



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τίτλος Διατριβής:

Δυναμική σχεδίαση Adaptive δικτύων υψηλών ταχυτήτων ασύρματης/σταθερής πρόσβασης, με χρήση τεχνικών Autonomic Computing

Μπακατσής Ηλίας

Επιβλέπων: Κος Δεμέστιχας Παναγιώτης, Επικ. Καθηγητής

Διατριβή που υποβάλλεται ως μερική συμπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου

Πειραιάς, Ιούνιος 2007

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΔΑΛΗ

*Στους γονείς μου Δημήτριο και Κυριακούλα
Και στην αδερφή μου Ελένη*

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η δυναμική σχεδίαση adaptive δικτύων υψηλών ταχυτήτων, σταθερής/ασύρματης πρόσβασης, με χρήση τεχνικών Autonomic Computing. Ειδικότερα, με τη χρήση του IBM Autonomic Computing Toolkit θα εξετάσουμε ένα πιθανό σενάριο για να δούμε τη λειτουργία της συγκεκριμένης πλατφόρμας.

Στο **Κεφάλαιο 1**, γίνεται μια εισαγωγή στην εργασία και το σενάριο που θα προσομοιώσουμε ενώ στο **Κεφάλαιο 2** ξεκινάμε με μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των συστημάτων κινητής επικοινωνίας, έτσι ώστε να καταλήξουμε στα B3G περιβάλλοντα και τα χαρακτηριστικά τους. Στο **Κεφάλαιο 3** μελετάμε τη διαχείριση των ραδιοπόρων για τα συστήματα της τέταρτης γενιάς και συγκεκριμένα θέματα που αφορούν το σχεδιασμό και την κατανομή του φάσματος, την επιλογή του τρόπου μετάδοσης, την επιλογή του δικτύου, τις διαπομπές, τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων και τον έλεγχο συμφόρησης φορτίου. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό μελετάται και η αρχιτεκτονική της διαχείρισης ραδιοπόρων. Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται μια αναφορά στο autonomic computing και την ανάγκη που μας οδήγησε σε αυτό, ενώ στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η πλατφόρμα IBM Autonomic Computing Toolkit. Γίνεται παρουσίαση των αυτόνομων συστημάτων αλλά και των τμημάτων που αποτελούν την πλατφόρμα και στο **Κεφάλαιο 6** περιγράφεται η υλοποίηση που δημιουργήθηκε. Στο **κεφάλαιο 7** εξηγείται η εκτέλεση του σεναρίου ενώ στο **Κεφάλαιο 8** ολοκληρώνεται η εργασία με τα σχόλια και τις διαπιστώσεις επί της πλατφόρμας.

Ευχαριστίες

Σ' αυτό το σημείο δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Παναγιώτη Δεμέστιχα για την καθοδήγησή του στην επιλογή του θέματος μελέτης και στην πορεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συμβολή του στην αναζήτηση ανεξερεύνητων επιστημονικών πεδίων στο χώρο των σύγχρονων ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, υπήρξε πολύτιμη. Του οφείλω ευγνωμοσύνη για το συνεχές ενδιαφέρον του και την ηθική του συμπαράσταση κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω θερμά την Ελένη, για τη διακριτική αλλά ουσιαστική βοήθεια της, τις στιγμές και περιόδους που αυτό χρειάστηκε. Η ενθάρρυνση της ήταν σημαντική για μένα στην περάτωση αυτού του έργου.

Τέλος θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και την αδερφή μου, για την υλική, ηθική και συναισθηματική συμπαράσταση που γενναιόδωρα μου παρέχουν. Χωρίς τη δικιά τους βοήθεια οτιδήποτε έχω επιτύχει ως σήμερα θα ήταν ανέφικτο.

Περιεχόμενα

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.2. ΣΕΝΑΡΙΟ	9
2. Β3G ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	11
2.1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	11
2.1.1. Συστήματα 1 ^{ης} γενιάς.....	12
2.1.2. Συστήματα 2 ^{ης} γενιάς.....	12
2.1.3. Συστήματα 3 ^{ης} γενιάς.....	14
2.1.4. Συστήματα 4 ^{ης} γενιάς.....	18
2.1.4.1. Εισαγωγή	18
2.1.4.2. Στόχοι των συστημάτων 4 ^{ης} γενιάς.....	20
2.1.4.3. Εφαρμογές και υπηρεσίες 4G	22
2.1.4.4. Υποστήριξη QoS σε 4G	26
3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (RRM – RADIO RESOURCE MANAGEMENT)	29
3.1. ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ (RRM FUNCTIONS).....	29
3.1.1. Σχεδιασμός του Φάσματος	32
3.1.2. Κατανομή Φάσματος.....	33
3.1.2.1. Μέτρηση του φορτίου και πρόβλεψη (Load measurement and prediction).....	35
3.1.2.2. Υπολογισμός των αιτήσεων για φασματικούς πόρους (Resource request calculation)	36
3.1.2.3. Διαπραγμάτευση πόρων μεταξύ δικτύων (Resource negotiation between RANs).....	38
3.1.2.4. Υπολογισμός και διαπραγμάτευση αναδιοργάνωσης των πόρων (Resource re-arrangement calculation and negotiation).....	38
3.1.2.5. Αναπροσαρμογή των πόρων (Resource update)	39
3.1.3. Επιλογή του Τρόπου Μετάδοσης.....	39
3.1.4. Επιλογή του δικτύου (RAN Selection).....	41
3.1.5. Διαπομπή (Handover).....	44
3.1.5.1. Είδη διαπομπών (Handover Scenarios)	45
3.1.5.2. Πρωτόκολλα και αλγόριθμοι διαπομπών.....	49
3.1.6. Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων (Admission Control, AC)	54
3.1.7. Έλεγχος Συμφόρησης Φορτίου (Congestion Control, CC)	55
3.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ (RRM ARCHITECTURE).....	55

3.2.1.	Αρχιτεκτονική του δικτύου (<i>Network entities</i>)	56
3.2.2.	Οντότητες της διαχείρισης ραδιοπόρων (<i>RRM entities</i>).....	59
3.2.2.1.	Λειτουργικές οντότητες των διαπομπών.....	59
3.2.2.2.	Λειτουργικές οντότητες για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων	61
3.2.2.3.	Λειτουργικές οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών.....	62
4.	AUTONOMIC COMPUTING	64
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	64
4.2.	ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ AUTONOMIC COMPUTING	65
5.	IBM AUTONOMIC COMPUTING TOOLKIT	70
5.1.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ.....	70
5.1.1.	Ιδιότητες αυτόνομων συστημάτων	70
5.1.2.	Τμήματα ενός αυτόνομου συστήματος.....	71
5.1.3.	Επίπεδα αυτονομίας.....	72
5.2.	ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ IBM AUTONOMIC COMPUTING TOOLKIT	73
5.2.1.	<i>Common Base Events</i>	73
5.2.2.	<i>Generic Log Adapter</i>	74
5.2.3.	<i>Log and Trace Analyzer</i>	76
5.2.4.	<i>Autonomic Management Engine / Resource models</i>	79
6.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	81
6.1.	ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ	81
6.2.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ	81
6.3.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ LOG	82
6.4.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΜΕ	83
7.	ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	85
7.1.	ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ	85
7.2.	ΕΚΤΕΛΕΣΗ.....	85
7.3.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ	86
7.4.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ GLA.....	88
7.5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΜΕ	89
8.	ΣΧΟΛΙΑ - ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ	90
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2-1: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΘΕ ΓΕΝΙΑΣ	17
Πίνακας 2-2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΘΕ ΓΕΝΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ	20
Πίνακας 6-1: CBE EVENTS	83

ΓΑΛΕΡΙΟ ΤΗΜΟ ΓΕΡΑΝ

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 2-1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	13
Σχήμα 2-2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	13
Σχήμα 2-3: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ PS ΚΑΙ CS.....	15
Σχήμα 2-4: ΟΙ ΓΕΝΙΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ	16
Σχήμα 2-5: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΡΟΣ ΤΟ UMTS.....	17
Σχήμα 2-6: ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	19
Σχήμα 2-7: ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	21
Σχήμα 2-8: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ 4G	25
Σχήμα 2-9: ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΓΙΑ REAL-TIME ΚΑΙ NON-REAL-TIME ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	26
Σχήμα 3-1: ΤΟ ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	35
Σχήμα 3-2: Η ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΚΑΙ Η ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	41
Σχήμα 3-3: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ. ..	44
Σχήμα 3-4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΔΙΑ-ΠΟΜΠΩΝ.	48
Σχήμα 3-5: Η ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΤΩΝ 4G.....	52
Σχήμα 3-6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.	54
Σχήμα 3-7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.	57
Σχήμα 3-8: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ RRM.....	58
Σχήμα 4-1: AUTONOMIC MANAGEMENT FUNCTIONALITY	65
Σχήμα 5-1: ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	71

1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να επιδείξει πώς μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές *autonomic computing* σε δίκτυα ασύρματης και σταθερής πρόσβασης ώστε αυτά να προσαρμόζουν τις υπηρεσίες τους ανάλογα με τις συνθήκες χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Για το σκοπό αυτό αυτό θα χρησιμοποιηθεί η πλατφόρμα *Autonomic Computing Toolkit* της IBM, η οποία παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την κατασκευή αυτοδιαχειριζόμενων συστημάτων. Επιπρόσθετα, πέρα από την υλοποίηση και επίδειξη, δευτερεύων σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της πλατφόρμας για την πιθανή χρήση της σε ένα πραγματικό περιβάλλον επαγγελματικών απαιτήσεων.

1.2. Σενάριο

Στα πλαίσια της εργασίας θα υλοποιηθεί το ακόλουθο σενάριο.

Μία απλή *desktop* εφαρμογή προσομοιάζει ένα σταθμό βάσης κινητής τηλεφωνίας. Ο σταθμός είναι σχεδιασμένος να εξυπηρετεί 50 χρήστες σε πλήρη λειτουργία, ενώ έχει ως μέγιστο αριθμό ταυτόχρονων χρηστών τους 80. Σε τακτά χρονικά διαστήματα, η εφαρμογή παράγει *log entries* με την τρέχουσα κατάσταση του σταθμού.

Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του *Autonomic Computing Toolkit*, το *log* του σταθμού βάσης διαβάζεται και ερμηνεύεται η τρέχουσα κατάστασή του. Αυτή μεταδίδεται στο *component* το οποίο υλοποιεί τη λογική της αυτονομίας και αυτό με τη σειρά του υλοποιεί το εξής σενάριο, κάνοντας τις ανάλογες ενέργειες:

- Αν ο σταθμός βάσης έχει πάνω από 50 χρήστες και η ποιότητα υπηρεσίας είναι κανονική, επικοινωνεί με αυτόν ώστε να τη χαμηλώσει.

- Αν ο σταθμός βάσης παραμείνει με πάνω από 50 χρήστες για πάνω από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το component στέλνει mail στον υπεύθυνο.¹
- Αν ο σταθμός βάσης έχει πάνω από 80 ταυτόχρονους χρήστες, στέλνει mail στον υπεύθυνο.²

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑΣ

¹ Προφανώς, αυτή η πολιτική δεν είναι ιδιαίτερα ρεαλιστική, αλλά προστέθηκε για να δειχθεί ότι μπορούν να υλοποιηθούν πολύπλοκες πολιτικές.

² Ομοίως με σημείωση 1.

2. Β3G Περιβάλλον

2.1. Εξέλιξη των Συστημάτων

Επιχειρώντας να δώσουμε έναν ορισμό των επικοινωνιών, θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχουν στόχο την αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, καθώς και την επιβεβαίωση της πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από τον εξουσιοδοτημένο παραλήπτη.

Εξετάζοντας την ιστορική εξέλιξη των επικοινωνιών, παρατηρούμε ότι από την αρχαιότητα μέχρι το 2ο μισό του 19ου αιώνα δεν υπήρξε κάποια ουσιαστική πρόοδος στις μεθόδους που χρησιμοποιούσαν οι άνθρωποι για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών. Η εξέλιξη όμως του ηλεκτρισμού και της ηλεκτρονικής έδωσαν ώθηση για νέες εφευρέσεις, όπως ο τηλεγράφος (1854) και το τηλέφωνο (1876). Τα δίκτυά τους σταδιακά εξαπλώθηκαν σε όλον τον κόσμο αλλάζοντας οριστικά τον τρόπο επικοινωνίας των ανθρώπων.

Ένας βασικός περιορισμός της αρχικής μορφής αυτών των δύο μέσων ήταν η εξάρτησή τους από ενσύρματο μέσο, γεγονός που αφ' ενός μεν απαιτεί την εγκατάσταση καλωδιακής σύνδεσης προκειμένου να προσφερθούν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες σε κάποιον συνδρομητή, αφ' ετέρου δε περιορίζει έως και απαγορεύει την κινητικότητα του χρήστη.

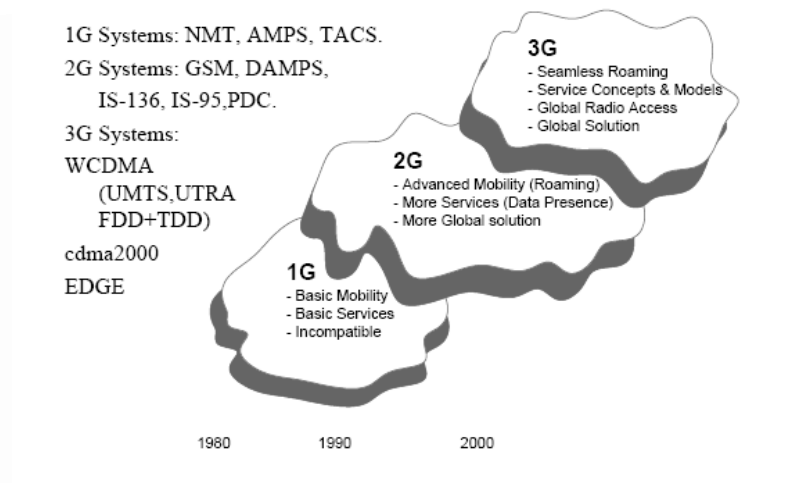
Έτσι με την πάροδο του χρόνου η έρευνα κινήθηκε στην κατεύθυνση της ανάπτυξης ασύρματων τηλεπικοινωνιών, αρχικά για στρατιωτικές και ναυσιπλοϊκές εφαρμογές ως και ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις, αργότερα για τη διασύνδεση ενσύρματων τηλεφωνικών δικτύων μεταξύ περιοχών που παρουσιάζουν δυσκολίες στην ενσύρματη σύνδεση (κυρίως νησιά) και πιο πρόσφατα για την ασύρματη κινητή τηλεφωνία, που συμπληρώνει το ενσύρματο τηλεφωνικό δίκτυο καλύπτοντας εγγενείς αδυναμίες του και που αποτελεί το βασικό αντικείμενο που εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

2.1.1. Συστήματα 1^{ης} γενιάς

Έπειτα από τα συστήματα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς βρισκόμαστε στις ημέρες μας, στην πρόκληση των συστημάτων 3^{ης} γενιάς, ενώ τα πρότυπα πέραν της 3^{ης} γενιάς βρίσκονται ήδη καθ' οδόν. Τα **συστήματα της 1^{ης} γενιάς (1G)** αναπτύχθηκαν γύρω στα 1980 και χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση κατά συχνότητα (FM) για επικοινωνία φωνής και πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiple Access-FDMA) ως τεχνική πρόσβασης. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν τα AMPS (Advance Mobile Phone Service) στις Η.Π.Α., TACS (Total Access Communication System) στην Ευρώπη και NTT στην Ιαπωνία. Ωστόσο, η ταχεία αύξηση των απαιτήσεων οδήγησε τα συστήματα 1^{ης} γενιάς σε κορεσμό όσον αφορά τη χωρητικότητα των χρηστών.

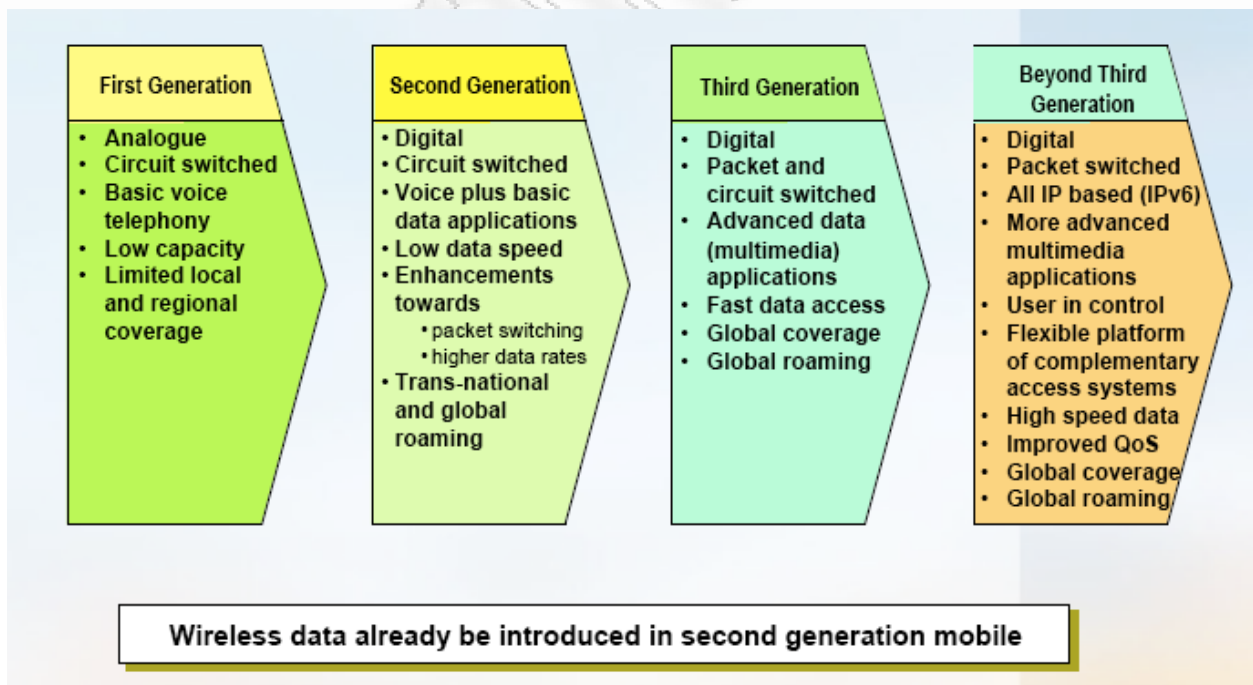
2.1.2. Συστήματα 2^{ης} γενιάς

Τα **συστήματα 2^{ης} γενιάς (2G)**, που εισήχθησαν στην αγορά το 1991, προσφέρουν σαφώς καλύτερη ποιότητα φωνής και περισσότερο αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης. Σήμερα η 2^η γενιά εκπροσωπείται από τα GSM, TDMA IS-136, PDC και cdmaOne. Οι Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν τρία δίκτυα δεύτερης γενιάς (IS-136, GSM 1900 και cdmaOne), καθένα από τα οποία θα εξελιχθεί σταδιακά στο IMT-2000. Το πιο ενδιαφέρον από τα παραπάνω είναι το cdmaOne (IS-95), που θα εξελιχθεί στο cdma2000, το οποίο μοιράζει το φάσμα του χρησιμοποιώντας πολλαπλό φορέα (MC), πράγμα που είναι τελείως διαφορετικό από τις λειτουργίες FDD και TDD του WCDMA. Προκειμένου βέβαια να αποκτήσουμε ένα παγκόσμιο σύστημα, είναι απαραίτητο τα cdma2000 και WCDMA να συγχωνευθούν σε ένα ενιαίο πρότυπο.



Σχήμα 2-1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Εκτός από υπηρεσίες φωνής, τα συστήματα δεύτερης γενιάς παρέχουν σύντομα μηνύματα αλλά και χαμηλού ρυθμού υπηρεσίες δεδομένων στα 9,6 – 14,4 Kbps. Τόσο τα συστήματα της 1^{ης} γενιάς, όσο και της 2^{ης} γενιάς βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching – CS), η οποία είναι μη αποδοτική, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για υπηρεσίες προσανατολισμένες σε πακέτα (packet-oriented).



Σχήμα 2-2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

2.1.3. Συστήματα 3^{ης} γενιάς

Τα **συστήματα κινητών επικοινωνιών 3^{ης} γενιάς (3G)**, που αναπτύσσονται σήμερα και αναφέρονται ως Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunication System-UMTS), έχουν ως κύριο στόχο την ενοποίηση των σταθερών και κινητών επικοινωνιών σε ένα οικουμενικό, παγκόσμιο σύστημα. Εκτός όμως από την καθολικότητα και οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, η ευελιξία και η αφθονία υπηρεσιών σε συνδυασμό και με την καλύτερη ποιότητα των τελευταίων αποτελούν βασικές επιδιώξεις των εν λόγω συστημάτων. Οι ρυθμοί στη μετάδοση δεδομένων είναι της τάξης των 144 Kbps για χρήστες υψηλής κινητικότητας σε ευρείες περιοχές, 384 Kbps για χρήστες χαμηλής κινητικότητας σε ευρείες περιοχές αλλά και 2 Mbps για τοπική κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους .

Ο σημαντικότερος παράγοντας, προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή κατανομή του εύρους ζώνης, είναι η μεταγωγή πακέτων, με την οποία οι διαθέσιμοι πόροι του δικτύου μοιράζονται αποδοτικά στους συνδεδεμένους χρήστες. Στις συνδέσεις με μεταγωγή κυκλώματος το κανάλι διατηρείται ανοικτό, ακόμη και όταν δε γίνεται μεταφορά δεδομένων. Αυτό, αν και είναι χρήσιμο για την τηλεφωνία, στις περισσότερες εφαρμογές οδηγεί σε αυξημένο κόστος για το χρήστη και σπατάλη πόρων για το δίκτυο. Αντίθετα, στις συνδέσεις με μεταγωγή πακέτου, διατίθεται ακριβώς όσο εύρος ζώνης χρειάζεται, με αποτέλεσμα να γίνονται εφικτές υψηλότερες ταχύτητες σε πιο λογικές τιμές.

Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός δικτύου 2G και ενός UMTS δικτύου είναι ότι το τελευταίο αποτελείται από δύο διαφορετικές περιοχές, την περιοχή όπου γίνεται μεταγωγή κυκλώματος (Circuit Switched Domain) και την περιοχή όπου γίνεται μεταγωγή πακέτου (Packet Switched Domain), σε αντίθεση με τα δίκτυα 2G, στα οποία υπάρχει μόνο η περιοχή μεταγωγής κυκλώματος. Παρ' όλ' αυτά το CS Domain, το οποίο υπάρχει στην 3GPP R99, όπως όλα δείχνουν, θα δώσει σταδιακά την θέση του στο PS Domain, πράγμα που είναι φανερό στις εκδόσεις R5 και R6, όπου όλες οι υπηρεσίες τρέχουν στο PS Domain. Οι υπηρεσίες που είναι ευαίσθητες στη χρονική καθυστέρηση, όπως η φωνή και το βίντεο, παρέχονται με μεταγωγή κυκλώματος, ενώ η κίνηση δεδομένων που αντέχει σχετικά μεγάλες καθυστερήσεις, μπορεί να παρασχεθεί με μεταγωγή πακέτου, ώστε να

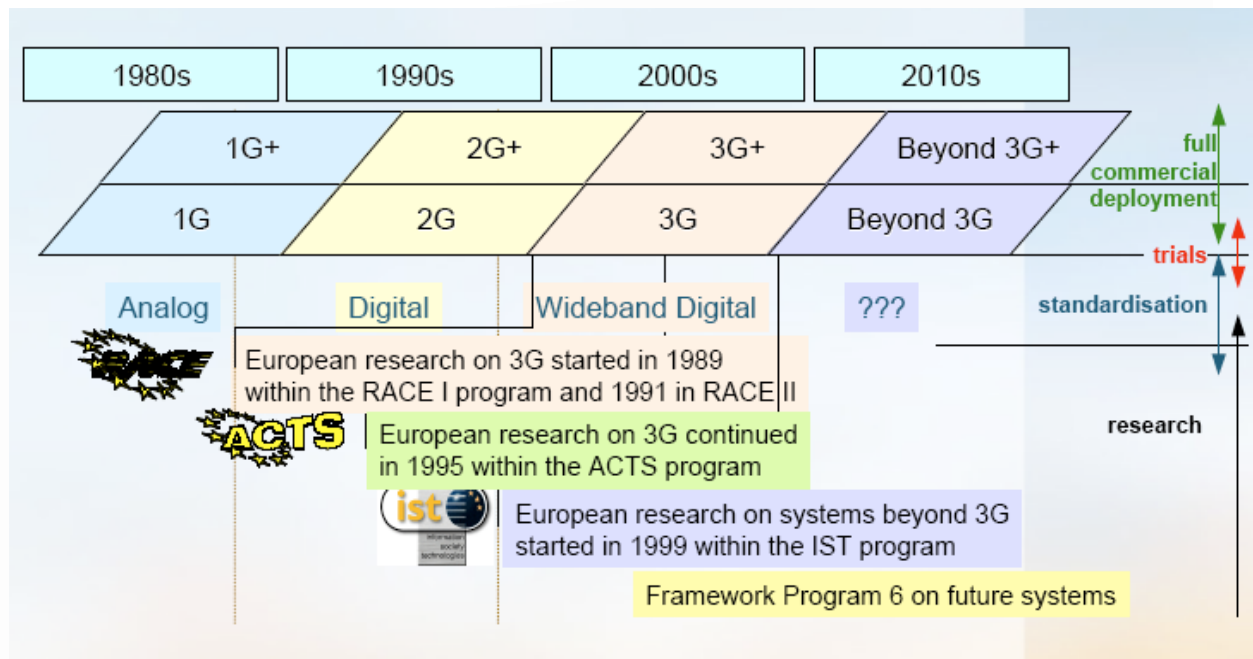
επιτευχθεί αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι διάφορες υπηρεσίες και το μέρος του συστήματος, στο οποίο τρέχουν αυτές στις διάφορες εκδόσεις.

GSM		3GPP R3		3GPP R5-6	
Voice	Circuit Switched	Voice	Circuit Switched	Voice	Packet Switched
SMS		Video			
WAP		SMS	Video		
Email		WAP	SMS		
		Email	Web	WAP	
		Web	MMS	Email	
		MMS	Streaming	Web	
		Streaming		MMS	
				Streaming	

Σχήμα 2-3: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ PS ΚΑΙ CS

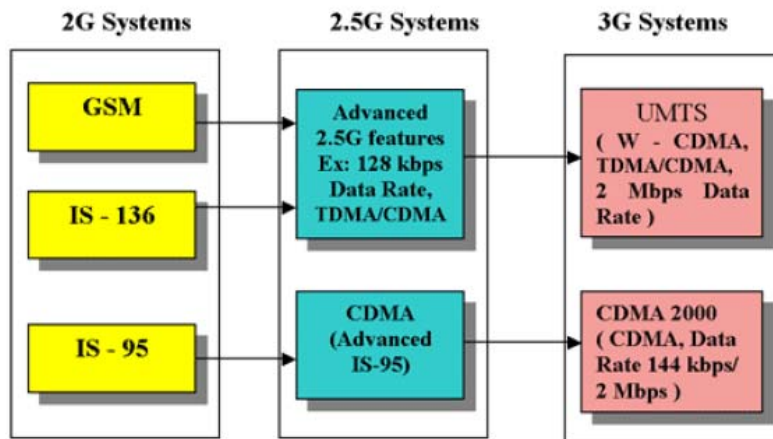
Η Ευρώπη και η Ιαπωνία έχουν ήδη επιλέξει το σύστημα WCDMA για τα 3G δίκτυά τους. Αυτό διαθέτει δύο τρόπους λειτουργίας: το διπλό διαχωρισμό συχνότητας **FDD** (Frequency Duplex Division) και το διπλό διαχωρισμό χρόνου **TDD** (Time Duplex Division). Και οι δύο τρόποι λειτουργούν με συχνότητα φέροντος 5MHz, ο FDD σε ζευγαρωτά κανάλια, ενώ ο TDD σε μη ζευγαρωτά.

Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access **CDMA**) επιλέχθηκε ως η βασική τεχνολογία για τα συστήματα 3^{ης} γενιάς. Ειδικότερα, η ευρείας ζώνης πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Wideband CDMA – **WCDMA**), που είναι μια εξέλιξη του CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA –DS/ CDMA), προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή κοινότητα ως το 3G ασύρματο πρότυπο. Από την πλευρά των Η.Π.Α., η αντίπαλη πρόταση είναι το cdmaOne (IS-95), το οποίο χρησιμοποιεί CDMA πολλαπλών φερόντων (Multi Carrier CDMA – MC/ CDMA).



Σχήμα 2-4: ΟΙ ΓΕΝΙΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ

Η εξέλιξη από τη 2^η στην 3^η γενιά δεν πραγματοποιήθηκε σε ένα βήμα, αλλά ένα πολύ σημαντικό ενδιάμεσο στάδιο αποτέλεσε η λεγόμενη 2,5 γενιά (2,5G). Το GPRS (General Packet Radio Service) είναι ένα εξελιγμένο σύστημα GSM που προσφέρει λύσεις μεταγωγής πακέτου. Η έρευνα όσον αφορά την πέραν της 3^{ης} γενιάς (Beyond 3G) τεχνολογία στις κινητές επικοινωνίες έχει ήδη ξεκινήσει. Οι στόχοι επικεντρώνονται στην επίτευξη διασύνδεσης μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών, στην παροχή υπηρεσιών εμπορικού χαρακτήρα, στην πλήρη σύγκλιση των παρεχόμενων υπηρεσιών με στόχο τη μεταφορά των πλεονεκτημάτων ενός προσωπικού υπολογιστή στα ασύρματα δίκτυα, στην αποδοτική χρήση του διατιθέμενου φάσματος, αλλά και στην ικανότητα προσαρμογής και μεταβολής των συσκευών ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες.



Σχήμα 2-5: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΡΟΣ ΤΟ UMTS

Attribute	1G	2G	2.5G	3G	4G
Starting Time	1985	1992	1995	2002	2010-2012
Driven	Analogue	Digital signal	Packet	Intelligent	Intelligent
Technique	signal processing	processing	switching	signal processing	software Auto configuration
Representative	AMPS, TACS,	GSM, TDMA	GPRS,I-mode,	IMT-2000	OFDM,
Standard	NMT		HSCSD, EDGE	(UMTS, WCDMA, CDMA2000)	UWB
Radio Frequency (HZ)	400M-800M	800M-900M, 1800M-1900M	2G	3G-5G	
Bandwidth (bps)	2.4K-30K	9.6K-14.4K	171K-384K	2M-5M	10M-20M
Multi-address Technique	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	FDMA, TDMA, CDMA	
Cellular Coverage	Large area	Medium area	Small area	Mini area	
Core	Telecom	Telecom networks	Telecom	All-IP	
Networks	networks		networks, Some IP networks	networks	
Service Type	Voice Mono-service Person-to-person	Voice, SMS Mono-media Person-to-person	Data service	Voice, Data Some Multimedia Person-to-machine	Multimedia Machine-to-machine

Πίνακας 2-1: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΘΕ ΓΕΝΙΑΣ

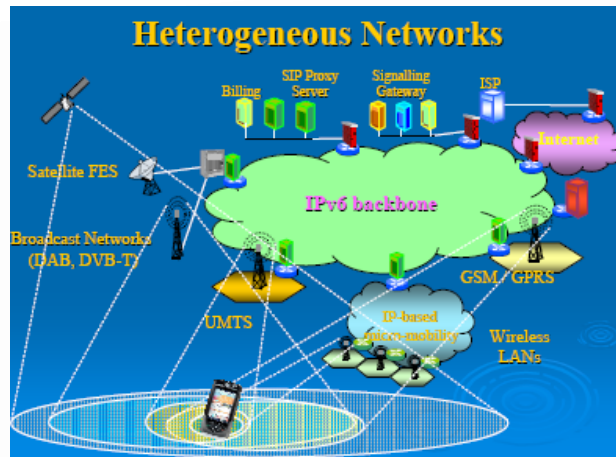
2.1.4. Συστήματα 4^{ης} γενιάς

2.1.4.1. Εισαγωγή

Ενώ τα συστήματα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς προσέφεραν αντίστοιχα μόνο υπηρεσίες φωνής και έναν πρώιμο τύπο υπηρεσιών χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, τα συστήματα 3^{ης} γενιάς παρέχουν μια μεγάλη ποικιλία εξελιγμένων υπηρεσιών φωνής και υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς χαρακτηρίζονται από το μειονέκτημα της ανομοιογένειας των προτύπων πρόσβασης, το οποίο δυσκολεύει τη διαπομπή μεταξύ διαφορετικών δικτύων και περιορίζει επομένως την κινητικότητα των χρηστών. Επιπλέον η μέγιστη χωρητικότητα για τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς είναι 2Mbps.

Τα **συστήματα 4^{ης} γενιάς (4G)** αναμένεται να εισαχθούν στην αγορά το 2010 και στοχεύουν να παρέχουν υποστήριξη σε εφαρμογές που θα απαιτούν ρυθμούς μετάδοσης 50 έως 155 Mbps. Βασική επιδίωξή τους αποτελεί η ενοποίηση των διαφόρων κινητών και ασύρματων δικτύων σε ένα ενιαίο δίκτυο, βασισμένο στη μεταγωγή πακέτου.

Αναλυτικότερα, οι μελλοντικές υποδομές 4G θα αποτελούνται από διάφορα δίκτυα που χρησιμοποιούν το IP (Internet Protocol) ως κοινό πρωτόκολλο, ώστε οι χρήστες να μπορούν να επιλέγουν κάθε εφαρμογή και περιβάλλον. Η λύση αυτή επιτρέπει τη δημιουργία νέων υπηρεσιών με επαναχρησιμοποίηση του λογισμικού εφαρμογών, ενώ η ανεξαρτησία του IP, του επιτρέπει να δουλεύει πάνω σε οποιαδήποτε τεχνολογία πρόσβασης. Αυτό σημαίνει ότι τα ετερογενή ασύρματα δίκτυα θα συγχωνευτούν σε ένα μοναδικό δίκτυο, κάνοντας έτσι την πλειοψηφία των υπηρεσιών ανεξάρτητη από τις τεχνολογίες πρόσβασης.



Σχήμα 2-6: ΕΝΟΠΙΩΣΗ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς θα χαρακτηρίζονται επίσης από μεγαλύτερο εύρος ζώνης, υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και ομαλότερες-γρηγορότερες διαπομπές. Το κλειδί είναι η ενοποίηση των δυνατοτήτων 4G με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Η προσαρμοστικότητα στις εφαρμογές και η υψηλή δυναμικότητα θα είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των υπηρεσιών 4G. Τα χαρακτηριστικά αυτά σημαίνουν ότι οι υπηρεσίες μπορούν να παραδοθούν και να είναι διαθέσιμες στην προσωπική προτίμηση διαφορετικών χρηστών.

Ωστόσο, επειδή τόσο το τοπίο των τηλεπικοινωνιών όσο και οι υπηρεσίες που θα προσφέρουν τα μελλοντικά συστήματα, δεν είναι γνωστά, εξαιτίας του μεγάλου χρονικού διαστήματος, έως ότου αυτά τεθούν σε λειτουργία, οι στόχοι της έρευνας για τα συστήματα 4^{ης} γενιάς είναι δυνατόν να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Technology	1G	2G	2.5G	3G	4G
Design Began	1970	1980	1985	1990	2000
Implementation	1984	1991	1999	2002	2010?
Service	Analog voice, synchronous data to 9.6 kbps	Digital voice, short messages	Higher capacity, packetized data	Higher capacity, broadband data up to 2 Mbps	Higher capacity, completely IP-oriented, multimedia, data to hundreds of megabits
Standards	AMPS, TACS, NMT, etc.	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA2000	Single standard
Data Bandwidth	1.9 kbps	14.4 kbps	384 kbps	2 Mbps	200 Mbps
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA?
Core Network	PSTN	PSTN	PSTN, packet network	Packet network	Internet

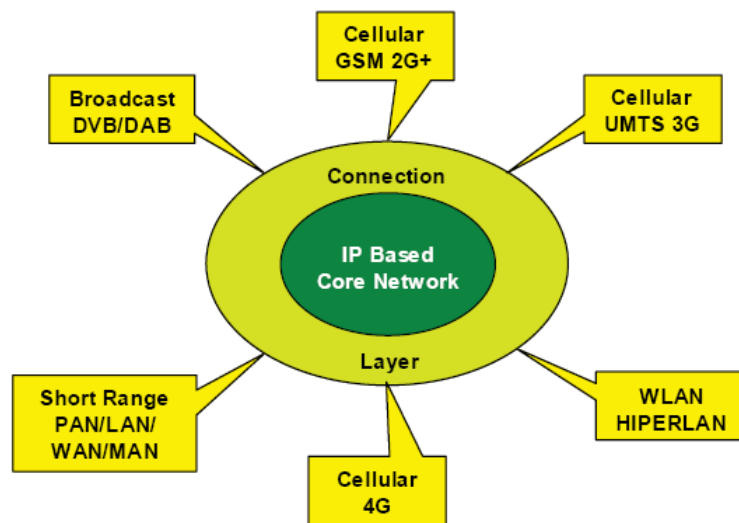
Πίνακας 2-2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΘΕ ΓΕΝΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

2.1.4.2. Στόχοι των συστημάτων 4^{ης} γενιάς

Αν και ακόμα δεν έχει οριστεί κάποιο πρότυπο για τα συστήματα 4^{ης} γενιάς και τα επιδιωκόμενα χαρακτηριστικά αυτών βρίσκονται υπό μελέτη, οι ερευνητικές προσπάθειες συγκλίνουν στους ακόλουθους στόχους:

- Διαλειτουργικότητα:** Τα συστήματα 4^{ης} γενιάς οφείλουν να εξασφαλίσουν τη διαλειτουργικότητα των ήδη υπάρχοντων διαφορετικών δικτύων (δορυφορικών, ασύρματων, WLAN κ.λ.π.) και συστημάτων για ασύρματη πρόσβαση στο σταθερό δίκτυο. Η προοπτική αυτή μπορεί να περιγραφεί ως η δυνατότητα διαπομπής μεταξύ πολλαπλών προτύπων ασύρματης πρόσβασης και κινητών επικοινωνιών. Εάν ο στόχος της διαλειτουργικότητας επιτευχθεί, η τηλεπικοινωνιακή υποδομή σε παγκόσμιο επίπεδο θα μετατραπεί σε ένα ενιαίο, διαφανές δίκτυο που θα επιτρέπει τη χρησιμοποίησή του από τους χρήστες ανεξαρτήτως τεχνολογίας πρόσβασης. Συναφής με τον παραπάνω στόχο είναι και η πρόκληση της πρόσβασης σε διαφορετικά δίκτυα ασύρματων και κινητών επικοινωνιών από το ίδιο τερματικό. Η πρόκληση αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί, είτε ενσωματώνοντας στο τερματικό πολλαπλές διεπαφές για δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε ασύρματο δίκτυο, οπότε αυξάνεται η πολυπλοκότητά του τερματικού αλλά και η κάλυψη και αξιοπιστία σε περίπτωση αποτυχίας ενός

δικτύου στην περιοχή, είτε με την εγκαθίδρυση ενός επισταμένου δικτύου (overlay network) και των σημείων πρόσβασης (Access Points) αυτού.



Σχήμα 2-7: ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

- **Εύρος ζώνης τερματικού και διάρκεια ζωής μπαταρίας:** Τα τερματικά των μελλοντικών δικτύων θα χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα υποστηριζόμενων τιμών εύρους ζώνης, από μερικά kbps έως 100Mbps ή και παραπάνω και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών αυτών θα είναι περίπου μια εβδομάδα.
- **Σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτου:** Η αρχιτεκτονική των συστημάτων 4^{ης} γενιάς θα χρησιμοποιεί σύμφωνα με μελέτες ένα σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτου για τη διασύνδεση των διαφορετικών ασύρματων δικτύων και δικτύων κινητών επικοινωνιών.
- **Διαφορετικές τιμές εύρους ζώνης:** Η διασύνδεση και διαλειτουργικότητα των διαφορετικών δικτύων σε μια κοινή βάση θα επιφέρει την ύπαρξη ενός συνόλου πιθανών επικαλυπτόμενων και αλληλοσυμπληρούμενων στρωμάτων (layers), καθένα από τα οποία θα χαρακτηρίζεται από διαφορετική τεχνολογία πρόσβασης. Ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση οι χρήστες θα εξυπηρετούνται από διαφορετικά στρώματα και θα απολαμβάνουν διαφορετική ποιότητα όσον αφορά το εύρος ζώνης.

Για παράδειγμα, σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές τα δίκτυα τρίτης γενιάς θα παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μέσα για βελτιωμένες υπηρεσίες. Σε σημεία υψηλής κίνησης (hot spots), ένα ασύρματο δίκτυο WLAN θα ενισχύει τις υπηρεσίες 2G/3G παρέχοντας πρόσβαση στις ίδιες υπηρεσίες με ακόμη μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως τα δορυφορικά δίκτυα ή το Bluetooth μπορούν να ενισχύσουν ακόμη περισσότερο αυτές τις λειτουργίες.

- **Εξελιγμένοι σταθμοί βάσης:** Οι σταθμοί βάσης των μελλοντικών συστημάτων θα χρησιμοποιούν "έξυπνες" κεραιές, για να αυξήσουν τη χωρητικότητα του συστήματος, θα έχουν οι ίδιοι κάποιες λειτουργίες, προκειμένου να μειωθεί το κόστος χειρισμού και θα είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν ένα ευρύ φάσμα τερματικών.
- **Υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων:** Η μέγιστη χωρητικότητα των 2Mbps των συστημάτων 3^{ης} γενιάς, αν και επαρκής για τις εφαρμογές των προσεχών ετών, πιθανότατα δε θα καλύπτει τις απαιτήσεις των εφαρμογών των επόμενων δεκαετιών. Αν και δεν υπάρχει σαφήνεια ως προς το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, τα συστήματα 4^{ης} γενιάς αναμένεται ότι θα παρέχουν ρυθμούς από 50 έως 155 Mbps.
- **Αξιοποίηση context information:** Επιπλέον στόχος των συστημάτων 4^{ης} γενιάς θα είναι και η αξιοποίηση ενός συνόλου πληροφοριών, γνωστού ως «context information» που θα διευκολύνει την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών. Ως τέτοιου είδους πληροφορίες μπορούν να θεωρηθούν η γεωγραφική θέση του χρήστη, οι προτιμήσεις του όσον αφορά τον τρόπο σύνδεσης, καθώς και άλλα χαρακτηριστικά της επικοινωνίας, όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) και τα χαρακτηριστικά του τερματικού. Γενικά, πρόκειται για πληροφορίες που μπορούν να αντληθούν από μια σύνοδο επικοινωνίας, χωρίς ωστόσο να σχετίζονται ή να αντλούνται από το πραγματικό περιεχόμενο της επικοινωνίας.

2.1.4.3. Εφαρμογές και υπηρεσίες 4G

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα δίκτυα τέταρτης γενιάς θα παρέχουν περισσότερα από απλές ασύρματες τηλεπικοινωνίες φωνής. Η κύρια κατεύθυνσή τους θα είναι η παροχή επικοινωνιών υψηλής ταχύτητας και εύρους ζώνης, με δεδομένα οργανωμένα σε πακέτα (ακόμη και η κίνηση φωνής θα μεταδίδεται σε πακέτα).

Ως **υπηρεσίες** ορίζουμε τις λειτουργίες που προσφέρονται στους συνδρομητές από τους παρόχους. Ως **εφαρμογές** ορίζουμε τα προγράμματα (λογισμικό) που αξιοποιούν-εκμεταλλεύονται τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα δίκτυα. Αν και οι υπηρεσίες των δικτύων τέταρτης γενιάς δεν έχουν ακόμα καθοριστεί, ορίζονται γενικά 4 κατηγορίες (κλάσεις) υπηρεσιών, ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετούν:

- **Localized/Personalized Information:** Οι υπηρεσίες πληροφοριών θα παρέχουν στους χρήστες γενικά νέα, οικονομικές ειδήσεις, οδηγούς περιοχών, κινητό εμπόριο και ταξιδιωτικές υπηρεσίες. Παράλληλα, θα επιτρέπουν στο χρήστη να δημιουργήσει ένα μοναδικό προφίλ, με το οποίο θα συσχετίζεται, ακόμη κι αν ο χρήστης φιλοξενείται σε άλλα συστήματα (roaming). Μια νέα υπηρεσία που ήδη έχει αρχίσει να διαδίδεται είναι το κινητό εμπόριο (M-Commerce), το οποίο επιτρέπει στους συνδρομητές να αγοράσουν αντικείμενα χρησιμοποιώντας μια ασύρματη συσκευή. Περαιτέρω εξέλιξη της υπηρεσίας αυτής σε ό,τι αφορά τα συστήματα 4^{ης} γενιάς θα ονομάζεται Intelligent shopping και επιπλέον θα παρέχει στους χρήστες πληροφορίες για τις τιμές και τα προσφερόμενα προϊόντα των καταστημάτων, τα οποία επισκέπτονται. Αναλυτικότερα κατά την είσοδο του χρήστη σε ένα κατάστημα, το τερματικό του θα συντονίζεται αυτόματα στον πάροχο υπηρεσιών του καταστήματος εκθέτοντας πληροφορίες για τα προϊόντα που πωλούνται.
- **Communications:** Οι υπηρεσίες επικοινωνιών περιλαμβάνουν τις υπηρεσίες SMS/MMS, ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τηλεδιάσκεψης βίντεο, φαξ, καθώς και πινάκων ανακοινώσεων. Οι υπηρεσίες αυτές θα βελτιωθούν σημαντικά στις μελλοντικές γενιές δικτύων, κυρίως όσον αφορά την ταχύτητα και την αξιοπιστία. Σχετικά με την υπό συζήτηση κατηγορία, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην εφαρμογή Tele-presence, μια εφαρμογή που θα συνίσταται στη συμμετοχή όλων

των αισθήσεων, προκειμένου να παρέχει στο χρήστη την ψευδαίσθηση ότι βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο μέρος. Πρόκειται ουσιαστικά για πραγματικού χρόνου υπηρεσία εικονικής πραγματικότητας, που θα αποτελέσει την εξέλιξη των σημερινών υπηρεσιών τηλεσυνδιάσκεψης, αφού θα παρέχει τη δυνατότητα εικονικών meeting (οι συμμετέχοντες, αν και σε διαφορετικά μέρη, θα έχουν την ψευδαίσθηση ότι βρίσκονται στον ίδιο χώρο). Εφαρμογές αυτού του είδους σε συνδυασμό με αποδοτικές τεχνικές συμπίεσης θα απαιτούν χωρητικότητες της τάξης των 100Mbps. Περαιτέρω η φύση των εν λόγω υπηρεσιών (πραγματικού χρόνου) θα επιβάλλει πολύ αυστηρούς περιορισμούς, όσον αφορά την καθυστέρηση και άλλες παραμέτρους QoS.

- **Organization:** Οι υπηρεσίες οργάνωσης περιλαμβάνουν δυνατότητες προσωπικού ψηφιακού βοηθού (PDA), ανταλλαγή συναλλάγματος με βάση την τοποθεσία του χρήστη, καθώς και άλλες εφαρμογές διαχείρισης, όπως ημερολόγια, βιβλία διευθύνσεων κτλ.
- **Entertainment:** Οι υπηρεσίες ψυχαγωγίας θεωρούνται από τους παροχείς υπηρεσιών ως οι επικρατέστερες για άμεση απόσβεση του επενδυμένου κεφαλαίου και περιλαμβάνουν υπηρεσίες, όπως ροή ήχου, ροή βίντεο (streaming), chat, ανταλλαγή φωτογραφιών και παιχνίδια. Η κλάση Entertainment θα είναι γενικά αντιπροσωπευτική της δυνατότητας για στιγμιαία πρόσβαση σε μεγάλο όγκο δεδομένων, όπως αρχεία video ή audio μεγάλου μεγέθους και οι εφαρμογές που θα ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, θα είναι λιγότερο ευαίσθητες στη καθυστέρηση, καθώς δε θα απαιτείται μεταφορά των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι απαιτούμενοι από την κλάση αυτή ρυθμοί μετάδοσης θα είναι οι υψηλότεροι δυνατοί, ενώ η κίνηση θα είναι ασύμμετρη με το λόγο των ρυθμών μετάδοσης στις ζεύξεις downlink και uplink να έχει τιμή 50/1 ή και μεγαλύτερη.



Σχήμα 2-8: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ 4G

Πέρα από τον προηγούμενο διαχωρισμό σε κατηγορίες για τις υπηρεσίες που θα προσφέρουν τα συστήματα 4^{ης} γενιάς, θα ισχύουν και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Location-based services/push and pull services:** Πρόκειται για την παροχή υπηρεσιών, οι οποίες θα βασίζονται στην ικανότητα του δικτύου να εντοπίζει τους συνδρομητές. Στα δίκτυα τέταρτης γενιάς υπάρχει ο στόχος, να είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης των συνδρομητών, είτε αυτοί βρίσκονται σε ανοικτό χώρο είτε σε κλειστό. Εδώ μπορεί να βοηθήσει ιδιαίτερα το προφίλ χρηστών, το οποίο περιέχει τις προτιμήσεις τους, ώστε να μπορούν οι χρήστες να ζητάνε πληροφορίες από το δίκτυο (pull) ή το δίκτυο να τους προωθεί υπηρεσίες (push). Από τις υπηρεσίες αυτού του τύπου αναμένεται ότι θα ωφεληθούν σημαντικά οι εφαρμογές έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο με πρόβλημα υγείας καλέσει ασθενοφόρο από το κινητό του τηλέφωνο, αλλά δεν είναι ικανό να αναφέρει τη θέση στην οποία βρίσκεται, η τελευταία θα προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια μέσω ερώτησης προς το τερματικό. Στα σημερινά δίκτυα η θέση του χρήστη προσδιορίζεται από τα ενεργά κελιά που επικοινωνούν με τη συσκευή του. Η τεχνική αυτή δίνει στην καλύτερη περίπτωση ακρίβεια μερικών οικοδομικών τετραγώνων, που δεν πλησιάζει καν την απαιτούμενη ακρίβεια.

- **Inter-machine communication:** Πρόκειται για τη δυνατότητα των συσκευών να επικοινωνούν μεταξύ τους για λόγους είτε συντήρησης είτε πληροφόρησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής αυτού του είδους αποτελεί ο εξοπλισμός μηχανής αυτοκινήτου που περιλαμβάνει ασύρματες διεπαφές, επιτρέποντας έτσι την ενημέρωση των αντίστοιχων πωλητών, όταν παρουσιάζονται δυσλειτουργίες.
- **Security:** Η ασφάλεια θα είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό των μελλοντικών γενιών δικτύων. Η ακεραιότητα των δεδομένων πρόκειται να αποτελέσει κρίσιμο παράγοντα που θα επιτρέψει την ευδοκίμηση εφαρμογών ηλεκτρονικής πληρωμής και τραπεζικών συναλλαγών. Επιπλέον, υπηρεσίες ασφάλειας θα εξασφαλίζουν τη διαφύλαξη των προσωπικών δεδομένων των χρηστών.

		Sender	
		Human	Machine
Receiver	Human	VoIP Videophone/conference Interactive games Chat Visual mail/audio mail Text mail	Video relay broadcasting Video supervision Human navigation Internet browsing Information service Music download
	Machine	Remote control Recording to storage devices: voice, video, etc.	Location information services, distribution systems, etc. Data transfer Consumer electronic device maintenance

Real time (indicated by an upward arrow)

 Permit delay (indicated by a downward arrow)

Σχήμα 2-9: ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΓΙΑ REAL-TIME ΚΑΙ NON-REAL-TIME ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

2.1.4.4. Υποστήριξη QoS σε 4G

Τα ασύρματα δίκτυα τέταρτης γενιάς θα υποστηρίζουν παγκόσμια περιαγωγή (roaming) σε διάφορα ασύρματα και κινητά δίκτυα (για παράδειγμα από ένα δίκτυο κινητής

τηλεφωνίας σε ένα δορυφορικό δίκτυο και σε ένα ασύρματο LAN). Με αυτό το χαρακτηριστικό οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση σε διαφορετικές υπηρεσίες, βελτιωμένη κάλυψη και πιο αξιόπιστη πρόσβαση, ακόμη κι αν παρουσιάσουν βλάβη ένα ή περισσότερα δίκτυα.

Η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στα δίκτυα τέταρτης γενιάς αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση, εξαιτίας της μεταβλητότητας που παρουσιάζουν οι ρυθμοί μετάδοσης, τα χαρακτηριστικά των καναλιών, η κατανομή του εύρους ζώνης, τα επίπεδα ανοχής σφαλμάτων, καθώς και η υποστήριξη διαπομπών ανάμεσα σε ετερογενή ασύρματα δίκτυα. Ορίζονται τέσσερα επίπεδα QoS:

- **QoS σε επίπεδο πακέτου (Packet level):** αναφέρεται στη μεταβλητότητα καθυστέρησης (jitter), τη ρυθμοαπόδοση (throughput) και το ποσοστό λαθών.
- **QoS σε επίπεδο συναλλαγής (Transaction level):** περιγράφει αφενός το χρόνο που χρειάζεται, για να ολοκληρωθεί μια συναλλαγή και αφετέρου το ποσοστό απολεσθέντων πακέτων.
- **QoS σε επίπεδο κυκλώματος (Circuit level):** περιλαμβάνει την απόρριψη καινούριων ή ήδη υπαρχόντων κλήσεων. Εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του δικτύου να εγκαταστήσει και να διατηρήσει το κύκλωμα από άκρη σε άκρη.
- **QoS σε επίπεδο χρήστη (User level):** εξαρτάται από την κινητικότητα του χρήστη και το είδος της εφαρμογής.

Η επικοινωνία από άκρη σε άκρη μεταξύ δύο χρηστών συνήθως θα περιλαμβάνει περισσότερα του ενός ασύρματα δίκτυα. Επειδή η ποιότητα υπηρεσίας θα ποικίλει στα διάφορα δίκτυα, για αυτούς τους χρήστες η ποιότητα υπηρεσίας θα ταυτίζεται με την ελάχιστη που υποστηρίζουν αυτά. Ένα ασύρματο δίκτυο θα μπορούσε να γνωστοποιεί στα υπόλοιπα δίκτυα το επίπεδο QoS που υποστηρίζει, ώστε να γίνεται αποδοτική χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων του. Αφού κάθε ασύρματο δίκτυο έχει τους δικούς του μηχανισμούς, για να παρέχει QoS και διαφορετικές παραμέτρους QoS, μια λύση είναι η

τοποθέτηση έξυπνων πρακτόρων, οι οποίοι θα διαπραγματεύονται και θα ανταλλάσσουν αυτές τις παραμέτρους.

Μια παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα υπηρεσίας στα δίκτυα τέταρτης γενιάς, είναι η καθυστέρηση διαπομπών, αφού αυτές απαιτούν ανταλλαγές μηνυμάτων, πολλαπλές προσβάσεις σε βάσεις δεδομένων και διαπραγματεύσεις (εξαιτίας της σημαντικής διαφοράς μεταξύ απαιτούμενης και διαθέσιμης QoS). Κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης μιας διαπομπής ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί μια σημαντική πτώση στην ποιότητα υπηρεσίας. Η χρήση προσαρμοστικών ανάλογα με τη θέση εφαρμογών μπορεί να μειώσει τόσο την καθυστέρηση διαπομπών όσο και τη μεταβλητότητα QoS.

3. Διαχείριση Ραδιοπόρων για Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών Τέταρτης Γενιάς (RRM – Radio Resource Management)

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαχείριση ραδιοπόρων για συστήματα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Η περιγραφή εξειδικεύεται κυρίως για το σύστημα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς αλλά και στο τμήμα της διαχείρισης ραδιοπόρων που έχει σχέση με τη συνεργασία των υποκείμενων δικτύων σε ένα ετερογενές σύστημα κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς.

Στην πρώτη ενότητα γίνεται αναφορά στις συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται από την διαχείριση ραδιοπόρων, όπως είναι για παράδειγμα ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων και οι συναρτήσεις που αφορούν τις διαπομπές. Στη δεύτερη ενότητα γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική της διαχείρισης ραδιοπόρων και συγκεκριμένα στις οντότητες που χρησιμοποιούνται και την όλη δομή που υποστηρίζει τις λειτουργίες της διαχείρισης ραδιοπόρων.

3.1. Συναρτήσεις Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM Functions)

Η διαχείριση ραδιοπόρων είναι ένας γενικός όρος για διάφορους αλγόριθμους και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η εκμετάλλευση των ασύρματων πόρων σε διαφορετικά επίπεδα και αρχιτεκτονικές. Ο γενικός στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν οι δεδομένοι ραδιοπόροι με αποδοτικό τρόπο. Οι λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων που μελετώνται είναι οι ακόλουθες:

- 1) **Ο Σχεδιασμός του Φάσματος:** Μέθοδοι για την αποδοτική και ευέλικτη χρήση του φάσματος μεταξύ των διαφόρων τρόπων μετάδοσης και των κυψελών, τις οποίες διατάσσουμε σε μία ιεραρχική δομή.

- 2) **Κατανομή Φάσματος:** Μέθοδοι για την κατανομή του φάσματος μεταξύ των χειριστών.
- 3) **Επίπεδο Ελέγχου Υπηρεσιών:** Η διαχείριση των ροών του ίδιου χρήστη ή/και μεταξύ διαφορετικών χρηστών.
- 4) **Σχεδιασμός:** Κατανομή των φυσικών πόρων των καναλιών υπό την καθοδήγηση της λειτουργίας ελέγχου του επιπέδου υπηρεσιών.
- 5) **Έλεγχος Ισχύος:** Μέθοδοι για την ελαχιστοποίηση του κοντινού-μακρινού φαινομένου (near-far effect) στην άνω-ζεύξη και έλεγχος της ενδοκυψελικής παρεμβολής στην κάτω-ζεύξη κρατώντας το λόγο του σήματος προς παρεμβολή και το σηματοθορυβικό λόγο (SINR) εντός ενός αντικειμενικού στόχου.
- 6) **Προσαρμογή Συνδέσεων:** Μέθοδοι για την προσαρμογή της διαμόρφωσης και του ρυθμού κωδικοποίησης.
- 7) **Διαχείριση Απομονωτών:** Αλγόριθμοι για την διαχείριση των ουρών αναμονής λαμβάνοντας υπόψη της απαιτήσεις της ποιότητας υπηρεσιών, οι οποίες προέρχονται από τις εφαρμογές και τις απαιτήσεις του χρήστη όπως είναι για παράδειγμα τα όρια καθυστέρησης ή η προτεραιότητα του χρήστη κ.α.
- 8) **Αστυνόμευση της Κυκλοφορίας:** Παροχή διαφορετικών επιπέδων υπηρεσιών στις ροές δεδομένων.
- 9) **Επιλογή του Τρόπου Μετάδοσης και του Δικτύου:** Αλγόριθμοι για την επιλογή ενός ή περισσότερων τρόπων μετάδοσης ή δικτύου για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων ροών δεδομένων ή χρηστών.
- 10) **Διαπομπή:** Η διαδικασία μεταγωγής μεταξύ δύο κυψελών ενός ίδιου ή διαφορετικού δικτύου ή τρόπου μετάδοσης.
- 11) **Έλεγχος Αποδοχής:** Αλγόριθμος που επιβεβαιώνει ότι η αποδοχή μίας νέας ροής εντός ενός δικτύου με περιορισμένους πόρους δεν παραβιάζει τις δεσμεύσεις που έχουν γίνει με τους ήδη υπάρχοντες χρήστες που μεταδίδουν για την ποιότητα υπηρεσίας αυτών.

- 12) **Έλεγχος Συμφόρησης Φορτίου:** Αλγόριθμος υπεύθυνος για την γρήγορη επιστροφή του δικτύου από μία υπερφορτωμένη κατάσταση σε μία άλλη που είναι η επιθυμητή από την άποψη του ύψους φορτίου που πρέπει να υπάρχει στο δίκτυο την κάθε χρονική στιγμή.
- 13) **Δρομολόγηση:** Αλγόριθμοι υπεύθυνοι για την επιλογή της κατάλληλης διαδρομής εντός δικτύου για κάθε ροή φορτίου. Μπορεί γενικά να υπάρχουν περισσότερες της μίας πιθανής διαδρομής.

Είναι αποδεκτό ότι η ασύρματη διεπαφή των 4G θα περιλαμβάνει ένα αριθμό από διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης, καθένας από τους οποίους θα έχει ως στόχο και θα είναι βελτιστοποιημένος προς ένα συγκεκριμένο σενάριο διάδοσης ή ακόμα και χρηστών. Εντούτοις, πολλοί από τους μηχανισμούς διαχείρισης ραδιοπόρων μπορούν να είναι κοινοί για τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης των 4G (π.χ. ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων). Ως εκ τούτου οι λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων μπορούν να διαιρεθούν σε γενικές και ειδικές RRM λειτουργίες. Παρόλα αυτά είναι πολύ πιθανό ότι τελικώς θα υπάρξει μία επικάλυψη μεταξύ των ειδικών και γενικών, όπου το γενικό μέρος θα διαχειρίζεται το ειδικό. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ο έλεγχος ισχύος όπου το γενικό μέρος θα μπορεί να καθορίζει ένα διάστημα αποδεκτών τιμών ισχύος για τις οποίες το ειδικό μέρος της συνάρτησης θα εκτελεί τον πραγματικό έλεγχο ισχύος και τον έλεγχο για τον αν η προκύπτουσα τιμή ανήκει εντός των ορίων. Ακόμα και αν μερικοί μηχανισμοί θεωρηθούν ως γενικοί, αυτοί οι μηχανισμοί θα βασίζονται στις μετρήσεις που γίνονται στα διαφορετικά συστήματα μετάδοσης από ειδικές συναρτήσεις. Επιπλέον διαχωρισμός μπορεί να γίνει στους μηχανισμούς διαχείρισης ραδιοπόρων, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ως εξής:

- 1) **Μηχανισμοί RRM συγκεκριμένοι ως προς τον τρόπο μετάδοσης (Modespecific RRM functions):** Αυτοί στοχεύουν και είναι βελτιστοποιημένοι για ένα συγκεκριμένο τρόπο μετάδοσης και σενάριο ανάπτυξης και περιλαμβάνουν χρονοδρομολόγηση, έλεγχο ισχύος, προσαρμογή της ζεύξης του ασύρματου διαύλου, διαπομπές μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και δρομολόγηση.

- 2) **Γενικοί RRM μηχανισμοί (Generic RRM functions):** Αυτοί μοιράζονται μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης του 4G ή χρησιμοποιούνται για τον συντονισμό τους και περιλαμβάνουν των κατανομή του φάσματος, το επίπεδο ελέγχου υπηρεσιών, την επιλογή του τρόπου μετάδοσης, την διαχείριση των απομονωτών, την αστυνόμευση της κίνησης, τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων, τον έλεγχο συμφόρησης και τις διαπομπές μεταξύ εντός του ίδιου τρόπου μετάδοσης (Intermode).
- 3) **Συνεργατικοί RRM μηχανισμοί (Cooperative RRM functions, CoopRRM):** Αυτοί χρησιμοποιούνται για τη συνεργασία μεταξύ των 4G και των παλαιότερων ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών όπως είναι το UMTS και το WLAN. Οι μηχανισμοί αυτοί εδρεύουν στις συνεργατικές RRM οντότητες του δικτύου. Αυτές περιλαμβάνουν διαπομπές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, έλεγχο αποδοχής κλήσεων, έλεγχο συμφόρησης και επιλογή ασύρματου δικτύου.

3.1.1. Σχεδιασμός του Φάσματος

Ο σχεδιασμός του φάσματος διαχωρίζει το διαθέσιμο φάσμα μεταξύ των διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και των κυψελών που υπάρχουν (ιεραρχικά ταξινομημένες) σε μία γεωγραφική περιοχή. Εφαρμόζεται είτε στους διαθέσιμους πόρους που ανήκουν στον διαχειριστή ή ακόμα και σε πόρους που γίνονται προσωρινά διαθέσιμοι από άλλους διαχειριστές ή ασύρματα συστήματα πρόσβασης μέσω της διανομής του φάσματος. Στην ουσία ο σχεδιασμός του φάσματος είναι υπεύθυνος για την συνεργασία και την βελτιστοποίηση της χρήσης του φάσματος εντός των 4G.

Πολλές δυνατότητες για μια βελτιωμένη χρήση του συστήματος μπορεί να προκύψουν αν αναλογιστούμε την βελτιστοποίηση του φάσματος ως μία λειτουργία που διενεργείται σε όλους τους τόπους διάδοσης που περιλαμβάνονται στα 4G. Αυτές οι δυνατότητες περιλαμβάνουν για παράδειγμα την δυναμική κατανομή των πόρων ανάμεσα στους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης έτσι ώστε να αυξηθεί η ευελιξία του δικτύου. Μία ακόμα δυνατότητα είναι να αυξηθεί η επαναχρησιμοποίηση φάσματος, π.χ. με την συνύπαρξη P2P τρόπων μετάδοσης στην ίδια περιοχή φάσματος και στην ίδια κυψέλη με

άλλους τρόπους μετάδοσης μέσω της χρήσης της πληροφορίας για την θέση του τερματικού και κατάλληλων μεταβλητών όπως της ισχύος μετάδοσης.

3.1.2. Κατανομή Φάσματος

Η κατανομή φάσματος επανεκχωρεί περιοδικά μία μερίδα των φασματικών πόρων μεταξύ των διαφόρων δικτύων που συνυπάρχουν στα 4G. Σε αντίθεση με τη συμβατική σταθερή ανάθεση φάσματος, η κατανομή φάσματος επιτρέπει τη δυναμική ισορροπία των φασματικών πόρων μεταξύ των δικτύων. Αυτός ο τρόπος κατανομής φάσματος λύνει το ίδιο πρόβλημα με αυτό της ισορροπίας της κίνησης μεταξύ των δικτύων, ισορροπώντας τους φασματικούς πόρους σύμφωνα με την κίνηση. Παρόλα αυτά η ισορροπία της κίνησης και ο καταμερισμός του φάσματος πρέπει να εξετάζονται ως συμπληρωματικές και όχι ως εναλλακτικές τεχνικές λόγω του διαφορετικού χρονικού πλαισίου λειτουργίας τους.

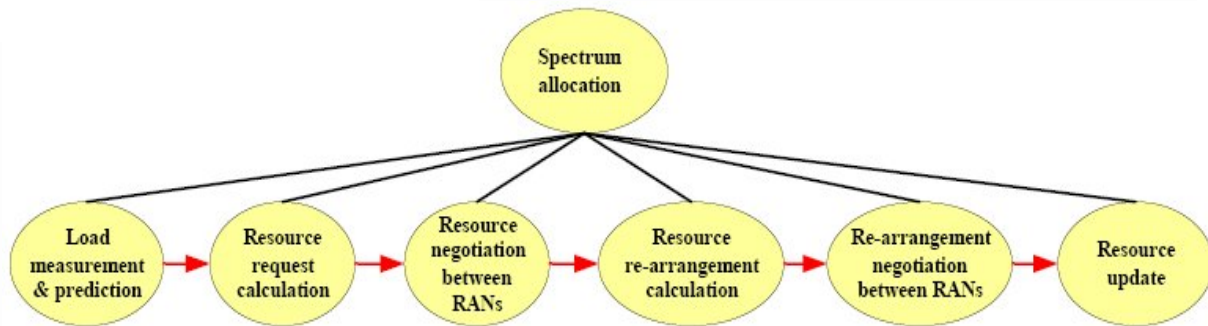
Οι φασματικοί πόροι που αποδίδονται στα δίκτυα μπορεί να είναι μέρη του φάσματος ή και μέρη του χρόνου, δηλαδή χρονοθυρίδες. Μία βασική αρχή της κατανομής φάσματος μεταξύ των δικτύων είναι να κατανέμεται το φάσμα με όσο το δυνατόν πιο ορθογώνιο τρόπο, δηλαδή οι φασματικές πηγές να διαχωρίζονται στο χρόνο, στη συχνότητα και στο χώρο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν μικρότερη παρεμβολή μεταξύ αυτών. Αυτό όμως απαιτεί πολύ στενή συνεργασία μεταξύ των δικτύων και έναν πολύπλοκο τρόπο διαχείρισης της παρεμβολής μεταξύ διάφορων δικτύων όπως και πολύ αυστηρού περιορισμούς στη λειτουργία του ελέγχου ραδιοπόρων στο εσωτερικό των δικτύων. Αυτή η μέθοδος ευνοεί τα συστήματα με διαίρεση στο χρόνο (Time Division Duplex, TDD) όπου είναι εύκολο να κατανεμηθούν οι πηγές ορθογώνια στο χρόνο. Άλλες αρχές της κατανομής φάσματος είναι οι ακόλουθες:

- Η λειτουργία της κατανομή φάσματος κατανέμεται σε όλα τα δίκτυα και για την κατανομή υπάρχει μία διαπραγμάτευση μεταξύ αυτών χωρίς να υπάρχει μία κεντρική μονάδα.
- Οι φασματικοί πόροι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: οι πόροι που αποδίδονται σε δίκτυα με μία συγκεκριμένη προτεραιότητα και σε κοινές «δεξαμενές πόρων».

- Ο διάθεση των πόρων που αποδίδονται με συγκεκριμένη προτεραιότητα στα δίκτυα είναι μία εγγυημένη βασική λειτουργία του δικτύου για κάθε περίπτωση. Ένα δίκτυο μπορεί να αποδεσμεύσει μέρος της προτεραιότητας που έχει ανατεθεί στους πόρους για άλλα δίκτυα, αλλά μπορεί να ανακαλέσει τους πόρους αυτούς στην επόμενη φάση διαπραγμάτευσης. Με άλλα λόγια έχει μία συνεχόμενη προτεραιότητα για τους πόρους αυτούς.
 - Οι κοινές «δεξαμενές» πόρων μπορούν να δεσμευτούν από κάθε δίκτυο.
- Η έννοια τις «δίκαιης» κατανομής των πόρων και οι μετρήσεις κόστους χρησιμοποιούνται στη φάση της διαπραγμάτευσης για την κατανομή των πόρων έτσι ώστε να επιτευχθεί □δικαιοσύνη□ και αποτελεσματικότητα στις αποφάσεις κατανομής των πόρων που λαμβάνονται.
 - Η κατανομή των φασματικών πόρων κυμαίνεται γεωγραφικά, αν και προτιμώνται οι συνεχόμενες ως προς το χώρο κατανομές φάσματος, έτσι ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες παρεμβολές μεταξύ των δικτύων. Για να διευκολυνθεί η ομαλή χωρική μετάβαση στις κατανομές, προβλέπεται ότι οι κατανομές θα πρέπει να διευκρινίζονται για κάθε σταθμό βάσης (ή σύνολο σταθμών βάσης).
 - Η κατανομή φάσματος γίνεται περιοδικά και με ένα χαμηλό ρυθμό της τάξης των αρκετών λεπτών.

Μπορεί να είναι επιθυμητό οι κοινές «δεξαμενές» πόρων να ανατίθενται σε ένα δίκτυο για περιόδους πολλαπλών φασματικών κατανομών στο χρόνο, δηλαδή δεν ανακατανέμονται όλες οι κοινές δεξαμενές πόρων σε κάθε περίοδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία ομαλότερη προσαρμογή κατανομής φάσματος και πιθανώς μία μειωμένη ανάγκη για προτεραιότητες που ανατίθενται στους φασματικούς πόρους. Μία απλή λύση είναι οι αναθέσεις να έχουν μία κοινή διάρκεια περιόδων πολλαπλής κατανομής και οι φασματικοί πόροι μπορούν να αποδεσμεύονται κατά τη διάρκεια της ανάθεσης.

Το λογικό διάγραμμα για τα σχήματα κατανομής φάσματος που υπάρχουν σε κάθε δίκτυο παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα. Οι λειτουργίες που παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα αναφέρονται λεπτομερώς στις επόμενες παραγράφους.



Σχήμα 3-1: ΤΟ ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

3.1.2.1. Μέτρηση του φορτίου και πρόβλεψη (Load measurement and prediction)

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες της κατανομής φάσματος είναι ο προσδιορισμός του φορτίου. Η ανάγκη για πρόβλεψη του φορτίου προκαλείται από τον χαμηλό ρυθμό προσαρμογής στην κατανομή του φορτίου και η ακρίβεια της πρόβλεψης καθορίζει την αποτελεσματικότητα της κατανομής.

Υπάρχουν τρία σημαντικά μέρη στη διαδικασία της πρόβλεψης του φορτίου. Αυτά είναι η μέτρηση του φορτίου, το ιστορικό του φορτίου και ο αλγόριθμος πρόβλεψης. Η μέτρηση του φορτίου γίνεται απλά καταγράφοντας το φορτίο των δικτύων κατά τη διάρκεια της κατανομής φάσματος. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να αποθηκευτούν με διάφορους τρόπους έτσι ώστε να είναι χρήσιμες και για άλλες λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων που μπορεί να τις χρειάζονται. Τα στατιστικά του φορτίου καταγράφονται έτσι ώστε να προκύπτει ένα ιστορικό του φορτίου, δηλαδή μια βάση δεδομένων του παρελθόντος για το φορτίο στο δίκτυο. Το ιστορικό του φορτίου αποτελεί τον κύριο παράγοντα της διαδικασίας του αλγορίθμου και βασίζεται στην υπόθεση ότι η μορφή της κίνησης σε ένα δίκτυο θα είναι επαναλαμβανόμενη και προβλέψιμη από μέρα σε μέρα και από τη μία εβδομάδα στην επόμενη. Επομένως διατηρώντας ένα ιστορικό του φορτίου για κάθε μέρα της εβδομάδας και για κάθε περιοχή θα είναι εύκολο να προβλέψουμε, μέχρι ενός βαθμού ακρίβειας, ο φορτίο στο δίκτυο. Για να είμαστε όσο το δυνατόν πιο ακριβείς στις προβλέψεις μας θα πρέπει να διατηρούμε το ιστορικό του φορτίου για κάθε μέρα της εβδομάδας (με προσοχή στη διαφορά που υπάρχει μεταξύ εργασιμων ημερών και του

σαββατοκύριακου) και για διαφορετικές εβδομάδες. Επιπλέον υπάρχει ανάγκη για προσαρμογή σε εποχιακές διακυμάνσεις ή μικρές βραχυπρόθεσμες αλλαγές στο φορτίο όπως για παράδειγμα στον αριθμό των εγγεγραμμένων χρηστών. Είναι σαφές ότι υπάρχουν πολλές δυνατότητες στην διατήρηση του ιστορικού του φορτίου.

Το τρίτο και τελευταίο μέρος της πρόβλεψης του φορτίου χρειάζεται να εξετάσει και το φορτίο κατά την τελευταία περίοδο κατανομής αλλά και το ιστορικό του φορτίου και να καταλήξει σε μία εκτίμηση για το φορτίο στο δίκτυο κατά την επόμενη περίοδο. Η βάση για την πρόβλεψη μπορεί να είναι είτε το ιστορικό του φορτίου ή μια χρονική ακολουθία προβλέψεων του αλγορίθμου. Ένα πρόβλημα της χρησιμοποίησης του ιστορικού του φορτίου για την πρόβλεψη του μελλοντικού είναι η έλλειψη προσαρμογής στις τυχαίες αλλαγές των απαιτήσεων της κίνησης. Επομένως εάν το φορτίο που έχει παρατηρηθεί αποκλίνει από το ιστορικό του φορτίου παραπάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος που βασίζεται σε μία χρονική ακολουθία προβλέψεων. Γενικά υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές για τέτοιους αλγορίθμους όπως για παράδειγμα αυτός του μεταβλητού μέσου όρου, της γραμμικής και της εκθετικής συμμεταβολής.

3.1.2.2. Υπολογισμός των αιτήσεων για φασματικούς πόρους (Resource request calculation)

Με βάση τα φορτία που έχουν προβλεφθεί μπορούν να καθοριστούν οι αιτήσεις για φασματικούς πόρους κάθε σταθμού βάσης (ή συνόλου σταθμών βάσης). Ο υπολογισμός των αιτήσεων περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

- Καταρχήν πρέπει να γίνει μία εκτίμηση των πόρων του φάσματος που θα απαιτηθούν για να εξυπηρετήσουν το φορτίο που προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο πρόβλεψης φορτίου για την επόμενη χρονική περίοδο.
- Δεύτερον η εκτίμηση αυτή συγκρίνεται με το πλήθος των πόρων που έχουν ανατεθεί με υψηλή προτεραιότητα στο δίκτυο αυτό, καθώς επίσης και αυτών που έχουν ανατεθεί από την κοινή «δεξαμενή» πόρων για την επόμενη περίοδο κατανομής. Θυμίζουμε ότι μία ανάθεση πόρων έχει διάρκεια μερικών περιόδων

κατανομής. Βάση της σύγκρισης αυτής μπορεί να υπολογιστεί πόσους επιπλέον φασματικούς πόρους πρέπει να αποδεσμεύσουμε από τα άλλα δίκτυα, ή αντιστρόφως πόσους φασματικούς πόρους έχει ανάγκη το εξεταζόμενο δίκτυο. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πόροι από την κοινή «δεξαμενή» πόρων είναι οι πρώτοι που αποδεσμεύονται και εν συνεχεία αν χρειαστεί αποδεσμεύονται πόροι ενός δικτύου τους οποίους κατέχει με υψηλή προτεραιότητα. Επίσης οι πόροι ενός δικτύου τους οποίους κατέχει με υψηλή προτεραιότητα είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται πρώτοι από το δίκτυο αυτό και εν συνεχεία εάν έχει επιπλέον ανάγκες στρέφεται στην αναζήτηση πόρων από την κοινή «δεξαμενή» πόρων.

- Τρίτον οι ακριβείς «μονάδες των πόρων» που πρέπει να δεσμευτούν/απελευθερωθούν καθορίζονται έτσι ώστε να είναι οι περισσότερο επιθυμητές για το δίκτυο. Ο καθορισμός των μονάδων των πόρων επηρεάζεται από τις γεωγραφικές μεταβολές στην κατανομή των πόρων και τις μεταβολές των φορτίων εντός αυτών καθώς επίσης και από το φάσμα που απαιτείται για επιφυλακή (guard resources), το οποίο είναι στην πραγματικότητα ανενεργό ή υποχρησιμοποιούμενο. Στην επιλογή των πόρων υπάρχει η ανάγκη για συνεχή κατανομή πόρων αλλά από την άλλη αποφεύγεται ο έντονος τεμαχισμός του φάσματος, επειδή στην περίπτωση αυτή απαιτούνται εκτεταμένες φασματικές περιοχές επιφυλακής. Η τρίτη φάση που συζητείται στην παράγραφο αυτή μπορεί να εκτελεστεί με την εξής σειρά:
 - Τα δίκτυα γνωστοποιούν στα υπόλοιπα ότι χρειάζονται τους πόρους που κατέχουν με υψηλή προτεραιότητα για την επόμενη περίοδο και τους οποίους είχαν έως τώρα παραχωρήσει στα άλλα δίκτυα.
 - Τα δίκτυα καθορίζουν τους φασματικούς πόρους που θα απελευθερώσουν στην επόμενη περίοδο ενημερώνοντας τα άλλα δίκτυα. Κάθε δίκτυο λοιπόν ενημερώνει το πίνακα διαθέσιμων φασματικών πόρων της επόμενης περιόδου περιλαμβάνοντας αφενός τις αναθέσεις πόρων για τις οποίες λήγει το χρονικό περιθώριο, αφετέρου τις αναθέσεις πόρων για τις οποίες το δίκτυο εθελοντικά παραχωρεί.

- ο Τα δίκτυα καθορίζουν τους φασματικούς πόρους που θα ζητήσουν για την επόμενη χρονική περίοδο.
- ο Τέταρτον ανατίθενται προτεραιότητες στις απαιτήσεις φασματικών πόρων που ζητούνται για την επόμενη χρονική περίοδο.

Ο υπολογισμός των αιτήσεων για φασματικούς πόρους και κυρίως η τρίτη φάση είναι μία υπολογιστικά σύνθετη διαδικασία. Επίσης κατά τη λειτουργία αυτή καθορίζεται η χωρική ευελιξία και επίσης η αποτελεσματικότητα της φασματικής κατανομής.

3.1.2.3. Διαπραγμάτευση πόρων μεταξύ δικτύων (Resource negotiation between RANs)

Οι διαπραγματεύσεις των δικτύων για την κατανομή των πόρων βασίζονται στους μετρητές κόστους, τους μετρητές δικαιοσύνης ή σε ένα συνδυασμό των μετρητών αυτών. Είναι σημαντικό το αποτέλεσμα των διαπραγματεύσεων να είναι μία συνεχόμενη χωρική κατανομή. Η διαπραγμάτευση της κατανομής των πόρων του δικτύου πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην έχουμε φασματική επικάλυψη σε γειτονικές κυψέλες. Για το λόγο αυτό υπάρχει ανάγκη για μία βάση δεδομένων σε κάθε σταθμό βάσης όπου θα συντηρούνται οι πληροφορίες για τις γειτονικές κυψέλες (σταθμούς βάσης) για όλα τα δίκτυα. Η βάση δεδομένων μπορεί να δημιουργηθεί με την διάθεση πληροφοριών για τη θέση του κάθε σταθμού βάσης μέσω του δικτύου κορμού ή από καθοδηγούμενες μετρήσεις σήματος στα τερματικά χρήστη.

3.1.2.4. Υπολογισμός και διαπραγμάτευση αναδιοργάνωσης των πόρων (Resource re-arrangement calculation and negotiation)

Με βάση την έκβαση των διαπραγματεύσεων των πόρων, οι ανταλλαγές πόρων μεταξύ των δικτύων καθορίζονται με στόχο την αποδοτική χρήση του φάσματος. Αρχικά προτείνεται η ανταλλαγή και εν συνεχεία πραγματοποιείται μόνο όταν όλα τα εμπλεκόμενα δίκτυα συμφωνούν σε αυτή.

3.1.2.5. Αναπροσαρμογή των πόρων (Resource update)

Η αναπροσαρμογή των πόρων μπορεί να διαχωριστεί στις ακόλουθες φάσεις, από τις οποίες οι δύο πρώτες πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομες.

- Οι φασματικοί πόροι που απελευθερώνονται εγκαταλείπονται από την κίνηση.
- Η κατανομή των φασματικών πόρων αλλάζουν σε μία προκαθορισμένη χρονική στιγμή. Εάν τα δίκτυα δεν είναι ακριβώς συγχρονισμένα, γεγονός που είναι πιθανό σε σχήματα FDD, τότε απαιτείται μία περίοδος επιφυλακής.
- Καταγράφονται οι κατανομές πόρων, οι χρόνοι λήξης των απονομών πόρων στα δίκτυα καθώς και οι μετρήσεις κόστους και δικαιοσύνης.

3.1.3. Επιλογή του Τρόπου Μετάδοσης

Η γενική λειτουργία διαχείρισης ραδιοπόρων έχει την αρμοδιότητα για την επιλογή ενός ή περισσότερων τρόπων μετάδοσης φυσικού στρώματος (Physical Layer Modes, PLM) για να εξυπηρετήσει μία συγκεκριμένη κλήση. Μία σημαντική πτυχή της λειτουργίας διαχείρισης ραδιοπόρων είναι ότι μπορεί να ορίσει περισσότερων του ενός PLM για μία κλήση, επιτρέποντας στο γενικό επίπεδο συνδέσεων (Generic Link Layer, GLL) να έχει ένα βαθμό ελευθερίας ως προς την δρομολόγηση του πακέτου πληροφοριών μέσω οποιουδήποτε τρόπου μετάδοσης, γεγονός που οδηγεί στην απαίτηση για μία οντότητα που θα εξετάζει αυτή τη δυνατότητα δρομολόγησης μέσω αυτών των διαφορετικών επιλογών. Ακόμα μπορεί να εγκαταλειφθεί ένας τρόπος μετάδοσης (π.χ. επειδή παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζεται εκείνη τη χρονική στιγμή κορεσμός σε αυτόν), οπότε στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται υπόψη το GLL επίπεδο, έτσι ώστε να ληφθεί απόφαση για έναν άλλο τρόπο μετάδοσης. Υπάρχουν διάφορες αρχές για την απόφαση επιλογής ενός τρόπου μετάδοσης. Αυτές περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως το ποιος κόμβος λαμβάνει την απόφαση, ποια είναι η χρονική στιγμή της απόφασης και ποιοι τρόποι μετάδοσης είναι διαθέσιμοι.

Η επιλογή του τρόπου μετάδοσης μπορεί να ελέγχεται είτε από έναν κόμβο στο σταθερό δίκτυο, είτε από έναν σταθμό βάσης, είτε από ένα σταθμό αναμετάδοσης είτε από

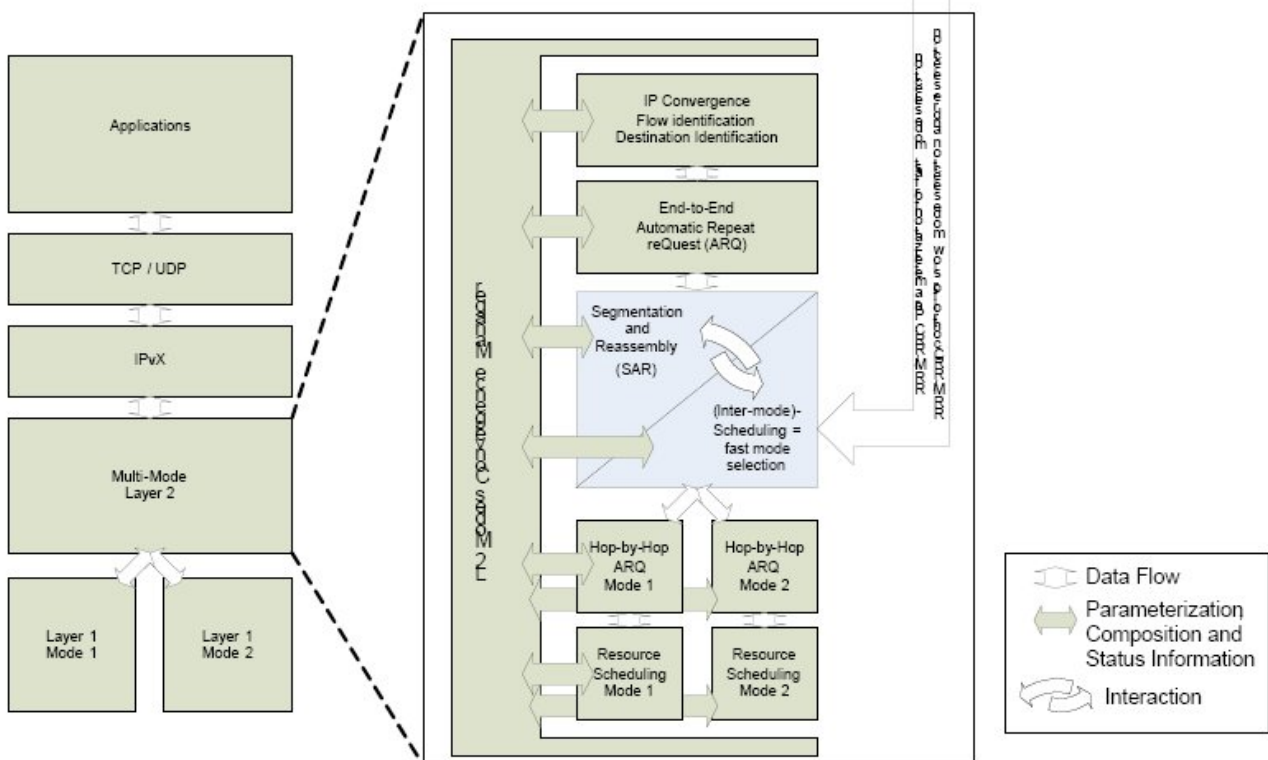
το τερματικό χρήστη. Εάν ένας διαχειριστής ελέγχει ένα δίκτυο, τότε αυτός προτιμά μία μέθοδο επιλογής τρόπου μετάδοσης για τους χρήστες του που ελέγχεται από το δίκτυο. Αντιθέτως, αν το δίκτυο ελέγχεται από πολλούς διαχειριστές, τότε προτιμάται μία μέθοδο επιλογής τρόπου μετάδοσης η οποία ελέγχεται από το τερματικό του κάθε χρήστη.

Η επιλογή τρόπου μετάδοσης μπορεί να ληφθεί σε διαφορετικές βαθμίδες. Αυτές περιλαμβάνουν απόφαση ανά κλήση (αργή επιλογή, *slow selection*), ανά πακέτο (γρήγορη επιλογή, *fast selection*) ή προκαλούμενη από γεγονότα άσχετα με την κίνηση όπως για παράδειγμα αλλαγές στις συνθήκες της ασύρματης ζεύξης. Η συχνότερη επιλογή τρόπου μετάδοσης οδηγεί σε πιθανά κέρδη στην χωρητικότητα και στην ποιότητα των υπηρεσιών, ενώ παράλληλα αυξάνεται το φορτίο σημάτων ελέγχου. Σε μερικές περιπτώσεις η επιλογή δικτύου απαιτεί αλληλεπίδραση με το χρήστη ή μπορεί και να υπαγορευτεί από την εφαρμογή.

Για την απόφαση του τρόπου μετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία υπολίστα από τις παραμέτρους απόφασης που παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Διαθεσιμότητα τρόπου μετάδοσης:** Είναι το υποσύνολο των τρόπων μετάδοσης που το κινητό τερματικό μπορεί να υποστηρίξει και είναι διαθέσιμη στην περιοχή του χρήστη.
- **Υπηρεσία:** Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που είναι ο πιο αποδοτικός για την συγκεκριμένη υπηρεσία.
- **Ισχύς σήματος:** Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που παρέχει το ισχυρότερο σήμα.
- **Κατανάλωση ραδιοπόρων:** Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που χρησιμοποιεί τους λιγότερους δυνατούς πόρους του δικτύου για να υποστηρίξει την συγκεκριμένη υπηρεσία.
- **Φορτίο συστήματος:** Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που έχει το λιγότερο σχετικά φορτίο. Αυτό δεν βελτιώνει απαραίτητα την χωρητικότητα αλλά βελτιώνει την ποιότητα των υπηρεσιών για καταστάσεις φορτίου κάτω των ορίων χωρητικότητας, και αποτρέπονται έτσι ανακατανομές καθώς τα δίκτυα δεν πλησιάζουν τα όρια χωρητικότητας.

- **Μέγεθος των πακέτων:** Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που είναι ο πιο αποδοτικός για το μέγεθος πακέτων της συγκεκριμένης υπηρεσίας.
- **Τιμή:** Προτιμάται ο τρόπος μετάδοσης που είναι ο οικονομικότερος για τον χρήστη. Αυτή η παράμετρος είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα στην περίπτωση που διαφορετικοί τρόποι μετάδοσης παρέχονται από διαφορετικούς διαχειριστές και η απόφαση παίρνεται από το τερματικό του χρήστη.



Σχήμα 3-2: Η ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΗ ΚΑΙ Η ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

3.1.4. Επιλογή του δικτύου (RAN Selection)

Ο αλγόριθμος επιλογής δικτύου επιλέγει το καταλληλότερο δίκτυο για την εξυπηρέτηση μιας κλήσης, η οποία έχει κάνει προηγουμένως αίτηση για το λόγο αυτό. Σημαντική παράμετρος εδώ είναι η προτίμηση δικτύου σύμφωνα με την κλάση υπηρεσιών που ανήκει η κλήση και σε σχέση με την ποιότητα υπηρεσίας που προσφέρει το κάθε δίκτυο. Μία ακόμα παράμετρος είναι η ισορροπία ανάμεσα στους ασύρματους πόρους που

είναι κατειλημμένοι σε κάθε ασύρματο δίκτυο, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη κατάλληλη ισορροπία των φορτίων κίνησης μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3 και βασίζεται στη διαθεσιμότητα μιας λίστας για όλα τα διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν την κάθε υπηρεσία. Αυτή η λίστα συντάσσεται βασιζόμενη σε πληροφορίες από τον ελεγκτή της ποιότητας της υπηρεσίας, όπου συγκεντρώνονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες για τα διάφορα ασύρματα δίκτυα. Ένας αποφασιστικός παράγοντας για να δοθεί προτεραιότητα ενός ασύρματου δικτύου σε σχέση με κάποιο άλλο είναι η προτίμηση του χρήστη.

Η λίστα προτεραιότητας των ασύρματων δικτύων μπορεί να προκύψει σύμφωνα με τον ακόλουθο αλγόριθμο:

- Συλλέγονται όλες οι πληροφορίες για την ισχύ των σημάτων γειτονικών σταθμών βάσης στην ενεργό περιοχή.
- Κατασκευάζεται ένας πίνακας των πόρων.
- Εάν υπάρχει μία σημαντική αλλαγή στο φορτίο κίνησης αναθεωρείται η ενεργός λίστα.
- Λαμβάνεται η αναθεωρημένη τοπολογία.

Η εξισορρόπηση φορτίου μπορεί να εισαχθεί στον παραπάνω αλγόριθμο για να ληφθεί υπόψη και η κατάσταση του δικτύου από πλευράς φορτίου. Η επίπτωση αυτής της προσθήκης στον αλγόριθμο μπορεί να αξιολογηθεί σε σύγκριση με τη παροχή ικανοποιητικής ποιότητας υπηρεσιών στους χρήστες ενώ παράλληλα επηρεάζεται και η συνολική ισορροπία του δικτύου.

Ένας ακόμη τύπος καθορισμού προτεραιοτήτων μπορεί να βασιστεί στο είδος της απαιτούμενης υπηρεσίας. Κατόπιν αυτού ο πίνακας προτεραιοτήτων θα πρέπει να περιέχει μία λίστα από τις υπηρεσίες που ζητήθηκαν. Για παράδειγμα μία πιθανή διάταξη μπορεί να είναι:

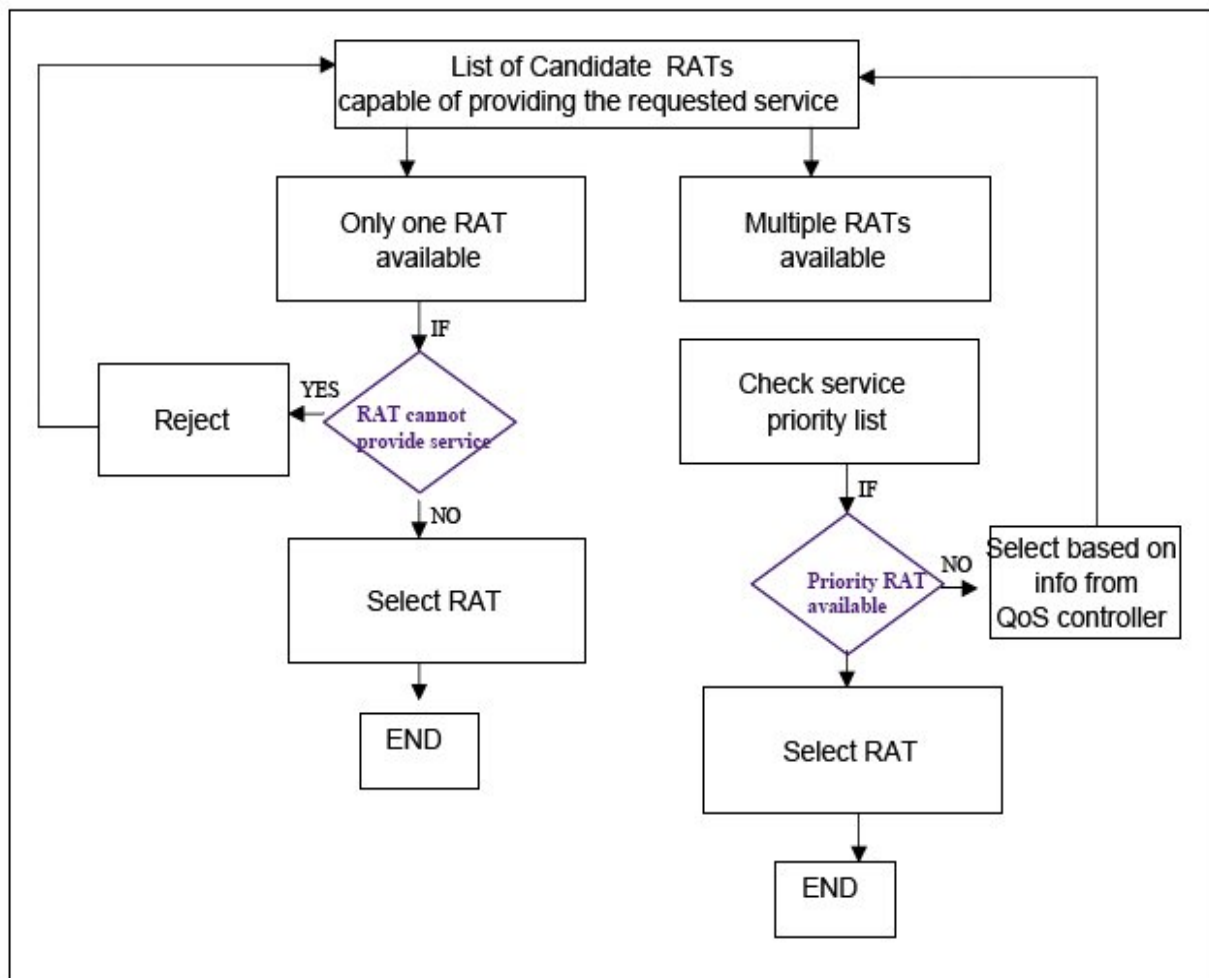
- Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (Real-time services)
- Υπηρεσίες ροής (Streaming services)

- Διαλογικές υπηρεσίες (Interactive services)
- Υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best-effort services)

Η απόδοση προτεραιοτήτων στο είδος των υπηρεσιών απαιτεί μία κατάλληλη συνάρτηση προτεραιότητας βασισμένη σε συγκεκριμένα κριτήρια. Στη διεθνή βιβλιογραφία για παράδειγμα, η προτεραιότητα δίδεται ως συνάρτηση του αριθμού των bit πληροφορίας που πρέπει να μεταδοθούν B_i και του χρόνου λήξης TO_i , με την εξής εξάρτηση μεταξύ αυτών των παραμέτρων:

$$\phi_i = \begin{cases} \frac{B_i}{TO_i} & TO_i > 0 \\ L_i(2 - TO_i)^n & TO_i \leq 0 \end{cases}$$

Γενικά αυτή η στρατηγική θα είναι κατάλληλη για τους χρήστες διαλογικών και βέλτιστης προσπάθειας υπηρεσιών, παρόλο που για τους τελευταίους δεν είναι εγγυημένη η ποιότητα υπηρεσιών. Ένας συγκεκριμένος χρόνος λήξης μπορεί να καθοριστεί επίσης για τους χρήστες υπηρεσιών βέλτιστης προσπάθειας.



Σχήμα 3-3: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ.

3.1.5. Διαπομπή (Handover)

Σε αυτή την υποενότητα περιγράφεται ο μηχανισμός των διαπομπών. Στην αρχή γίνεται αναφορά στα είδη διαπομπών που έχουμε στην περίπτωση ενός ετερογενούς συστήματος επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Στη συνέχεια κάνουμε μια αναφορά στα πρωτόκολλα και τους αλγορίθμους διαπομπών, κυρίως όσον αφορά την περίπτωση των διασυστημικών διαπομπών.

3.1.5.1. Είδη διαπομπών (Handover Scenarios)

Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε τα είδη των διαπομπών που λαμβάνουν χώρα σε ένα ετερογενές σύστημα επικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Εδώ ξεχωρίζουμε δύο κύριες κατηγορίες, τις διαπομπές μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και τις διαπομπές μεταξύ των 4G και των παλαιότερων δικτύων. Αρχίζουμε την ανάλυσή μας από τις διαπομπές μεταξύ διαφορετικών τρόπων μετάδοσης και πιο συγκεκριμένα μεταξύ τρόπων μετάδοσης των 4G με μεγάλη εμβέλεια και άλλων με μικρότερη. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.4 είναι αναμενόμενο ότι θα υπάρχει μία μερική ή ακόμα και ολική επικάλυψη μεταξύ των κελιών (των τρόπων μετάδοσης) των 4G. Στο σχήμα φαίνονται επίσης οι φυσικοί κόμβοι του δικτύου 4G, οι οποίοι είναι τα σημεία πρόσβασης (Access Points, AP), οι κινητοί (Mobile Relay Stations, MRS) και οι σταθεροί (Fix Relay Stations, FRS) σταθμοί αναμετάδοσης. Οι γενικοί κανόνες που διέπουν τις διαπομπές μεταξύ των τρόπων μετάδοσης των 4G είναι η διαθεσιμότητα του τρόπου μετάδοσης και η κινητικότητα του τερματικού. Για παράδειγμα, όπως παρατηρούμε και στο Σχήμα 3.4 τα τερματικά με μεγάλη κινητικότητα συνδέονται σε κυψέλες με ευρεία γεωγραφική κάλυψη ακόμα και αν το τερματικό αυτό βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης μίας κυψέλης με περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη. Επιπλέον οι συναρτήσεις ενεργοποίησης των διαπομπών και τα κατώφλια αυτών που σχετίζονται με τους δύο διαφορετικούς τρόπους εξαρτώνται από το σενάριο ανάπτυξης και σχεδίασης του δικτύου, δηλαδή την επέκταση της κάλυψης, την αύξηση της φασματικής αποδοτικότητας καθώς και από την επιλογή του χρησιμοποιούμενου τρόπου αναμετάδοσης (συμβατικός, συνεργατικός). Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την περίπτωση της συνεργατικής αναμετάδοσης όπου περισσότερα του ενός σημεία πρόσβασης ή και σταθμοί αναμετάδοσης εμπλέκονται στην μετάδοση και λήψη των δεδομένων, οπότε στην περίπτωση αυτή για να ληφθεί η απόφαση για διαπομπή απαιτείται να γνωρίζει το τερματικό την ισχύ του σήματος από κάθε κόμβο και να μπορεί να λαμβάνει την απόφαση για το ποιους κόμβους θα μετρήσει.

- 1) **Πρώτη περίπτωση διαπομπών:** Από κυψέλες ευρείας κάλυψης σε άλλες περιορισμένη κάλυψης.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε διαπομπές είτε εντός του ίδιου τρόπου μετάδοσης (Intermode) είτε μεταξύ διαφορετικών συστημάτων μετάδοσης (Intrasystem). Η απαίτηση που υπάρχει για την πραγματοποίηση αυτού του είδους των διαπομπών είναι ότι το τερματικό πρέπει να βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης της κυψέλης με περιορισμένη εμβέλεια. Ακολουθούν δύο παραδείγματα του τρόπου χρήσης αυτού του είδους διαπομπών:

Παράδειγμα 1ο: Αυτό το είδος των διαπομπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της φασματικής απόδοσης, επομένως αναμένεται η ποιότητα των ασύρματων συνδέσεων της κυψέλης ευρείας κάλυψης να είναι ικανοποιητική. Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι ενεργοποίησης μίας τέτοιας διαπομπής είναι:

- Ρυθμός λανθασμένων bit/ Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό)
- Ανάγκη για υψηλότερο ρυθμό δεδομένων που πρέπει να παρέχεται από την κυψέλη περιορισμένης κάλυψης (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης)
- Συμφόρηση που μπορεί να παρατηρηθεί στην κυψέλη ευρείας κάλυψης με βασικά χαρακτηριστικά την χωρητικότητα της κυψέλης και το φορτίο εντός αυτής (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Η τοποθεσία του τερματικού χρήστη π.χ. εάν ο χρήστης μπορεί να έχει ως εναλλακτική λύση τη χρήση της κυψέλης περιορισμένης κάλυψης όποτε αυτή είναι διαθέσιμη (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).

Παράδειγμα 2ο: Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούνται οι κυψέλες περιορισμένης κάλυψης για την επέκταση της κάλυψης και για το λόγο αυτό αναμένεται υποβάθμιση της ασύρματης ζεύξης. Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι ενεργοποίησης μίας τέτοιας διαπομπής είναι:

- Ισχύς του σήματος (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Επίπεδο παρεμβολής (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Λόγος φέροντος προς παρεμβολή (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).

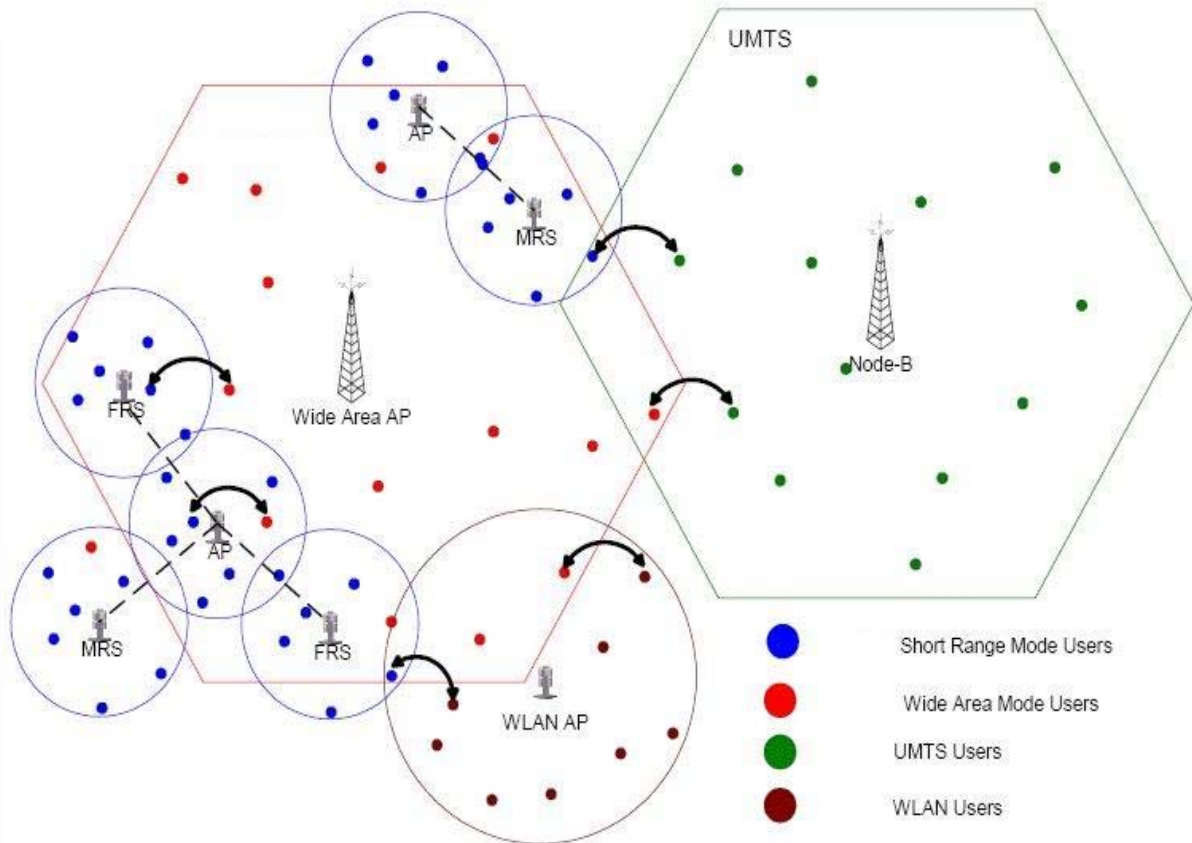
- Ρυθμός λανθασμένων bit/ Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).

2) **Δεύτερη περίπτωση διαπομπών:** Από κυψέλες περιορισμένης κάλυψης σε άλλες ευρείας κάλυψης.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε ξανά όπως και προηγουμένως διαπομπές είτε εντός του ίδιου τρόπου μετάδοσης (Intermode) είτε μεταξύ διαφορετικών συστημάτων μετάδοσης (Intrasystem).

Παράδειγμα παραμέτρων ενεργοποίησης μιας τέτοιας διαπομπής είναι το ακόλουθο:

- Αύξηση της ταχύτητας του κινητού τερματικού (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Απώλεια κάλυψης από την κυψέλη περιορισμένης κάλυψης (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Συμφόρηση στην κυψέλη περιορισμένης εμβέλειας, οπότε στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν κριτήρια όπως οι περιορισμοί στην ποιότητα υπηρεσίας και η προτεραιότητα κάθε χρήστη για να ληφθεί η απόφαση για το ποιος ή ποιοι χρήστες θα ζητήσουν διαπομπή σε άλλες κυψέλες ευρείας κάλυψης (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Απαίτηση παροχής υπηρεσιών από την πλευρά του χρήστη που είναι διαθέσιμες μόνο από κυψέλες ευρείας κάλυψης (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).



Σχήμα 3-4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΔΙΑ-ΠΟΜΠΩΝ.

Συνεχίζουμε την ανάλυσή μας με τις διαπομπές μεταξύ των 4G και των παλαιότερων δικτύων. Στην περίπτωση αυτή έχουμε διαπομπές διαφορετικών συστημάτων (Intersystem). Αυτός ο τύπος των διαπομπών λαμβάνει χώρα είτε όταν έχουμε απώλεια της κάλυψης από το τρέχον σύστημα του χρήστη είτε στην περίπτωση της επικάλυψης των συστημάτων από την πλευρά της ασύρματης κάλυψης και γίνεται διαπομπή για λόγους προτίμησης συγκεκριμένου δικτύου από την πλευρά του διαχειριστή ή για λόγους συμφόρησης σε κάποιο από τα εμπλεκόμενα συστήματα επικοινωνιών.

Παράδειγμα παραμέτρων ενεργοποίησης μιας τέτοιας διαπομπής στην περίπτωση συμπληρωματικής κάλυψης για δύο (ή και περισσότερα) συστήματα επικοινωνιών είναι το ακόλουθο:

- Ισχύς του σήματος (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Επίπεδο παρεμβολής (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).

- Λόγος φέροντος προς παρεμβολή (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).
- Ρυθμός λανθασμένων bit/ Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό).

Παράδειγμα παραμέτρων ενεργοποίησης μιας τέτοιας διαπομπής στην περίπτωση επικαλυπτόμενης κάλυψης, όπου η ποιότητα της υπηρεσίας δεν είναι η αναμενόμενη, είναι το ακόλουθο:

- Εάν η απαιτούμενη υπηρεσία είναι διαθέσιμη σε άλλα συστήματα (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Φθηνότερο κόστος υπηρεσίας(απόφαση που την αναλαμβάνει το τερματικό αλλά και το σημείο πρόσβασης).
- Τοποθεσία του κινητού τερματικού (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Ταχύτητα του κινητού τερματικού, π.χ. στην περίπτωση που γίνεται διαπομπή μεταξύ κυψελών των 4G με μικρή εμβέλεια και του UMTS (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).
- Συμφόρηση στην τρέχουσα κυψέλη όπως και στις γειτονικές κυψέλες του παρόντος συστήματος (απόφαση που ανατίθεται στο σημείο πρόσβασης).

3.1.5.2. Πρωτόκολλα και αλγόριθμοι διαπομπών

Το πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol, IP) σχεδιάστηκε με προσανατολισμό στη έννοια της σύνδεσης παρά στην έννοια της κινητικότητας. Για το λόγο αυτό οι κινητές επεκτάσεις IPv4/6 έπρεπε να εισάγουν μηχανισμούς διαπομπής χωρίς παράλληλα να διακόπτεται η σύνδεση. Για το λόγο αυτό μηχανισμοί προτάθηκαν λύσεις που αφορούν το τρίτο επίπεδο, όπως είναι οι IP διαπομπές και Κινητού IP (Mobile IP, MIP) πρωτοκόλλου. Για να διασφαλιστεί η ανεξαρτησία των επιπέδων, αυτοί οι μηχανισμοί βασίζονται πλήρως στο τρίτο επίπεδο. Μία κλασική διαπομπή βασίζεται στο δεύτερο επίπεδο, μιας και το δεύτερο επίπεδο είναι αυτό που ευθύνεται για τη φυσική και λογική σύνδεση των

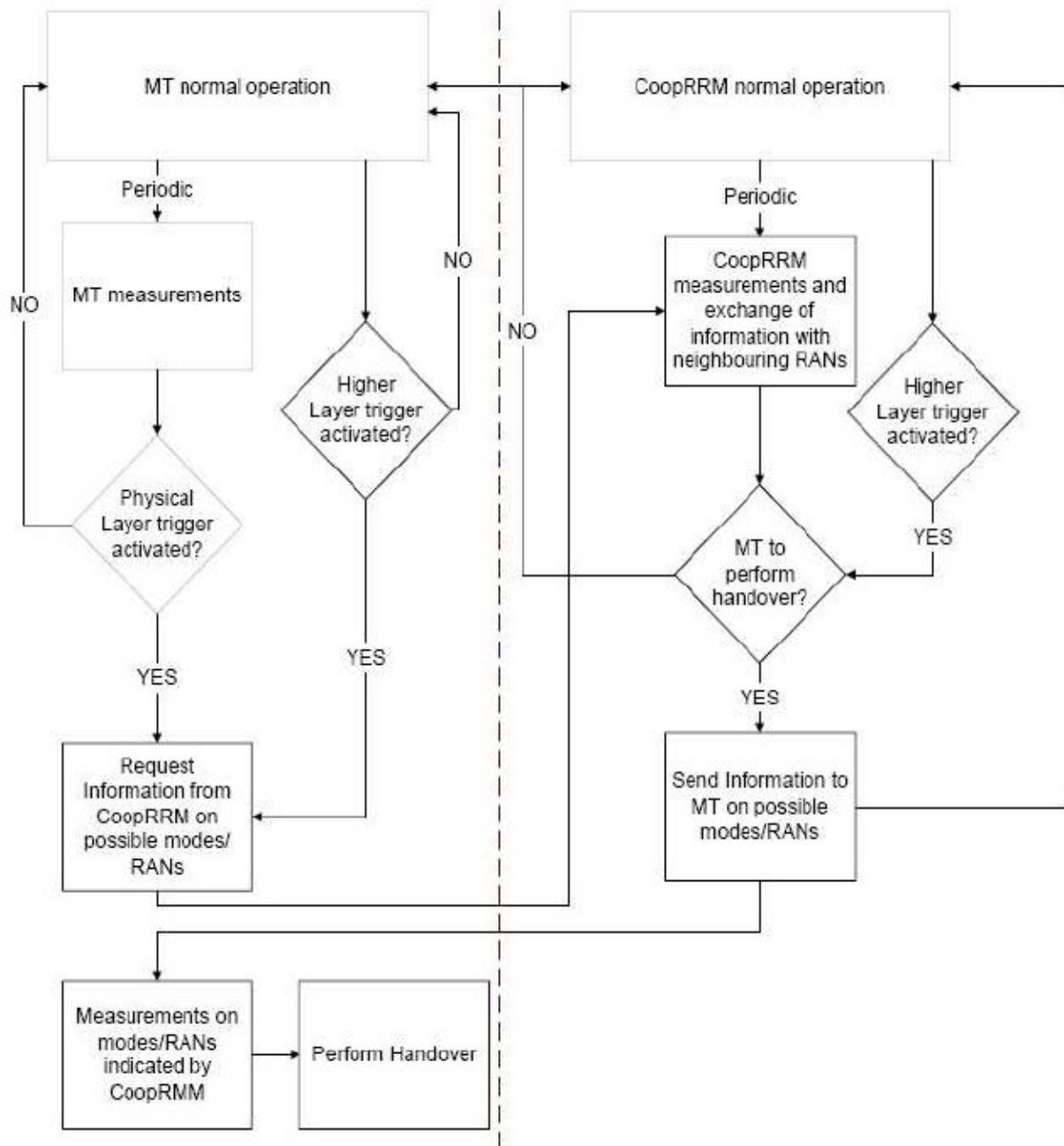
υψηλότερων επιπέδων. Στην πραγματικότητα κάθε διαπομπή τρίτου επιπέδου προηγείται μιας του δεύτερου επιπέδου. Το μόνο πρόβλημα είναι ότι κάθε διαπομπή του τρίτου επιπέδου δεν γνωρίζει την διαπομπή που πραγματοποιείται στο δεύτερο επίπεδο λόγω της ανεξαρτησίας των επιπέδων.

Προκειμένου να προσφερθεί μία καλή ποιότητα υπηρεσιών στο χρήστη, η διαχείριση των διαπομπών πρέπει να εκπληρώνει όσο το δυνατόν σε μεγαλύτερο βαθμό τους παρακάτω στόχους:

- Μείωση της απώλειας πακέτων και της καθυστέρησης κατά τη διάρκεια μιας διαπομπής (seamless handover).
- Χρήση κάθε διαθέσιμης παραμέτρου ενεργοποίησης (triggers), π.χ. πληροφορίες από τον κινητό χρήστη ή από το δίκτυο ότι μία διαπομπή είναι προ των πυλών, έτσι ώστε να λαμβάνεται δράση πριν την πραγματική διαπομπή (planned handover)
- Να επιτρέπεται η δυνατότητα μεταφοράς του πλαισίου (QoS, ασφάλεια, κατάσταση συμπίεσης επικεφαλίδας, κατάσταση ασύρματης ζεύξης) αλλά και κάθε αποθηκευμένου πακέτου (tunneling) από το παλιό στο καινούργιο δρομολογητή πρόσβασης.
- Διαβεβαίωση ότι μία προγραμματισμένη διαπομπή μπορεί να μετατραπεί σε μη προγραμματισμένη και ότι οι ίδιες ενέργειες μπορούν να συμβούν (μεταφορά των αποθηκευμένων πακέτων και του πλαισίου).
- Αποδοχή της διαπομπής μεταξύ διαφορετικής τεχνολογίας εάν ο κινητός χρήστης μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τεχνολογίες (Vertical Handover, VH).

Η πιθανότητα για μια ορθογώνια διαπομπή (VH) σημαίνει ότι εισάγεται μία πρόσθετη επιλογή αφού οι δύο τύποι συστημάτων μπορούν να προσφέρουν συμπληρωματικές υπηρεσίες. Για το λόγο αυτό μπορεί ένα κινητό τερματικό να δεχθεί ειδοποίηση για ορθογώνια διαπομπή παρά το γεγονός ότι η ποιότητα της ασύρματης ζεύξης του στο τρέχον σύστημα δεν έχει μειωθεί. Συνεπώς χρειάζεται επιπλέον νοημοσύνη για να ληφθεί από το σύστημα η απόφαση για το ποιο είδος διαπομπής θα επιτελέσει και πότε.

Η γενική διαδικασία απόφασης των 4G για την απόφαση διαπομπής μεταξύ διαφορετικών συστημάτων ή μεταξύ της ίδιας τεχνολογίας μετάδοσης για το κινητό τερματικό αλλά και για το σημείο πρόσβασης παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Επιπλέον αναμένεται ότι και οι δύο κόμβοι, κινητό τερματικό και σημείο πρόσβασης, θα επιτελούν περιοδικά μετρήσεις και υπολογισμούς ή και ανταλλαγή πληροφοριών που αφορούν την τρέχουσα ή τις γειτονικές κυψέλες του ιδίου ή και διαφορετικών ασύρματων δικτύων. Ακόμη οι παράμετροι ενεργοποίησης διαπομπής των υψηλότερων στρωμάτων αναμένεται να ενεργοποιούνται είτε από υπολογισμούς του σημείου πρόσβασης που έχουν να κάνουν με την κατάσταση της κυψέλης είτε από την πληροφορία που στέλνει το κινητό τερματικό από τις SRRM μονάδες (θα γίνει αναφορά σε αυτές σε επόμενη υποενότητα του παρόντος κεφαλαίου).



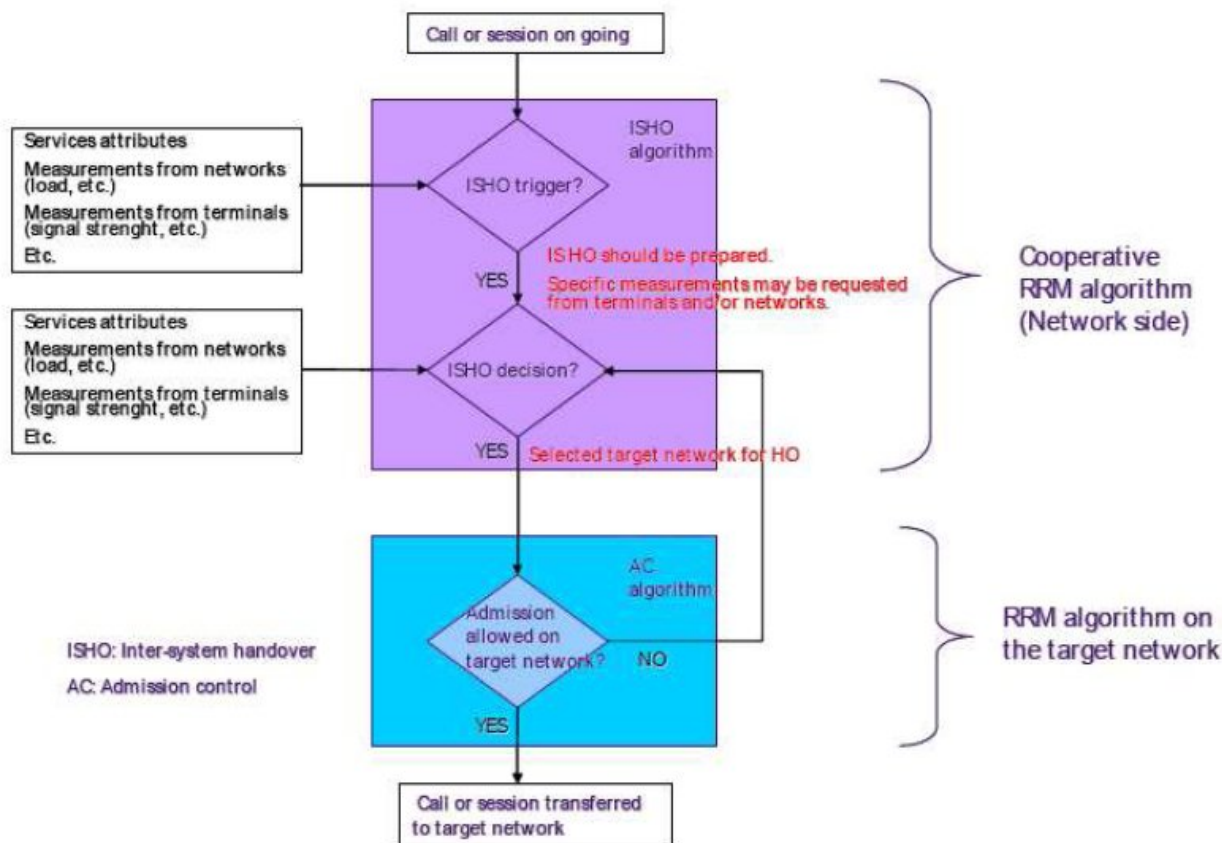
Σχήμα 3-5: Η ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΤΩΝ 4G.

Στη συνέχεια επικεντρώνουμε την προσοχή μας στις διασυστημικές (Intersystem) ή ορθογώνιες (Vertical) διαπομπές, οι οποίες βασίζονται στις Common Radio Resource Managements (CRRM) στην είσοδο του δέκτη του κινητού τερματικού. Οι διασυστημικές διαπομπές μπορούμε να πούμε ότι είναι ένας μηχανισμός κλειδί για την εφαρμογή στρατηγικών εξισορρόπησης φορτίου. Στα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα, αυτοί οι αλγόριθμοι βασίζονται κυρίως σε κριτήρια κάλυψης. Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών

μετά την τρίτη γενιά, η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων στο επίπεδο της διαχείρισης ραδιοπόρων είναι ένα ενσωματωμένο χαρακτηριστικό, το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή ακόμα πιο αποδοτικών αλγορίθμων διασυστημικών διαπομπών, οι οποίοι θα λαμβάνουν υπόψη τους κριτήρια όπως είναι το φορτίο και η ποιότητα υπηρεσιών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η χρήση περίπλοκων στρατηγικών εξισορρόπησης της κίνησης.

Στη συνέχεια λοιπόν ορίζουμε διάφορες στρατηγικές διασυστημικών διαπομπών που βασίζονται στο πλαίσιο CRRM (CRRM framework), όπως αυτό καθορίζεται στο 3GPP (3rd Generation Partnership Project), το οποίο επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών για το φορτίο μεταξύ των UMTS και των GSM δικτύων. Το πλαίσιο CRRM επεκτείνεται για τις διασυστημικές διαπομπές μεταξύ των 4G και των άλλων παλαιότερων συστημάτων επικοινωνιών.

Στο Σχήμα 3.6 επεξηγείται η αρχή στην οποία βασίζονται οι διασυστημικές διαπομπές και η σχέση της με τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων. Ο αλγόριθμος των διασυστημικών διαπομπών είναι ένας συνεργατικός RRM αλγόριθμος που εφαρμόζεται στα ασύρματα συστήματα πρόσβασης και έχει δύο φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την απόφαση για να εκκινήσει η διαπομπή και να γίνει προετοιμασία για αυτή. Η δεύτερη φάση είναι η επιλογή του καταλληλότερου δικτύου στο οποίο θα μεταφερθεί τελικά η κλήση, δηλαδή στο οποίο θα γίνει η διαπομπή. Και τα δύο κριτήρια βασίζονται σε διάφορες παραμέτρους απόφασης όπως είναι οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τα τερματικά ή και από τα ετερογενή δίκτυα, ή χαρακτηριστικά των υπηρεσιών. Όταν έχει επιλεγεί από τον αλγόριθμο διαπομπής το τελικό δίκτυο για την κλήση, τότε ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων στο δίκτυο αυτό ελέγχει αν μπορεί να γίνει αυτή η κλήση από διαπομπή δεκτή στο δίκτυο ή όχι. Εάν όχι, τότε πρέπει να επιλεγεί ένα άλλο δίκτυο, παρόλα αυτά ο αλγόριθμος διαπομπών πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο καθορισμένος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί την απόρριψη κλήσεων από τον αλγόριθμο ελέγχου αποδοχής κλήσεων.



Σχήμα 3-6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.

3.1.6. Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων (Admission Control, AC)

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του φορτίου του συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί η διαθέσιμη χωρητικότητα, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η σταθερότητα του συστήματος. Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων μπορεί να συμπεριφέρεται διαφορετικά σε νέες κλήσεις και σε σχέση με τις κλήσεις που προέρχονται από διαπομπή. Η συνάρτηση του ελέγχου αποδοχής αποφαινεται για την αποδοχή ή μη της κλήσης από το σύστημα, εξετάζοντάς το συνολικά. Μία νέα κλήση γίνεται αποδεκτή εάν εκπληρώνονται οι απαιτήσεις της υπηρεσίας (ποιότητα υπηρεσίας, ασφάλεια κ.α.) της νέας κλήσης καθώς και των ήδη αποδεκτών από το σύστημα κλήσεων. Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων ενεργοποιείται και στην περίπτωση που οι απαιτήσεις μίας κλήσης αλλάξουν. Στην περίπτωση των κλήσεων από διαπομπή (προκαλείται από τη μεταφορά μίας συνόδου από μία κυψέλη σε άλλη) η συνάρτηση του ελέγχου αποδοχής αποφασίζει για το αν θα γίνει αποδεκτή η κλήση αυτή από τη νέα κυψέλη (μπορεί να είναι

και διαφορετικός τρόπος μετάδοσης εντός της ίδιας κυψέλης). Εάν ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων σχεδιαστεί κατάλληλα, τότε θα οδηγήσει σε μία μέτρια αύξηση της πιθανότητας μπλοκαρίσματος κλήσεων αλλά παράλληλα και σε μία ουσιαστική μείωση της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων.

3.1.7. Έλεγχος Συμφόρησης Φορτίου (Congestion Control, CC)

Ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων είναι υπεύθυνος να παίρνει αποφάσεις για την αποδοχή νέων κλήσεων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι το φορτίο του δικτύου παραμένει κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι. Παρόλα αυτά μία κατάσταση υπερφόρτωσης/συμφόρησης μπορεί και σε αυτή την περίπτωση να εμφανιστεί. Τότε ο αλγόριθμος συμφόρησης ενεργοποιείται, έτσι ώστε να επαναφέρει το δίκτυο σε μία κανονική κατάσταση λειτουργίας.

Ο αλγόριθμος συμφόρησης στην περίπτωση των 4G, παρακολουθεί το δίκτυο αυτό καθώς και τα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα και αν εμφανιστεί μία κατάσταση υπερφόρτωσης, τότε προσπαθεί να μειώσει το φορτίο του δικτύου εφαρμόζοντας διάφορες πρακτικές και κυρίως προσπαθώντας να επιτύχει μεγαλύτερο βαθμό συνεργασίας ανάμεσα στα διάφορα ασύρματα δίκτυα και τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης, όπως για παράδειγμα με την εκτέλεση διαπομπών των κλήσεων των χρηστών που βρίσκονται σε μία υπερφορτωμένη κυψέλη σε μία άλλη κυψέλη ενός άλλου ασύρματου δικτύου με λιγότερο φορτίο.

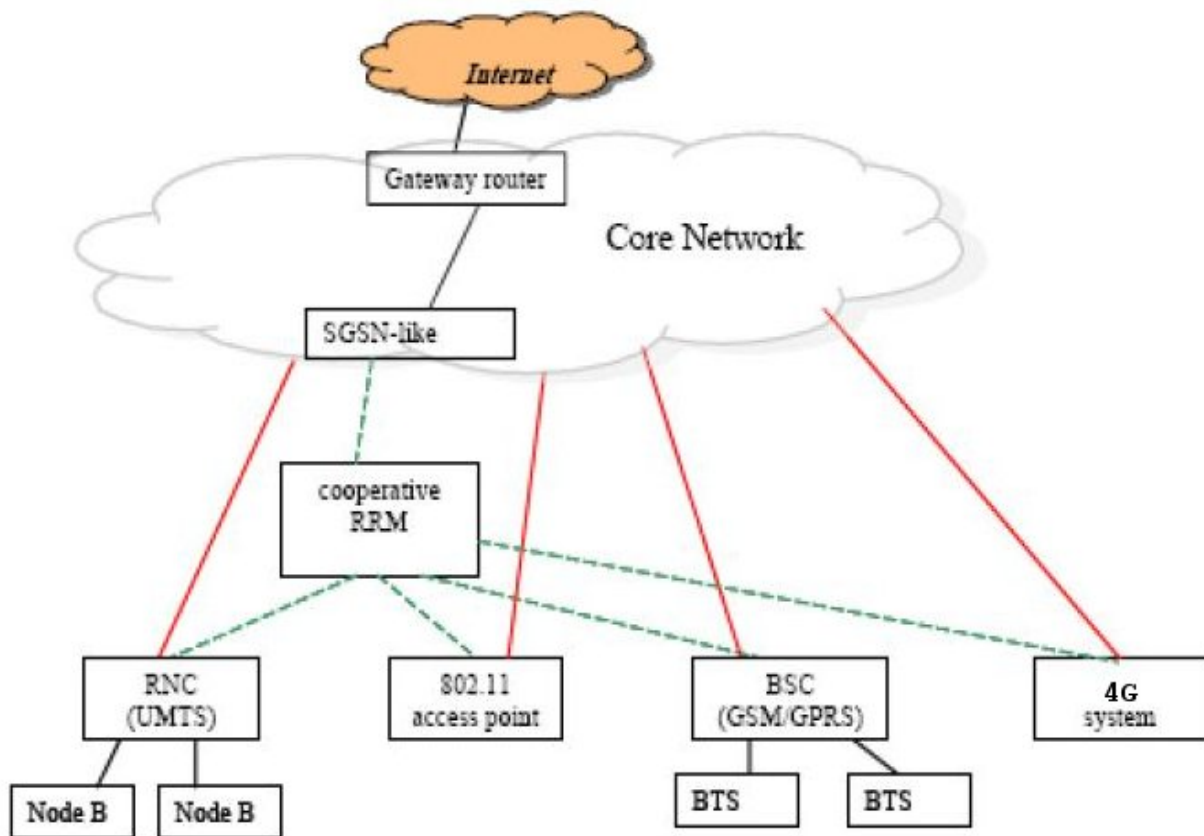
3.2. Αρχιτεκτονική της Διαχείρισης Ραδιοπόρων (RRM Architecture)

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου και πιο συγκεκριμένα το μέρος του δικτύου που έχει σχέση με τη διαχείριση ραδιοπόρων. Στην πρώτη υποενότητα εξετάζεται γενικά το όλο θέμα της αρχιτεκτονικής της διαχείρισης ραδιοπόρων για ένα ετερογενές σύστημα κινητών επικοινωνιών. Στην δεύτερη υποενότητα παρουσιάζονται πιο συγκεκριμένα οι οντότητες που χρησιμοποιούνται και η σημασία της κάθε μιας. Επίσης εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων που παρουσιάζονται καθώς και γίνεται αναφορά για την ενότητα από την οποία μετρούνται οι παράμετροι του δικτύου που χρησιμοποιούνται από την διαχείριση ραδιοπόρων.

3.2.1. Αρχιτεκτονική του δικτύου (Network entities)

Οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές είναι βελτιστοποιημένες για δίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογία ενός στρώματος, ακόμα και αν αυτά μερικές φορές μοιράζονται κάποιες κοινές υποστηρικτικές δομές της υποδομής δικτύων όπως είναι τα GGSN, SGSN, VLR και HLR (για αυτά τα συστατικά μέρη ενός δικτύου έχει γίνει αναφορά στο δεύτερο κεφάλαιο) για ένα GSM/GPRS και UMTS δίκτυο. Σε άλλες περιπτώσεις όπως στο GSM/GPRS/UMTS και WLAN, οι αρχιτεκτονικές που προκύπτουν είναι τελείως απομονωμένες και η επικοινωνία μεταξύ αυτών πραγματοποιείται μέσω ενός εξωτερικού δικτύου. Στα μελλοντικά ετερογενή ασύρματα δίκτυα η διαχείριση ραδιοπόρων πρέπει να συντονιστεί με διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης που συνυπάρχουν εντός του ίδιου δικτύου. Η σηματοδότηση της ενδο-διαχείρισης ραδιοπόρων κρίνεται επίσης απαραίτητη μεταξύ των οντοτήτων RRM, επάνω στις οποίες βασίζονται οι αποφάσεις της κατανομής των πόρων του δικτύου και του ελέγχου αποδοχής κλήσεων. Οι μηχανισμοί συνεργασίας θα αναπτυχθούν όχι μόνο στα υψηλότερα επίπεδα, αλλά και στο επίπεδο του ασύρματου τμήματος των νέων ασύρματων δικτύων. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα είναι ενσωματωμένα στα νέα συστήματα 4G και θα εφαρμόζονται στους κόμβους B (NODE B) του δικτύου ή και ακόμα χαμηλότερα.

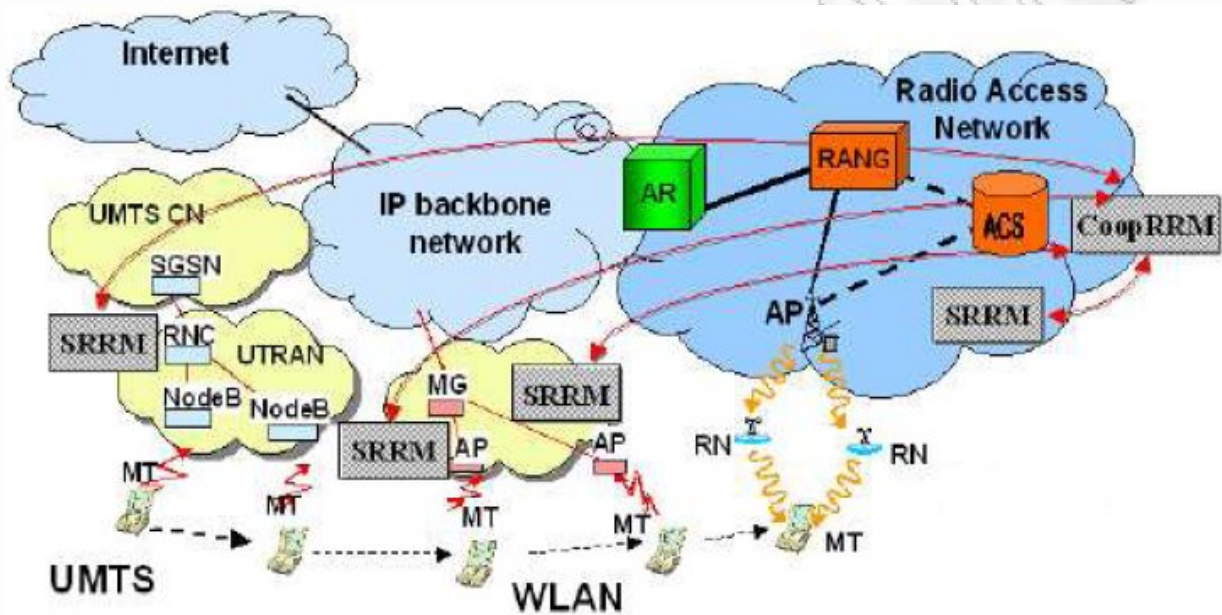
Επομένως η συνεργασία μεταξύ των RRM οντοτήτων θα παραμένει εντός των ασύρματων δικτύων πρόσβασης και στα χαμηλά σχετικά επίπεδα (low layers), αλλά σε καμία περίπτωση στο δίκτυο κορμού ή στο επίπεδο IP και υψηλότερα.



Σχήμα 3-7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ.

Ο σκοπός του ανωτέρω σχήματος είναι να αποσαφηνίσει ότι η συνεργασία μεταξύ των RRM οντοτήτων παραμένει στο επίπεδο της ασύρματης πρόσβασης και ότι με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πρόσβαση στις πληροφορίες εντός διαφορετικών ασύρματων δικτύων, στα οποία μπορεί να επηρεαστούν οι συγκεκριμένες λειτουργίες διαχείρισης ραδιοπόρων που επιτελούνται εντός αυτών. Η συνεργασία μεταξύ των RRM οντοτήτων μπορεί να παρασταθεί σε μία συγκεντρωτική μορφή όπως απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα, αλλά μπορεί να παρουσιαστεί και σαν μία κατανεμημένη δομή μέσω των υπάρχουσών RRM οντοτήτων εντός κάθε υποκείμενου δικτύου (π.χ. RNC ή Node B για το UMTS). Πράγματι η λειτουργικότητα της συνεργατικής δομής μεταξύ των RRM οντοτήτων μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές φυσικές οντότητες και σε διαφορετικά επίπεδα, τα οποία θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορία για την επίτευξη του στόχου που θυμίζουμε ότι είναι η αποτελεσματική χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

Αν δούμε το όλο ζήτημα από την οπτική των υψηλών επιπέδων των 4G τότε η προκύπτουσα αρχιτεκτονική θα πρέπει να υποστηρίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των υφιστάμενων ασύρματων συστημάτων και την εκμετάλλευση της υποδομής αυτών, έτσι ώστε να υποστηριχθεί η σταδιακή μετάβαση στα δίκτυα 4G. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται μία συνεργατικής δομής RRM, η οποία ακολουθεί μία μερικώς συγκεντρωτική προσέγγιση στο ζήτημα της διαχείρισης ραδιοπόρων.



Σχήμα 3-8: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ RRM.

Τα διαφορετικά ασύρματα δίκτυα έχουν ξεχωριστές και συγκεκριμένες RRM οντότητες (SRRM), οι οποίες λειτουργούν με ένα κατανομημένο τρόπο και συντονίζονται από την οντότητα της συνεργατικής δομής RRM, η οποία βρίσκεται στο νέο δίκτυο 4G. Το ασύρματο δίκτυο 4G περιλαμβάνει και αυτό την δική του ξεχωριστή οντότητα RRM (δηλαδή τη δική του SRRM). Η συνεργατική δομή RRM θα μπορούσε να τοποθετηθεί εντός του Κέντρου Ελέγχου Πρόσβασης (Access Control Server, ACS), το οποίο είναι ο φυσικός κόμβος που ελέγχει την πρόσβαση στους ασύρματους πόρους, αλλά θα μπορούσε να τοποθετηθεί κάλλιστα και στο δρομολογητή Πρόσβασης (Access Router, AR), στον οποίο τερματίζουν τα γενικά πρωτόκολλα ελέγχου. Στη συνεργατική δομή RRM οι εντός ενός ασύρματου δικτύου συνεργατικοί αλγόριθμοι (μηχανισμοί συνεργασίας) θα εκτελούνται ως εξής: διαχείριση κινητικότητας, έλεγχος αποδοχής κλήσεων, διαχείριση με βάση την ποιότητα υπηρεσιών. Η συνεργατική δομή RRM θα έχει διεπαφές με άλλες συνεργατικές

δομές RRM του ίδιου διαχειριστή ή και διαφορετικών διαχειριστών. Το SRRM θα είναι υπεύθυνο για την επίτευξη μίας αποτελεσματικής συνεργασίας μεταξύ των διαφορετικών ασύρματων δικτύων. Αυτή η συνεργασία θα πραγματοποιείται σε χαμηλά επίπεδα όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως, οπότε το SRRM θα είναι συνδεδεμένο ή και ενσωματωμένο εντός των RNS, BTS και MG (κινητές πύλες, mobile gateways) των UMTS, GSM και IEEE802.11 δικτύων αντίστοιχα.

3.2.2. Οντότητες της διαχείρισης ραδιοπόρων (RRM entities)

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται οι οντότητες που χρειάζονται για να φιλοξενήσουν τις λειτουργίες για έναν συνεργατικό μηχανισμό, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.

3.2.2.1. Λειτουργικές οντότητες των διαπομπών

Οι λειτουργικές οντότητες των διαπομπών είναι οι ακόλουθες:

- Οντότητα απόφασης διαπομπών που χρησιμοποιείται για να ληφθεί η τελική απόφαση που έχει να κάνει με το τελικό δίκτυο της διαπομπής για το κινητό τερματικό.
- Οντότητα παραμέτρων ενεργοποίησης που αφορά την συγκέντρωση και σύγκριση των παραμέτρων ενεργοποίησης και τη λήψη της απόφασης για το αν θα εκκινήσει η διαδικασία διαπομπής.
- Οντότητα μετρήσεων που έχει να κάνει με την συγκέντρωση μετρήσεων από το τρέχον σύστημα επικοινωνιών αλλά και τα υπόλοιπα συστήματα καθώς και με τον υπολογισμό επιπλέον τιμών για κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους του συστήματος.
- Οντότητα επίβλεψης και φιλτραρίσματος των συστημάτων επικοινωνιών για να είναι διαθέσιμη η πληροφορία σχετικά με τη διαθεσιμότητα των δικτύων καθώς επίσης και διατήρηση μιας λίστας που έχει να κάνει με το κινητό τερματικό (Mobile Terminal, MT) και περιλαμβάνει τα δίκτυα στα οποία το MT μπορεί να έχει

πρόσβαση. Η λίστα αυτή βασίζεται στην προτίμηση του χρήστη, στους περιορισμούς του διαχειριστή του δικτύου, στις δυνατότητες της τερματικής συσκευής κ.α.

- Οντότητα διατήρησης πληροφοριών του χρήστη και αφορά την διατήρηση πληροφοριών που σχετίζονται με το χρήστη όπως είναι το κόστος, η προτίμηση δικτύου, η ποιότητα υπηρεσίας των κλάσεων κ.α.

Υπάρχουν τρεις δυνατές περιπτώσεις για την τοποθέτηση των οντοτήτων διαπομπών και έχουν ως εξής:

1. Η συνεργατική RRM θα είναι υπεύθυνη μόνο για την τελική απόφαση (οντότητα απόφασης διαπομπών) ενώ παράλληλα οι υπόλοιπες οντότητες θα βρίσκονται στο SRRM (δηλαδή στο ειδικό μέρος της διαχείρισης ραδιοπόρων) κάθε ασύρματου δικτύου. Κάθε SRRM θα συγκεντρώνει πληροφορίες και μετρήσεις μόνο για το συγκεκριμένο δίκτυο που ελέγχει. Για το λόγο αυτό στη περίπτωση διαπομπής, το κάθε SRRM πρέπει να στείλει τις σχετικές πληροφορίες που έχει συλλέξει στο συνεργατικό RRM. Τέτοιες πληροφορίες είναι για παράδειγμα η προτίμηση του χρήστη, τα διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα κ.α. Για να είναι σε θέση το συνεργατικό RRM να λάβει μία απόφαση, πρέπει οπωσδήποτε να είναι διαθέσιμες οι μετρήσεις για το δίκτυο τελικού προορισμού. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να λαμβάνονται είτε επιλεκτικά από κάθε συσχετιζόμενο RRM, είτε περιοδικά, είτε ύστερα από αίτηση προς αυτό.
2. Το συνεργατικό κομμάτι RRM είναι επίσης υπεύθυνο για τη συλλογή των μετρήσεων και για το λόγο αυτό η οντότητα των μετρήσεων θα βρίσκεται εντός αυτού (εκτός της οντότητας απόφασης διαπομπών, για την οποία είδαμε παραπάνω ότι και αυτή βρίσκεται στο συνεργατικό RRM). Αυτό έχει ως συνέπεια κάθε SRRM να στέλνει όλες τις μετρήσεις στο συνεργατικό RRM, γεγονός που αυξάνει κατά πολύ το φορτίο της σηματοδοσίας. Παρόλα αυτά η λήψη απόφασης για διαπομπή λαμβάνεται στην περίπτωση αυτή πολύ πιο γρήγορα λόγω άμεσης διαθεσιμότητας των λεπτομερών πληροφοριών για τις μετρήσεις.
3. Τελικά όλες οι οντότητες με εξαίρεση αυτή των παραμέτρων ενεργοποίησης μπορούν να τοποθετηθούν στο συνεργατικό RRM, με το κάθε SRRM να είναι

υπεύθυνο για την αποστολή των σχετικών πληροφοριών είτε περιοδικά, είτε κατόπιν αιτήσεως, είτε όταν μία τιμή μιας μεταβλητής μεταβάλλεται. Αυτή η στρατηγική αυξάνει το φορτίο σηματοδοσίας αλλά από την άλλη έχει το πλεονέκτημα της πολύ γρήγορης απόφασης για διαπομπή, κριτήριο που είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

3.2.2.2. Λειτουργικές οντότητες για τον έλεγχο αποδοχής κλήσεων

Οι λειτουργικές οντότητες του ελέγχου αποδοχής κλήσεων είναι οι ακόλουθες:

- Κεντρική οντότητα του ελέγχου αποδοχής κλήσεων, η οποία είναι υπεύθυνη για την τελική απόφαση.
- Τοπική οντότητα ελέγχου αποδοχής κλήσεων (βρίσκεται σε κάθε SRRM).
- Οντότητα που είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ουράς των διαπομπών.

Οι οντότητες του ελέγχου αποδοχής κλήσεων χωρίζονται σε αυτή που βρίσκεται εντός της οντότητας του συνεργατικού RRM (και είναι η κεντρική οντότητα ελέγχου αποδοχής κλήσεων) και σε αυτές που βρίσκονται εντός των SRRM οντοτήτων για κάθε ασύρματο δίκτυο (τοπική οντότητα ελέγχου αποδοχής κλήσεων και οντότητα που είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ουράς των διαπομπών).

Η οντότητα που βρίσκεται στο συνεργατικό RRM είναι υπεύθυνη για το γενικό έλεγχο της διαδικασίας αποδοχής κλήσεων, τον καθορισμό των χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων της συνόδου, την κατάταξη αυτής σε μία κλάση υπηρεσιών, την απόδοση στη σύνοδο της αντίστοιχης προτεραιότητας, την επιλογή του ασύρματου συστήματος επικοινωνιών που θα την εξυπηρετήσει, την λήψη των αποτελεσμάτων και των πληροφοριών από τις οντότητες ελέγχου αποδοχής κλήσεων που εδρεύουν στις οντότητες SRRM και την συνεργασία με άλλες οντότητες όπως είναι η οντότητα διαπομπών και η οντότητα που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση της ποιότητας υπηρεσιών των κλήσεων.

Οι τοπικές οντότητες ελέγχου αποδοχής κλήσεων, οι οποίες βρίσκονται στις οντότητες SRRM σε κάθε ασύρματο δίκτυο, είναι υπεύθυνες για την συνεργασία με την οντότητα των μετρήσεων σε κάθε ασύρματο δίκτυο, τον έλεγχο των διαφορετικών κριτηρίων του ελέγχου αποδοχής κλήσεων έτσι ώστε να ληφθεί η απόφαση για την αποδοχή της κλήσης στο υπόψη δίκτυο, τη συνεργασία (λήψη και αποστολή πληροφοριών) με την οντότητα του ελέγχου αποδοχής κλήσεων που εδρεύει στο

συνεργατικό RRM και την επιλογή των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη και θα υποχρεωθούν σε διασυστημική διαπομπή ή σε μείωση της ποιότητας υπηρεσιών τους έτσι ώστε να απελευθερωθούν οι αναγκαίοι πόροι του συστήματος για την αποδοχή της κλήσης που ζήτησε εξυπηρέτηση.

Η τρίτη κατά σειρά οντότητα που παρουσιάστηκε στην αρχή αυτής της υποενότητας είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ουράς των κλήσεων που προέρχονται από διαπομπές και οι οποίες δεν μπορούν να ολοκληρωθούν αμέσως, οπότε πρέπει να παραμείνουν στην ουρά αναμονής μέχρι να γίνουν διαθέσιμοι οι απαιτούμενοι πόροι του συστήματος.

3.2.2.3. Λειτουργικές οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών

Οι λειτουργικές οντότητες για τη διαχείριση της ποιότητας των υπηρεσιών περιλαμβάνουν λειτουργίες που διασφαλίζουν τις ομοιότητες μεταξύ των διαφορετικών ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών. Οι αποφάσεις λαμβάνονται σε ανεξάρτητη βάση για τον κάθε χρήστη ξεχωριστά και ο χρονοδρομολογητής που συνδέεται με την οντότητα του συνεργατικού RRM φροντίζει για την επιβολή της ανάλογης ποιότητας υπηρεσίας και την βέλτιστη εκμετάλλευση των ραδιοπόρων της ασύρματης διεπαφής του συστήματος. Επίσης αναμένεται να περιληφθεί μελλοντικά και ταξινομητής των ροών που θα διαχειρίζεται τις εντός του κάθε ασύρματου δικτύου ροές δεδομένων.

Η λειτουργία του χρονοδρομολογητή απαρτίζεται από ένα αργό και ένα γρήγορο μέρος RRM. Το αργό RRM χρησιμοποιείται για να ενημερώνεται η λίστα προτεραιότητας των ασύρματων δικτύων. Η ενημέρωση γίνεται βάση πληροφοριών από γειτονικά σημεία πρόσβασης στην ενεργό περιοχή. Το γρήγορο RRM επιτελεί την ανάλυση συμπεριφοράς της κάθε ποιότητας υπηρεσίας και την κατανομή αυτής. Επιπλέον οντότητες συνθέτουν την κατανομημένη πλατφόρμα RRM και μπορούν να εγγραφούν την ποιότητας υπηρεσίας. Αυτές οι οντότητες ονομάζονται τοπικό RRM (δεν είναι τίποτα άλλο από το SRRM που συναντήσαμε και σε προηγούμενη ενότητα) και γενικό RRM (δεν είναι τίποτα άλλο από το συνεργατικό RRM που συναντήσαμε και σε προηγούμενη ενότητα).

Ο στόχος είναι να παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να κάνει αίτηση για μία υπηρεσία με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 1) Πάντα συνδεδεμένος (Always Connected)
- 2) Καλύτερη δυνατή κάλυψη (Best Coverage)
- 3) Το καλύτερο δυνατό εύρος ζώνης (Best Available Bandwidth)
- 4) Καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών (Best Available QoS)

Από την πλευρά του δικτύου το σύστημα πρέπει να διαχειρίζεται την κίνηση μέσω διακριτών RRM, όπως είναι οι joint RRM (JRRM) και οι CRRM, έτσι ώστε:

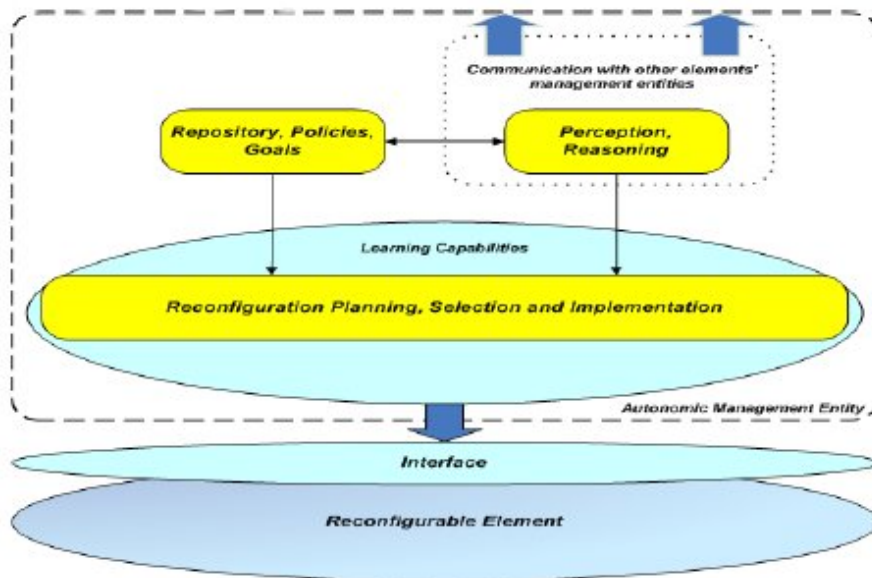
- 1) Να επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση μιας περιοχής, η οποία είναι είτε μέρος ενός μοναδικού ασύρματου δικτύου, είτε μέρος μιας περιοχής που καλύπτεται από περισσότερα του ενός ασύρματα δίκτυα.
- 2) Να παρέχεται βοήθεια στην έναρξη μιας διαπομπής.

4. Autonomic Computing

4.1. Εισαγωγή

Η διαχείριση των ετερογενών δικτύων, είναι εκ προοιμίου περισσότερο σύνθετη, σε σχέση με αυτή των παραδοσιακών δικτύων, αφού θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε τεχνολογίες οι οποίες αποτελούν υπερσύνολο αυτών που συναντάμε στα παραδοσιακά δίκτυα. Έτσι λοιπόν, υποθέτοντας ότι ένα ετερογενές δίκτυο αποτελείται από ευπροσάρμοστα στοιχεία και συσκευές, τοποθετημένα σε διαφορετικά σημεία, η προσέγγιση που θα πρέπει ν' ακολουθήσουμε για τη διαχείριση του, δε μπορεί να είναι συγκεντρωτική αφού θ' αποβεί απαγορευτικά περίπλοκη και ακατάλληλη από καθαρά πρακτικής άποψης. Στην περίπτωση αυτή εξυπηρετεί μια κατανεμημένη προσέγγιση.

Για το σκοπό αυτό, σκεφτόμενοι μια πλήρως κατανεμημένη προσέγγιση του εν λόγω προβλήματος, οδηγούμαστε στις βασικές αρχές του autonomic computing. Η ουσία αυτής της ιδέας είναι ένα αυτοδιαχειριζόμενο σύστημα το οποίο εμπεριέχει και τη λειτουργικότητα όσον αφορά την αυτο-ρύθμιση, αυτο-βελτιστοποίηση, αυτο-επιδιόρθωση, αυτο-προστασία. Για την τοπική βελτιστοποίηση, ο εξοπλισμός λαμβάνει πολιτικές οι οποίες λαμβάνονται υπ' όψιν για την αυτοδιαχείριση του, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο σκοπός της λειτουργίας ενός ενιαίου δικτύου.



Σχήμα 4-1: AUTONOMIC MANAGEMENT FUNCTIONALITY

4.2. Ανάγκη για Autonomic Computing

Σ' ένα ετερογενές περιβάλλον οι διαχειριστές των συστημάτων πρέπει να βελτιώνουν την προσαρμοστικότητα της παροχής υπηρεσιών αλλά και την ποιότητα αυτών μειώνοντας ταυτόχρονα το συνολικό κόστος λειτουργίας των κέντρων διαχείρισης (TCO). Ο εξοπλισμός που έχει παραχθεί από τις εταιρείες είναι τόσο σύνθετος που αποτελεί πρόκληση η διαχείριση μιας ευσταθούς δικτυακής υποδομής. Τόσο η αυτό καθ' αυτό πολυπλοκότητα των ίδιων των στοιχείων του εξοπλισμού όσο και η πολυπλοκότητα των μεταξύ τους εξαρτήσεων είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας για τη διόγκωση του προβλήματος. Καθώς τα δίκτυα μεγαλώνουν και εξελίσσονται προκύπτουν διάφορα θέματα που αφορούν το υλικό και το λογισμικό ενώ και το ανθρώπινο λάθος εμποδίζει την αποτελεσματική διαχείριση τους και την παροχή των υπηρεσιών. Ο ανθρώπινος παράγοντας απαιτείται στη διαχείριση των συστημάτων, αυτό όμως είναι κάτι που αυξάνει το συνολικό κόστος παρόλο που το κόστος του εξοπλισμού ολοένα και μειώνεται.

Με τη χρήση τεχνολογιών Autonomic Computing μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την πολυπλοκότητα αυτή χρησιμοποιώντας τεχνολογία για να διαχειριστούμε τεχνολογία. Ο όρος «αυτόνομο» προέρχεται από τη βιολογία. Για παράδειγμα το αυτόνομο νευρικό μας

σύστημα ελέγχει τους σφυγμούς της καρδιάς, τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα και τη θερμοκρασία χωρίς καμία συνειδητή προσπάθεια εκ μέρους μας. Αντίστοιχα οι αυτόνομες αυτο-διαχειριστικές δυνατότητες ελέγχουν τις απαιτήσεις των συστημάτων και λύνουν προβλήματα με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού είναι οι διαχειριστές των συστημάτων να έχουν τη δυνατότητα να εστιάζουν σε άλλα έργα με μεγαλύτερη σημασία για την εργασία τους.

Παρόλα αυτά υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ στην αυτόνομη δραστηριότητα του ανθρώπινου οργανισμού κι ενός συστήματος. Πολλές αποφάσεις που λαμβάνονται από τις αυτόνομες δυνατότητες του σώματος είναι ακούσιες. Αντίθετα οι αυτόνομες αυτο-διαχειριστικές δυνατότητες των συστημάτων εκτελούν ενέργειες τις οποίες έχουν επιλέξει οι διαχειριστές βασιζόμενοι σε κάποιες πολιτικές. Μια προσαρμοζόμενη πολιτική, σε αντίθεση με μια αμετάβλητη ενσωματωμένη διαδικασία, ορίζει το είδος των αποφάσεων και των ενεργειών που θα εκτελέσουν οι αυτόνομες δυνατότητες.

Οι αυτο-διαχειριστικές δυνατότητες ενός συστήματος ολοκληρώνουν τις λειτουργίες τους εκτελώντας την κατάλληλη ενέργεια, η οποία βασίζεται σε μία ή περισσότερες καταστάσεις που ανιχνεύονται αυτόματα στο περιβάλλον. Η λειτουργία οποιασδήποτε αυτόνομης δυνατότητας είναι ένας βρόχος ελέγχου που συλλέγει λεπτομέρειες από το σύστημα και ενεργεί ανάλογα.

Η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα των περισσότερων διεργασιών υπολογίζονται χρησιμοποιώντας αριθμητικά δεδομένα όπως ο χρόνος που έχει απαιτηθεί για να ολοκληρωθούν, το ποσοστό αυτών που ολοκληρώθηκαν σωστά αλλά και το κόστος για την εκτέλεση τους. Τα αυτο-διαχειριζόμενα συστήματα μπορούν να επηρεάσουν θετικά αυτά τα αριθμητικά δεδομένα, βοηθώντας να βελτιωθεί η αποκριτικότητα και η ποιότητα μιας υπηρεσίας μειώνοντας το TCO και προάγοντας το χρόνο σε αξία μέσω παραμέτρων όπως:

- **Επιλεκτικός αυτοματισμός διεργασιών:** Τυπικά για την υλοποίηση τέτοιων διεργασιών απαιτείται ένας αριθμός από διαχειριστές οι οποίοι θ' αρχικοποιήσουν μια διεργασία, θα συλλέξουν τις λεπτομέρειες των συμβάντων, θ' ανοίξουν τις εγγραφές των προβλημάτων, θα δημιουργήσουν τις αιτήσεις για αλλαγές και θα εκτελέσουν κι όλες τις υπόλοιπες δραστηριότητες που χρειάζονται. Οι δραστηριότητες αυτές

βασίζονται κυρίως σε ελλιπή ή ασυνεχή δεδομένα και φτωχά τεκμηριωμένες διεργασίες. Οι αυτο-διαχειριστικές δυνατότητες βοηθούν στην ενοποίηση και συσχέτιση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων έτσι ώστε να βελτιωθεί η αντίληψη και η τακτικότητα των διεργασιών για τη διαχείριση των συστημάτων. Σ' ένα αυτο-διαχειριζόμενο σύστημα ο εξοπλισμός μπορεί να εκτελέσει συγκεκριμένες δραστηριότητες των διεργασιών, οι οποίες βασίζονται στην πληροφορία που προέρχεται κατευθείαν από το ίδιο το σύστημα. Αυτό βοηθάει να μειωθεί το έμψυχο δυναμικό και ο χρόνος που απαιτείται για την απόκριση σε κρίσιμες καταστάσεις, έχοντας ως αποτέλεσμα δύο άμεσα οφέλη: Περισσότερο έγκαιρη εκτέλεση των διεργασιών και πιο ακριβή δεδομένα από το σύστημα.

- **Μειωμένες απαιτήσεις χρόνου και ικανοτήτων:** Οι διεργασίες που αφορούν τη διαχείριση περιέχουν εργασίες ή δραστηριότητες που έχουν μεγάλη διάρκεια, απαιτούν ικανότητες και είναι δύσκολο να ολοκληρωθούν σωστά εξαιτίας της πολυπλοκότητας του συστήματος. Σε μια διεργασία διαχείρισης μεταβολών, μια τέτοια δραστηριότητα είναι η εργασία της «αξιολόγησης του αντίκτυπου των μεταβολών». Σε μια διεργασία διαχείρισης προβλημάτων, μια τέτοια δραστηριότητα είναι η εργασία της «διάγνωσης του προβλήματος». Στα αυτο-διαχειριζόμενα συστήματα, οι πόροι δημιουργούνται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η εμπειρία που απαιτείται για την εκτέλεση των περισσότερων εργασιών που συνθέτουν αυτές τις δραστηριότητες, να μπορεί να κωδικοποιηθεί μέσα στο σύστημα με αποτέλεσμα και οι εργασίες να μπορούν να αυτοματοποιηθούν. Κάτι τέτοιο εξυπηρετεί στο να μειωθεί το σύνολο του χρόνου και ο βαθμός των ικανοτήτων που απαιτούνται για την εκτέλεση τέτοιων εργασιών ρουτίνας. Έτσι οι διαχειριστές των συστημάτων μπορούν να απελευθερωθούν σε εργασίες πιο σύνθετες και μεγαλύτερης αξίας.

Αυτά τα διαισθητικά και συνεργατικά χαρακτηριστικά των αυτο-διαχειριστικών δυνατοτήτων επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να διευθύνουν τις εγκαταστάσεις τους, πιο αποτελεσματικά με όσο το δυνατόν μικρότερη ανθρώπινη μεσολάβηση, κάτι που μπορεί να μειώσει τα διάφορα κόστη και να αυξήσει την δυνατότητα της επιχείρησης ν' ανταποκριθεί στις αλλαγές. Για παράδειγμα, ένα αυτο-διαχειριζόμενο σύστημα θα μπορούσε αυτόματα να επεκτείνει την εγκατάσταση μ' ένα νέο πόρο (π.χ. έναν εξυπηρετητή), να εγκαταστήσει το απαιτούμενο λογισμικό και να ρυθμίσει τις παραμέτρους του εξυπηρετητή για την

προοριζόμενη χρήση του. Αυτή είναι μια αξιοσημείωτη αλλαγή από τις παραδοσιακές διεργασίες που θ' απαιτούσαν σημαντικό ποσό ανάλυσης πριν και μετά την επέκταση για να διασφαλιστεί ότι ο πόρος λειτουργεί αποδοτικά και αποτελεσματικά. Αυτή η αλλαγή μπορεί να ενισχύσει την παροχή υπηρεσιών και να διευκολύνει το φορτίο της διαχείρισης.

Η ιδέα της χρήσης τεχνολογίας για τη διαχείριση τεχνολογίας δεν είναι καινούρια, πολλές εταιρείες έχουν υλοποιήσει προϊόντα βασισμένα σ' αυτήν την έννοια. Με τη χρήση τεχνικών *autonomic computing* για αυτο-διαχειριζόμενα συστήματα μπορούμε να έχουμε ως αποτέλεσμα μια σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα της διαχείρισης των συστημάτων. Εντούτοις, αυτό είναι δυνατόν, μόνο όταν οι διαφορετικές τεχνολογίες που διαχειρίζονται τα συστήματα συνεργάζονται για να προσφέρουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Και για να συμβεί αυτό σε μια υποδομή με εξοπλισμό που προέρχεται από διαφορετικούς κατασκευαστές, θα πρέπει οι τελευταίοι να συμφωνήσουν όσον αφορά στην τυποποίηση των αυτόνομων συστημάτων.

Τα σημερινά μεγάλης κλίμακας συστήματα είναι εκπληκτικά σύνθετα και απαιτούν μεγάλη εμπειρία και υπομονή απλά και μόνο για να τα κάνει κάποιος να λειτουργήσουν και να συνεχίσουν να λειτουργούν. Υπάρχει μια εύλογη ανυσηχία στη βιομηχανία ότι η αυξανόμενη δυσκολία στη διαχείριση των συστημάτων θα σταθεί εμπόδιο στην ανάπτυξη και συντήρηση μεγάλων συστημάτων. Ο στόχος του *autonomic computing* είναι να μειωθεί εντυπωσιακά το κόστος και η αντιληπτή πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων ρυθμίζοντας τα να διαχειρίζονται τους εαυτούς τους σύμφωνα με την υψηλού επιπέδου καθοδήγηση από τους ανθρώπους. Αυτό έχει χαρακτηριστεί ως μια τεράστια πρόκληση η οποία κουβαλά πάνω της το μέλλον στην ανάπτυξη των συστημάτων. Τελικά, η επιτυχία στην επίτευξη αυτής της πρόκλησης, θα εξαρτηθεί, όχι μόνο από την ανακάλυψη νέων τεχνολογιών, αλλά και από την αρχιτεκτονική για την αυτο-διαχείριση που θα εκμεταλλευτεί αυτές τις τεχνολογίες κατάλληλα. Επιπλέον, η σωστή αρχιτεκτονική μπορεί να αποδειχτεί το κλειδί για την επίτευξη αυτόνομης συμπεριφοράς, ακόμη και σε επίπεδο συστήματος.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι δεν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν να κάνουν με τεχνητή νοημοσύνη αλλά με συστήματα τα οποία απλώς εκφράζουν ανθρώπινη συμπεριφορά. Όλες οι αποφάσεις που παίρνουν βασίζονται σε ανθρώπινες επιλογές, πολιτικές και κανόνες που έχουν ενσωματωθεί για τη σωστή λειτουργία και διαχείριση.

Μια αρχιτεκτονική για autonomic computing θα πρέπει να ικανοποιεί τρεις θεμελιώδεις στόχους:

- Κατ' αρχάς θα πρέπει να περιγράφει τις εξωτερικές διεπαφές και συμπεριφορές που απαιτούνται από τα επιμέρους τμήματα των συστημάτων.
- Δεύτερον, θα πρέπει να περιγράφει πως θα γίνει η σύνθεση αυτών των τμημάτων, έτσι ώστε αυτά να μπορούν να συνεργαστούν για την επίτευξη των στόχων της αυτο-διαχείρισης σ' ένα ολόκληρο σύστημα.
- Τέλος, θα πρέπει να περιγράφει πως θα γίνει η σύνθεση συστημάτων από αυτά τα τμήματα, με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε το σύστημα στο σύνολο του να είναι αυτο-διαχειριζόμενο.

Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα ενός συστήματος, τόσο αυξάνει και η δυσκολία στη διαχείριση του. Αυτή η ανάγκη για διαχείριση μας οδήγησε στις τεχνικές autonomic computing. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσουμε την πλατφόρμα της IBM τόσο από θεωρητικής όσο και από πρακτικής άποψης έτσι ώστε να αντιληφθούμε καλύτερα τη λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος.

5. IBM Autonomic Computing Toolkit

5.1. Βασικές έννοιες

5.1.1. Ιδιότητες αυτόνομων συστημάτων

Το ΣΧΗΜΑ 5-1 δείχνει συνοπτικά τις 4 ιδιότητες ενός αυτόνομου συστήματος.



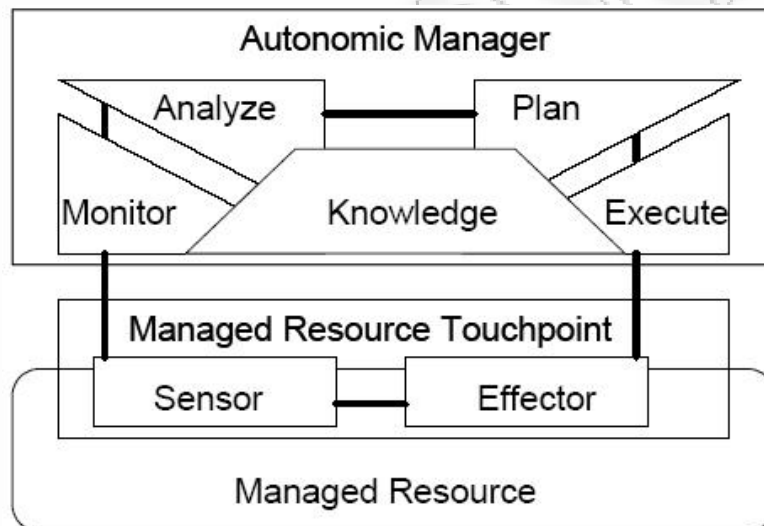
ΣΧΗΜΑ 5-1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

- **Self-configuring (Αυτο-ρυθμιζόμενο):** Έχοντας αυτήν τη δυνατότητα, ένα σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί με ελάχιστη παρέμβαση σε αλλαγές στο περιβάλλον του.
- **Self-healing (Αυτο-επιδιορθούμενο):** Ένα αυτο-επιδιορθούμενο σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει προβληματικές καταστάσεις και να ξεκινήσει τις διαδικασίες επιδιόρθωσης, προλαμβάνοντας ένα αρχικά μικρό πρόβλημα να γίνει γενικότερο.
- **Self-optimizing (Αυτο-βελτιστοποιούμενο):** Ένα αυτο-βελτιστοποιούμενο σύστημα χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ανάλογα με τη ζήτηση κάθε στιγμή. Σε αυτή τη διαδικασία, υπάρχει η δυνατότητα, μακροπρόθεσμα, το σύστημα να «μαθαίνει» από προηγούμενες καταστάσεις.

- **Self-protecting (Αυτο-προστατευόμενο):** Ένα αυτο-προστατευόμενο σύστημα ανιχνεύει ύποπτες συμπεριφορές και παίρνει πρωτοβουλία να κάνει τον εαυτό του λιγότερο ευάλωτο σε απειλές, όπως ιούς, hackers,....

5.1.2. Τμήματα ενός αυτόνομου συστήματος

Το ΣΧΗΜΑ 5-1 απεικονίζει τα γενικά τμήματα ενός αυτόνομου συστήματος κατά το μοντέλο του IBM Autonomic Computing Toolkit.



Σχήμα 5-1: ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Από τη μία πλευρά υπάρχει ο διαχειριζόμενος πόρος (managed resource) ο οποίος δίνει προς τον έξω κόσμο δύο διεπαφές

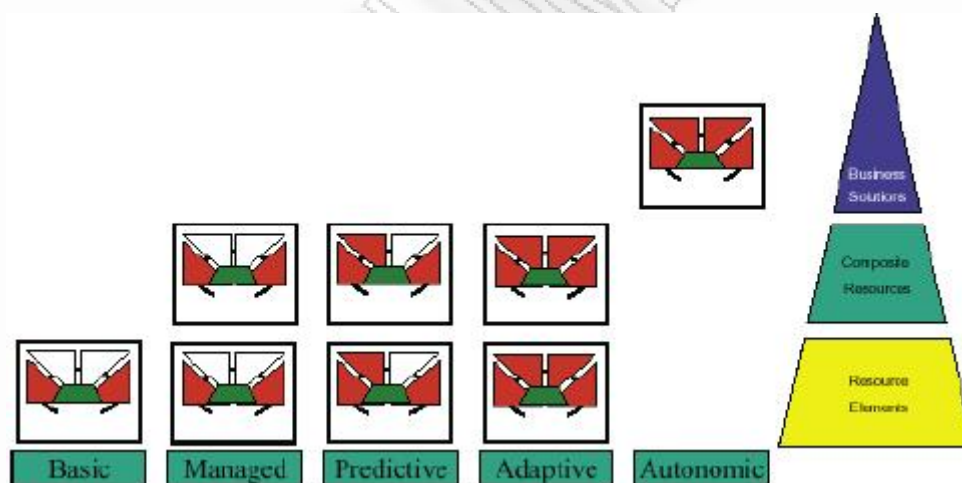
- **Τον αισθητήρα (sensor),** ο οποίος επιτρέπει την ανάγνωση της κατάστασής του πόρου από τρίτες εφαρμογές
- **Τον ενεργοποιητή (effector),** ο οποίος επιτρέπει την αλλαγή κάποιων παραμέτρων λειτουργίας του πόρου

Αυτές οι δύο διεπαφές στην ορολογία του Autonomic Computing Toolkit αποτελούν ένα touchpoint. Αυτές τις διεπαφές τις χειρίζεται ο autonomic manager. Αυτός είναι σε θέση να:

- παρακολουθεί (monitor) την κατάσταση του πόρου,
- την αναλύει για τον εντοπισμό προβλημάτων (analyze),
- να σχεδιάζει τι ενέργειες θα πρέπει να συμβούν σε περίπτωση προβλήματος (plan)
- εκτελεί τις απαιτούμενες ενέργειες (execute).

5.1.3. Επίπεδα αυτονομίας

Το ΣΧΗΜΑ 5-2 δείχνει περιληπτικά τα διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας ενός συστήματος, σύμφωνα με το IBM Autonomic Toolkit.



ΣΧΗΜΑ 5-2 ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ

Επίπεδο 1: Basic (Βασικό)

Τα περισσότερα σημερινά συστήματα βρίσκονται σε αυτό το επίπεδο. Τα διάφορα τμήματα των συστημάτων εγκαθίστανται και συντηρούνται χειρωνακτικά από εξειδικευμένο προσωπικό. Σε αυτήν τη διαδικασία χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά εργαλεία και περιβάλλοντα.

Επίπεδο 2: Managed (Διαχειριζόμενο)

Σε αυτό το επίπεδο, τα δεδομένα των εφαρμογών και οι διορθωτικές ενέργειες προς αυτές ενοποιούνται από εξειδικευμένα εργαλεία. Η ανάλυση των δεδομένων και οι διορθωτικές ενέργειες γίνονται και εδώ χειρωνακτικά.

Επίπεδο 3: Predictive (Προληπτικό)

Σε αυτό το επίπεδο το σύστημα παρακολουθεί τα διάφορα συστήματα για να αναγνωρίσει προβληματικές συμπεριφορές. Με βάση αυτά προτείνει ενέργειες οι οποίες εγκρίνονται από εξειδικευμένο προσωπικό.

Επίπεδο 4: Adaptive (Προσαρμοστικό)

Σε αυτό το επίπεδο, το σύστημα εκτός από παρακολούθηση και επεξεργασία των δεδομένων προβαίνει και σε διορθωτικές ενέργειες βάση υπάρχοντων πολιτικών.

Επίπεδο 5: Autonomic (Αυτόνομο)

Σε αυτό το επίπεδο τα διάφορα υποσυστήματα αυτο-διαχειρίζονται τον εαυτό τους δυναμικά σύμφωνα με υπάρχουσες πολιτικές και κανόνες.

5.2. Βασικά τμήματα του IBM Autonomic Computing Toolkit

5.2.1. Common Base Events

Τα Common Base Events (CBE) είναι ένα πρότυπο περιγραφής συμβάντων συστημάτων. Είναι μία δομή XML αρκετά γενική και με διαθέσιμο «λεξιλόγιο» τέτοιο ώστε να μπορέσουν να περιγραφούν με αυτήν σχεδόν οποιαδήποτε συμβάντα (logging, tracing, business events,...). Η ύπαρξη ενός τέτοιου προτύπου είναι απαραίτητη ώστε να μπορέσουν να δημιουργηθούν πάνω από αυτό εφαρμογές επεξεργασίας συμβάντων από διαφορετικά συστήματα.

Ένα παράδειγμα συμβάντος CBE ακολουθεί.

<CommonBaseEvent

```

creationTime="..."
globalInstanceId="..."
msg="..."
version="1.0.1">
<sourceComponentId
  application="MobileBaseApp"
  component="MobileBaseApp #1"
  componentIdType="Name"
  location="mobile-base1.network.company.com"
  locationType="IPv4"
  subComponent="MobileBaseApp Subcomponent"
  componentType="Mobile Base"/>
<situation
  categoryName="StartSituation">
  <situationType
    xmlns:xsi="..."
    xsi:type="StartSituation"
    reasoningScope="INTERNAL"
    successDisposition="SUCCESSFUL"
    situationQualifier="START INITIATED"/>
  </situation>
</CommonBaseEvent>

```

5.2.2. Generic Log Adapter

Ο Generic Log Adapter (GLA) είναι ένας ευέλικτος μηχανισμός που παρέχεται από το Autonomic Computing Toolkit για την αυτόματη μετατροπή συμβάντων από αρχεία καταγραφής (logs) οποιασδήποτε εφαρμογής σε συμβάντα της μορφής CBE. Ο GLA επιτρέπει την ανάγνωση εγγραφών συμβάντων από οποιαδήποτε πηγή (αρχείο, σχεσιακή βάση δεδομένων,...) και να τα μετατρέψει σε μορφή CBE βάσει κανόνων μετατροπής.

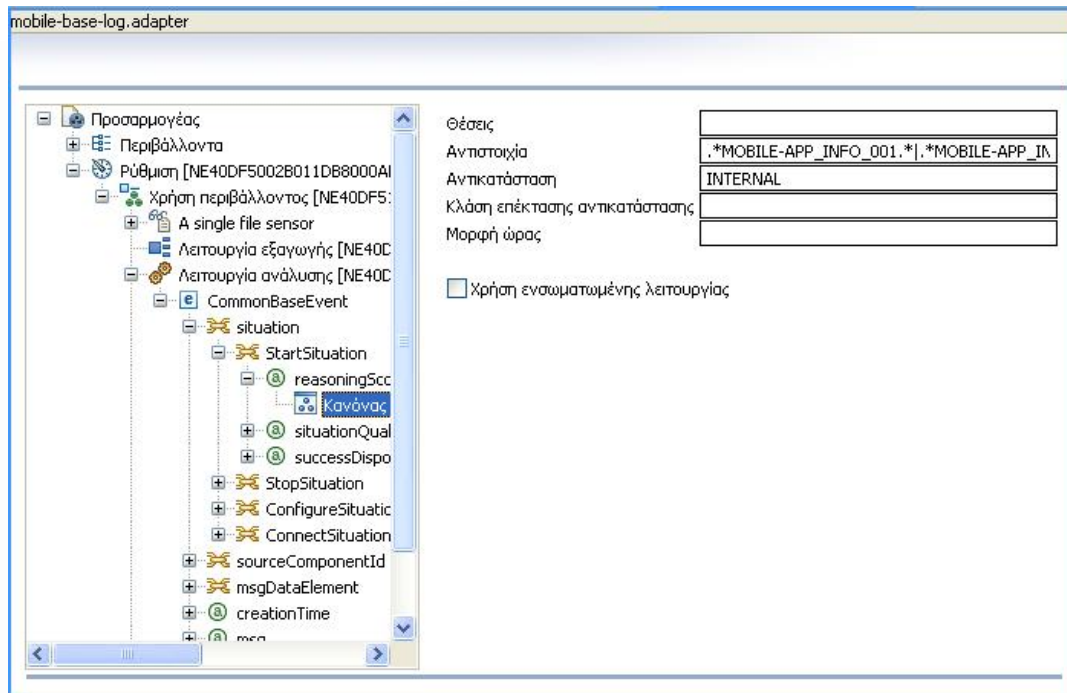
Οι κανόνες μετατροπής στην ορολογία του Toolkit ονομάζονται adapter model και ορίζονται σε μορφή XML. Ένα adapter model περιγράφει:

- Την πηγή από όπου θα αναγνωστούν τα συμβάντα της εφαρμογής
- Πόσο συχνά θα ελέγχεται αυτή η πηγή για νέα συμβάντα
- Τους κανόνες μετατροπής που ορίζουν πώς από το αρχικό κείμενο του συμβάντος θα εξαχθεί πληροφορία για να «γεμίσουν» τα αντίστοιχα πεδία του CBE. Αυτοί οι κανόνες υλοποιούνται με τη μορφή κανονικών εκφράσεων (regular expressions) για τον εντοπισμό και αντικατάσταση της πληροφορίας.
- Πού θα εξαχθούν τα νέα συμβάντα CBE (αρχείο, βάση δεδομένων, απομακρυσμένος εξυπηρετητής,...)

Ο μηχανισμός είναι επεκτάσιμος δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει δικές του κλάσεις ανάγνωσης των log ή/και εγγραφής των παραγόμενων CBE συμβάντων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί

- ως ξεχωριστό εργαλείο, χρησιμοποιούμενο χειρωνακτικά για τη μετατροπή ενός log
- ως βιβλιοθήκη στα πλαίσια μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας για τη συνεχή παρακολούθηση και μετατροπή ενός log μιας εφαρμογής που τρέχει.

Στο ΣΧΗΜΑ 5-3 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από τη διαδικασία σχεδιασμού ενός αρχείου κανόνων μετατροπής.



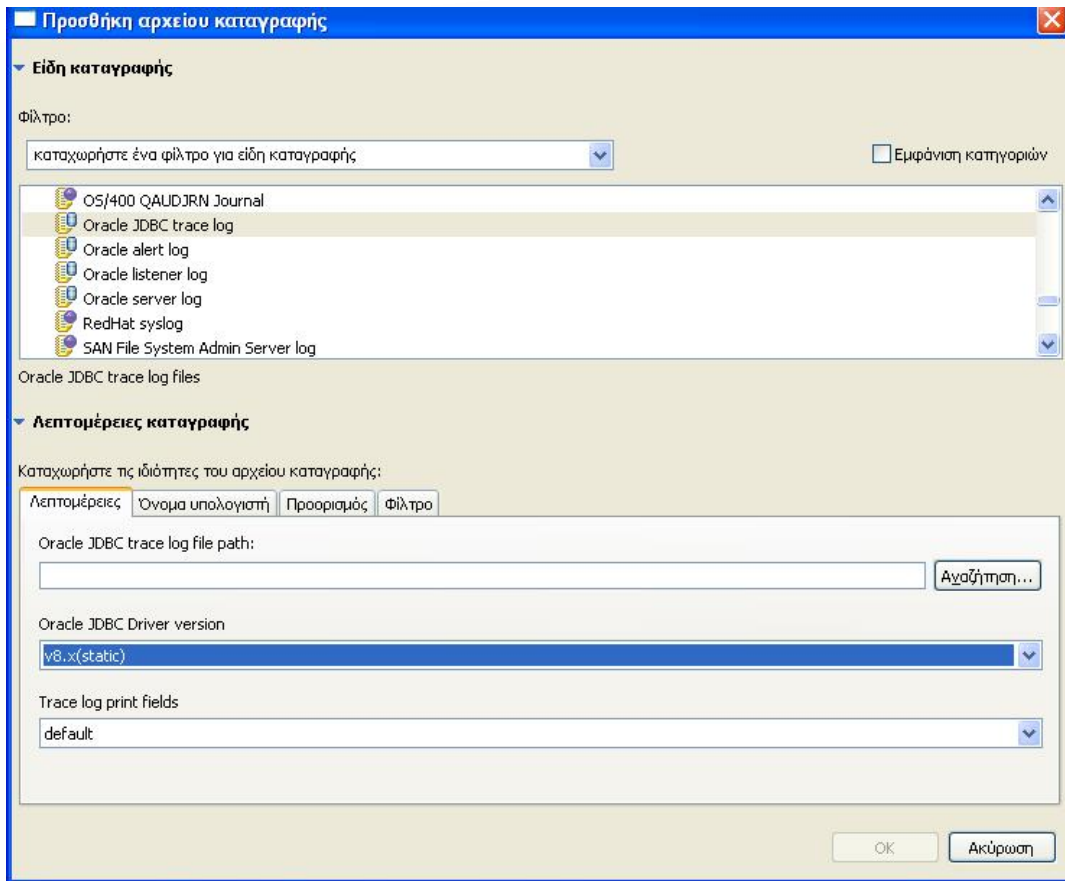
ΣΧΗΜΑ 5-3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΡΧΕΙΟΥ ΚΑΝΟΝΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΓΙΑ GLA

5.2.3. Log and Trace Analyzer

Ο Log and Trace Analyzer (LTA) είναι μία κονσόλα εξέτασης και συσχέτισμού logs από διαφορετικές πηγές και συστήματα. Απευθύνεται στο εξειδικευμένο προσωπικό ενός οργανισμού, επιφορτισμένο με την παρακολούθηση ενός ή περισσότερων συστημάτων.

Ο LTA επιτρέπει την εισαγωγή logs από πολλές διαφορετικές πηγές/εφαρμογές και κάνει αυτόματα τη μετατροπή στη μορφή CBE. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει την ταυτόχρονη θέαση τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων πώς μία εφαρμογή επηρεάζει/εξαρτάται από μία άλλη.

Στα επόμενα σχήματα (ΣΧΗΜΑ 5-4, ΣΧΗΜΑ 5-5) φαίνεται πώς γίνεται εισαγωγή ενός υπάρχοντος log από μία εφαρμογή για να εξεταστεί στην κονσόλα υπό μορφή CBE συμβάντων.



ΣΧΗΜΑ 5-4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΟΣ LOG ΣΤΟ LOG TRACE ANALYZER

Προφίλ και αρχεία καταγραφής - MobileBaseFrame.java - Πλατφόρμα Eclipse

Αρχείο Τροποποίηση Κώδικας Βελτιστοποίηση Όμοις κώδικα Πλοήγηση Αναζήτηση Έργο Εκτέλεση Παράθυρο Βοήθεια

Παρακολο... Πλοήγηση Πλοήγηση...

Αρχεια καταγραφής
 Apache Tomcat localhost log C:\dbin\BuildToMa...
 Βάσεις δεδομένων συμπτωμάτων
 Συναρτήσεις

Προβολή αρχείων καταγραφής - Apache Tomcat localhost log C:\dbin\BuildToMa...
 (Φίλτρο: Χωρίς φίλτρο)

Εγγραφές αρχείων καταγραφής (Σελίδα 1 από 2, 168 από 168 εγγραφές ικανοποιούν τα κριτήρια του φίλτρου)

Ώρα δημιουργίας	Σοβαρότητα	Μήνυμα	Προτεραι...	Είδος περίπτωσης	Συστα...
5 Οκτ 2005 12:12:00.000000 μμ	50	Cannot connect to datasource□□j...	0	ConnectSituation	Apache
5 Οκτ 2005 12:12:00.000000 μμ	50	Allocate exception for □□servlet W...	0	ReportSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Deploying web application directory ...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Installing web application at □□con...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Deploying class repositories to work ...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Seeding random number generator c...	0	ReportSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Seeding of random number generato...	0	StopSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Loading container servlet default	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Loading container servlet invoker	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Deploying web application directory ...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Installing web application at □□con...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Deploying class repositories to □□...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Seeding random number □□genera...	0	ReportSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Seeding of random number □□gen...	0	StopSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Loading container □□servlet default	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Loading container □□servlet invoker	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Deploying web application directory ...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Installing web application at □□con...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Deploying class repositories to work ...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Seeding random number generator ...	0	ReportSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Seeding of random number □□gen...	0	StopSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Loading container servlet □□default	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:38.000000 πμ	10	Loading container servlet □□invoker	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:37.000000 πμ	10	Seeding random number generator ...	0	ReportSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:37.000000 πμ	10	Seeding of random number generato...	0	StopSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:37.000000 πμ	10	Loading container servlet □□default	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:37.000000 πμ	10	Loading container servlet □□invoker	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Deploying configuration descriptor ...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Deploying class repositories to □□...	0	AvailableSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Configured an authenticator for □...	0	ConfigureSituat...	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Seeding random number generator ...	0	ReportSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Seeding of random number □□gen...	0	StopSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Loading container □□servlet default	0	FeatureSituation	Apache
5 Οκτ 2005 11:58:35.000000 πμ	10	Loading container □□servlet invoker	0	FeatureSituation	Apache

Ιδιότητες

Εκτεταμένα στοιχεία δεδομένων

Στοιχεία δεδομένων περιβάλλοντος

Περίπτωση

Στοιχεία δεδομένων μηνύματος

Ταυτότητα συστατικού στοιχείου προέλευσης

Ταυτότητα συστατικού στοιχείου δημιουργίας αναφορών

Σχετικό συμβάν

Πραγματοποιείται εισαγωγή...

ΣΧΗΜΑ 5-5 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΝΟΣ LOG ΣΤΟ LOG TRACE ANALYZER

5.2.4. Autonomic Management Engine / Resource models

Στο Autonomic Computing Toolkit η υλοποίηση της λογικής διαχείρισης ενός πόρου βρίσκεται μέσα σε ένα resource model, σύμφωνα με την ορολογία του Autonomic Computing Toolkit. Ένα resource model περιλαμβάνει τα εξής κύρια συστατικά

- Common Information Model κλάσεις. Αυτές οι κλάσεις είναι υπεύθυνες για την ανάγνωση των ιδιοτήτων του πόρου. Ακολουθώντας τη σύμβαση της διεπαφής CIM εξασφαλίζουν έναν κοινό τρόπο επικοινωνίας με οποιοδήποτε πόρο.
- Κύκλους. Καθορίζουν κάθε πότε συλλέγονται δεδομένα από τον πόρο.
- Συμβάντα. Καθορίζουν ποια συμβάντα είναι σημαντικά για να ξεκινήσει κάποιου είδους επεξεργασία από το μοντέλο.
- Παραμέτρους. Οι παράμετροι είναι οι τιμές του πόρου οι οποίες παρακολουθούνται.
- Όρια. Τα όρια καθορίζουν τις τιμές των παραμέτρων πάνω από τις οποίες θα πρέπει να γίνει κάποια διορθωτική ενέργεια.
- Λογική. Η λογική υλοποιείται σε Javascript και περιέχει όλα τα συστατικά που περιγράφηκαν πιο πάνω.

Τα resource models εκτελούνται μέσα στο περιβάλλον μίας Autonomic Management Engine (AME). Η AME παρέχει μία μηχανή μεταγλώττισης Javascript καθώς και όλους τους υποστηρικτικούς μηχανισμούς (επικοινωνία, αυτοματισμοί,...) που χρειάζεται ένα resource model για να εκτελεστεί. Η AME εκτελείται ως ξεχωριστή διαδικασία στα πλαίσια ενός αυτόνομου συστήματος.

Σημείωση

Δυστυχώς, η AME που ήταν διαθέσιμη με το Autonomic Computing Toolkit έχει αποσυρθεί εδώ και κάποιους μήνες και δε στάθηκε δυνατόν να βρεθεί κάπου αλλού. Για

αυτό το λόγο, επιλέχθηκε η λύση η λειτουργία της καθώς και του resource model να προσομοιωθεί κατά το δυνατόν με custom κώδικα.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

6. Περιγραφή υλοποίησης

6.1. Βασικά τμήματα

Η υλοποίηση επίδειξης αποτελείται από 3 βασικά τμήματα τα οποία και θα αναλυθούν στις επόμενες παραγράφους:

- Εφαρμογή σταθμού βάσης
- Επεξεργασία log με χρήση του GLA
- Προσομοίωση λειτουργίας AME και resource model

6.2. Εφαρμογή σταθμού βάσης

Η εφαρμογή του σταθμού βάσης είναι μία desktop εφαρμογή υλοποιημένη σε Java Swing. Κάθε 3 δευτερόλεπτα παράγει ένα log entry σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του κόμβου. Τα δυνατά μηνύματα εμφανίζονται στην ακόλουθη λίστα. Από το συνοδευτικό κείμενο κάθε μηνύματος γίνεται φανερή η σημασία του³.

- [MOBILE-APP_INFO_001] Mobile base starting operation...
- [MOBILE-APP_INFO_002] Mobile base operational
- [MOBILE-APP_INFO_003] Mobile base stopping operation...
- [MOBILE-APP_INFO_004] Mobile base stopped
- [MOBILE-APP_ACTION_001] Lowering quality of service...
- [MOBILE-APP_ACTION_002] Normalizing quality of service...

³ Το κείμενο {0} είναι σημείο τοποθέτησης του πραγματικού αριθμού των χρηστών του συστήματος κατά την εγγραφή του αντίστοιχου μηνύματος στο log.

- [MOBILE-APP_INFO_010] Normal mode. Concurrent clients: {0}
- [MOBILE-APP_WARN_001] Abnormal mode. Concurrent clients: {0}
- [MOBILE-APP_CRITICAL_001] Critical mode. Concurrent clients: {0}

Η εφαρμογή επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίσει τον αριθμό των συσκευών που υποτίθεται ότι είναι συνδεδεμένες με το σταθμό, επιτρέποντάς του να δει πώς συμπεριφέρεται το όλο σύστημα. Τέλος, όταν δημιουργηθεί ένα συνθηματικό αρχείο στον τρέχοντα φάκελο εκτέλεσης (working directory) μπορεί να αυξήσει/μειώσει την ποιότητα της υπηρεσίας. Αυτό επιτρέπει στην εφαρμογή AME (βλ. **Error! Reference source not found.**) να επικοινωνήσει με το σταθμό βάσης όποτε αυτό απαιτείται.

6.3. Επεξεργασία log

Το log που παράγεται από την εφαρμογή του σταθμού βάσης υφίσταται επεξεργασία από το GLA runtime για τη δημιουργία συμβάντων με μορφή CBE.

Τύπος μηνύματος	Situation Type	Reasoning Scope	Success Disposition	Situation Qualifier	Situation Disposition
MOBILE-APP_INFO_001	StartSituation	INTERNAL	SUCCESSFUL	START INITIATED	n/a
MOBILE-APP_INFO_002	StartSituation	INTERNAL	SUCCESSFUL	STARTED	n/a
MOBILE-APP_INFO_003	StopSituation	INTERNAL	SUCCESSFUL	STOP INITIATED	n/a
MOBILE-APP_INFO_004	StopSituation	INTERNAL	SUCCESSFUL	STOPPED	n/a
MOBILE-APP_ACTION_001	ConfigureSituation	INTERNAL	UNSUCCESSFUL	n/a	n/a
MOBILE-APP_ACTION_002	ConfigureSituation	INTERNAL	SUCCESSFUL	n/a	n/a
MOBILE-APP_INFO_010	ConnectSituation	INTERNAL	SUCCESSFUL	n/a	NORMAL
MOBILE-APP_WARN_001	ConnectSituation	INTERNAL	UNSUCCESSFUL	n/a	ABNORMAL
MOBILE-APP_CRITICAL_001	ConnectSituation	INTERNAL	UNSUCCESSFUL	n/a	CRITICAL

Πίνακας 6-1: CBE EVENTS

Για το σκοπό αυτό έχει δημιουργηθεί ένα adapter model το οποίο περιγράφει πώς γίνεται η αντιστοίχιση ανάμεσα στα συμβάντα της εφαρμογής και στη μορφή CBE. Οι κανόνες αυτής της αντιστοίχισης, όπως υλοποιούνται από το μοντέλο, δίνονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα. Αφού δημιουργηθούν τα συμβάντα CBE αποστέλλονται μέσω sockets στο touchpoint του AME (βλ. 6.4) η για να ενημερωθεί το resource model.

6.4. Προσομοίωση AME

Η εφαρμογή προσομοίωσης του AME είναι και αυτή μία εφαρμογή desktop Java Swing. Αποτελείται από τα εξής κύρια συστατικά:

- Touchpoint: Με την έναρξη λειτουργίας της εφαρμογής ξεκινάει ένα server socket για να δεχθεί τα CBE συμβάντα από το adapter model. Αυτά καταγράφονται τοπικά σε ένα αρχείο (CBE log).
- CIM: Υλοποιεί τη διεπαφή CIM και διατηρεί εσωτερικά την κατάσταση του σταθμού βάσης. Η ενημέρωσή της κατάστασης γίνεται από τα εισερχόμενα συμβάντα CBE.
- Model: Υλοποιεί τη λογική αυτονομίας του σεναρίου (βλ. 1.2). Πιο συγκεκριμένα:
 - Αποθηκεύει εσωτερικά την τρέχουσα ποιότητα υπηρεσίας του σταθμού.
 - Αν η κατάσταση πάει σε abnormal και η ποιότητα είναι υψηλή, στέλνει εντολή να μειωθεί.
 - Αν η κατάσταση του σταθμού παραμείνει abnormal για 10 συνεχόμενους κύκλους εκτέλεσης και δεν έχει αποσταλεί mail, το κάνει.
 - Αν η κατάσταση του σταθμού γίνει critical και δεν έχει στείλει mail, το κάνει.
 - Αν η κατάσταση γίνει και πάλι normal, ενημερώνει την αποθηκευμένη ποιότητα υπηρεσίας και κάνει reset το mail flag.

7. Εκτέλεση σεναρίου

7.1. Προαπαιτούμενα

Η εφαρμογή προαπαιτεί τα ακόλουθα να βρίσκονται εγκατεστημένα στον υπολογιστή.

- JDK 1.5+: Ένα JDK έκδοσης 1.5 ή νεότερο πρέπει να είναι εγκατεστημένο.
- Ant 1.6.5+: Το Apache Ant θα πρέπει να είναι εγκατεστημένο σωστά, ώστε το ant.bat να βρίσκεται στη μεταβλητή συστήματος PATH.
- GLA runtime: Το GLA runtime θα πρέπει να είναι εγκατεστημένο σε κάποιο φάκελο του υπολογιστή. Οδηγίες για το πώς μπορεί να γίνει αυτό υπάρχουν μέσα στο αρχείο με την ονομασία gla.bat το οποίο υπάρχει στην εγκατάσταση του Autonomic Computing Toolkit.

7.2. Εκτέλεση

Πριν την εκτέλεση του σεναρίου θα πρέπει να διορθωθούν οι διαδρομές των αρχείων/φακέλων που υπάρχουν στα εξής σημεία

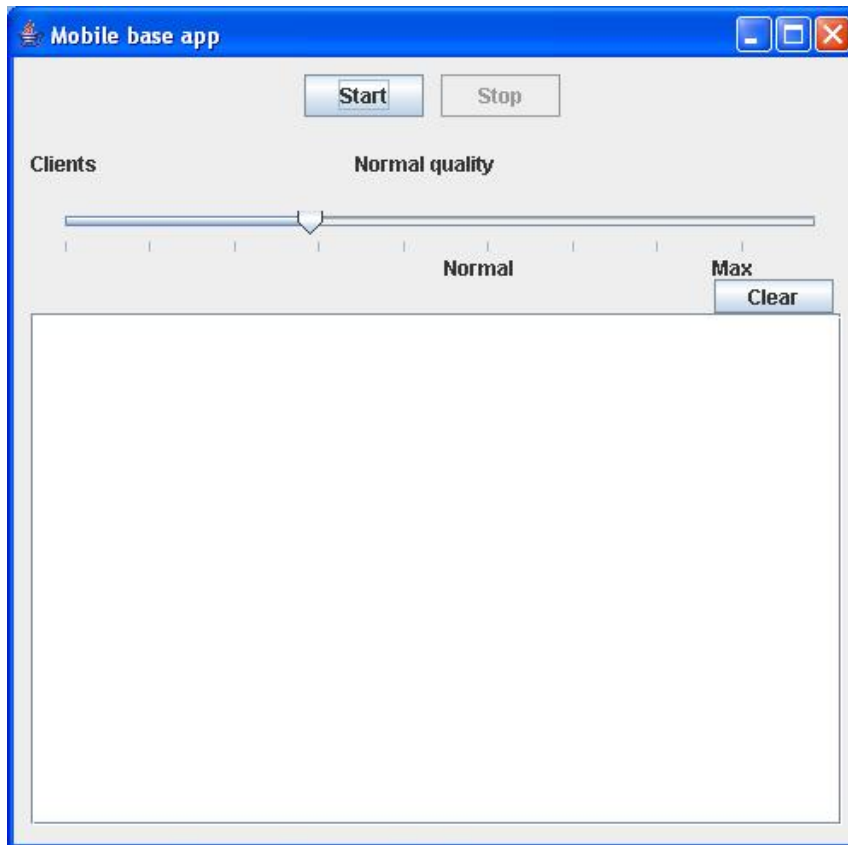
- build.properties
- run-ame.bat
- run-mobile-base.bat

Κάντε το φάκελο που περιέχει το αρχείο build.xml τον τρέχοντα φάκελο. Για την εκτέλεση του σεναρίου υπάρχουν 2 επιλογές:

- Εκτέλεση των 3 αρχείων bat. Με αυτόν τον τρόπο η κάθε εφαρμογή έχει τη δική της κονσόλα σε περίπτωση που αυτό απαιτείται (π.χ. για προβολή μηνυμάτων αποσφαλμάτωσης)
- Εκτέλεση του Ant script. Αυτό γίνεται δίνοντας σε γραμμή εντολών *ant run.scenario*. Η εντολή ξεκινάει και τις 3 εφαρμογές μαζί. Οι εφαρμογές σταθμού βάσης και AME είναι χωρίς κονσόλα.

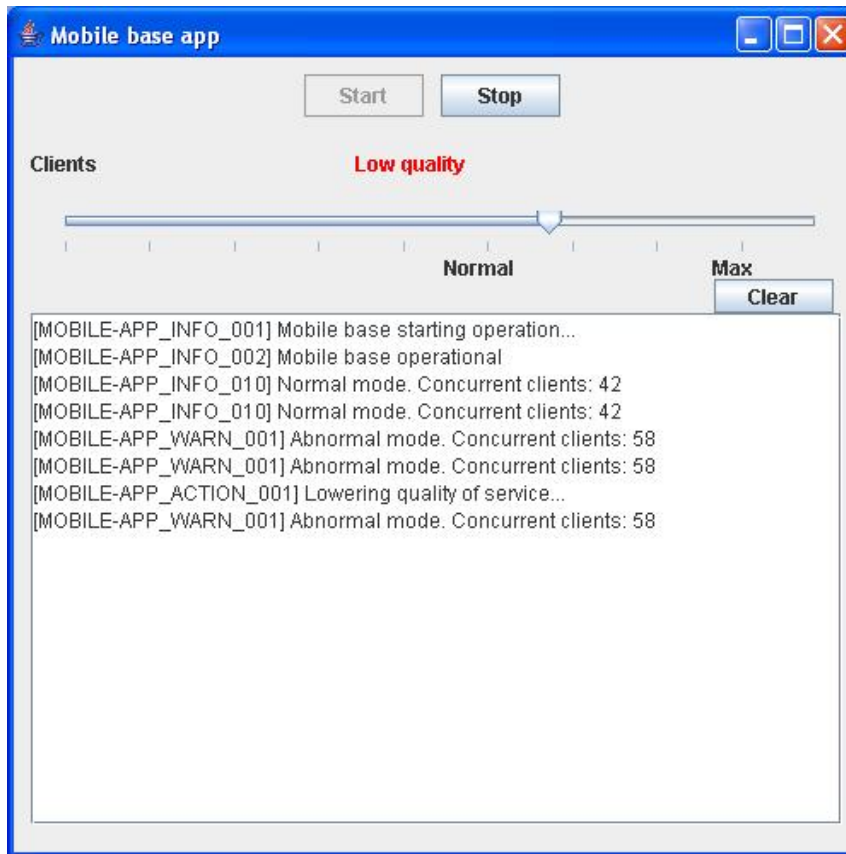
7.3. Εφαρμογή σταθμού βάσης

Το ΣΧΗΜΑ 7-1 δείχνει την εφαρμογή σταθμού βάσης. Έχει 2 κουμπιά (Start, Stop) τα οποία επιτρέπουν την έναρξη και τερματισμό της δημιουργίας εγγραφών στο log. Το slider επιτρέπει στο χρήστη να δίνει τον αριθμό των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι με το σταθμό. Τιμή πάνω από το Normal πάει το σταθμό σε κατάσταση Abnormal, ενώ τιμή πάνω από το Max σε κατάσταση Critical. Η ετικέτα Normal quality δίνει την τρέχουσα ποιότητα υπηρεσίας ενώ το κουμπί Clear επιτρέπει τον καθαρισμό της λίστας όπου εκτυπώνονται τα log entries καθώς παράγονται.



ΣΧΗΜΑ 7-1: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Το ΣΧΗΜΑ 7-2 εμφανίζει το σταθμό βάσης αφού έχει ξεκινήσει η λειτουργία. Από τη μηνύματα φαίνεται ότι αφού πήγε σε κατάσταση Abnormal, το AME έστειλε μήνυμα και χαμήλωσε την ποιότητα υπηρεσίας. Εκτός από τα μηνύματα στο log, αυτό φαίνεται και από την ετικέτα Low quality.



ΣΧΗΜΑ 7-2: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ ΑΦΟΥ ΕΧΕΙ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

7.4. Εφαρμογή GLA

Το GLA είναι μια εφαρμογή κονσόλας. Κατά την έναρξη, ο custom CBE event outputter προσπαθεί να συνδεθεί με το touchpoint του AME για 10 φορές, μία κάθε 2 δευτερόλεπτα. Αν μέσα σε αυτό το διάστημα δεν έχει ξεκινήσει η εφαρμογή AME, τότε αποτυγχάνει και θα πρέπει να επανεκκινηθεί.

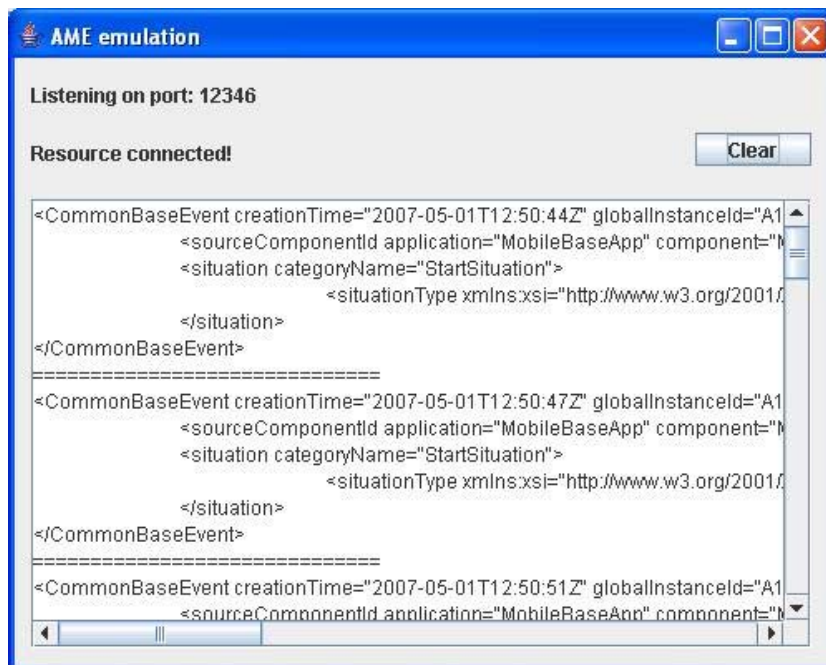
```
Buildfile: build.xml
run.gla:
[exec] Attempting to connect 10 times...
[exec] Attempt: 1
[exec] Attempt: 2
[exec] Attempt: 3
[exec] Attempt: 4
[exec] Attempt: 5
[exec] Attempt: 6
[exec] Attempt: 7
[exec] Connected to AME!
```

ΣΧΗΜΑ 7-3: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ GLA

7.5. Εφαρμογή AME

Η εφαρμογή AME απλώς εκτυπώνει στην οθόνη πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της. Πιο συγκεκριμένα

- Μία ετικέτα δίνει τη θύρα στην οποία ακούει το touchpoint
- Μία δεύτερη ετικέτα ενημερώνει για το πότε έχει συνδεθεί μέσω socket ο custom CBE event outputter του GLA.
- Η λίστα μηνυμάτων εμφανίζει τα CBE events καθώς αυτά λαμβάνονται.



The screenshot shows a window titled "AME emulation" with a blue title bar. Inside the window, the text "Listening on port: 12346" is displayed at the top. Below it, the text "Resource connected!" is shown next to a "Clear" button. The main area of the window contains a scrollable list of XML event logs. Each log entry starts with "<CommonBaseEvent creationTime=" followed by a timestamp, "globalInstanceId=" followed by "A1", and "<sourceComponentId application=" followed by "MobileBaseApp" component="M". The logs are separated by lines of equals signs. The visible XML tags include <sourceComponentId, <situation categoryName="StartSituation">, <situationType xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:type="StartSituation"/>, </situation>, and </CommonBaseEvent>.

ΣΧΗΜΑ 7-4: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ AME

8. Σχόλια - Διαπιστώσεις

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η AME δεν είναι διαθέσιμη πλέον ως τμήμα του Autonomic Toolkit από το site της IBM, καθώς έχει αποσυρθεί. Αυτό γίνεται στα πλαίσια της «αναμόρφωσης» της πλατφόρμας και της στροφής της προς τεχνολογίες web services και το πρωτόκολλο επικοινωνίας WSDM. Κατά συνέπεια, ένα πρώτο, γενικό σχόλιο είναι πως αρκετή από την πληροφορία που παρέχεται από την IBM σχετικά με το Toolkit (ιδιαίτερα όσον αφορά τα touchpoints και την AME) είναι παλιά και χρήζει ανανέωσης.

Βασικές έννοιες και στοιχεία της AME στηρίζονται στην εμπορική πλατφόρμα Tivoli της IBM (και το αντίστροφο). Ένα σημείο που συνηγορεί σε αυτό είναι το γεγονός ότι η δημιουργία των resource models και η υλοποίηση των CIM και touchpoints γίνεται χρησιμοποιώντας διεπαφές και κλάσεις της πλατφόρμας Tivoli. Με την απόσυρση της AME, οποιαδήποτε υλοποίηση απαιτεί την ύπαρξη μιας AME αυτομάτως στρέφεται προς τη χρήση της πλατφόρμας Tivoli με το αντίστοιχο κόστος που αυτό συνεπάγεται⁴.

Γενικά, οι διεπαφές και το γενικότερο προγραμματιστικό μοντέλο φαίνονται εκ πρώτης όψευς ιδιαίτερα δυσχρήστα και πολύπλοκα. Αυτό γίνεται φανερό και από τα σχετικά παραδείγματα κώδικα όπου υλοποιούνται απλά σενάρια. Δεν είναι γνωστό εάν υπάρχουν αντίστοιχες υλοποιήσεις ανοικτού κώδικα (open-source). Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν, το παράδειγμα που υλοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας είναι μία ένδειξη ότι η υλοποίηση ενός custom AME δεν είναι αδύνατη. Σε αυτήν την περίπτωση, όμως, θα πρέπει να ζυγιστεί το κόστος υλοποίησης απέναντι στο κόστος χρήσης και την ευελιξία της πλατφόρμας Tivoli.

Ένα ακόμη σχόλιο αφορά την επικοινωνία των touchpoint όπως αυτή περιγράφεται στην τεκμηρίωση του Autonomic Toolkit v.3.0. Σε αυτό η επικοινωνία ανάμεσα σε απομακρυσμένες διαδικασίες γίνεται μέσω κλήσεων RMI. Αυτή η προσέγγιση δεν είναι ιδιαίτερα ευέλικτη, ενώ υπάρχουν προβλήματα στην περίπτωση που η επικοινωνία πρέπει να περάσει μέσα από firewalls. Ενδεχομένως κάποιες αντίστοιχες σκέψεις να οδήγησαν

⁴ Θα μπορούσαμε, ίσως κακόπιστα, να πούμε πως η δοκιμαστική AME του Toolkit αποσύρθηκε για να μη λειτουργεί ανταγωνιστικά ως προς την πλατφόρμα Tivoli.

στην απόφαση τμήματα της πλατφόρμας, όπως η υλοποίηση των touchpoint, να επανασχεδιάζονται με στροφή στις επικοινωνίες μέσω HTTP web services.

Τα τελευταία χρόνια κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος η χρήση της διεπαφής Java Management Extensions (JMX) για την επικοινωνία με πόρους εφαρμογών και application servers σε περιβάλλοντα J2EE αλλά και Java γενικότερα. Μία άλλη παρατήρηση, λοιπόν, στο θέμα της υλοποίησης των touchpoint έχει να κάνει σχετικά με την τελική επιλογή της διεπαφής στα πλαίσια της υλοποίησης ενός πραγματικού, αυτόνομου συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη τη διάδοση λογισμικού διαχείρισης πόρων JMX και την ευελιξία της συγκεκριμένης διεπαφής, θα είχε ενδιαφέρον το βάρος για την υλοποίηση των touchpoints να δωθεί προς την κατεύθυνση του JMX και όχι προς τη χρήση των διεπαφών που ορίζει το Autonomic Toolkit.

Η μετατροπή από εγγραφών log σε συμβάντα μορφής CBE είναι πολύ χρήσιμη σε ένα εταιρικό περιβάλλον όπου συνυπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα. Στην περίπτωση όπου πρόκειται για το log κάποιου γνωστού, εμπορικού συστήματος όπως μία βάση δεδομένων ή ένας application server υπάρχουν έτοιμα adapter models για να υποστηρίξουν αυτήν τη μετατροπή (βλ. παράδειγμα στην παράγραφο 5.2.3). Εάν, όμως, πρόκειται για custom εφαρμογή, τότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό του adapter model ώστε

- το Autonomic Toolkit να μπορέσει να κάνει σωστά τις συσχετίσεις
- να μεταφερθεί αυτούσια η πληροφορία του κάθε συμβάντος στη νέα μορφή

Καθώς τα adapter models υλοποιούν τους κανόνες μετατροπής της πληροφορίας με regular expressions (βλ. 5.2.2) είναι πολύ σημαντικό οι εγγραφές στα logs των εφαρμογών να είναι σε όσο το δυνατόν πιο δομημένη μορφή. Προκαθορισμένοι κωδικοί μηνυμάτων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται παντού και το ελεύθερο κείμενο θα πρέπει να αποαφεύγεται ή να παίζει εντελώς δευτερεύοντα ρόλο.

Δηλ. αντί για το μήνυμα της μορφής

Component XYZ had an error of type BBB at DATE and with message: ZZZ

Να είναι της μορφής

[DATE] [BBB] [XYZ] [ZZZ]

Με αυτόν τον τρόπο τα μηνύματα έχουν ομοιομορφία και η επεξεργασία τους από το GLA γίνεται πιο εύκολη.

Τέλος, μία μικρή παρατήρηση αφορά τον κύκλο εκτέλεσης της λογικής του resource model στο AME. Θα πρέπει, ανάλογα με τις ανάγκες του συγκεκριμένου συστήματος, να έχει ικανή συχνότητα για να μπορεί να εντοπίζει εγκαίρως προβληματικές καταστάσεις, χωρίς να είναι αρκετά συχνός ώστε να καταναλώνει υπολογιστική ισχύ από την AME χωρίς να χρειάζεται. Αυτό μπορεί να φανεί έμπρακτα στο παράδειγμα κάνοντας διάφορους συνδυασμούς με τις τιμές της μεταβλητής CYCLE στις κλάσεις

- `com.company.mobile.base.app.MobileBase` (κύκλος εφαρμογής σταθμού βάσης)
- `com.company.ame.AMEApp` (κύκλος εκτέλεσης resource model)

Αλλάζοντας αυτές τις τιμές και επανεκκινώντας το σενάριο, μετά το compile, φαίνεται πόσο γρήγορα «αντιδρά» η λογική αυτονόμησης σε καταστάσεις σφάλματος, αλλάζοντας την ποιότητα υπηρεσίας.

Βιβλιογραφία

- [1] "An architectural blueprint for autonomic computing", IBM
- [2] "A Practical Guide to the IBM Autonomic Computing Toolkit", IBM
- [3] P. Nicopolitidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, "Wireless Networks", 2003
- [4] U. Varshney ,R. Jain, "Issues in Emerging 4G Wireless Networks", June 2001
- [5] F. Paint, P. Engelstad, E.Vanem, T. Haslestad, A.M. Nordvik, K. Myksvoll, S. Svaet, "Mobility Aspects in 4G Networks -White Paper", December 2002
- [6] "Emerging Wireless Technologies - 4G Applications and Services"
- [7] J. Ibrahim, "4G Features" , December 2002
- [8] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, "Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications"
- [9] Zoran Bojkovic , "Fourth Generation Mobile Systems 4G"
- [10] D. Rouffet, S. Kerboeuf, L. Cai, V. Capdevielle, "4G Mobile – Technical paper", 2005
- [11] "Mobile Radio Networks Networking And Protocols", B. Walke , Wiley 1999
- [12] Timo Halonen, Javier Romero , "Gsm,Gprs And Edge Performance Evolution Towards 3G/UMTS", Wiley 2003

- [13] Oliver Yu , "End-To-End Adaptive Qos Provisioning Over Gprs Wireless Mobile Network", 2003 Kluwer Academic Publishers.
- [14] Janne PoÅNlloÅNnen, "Quality Of Service Based Admission Control For Wcdma Mobile Systems", Helsinki University Of Technology, Espoo, 13.11.2001
- [15] H.Kaaranen, A.Ahtiainen, L.Laitinen, S.Naghian, V.Niemi, "Umts Networks. Architecture, Mobility And Services"
- [16] J . Scourias , "Overview Of The Global System For Mobile Communications"
- [17] P.Demestichas, V.Stavroulaki, L.Papadopoulou, A.Vasilakos, M.Theologou,"Service configuration and distribution in composite radio environments", IEEE
- [18] Transactions on Systems, Man and Cybernetics Journal, vol. 34, No. 1, Feb. 2004.
- [19] Randall Heaton, Product Marketing Senior Consultant, "Gprs Technology Overview, Alan Sicher, Communications Product Planning Manager", February 2002
- [20] George Koundourakis, Louisa Papadopoulou, Dimitris Kouis, Vera Stavroulaki,Nikolaos Koutsouris, Nikolas Mitrou, Panagiotis Demestichas, "A Distributed System for the Integrated Management of Heterogeneous Wireless Networks", International Conference on E-Business and Telecommunication Networks, Setubal/Portugal, 25-28 Aug. 2004.
- [21] D. Gu, J. Zhang, "A new measurement-based admission control method for IEEE802.11 wireless local area networks", Proc. of IEEE 2003 PIMRC
- [22] P. Beming and al., "Beyond 3G Radio access network reference architecture", Proc. of VTC May 2004, Milan, Italy.
- [23] Jijun Luo, Rahul Mukerjee, Markus Dillinger, Eiman Mohyeldin, Egon Schulz,

- "Investigation of Radio Resource Scheduling in WLANs Coupled with 3G Cellular network", IEE Communications Magazine June 2003, p108-115.
- [24] End-to-End Reconfigurability Web site, www.e2r.motlabs.com
- [25] P.Demestichas, G.Vivier, K.El-Khazen, M.Theologou, "Evolution in wireless systems management concepts: from composite radio to reconfigurability", IEEE Commun. Mag., Vol. 42, No. 5, pp. 90-98, May 2004
- [26] Third (3rd) Generation Partnership Project (3GPP), Web site, www.3gpp.org
- [27] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 802 standards, Web site, www.ieee802.org, 2005
- [28] P.Demestichas, G.Vivier, G.Martinez, L.Papadopoulou, V.Stavroulaki, F.Galliano, M.Theologou, "Wireless beyond 3G: managing services and network resources", IEEE Computer, Vol. 35, No. 8, pp. 96-98, 2002
- [29] P.Demestichas, V.Stavroulaki, "Issues in introducing resource brokerage functionality in B3G, composite radio, environments", IEEE Wireless Commun. Mag., Vol. 11, No. 10, pp. 32-40, Oct. 2004
- [30] M. Mouly, M.-B. Pautet, "The GSM system for mobile communications", published by the authors, Palaiseau, France, 1992.
- [31] R. Kalden, I. Meirick, M. Meyer, "Wireless Internet access based on GPRS", IEEE Personal Commun., Vol. 7 No. 2, April 2000.
- [32] U.Varshney, "The status and future of 802.11-based WLANs", IEEE Computer, Vol. 36, No. 6, June 2003.