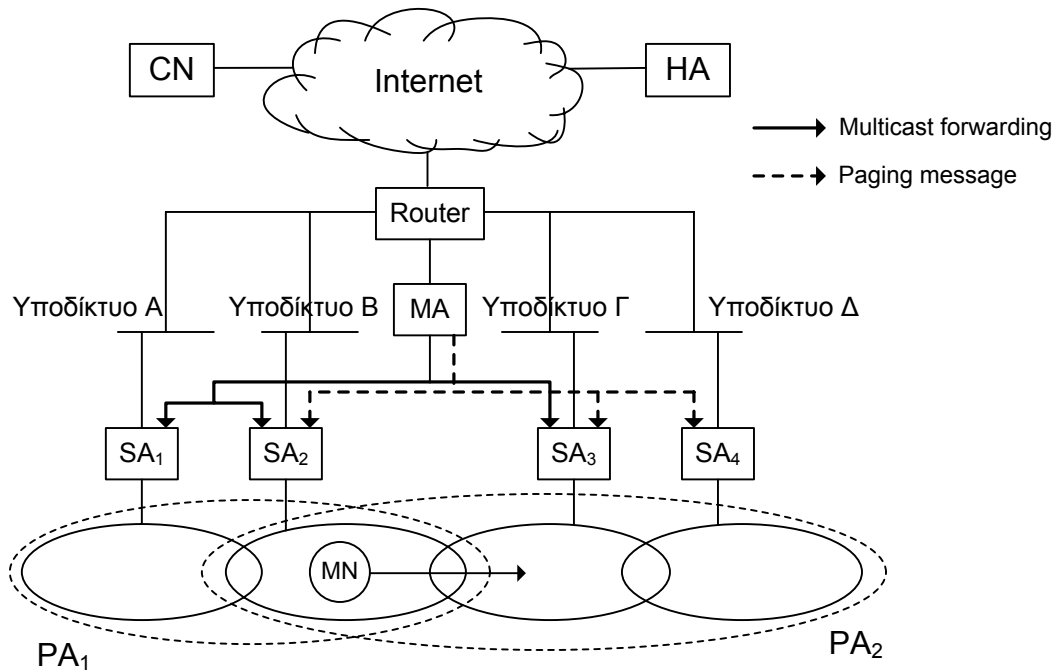
3.4.6 Intradomain mobility management protocol (IDMP)

3.4.6.1 Αρχιτεκτονική

Το IDMP [12] βασίζεται στην ιδέα του TELEMIP. Υπάρχουν ΜΑs που αποτελούν τα σημεία διασύνδεσης των διαφόρων δικτύων και τα οποία εξυπηρετούν από ένα ως και περισσότερα SAs. Τα SAs είναι κατά αντιστοιχία οι FAs του HMIP για κάθε υποδίκτυο. Το MN παίρνει δύο διευθύνσεις στο ξένο δίκτυο: την Regional CoA (RCoA) που είναι η διεύθυνση του ΜΑ και την Local CoA (LCoA) που είναι η διεύθυνση του SA. Όσο το MN μετακινείται κάτω από το ίδιο MN οι ανανεώσεις θέσεων περιορίζονται μέχρι το ΜΑ όπου και ανανεώνεται η νέα LCoA του MN. Όταν όμως υπάρξει μετακίνηση σε άλλο ΜΑ τότε αυτομάτως αλλάζει η RCoA και η LCoA και εν συνεχεία ενημερώνεται ο HA για την διεύθυνση του νέου ΜΑ.

3.4.6.2 Paging, Idle mode

Η συχνότητα των ανανεώσεων θέσης λόγω μετακίνησης σε άλλο υποδίκτυο μειώνεται από τον μηχανισμό paging. Τα υποδίκτυα ομαδοποιούνται σε περιοχές paging (PAs) όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



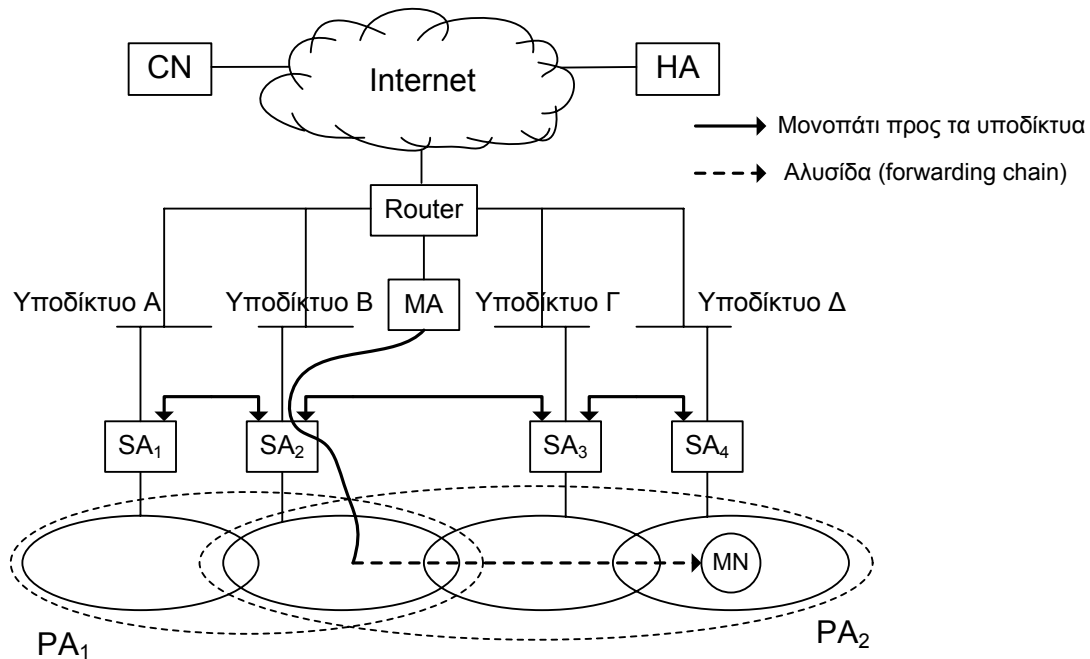
Σχήμα 3.4.6.1: Παράδειγμα IDMP

Όπως φαίνεται και παραπάνω τα PAs υπερκαλύπτονται για να αποφεύγεται το φαινόμενο του ring-rong όπου ένα MN πηγαίνει στα σύνορα μεταξύ δύο περιοχών με αποτέλεσμα την διαρκή ανανέωση θέσεως. Όταν το MN είναι σε idle mode (σε ανενεργή κατάσταση, δηλαδή δεν ανταλλάσσει πακέτα), όταν αλλάζει υποδίκτιο δεν χρειάζεται να ανανεώσει την θέση του όσο εξακολουθεί να βρίσκεται στο ίδιο PA. Για παράδειγμα, κατά την μετακίνηση του MN από το SA₂ στο SA₃ το MN συνεχίζει να βρίσκεται στο PA₂. Όταν το MA λάβει πακέτα με παραλήπτη το MN, επειδή δεν γνωρίζει που βρίσκεται, κάνει multicast ένα paging μήνυμα σε όλα τα SAs που συμπεριλαμβάνονται στο PA₂ ώστε να το λάβει το MN και να ανανεώσει την θέση του στο MA. Τέλος, ο MA κάνει tunnel τα πακέτα στο κατάλληλο SA.

3.4.7 Forwarding Chain & Aggregate Reservation (FCAR)

3.4.7.1 Βασική Ιδέα

Το FCAR [13] βασίζεται στην αρχιτεκτονική του IDMP σε συνδυασμό με την τακτική της αλυσίδας από δείκτες και την κατοχύρωση μονοπατιού για ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS). Με την ύπαρξη της αλυσίδας, το MN δεν ανανεώνει τη θέση του στο MA κάθε φορά που αλλάζει SA. Ας δούμε το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.4.7.1: Παράδειγμα FCAR

Ομοίως με το παράδειγμα του IDMP θεωρούμε ότι το MN ήταν αρχικά στο SA₂ και μετακινήθηκε στο SA₃ και τελικά στο SA₄. Αντί να γίνουν ανανεώσεις θέσεων στο MA σε κάθε αλλαγή υποδικτύου, το MN πληροφορεί το προηγούμενο SA για την τωρινή θέση του ώστε να δημιουργηθεί ένας δείκτης από το παλιό SA στο νέο. Έτσι τα πακέτα προωθούνται από το MA και από SA σε SA φτάνουν τελικά στο MN. Το μήκος της αλυσίδας καθορίζεται με δύο τρόπους. Στο Movement based FCAR (M-FCAR) το MN υποχρεωτικά ανανεώνει τη θέση του μόλις συμπληρώσει κάποιον αριθμό μετακινήσεων, ενώ στο Region based FCAR (R-FCAR) το MN προβαίνει στην ανανέωση θέσης μόλις αλλάξει περιοχή paging.

Το πρωτόκολλο συνοδεύεται και από δύο ιδέες για γρήγορη διαπομπή και γρήγορη εύρεση θέσεως.

3.4.7.2 Γρήγορη διαπομπή (fast handoff)

Όταν αναγνωριστεί η επερχόμενη διαπομπή από σκανδάλη στο στρώμα (Layer) 2 είτε το MN είτε το παλιό SA αποστέλλουν ένα μήνυμα MovementImminent στο MA ώστε το MA να κάνει multicast τα εισερχόμενα για το MN πακέτα σε όλα τα γειτονικά SA (με βάση το παραπάνω παράδειγμα, στα SA₁ και SA₃). Αυτά θα αποθηκεύσουν (buffering) τα εισερχόμενα πακέτα ώστε αν το MN τα επισκεφθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, να του τα προωθήσουν (π.χ. SA₃).

3.4.7.3 Γρήγορη εύρεση θέσεως (fast location lookup)

Η κεντρική ιδέα βασίζεται στο γεγονός ότι αφού όλα τα πακέτα που στέλνονται περνάνε από τα MAs, αν αυτά γνώριζαν τη διεύθυνση του MN δεν θα χρειαζόταν να τα προωθήσουν στο HA του αλλά κατευθείαν στο MA που το εξυπηρετεί. Βέβαια, κάτι τέτοιο προβλέπει ότι μαζί με την ενημέρωση του HA για τις κινήσεις του MN θα πρέπει να ενημερώνονται ταυτόχρονα και όλα τα ενδιαφερόμενα MAs (αυτά που κρατούν αρχείο για το συγκεκριμένο MN). Στην ουσία δηλαδή, μειώνεται το κόστος δρομολόγησης με την επιβάρυνση ότι δημιουργείται κόστος ανανέωσης των διπλοτύπων στα MAs.

4. Κατανεμημένες αρχιτεκτονικές διαχείρισης κινητικότητας

4.1 Κατανεμημένες (distributed) αρχιτεκτονικές στα επίγεια δίκτυα κινητών επικοινωνιών (PCS)

4.1.1 Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική με DS για Global Roaming σε μελλοντικά PCS

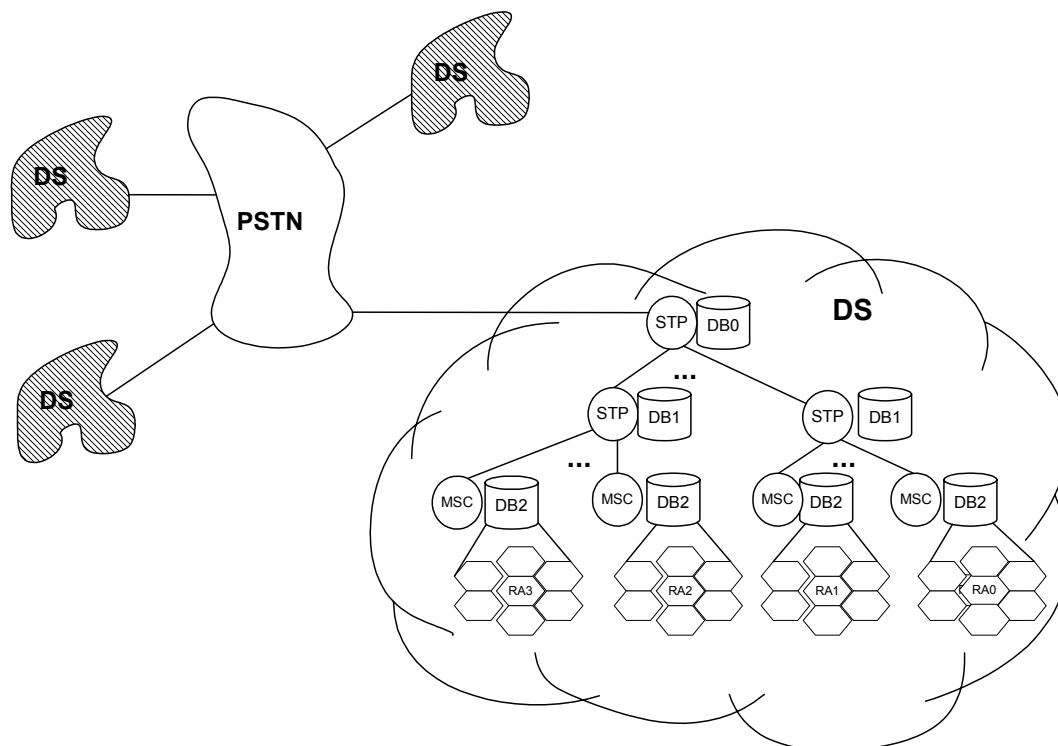
Η προτεινόμενη στρατηγική [9] βασίζεται σε πολυ-δενδρικές βάσεις δεδομένων και αποτελείται από κατανεμημένα υποσυστήματα βάσεων δεδομένων (DSs), το καθένα από τα οποία έχει τρι-επίπεδη δενδρική κατασκευή χωρίς να αποκλείεται μεγαλύτερος αριθμός επιπέδων. Ωστόσο, περισσότερα επίπεδα σημαίνει ταυτόχρονα και μεγαλύτερες καθυστερήσεις στο location registration αλλά και στην διαδικασία call delivery. Τα DSs επικοινωνούν μεταξύ τους μόνο μέσω των ριζών των δέντρων (roots), δηλαδή των DB0s, και τα DB0s με την σειρά τους μέσω του σταθερού δικτύου τηλεφωνίας PSTN (ή και μέσω ATM ή άλλων δικτύων).

Η αρχιτεκτονική αυτή, παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι κατανεμημένη. Το user profile καταγράφεται μόνο σε ένα root, οπότε κάθε root διατηρεί έναν περιορισμένο αριθμό profiles χρηστών. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος καθώς η αποτυχία ενός root θα προκαλέσει πρόβλημα μόνο στους χρήστες που αυτό εξυπηρετεί.
- Είναι κλιμακωτή. Με την διαρκή αύξηση των χρηστών είναι απαραίτητο να είναι εύκολη η επέκταση του συστήματος. Αυτό γίνεται απλά με την δημιουργία ενός καινούριου DS.
- Είναι εύκολα επεκτάσιμη. Κάθε provider μπορεί να χειρίζεται και να επεκτείνει τους δικούς του DS.

- Ο GTT δεν είναι πια απαραίτητος. Από την στιγμή που ο αποστολέας περιέχει στο μήνυμα του την διεύθυνση του λήπτη, η κίνηση περιορίζεται το πολύ μέχρι τα DB0s.

Ας αναλύσουμε περισσότερο την προτεινόμενη αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.1.1.1: Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική με DS για Global Roaming σε μελλοντικά PCS

Ένας αριθμός από DB2 ομαδοποιείται κάτω από ένα DB1, και μερικά DB1 ομαδοποιούνται κάτω από ένα DB0. Το DB0 διατηρεί το profile για κάθε χρήστη που βρίσκεται στην περιοχή του, αλλά διατηρεί και μία καταχώρηση για **κάθε** χρήστη στο παγκόσμιο δίκτυο. Αυτή η καταχώρηση περιέχει είτε έναν δείκτη που δείχνει προς το DB0 όπου βρίσκεται ο χρήστης, είτε ένα δείκτη που παραπέμπει στο user profile, όπου βρίσκεται τελικά ένας δείκτης που παραπέμπει στο τωρινό DB1 του χρήστη. Κάθε DB1 έχει καταχώρηση για κάθε χρήστη που βρίσκεται στην περιοχή του, όπου

αποθηκεύει τον pointer που δείχνει στο τωρινό DB2 του χρήστη. Τέλος, κάθε DB2 διατηρεί αντίγραφο των profiles των χρηστών που το επισκέπτονται.

Με αυτή την αρχιτεκτονική, η συχνότητα των queries (ερωτήσεων) σε υψηλότερου επιπέδου βάσεις δεδομένων μειώνεται σημαντικά, λόγω του ότι αντιμετωπίζονται περισσότερο τοπικά οι διαδικασίες ενημέρωσης κινητικότητας και παράδοσης κλήσεων.

Στην περίπτωση όμως που το location update ή το call delivery δεν είναι τοπικό, πρέπει να προσπελαστούν περισσότερες βάσεις δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου και της DB0. Αυτό βέβαια αυξάνει την καθυστέρηση που παρατηρείται από άκρη σε άκρη. Επιπρόσθετα, όσο ο αριθμός των χρηστών θα αυξάνει, τόσο θα αυξάνεται και ο χρόνος προσπέλασης των βάσεων δεδομένων. Γι'αυτό, είναι σημαντικό να περιορίζεται ο αριθμός των βάσεων δεδομένων σε ένα DS.

Μελέτη έχει γίνει και για την αρχιτεκτονική των βάσεων δεδομένων που θα βελτιστοποιούν τον χρόνο προσπέλασης. Κρίνουμε ότι τα αποτελέσματα είναι εκτός του σκοπού αυτού του συγγράματος.

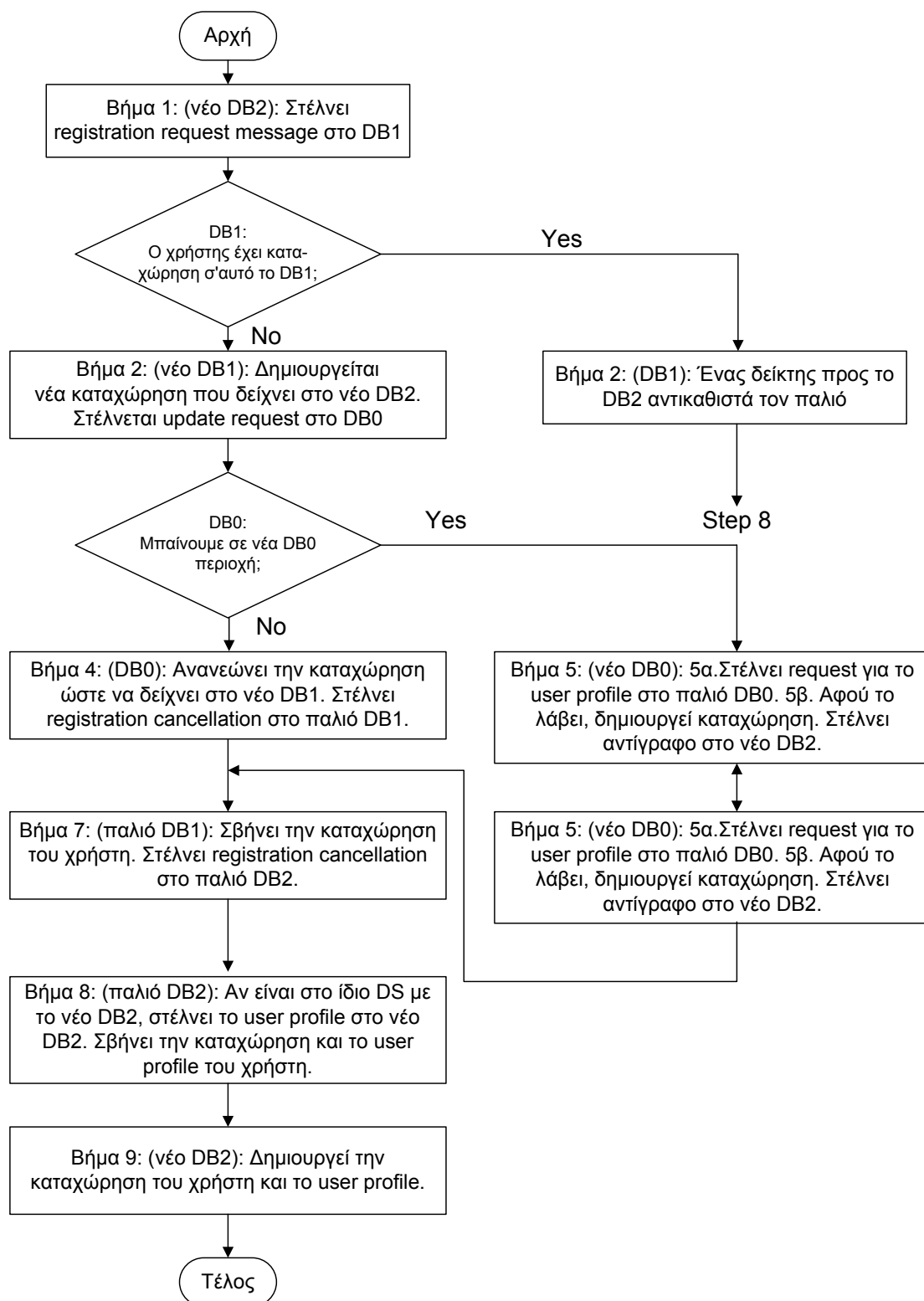
4.1.1.1 Διαδικασία Εγγραφής Θέσης

- 1) Όταν ο χρήστης μπαίνει σε νέο RA, στέλνει ένα registration request μήνυμα στο DB2 όπου βρίσκεται, το οποίο στη συνέχεια στέλνει όμοιο μήνυμα στο DB1. Αν δεν υπάρχει καταχώρηση του χρήστη στο DB1 τότε επόμενο βήμα 3) αλλιώς βήμα 2).
- 2) Αφού υπάρχει καταχώρηση στο DB1 αυτό σημαίνει πως το νέο DB2 εξυπηρετείται από το ίδιο DB1 με το παλιό DB2. Στην καταχώρηση του DB1 ο δείκτης που έδειχνε στο παλιό DB2 τώρα δείχνει στο νέο. Ο DB0 δεν

ενοχλείται. Το DB1 στέλνει registration cancellation στο παλιό DB2. Επόμενο βήμα, το βήμα 8).

- 3) Αφού δεν υπάρχει καταχώρηση στο DB1 αυτό σημαίνει πως το νέο DB2 εξυπηρετείται από άλλο DB1 από το παλιό DB2. Δηλαδή, ο χρήστης άλλαξε DB1 περιοχή. Δημιουργείται pointer στην καταχώρηση του χρήστη στο νέο DB1 που να δείχνει στο νέο DB2. Στέλνεται update request στο αντίστοιχο DB0.
- 4) Αν το DB0 δεν έχει το profile του χρήστη, ο χρήστης έχει μετακινηθεί σε νέο DS, επόμενο βήμα το 5α). Αν το έχει, το DB0 ανανεώνει το profile ώστε ο pointer να δείχνει στο νέο DB1 και στη συνέχεια στέλνει registration cancellation στο παλιό DB1, επόμενο βήμα το 7).
- 5) α) Το νέο DB0 στέλνει query στο παλιό DB0 για να ζητήσει το profile του χρήστη.
- 6) β) Το παλιό DB0 στέλνει το profile του χρήστη στο νέο DB0
- 5) β) Το νέο DB0 αποθηκεύει το profile και το ανανεώνει για να δείχνει στο νέο DB1. Αντίγραφο του profile στέλνεται στο νέο DB2.
- 6) β) Το παλιό DB0 ανανεώνει την καταχώρηση του χρήστη για να δείχνει στο νέο DB0, και διαγράφει το profile. Εν συνεχεία, στέλνεται registration cancellation μήνυμα στο παλιό DB1.
- 7) Το παλιό DB1 διαγράφει το profile του χρήστη και στέλνει registration cancellation στο παλιό DB2.
- 8) Αν το παλιό DB2 είναι στο ίδιο DS με το νέο, στέλνει ένα αντίγραφο του profile στο νέο DB2. Η καταχώρηση και το profile του χρήστη σβήνονται από το παλιό DB2.

9) Αφού λάβει το profile, το νέο DB2 δημιουργεί καταχώρηση και user profile για τον χρήστη. Η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.

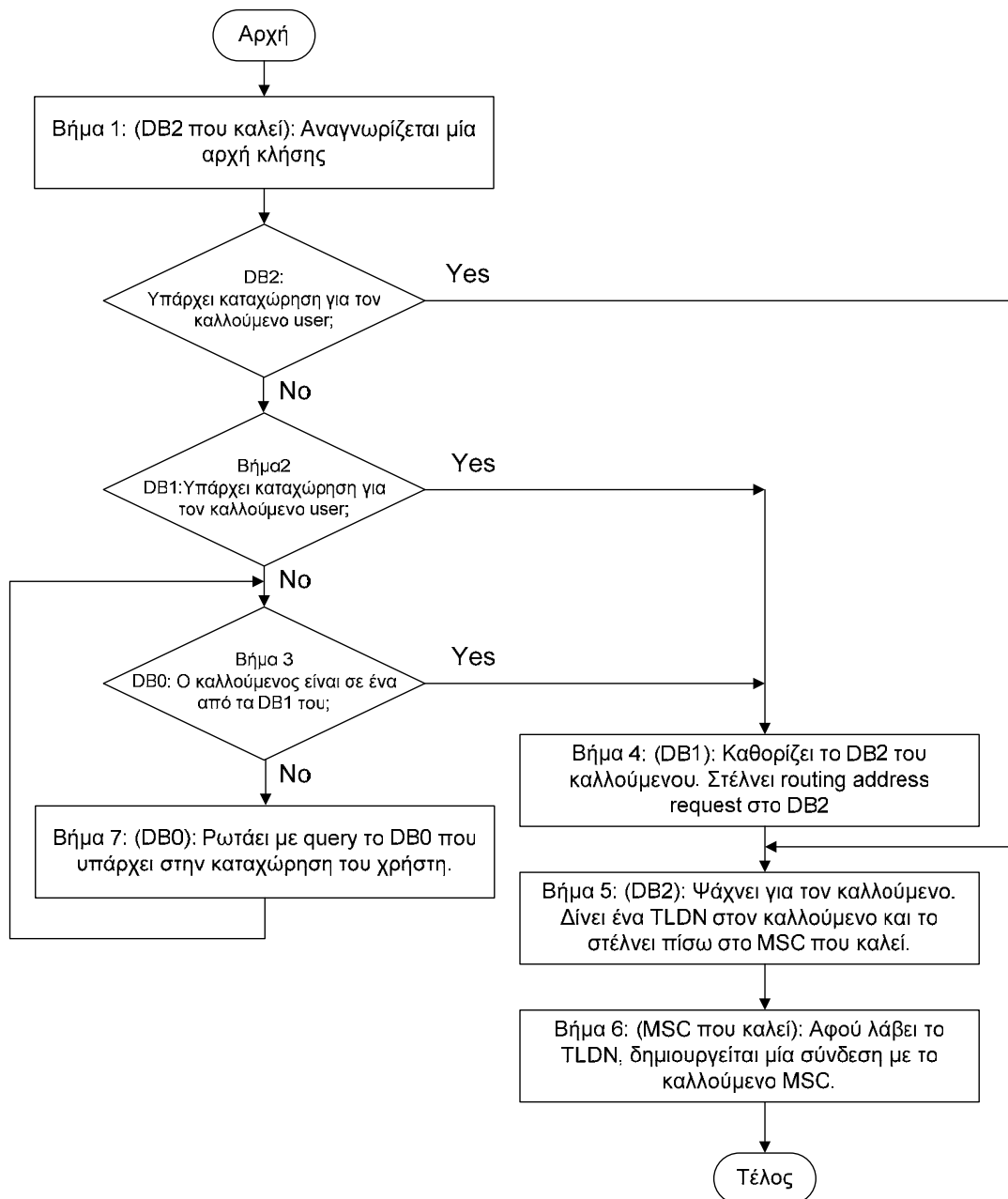


Σχήμα 4.1.1.2: Διάγραμμα ροής διαδικασίας εγγραφής θέσης

4.1.1.2 Διαδικασία Παράδοσης Κλήσης

- 1) Όταν αναγνωριστεί η εκκίνηση μιας κλήσης από το MSC του καλούντα, το DB2 του καλούντα ψάχνει να δει αν έχει το profile του χρήστη. Αν το έχει, επόμενο βήμα το 5. Αν δεν το έχει, στέλνεται query στο DB1.
- 2) Το DB1 εξετάζει αν έχει το profile του χρήστη. Αν το έχει, επόμενο βήμα το 4. Αν δεν το έχει, στέλνεται query στο DB0.
- 3) Το DB0 εξετάζει ο χρήστης βρίσκεται σε ένα από τα DB1 του. Αν το έχει, το DB0 στέλνει ένα routing address request μήνυμα στο DB1, και επόμενο βήμα το 4. Αν δεν το έχει, επόμενο βήμα το 7.
- 4) Το DB1 καθορίζει το DB2 του καλούμενου και στέλνει query στο DB2 για να ζητήσει την routing address.
- 5) Το DB2 ψάχνει για τον καλούμενο. Αν αυτός βρεθεί, ορίζεται ένα TLDN στον καλούμενο και στέλνεται πίσω στο MSC του καλούντα.
- 6) Αφού ληφθεί το TLDN, το MSC του καλούντα δημιουργεί την σύνδεση με το DB2 του καλούμενου. Εδώ τελειώνει η διαδικασία.
- 7) Αν ο καλούμενος βρίσκεται σε άλλο DS, στέλνεται query στο DB0 που εξυπηρετεί τον χρήστη. Η διαδικασία εύρεσης ξεκινά από το βήμα 3.

Στην συνέχεια ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα ροών για την διαδικασία call delivery.



Σχήμα 4.1.1.3: Διάγραμμα ροής διαδικασίας πα'ραδοσης κλήσης

4.2 Κατανεμημένες αρχιτεκτονικές σε ασύρματα δίκτυα IP

4.2.1 Κατανεμημένο Δυναμικό HMIP

Αυτό το πρωτόκολλο [8] έχει αρκετές ομοιότητες με το ιεραρχικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιούσε την οντότητα GFA. Θυμίζουμε ότι τα πακέτα γινόντουσαν tunneled, και μέσα από το δίκτυο φτάνανε στον αντίστοιχο GFA της περιοχής, όπου ο ΜΗ

κάνει roaming. Στην συνέχεια, ο GFA κοιτά την λίστα των επισκεπτών του και προωθεί τα πακέτα στο κατάλληλο FA που εξυπηρετεί το MN. Τέλος, ο FA προωθεί τα πακέτα στον χρήστη. Αυτό ισχύει σε γενικές γραμμές και εδώ. Η διαφορά σε αυτό το πρωτόκολλο είναι ότι δεν υπάρχουν ξεχωριστές οντότητες FA και GFA. Κάθε FA μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες GFA.

Ένας λόγος που οδήγησε σε αυτή την στρατηγική είναι ότι στην ιεραρχική στρατηγική, η ύπαρξη ενός μόνο κομβικού σημείου για κάθε domain (δηλ. το GFA) που διαχειρίζεται όλη την κίνηση, καθιστά την τοπική εγγραφή των χρηστών στο Mobile IP ευάλωτη στην αποτυχία των GFA. Κάθε αποτυχία ενός GFA θα οδηγούσε στην αδυναμία εξυπηρέτησης των χρηστών στην περιοχή.

Επίσης, με τη νέα αρχιτεκτονική μειώνεται η κίνηση της σηματοδοσίας που συγκεντρώνεται σε ένα μοναδικό σημείο, το GFA, και κατανέμεται σε περισσότερα GFAs. Στο σημείο αυτό βέβαια, συνειδητοποιούμε ότι είναι πολύ σημαντικό να καθοριστεί ο αριθμός των FA που θα εξυπηρετούνται από το κάθε GFA. Ένας μικρός αριθμός, θα οδηγούσε σε πολλές ανανεώσεις θέσεων στο οικείο δίκτυο, ενώ ένας μεγάλος αριθμός θα δημιουργούσε μεγάλη κίνηση σε κάθε GFA.

Γι' αυτό, στο πρωτόκολλο αυτό προτείνεται ένα δυναμικό σκηνικό όπου ο αριθμός των FA ρυθμίζεται δυναμικά ανάλογα με τον χρήστη αλλά και την χρονική περίοδο. Σε αυτό το δυναμικό σχήμα, δεν υπάρχουν δεδομένα σύνορα δικτύων αλλά κάθε MN αποφασίζει πότε να πραγματοποιήσει location update ανάλογα με την κινητικότητα του και τον ρυθμό άφιξης πακέτων.

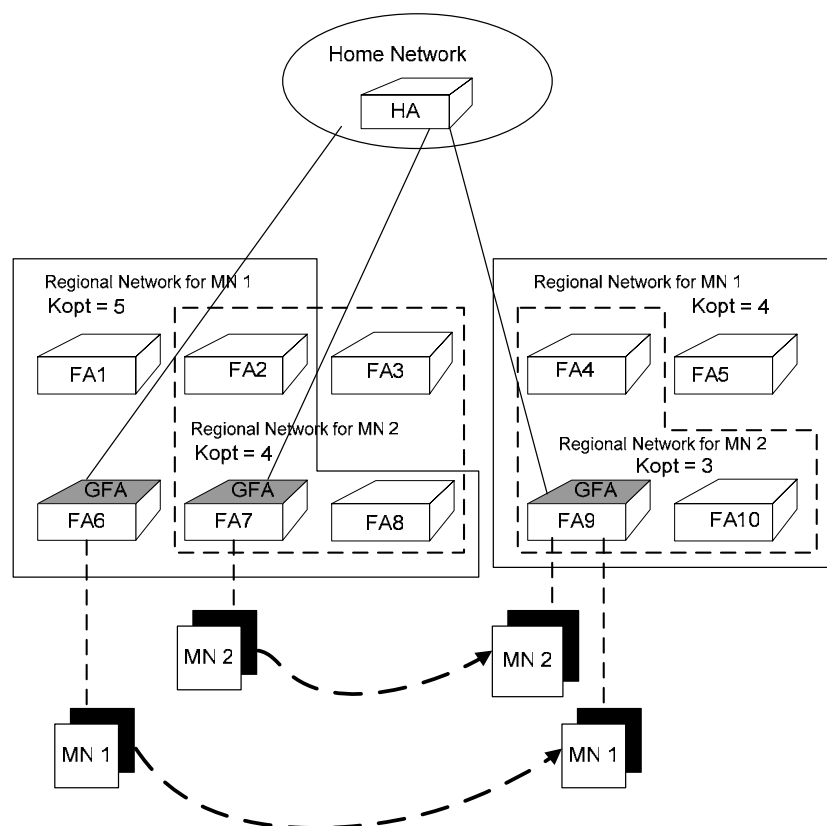
4.2.1.1 Αρχιτεκτονική

Το αν κάποιο FA θα λειτουργεί ως FA ή ως GFA καθορίζεται από την κινητικότητα του χρήστη. Εξηγούμε: Το πρώτο FA που εξυπηρετεί το MN όταν αυτό πρωτομπει σε ένα τοπικό δίκτυο θα λειτουργεί ως GFA για το δίκτυο αυτό. Σε

αυτή την περίπτωση το GFA θα πρέπει να κρατά μία λίστα επισκεπτών, να εξυπηρετεί requests άλλων FA και να ειδοποιεί τον HA για ότι πρέπει. Όταν το MN επισκεφθεί έναν συγκεκριμένο αριθμό-κατώφλι από FA τότε το επόμενο FA θα γίνει το νέο GFA. Αυτό το κατώφλι είναι διαφορετικό για κάθε MN όπως προαναφέραμε αλλά και χρονομεταβλητό. Τα πλεονεκτήματα αυτού του σχήματος είναι:

- Η κίνηση των χρηστών σε ένα τοπικό δίκτυο κατανέμεται στους GFAs
- Αυξάνεται η αξιοπιστία του δικτύου καθώς η αποτυχία ενός GFA θα επηρεάσει μόνο τα MN που εξυπηρετούνται από αυτό.
- Κάθε MN έχει την δική του, ξεχωριστή, βέλτιστη ρύθμιση του δικτύου του, που ανανεώνεται διαρκώς.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο επόμενο σχήμα, όπου σε πρώτη φάση το FA9 λειτουργεί ως το GFA για το MN1.



Σχήμα 4.2.1.1: Η τοπική ανανέωση θέσης στο δυναμικό ιεραρχικό μοντέλο του MIP

Ο βέλτιστος αριθμός FA για το τοπικό δίκτυο (K_{opt}) είναι 5. Αφού το MN1 επισκεφτεί 5 διαφορετικά υποδίκτυα, που εξυπηρετούνται αντίστοιχα από τα FA1, FA2, FA6, FA7, FA8, μετακινείται στο FA9 όπου το τελευταίο πια, λειτουργεί ως το καινούριο GFA για το MN1. Στην συνέχεια, το MN1 ανανεώνει το K_{opt} με βάση τις νέες συνθήκες κινητικότητας και κίνησης σηματοδότησης. Στο παράδειγμα η νέα τιμή καθορίζεται στο 4. Όμοια, και για το MN2.

5. Σύγκριση Πρωτοκόλλων Διαχείρισης Κινητικότητας

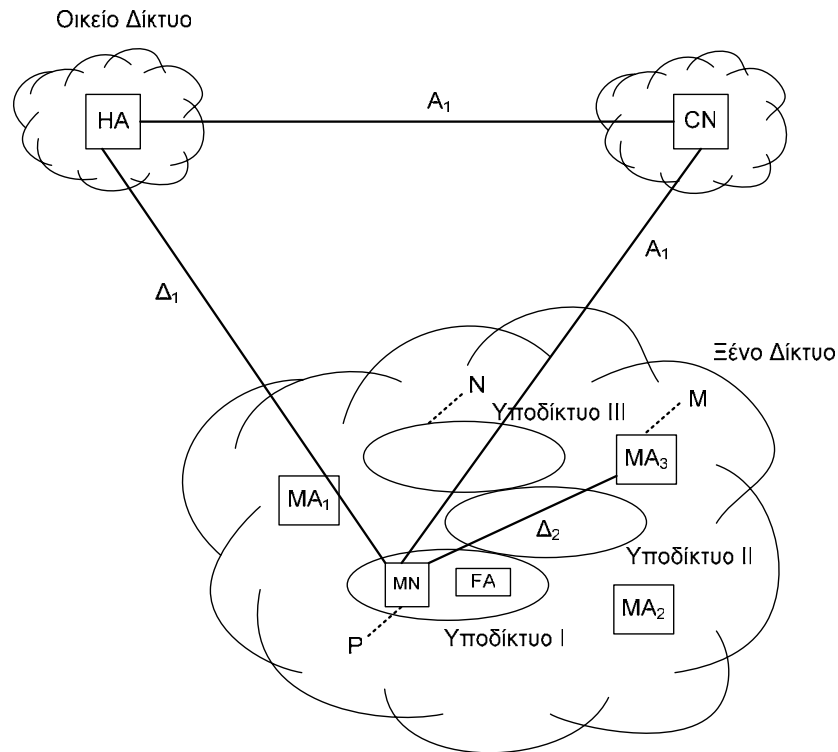
Ακολουθεί ένας πίνακας με τις βασικές λεπτομέρειες για μερικές από τις σημαντικότερες προτεινόμενες προτάσεις σχετικά με την ασύρματη κινητικότητα [10].

	Mobile IP	Hierarchical MIP	Cellular IP	HAWAII	TeleMIP
Παγκόσμια συνδεσιμότητα	✓	✓	✓	✓	✓
AAA και ασφάλεια	✓	X	X	X	X
Παγκόσμιο roaming	✓	✓	✓	✓	✓
Σταθερό σημείο σύνδεσης	X	X	X	X	✓
Υποστήριξη QoS	X	X	X	X	X
Επίπεδο πρωτοκόλλου	3	3	3	3	3
Υποστήριξη IP Paging	X	✓	✓	✓	X
Route optimization	Bindings	X	X	X	Όχι βέλτιστο
Διαχείριση κινητικότητας	Inter Domain	Inter& Intra Domain	Intra Domain	Inter&Intra Domain	Intra Domain
Τύποι Handoff	Ειδικά tunnel για smooth handoff	Hard	Hard / Soft	4 Path Setup Schemes	Hard
Πρόκληση σηματοδότησης	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Καθυστέρηση	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Ανανέωση θέσης	Tunneling δεδομενογραφήματος	Signaling message	Πακέτο Δεδομένων	Signaling message	Update message

AAA: Authentication, Authorization, Accounting(Πιστοποίηση, Εξουσιοδότηση, Χρηματοοικονομικά)

Σχήμα 5.1: Πίνακας σύγκρισης χαρακτηριστικών πρωτοκόλλων διαχείρισης κινητικότητας

Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύγκριση επιδόσεων των πρωτοκόλλων Mobile IP, HAWAII, Cellular IP και TeleMIP [7]. Ας θεωρήσουμε το ακόλουθο σχήμα :



Σχήμα 5.2: Δίκτυο προσομοίωσης

Το ξένο δίκτυο αποτελείται από N υποδίκτυα και M MAs. Κάθε υποδίκτυο έχει είτε έναν FA είτε ένα DHCP. Κάθε MA μπορεί να εξυπηρετεί R υποδίκτυα, όπου θεωρείται ότι ο αριθμός R είναι αρκετά μεγάλος. Θα θεωρήσουμε δηλαδή ότι το MN βρίσκεται υπο τον 'έλεγχο' ενός MA για αρκετό χρονικό διάστημα. Έτσι, $N/R \approx M$. Επίσης, δεχόμαστε ότι το N είναι αρκετά μεγαλύτερο του M . Στον επόμενο πίνακα φαίνεται ο αριθμός των location updates και των καταχωρήσεων δρομολόγησης σε συγκεκριμένους hosts που δημιουργούνται από P MNs καθώς επισκέπτονται, το ένα μετά το άλλο (χειρότερη περίπτωση), τα N υποδίκτυα.. Το K αντιπροσωπεύει τον μέσο αριθμό ενδιάμεσων routers που υπάρχουν στο μονοπάτι για να ανανεωθεί η καταχώρηση δρομολόγησης σε έναν host. Ο αριθμός των παγκοσμίων ανανεώσεων αντιπροσωπεύουν την κατάσταση όπου μόνο ένας domain root router και μία gateway υπάρχουν στο ξένο δίκτυο.

Πρωτόκολλο	Ανανεώσεις Θέσεων		Ανανεώσεις δρομολόγησης σε συγκεκριμένους host
	Παγκόσμιες (μέχρι το οικείο δίκτυο)	Τοπικές (μέσα στο ξένο δίκτυο)	Τοπικές (μέσα στο ξένο δίκτυο)
Mobile IP	P * N	-	-
HAWAII	P	P * N	P * K * N
Cellular IP	P	P * N	P * K * N
TeleMIP	P*(N/R)	P * N	-

Σχήμα 5.3: Πίνακας σύγκρισης ανανεώσεων πρωτοκόλλων

Έστω:

- Δ_1 : Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το registration message από το MN στον HomeAgent (~ 200 ms, τυπική διατλαντική καθυστέρηση)
- Δ_2 : Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το registration message από το MN στο MA του ξένου δικτύου (~ 10 ms, τυπική καθυστέρηση δικτύου MAN)
- A_1 : Ο ρυθμός με τον οποίο το Correspondent Node στέλνει πακέτα στο MN.

Εν συνεχεία, υποθέτουμε ότι η καθυστέρηση μιας binding ανανέωσης με route optimization από τον HA στο CN και από το MA στο CN είναι περίπου όσο το Δ_1 . Επίσης, δεχόμαστε αυθαίρετα, έστω και αν αυτό μπορεί να μην απεικονίζει την πραγματικότητα, ότι οι domain root routers στο HAWAII αλλά και οι gateways στο Cellular IP έχουν τοποθετηθεί στο ίδιο επίπεδο ιεραρχίας όπως και το MA στο ξένο δίκτυο.

Πρωτόκολλο	Παράμετροι	
	Καθυστέρηση Ανανέωσης / Καθυστέρηση Handoff	Χαμένα Πακέτα
Mobile IP (χωρίς RO)	Δ_1 (~200 ms)	$A_1 * \Delta_1$
Mobile IP (με RO)	$2\Delta_1$ (~400 ms)	$A_1 * 2\Delta_1$
Mobile IPv6	Δ_1 (~200 ms)	$A_1 * \Delta_1$
HAWAII (χωρίς RO)	$2\Delta_2$ (~20 ms)	$A_1 * 2\Delta_2$
HAWAII (με RO)	$\Delta_1 + \Delta_2$ (~210 ms)	$A_1 * (\Delta_1 + \Delta_2)$
Cellular IP (χωρίς RO)	Δ_2 (~10 ms)	$A_1 * \Delta_2$
Cellular IP (με RO)	$\Delta_1 + \Delta_2$ (~210 ms)	$A_1 * (\Delta_1 + \Delta_2)$
TeleMIP (χωρίς RO)	Δ_2 (~10 ms)	$A_1 * \Delta_2$
TeleMIP (με RO)	$\Delta_1 + \Delta_2$ (~210 ms)	$A_1 * (\Delta_1 + \Delta_2)$

RO : Route Optimization (Σημειώνεται ότι στις μετρήσεις με RO προσμετράται και το binding acknowledgement που είναι η απόδειξη της επιτυχημένης λήψης ενός binding message)

Σχήμα 5.4: Πίνακας σύγκρισης καθυστερήσεων και χαμένων πακέτων

Παρατηρούμε την πολύ καλύτερη επίδοση των πρωτοκόλλων HAWAII, Cellular IP, TeleMIP σε σχέση με το Mobile IP, για την περίπτωση χωρίς RO, όσον αφορά την καθυστέρηση ανανέωσης ή handoff και τον αριθμό των χαμένων πακέτων. Σε μία real-time εφαρμογή (όπως το VoiceOverIP) οι διαφορές αυτές έχουν πολύ μεγάλη σημασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χειρότερη επίδοση των πρωτοκόλλων όταν χρησιμοποιείται RO συμβαίνει διότι σε αυτή την περίπτωση πρέπει να στέλνεται binding message στο CN αλλά και να αναμένεται το binding acknowledgement.

Τέλος, οι διαφορές στις επιδόσεις των πρωτοκόλλων HAWAII, Cellular IP και TeleMIP είναι σχεδόν αμελητέες και η επιλογή μεταξύ αυτών εναπόκειται στις διαφορές τους όσον αφορά την πολυπλοκότητα της εγκατάστασης, το κόστος αυτής, την επίδοση τους σε άλλες παραμέτρους, στην υποστήριξη Quality of Service (QoS) και άλλα.

6. Το πρόγραμμα ns (network simulator)

Το ns είναι ένας αντικειμενοστραφής (object oriented) προσομοιωτής (simulator), γραμμένος σε C++, με ένα *OTcl* διερμηνευτή ως frontend. Ο προσομοιωτής αυτός υποστηρίζει μία ιεραρχία κλάσεων (class hierarchy) στην C++, και μία παρόμοια ιεραρχία κλάσεων στον *OTcl* διερμηνευτή. Αυτές οι δύο ιεραρχίες κλάσεων είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Από την πλευρά του χρήστη, υπάρχει μία προς μία αντιστοιχία των κλάσεων της πρώτης ιεραρχίας με τις κλάσεις της δεύτερης. Οι χρήστες μπορεί να δημιουργήσουν νέα αντικείμενα προσομοίωσης μέσω του διερμηνευτή. Τα αντικείμενα αυτά δημιουργούνται εντός του διερμηνευτή και σχεδόν καθρεφτίζονται (mirrored) από αντίστοιχα αντικείμενα στην ιεραρχία των C++ κλάσεων.

Το ns χρησιμοποιεί δύο γλώσσες προγραμματισμού επειδή ο προσομοιωτής έχει να επιτελέσει δύο ειδών εργασίες. Πρώτον, η λεπτομερής προσομοίωση των πρωτοκόλλων απαιτεί μία γλώσσα προγραμματισμού συστήματος η οποία μπορεί να χειριστεί αποτελεσματικά byte, επικεφαλίδες πακέτων και να υλοποιηθούν αλγόριθμοι που εκτελούνται για μεγάλα σύνολα δεδομένων. Για το λόγο αυτό ο χρόνος εκτέλεσης (*run-time*) είναι περισσότερο σημαντικός από τον *turn-around* χρόνο (εκτέλεση προσομοίωσης, εύρεση bug, διόρθωση bug, επαναμετάφραση, επανεκτέλεση).

Δεύτερον, ένα μεγάλο κομμάτι της έρευνας δικτύων περιλαμβάνει εξέταση πολλών παραμέτρων και configuration, αλλά και σεναρίων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο *iteration* χρόνος (αλλαγή του μοντέλου και επανεκτέλεση) είναι περισσότερο σημαντικός. Επειδή το configuration εκτελείται μόνο μία φορά (στην αρχή της προσομοίωσης), ο χρόνος εκτέλεσης αυτού του μέρους εργασιών είναι λιγότερο σημαντικός.

Το ns καλύπτει τις δύο αυτές ανάγκες κάνοντας χρήση δύο γλωσσών, της C++ και της *OTcl*. Η C++ είναι γρήγορη στην εκτέλεση και αργή στις αλλαγές, γεγονός που την κάνει ιδανική για λεπτομερή υλοποίηση πρωτοκόλλων, ενώ η *OTcl* εκτελείται πολύ πιο αργά αλλά μπορεί να αλλαχτεί πολύ γρήγορα (και διαδραστικά), κάνοντάς την ιδανική για το configuration της προσομοίωσης.

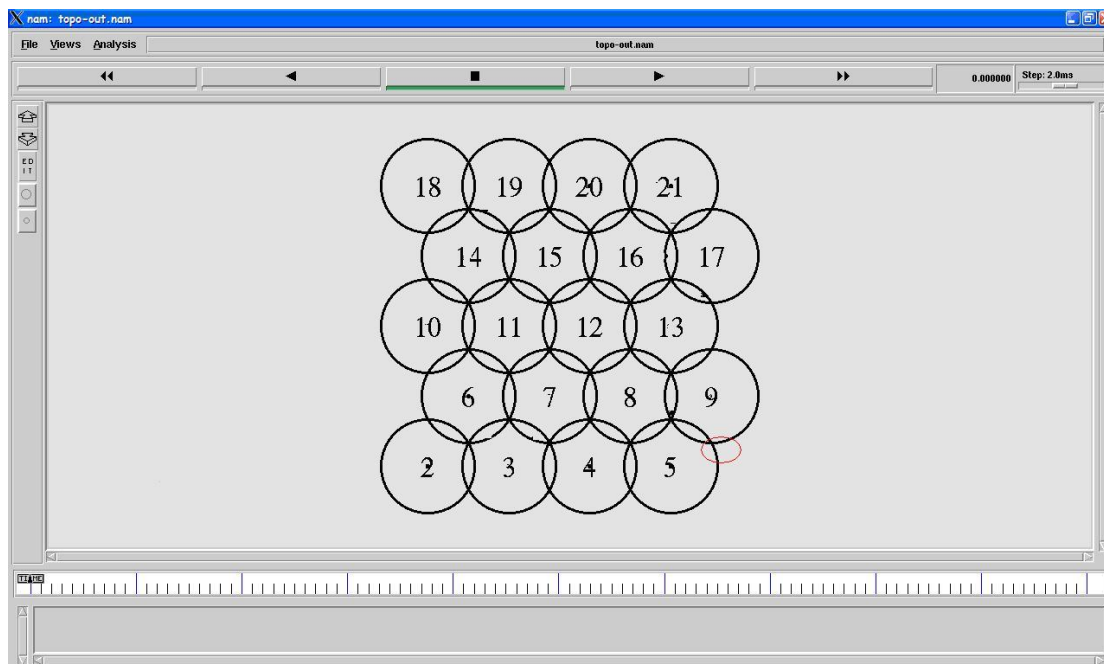
Το ns παρέχει την αντιστοιχία μεταξύ των αντικειμένων και των κλάσεων των δύο αυτών γλωσσών, μέσω της *tccl*. Η *tccl* παρέχει τις ακόλουθες έξι χρήσιμες

κλάσεις για τη διασύνδεση της C++ και της OTcl: Η κλάση *Tcl* παρέχει μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τον C++ κώδικα για την πρόσβαση στο διερμηνευτή. Η κλάση *TclObject* είναι η βασική κλάση (base class) για όλα τα αντικείμενα του προσομοιωτή που καθρεφτίζονται στην ιεραρχία κλάσεων της C++. Η κλάση *TclClass* ορίζει την ιεραρχία των OTcl κλάσεων, και τις μεθόδους που επιτρέπουν στον χρήστη να αρχικοποιήσει TclObjects. Η κλάση *TclCommand* χρησιμοποιείται για τον ορισμό απλών καθολικών εντολών του διερμηνευτή. Η κλάση *EmbeddedTcl* περιέχει τις μεθόδους για το φόρτωμα υψηλότερου επιπέδου εσωτερικών εντολών οι οποίες κάνουν ευκολότερο το configuration των προσομοιώσεων. Τέλος, η κλάση *InstVar* περιέχει μεθόδους για την προσπέλαση C++ member μεταβλητών (member variables) ως OTcl μεταβλητές υποδειγμάτων (instance variables).

7. Προσομοίωση: Mobile IP

7.1 Αρχιτεκτονική

Το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι το Mobile IP στην υλοποίηση του ns-2.27. Θελήσαμε να φτιάξουμε μία τετραγωνική τοπολογία η οποία θα εξυπηρετείται από 20 Base Stations (BS) ακτίνας r . Για να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη της τοπολογίας αλλά και όσο το δυνατόν λιγότερη επικάλυψη, τα κέντρα των κύκλων βρίσκονται σε κορυφές ισοπλευρών τριγώνων. Για να συμβεί αυτό, τα κέντρα των κύκλων από σειρά σε σειρά πρέπει να απέχουν $1.5*r$ και κάθε κέντρο κύκλου από το διπλανό του $1.7325*r$. Το κατάλληλο μέγεθος της τετραγωνικής τοπολογίας είναι $6,11625*r$ ώστε να μπορεί να περιλαμβάνει στο όριο τα 20 BS. Πράγματι η τοπολογία που προκύπτει έχει τις ελάχιστες επικαλύψεις και έχει κάλυψη σε κάθε σημείο της. Ενδεικτικά αναφέρω ότι για το παράδειγμα μας όπου ορίσαμε $r=400$ π.χ. στον πιο δεξιό κύκλο της 1^{ης} γραμμής η κάλυψη φτάνει τα 2479 μέτρα και η τοπολογία έχει πλευρά 2447.5. Με αυτό τον τρόπο καλύπτει και τα σημεία που βρίσκονται στο όριο της δεξιάς πλευράς της τοπολογίας και ανάμεσα από τους δύο (σε διπλανές σειρές) κύκλους.



Σχήμα 7.1.1: Τοπολογία προσομοίωσης

Τα BS έχουν σταθερή εμβέλεια σύμφωνα με το plug-in του ns που ονομάζεται Simple Distance. Στο παράδειγμα μας, ορίστηκε όπως ήδη αναφέρθηκε $r=400$ μέτρα. Τα nodes επικοινωνούν μέσω των BS κατά τον τρόπο που ορίζεται από το MIP. Τα BS δεν έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους άμεσα (χρησιμοποιείται γι' αυτό το λόγο το plug-in NOAH) αλλά μόνο έμμεσα μέσω ενός wired node.

7.2 Μεγέθη προσομοίωσης

Στην τοπολογία υπάρχουν 20 nodes. Κάθε BS είναι HA για ένα node. Η αρχική θέση των nodes ορίζεται τυχαία στη τοπολογία μέσω της εντολής setdest. Με την ίδια εντολή έχει οριστεί τυχαία κίνηση των nodes. Προσομοιώσεις έχουν γίνει με ταχύτητες των 10, 20, 40, 60 μέτρων το δευτερόλεπτο. Με την εντολή cbrgen έχει δημιουργηθεί τυχαία κίνηση cbr μέχρι 10 ταυτόχρονων συνδέσεων μεταξύ των nodes. Προσομοιώσεις έχουν γίνει για ταχύτητες πακέτων 16 kbit/s και 800 kbit/s = 0.8 Mbit/s. Η προσομοίωση διαρκεί για 20 δευτερόλεπτα.

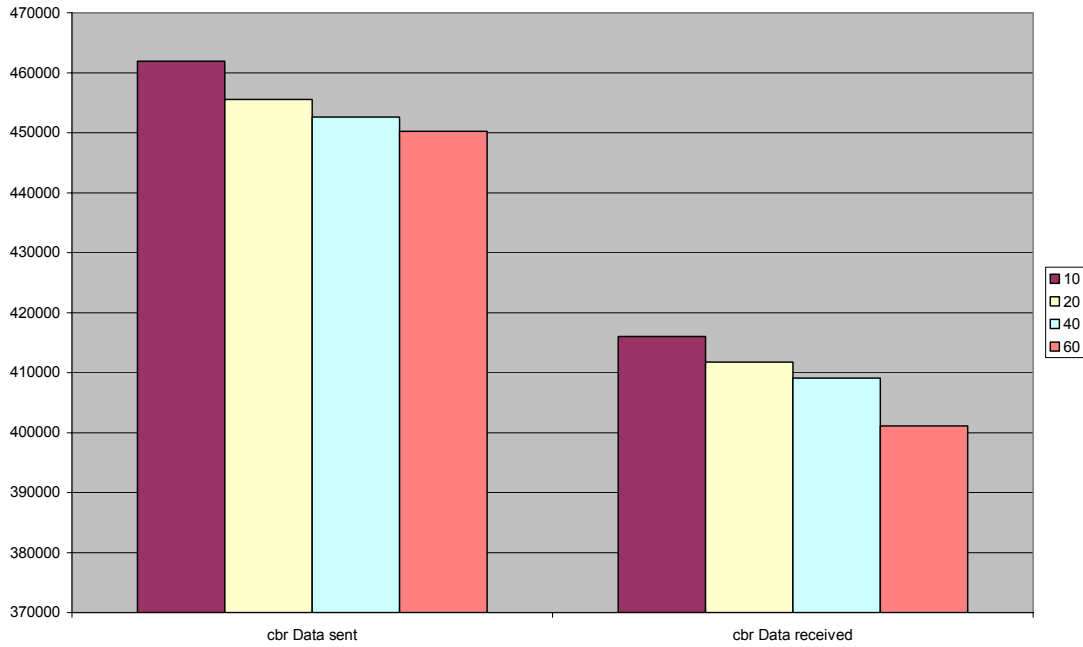
Με την εντολή awk που χρησιμοποιεί το trace file αρχείο .tr θα μετρήσουμε για διαφορετικές ταχύτητες και για διαφορετική κίνηση τον/την:

- αριθμό των bytes & των πακέτων CBR που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes
- αριθμό των bytes UDP που εστάλησαν και ελήφθησαν από το wired node
- μέση χρονική καθυστέρηση για παραλαβή από το BS πακέτου που εστάλη από node

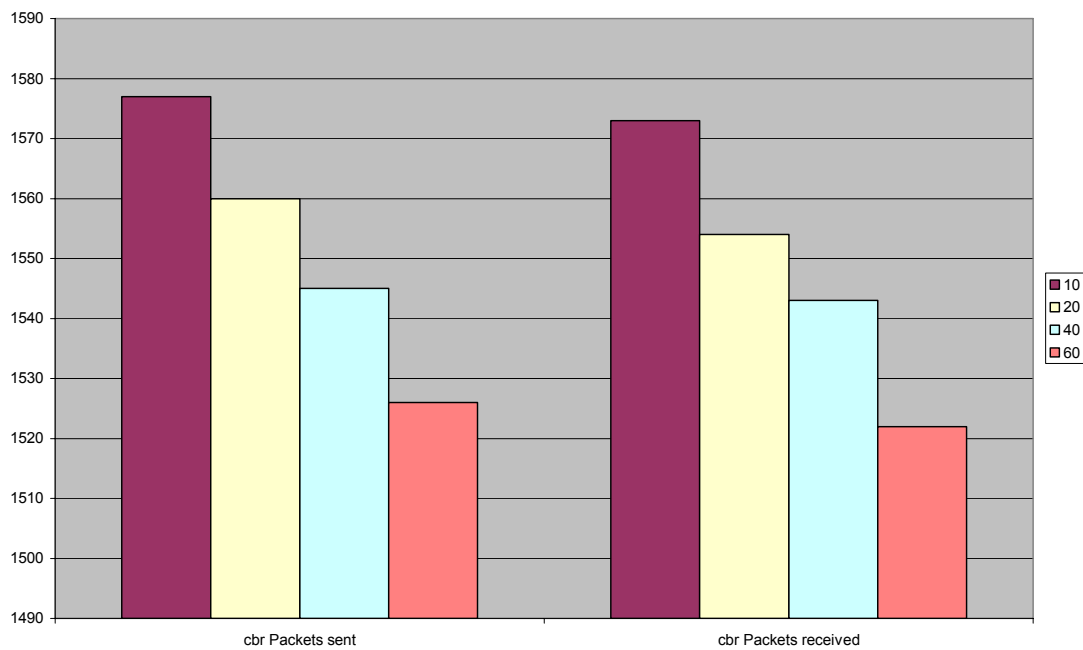
Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο πως η κίνηση UDP είναι μέρος της κίνησης σηματοδοσίας (δεν περιλαμβάνει την κίνηση σηματοδοσίας μεταξύ BSs και MNs) ενώ η CBR είναι κίνηση δεδομένων.

7.3 Αποτελέσματα

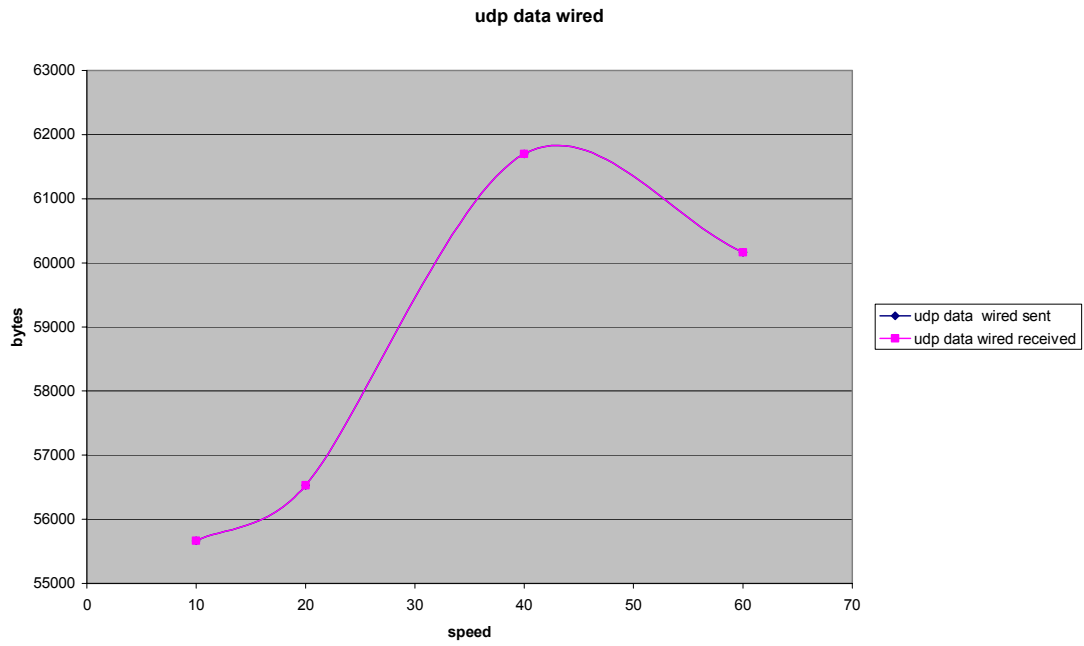
7.3.1 Για κίνηση 16 kbit/sec



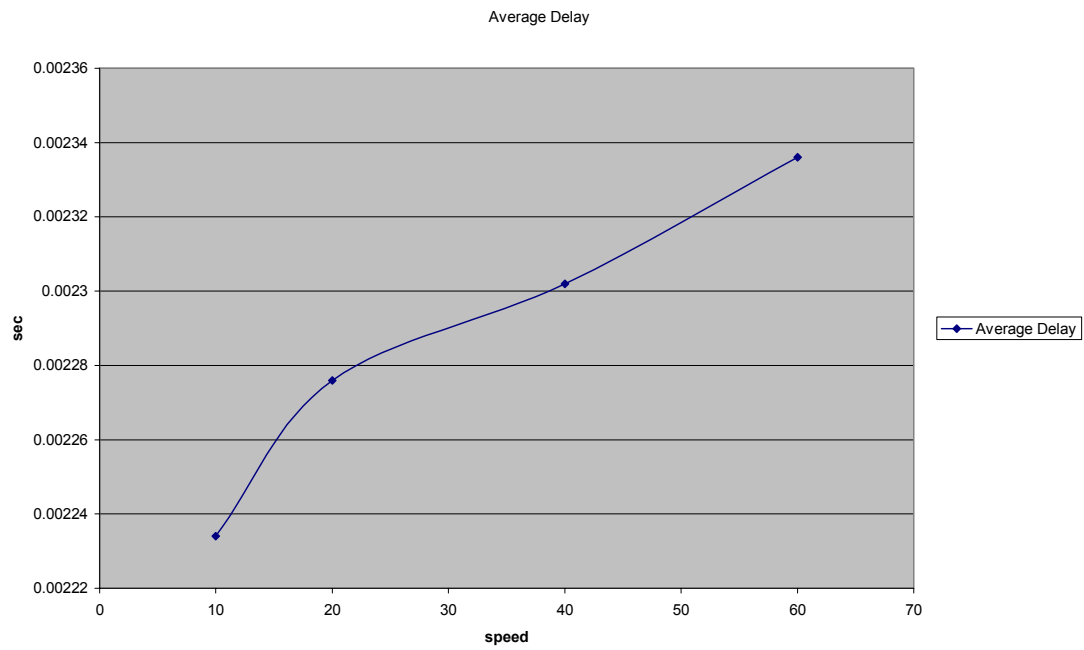
Σχήμα 7.3.1.1: CBR bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes



Σχήμα 7.3.1.2: CBR πακέτα που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes

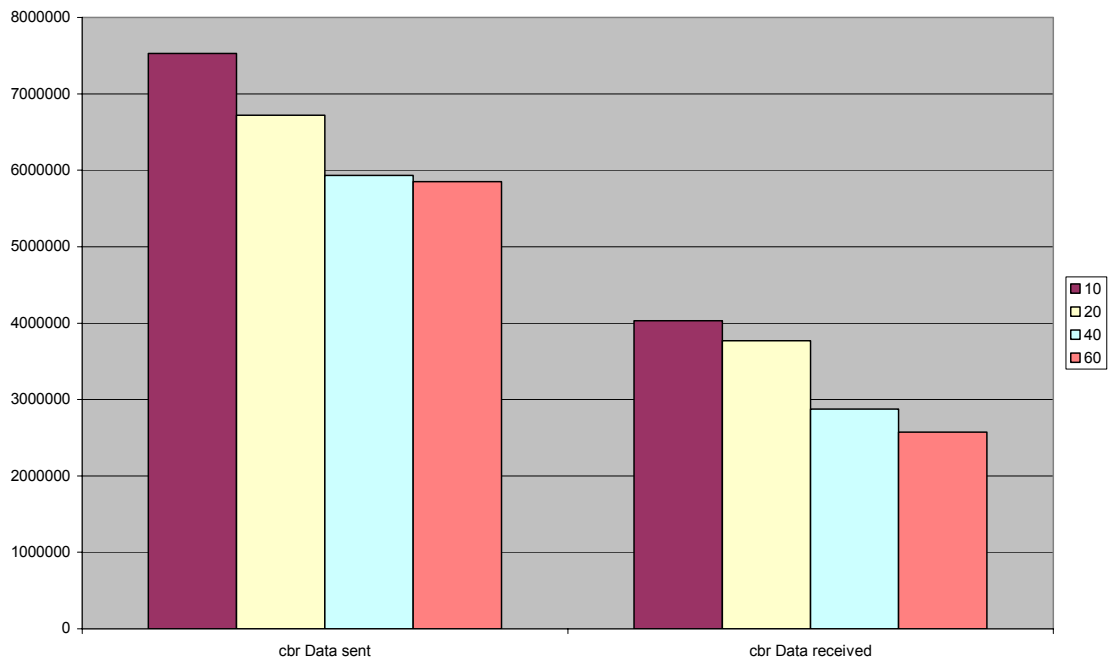


Σχήμα 7.3.1.3: UDP bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από το wired node

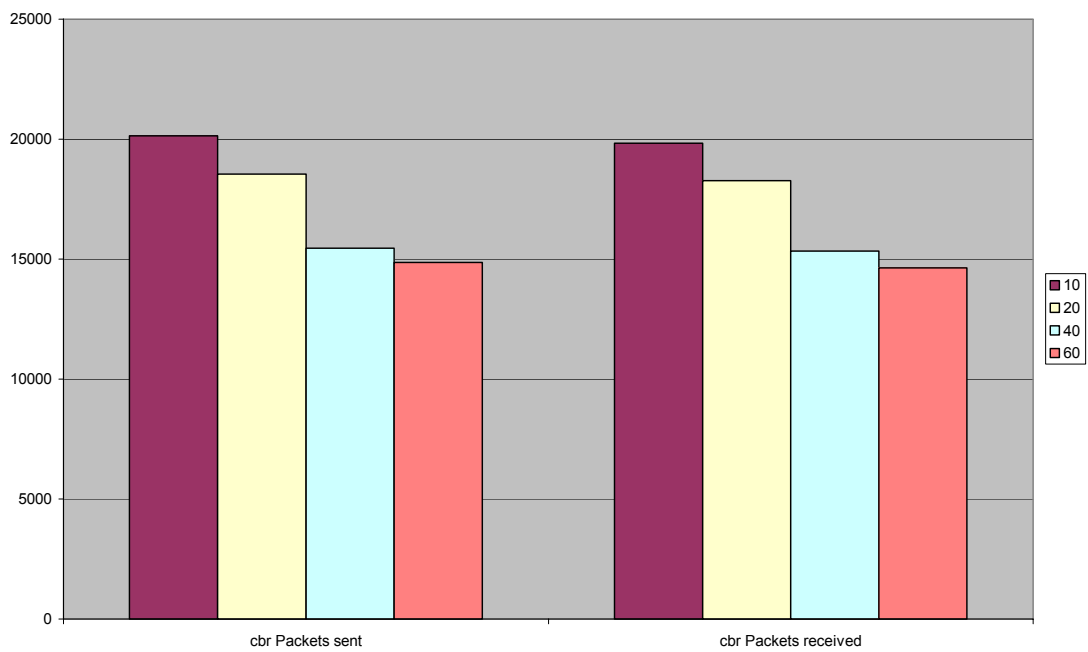


Σχήμα 7.3.1.4: Μέση καθυστέρηση πακέτου από node σε BS

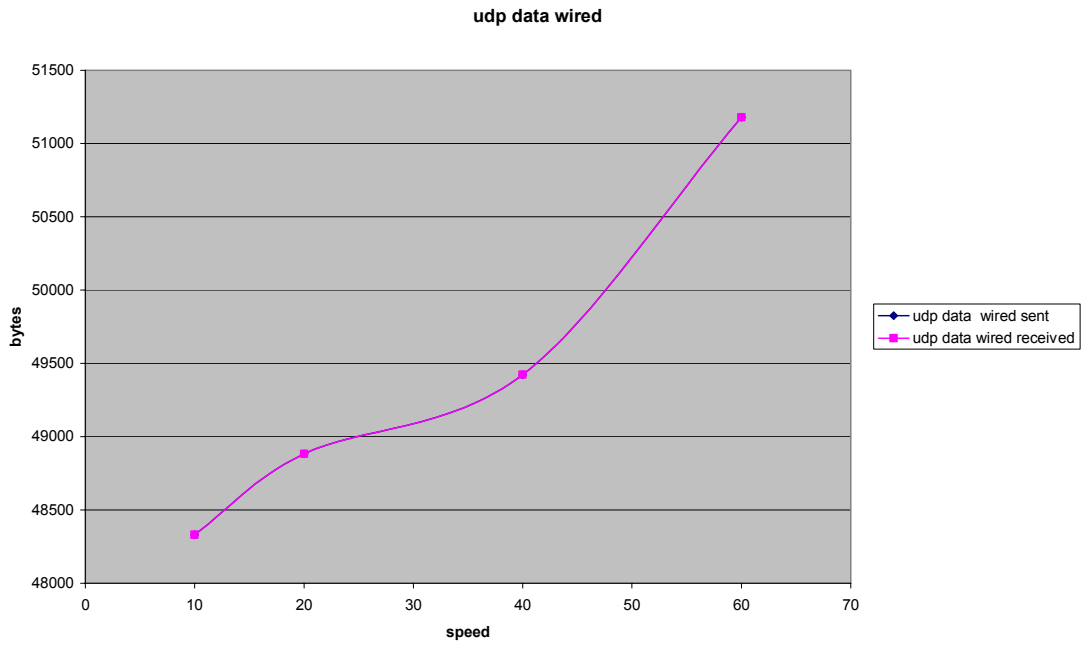
7.3.2 Για κίνηση 800 kbit/sec



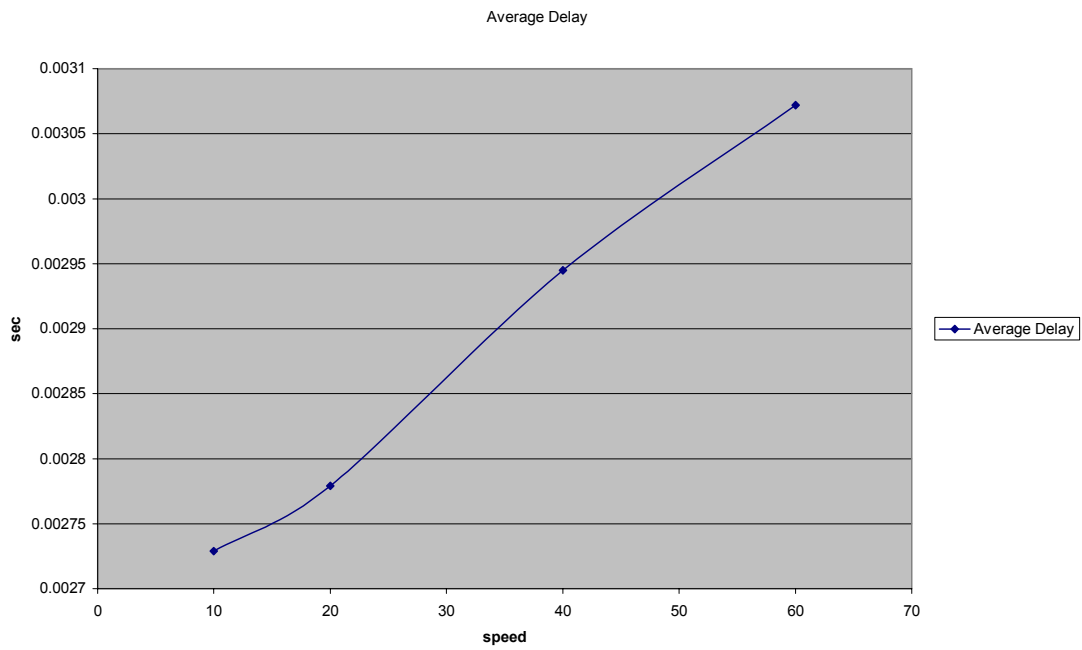
Σχήμα 7.3.2.1: CBR bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes



Σχήμα 7.3.2.2: CBR πακέτα που εστάλησαν και ελήφθησαν από τα nodes



Σχήμα 7.3.2.3: UDP bytes που εστάλησαν και ελήφθησαν από το wired node



Σχήμα 7.3.2.4: Μέση καθυστέρηση πακέτου από node σε BS

7.4 Συμπεράσματα

7.4.1 Μείωση των CBR bytes και πακέτων που αποστέλλουν και παραλαμβάνουν τα nodes

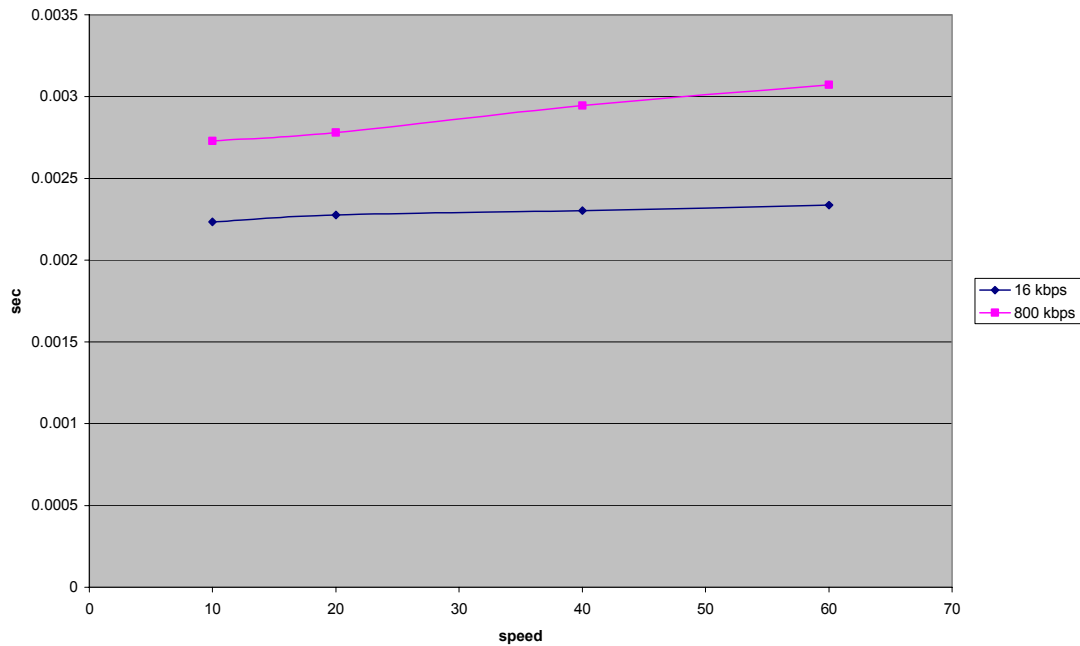
Η κίνηση CBR που αποστέλλεται και παραλαμβάνεται από τα nodes μειώνεται όσο η ταχύτητα τους αυξάνει. Αυτό είναι λογικό: Τα nodes σε κάθε περίπτωση προσπαθούν να προκαλέσουν την ίδια κίνηση. Όσο όμως κινούνται πιο γρήγορα, τόσο περισσότερες φορές κάνουν handoff με αποτέλεσμα όλο και περισσότερες φορές να μην έχουν σύνδεση είτε για να αποστείλουν πακέτα είτε για να παραλάβουν. Η μείωση βέβαια που φαίνεται στο γράφημα εντείνεται από το γεγονός ότι όσο λιγότερα πακέτα (και bytes) αποστέλλονται, λιγότερα θα παραληφθούν. Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι η κίνηση CBR δεν προϋποθέτει επανεκπομπή πακέτων σε περίπτωση αποτυχίας.

7.4.2 Αύξηση των UDP bytes που αποστέλλονται και παραλαμβάνονται από το wired node

Πρώτον, να σημειώσουμε πως το wired node προωθεί όλα τα bytes που λαμβάνει. Παρατηρούμε ότι όσο η ταχύτητα των nodes αυξάνει τόσο αυξάνονται τα UDP bytes που αποστέλλει (παραλαμβάνει). Εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση των 16 kbit/sec κίνησης στην ταχύτητα των 60 m/sec που μπορεί να οφείλεται στη τυχαία κατανομή θέσεων και κίνησης. Γενικά λοιπόν, αυτό που καταγράψαμε οφείλεται στο γεγονός ότι μεγαλύτερη ταχύτητα των nodes προκαλεί περισσότερα handoff στο διάστημα της προσομοίωσης, άρα και μεγαλύτερη κίνηση σηματοδοσίας η οποία καταγράφεται σε ένα μέρος από την UDP κίνηση του wired (δεν καταγράφεται το σύνολο της σηματοδοσίας γιατί για παράδειγμα δεν καταγράφονται τα διαφημιστικά μηνύματα των BSs).

7.4.3 Αύξηση της μέσης καθυστέρησης πακέτου από node σε BS

Παρατηρούμε την αύξηση της μέσης καθυστέρησης των πακέτων που αποστέλλονται από τα nodes στα BS όταν η κίνηση είναι μεγαλύτερη (800 kbit/sec) αλλά και μια μικρή αύξηση όταν αυξάνει η ταχύτητα των nodes.



Σχήμα 7.4.3.1: Σύγκριση μέσης καθυστέρησης

Το πρώτο οφείλεται βέβαια στο ότι όσο περισσότερο φορτωμένο και κατειλημμένο είναι το κανάλι τόσο περισσότερο αργούν τα πακέτα να φτάσουν στο BS. Το γεγονός ότι η καθυστέρηση αυξάνει λίγο όταν η ταχύτητα των nodes είναι μεγαλύτερη φαίνεται να ευθύνεται στην αυξημένη πιθανότητα να βρεθούν αρκετά nodes στο ίδιο BS. Στην αρχή της προσομοίωσης τα nodes είναι τυχαία μοιρασμένα στο χώρο και διάσπαρτα. Όταν αυτά κινούνται γρήγορα, αυξάνεται η πιθανότητα αρκετά από αυτά να βρεθούν στην ίδια κυψέλη για κάποιο χρονικό διάστημα. Έτσι, σε αυτό το διάστημα μπορεί το συγκεκριμένο κανάλι να παρουσιάζει ελαφρά μεγαλύτερη καθυστέρηση επειδή θα είναι σχετικά πιο επιβαρυνμένο.

8. Διαπομπή

Το κριτήριο που χρησιμοποιείται σήμερα από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αλλά και που προτείνεται από το πρωτόκολλο Mobile IP είναι το κριτήριο του ικανού για επικοινωνία σήματος: έστω ότι ένα MN πραγματοποιεί ανταλλαγή πακέτων μέσω του FA₁ και κινείται προς το FA₂. Όταν το σήμα από το FA₁ πέσει κάτω από ένα επίπεδο ενώ το σήμα από το FA₂ είναι επαρκές, το MN ξεκινά διαδικασία handoff.

Στη συνέχεια θα προτείνουμε τη δημιουργία μίας διαδικασίας που θα αποφασίζει πότε θα πρέπει να πραγματοποιείται μία διαπομπή.

8.1 Κριτήρια για απόφαση διαπομπής

8.1.1 Ποσοστό χρησιμοποίησης πόρων στο παλιό και στο υποψήφιο νέο δίκτυο

Ένα σημαντικό κριτήριο πρέπει να είναι η χρησιμοποίηση των πόρων (utilization) στο παλιό και στο υποψήφιο νέο δίκτυο (π.χ. το FA₂). Ο λόγος είναι προφανής: αν το FA₂ έχει πάρα πολλούς χρήστες και το ποσοστό της χρησιμοποίησης των πόρων του (utilization) είναι πολύ μεγάλο, το FA₂ δε θα μπορέσει να προσφέρει ποιοτική υπηρεσία στο MN. Αν ταυτόχρονα, το utilization στο FA₁ είναι μικρό, τότε ίσως το MN θα έπρεπε να παρατείνει τη διαμονή του στο FA₁ για κάποιο χρονικό διάστημα.

8.1.2 Καθυστέρηση διαπομπής

Η καθυστέρηση της διαπομπής πρέπει να αποτελεί κριτήριο για την απόφαση έναρξης της διαδικασίας. Στην περίπτωση που το MN γνωρίζει ότι βρίσκεται μακριά (είτε εννοώντας μεγάλο αριθμό hops είτε γεωγραφικώς μακριά) από το GFA, ίσως θα έπρεπε να αναβάλλει την απόφαση του. Η κεντρική ιδέα είναι ότι καλύτερα να καθυστερήσει τη διαδικασία μέχρι να διαπιστώσει μήπως ξαναγυρίσει προς το FA₁ παρά να πραγματοποιήσει αμέσως τη διαπομπή με αποτέλεσμα την απώλεια πακέτων (κρίσιμος παράγοντας ειδικά για real-time εφαρμογές).

Πιο συγκεκριμένα: για κάθε υπηρεσία υπάρχει ένα περιθώριο απώλειας πακέτων που είναι γνωστό ως παράθυρο. Αυτό το παράθυρο ορίζει το μέγεθος των δεδομένων που

είναι επιτρεπτό να χαθούν για να μη θεωρηθεί υποβαθμισμένη η υπηρεσία. Αν το MN υπολογίσει (με βάση τον αριθμό των hops και τη γεωγραφική απόσταση όπως ήδη έχουμε αναφέρει) τη καθυστέρηση της διαπομπής, μπορεί αυτομάτως, γνωρίζοντας το ρυθμός λήψης πακέτων, να γνωρίζει αν η απώλεια πακέτων υπερβαίνει τη χωρητικότητα του παραθύρου.

8.2 Καθορισμός συνάρτησης διαπομπής

8.2.1 Βάρη παραμέτρων

8.2.1.1 Ποσοστό χρησιμοποίησης εύρους ζώνης

Αυτή η παράμετρος έχει σπουδαία σημασία αν το utilization ενός από τα δύο BS είναι υψηλό. Αυτό συμβαίνει γιατί αν για παράδειγμα η διαφορά τους είναι μεγάλη (π.χ. της τάξεως του 20% επί του συνολικού εύρους ζώνης) αλλά και τα δύο έχουν χαμηλά ποσοστά χρησιμοποίησης (π.χ. 20% και 40%) η παράμετρος ίσως δεν πρέπει να παίξει πρωτεύοντα ρόλο στην απόφαση διαπομπής. Ωστόσο, αν τα ποσοστά είναι υψηλά (π.χ. 75% και 95%) είναι φανερό ότι η παράμετρος πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη. Λόγω των παραπάνω, προτείνουμε το βάρος ω_1 της συνάρτησης της διαπομπής να είναι δυναμικά μεταβαλλόμενο. Έτσι, με βάση το μεγαλύτερο utilization από τα δύο εμπλεκόμενα BS π.χ. το U_1 , θα καθορίζεται η τιμή του ω_1 . Αν:

- $U_1 < U_{\text{κατώφλι}}$ τότε $\omega_1 = \omega_{1,\min}$
- $U_1 > U_{\text{κατώφλι}}$ τότε $\omega_1 = \omega_{1,\max}$

Το $U_{\text{κατώφλι}}$ καθορίζεται με βάση αρκετές παραμέτρους όπως η κίνηση των χρηστών, το συνολικό εύρος ζώνης, το απαιτούμενο εύρος ζώνης των εφαρμογών.

8.2.1.2 Ισχύς σημάτων

Με όμοιο σκεπτικό, η παράμετρος αυτή έχει μεγάλη σημασία μόνο αν η ισχύς ενός εκ των δύο BS είναι αρκετά χαμηλή. Η λογική είναι ότι αν και τα δύο σήματα είναι αρκετά δυνατά, η παράμετρος αυτή θα έπρεπε να παίξει δευτερεύοντα ρόλο. Ωστόσο, αν η ισχύς από κάποιο BS είναι χαμηλή οπότε και υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης της υπηρεσίας, το βάρος της μεταβλητής θα πρέπει να είναι σημαντικό. Ομοίως με πριν, ορίζουμε την $T_{\text{κατώφλι}}$ ώστε με βάση το μικρότερο επίπεδο ισχύος από τα δύο BS π.χ. το T_1 να καθορίζεται η τιμή του ω_2 . Αν:

- $T_1 < T_{\text{κατώφλι}}$ τότε $\omega_2 = \omega_{2,\min}$
- $T_1 > T_{\text{κατώφλι}}$ τότε $\omega_2 = \omega_{2,\max}$

8.2.1.3 Καθυστέρηση διαπομπής

Η ανοχή στην καθυστέρηση διαπομπής εξαρτάται απόλυτα από την εφαρμογή. Όπως έχουμε επανειλημμένως αναφέρει, οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου είναι οι πλέον ευαίσθητες στον χρόνο σε αντίθεση με τις υπόλοιπες που είναι πιο ανεκτικές. Επειδή συνήθως οι εφαρμογές που προσφέρονται στους πελάτες είναι ποικίλες, προτείνουμε τη θέσπιση ενός μεταβαλλόμενου βάρους που θα είναι μικρότερο σε περίπτωση εφαρμογής ανεκτικής στο χρόνο, και μεγαλύτερο στην αντίθετη περίπτωση. Έτσι:

- αν η εφαρμογή είναι ευαίσθητη στο χρόνο τότε $\omega_3 = \omega_{3,\max}$
- αν είναι ανεκτική στο χρόνο τότε $\omega_3 = \omega_{3,\min}$

8.2.1.4 Κανονικοποίηση βαρών

Θα κανονικοποιήσουμε τα βάρη των μεταβλητών έτσι ώστε να ισχύει:

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$$

Υπάρχουν δύο τιμές για κάθε ένα βάρους, οπότε οι συνδυασμοί είναι $2^3=8$. Θεωρώντας και τις τρεις μεταβλητές εξίσου σημαντικές ορίζουμε:

$$\omega_{1\min} = \omega_{2\min} = \omega_{3\min} = \omega_{\min} \quad , \quad \omega_{1\max} = \omega_{2\max} = \omega_{3\max} = \omega_{\max}$$

Επίσης, ορίζουμε ότι το μέγιστο βάρος μιας μεταβλητής είναι διπλάσιο από το ελάχιστο, δηλαδή ότι:

$$\omega_{\max} = 2 * \omega_{\min}$$

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις για όλα τα πιθανά σενάρια, έχουμε:

ω_1	ω_2	ω_3	ω_{\min}	ω_{\max}
min	min	min	1/3	-
min	max	min	1/4	1/2
min	min	max	1/4	1/2
min	max	max	1/5	2/5
max	min	min	1/4	1/2
max	max	min	1/5	2/5
max	min	max	1/5	2/5
max	max	max	-	1/3

Με αυτόν τον τρόπο πετύχαμε:

- ✓ Όλες οι μεταβλητές να είναι επηρεάζουν ισόποσα τη συνάρτηση όταν κρίνονται εξίσου σημαντικές.
- ✓ Όταν κάποια παράμετρος ορίζεται, λόγω της τιμής της, σημαντική, να έχει διπλάσιο βάρος από κάποια που ορίζεται ως όχι τόσο σημαντική.

8.2.2 Τιμές μεταβλητών

Επειδή οι μεταβλητές έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης, θα τους αντιστοιχήσουμε κάποιες τιμές με κοινή μονάδα μέτρησης. Έτσι:

- Η θετική διαφορά U_2-U_1 (όπου $U_{1,2}$ είναι utilization επί του συνολικού εύρους ζώνης) που κυμαίνεται από 0% ως 100% αντιστοιχίζεται αναλογικά σε τιμές από 0 μέχρι 10 ενώ η αρνητική από -10 ως το 0. Για παράδειγμα, διαφορά $U_2-U_1 = 27\% * U$ θα πάρει την τιμή 2.7 ενώ αν $U_2-U_1 = -27\% * U$ την τιμή -2.7.
- Ορίζουμε τα T_1 και T_2 ως ποσοστά επί του μέγιστου σήματος $T_{\text{εκπομπής}}$ (που είναι βέβαια η ισχύς εκπομπής). Έτσι, ομοίως με πριν, η θετική διαφορά T_1-T_2 αντιστοιχίζεται στις τιμές 0-10 ενώ η αρνητική διαφορά στις τιμές -10 ως 0. Αν $T_1=67\% * T_{\text{εκπομπής}}$ και $T_2=51\% * T_{\text{εκπομπής}}$ τότε $T_1-T_2 = 16\% * T_{\text{εκπομπής}}$ και η τιμή θα είναι 1.6 ενώ αν είναι -16% θα είναι -1.6.
- Θεωρητικά το HL δεν έχει κάποια μέγιστη τιμή. Ωστόσο, θα πρέπει να ορίσουμε μία τιμή στην οποία θα αντιστοιχήσουμε τη μέγιστη τιμή 10. Γι'αυτό το λόγο ορίζουμε το $HL_{\text{κατώφλι}}$ ως τη τιμή για την οποία θεωρούμε ότι αναμένεται φανερή επιδείνωση της εφαρμογής. Ανάλογα με την εφαρμογή, το κατώφλι αυτό είναι διαφορετικό και ορίζεται ως $HL_{\text{κατώφλι,min}}$ για την περίπτωση βάρους $\omega_{3,min}$ και $HL_{\text{κατώφλι,max}}$ για όταν έχουμε $\omega_{3,max}$. Έτσι, αν το HL πάρει τιμή $37\% * HL_{\text{κατώφλι}}$ η τελική τιμή θα είναι 3.7 ενώ αν πάρει τιμή από $100\% * HL_{\text{κατώφλι}}$ και πάνω τη μέγιστη τιμή 10.

8.2.3 Τελική συνάρτηση διαπομπής

Ορίζουμε τα κανονικοποιημένα μεγέθη μας $U_{καν}$, $T_{καν}$, $HL_{καν}$ με πεδίο τιμών από -10 ως 10 για τα δύο πρώτα και 0 ως 10 για το τελευταίο. Έτσι, η συνάρτηση διαπομπής έχει τελική μορφή:

$$HD = \omega_1 * U_{καν} + \omega_2 * T_{καν} + \omega_3 * HL_{καν}$$

Απομένει να ορίσουμε το $HD_{κατώφλι}$ έτσι ώστε όταν:

- $HD < HD_{κατώφλι}$ αποφασίζεται η έναρξη της διαδικασίας διαπομπής
- $HD > HD_{κατώφλι}$ αποφασίζεται η αναβολή της διαπομπής

Αν $U_{καν}$, $T_{καν}$ έχουν πάρει τις τιμές 0, δηλαδή το utilization και η ισχύς σήματος είναι ίδια για τα δύο BS, απομένει μόνο η παράμετρος $HL_{καν}$ για να καθορίσει την τιμή του HD διάφορη του μηδενός. Αν λοιπόν επιλέξουμε ένα κατώφλι μεγαλύτερο του μηδενός, το MN θα εκτελέσει διαπομπή αν το μέγεθος $\omega_3 * HL_{καν}$ είναι μικρότερο αυτού. Βασιζόμενοι στην ιδέα ότι δεν υπάρχει λόγος να γίνει handoff αν δεν υπάρχει κέρδος είτε σε ισχύς σήματος είτε σε διαθεσιμότητα εύρους ζώνης που να αντισταθμίζει το δυσάρεστο γεγονός της καθυστέρησης διαπομπής, θεωρούμε ότι το $HD_{κατώφλι}$ πρέπει να είναι περίπου ίσο με το μηδέν.

Σημειώνουμε εδώ, πως η συνάρτηση διαπομπής εκτελείται κάθε φορά που το MN λαμβάνει διαφήμιση από νέο BS, διαφήμιση η οποία περιέχει τις τιμές για όλες τις απαιτούμενες μεταβλητές. Η μεταβλητή που είναι η πιο δύσκολη να μετρηθεί είναι η καθυστέρηση διαπομπής. Μία λύση είναι κάθε BS στις διαφημίσεις του να περιέχει ένα πίνακα των γειτονικών του BS (που θα ανανεώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα) με ενδεικτικές τιμές καθυστέρησης διαπομπής με βάση γεωγραφικά στοιχεία αλλά και στοιχεία διασύνδεσης αυτών (μην ξεχνάμε ότι οι BS είναι σταθεροί και συνδέονται ενσύρματα μεταξύ τους είτε απευθείας είτε μέσω γονέων π.χ. στο ιεραρχικό μοντέλο μέσω των GFAs). Ίσως αυτή η ενδεικτική τιμή θα πρέπει να επηρεάζεται και από τη χρησιμοποίηση των πόρων του καθώς όταν μεγαλώνει το utilization αυξάνει συνήθως και η καθυστέρηση.

8.2.4 Αναγκαστική έκβαση απόφασης διαπομπής

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η διαπομπή πρέπει υποχρεωτικά να λάβει μέρος ή να μην λάβει. Ας δώσουμε ένα παράδειγμα. Έστω ότι $U_2 - U_1 = 80\%$ και $T_1 - T_2 = -10\%$.

Συνειδητοποιούμε πως σημαντικότερο ρόλο στην απόφαση θα έχει η διαφορά στην χρησιμοποίηση πόρων (ακόμα και αν $\omega_1 = \omega_{1,\min}$ και $\omega_2 = \omega_{2,\max}$). Μπορεί όμως αυτή η διαφορά να οφείλεται σε τιμές π.χ. $U_1 = 0$ και $U_2 = 80\% U$, ενώ παράλληλα το $20\% U$ που απομένει να είναι πολλαπλάσιο της ανάγκης του χρήστη. Ταυτόχρονα, μπορεί το $T_2 = 10 * T_{\text{εκπομπής}}$ ενώ $T_1 = 0$, δηλαδή το T_1 να μην είναι ικανό σε ισχύ σήμα για τον χρήστη.

Έτσι, ακόμα και αν τα νούμερα στη συνάρτηση διαπομπής δεν το υποστηρίζουν, πολλές φορές είναι αναγκαίο να γίνει διαπομπή ή και στην αντίθετη περίπτωση, να μη γίνει. Γι' αυτό πρέπει να ορίσουμε κάποια κατώφλια στις τιμές των μεταβλητών, έτσι ώστε όταν αυτά καταπατώνται να παρακάμπτεται η συνάρτηση διαπομπής και να λαμβάνεται η αντίστοιχη απόφαση.

Τα κατώφλια αυτά είναι τρία, ένα για κάθε μεταβλητή, και η παραβίαση τους από κάποιο BS οδηγεί αυτομάτως στην εξυπηρέτηση του χρήστη από το άλλο BS:

- Το ελεύθερο εύρος ζώνης δεν είναι αρκετό για την εφαρμογή του χρήστη
- Το σήμα δεν έχει την απαραίτητη ισχύ για παράδοση υπηρεσίας
- Η καθυστέρηση διαπομπής είναι υπερβολικά μεγάλη

Παραβίαση κατωφλίων και από τα δύο BS οδηγεί στη συνάρτηση διαπομπής (εξάλλου κανένα BS δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τον χρήστη).

9. Παράμετροι επίδοσης στο ιεραρχικό μοντέλο

9.1 Σχετικές Εργασίες

Το ιεραρχικό μοντέλο HMIP που προτάθηκε από την IETF καταφέρνει σε μεγάλο βαθμό να περιορίσει την σηματοδοσία που προκαλείται με βάση το απλό Mobile IP. Από τότε, διάφορες προτάσεις έχουν διατυπωθεί για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση αυτής της κεντρικής ιδέας. Μία αξιόλογη ιδέα είναι το πρωτόκολλο DHMIP (dynamic HMIP) που προβλέπει δυναμικό καθορισμό των GFAs και όχι τη σταθερή επιλογή τους. Το μέγεθος της αλυσίδας είναι διαφορετικό για κάθε MN και εξαρτάται από το μέγεθος Call to Mobility Rate (CMR).

9.2 Κεντρική Ιδέα

Με το ιεραρχικό μοντέλο γίνεται το πρώτο σημαντικό βήμα για την επίτευξη μικρότερης σηματοδοσίας και μικρότερης handoff καθυστέρησης επειδή κατά τη διαπομπή ενός MN από το παλιό στο νέο FA (όταν αυτά βρίσκονται κάτω από το ίδιο GFA) δεν χρειάζεται να ενημερωθεί ο HA και το handoff διαχειρίζεται τοπικά.

Από τα δύο παραπάνω μεγέθη αυτό που έχει τη μεγαλύτερη σημασία να μειωθεί είναι η handoff καθυστέρηση η οποία δημιουργεί προβλήματα κυρίως στις ευαίσθητες, real time εφαρμογές. Η σηματοδοσία παίζει σημαντικό ρόλο καθώς μεγαλύτερη σηματοδοσία σημαίνει και μεγαλύτερη σπατάλη διαθέσιμων πόρων, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί τόσο κρίσιμο μέγεθος όσο η καθυστέρηση της διαπομπής.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τις παράμετρους που θεωρούμε ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίδοση του ιεραρχικού μοντέλου και με βάση τα συμπεράσματα μας, θα προτείνουμε στο επόμενο κεφάλαιο ένα νέο τρόπο δυναμικής επιλογής των GFAs που θα αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του soft handoff latency.

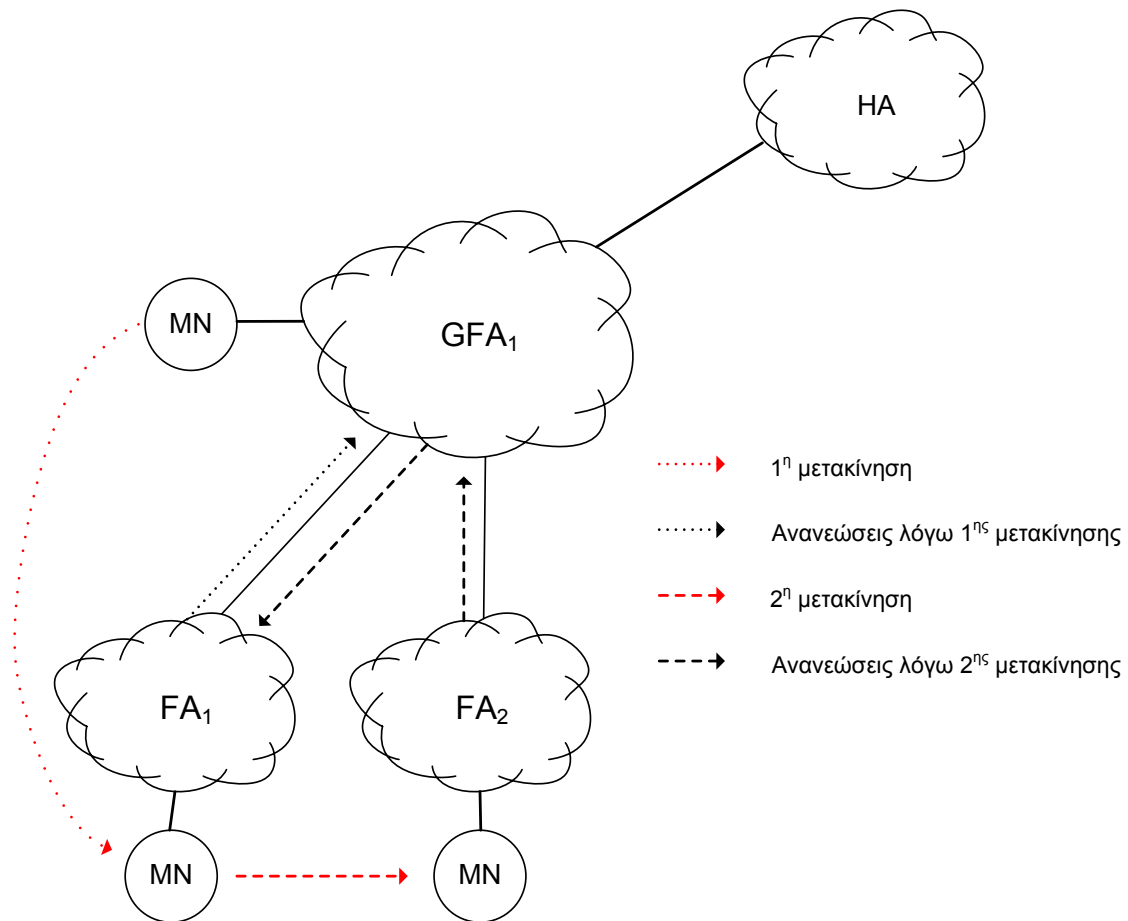
9.3 Καθυστέρηση διαπομπής

Θα δειχθεί πως η καθυστέρηση διαπομπής εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων που έχει να διανύσει το μήνυμα ανανέωσης αλλά και από τη γεωγραφική απόσταση των εμπλεκομένων FAs (συμπεριλαμβανομένου του GFA).

9.3.1 Αριθμός των κόμβων (hops)

Ας θεωρήσουμε προς στιγμή ότι η επόμενη μετακίνηση του MN θα είναι εντός του ίδιου δικτύου, δηλαδή θα εξυπηρετείται από τον ίδιο GFA. Ας δούμε το επόμενο παράδειγμα όπου το GFA (που λειτουργεί κανονικά ως FA) εξυπηρετεί δύο FAs. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις:

- 1) Το GFA να είναι το παλιό ή το νέο FA για το MN. Οι δύο υποπεριπτώσεις αυτές είναι όμοιες (όσον αφορά τον αριθμό των hops για την ειδοποίηση του προηγούμενου FA) και γι' αυτό θα εξετάσουμε μία από αυτές π.χ. την περίπτωση που το MN φεύγει από το GFA και πάει στο FA₁ (1^η μετακίνηση)
- 2) Το GFA δεν είναι ούτε το παλιό ούτε το νέο FA για το MN. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή το MN έχει μετακινηθεί από ένα απλό FA σε ένα άλλο π.χ. από το FA₁ στο FA₂.



Σχήμα 9.3.1.1: Ανανεώσεις διαπομπής σε ιεραρχικό μοντέλο

Παρατηρούμε ότι στην 1^η περίπτωση το μήνυμα ανανέωσης έχει να διανύσει ένα hop (από το FA₁ στο GFA) ενώ στη δεύτερη περίπτωση δύο hop (από το FA₂ στο GFA και στο FA₁). Είναι φανερό ότι η καθυστέρηση διαπομπής είναι μεγαλύτερη όταν ο αριθμός των κόμβων που πρέπει να περάσει το μήνυμα ανανέωσης είναι μεγαλύτερος.

Ας δούμε σε αυτό το σημείο με λεπτομέρεια τη διαδικασία του handoff. Καθώς το MN μετακινείται προς το νέο FA αρχίζει και λαμβάνει τα μηνύματα-διαφημίσεις του. Σύμφωνα με τα κριτήρια διαπομπής που έχουν επιλεγεί, το MN μπορεί να αποφασίσει τη διαπομπή. Τότε το MN θα αποκοπεί από το παλιό FA και θα στείλει μήνυμα εγγραφής (registration message) στο νέο FA. Το νέο FA θα

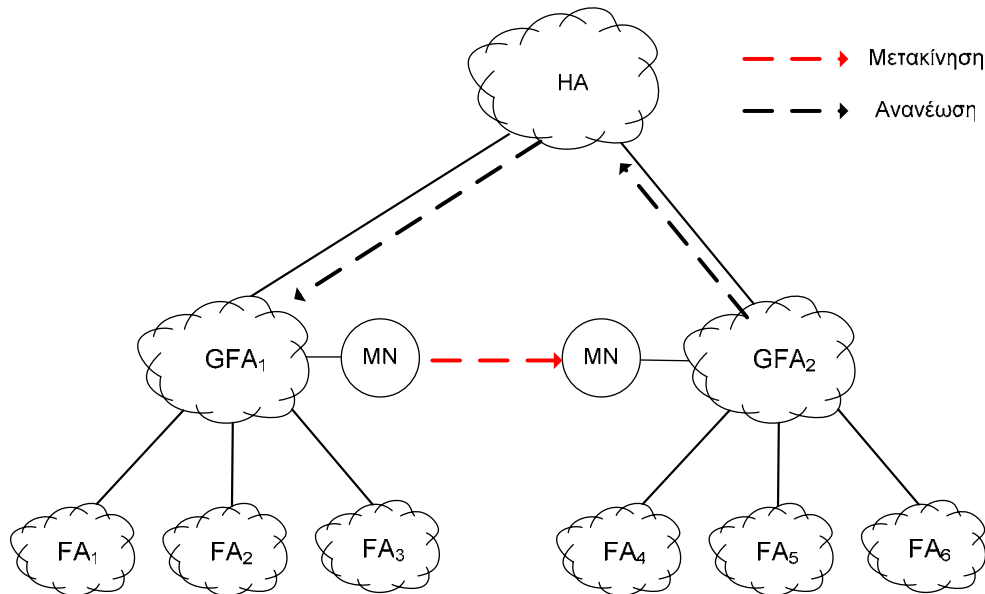
απαντήσει με μία επαλήθευση του μηνύματος εγγραφής με το οποίο στην ουσία θα του ανακοινώνει την επιτυχή εγγραφή του. Στη συνέχεια, το καινούριο FA πρέπει να ειδοποιήσει το GFA ότι εξυπηρετεί πλέον τον συγκεκριμένο χρήστη έτσι ώστε το GFA να προωθεί τα πακέτα στο σωστό FA. Επίσης, για λόγους περιορισμού των απολεσθέντων πακέτων (smooth handoff) το GFA πρέπει να ενημερώσει το παλιό FA ώστε το δεύτερο να προωθεί όσα πακέτα του είχαν έρθει και δεν είχε προλάβει να παραδώσει απευθείας στο MN, στο νέο FA.

Η ενημέρωση του προηγούμενου FA έχει πολύ θετικά αποτελέσματα (όχι όμως σε κίνηση real-time όπου τα πακέτα πρέπει να έρχονται με την ίδια σειρά διότι εκεί τα ετεροχρονισμένα πακέτα απορρίπτονται). Αυτό συμβαίνει για τον εξής λόγο: από τη στιγμή που το MN αποκόπτει τη σύνδεση του με το παλιό FA, το τελευταίο αποθηκεύει τα πακέτα που του έρχονται από το GFA και που δε μπορεί να παραδώσει στον χρήστη. Από εκείνη τη χρονική στιγμή μέχρι η νέα σύνδεση του MN να ανακοινωθεί στο GFA, το MN δεν λαμβάνει κανένα πακέτο. Όλα αυτά τα πακέτα που έχουν σταλεί σε λάθος FA (γιατί ο GFA δεν είχε προλάβει να ενημερωθεί) βρίσκονται αποθηκευμένα στο παλιό FA. Έτσι, όταν αυτό το FA πληροφορηθεί το νέο FA του MN, τα επαναπροωθεί μέσω του GFA στο νέο FA για να καταλήξουν στο MN.

Ωστόσο, το παλιό FA μπορεί να αποθηκεύσει περιορισμένο αριθμό πακέτων. Έτσι, συνειδητοποιούμε τη σημασία της γρήγορης ενημέρωσής του, όπου ο αριθμός των hops παίζει κρίσιμο ρόλο.

Αφού εξετάσαμε λίγο τη διαδικασία του handoff ως θεωρήσουμε στη συνέχεια ότι η μετακίνηση του MN γίνεται σε νέο δίκτυο. Όσον αφορά το παλιό σημείο σύνδεσης του MN αυτό θα ήταν είτε FA είτε GFA. Ομοίως, το νέο σημείο σύνδεσης του MN θα είναι είτε FA είτε GFA. Υπάρχουν δηλαδή τέσσερις περιπτώσεις.

Όπως και να έχει, το μήνυμα ανανέωσης θα περάσει τουλάχιστον από δύο hops, τον HA και ένα GFA. Αυτή είναι η περίπτωση όπου το MN μετακινήθηκε από ένα GFA σε άλλο. Για παράδειγμα, βρισκόταν στο GFA_1 και πήγε στο GFA_2 .



Σχήμα 9.3.1.2: Μετακίνηση από GFA σε GFA

Είναι φανερό πως αν εμπλέκεται ένα FA ως παλιό ή νέο FA τότε ο αριθμός των hops αυξάνει κατά ένα (σύνολο τρία), ενώ άμα εμπλέκονται δύο FAs (παλιό και νέο FA) αυξάνεται κατά δύο (σύνολο τέσσερα).

Γενικά λοιπόν, όταν το MN βρίσκεται σε GFA και μετακινηθεί εντός ή εκτός δικτύου θα έχει μικρότερη καθυστέρηση από το αν βρισκόταν σε ένα απλό FA. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η επιλογή των GFAs θα πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψιν τη συγκέντρωση των χρηστών, δηλαδή τα FAs που έχουν μεγάλη συγκέντρωση χρηστών να έχουν μεγάλες πιθανότητες να γίνουν GFAs.

9.3.1.1 Περίπτωση εφαρμογών πραγματικού χρόνου ή σκληρής διαπομπής

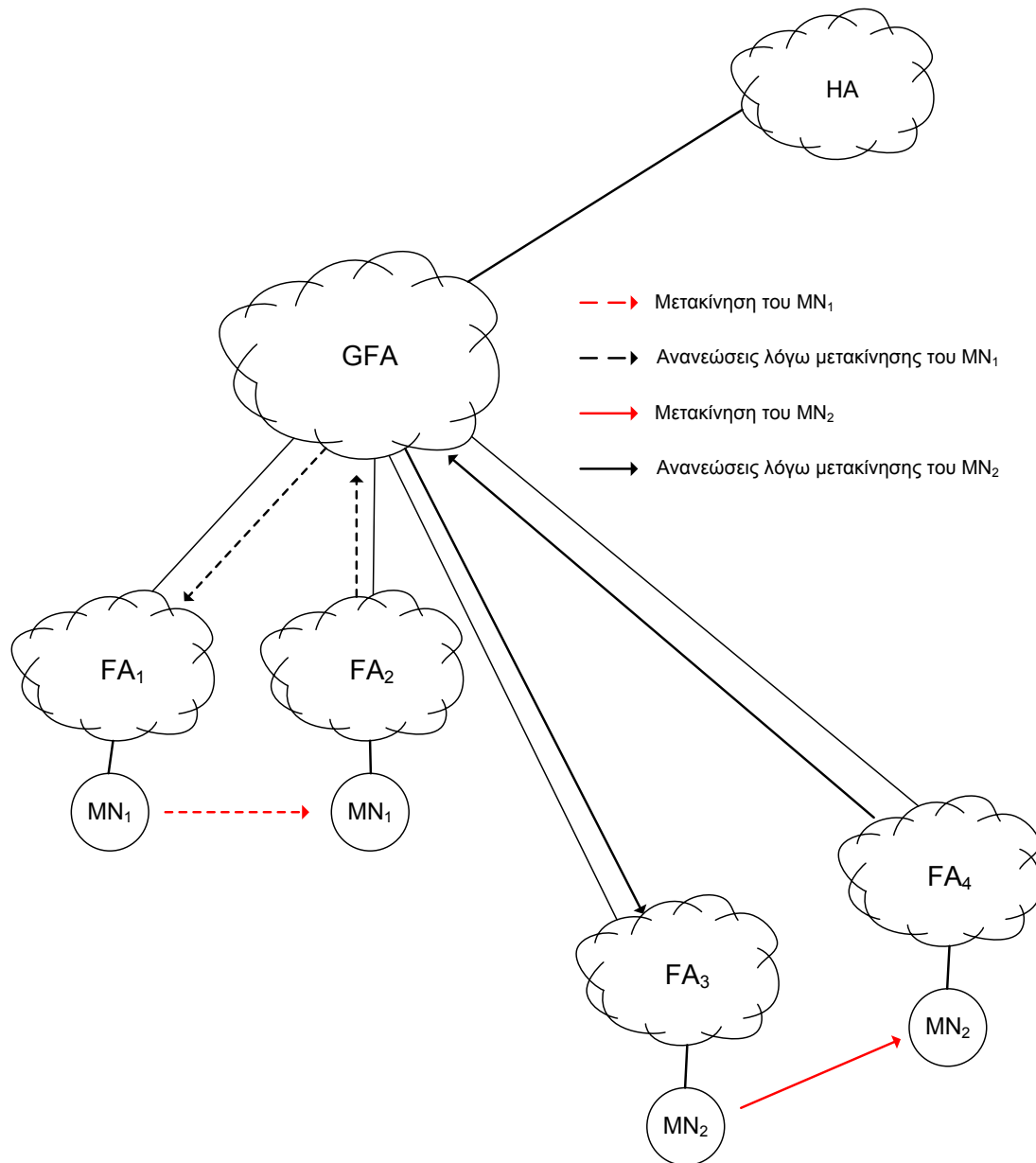
Σε αυτές τις εφαρμογές, η επαναπροώθηση δεδομένων από το παλιό FA στο νέο δεν έχει σημασία γιατί τελικά τα δεδομένα αυτά θα απορριφθούν. Όταν ο χρήστης πραγματοποιήσει handoff, αυτό που ενδιαφέρει είναι η όσο το δυνατόν πιο γρήγορη ενημέρωση του crossover router, όπως είχαμε αναφέρει και στο Cellular IP. Αυτό δηλαδή που έχει σημασία, είναι η προώθηση των νέων δεδομένων στο σωστό μονοπάτι. Τα παλιά δεδομένα (αυτά που παραδόθηκαν στο παλιό FA ενώ το MN είχε

μετακινηθεί) είναι άχρηστα. Για παράδειγμα, στην video-κλήση όπου οι εικόνες πρέπει να έχουν συνέχεια και χρονολογική σειρά, τα παλιά δεδομένα που έρχονται από το παλιό FA απορρίπτονται αφού φτάνουν μετά τα πρώτα νέα πακέτα που έστειλε το νέο FA.

Έτσι, στις real-time εφαρμογές δεν έχει σημασία ο συνολικός αριθμός των hops αλλά ο αριθμός των hops μέχρι τον crossover router. Ο αριθμός των hops μέχρι τον crossover router εξαρτάται από την τελική θέση του MN και όχι από το αν βρίσκεται σε FA ή σε GFA. Έτσι, η πρόταση που διατυπώθηκε δεν έχει θετικές επιπτώσεις για αυτές τις εφαρμογές. Ομοίως, στις hard διαπομπές δεν χρειάζεται να ενημερωθεί ο παλιός FA. Χρειάζεται μόνο να ενημερωθεί ο crossover router.

9.3.2 Γεωγραφική απόσταση

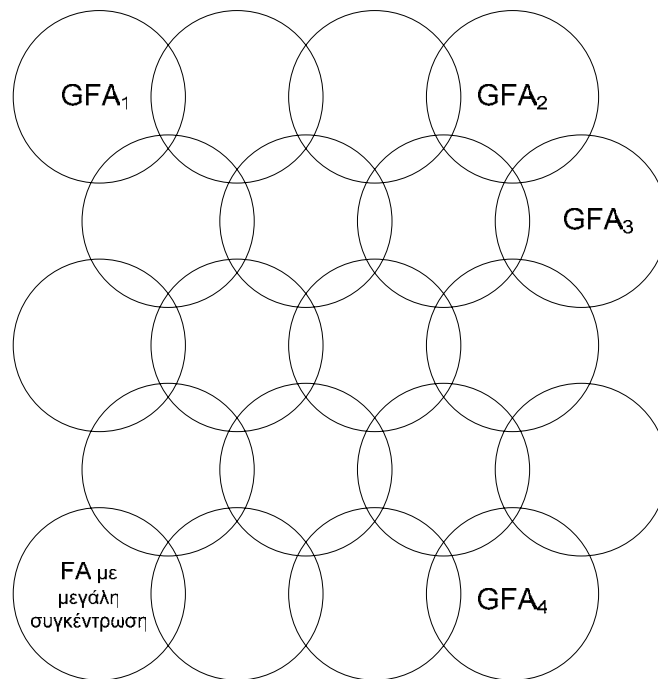
Ας θεωρήσουμε τις παρακάτω περιπτώσεις όπου τα FA₁, FA₂ είναι γεωγραφικά κοντά στο GFA τους ενώ τα FA₃, FA₄ είναι γεωγραφικά μακριά από το δικό τους GFA:



Σχήμα 9.3.2.1: Γεωγραφική απόσταση FAs

Παρατηρούμε ότι οι μετακινήσεις του MN₁ και του MN₂ είναι πανομοιότυπες. Και οι δύο ανανεώσεις που προκαλούνται έχουν να διανύσουν απόσταση δύο hops. Ωστόσο, είναι φανερό πως η καθυστέρηση διαπομπής για το handoff του MN₂ θα είναι μεγαλύτερη καθώς το μήνυμα θα αργήσει περισσότερο να διανύσει μία μεγαλύτερη απόσταση. Ειδικότερα στις real-time εφαρμογές, η γεωγραφική απόσταση του νέου FA με το GFA παίζει ρυθμιστικό ρόλο, καθώς όσο πιο γρήγορα ειδοποιηθεί ο GFA τόσο νωρίτερα θα στέλνει πακέτα στο σωστό FA (θυμίζουμε ότι στις εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στο χρόνο, τα πακέτα που πηγαίνουν στο παλιό FA ενώ το MN έχει ήδη μετακομίσει, απορρίπτονται). Συνειδητοποιούμε λοιπόν πως

θα πρέπει η επιλογή των GFAs να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνει υπόψη τη γεωγραφική απόσταση των FAs από τα επιλεγμένα GFAs. Εάν δεν συμβεί αυτό, ένα ποσοστό των χρηστών και συγκεκριμένα των χρηστών που βρίσκονται σε δίκτυο απομακρυσμένο από τον GFA θα απολαμβάνει κακή ποιότητα υπηρεσίας κατά την διάρκεια της διαπομπής. Αυτό το ποσοστό μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο σε σύγκριση με το συνολικό πληθυσμό. Ας δούμε το επόμενο παράδειγμα:



Σχήμα 9.3.2.2: Απομακρυσμένος FA με μεγάλη συγκέντρωση χρηστών

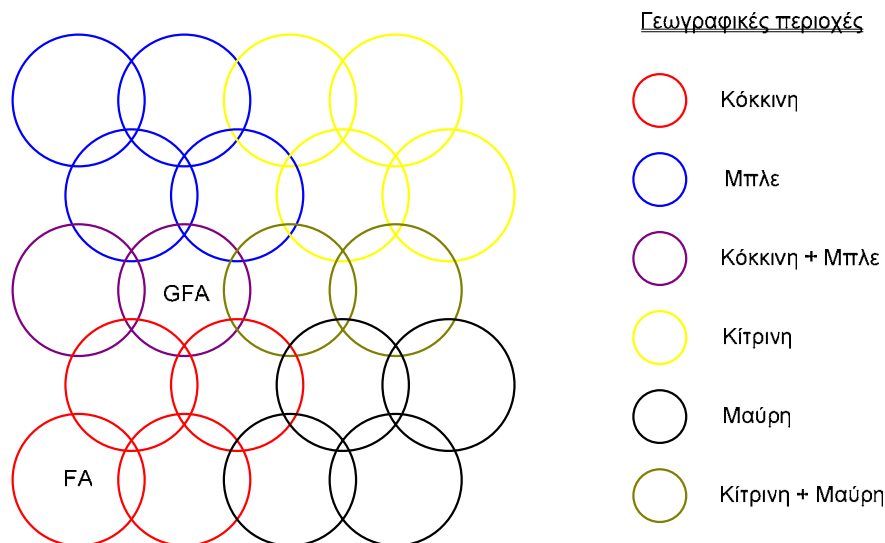
Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε μία πιθανή επιλογή GFAs με μοναδικό κριτήριο τη συγκέντρωση των χρηστών. Να εξηγήσουμε πως μπορεί αυτό να συνέβη. Έστω ότι έχουμε 20 FAs και πρέπει να επιλέξουμε τους 4 για GFAs. Οι συνολικοί χρήστες είναι X . Ας πάρουμε την ακραία περίπτωση κατά την οποία όλοι οι FAs που βλέπουμε ως κενούς κύκλους έχουν μηδενική συγκέντρωση χρηστών. Ας θεωρήσουμε ότι όλοι οι υπόλοιποι έχουν περίπου $X/5$. Ας πούμε για παράδειγμα ότι οι GFA 1,2,4 έχουν $(\frac{X}{5} + 1)$ χρήστες, ο GFA 3 έχει $(\frac{X}{5} - 1)$, τότε ο FA θα έχει $(\frac{X}{5} - 2)$. Τότε οι χρήστες που είναι σε αυτόν τον FA (και αποτελούν σχεδόν το 20 % των χρηστών!) έχουν μεγάλη γεωγραφική απόσταση (~5,25 φορές την εμβέλεια) από το πιο κοντινό GFA, με αποτέλεσμα τη μεγάλη καθυστέρηση διαπομπής. Η απόδοση του συνολικού δικτύου σε αυτή την περίπτωση θα ήταν βέλτιστη αν το FA με τη

μεγάλη συγκέντρωση χρηστών γινόταν GFA και ο GFA 3 γινόταν απλός FA και εξυπηρετούταν από το GFA 2 (ή ανάποδα). Τότε η γεωγραφική απόσταση των χρηστών του πρώην GFA 3 από το πιο κοντινό GFA (το GFA 2) θα ήταν ~1,75 φορές η εμβέλεια.

Η τοπολογία αυτή είναι θεωρητική και σίγουρα δεν μπορεί να αντικατοπτρίσει τα πραγματικά δίκτυα. Ωστόσο, μας δείχνει το πρόβλημα που δημιουργείται αν η επιλογή των GFAs επαφίεται μόνο στο κριτήριο της συγκέντρωσης των χρηστών.

9.3.2.1 Πρόταση για συνυπολογισμό του γεωγραφικού κριτηρίου

Προτείνεται ο διαχωρισμός της τοπολογίας σε γεωγραφικές περιοχές. Κάθε γεωγραφική περιοχή θα έχει υποχρεωτικά ένα GFA το οποίο θα επιλέγεται με βάση το κριτήριο της συγκέντρωσης χρηστών σε αυτή τη περιοχή. Δηλαδή κάθε περιοχή θα έχει ως GFA το FA της περιοχής με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση χρηστών. Σημειώνουμε ότι οι γεωγραφικές περιοχές θα μπορούσαν να είναι και επικαλυπτόμενες. Για παράδειγμα, ακολουθεί μία πιθανή γεωγραφική επικαλυπτόμενη κατανομή GFAs στη τοπολογία μας:



Σχήμα 9.3.2.1.1: Γεωγραφικές Περιοχές GFA

Με τη συγκεκριμένη κατανομή, η μεγαλύτερη γεωγραφική απόσταση που θα μπορούσε να έχει ο FA από το GFA του είναι ~3,5 φορές η εμβέλεια. Με την

πρόταση μας αυτή προστατεύονται σε μεγάλο βαθμό περιοχές που είναι απομακρυσμένες από τις περιοχές που εδρεύουν οι GFAs.

9.4 Επιλογή αριθμού GFA

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ο καθορισμός του αριθμού των GFAs σε μία τοπολογία που συνεπάγεται και τον καθορισμό του αριθμού των FAs που θα εξυπηρετεί κάθε GFA.

Αν επιλεγεί υπερβολικά μεγάλος αριθμός GFA:

- * Θα γίνεται πολύ συχνά διαπομπή μεταξύ δικτύων που εξυπηρετούνται από διαφορετικό GFA με αποτέλεσμα τη συχνή ενημέρωση του HA και τον μεγάλο αριθμό hops από παλιό σε νέο FA.
- * Καταργείται στην ουσία η έννοια του ιεραρχικού μοντέλου

Αν επιλεγεί υπερβολικά μικρός αριθμός GFAs:

- * Κάθε GFA θα απέχει γεωγραφικά πολύ από τα FAs που εξυπηρετεί
- * Η αναζήτηση στη βάση δεδομένων του GFA θα είναι αργή (λόγω φόρτου εργασίας)
- * Σε περίπτωση αποτυχίας θα επηρεάζονται προσωρινά αρκετά FAs

Γι' αυτό η επιλογή πρέπει να είναι προσεκτική και με κριτήρια τα χαρακτηριστικά της τοπολογίας (μέγεθος, απομακρυσμένες περιοχές, συγκέντρωση χρηστών κ.ά.). Για παράδειγμα, ένα άλλο κριτήριο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο καθώς η ύπαρξη εφαρμογών ευαίσθητων στην καθυστέρηση διαπομπής έχουν απαίτηση για μικρό handoff latency σε αντίθεση με άλλου τύπου εφαρμογές όπως data downloads.

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι το μέγεθος των GFAs, FAs εξαρτάται κυρίως από τη συγκέντρωση χρηστών και τα περιθώρια διευθυνσιοδότησης.

9.5 Πρόταση δυναμικής επιλογής των GFAs

Για τη δυναμική επιλογή των GFAs θα βασιστούμε σε δύο παραμέτρους που εξετάσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τη συγκέντρωση των χρηστών και τη

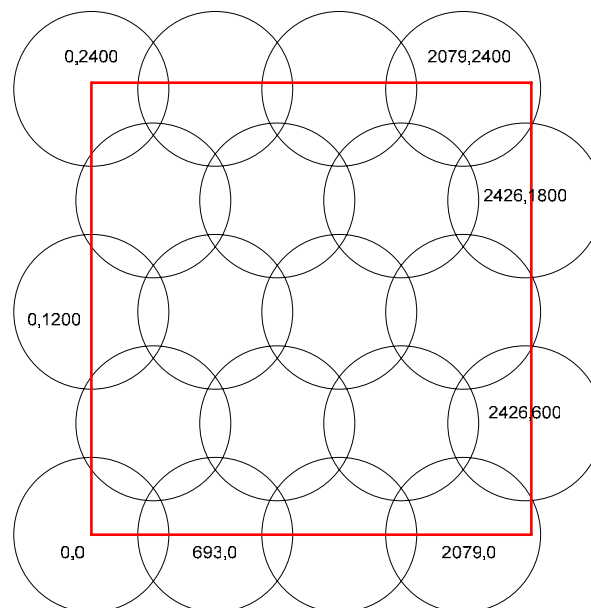
γεωγραφική απόσταση. Πρώτα όμως θα καθορίσουμε τον αριθμό των GFAs στην τοπολογία μας. Να τονισθεί ότι με την επιλογή του αριθμού των GFA θεωρούμε και ίσο αριθμό γεωγραφικών περιοχών κάθε μία από τις οποίες θα εξυπηρετείται ακριβώς από ένα GFA. Αυτή η επιλογή είναι συνειδητή με βάση την πρόταση μας στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός μηχανισμού σε κάποιο σταθερό node που θα ενημερώνεται από τα BS για την συγκέντρωση των χρηστών τους. Θεωρώντας πως ήδη από τον χωρισμό των γεωγραφικών περιοχών αυτό το node θα γνωρίζει και πόσο απέχουν όλα τα FAs μεταξύ τους, θα κρίνει μέσω της συνάρτησης επιλογής των GFA ποιά FAs θα εκτελούν χρέη GFA.

Για την ανάγκη παραδείγματος ας θεωρήσουμε την παρακάτω τοπολογία.

9.5.1 Τοπολογία

Θεωρούμε μία τετραγωνική τοπολογία που καλύπτεται από 20 BS. Τα BS έχουν την ίδια εμβέλεια και βρίσκονται ανά τρία σε κορυφές ισοπλευρών τριγώνων. Η πλήρης κάλυψη επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο: αν θεωρήσουμε ότι η εμβέλεια κάθε BS είναι 400 μέτρα, οι συντεταγμένες μερικών BS θα δίνονται από το παρακάτω σχήμα:

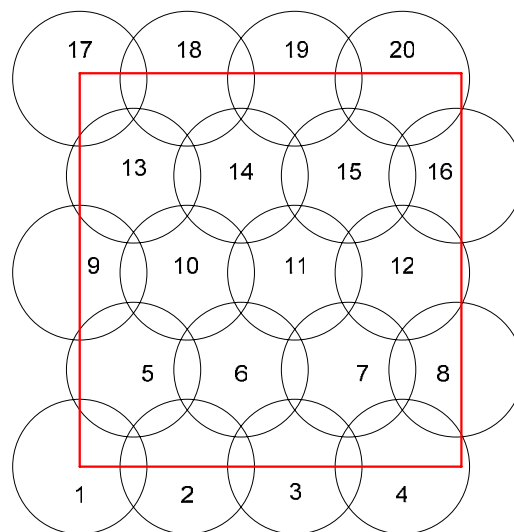


Σχήμα 9.5.1.1: Τετραγωνική τοπολογία

Για να περιλαμβάνονται όλα τα BS επιλέγουμε τετραγωνική τοπολογία διαστάσεων 2430*2430 που θα έχει ως αποτέλεσμα κάλυψη σε κάθε σημείο της.

9.5.2 Επιλογή αριθμού GFA

Ας θεωρήσουμε ότι όλοι οι BS εξυπηρετούν τον ίδιο αριθμό χρηστών και αυτός ο αριθμός παρά τις μετακινήσεις των MN από κυψέλη σε κυψέλη παραμένει σταθερός. Στην ουσία, θεωρούμε ότι όσοι χρήστες βγαίνουν από μία κυψέλη, άλλοι τόσοι μπαίνουν με αποτέλεσμα ο αριθμός των χρηστών στα BS να παραμένει ίδιος και σταθερός. Για να συμβεί αυτό πρέπει αν οι κυψέλες που συνορεύουν με άλλες έξι έχουν για παράδειγμα σε ένα χρονικό διάστημα t δεχθεί x handoffs, οι κυψέλες που έχουν πέντε γείτονες να δεχθούν $5x/6$ handoffs, και γενικά οι κυψέλες που έχουν y γειτονικές κυψέλες να δέχονται $xy/6$ handoffs. Όσα βέβαια handoffs δέχθηκαν, δηλαδή όσοι MN μπήκαν στην κυψέλη αυτή συνολικά, άλλοι τόσοι την εγκατέλειψαν με αποτέλεσμα ο αριθμός των χρηστών σε κάθε κυψέλη να μένει σταθερός. Ας δούμε το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9.5.2.1: Αρίθμηση κυψελών τοπολογίας

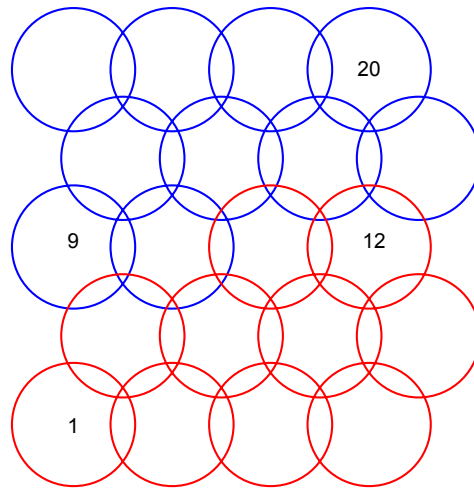
Ας δούμε το BS 17: έχει 2 γειτονικές κυψέλες οπότε θα βγουν από αυτό $2x/6$ χρήστες. Οι μισοί θα πάνε στο BS 18 και οι άλλοι μισοί στο BS 13. Το BS 17 θα δεχθεί χρήστες από τα BS 18 και το BS 13. Από το BS 18 θα βγουν $4x/6$ χρήστες. Το $1/4$ από αυτούς, δηλαδή τα $x/6$ θα πάνε σε κάθε μία από τις 4 γειτονικές του κυψέλες, μία από τις οποίες είναι το BS 17. Άλλα $x/6$ θα μετακινηθούν από το BS 13 καθώς από αυτό θα μοιραστούν $5x/6$ χρήστες εξίσου στις 5 γειτονικές του κυψέλες.

Συνολικά δηλαδή στο BS 17 θα εισέλθουν όσοι χρήστες απήλθαν, και οπότε ο συνολικός αριθμός των εξυπηρετούμενων MNs δεν θα αλλάξει. Ομοίως για όλα τα υπόλοιπα BS. Ο γενικός κανόνας είναι ότι από κάθε BS αποχωρούν $x/6$ χρήστες προς κάθε γειτονικό BS.

Για την επιλογή του αριθμού των GFAs που θα εξυπηρετούν την τοπολογία θα μετρήσουμε τη μέγιστη γεωγραφική απόσταση ενός FA από τον GFA του όταν ο GFA έχει τοποθετηθεί έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη αυτή η μέγιστη απόσταση (βέλτιστη περίπτωση) αλλά και όταν ο GFA έχει τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε αυτή η μέγιστη απόσταση να παίρνει τη μεγαλύτερη της τιμή (χειρίστη περίπτωση). Επίσης θα υπολογίσουμε το ποσοστό των handovers που οδηγούν σε αλλαγή GFA επί του συνόλου των διαπομπών (που θεωρείται σταθερός αριθμός καθώς υποτίθεται ότι θα ισχύουν οι ίδιες αρχικές συνθήκες αλλά και το ίδιο σενάριο κίνησης). Αυτό το ποσοστό θα αναφέρεται στο εξής ως ποσοστό GFA handoffs. Να σημειώσουμε ότι το σύνολο των handoffs που συμβαίνουν στο χρονικό διάστημα t είναι $43x/3$. Ας πάρουμε περιπτώσεις σύμφωνα με το σχήμα.

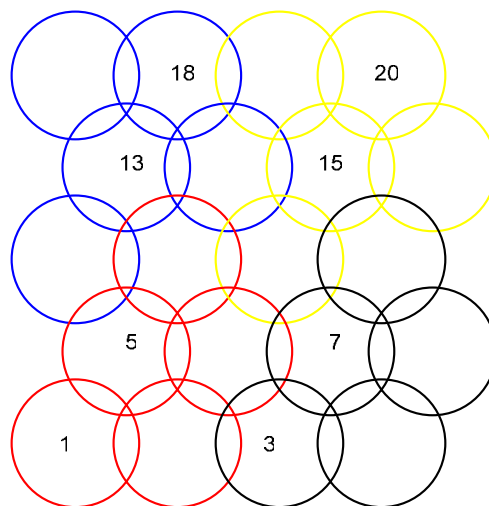
Αν επιλέξουμε ένα GFA, τότε το ποσοστό GFA handoffs είναι μηδέν και η μέγιστη γεωγραφική απόσταση αν το GFA τοποθετηθεί στη θέση 10 ή 11 (βέλτιστη περίπτωση) θα είναι $4.58 * r$ ενώ αν τοποθετηθεί στη θέση 1 (χειρίστη περίπτωση) η μέγιστη απόσταση θα είναι $9.16 * r$.

Αν επιλέξουμε δύο GFAs, τότε το ποσοστό GFA handoffs είναι 18.6% αφού ο αριθμός των GFA handoffs είναι $8x/3$ (αν θεωρήσουμε ότι τα 1-10 εξυπηρετούνται από το ένα GFA και τα υπόλοιπα 11-20 από το άλλο) και η μέγιστη γεωγραφική απόσταση αν τα GFA τοποθετηθούν στις θέσεις 10 και 11 (βέλτιστη περίπτωση) θα είναι $3.46 * r$ ενώ αν αυτά τοποθετηθούν στις θέσεις 1 και 20 (χειρίστη περίπτωση) η μέγιστη γεωγραφική απόσταση θα είναι αυτή από το 9 στο 20 ίση με αυτή από το 12 στο 1 και ίση με $6 * r$.



Σχήμα 9.5.2.2: Χωρισμός τοπολογίας σε 2 περιοχές GFA

Αν επιλέξουμε τέσσερα GFAs (για να έχουμε ίσο αριθμό εξυπηρετούμενων FAs από κάθε GFA επιλέγουμε μόνο διαιρέτες του 20, π.χ. όχι 3 GFAs) ο αριθμός των GFA handoffs είναι $17x/3$ δηλαδή ποσοστό 39,5% επί του συνόλου.



Σχήμα 9.5.2.3: Χωρισμός τοπολογίας σε 4 περιοχές GFA

Η μέγιστη γεωγραφική απόσταση αν τα GFAs τοποθετηθούν στις περιοχές 5, 7, 13, 15 (βέλτιστη περίπτωση) είναι $1.73 * r$. Αν τοποθετηθούν στις θέσεις 1, 3, 18, 20 (χειρίστη περίπτωση) η μέγιστη γεωγραφική απόσταση είναι $3.46 * r$. Παρατηρούμε ότι στην βέλτιστη περίπτωση αυτή είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών BS. Δηλαδή, όσο και αν αυξήσουμε τον αριθμό των GFAs από εδώ και πέρα δεν πρόκειται να έχουμε μείωση της μέγιστης απόστασης FA από GFA, παρά μόνο περαιτέρω αύξηση του ποσοστού των GFA handoffs. Για την χειρίστη

περίπτωση θα είχε νόημα να επιλέξουμε μεγαλύτερο αριθμό GFAs αλλά δεν το κρίνουμε σκόπιμο. Αυτό φαίνεται και στον επόμενο πίνακα.

Αριθμός GFA	inter-domain handoffs	μέγιστη απόσταση (σε r) (βέλτιστη τοποθέτηση)	μέγιστη απόσταση (σε r) (χειρίστη τοποθέτηση)
1	0%	4.58	9.16
2	18.6%	3.46	6
4	39.5%	1.73	3.46
5	46.5%	1.73	3.46

Σχήμα 9.5.2.4: Σύγκριση αριθμού GFA

Είναι φανερό πως η χρήση τεσσάρων GFAs αντί για δύο, διπλασιάζει το ποσοστό των GFA handoffs αλλά μειώνει και σχεδόν στο μισό τη μέγιστη γεωγραφική απόσταση ενός FA από τον GFA του, γεγονός που έχει πολύ θετικό αντίκτυπο στην μείωση της καθυστέρησης διαπομπής.

Γενικά ο αριθμός των GFAs επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών που τρέχουν οι χρήστες, αλλά και τη διάθεση προσφοράς ποιότητας υπηρεσίας στο σύνολο των χρηστών. Θεωρούμε πως η επιλογή τεσσάρων GFAs δίνει τη δυνατότητα για γρήγορο handoff με μικρή καθυστέρηση διαπομπής και για αυτό προτιμάται στη συνέχεια της εργασίας αυτής.

9.5.3 Συνάρτηση επιλογής GFAs

Θεωρούμε ως C_i τον αριθμό των χρηστών στην i κυψέλη και D_i τη γεωγραφική απόσταση της i κυψέλης από το GFA της. Σκοπός μας είναι η τοποθέτηση του GFA στην κυψέλη για την οποία θα ελαχιστοποιείται η συνάρτηση:

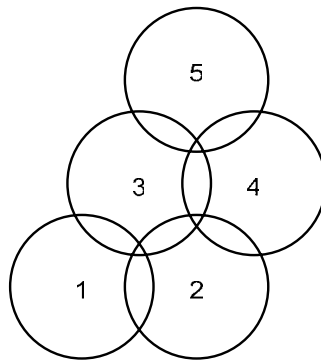
$$GFADecision = \sum_1^N C_i * D_i$$

όπου N ο αριθμός των κυψελών στη γεωγραφική περιοχή που εξυπηρετείται από ένα GFA.

Με τον παραπάνω ορισμό της συνάρτησης επιλογής των GFAs μπορεί με μια ματιά να φανεί πως δεν λαμβάνονται υπόψιν κάποιοι λίγοι χρήστες που μπορεί να βρίσκονται μακριά (και που επηρεάζουν ελάχιστα τη συνάρτηση λόγω της πολύ μικρής τιμής του C_i). Τότε, η υπηρεσία που θα προσφερόταν σε αυτούς θα ήταν πολύ υποβαθμισμένη και σε απόλυτα νούμερα και σε σύγκριση με χρήστες άλλω κυψελών. Όμως, αυτό έχει ήδη αντιμετωπιστεί με τη θέσπιση γεωγραφικών περιοχών όπου στην

ουσία καθίσταται υποχρεωτική η παρουσία ενός GFA εντός κάποιας ορισμένης (με την επιλογή του αριθμού αυτών) εμβέλειας.

Οι τιμές της μεταβλητής D (Distance) είναι από πριν γνωστές και εξαρτώνται από την τοπολογία και τις γεωγραφικές περιοχές. Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε ότι η τοπολογία μας των 20 BS χωρίζεται σε 4 γεωγραφικές περιοχές με τον τρόπο που δείξαμε σε προηγούμενο σχήμα και ας εξετάσουμε μία γεωγραφική περιοχή:



Σχήμα 9.5.3.1: Παράδειγμα καθορισμού απόστασης D_i

Γνωρίζοντας ότι τα κέντρα τριών κύκλων σχηματίζουν ισόπλευρο τρίγωνο με πλευρά $a = 1.73 * r$ (όπου r η εμβέλεια των BSs) αν ο GFA βρίσκεται στην κυψέλη:

- 1, τότε απέχει a από τα 2, 3, $2a$ από το 5 και $1.73a$ από το 4
- 2, τότε απέχει a από τα 1, 3, 4, και $3r = 1.73a$ από το 5
- 3, τότε απέχει a από τα 1, 2, 4, 5
- 4, τότε απέχει a από τα 2, 3, 5, και $1.73a$ από το 1
- 5, τότε απέχει a από τα 3, 4, και $1.73a$ από το 2, και $2a$ από το 1

Με αυτό τον τρόπο γνωρίζουμε τα D_i . Αφού βρούμε και τα C_i , θα εκτελέσουμε για κάθε μία από τις 5 πιθανές κυψέλες του GFA την *GFA Decision* και για όποια κυψέλη λάβει την μικρότερη τιμή, αυτή θα φιλοξενήσει τον GFA.

Με αυτό τον τρόπο θα δούμε ότι λαμβάνεται υπόψιν και το συμπέρασμα του προηγούμενου κεφαλαίου ότι δηλαδή θα πρέπει οι FAs με μεγάλη συγκέντρωση να έχουν αυξημένες πιθανότητες να γίνουν GFAs. Έστω δηλαδή ότι οι συνολικοί χρήστες σε μία γεωγραφική περιοχή είναι $C_{ολ.}$. Αν η κυψέλη που βρίσκεται ο GFA έχει $C_{κυψ.}$ χρήστες τότε όλοι οι υπόλοιποι χρήστες, δηλαδή οι $(C_{ολ.} - C_{κυψ.})$ συνεισφέρουν στην αύξηση της συνάρτησης μέσω του πολλαπλασιασμού τους με το αντίστοιχο D_i . Όσο πιο μεγάλο το $C_{κυψ.}$, τόσο λιγότεροι και οι χρήστες $(C_{ολ.} - C_{κυψ.})$

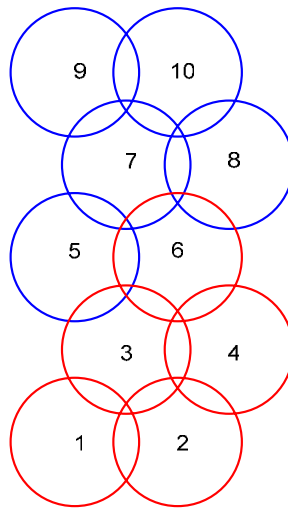
που συνεισφέρουν στην αύξηση της συνάρτησης οπότε και μεγαλύτερη πιθανότητα ο GFA να επιλεγεί εκεί.

9.5.4 Απόσταση μεταξύ των GFAs

Το κατά πόσο απέχει ένας GFA με έναν γειτονικό του (εννοούμε γειτονικής γεωγραφικής περιοχής) έχει μεγάλη σημασία για τις interdomain διαπομπές. Να θυμίσουμε ότι interdomain διαπομπές λέγονται οι διαπομπές που προκαλούνται από μετακίνηση του χρήστη από ένα υποδίκτυο σε άλλο (στο ιεραρχικό μας μοντέλο από μία GFA γεωγραφική περιοχή σε μία άλλη). Όσο μεγαλύτερη η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών GFAs τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η καθυστέρηση διαπομπής κατά την μετακίνηση από τη μία περιοχή στην άλλη.

Να σημειώσουμε εδώ, πως κριτήριο για την καθυστέρηση της διαπομπής δεν είναι μόνο η γεωγραφική απόσταση. Για παράδειγμα, μεγάλη σημασία έχει η συνδεσμολογία των FAs και το εύρος των γραμμών διασύνδεσης αυτών. Θεωρώντας όμως πως όλοι οι FAs συνδέονται με παρόμοιο τρόπο μεταξύ τους μέσω του δικτύου – κορμού (core network) τότε μπορούμε να πούμε πως τον σημαντικότερο ρόλο παίζει η γεωγραφική απόσταση.

Θα εξετάσουμε δύο γειτονικές περιοχές της τοπολογίας μας, έστω την κόκκινη και την μπλε περιοχή. Όσον αφορά την κόκκινη περιοχή ας θεωρήσουμε ότι οι δύο πιθανές τοποθεσίες του GFA είναι οι 1 και η 6, ενώ για την μπλέ η 8 και η 9. Λέγοντας πιθανές περιοχές εννοούμε σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο ότι αυτές είναι οι δύο περιοχές που συγκεντρώνουν τη μικρότερη τιμή στη συνάρτηση GFADecision και οπότε είναι οι πιθανές περιοχές που θα φιλοξενήσουν τον GFA. Η πρώτη ακραία περίπτωση αφορά την πιθανή τοποθέτηση των GFAs με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά (θέσεις 6 και 8 αντίστοιχα) ενώ η δεύτερη την τοποθέτηση τους ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο μακριά (θέσεις 1 και 9 αντίστοιχα).



Σχήμα 9.5.4.1 : Γειτονικές περιοχές

Είναι προφανές ότι στην πρώτη περίπτωση η καθυστέρηση διαπομπής σε μία interdomain διαπομπή θα είναι πολύ μικρότερη από τη δεύτερη. Για να το δείξουμε πιο αναλυτικά θεωρούμε ότι:

- σε κάθε interdomain διαπομπή ο GFA αρκεί να ενημερώσει την οντότητα του παραπάνω επιπέδου της ιεραρχίας (αν δεν υπάρχει άλλο επίπεδο θα ενημερώσει τον Home Agent). Η απόσταση αυτή ορίζεται ως I .
- σε περίπτωση fast handoff το νέο FA πρέπει να ειδοποιηθεί με binding update το παλιό FA. Βέβαια, αυτή η επικοινωνία γίνεται μέσω των GFA τους.

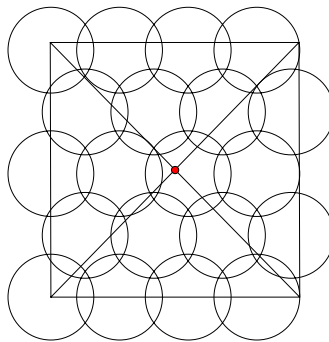
Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα ότι το MN μετακινήθηκε από την κυψέλη 8 στην 6. Η ενημέρωση της διαπομπής στη βέλτιστη περίπτωση έχει να διανύσει απόσταση I (από τον 6 στο επόμενο επίπεδο της ιεραρχίας) και έναν κόμβο ενώ στη χειρίστη, απόσταση $(2a + I)$, όπου το $2a$ οφείλεται στην απόσταση του 6 με την κυψέλη 1, και δύο κόμβους.

Η ενημέρωση του προηγούμενου FA (για λόγους fast handoff) στη βέλτιστη περίπτωση έχει να διανύσει a απόσταση (από το 6 στο 8) και έναν κόμβο ενώ στη χειρίστη, $2a$ από το 6 στο 1, $2 \cdot 1.73a$ από το 1 στο 9 και $1.73a$ από το 9 στο 8, σύνολο $(2a + 3 \cdot 1.73a) = 7.2 \cdot a$ και τρεις κόμβους.

9.5.5 Συνυπολογισμός της απόστασης των GFAs

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι φανερό πόσο επηρεάζει η τοποθεσία των GFA τις επιδόσεις των interdomain handoffs. Το συμπέρασμα είναι ότι είναι προτιμότερο για αυτού του είδους τις διαπομπές οι GFAs να βρίσκονται κοντά μεταξύ τους. Έτσι, θεωρούμε πως στη συνάρτηση GFADecision πρέπει να οριστεί και ένας παράγοντας – βάρος p που να είναι μικρότερος για τις περιοχές των GFA που βελτιώνουν την επίδοση των interdomain διαπομπών και μεγαλύτερος για αυτές που τη χειροτερεύουν.

Ένας απλός τρόπος να ορίσουμε βάρη για τις διάφορες κυψέλες είναι να χρησιμοποιήσουμε ως κριτήριο την γεωγραφική απόσταση από το κέντρο βάρους της περιοχής που ορίζεται από το σύνολο των γειτονικών γεωγραφικών περιοχών καθώς και της υπό εξέταση κυψέλης. Στη τοπολογία του παραδείγματος μας το κέντρο βάρους ορίζεται κάπου στην κυψέλη 11.



Σχήμα 9.5.5.1: Κέντρο βάρους τοπολογίας

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται σε ένα βαθμό η αποφυγή τοποθέτησης των GFA σε ακριανά σημεία (σε σχέση με τους γείτονες του). Προσπαθούμε δηλαδή να τοποθετήσουμε το GFA όσο πιο κοντά γίνεται προς όλους τους γείτονες του.

Βλέπουμε λοιπόν στο παράδειγμα μας ότι τα ευνοημένα FAs για την κόκκινη περιοχή θα είναι το 6 και το 10 που θα έχουν το μικρότερο βάρος p ενώ το 1 θα έχει το μεγαλύτερο. Ομοίως για τις άλλες GFA γεωγραφικές περιοχές. Στη συγκεκριμένη τοπολογία υπάρχει και ένα δεύτερο κέρδος: τα FAs που έχουν το μικρότερο βάρος p έχουν μεγάλο αριθμό γειτονικών «ξένων» κυψελών οπότε είναι και τα πιο πιθανά να εμπλακούν σε inter-domain διαπομπές. Ωστόσο, τονίζουμε πως το δεύτερο έμμεσο κέρδος οφείλεται στη δομή της συγκεκριμένης τοπολογίας και δεν εφαρμόζεται γενικά.

9.5.6 Τιμή του συντελεστή – βάρους p

Δηλώσαμε πως η τιμή του συντελεστή p θα καθορίζεται από τη γεωγραφική απόσταση από το κέντρο βάρους. Σημειώνουμε πως αυτές οι αποστάσεις θεωρούνται γνωστές από τη δομή της τοπολογίας και αλλάζουν μόνο όταν υπάρξει κάποια αλλαγή στην ίδια την τοπολογία. Ωστόσο, δεν μπορούμε να ορίσουμε τιμή για το p χωρίς να γνωρίζουμε κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως:

- το μοντέλο κίνησης των χρηστών (συχνότητα διαπομπών, συχνότητα inter-domain διαπομπών)
- το Call to Mobility Rate (αν είναι υψηλό θα προτιμηθεί μικρότερη τιμή για το p)

Ενδεικτικό εύρος τιμών είναι το [1 , 1.5]. Ελάχιστη τιμή 1 για τη μικρότερη απόσταση από το κέντρο βάρους, μέγιστη τιμή 1.5 για τη μεγαλύτερη.

9.5.7 Ανανέωση των GFAs

Επειδή η συγκέντρωση των χρηστών στα FAs μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου καλό θα ήταν να υπάρχει συνεχής ανανέωση των GFAs για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου. Ωστόσο αυτή η ανανέωση δημιουργεί πλήθος μηνυμάτων ανανέωσης καθώς πρέπει να ενημερώνονται όχι μόνο τα FAs της GFA γεωγραφικής περιοχής αλλά τα υπόλοιπα GFAs της τοπολογίας, ο Home Agent καθενός MN και τυχόν Correspondent Nodes σε περίπτωση χρησιμοποίησης IPv6. Πρόβλημα δεν αποτελεί μόνο η επιβάρυνση του δικτύου με επιπλέον κίνηση αλλά και η καθυστέρηση ενημέρωσης των ενδιαφερομένων μερών για την αλλαγή GFA. Στην ουσία παρατηρούνται παρόμοια προβλήματα με τα προβλήματα που δημιουργούνται από την επιλογή μεγάλου αριθμού GFA.

Για τον παραπάνω λόγο, αν και ο έλεγχος για ανανέωση των GFAs μπορεί να είναι μία συνεχής διαδικασία, η απόφαση για ανανέωση τους θα πρέπει να λαμβάνει και άλλα δεδομένα υπόψιν. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ότι σε μία GFA γεωγραφική περιοχή με πέντε FAs, οι FA₁ και ο FA₂ συγκεντρώνουν τις μικρότερες τιμές στη συνάρτηση GFADecision. Αν στην πάροδο του χρόνου οι δύο αυτοί FAs εναλλάσσονται συνεχώς, τότε θα έχουμε μία μόνιμη κατάσταση εναλλαγής GFA. Γι'αυτό, προτείνεται η θέσπιση ενός ορίου διαφοράς των τιμών GFADecision πάνω από το οποίο θα αλλάζει ο GFA. Αυτό για παράδειγμα θα μπορούσε να εκφραστεί ως

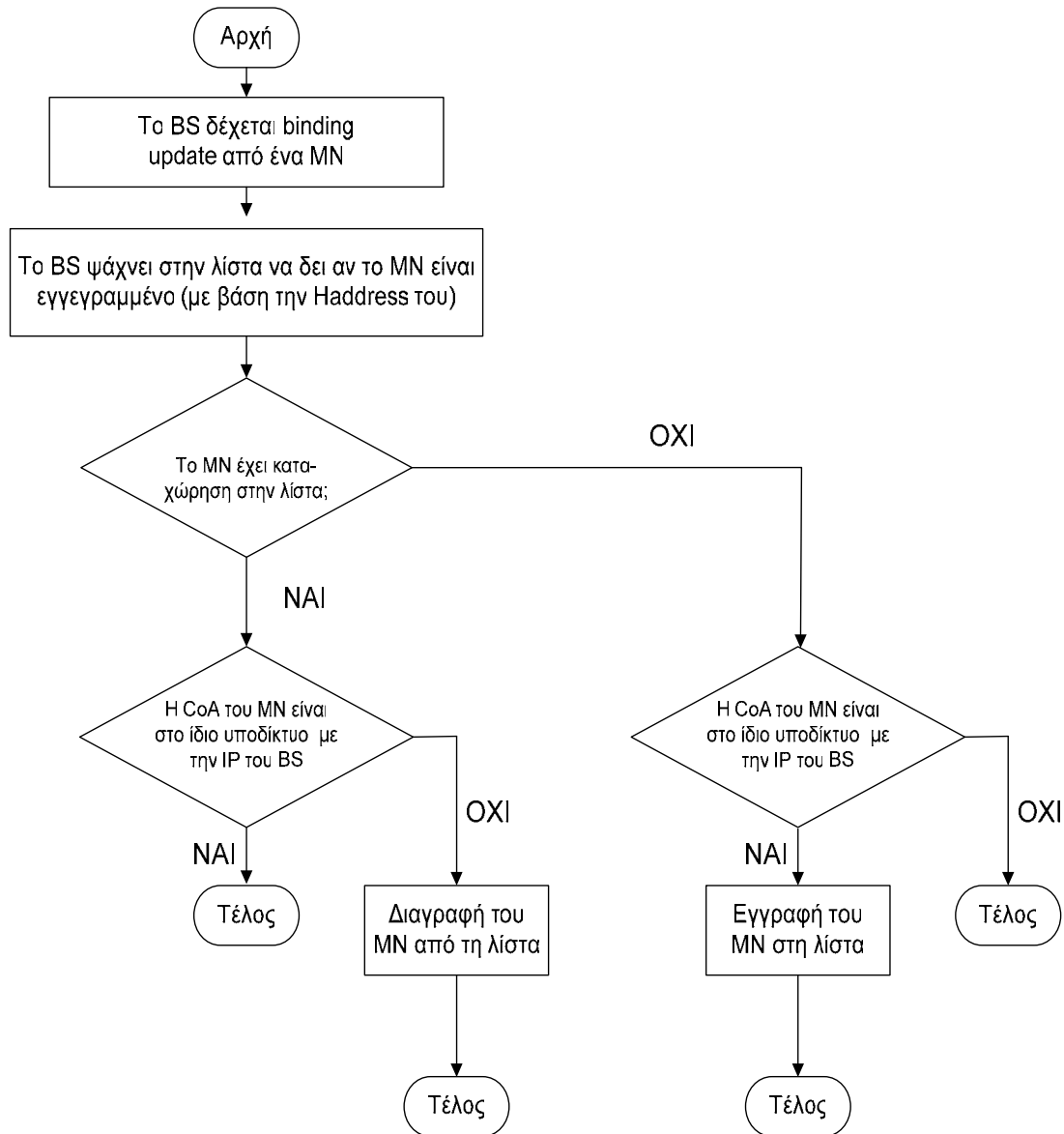
εξής: αλλαγή GFA θα αποφασίζεται μόνο αν GFADecision τιμή του υποψήφιου νέου FA είναι $K\%$ μικρότερη της τιμής του υπάρχοντος FA. Το κατώφλι K εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες:

- το κόστος (κίνησης και καθυστέρησης) ενημέρωσης των ενδιαφερόμενων μερών για την αλλαγή GFA.
- το Call to Mobility Ratio των MN της τοπολογίας (όσο πιο μικρό τόσο πιο αραιά πρέπει να γίνεται η ανανέωση).
- την τοπολογία. Μπορεί να υπάρχουν δύο επίπεδα ιεραρχίας και το μοντέλο μας να εφαρμόζεται μόνο στο δεύτερο επίπεδο. Τότε η ενημέρωση θα αφορούσε λιγότερες οντότητες (π.χ. δεν χρειάζεται να ενημερωθεί ο Home Agent).

9.6 Καταμέτρηση χρηστών για κάθε BS

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ένα γρήγορο και αποδοτικό τρόπο καταμέτρησης των χρηστών (MN) σε κάθε BS ώστε να συμπεριληφθεί στη δυναμική επιλογή των GFAs. Η πρόταση βασίζεται στην υλοποίηση Hierarchical Mobile IPv6 με fast handoffs του Δέλλα Νικόλαου [14].

Το MN πραγματοποιεί handoff κάθε φορά που λαμβάνει μία διαφήμιση (ad) από κάποιο BS. Το BS διαφημίζει την παρουσία του σε τακτά χρονικά διαστήματα και επιπλέον όποτε λάβει solicitation μήνυμα από κάποιο MN. Μόλις το MN λάβει το διαφημιστικό μήνυμα κάνει handoff αλλά δεν ειδοποιεί με ξεχωριστό μήνυμα το νέο BS του. Ο τρόπος να καταγραφεί το MN ως χρήστης του BS είναι ο εξής: Το MN στέλνει binding updates κατά διαστήματα στον Home Agent του, σε διάφορα Correspondent Nodes (πιθανόν) αλλά και στο παλιό και νέο BS του (στο παλιό στέλνει λόγω της λειτουργίας του fast handover). Κάθε BS πρέπει να διατηρεί μία λίστα που θα περιέχει τα MNs που εξυπηρετεί. Στη συνέχεια ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:



Σχήμα 9.6.1: Διάγραμμα ροής λίστας χρηστών σε BS

10. Προτάσεις για περαιτέρω εργασία

Στην εργασία αυτή αναδείξαμε τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για δύο διαδικασίες, την δυναμική επιλογή των GFAs και την επιλογή έναρξης διαπομπής και προτείναμε αντίστοιχες συναρτήσεις αποφάσεων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η υλοποίηση καταγραφής των παραμέτρων (συγκέντρωση χρηστών, ισχύς σήματος, καθυστέρηση διαπομπής με βάση τον αριθμό των hops και τη γεωγραφική απόσταση) και η προσομοίωση των προτάσεων αυτών για αξιολόγηση τους.

11. Αναφορές

- [1] : ‘A Location Information Management Strategy in Mobile Networks’ Zuji Mao and Christos Douligeris
- [2] : ‘Mobile IP: A Challenge in the Mobile World’ Christina A. Nika, Dimitrios D. Vergados, and Michael Theologou
- [3] : ‘Dynamic Hierarchical Database Architecture for Location Management in PCS Networks’ Joseph S. M. Ho, Ian F. Akyildiz
- [4] : ‘HAWAII: A Domain-based Approach for Supporting Mobility in Wide-area Wireless Networks’ R. Ramjee, K. Varadhan, L. Salgarelli, S. Thuel, S. Y. Wang, T. La Porta
- [5] : ‘An Overview of Cellular IP’ Andrew T. Campbell, Javier Gomez
- [6] : ‘Design, Implementation, and Evaluation of Cellular IP’ Andrew T. Campbell, Javier Gomez, Sanghyo Kim, Andras G. Valko, and Chieh-Yih Wan, Columbia University, New York, Zoltan R. Turanyi, Technical University of Budapest
- [7] : ‘TeleMIP: Telecommunications-Enhanced Mobile IP Architecture for Fast Intradomain Mobility’ Subir Das, Archan Misra, and Prathima Agrawal, Telcordia Technologies, Sajal K. Das, University of Texas at Arlington
- [8] : ‘A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP’ Jiang Xie, Ian F. Akyildiz
- [9] : ‘A Distributed Database Architecture for Global Roaming in Next-Generation Mobile Networks’ Zuji Mao, and Christos Douligeris.
- [10] : ‘A Comparative Study of Existing Protocols Supporting IP Mobility’ M. Chakrabarty, I. Saha Misra, D. Saha, A. Mukherjee.

- [11] : ‘Dynamic Hierarchical Mobility Management Strategy for Mobile IP Networks’
Wenchao Ma, Member, IEEE, and Yuguang Fang, Senior Member, IEEE.
- [12] : ‘IDMP: an intradomain mobility management protocol for next-generation wireless networks’ S. Das, A. Mcauley, A. Dutta, A. Misra, K. Chakraborty, and S. K. Das. IEEE Wireless Community, vol. 9, pp. 38-45, June 2002.
- [13] : ‘Architecture for Mobility and QoS Support in All-IP Wireless Networks’
Shou-Chih Lo, Guanling Lee, Wen-Tsuen Chen, Fellow, IEEE, and Jen-Chi Liu.
- [14] : ‘Μελέτη και Προσομοίωση του Πρωτοκόλλου Hierarchical Mobile IPv6 με Fast Handovers για την Υποστήριξη Κινητών Τερματικών σε Δίκτυο Μεταγωγής Πακέτου’ Διπλωματική Εργασία του Δέλλα Λ. Νικόλαου, Σεπτέμβριος 2003.