



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ  
Π.Μ.Σ. «ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ  
ΔΙΚΤΥΑ»

**Προδιαγραφή Αρχιτεκτονικής  
Αυτό-Οργανωμένων Δικτύων Πρόσβασης  
για  
Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> Γενιάς**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Βασίλειος Σ. Ζαφειρόπουλος

**Επιβλέποντες :** Δρ. Αλέξανδρος Καλόξυλος  
Επίκουρος Καθηγητής

Τρίπολη, Ιανουάριος 2012



## *Ευχαριστίες*

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω το επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Καλόξυλο για την καθοδήγηση και τη στήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής, καθώς η εμπειρία και οι γνώσεις του ήταν πολύτιμες. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Στυλιανό και Ευδοκία, και τον αδελφό μου Αναστάσιο, για την διαρκή συμπαράσταση τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη μου Δήμητρα Καλασούντα για την πολύτιμη βοήθεια της στη δημιουργία του εξώφυλλου αυτής της εργασίας καθώς και για την συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Τρίπολη, Ιανουάριος 2011

Ζαφειρόπουλος Βασίλειος



## Ακρόνυμα

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
3GPP	Third Generation Partnership Project
AA	Διεπαφή μεταξύ AEM
AEM	Autonomic Entity Management
ANR	Automatic Neighbour Relation
B3G	Beyond Third Generation
BM-SC	Broadcast Multicast Service Centre
BS	Base Station
CCITT	International Telegraph and Telephone Consultative Committee
CCR	Cognitive Control Radio
CJ	Διεπαφή ανάμεσα σε RCM και JRRM
CPC	Cognitive Pilot Channel
CR	Cognitive Radio
CR	Διεπαφή ανάμεσα σε RCM και RAT
DSA	Dynamic Spectrum Access
DSM	Dynamic Spectrum Management
DSNPM	Dynamic Self-Organising Network Planning and Management
E <sup>3</sup>	End-to-End Efficiency Project
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
ePDG	Enhanced Packet Data Gateway
eRAN	Evolved Radio Access Network
FA	Functional Architecture
FBS	Flexible Base Station
FIFO	First In First Out
FSM	Finite State Machines
GSM	Global System for Mobile communications
HNB	Home Node B
HSS	Home Subscriber Server
HW	Hardware
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
ITU	International Telecommunication Union
JJ-NN	Διεπαφή ανάμεσα σε JRRM του δικτύου
JJ-TN	Διεπαφή ανάμεσα σε JRRM του τερματικού και σε JRRM του δικτύου
JR	Διεπαφή ανάμεσα σε JRRM και RAT
JRRM	Joint Radio Resource Management

KPI	Key Performance Indicator
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
MC	Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και RCM
MJ	Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και JRRM
MM	Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM
MME	Mobile Management Entity
MS	Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και DSM
MSC	Message Sequence Chart
MT	Mobile Terminal
MTA	Mobile Terminal Assignment
MX	Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και Self-x for RAN
NGMN	Next Generation Mobile Networks
NP	Network Planning
O&M	Operation and Maintenance
OPEX	Operational Expenses
PC	Personal Computer
PCI	Physical Cell ID
PCRF	Policy and Charging Rule Function
PDN	Packet Data Network
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RCM	Reconfiguration Control Module
RRA	Radio Resource Assignment
RRM	Radio Resource Management
SAE	System Architecture Evolution
SDL	Specification and Description Language
Self-x for RAN	Self-organizing functionalities for RAN
SON	Self-organizing Network
SS	Spectrum Sensing
SS	Διεπαφή ανάμεσα σε DSM
SW	Software
UE	User Equipment
UML	Unified Modelling Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
XC	Διεπαφή ανάμεσα σε Self-x for RAN και RCM
XJ	Διεπαφή ανάμεσα σε Self-x for RAN και JRRM

# Πίνακας Περιεχομένων

1.	<b>Εισαγωγή</b> .....	9
2.	<b>Στοιχεία για την SDL</b> .....	11
2.1	Εισαγωγή .....	11
2.2	Ορισμός .....	11
2.3	Σύστημα και Περιβάλλον .....	11
2.4	Ιεραρχική ανάλυση συστήματος.....	12
2.5	Top Down και Bottom Up προσέγγιση.....	13
2.6	Μηχανές Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM).....	13
2.7	Βασικός μηχανισμός επικοινωνίας.....	14
2.8	Μελέτη συστήματος με συνδυασμό SDL και MSC .....	16
3.	<b>Αυτό-οργανωμένα δίκτυα – Self-Organizing Networks</b> .....	17
3.1	Εισαγωγή στα Self Organizing Networks (SON).....	17
3.2	Τύποι - Είδη SON .....	18
3.3	Σχέση SON με 3GPP και NGMN .....	19
3.4	Δίκτυα με γνωσιακές ικανότητες .....	21
3.5	Ερευνητικό έργο μέχρι σήμερα.....	22
4.	<b>Η πρόταση αρχιτεκτονικής του End to End Efficiency Project (E3)</b> .....	25
4.1	Γενικά για το έργο E <sup>3</sup> .....	25
4.2	Μοντέλο Πληροφοριών E3 .....	26
4.3	Πολιτικές.....	29
4.4	Λειτουργική αρχιτεκτονική του E <sup>3</sup> .....	31
4.4.1	Λειτουργικές Οντότητες.....	31
4.4.2	Cognition Enablers.....	34
4.4.3	Περιπτώσεις Πολλαπλών Παρόχων και Ad-hoc / multi-hop.....	35
4.5	Αποτύπωση στο LTE/SAE .....	37
4.6	Παραδείγματα λειτουργίας .....	40
5.	<b>Παρουσίαση μια βελτιωμένης αρχιτεκτονικής SON</b> .....	43
5.1	Σκοπός .....	43
5.2	Ανάλυση Αρχιτεκτονικής .....	44
5.2.1	Λειτουργικές Οντότητες.....	44
5.2.2	Cognition Enabler .....	46
5.3	Αποτύπωση σε δικτυακές οντότητες .....	46
5.4	Διαδικασία λήψης αποφάσεων.....	51
5.5	Παραδείγματα λειτουργίας .....	54
5.5.1	Αρχική ενεργοποίηση τερματικού και αναβάθμιση λογισμικού .....	54

5.5.2	Ενεργοποίηση σταθμού βάσης και σύνδεση με το δίκτυο πρόσβασης .....	55
5.5.3	Αλλαγή τεχνολογίας πρόσβασης υπό την επιτήρηση του JRRM.....	57
5.5.4	Αντιμετώπιση προβλήματος στο δίκτυο.....	58
5.6	<b>Υλοποίηση σε SDL</b> .....	59
6.	<b>Συμπεράσματα</b> .....	69
7.	<b>Βιβλιογραφία</b> .....	71
	<b>Παράρτημα Α</b> .....	75
	<b>A.1 – Ενημέρωση της οντότητας Network Planning για την κατάσταση του δικτύου κορμού</b> .....	77
	<b>A.2 – Πρώτη ενεργοποίηση σταθμού βάσης και ενσωμάτωση με το υπόλοιπο δίκτυο..</b>	79
	<b>A.3 – Συλλογή δεδομένων από JRRM και ενημέρωση του CPC</b> .....	82
	<b>A.4 – Πρώτη ενεργοποίηση τερματικού και σύνδεση αυτού με το δίκτυο.</b> .....	85



## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1: Schematic view of an SDL-92 description, [1] .....	12
Εικόνα 3-1: The Cognition Loop, [19].....	21
Εικόνα 4-1 – E <sup>3</sup> Key Research Challenges, [23].....	25
Εικόνα 4-2 - E <sup>3</sup> Heterogeneous Wireless System Framework, [23] .....	26
Εικόνα 4-3 – E <sup>3</sup> Key Concepts, [28] .....	28
Εικόνα 4-4 – E <sup>3</sup> Functional Architecture (Single Operator, Single Terminal), [28].....	33
Εικόνα 4-5 - E <sup>3</sup> Functional Architecture (Multi-Operator Case), [28] .....	36
Εικόνα 4-6 - E <sup>3</sup> Functional Architecture (Ad-hoc or multi-hop case), [28] .....	36
Εικόνα 4-7 - E <sup>3</sup> , Mapping of Building Blocks to network entites, [28] .....	38
Εικόνα 4-8 – E <sup>3</sup> , Mapping of functional blocks in a mesh-based enviroment, [29] .....	39
Εικόνα 5-1 – Αποτύπωση των λειτουργικών block σε δικτυακές οντότητες .....	46
Εικόνα 5-2 – Αποτύπωση Self-x στους σταθμούς βάσης και στα τερματικά.....	48
Εικόνα 5-3 – Αποτύπωση και λειτουργία JRRM και CPC .....	50
Εικόνα 5-4 – Διαδικασία λήψης αποφάσεων .....	52
Εικόνα 5-5 – Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά την ενεργοποίηση του τερματικού..	55
Εικόνα 5-6 – Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά την ενεργοποίηση του σταθμού βάσης.....	56
Εικόνα 5-7 – Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για αλλαγή RAT υπό την επιτήρηση του JRRM.....	57
Εικόνα 5-8 – Διαδικασία ακολουθίας μηνυμάτων σε περίπτωση προβλήματος σε σταθμό βάσης.....	58
Εικόνα 5-9 – Υλοποίηση σε SDL του πρώτου επιπέδου του συστήματος SON.....	61
Εικόνα 5-10 – Υλοποίηση σε SDL του Block OSS .....	62
Εικόνα 5-11 – Υλοποίηση σε SDL του block CoreNet.....	63
Εικόνα 5-12 - Υλοποίηση σε SDL του block RAN .....	64
Εικόνα 5-13 - Υλοποίηση σε SDL του block UMTS.....	65
Εικόνα 5-14 - Υλοποίηση σε SDL του block MT .....	66
Εικόνα A-1: Προσομοίωση (MSC) Ενημέρωσης του NP για την κατάσταση του δικτύου κορμού.....	78
Εικόνα A-2: Προσομοίωση (MSC) πρώτης ενεργοποίησης σταθμού βάσης (1/2).....	80
Εικόνα A-3: Προσομοίωση (MSC) πρώτης ενεργοποίησης σταθμού βάσης (2/2).....	81
Εικόνα A-4: Συλλογή δεδομένων από JRRM και ενημέρωση CPC (1/2) .....	83
Εικόνα A-5: Συλλογή δεδομένων από JRRM και ενημέρωση CPC (2/2) .....	84
Εικόνα A-6: Πρώτη ενεργοποίηση τερματικού και σύνδεση αυτού με το δίκτυο (1/2).....	86
Εικόνα A-7: Πρώτη ενεργοποίηση τερματικού και σύνδεση αυτού με το δίκτυο (2/2):.....	87

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3-1: Ορισμένες Περιπτώσεις χρήσης στο NGMN forum.....	20
Πίνακας A-1: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής $rt$ .....	77
Πίνακας A-2: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής RAT (CPC_BC).....	82
Πίνακας A-3: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής $bs$ (CPC_BC) .....	83
Πίνακας A-4: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής $nb$ (CPC_BC).....	84



# 1. Εισαγωγή

Σήμερα η ανάπτυξη της τεχνολογίας τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και σε επίπεδο μετάδοσης πληροφορίας είναι ραγδαία. Νέες κατηγορίες φορητών συσκευών (smartphones, PC datacards, USB modems και πολλές άλλες συσκευές με ενσωματωμένο ασύρματο δέκτη) δίνουν στο κάθε χρήστη τη δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι πάροχοι ασύρματων υπηρεσιών να είναι αναγκασμένοι να υποστηρίξουν ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό χρηστών, εφαρμογών και υπηρεσιών υψηλότερου εύρου ζώνης. Ταυτόχρονα θα πρέπει να διασφαλιστεί η ποιότητα στο πελάτη με αποτέλεσμα να απαιτείται καλύτερη (και ταυτόχρονα πολυπλοκότερη) υλοποίηση του Quality of Service (QoS) και των πολιτικών διαχείρισης καθώς θα πρέπει να αυξηθεί η απόδοση του δικτύου για να αντιμετωπίσει την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων.

Από την άλλη μεριά τα δίκτυα ασύρματης μετάδοσης γίνονται περισσότερο πολύπλοκα και ετερογενή. Οι εταιρίες αυξάνουν τον αριθμό και των femto και picocells (έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερη κάλυψη και για να μοιράσουν την κίνηση από τις macrocells) και ταυτόχρονα εφαρμόζουν όλο και περισσότερο την τεχνολογία πολλαπλής διασύνδεσης (2G, 3G, “4G,” WiFi) με αποτέλεσμα την επιπλέον πολυπλοκότητα στη λειτουργία και τη διαχείριση του δικτύου. Ένα παράδειγμα είναι τα handover μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών και η διαχείριση της παρεμβολής μεταξύ macro/femto και macro/pico.

Ευτυχώς οι καινούριες ασύρματες τεχνολογίες αξιοποιούν όλο και καλύτερα το διαθέσιμο φάσμα προσφέροντας μεγάλη φασματική απόδοση. Παρόλα αυτά όμως η καλύτερη χρήση του φάσματος μόνο δεν φτάνει για να ικανοποιήσει τις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών του δικτύου. Για αυτό το λόγο οι πάροχοι εστιάζουν τη προσοχή τους στην καλύτερη διαχείριση του δικτύου καθώς και στην μείωση των εξόδων για την συντήρηση και λειτουργία του. Η λύση αυτή ακούει στο όνομα Self-Organizing Networks (SON).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε την έννοια του SON, την αρχιτεκτονική ενός συστήματος που υλοποίησε αλγόριθμους αυτό-οργανωμένων δικτύων πρόσβασης σε κυψελωτά δίκτυα και θα προτείνουμε τις

δικές μας βελτιώσεις πάνω σε αυτή την αρχιτεκτονική, τις οποίες και θα παρουσιάσουμε σε SDL.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής είναι η εξής. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στη φορμαλιστική γλώσσα προδιαγραφής πρωτοκόλλων που λέγεται SDL (Specification and Description Language). Η γλώσσα αυτή χρησιμοποιείται χρόνια τώρα στην ανάπτυξη πολύπλοκων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και έχει υιοθετηθεί από οργανισμούς προτυποποίησης όπως η 3GPP. Τη γλώσσα αυτή και το εργαλείο Telelogic SDT Suite τα επιλέξαμε για να υλοποιήσουμε την αρχιτεκτονική SON σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε και αναλύουμε άρθρα από τον ερευνητικό χώρο των SONs. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα δημόσια αποτελέσματα του ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου E<sup>3</sup>, το οποίο ανέπτυξε μια αρχιτεκτονική SON για τα δίκτυα πρόσβασης κυψελωτών συστημάτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύουμε ποια κατά τη γνώμη μας ήταν τα μειονεκτήματα της αναφερθείσας αρχιτεκτονικής και προτείνουμε βελτιώσεις οι οποίες έχουν προδιαγραφεί πλήρως σε SDL. Περισσότερα στοιχεία παρατίθενται και στο παράρτημα Α.

## **2. Στοιχεία για την SDL**

### **2.1 Εισαγωγή**

Στο πρώτο αυτό κεφάλαιο, σκοπός μας είναι η κατανόηση και η εισαγωγή στις βασικές αρχές της γλώσσας SDL. Ωστόσο, δεν αποσκοπεί στην αντικατάσταση ενός σχετικού συγγράμματος, αλλά ενδείκνυται για μια πρώτη επαφή με το παραπάνω προγραμματιστικό εργαλείο. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρατίθενται οι ορισμοί βασικών εννοιών.

### **2.2 Ορισμός**

Η SDL (Specification and Description Language) είναι μια φορμαλιστική γλώσσα προσδιορισμού και περιγραφής που προτάθηκε από τον International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT, από το γαλλικό: Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) στη πρόταση Z.100 (Recommendation) [1][2][3]. Ο CCITT, μετά από αλλαγή του ονόματος [4], είναι σήμερα γνωστός ως ITU-T (International Telecommunication Union).

Ο όρος προδιαγραφές σχετίζεται με την αντιμετώπιση του συστήματος ως ένα μαύρο κουτί και προσανατολίζεται στον καθορισμό των απαιτήσεων και την κατάταξη των ιδεών. Ενώ με τον όρο περιγραφές αναπαριστούμε τη δομή ενός σχεδιασμένου ή υλοποιημένου συστήματος. Στην SDL δεν γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των δυο εννοιών και μπορούμε να καλύψουμε πέντε βασικές πτυχές ενός συστήματος: την δομή, την επικοινωνία, τη συμπεριφορά, τα δεδομένα και την κληρονομικότητα.

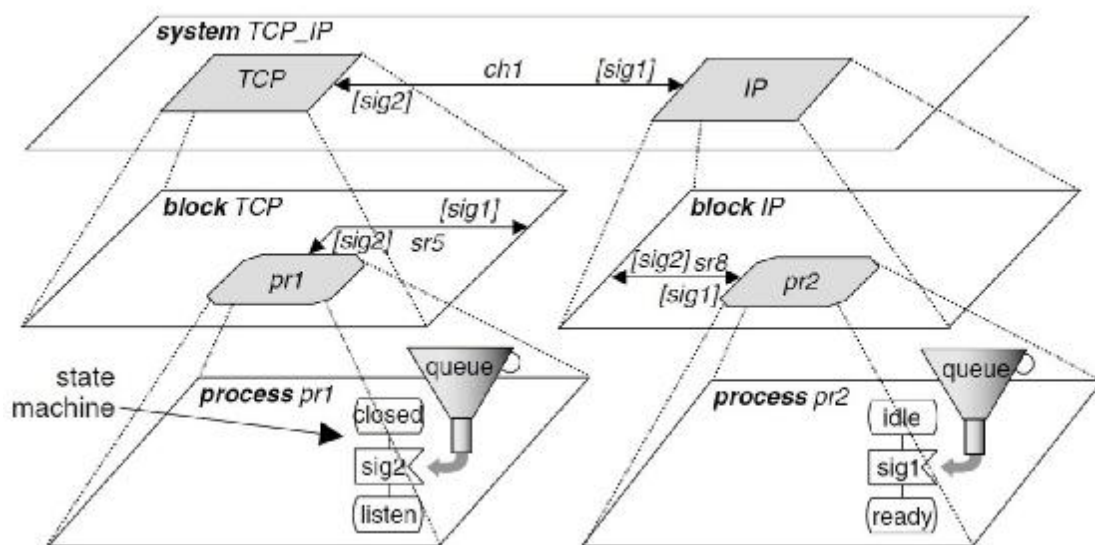
### **2.3 Σύστημα και Περιβάλλον**

Με την έννοια του συστήματος αναφερόμαστε σε ένα σύνολο οντοτήτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω σημάτων. Η αντίδραση των οντοτήτων αυτών εξαρτάται από τις προδιαγραφές του σχεδιασμένου συστήματος.

Με την έννοια περιβάλλον αναφερόμαστε σε μια οντότητα που δεν ανήκει στο σύστημα, αλλά το επηρεάζει διεγείροντάς το με την αποστολή σημάτων. Παράλληλα, το περιβάλλον μπορεί να γίνει και παραλήπτης σημάτων που προέρχονται από το σύστημα.

Η οριοθέτηση μεταξύ των δύο εννοιών είναι στη δικαιοδοσία του κάθε σχεδιαστή, με στόχο να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

## 2.4 Ιεραρχική ανάλυση συστήματος



Εικόνα 2-1: Schematic view of an SDL-92 description, [1]

Η δομή ενός συστήματος περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα [5]:

- Στο επίπεδο συστήματος συναντάμε οντότητες τύπου **block**, οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον μέσω καναλιών δρομολόγησης (*channel routes*). Κάθε τύπος **block** μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα. Κάθε στιγμιότυπο καθορίζεται από μια δεδομένη χρονική στιγμή, όπου οι διεργασίες που περιέχονται στο **block** βρίσκονται σε συγκεκριμένες καταστάσεις και οι μεταβλητές έχουν συγκεκριμένες τιμές.
- Σε επίπεδο **block** συναντάμε οντότητες τύπου **process** (διεργασίες), οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω σημάτων δρομολόγησης (*signal routes*). Τα κανάλια δρομολόγησης του επιπέδου συστήματος καταλήγουν σε ένα ή περισσότερα σήματα δρομολόγησης.

- Σε επίπεδο process συναντάμε μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων (FSM – Finite State Machines), οι οποίες βρίσκονται σε συγκεκριμένες καταστάσεις (states) και μεταβαίνουν σε άλλες όταν διεγερθούν με το κατάλληλο σήμα – μήνυμα. Κατά τις μεταβάσεις (transitions) αυτές μπορούν να μεταβάλλουν τις τιμές κάποιων μεταβλητών και να αποστείλουν μηνύματα.

Σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε πως οι μεταβλητές και τα σήματα ορίζονται στο κατάλληλο επίπεδο ανάλογα με την ισχύ – εμβέλεια που έχουν στο σύστημά μας.

## **2.5 Top Down και Bottom Up προσέγγιση**

Κατά την μελέτη ενός υπάρχοντος συστήματος ενδείκνυται οι εξής προσεγγίσεις:

- Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω (Top Down): Στην περίπτωση αυτή η μελέτη του συστήματος ξεκινά από το επίπεδο συστήματος και εμβαθύνοντας καταλήγει σε πιο λεπτομερή ανάλυση που περιλαμβάνει την εξέταση μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων.
- Προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω (Bottom Up): Στην περίπτωση αυτή η μελέτη του συστήματος ξεκινά από την διεργασία (process) με την εξέταση των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων και ανεβαίνοντας καταλήγει σε λιγότερο λεπτομερή επίπεδα με προορισμό το επίπεδο συστήματος.

Όταν βρισκόμαστε στη φάση σχεδιασμού του συστήματος ενδείκνυται η Top Down προσέγγιση, γιατί είναι συνυφασμένη με την λογική ροή της εφαρμογής μεταβαίνοντας από τις πιο γενικές σε περισσότερο ειδικές περιγραφές που αφορούν την λειτουργία του συστήματος.

## **2.6 Μηχανές Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM)**

Προϋπόθεση για την κατανόηση της λειτουργικότητας ενός συστήματος αποτελεί η ανάλυση του σε βάθος. Κι αυτό γιατί η συμπεριφορά των blocks και κατ' επέκταση του συστήματος δεν καθορίζεται άμεσα, αλλά απορρέει από την συμπεριφορά των διεργασιών από τις οποίες συνίστανται. Προκειμένου λοιπόν να

αντιληφθούμε τις δυνατότητες και τη λειτουργικότητα ενός συστήματος είναι βασικό να μελετήσουμε τις διεργασίες του.

Ωστόσο, η κατανόηση μιας διεργασίας προϋποθέτει βασικές γνώσεις των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων (Finite State Machines), διότι ένα στιγμιότυπο (instance) της διεργασίας είναι μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων που λειτουργεί αυτόνομα και ταυτόχρονα με άλλα στιγμιότυπα διεργασιών. Ουσιαστικά, μια διεργασία είναι μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, η οποία επικοινωνεί ασύγχρονα με άλλες διεργασίες χρησιμοποιώντας διακριτά (discrete) μηνύματα, τα οποία καλούνται σήματα (signals). Συνεπώς στην προσπάθεια μας για κατανόηση της λειτουργικότητας ενός συστήματος καταλήγουμε στη μελέτη των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων, που συνθέτουν τα στιγμιότυπα των διεργασιών.

Κάθε μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων αντιδρά σε εξωτερικά ερεθίσματα σύμφωνα με την προδιαγραφή της. Με άλλα λόγια, όταν βρίσκεται σε μια κατάσταση είναι παθητική και ενεργοποιείται μόνο εάν δεχθεί ένα σήμα. Η συμπεριφορά της μετά την αφύπνιση αυτή καθορίζεται πλήρως από το σχεδιασμό της. Η ανταλλαγή των μηνυμάτων συμβαίνει ανάμεσα σε μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, αλλά και μεταξύ μια μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων και του περιβάλλοντος, όπως αυτό ορίζεται κατά την σχεδίαση του συστήματος.

Ο Timer (χρονομετρητής) είναι ειδικού τύπου σήμα και ανήκει σε μια διεργασία. Ο Timer αποτελεί τη γεννήτρια χρονικών σημάτων τα οποία αποστέλλονται στην ίδια τη διεργασία και εισάγονται στην ουρά μηνυμάτων της μέχρι να καταναλωθούν. Πριν την χρήση τους, όπως και κάθε άλλο σήμα ή μεταβλητή, θα πρέπει να δηλωθούν. Οι Timers έχουν ισχύ από τη στιγμή που ενεργοποιούνται από τη διεργασία, δρουν παράλληλα με αυτή και με άλλους Timers, ενώ παύουν να ισχύουν μετά τον τερματισμό της. Οι Timers επηρεάζουν άμεσα τη ροή του χρόνου προσομοίωσης και σηματοδοτούν τη μετάβαση του συστήματος από μια κατάσταση σε μια άλλη.

## **2.7 Βασικός μηχανισμός επικοινωνίας**

Όπως αναφέρεται και στο [3], ο τρόπος ενεργοποίησης και επικοινωνίας μεταξύ των διεργασιών είναι η ανταλλαγή σημάτων. Η διαχείριση αυτών των σημάτων από μια διεργασία γίνεται μέσω μιας FIFO (First In First Out) ουράς, στην



οποία να τοποθετούνται τα εισερχόμενα σήματα έως ότου έρθει η σειρά κατανάλωσης τους. Η FIFO ουρά είναι μοναδική για κάθε διεργασία και το περιεχόμενο της μεταβάλλεται δυναμικά. Όταν ένα σήμα τοποθετηθεί στην ουρά αυτή, η κατανάλωση του είναι βέβαιη, αλλά άγνωστη παραμένει η χρονική στιγμή της κατανάλωσής του. Όταν λοιπόν ένα σήμα προκαλέσει μια μετάβαση, αφαιρείται από την ουρά της διεργασίας και θεωρείται καταναλωθέν.

Κάθε αφιχθέν σήμα, που ανήκει στο λεγόμενο Πλήρες Σύνολο Έγκυρων Εισερχομένων Σημάτων (Complete Valid Input Signal Set), τοποθετείται στην FIFO ουρά της διεργασίας που το λαμβάνει. Το πλήρες σύνολο έγκυρων εισερχομένων σημάτων αποτελείται από εκείνα τα σήματα που η διεργασία είναι σε θέση να δεχθεί, δηλαδή κατά τη σχεδιάσή της έχει προδιαγραφεί η συμπεριφορά της για όλα τα σήματα που μπορεί να δεχθεί σε οποιαδήποτε κατάσταση. Διαφορετικά, κατά τη διαδικασία της μεταγλώττισης (compile) θα εμφανιστεί ένα μήνυμα λάθους.

Κάθε διεργασία έχει μια μοναδική ταυτότητα (Process Identity), έτσι ένα σήμα φέρει πάντα την ταυτότητα της διεργασίας που είναι αποστολέας και της διεργασίας που είναι παραλήπτης και ενδεχομένως να φέρει και επιπρόσθετες τιμές (values). Όλες αυτές οι πληροφορίες αποβαίνουν αναγκαίες για την διασφάλιση της επιτυχούς επικοινωνίας των διεργασιών, αλλά και ιδιαίτερα χρήσιμες στη φάση της προσομοίωσης.

Για την αποθήκευση μεταβλητών (variables), αλλά και πληροφοριών σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση, κάθε διεργασία έχει τη δική της μνήμη. Ο ρόλος της εστιάζεται στη διαφύλαξη όλως εκείνων των δεδομένων που σχετίζονται με την ομαλή λειτουργία της διεργασίας και την ενημέρωση άλλων μέσω της διαβίβασης σημάτων. Αποτελεί αδιαφιλονίκητο στοιχείο της αυτονομίας κάθε διεργασίας το γεγονός ότι μια μεταβλητή που ανήκει σε μια διεργασία δεν μπορεί να τροποποιηθεί από άλλες. Αντίθετα, όπως προαναφέρθηκε, ο μόνος τρόπος επιρροής στην κατάσταση μιας διεργασίας είναι η λήψη ενός σήματος από μια άλλη ενώ η συμπεριφορά και ο χειρισμός των μεταβλητών ανατίθεται στη δικαιοδοσία της ίδιας της διεργασίας και μόνο.

Η διαδικασία της μετάβασης μπορεί να συνοδεύεται από διάφορες ενέργειες. Ειδικότερα, μπορεί να παραποιηθούν μεταβλητές, να ληφθούν αποφάσεις, να δημιουργηθούν νέες διεργασίες, να σταλούν σήματα σε άλλες διεργασίες κλπ. Με αυτό τον τρόπο αντιλαμβανόμαστε ότι, οι ενέργειες που εκτελεί μια διεργασία

εκτελούνται κατά τη φάση της μετάβασης, για αυτό και η λήψη ενός σήματος αντιπροσωπεύει την αφύπνιση και δραστηριοποίηση μιας διεργασίας.

Παρόλα αυτά, για κάποιους συνδυασμούς σημάτων και καταστάσεων η μετάβαση μπορεί να είναι στείρα (empty) και η κατάσταση *απαράλλαχτη*, κάτι που υπονοεί ότι το σήμα καταναλώνεται χωρίς καμία άλλη ενέργεια. Αυτό καλείται *έμμεση* (implicit) μετάβαση και δεν πρέπει να προσδιοριστεί από τον χρήστη της SDL, καθώς όλα τα σήματα, ακόμα και αυτά που δεν αναφέρονται σε μια κατάσταση, καταναλώνονται κάποτε, και πιο συγκεκριμένα όταν έρθουν στην αρχή της FIFO ουράς.

## **2.8 Μελέτη συστήματος με συνδυασμό SDL και MSC**

Η SDL παρέχει τη δυνατότητα γραφικής, αλλά και φραστικής περιγραφής ενός συστήματος. Κατά την προσομοίωση (simulation) ενός συστήματος παρέχεται η γραφική αναπαράσταση της διαδοχής των σημάτων με τα MSCs (Message Sequence Charts).

Το επίπεδο λεπτομέρειας που αυτά αναπαριστούν καθορίζεται από τις επιλογές του ίδιου του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, ένα MSC παρουσιάζει αρχικά τις οντότητες που το σύστημα περιέχει κατά την έναρξη της προσομοίωσης και καθώς αυτή εξελίσσεται απεικονίζεται η ροή των σημάτων με τις διάφορες παραμέτρους τους, η ενεργοποίηση και λήξη των Timers, οι μεταβάσεις των καταστάσεων του συστήματος και οι τιμές των διαφόρων μεταβλητών. Συνεπώς, κατά τη μελέτη ενός συστήματος, τόσο στη φάση της κατανόησης όσο και στο στάδιο της αποσφαλμάτωσης, ενδείκνυται ο συνδυασμός της γραφικής αναπαράστασης του SDL και των MSCs προκειμένου κάθε μετάβαση του συστήματος να γίνεται απευθείας και διαισθητικά αντιληπτή.

## 3. Αυτό-οργανωμένα δίκτυα – Self-Organizing Networks

### 3.1 Εισαγωγή στα Self Organizing Networks (SON)

Στα υπάρχοντα 2G/3G ασύρματα δίκτυα, τα περισσότερα δικτυακά στοιχεία ρυθμίζονται και παραμετροποιούνται χειροκίνητα. Ο σχεδιασμός, η τροποποίηση, η ενσωμάτωση και η διαχείριση αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου. Το κόστος, όμως, για τις εργασίες αυτές είναι σημαντικό καθώς εξειδικευμένο προσωπικό θα πρέπει να είναι διαθέσιμο για να ρυθμίζει αυτές τις παραμέτρους του δικτύου. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα, επιρρεπής σε λάθη και δυστυχώς αρκετά πιο αργή σε σχέση με τις πολύ συχνές αλλαγές στη λειτουργία του δικτύου, με αποτέλεσμα τη χαμηλή απόδοση του δικτύου.

Στο κοντινό μας μέλλον τα δίκτυα ασύρματων τηλεπικοινωνιών θα είναι πολύπλοκα ετερογενή δίκτυα. Αυτό σημαίνει πώς θα δώσει το πλεονέκτημα στους χρήστες να χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες προς όφελός τους αλλά ταυτόχρονα οι αποφάσεις και οι προκλήσεις στη διαχείριση ενός δικτύου θα αυξηθούν δραματικά. Για να μειωθούν αυτές οι δυσκολίες θα πρέπει να βρεθούν νέοι τρόποι διαχείρισης χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση έτσι ώστε να πετύχουμε γρηγορότερες αποκρίσεις από το δίκτυο και ταυτόχρονα μειωθούν τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης αυτού. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να υιοθετήσουμε τα Self Organizing Networks (SON) με τα οποία εισάγουμε αυτοματισμούς και δυνατότητες αυτό-οργάνωσης που θα διαμορφώνουν τα δικτυακά στοιχεία όταν αυτό απαιτείται.

Έτσι λοιπόν τους λόγους που χρειαζόμαστε τα SON δίκτυα μπορούμε να τους συνοψίσουμε σε 2 κατηγορίες:

- Σε χειροκίνητες διαδικασίες οι οποίες αυτοματοποιήθηκαν για να μειώσουν την ανθρώπινη παρέμβαση και ταυτόχρονα τα έξοδα για τη λειτουργία και τη διαχείριση των δικτύων.
- Σε διαδικασίες που χρειάζονται αυτοματοποίηση λόγω της ταχύτητας, της πολυπλοκότητας και της δυσκολίας να υλοποιηθούν από τον άνθρωπο. Η

αυτοματοποίηση αυτών των διαδικασιών μπορεί να προσφέρει καλύτερη απόδοση, καλύτερη ποιότητα και λειτουργικά οφέλη.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινίσουμε πως αυτές οι δυο κατηγορίες δεν χρειάζεται να είναι διακριτές, πράγμα που σημαίνει πως μια διαδικασία λόγω αλλαγής σχεδιασμού μπορεί να μεταπηδήσει από την μια κατηγορία στην άλλη. Για παράδειγμα, μια διαδικασία που ήταν χειροκίνητη μπορεί με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη του δικτύου να έγινε αρκετά πολύπλοκη που να απαιτείται η αυτοματοποίηση της. Και στις 2 περιπτώσεις, ο απώτερος στόχος είναι η μείωση του μοναδιαίου κόστους και της λιανικής τιμής των υπηρεσιών ασύρματης πρόσβασης

Φυσικά, όπως είναι φανερό σήμερα, ο αυτοματισμός στα ασύρματα δίκτυα δεν είναι κάποια καινούρια έννοια. Τα υπάρχοντα δίκτυα έχουν ήδη αρκετές αυτοματοποιημένες διαδικασίες όπως για παράδειγμα στην διαχείριση των πόρων (ισχύς εκπομπής, ρυθμός μετάδοσης κ.α.). Έτσι λοιπόν η εμφάνιση των αλγορίθμων για τις τεχνολογίες SON αποτελεί την φυσική εξέλιξη των ασύρματων δικτύων λόγω της ανάπτυξης της κινητής βιομηχανίας και των συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G). Οι αυξανόμενες απαιτήσεις αυτών των συστημάτων ανέδειξαν τα SON ως βασική προϋπόθεση για την ολοκλήρωσή τους.

### **3.2 Τύποι - Είδη SON**

Οι λειτουργίες ενός Self Organizing Network, ανάλογα με τον απώτερο σκοπό τους, μπορούν να χωριστούν σε 3 βασικές κατηγορίες:

- Self – Configuration
- Self – Optimization
- Self - Healing

Με τον όρο Self-Configuration αναφερόμαστε στο στόχο να δημιουργήσουμε plug and play (έτοιμα προς χρήση) δίκτυα. Έτσι, για παράδειγμα, οι νέοι σταθμοί βάσης θα παραμετροποιούνται αυτόματα και θα ενσωματώνονται στο δίκτυο. Στον όρο παραμετροποίηση συμπεριλαμβάνουμε όλες τις απαραίτητες ενέργειες για τη ενεργοποίηση της σύνδεσης όπως επίσης για την αναβάθμιση και τη ρύθμιση του λογισμικού και των παραμέτρων.

Με το Self-Optimization στόχος μας είναι η καλύτερη λειτουργία του δικτύου. Αυτό είναι εφικτό προσαρμόζοντας τις παραμέτρους στα διάφορα δικτυακά στοιχεία βασιζόμενοι στις μετρήσεις που παίρνουμε (π.χ. από τους σταθμούς βάσης και τα τερματικά). Για παράδειγμα μια τέτοια δυνατότητα είναι το Automatic Neighbor Relations (ANR) με αποτέλεσμα την αύξηση των πετυχημένων handover.

Το Self-Healing μας δίνει τη δυνατότητα να ελαχιστοποιούμε το «κόστος» πιθανών προβλημάτων του δικτύου. Για παράδειγμα, όταν κάποιο κόμβοι σταματήσουν να λειτουργούν, τότε οι μηχανισμοί Self Healing ρυθμίζουν τις παραμέτρους και τους αλγόριθμους των κυψελών κατάλληλα έτσι ώστε να μπορέσουν να εξυπηρετήσουν τους χρήστες των προβληματικών κόμβων με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος.

### **3.3 Σχέση SON με 3GPP και NGMN**

Όπως αναφέρεται και στο [6], πολλές από τις SON προτάσεις συμπεριλήφθηκαν στα πρότυπα του LTE (Long Term Evolution) από την πρώτη έκδοση της τεχνολογίας αυτής (Release 8). Ο βασικός στόχος της 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) τυποποίησης είναι η υποστήριξη λειτουργιών SON σε δίκτυα πολλαπλών παρόχων (multi-vendor). Η 3GPP έχει ορίσει ένα πακέτο περιπτώσεων χρήσης (use cases) του LTE SON και το αντίστοιχων λειτουργιών SON [7]. Για παράδειγμα στη πρώτη έκδοση για SON (Release 8) συμπεριλάμβανε τις παρακάτω 3GPP λειτουργίες, καλύπτοντας διάφορες πιθανές καταστάσεις για την αυτό-προσαρμογή και αυτό-παραμετροποίηση ενός eNodeB σταθμού.

- Αυτόματη εγγραφή
- Αυτόματη αναβάθμιση λογισμικού [8]
- Αυτόματος συσχετισμός με τους γειτονικούς σταθμούς (ANR) [9]
- Αυτόματη απόδοση ταυτότητας κυψέλης (PCI – Physical Cell ID) [10]

Μια πολύ σημαντική πηγή πληροφοριών και ιδεών για την ανάπτυξη του LTE SON είναι το NGMN (Next Generation Mobile Networks) forum. Το 2006 [11], το NGMN καθόρισε ένα πακέτο με τις βασικές προϋποθέσεις για Self Organizing Networks και έκτοτε καθορίστηκαν πολλαπλές περιπτώσεις χρήσης (use cases) για να καλύψουν τις διάφορες περιπτώσεις στη λειτουργία, στο σχεδιασμό, στη

βελτιστοποίηση και στη συντήρηση του δικτύου [12]. Αυτή η συνεχή διαμόρφωση των απαιτήσεων των SON από το NGMN forum συνείσφερε στην υιοθέτηση του SON concept από τη 3GPP [7]. Αυτές οι περιπτώσεις περιγράφηκαν από τους παρόχους σαν τυπικές διαδικασίες/ εργασίες που εκτελούνται από τους μηχανικούς τους καθημερινά. Έτσι η αυτοματοποίηση αυτών των εργασιών θα οδηγήσει σε καλύτερη διαχείριση των πόρων ενός παρόχου τόσο σε άψυχο (φάσμα, εξοπλισμό..) όσο και σε έμψυχο επίπεδο (εργατο-ώρες). Πολλές από τις παρακάτω περιπτώσεις (πίνακας 3-1) θα προταθούν ή έχουν προταθεί στη 3GPP για τυποποίηση και έγκριση.

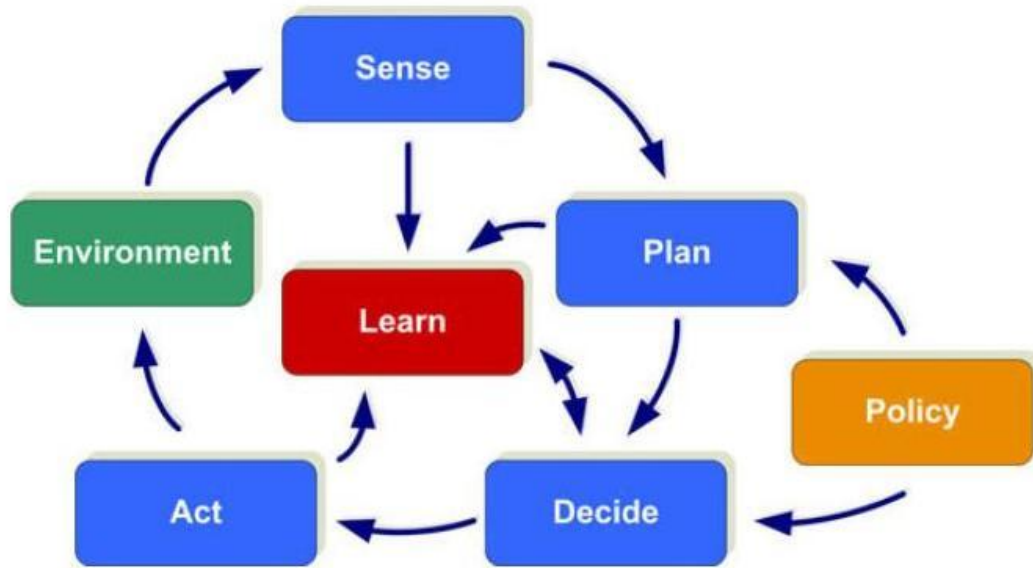
<b>NGMN Use Case Definitions</b>			
<b>Planning</b>	<b>Deployment</b>	<b>Optimization</b>	<b>Maintenance</b>
Planning of eNodeB	Hardware installation	Support of centralized optimization entity	Hardware/capacity extension
Planning of eNodeB Radio parameters	eNodeB/network authentication	Neighbor list optimization	Automated NEM upgrade
Planning of eNodeB Transport parameters	O&M Secure tunnel setup	Interference control	Cell/Service outage detection and compensation
Planning of eNodeB data alignment	Automatic inventory	Handover parameter optimization	Real-Time Performance management
	Automatic Software download to eNB	QoS parameter optimization	Information correlation for fault management
	Transmission setup	Load Balancing	Subscriber and equipment trace
	Radio parameter setup	Home eNodeB optimization	Outage compensation for higher level network elements
	Self Test	RACH load optimization	Fast recovery of unstable NEM system
			Mitigation of outage of units

**Πίνακας 3-1: Ορισμένες Περιπτώσεις χρήσης στο NGMN forum**

Έχοντας σαν οδηγό αυτές τις περιπτώσεις χρήσης σχεδιάστηκαν και προτάθηκαν διάφορες αρχιτεκτονικές δικτύων για να πετύχουν τους στόχους. Μια από αυτές είναι και το End to End Efficiency (E<sup>3</sup>) project το οποίο θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

### 3.4 Δίκτυα με γνωσιακές ικανότητες

Ένα δίκτυο για να μπορεί να αυτό-προσαρμόζεται, να αυτό-προστατεύεται και γενικότερα να αυτό-οργανώνεται θα πρέπει να γνωρίζει τι συμβαίνει μέσα και έξω από αυτό. Για αυτό το λόγο και οι διάφορες ερευνητικές ομάδες στράφηκαν προς αυτή την κατεύθυνση [13][14][15]. Ο συγγραφέας του [16] αναφέρει χαρακτηριστικά πως ένα δίκτυο για να έχει γνωσιακές ικανότητες θα πρέπει πρώτα να έχει γνώση του ίδιου του εαυτού. Οι συγγραφείς του [13] ήταν από τους πρώτους που πρότειναν ένα τέτοιου τύπου δίκτυο, το οποίο θα είχε γνώση του εαυτού και του περιβάλλοντος καθώς επίσης θα ήταν ικανό να μάθει, να αποφασίσει και να δράσει αναλόγως έτσι ώστε να πετύχει τους στόχους του.



Εικόνα 3-1: The Cognition Loop, [19]

Ένα αυτό-οργανωμένο δίκτυο για να πετύχει τους στόχους χρησιμοποιεί ένα κύκλο ελέγχων ο οποίος στην ξένη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως cognition loop [16], feedback loop [17], context based adaptation loop [18]. Στο σημείο αυτό θα δούμε περιληπτικά πως λειτουργεί αυτός ο “κύκλος” και για παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε το cognition loop που προσδιορίστηκε στο [19], το οποίο μπορούμε να δούμε στην εικόνα 3-1. Παρατηρώντας λοιπόν την εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε έξι καταστάσεις οι οποίες αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους. Αρχικά στο πάνω μέρος βλέπουμε την κατάσταση Sense. Σε αυτό το στάδιο το δίκτυο λαμβάνει γνώση για το περιβάλλον και σε ποια κατάσταση βρίσκεται το ίδιο. Τα δεδομένα που

θα συλλέξει θα προωθηθούν στο στάδιο Plan όπου και θα αξιολογηθούν για να γίνει η σχεδίαση των μελλοντικών αποφάσεων. Τα ίδια δεδομένα (από το Sense) θα προωθηθούν και σε μια οντότητα (Learn) που έχει την ικανότητα να μαθαίνει και μπορεί να βοηθήσει σε μελλοντικές αποφάσεις. Στο Plan το δίκτυο, αξιολογώντας τα δεδομένα από το Sense και από τις Policy (πολιτικές), προτείνει κάποιες πιθανές λύσεις τις οποίες ανακοινώνει και στη Learn οντότητα. Στο στάδιο της απόφασης (Decide), το δίκτυο αποφασίζει για τις ενέργειες που πρέπει να ακολουθήσει, ανάλογα με τις προτεινόμενες λύσεις (Plan), τις πολιτικές (Policy) και τη προηγούμενη εμπειρία (Learn). Η όποια απόφαση ανακοινώνεται στις κατάλληλες οντότητες που πρέπει να την εκτελέσουν καθώς επίσης και στην οντότητα Learn για πιθανή μελλοντική χρήση. Η εκτέλεση των αποφάσεων έχει τις αντίστοιχες αντιδράσεις στο σύστημα και το περιβάλλον οι οποίες καταγράφονται από τους αισθητήρες και ο κύκλος αρχίζει από την αρχή ξανά. Μελετώντας το σχεδιάγραμμα (εικόνα 3-1) μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε πως οποιαδήποτε πληροφορία, σχεδίαση, απόφαση και πράξη κοινοποιείται στη οντότητα Learn. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα μας μαθαίνει τι αποτέλεσμα έχουν οι αποφάσεις και τις πράξεις του και σε μια παρόμοια περίπτωση θα μπορέσει να ενεργήσει πιο γρήγορα και πιο σωστά.

Σύμφωνα με το [16], η παραπάνω διαδικασία εκτελείται κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Στην περίπτωση όπως που υπάρχει κάποιο έκτακτο και απρόβλεπτο γεγονός τότε θα πρέπει να εκτελεστούν κάποιες άμεσες ενέργειες και είναι πολύ πιθανό κάποια από τα παραπάνω βήματα – οντότητες να παραλειφθούν.

### **3.5 Ερευνητικό έργο μέχρι σήμερα**

Κατά την διάρκεια των προηγούμενων ετών, ένας σημαντικός αριθμός ερευνητών έχουν ασχοληθεί με διάφορες πτυχές των της αυτόνομης διαχείρισης των δικτύων. Οι συγγραφείς στο [20] εξετάζουν κυρίως την ήδη υπάρχουσα δουλειά με 5 διαφορετικά κριτήρια τα οποία είναι: ο σχεδιασμός αλγορίθμων, η συλλογή πληροφοριών context και ο σχεδιασμός, καινοτόμες προσεγγίσεις προγραμματισμού, αξιοπιστία και ασφάλεια και τέλος η αξιολόγηση των συστημάτων με δοκιμές. Μια πιο πρόσφατη μελέτη στο [21] παρουσιάζει τις βασικές αρχές των αυτόνομων συστημάτων και πως θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την δημιουργία μια εξελιγμένης αρχιτεκτονικής για τη διαχείριση του δικτύου μέσα από συγκεκριμένα



παραδείγματα. Παρόμοια μελέτη για δίκτυα με γνωσιακές ικανότητες παρουσιάζεται στο [19], όπου οι συγγραφείς επικεντρώνονται κυρίως σε cross-layer θέματα καθώς επίσης και Knowledge Plane που προσδίδει γνωσιακές ικανότητες στα αυτόνομα δίκτυα. Τέλος μια πρόσφατη έρευνα που παρουσιάζεται στο [22] όπου, εκτός από μια συζήτηση σχετικά με τις οντότητες ενός αυτόνομου δικτύου, οι συγγραφείς αξιολογούν πέντε αρχιτεκτονικές σύμφωνα με έξι κριτήρια. Τα έξι κριτήρια είναι η δραστηριότητα (δηλαδή, η συμπεριφορά της αρχιτεκτονικής, είτε αντιδραστικά είτε προληπτικά), η προσαρμοστικότητα (δηλαδή, η ικανότητα τους συστήματος να μαθαίνει και να εξελίσσεται), η νοημοσύνη, η γνώση και η δύναμη της μνήμης (δηλαδή, η ικανότητα να θυμάται προηγούμενες συμπεριφορές) και η αυτονομία (δηλαδή, κατά πόσο συμμετέχει ο διαχειριστής στις διάφορες ενέργειες).

Παρά το γεγονός πως έχει γίνει μια σημαντική προσπάθεια για τη δημιουργία ενός δικτύου αυτόνομης διαχείρισης, εξακολουθούν να υπάρχουν άλυτα προβλήματα. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι μέχρι τώρα, όλες οι μελέτες σχετικά με τις αυτόνομες λειτουργίες αφορούσε μόνο ένα τομέα λειτουργίας (π.χ. δίκτυο πρόσβασης ή δίκτυο κορμού ή τομέας υπηρεσιών). Ωστόσο στα μελλοντικά δίκτυα αναμένεται ότι τα διάφορα συστήματα διαχείρισης για διαφορετικούς τομείς (τόσο τα υπάρχοντα όσο και τα μελλοντικά με αυτόνομες λειτουργίες) θα συνυπάρχουν. Είναι επιτακτική ανάγκη για ένα πάροχο να ενοποιήσει τη λειτουργία, τη διαχείριση και να αναβαθμίσει τη συνολική απόδοση του δικτύου με τι πιο αξιόπιστο τρόπο. Με τον όρο αξιοπιστία εννοούμε πως ο πάροχος θα πρέπει να αισθάνεται ήσυχος πως τα αυτόνομα συστήματα θα παρέχουν την αναμενόμενη απόδοση και αποτελεσματικότητα χωρίς να προκαλούν προβλήματα σταθερότητα στο δίκτυο. Τέλος η ενσωμάτωση της διακυβέρνησης (δηλαδή τον καθορισμό υψηλών επιχειρηματικών στόχων και η μετατροπή τους σε πολιτικές διαχείρισης) και η από άκρη σε άκρη αξιολόγηση της λειτουργίας του δικτύου κρίνεται απαραίτητη.

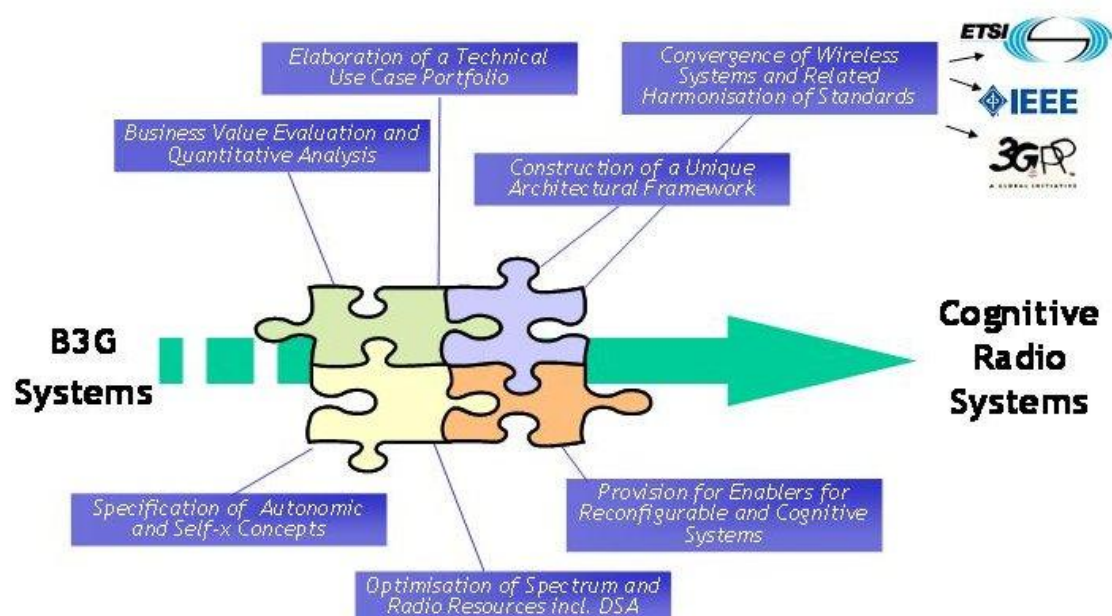


## 4. Η πρόταση αρχιτεκτονικής του End to End Efficiency Project (E3)

### 4.1 Γενικά για το έργο E<sup>3</sup>

Το End to End Efficiency Project (E<sup>3</sup>) είναι ένα ολοκληρωμένο project μεγάλης κλίμακας του 7<sup>ου</sup> προγράμματος-πλαισίου της ευρωπαϊκής επιτροπής (FP7), το οποίο ξεκίνησε στις 01/01/2008 και είχε διάρκεια 2 χρόνων [23].

Ο στόχος του E<sup>3</sup> είναι η ενσωμάτωση ασύρματων συστημάτων με γνωσιακές ικανότητες (cognitive capabilities) και self-x λειτουργίες σε συστήματα πέρα του 3G (B3G – Beyond 3G), σύμφωνα με τις τελευταίες συστάσεις της 3GPP [24] και του NGMN [12]. Με αυτό το τρόπο εξελίσσει τις τρέχουσες ασύρματες υποδομές σε ολοκληρωμένα, επεκτάσιμα και αποδοτικά B3G γνωσιακά συστήματα. Σημαντική λεπτομέρεια του E<sup>3</sup> project είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η τυποποίηση λύσεων έτσι ώστε εγγυηθεί τη διαλειτουργικότητα, την ευελιξία και την κλιμάκωση μεταξύ των ήδη υπάρχων ασύρματων δικτύων και των μελλοντικών. Επίσης στοχεύει στην διαχείριση της συνολικής πολυπλοκότητας του συστήματος και την διασφάλιση της αρμονικής λειτουργίας μεταξύ όλων των τεχνολογιών πρόσβασης, επιχειρηματικών πλάνων, ρυθμιστικών αρχών και γεωγραφικών περιοχών.

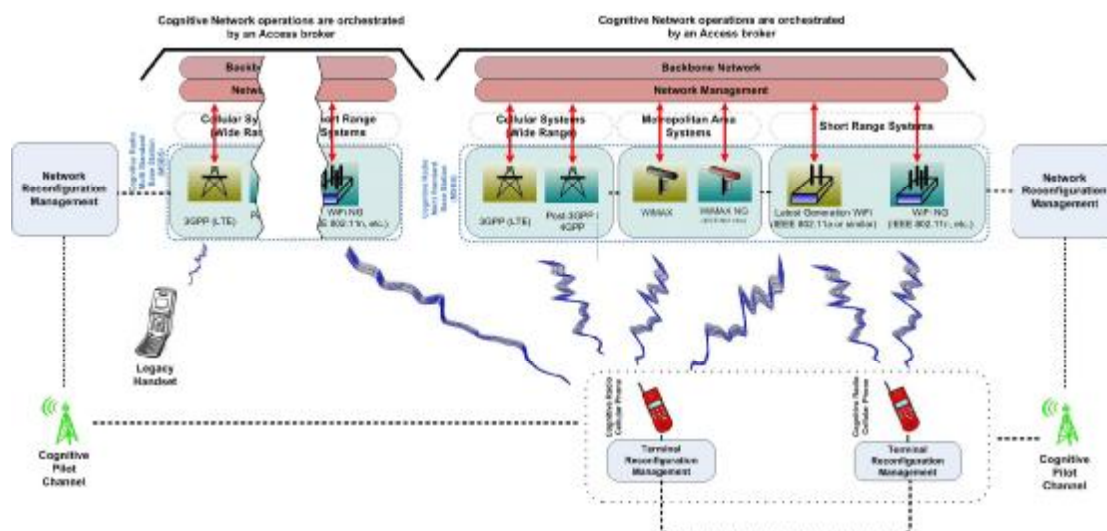


Εικόνα 4-1 – E<sup>3</sup> Key Research Challenges, [23]

Στην επόμενη ενότητα θα δούμε το μοντέλο πληροφοριών (informational model) του E<sup>3</sup>, το οποίο μας παρέχει στοιχεία σχετικά με τις έννοιες που εισάγονται σε ένα περιβάλλον δικτύου με ικανότητες αυτο-προσαρμογής και γνωσιακές ικανότητες. Επίσης θα δούμε μερικές από τις πληροφορίες που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τις λειτουργικές οντότητες (Functional Blocks).

## 4.2 Μοντέλο Πληροφοριών E<sup>3</sup>

Το μοντέλο πληροφοριών είναι ένα «σχέδιο» που περιλαμβάνει τις ιδιότητες και τις λειτουργίες των οντοτήτων όπως επίσης και τις καθορισμένες σχέσεις μεταξύ τους. Είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε εφαρμογή, πρωτόκολλο ή πλατφόρμα [25]. Όπως αναφέρεται από το IETF [26], μπορεί να οριστεί χρησιμοποιώντας μια επίσημη γλώσσα. Πιο συγκεκριμένα, για τον προσδιορισμό ενός μοντέλου πληροφοριών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαγράμματα κλάσεων Unified Model Language (UML) [27] έτσι ώστε να παρουσιάσει, με γραφικό τρόπο, τις εμπλεκόμενες οντότητες και τις σχέσεις που έχουν μεταξύ τους.



Εικόνα 4-2 - E<sup>3</sup> Heterogeneous Wireless System Framework, [23]

Σύμφωνα με το [28], το περιβάλλον διαχείρισης του E<sup>3</sup> αποτελείται από B3G/4G τηλεπικοινωνιακά συστήματα και χαρακτηρίζεται:

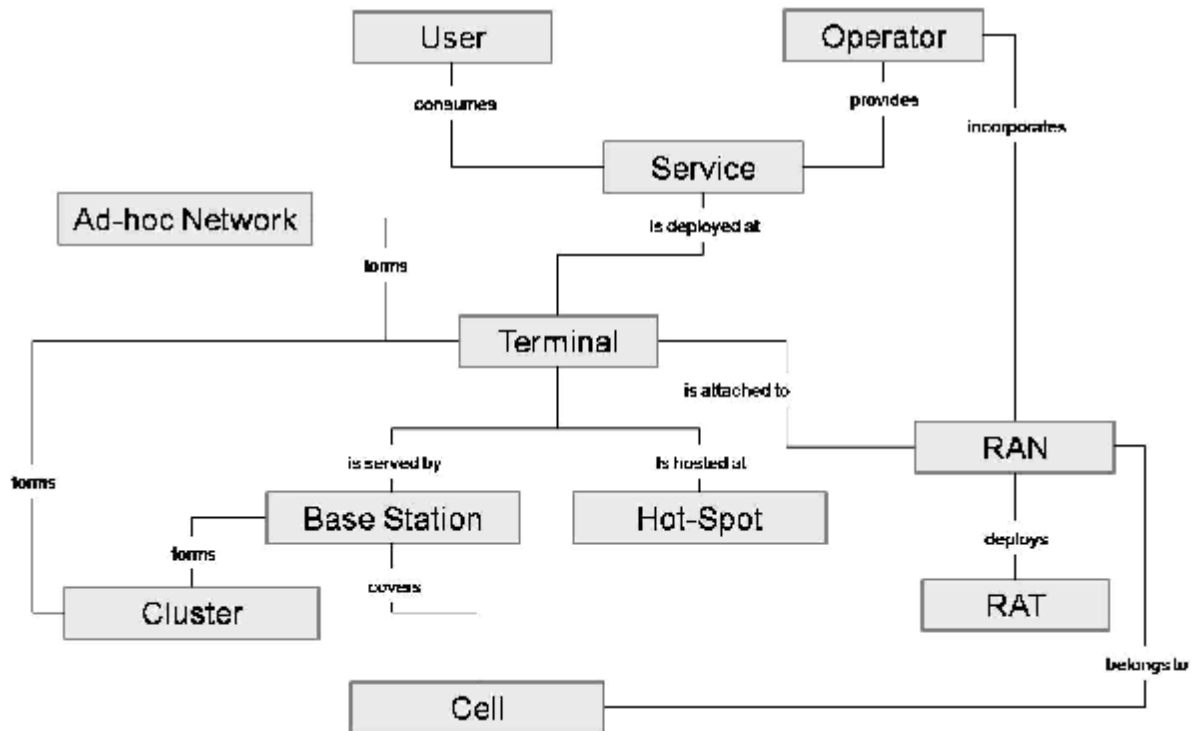
- (i) από πληθώρα συσκευών, με διαφορετικές ικανότητες και παραμετροποιήσεις, οι οποίες λειτουργούν με δυναμικό τρόπο

- (ii) από ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών, για τις ασύρματες συσκευές, με διαφορετικές απαιτήσεις, οι οποίες σχεδιάζονται και παρέχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές
- (iii) από μεγάλη διαθεσιμότητα διαφόρων ειδών δικτύων (π.χ. WLAN, 3G, UMTS, WiMAX).

Το μοντέλο πληροφοριών έχει όλες τις πληροφορίες που πρέπει να συλλέγονται, επεξεργάζονται και να ανταλλάσσονται μέσα στο δίκτυο. Επίσης εισάγει νέες έννοιες για τα συστήματα με ικανότητες γνώσης και αυτο-διαχείρισης. Μερικές από τις πιο σημαντικές έννοιες είναι:

- Ο Network Operator (πάροχος του δικτύου), ο οποίος έχεις στην ιδιοκτησία του και διοικεί διαφόρων ειδών δίκτυα.
- Ο User (χρήστης), ο οποίος χρησιμοποιεί ένα αριθμό τερματικών για παροχή ή χρήση υπηρεσιών.
- Το Terminal (τερματικό), το οποίο κινείται σε ένα ετερογενές περιβάλλον και συνδέεται στα διάφορα RATs ανάλογα με τις προτιμήσεις του ή τους κανόνες που επιβάλλονται (Πολιτικές)
- Το RAN και το RAT τα οποία αποτελούν το ετερογενές περιβάλλον.
- Το Base Station (Σταθμό Βάσης), το Access Point (Σημείο Πρόσβασης) και το Home Base Station (Οικιακός Σταθμός Βάσης), τα οποία εξυπηρετούν τα διάφορα RAT μέσα στο RAN
- Τη Cell (Κυψέλη) ή οποία καλύπτει μια περιοχή του RAN
- Τα Ad-hoc Networks και τα Cluster Τερματικών ή/ και Σταθμών Βάσης τα οποία διαμορφώνονται με δυναμικό τρόπο στη συνολική περιοχή κάλυψης
- Οι Services (υπηρεσίες), τόσο του δικτύου όσο και των εφαρμογών οι οποίες παρέχονται μέσα στο σύστημα
- Τα Hotspots τα οποία μπορεί να προκύψουν μέσα σε μια περιοχή.

Αυτές τις έννοιες καθώς επίσης και τις σχέσεις μεταξύ τους μπορούμε να τις δούμε στην εικόνα 4-3.



Εικόνα 4-3 – E<sup>3</sup> Key Concepts, [28]

Διαβάζοντας την εικόνα 4-3 παρατηρούμε τις σχέσεις μεταξύ τους:

- Ο User χρησιμοποιεί το Terminal και κάνει χρήση υπηρεσιών (Service)
- Ο Operator παρέχει υπηρεσίες (Service) και διαχειρίζεται το RAN που μας δίνει τα διάφορα RAT
- Το τερματικό είναι συνδεδεμένο στο RAN, μπορεί να αποτελεί μέρος ενός ad-hoc network και εξυπηρετείται από ένα Σταθμό Βάσης ή Hotspot
- Ο Base Station (Σταθμός Βάσης) εξυπηρετεί ένα τερματικό, μπορεί να αποτελεί μέρος ενός Cluster και καλύπτει ένα αριθμό από κυψέλες.

Στο E<sup>3</sup> project, μελετώντας τις διάφορες περιπτώσεις χρήσης, προέκυψε μια πλήρης λίστα με σχετικές πληροφορίες, σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας [29]. Αυτές οι περιπτώσεις χρήσης δείχνουν τις δυνατότητες και τη λειτουργία των ραδιο-συστημάτων συμπεριλαμβάνοντας:

- Self-optimization σε ετερογενή δίκτυα
- Self-optimization σε δίκτυο μίας τεχνολογίας (single RAT)

- (iii) self-maintenance / self-healing
- (iv) self-(re-)configuration
- (v) αυτόνομη λειτουργία των τερματικών
- (vi) ευέλικτη διαχείριση του φάσματος

Στα δίκτυα με γνωσιακές ικανότητες, δυο είναι οι βασικοί τύποι πληροφοριών: οι context και οι policy πληροφορίες. Αυτές οι πληροφορίες, σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον όπως αυτό που περιγράψαμε προηγουμένως, είναι πιθανό να συγχέουν τα σύνορα τους.

Με τον όρο context αναφερόμαστε σε οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την κατάσταση μιας οντότητας (πρόσωπο, μέρος ή αντικείμενο) και θεωρείται σχετική με τις ενέργειες που γίνονται, ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς στο διαχειριζόμενο σύστημα.

Από την άλλη, με την έννοια policy αναφερόμαστε στις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για να μοντελοποιήσουμε τη συμπεριφορά των διάφορων στοιχείων στο σύστημα. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για να πετύχουμε συγκεκριμένους στόχους σε διάφορα επίπεδα (π.χ. τεχνικά, οικονομικά, επιχειρηματικά, διοικητικά). Στον IETF [25], ο όρος policy προσδιορίζεται:

- (i) σαν ξεκάθαρος στόχος ή μεθοδολογία ενεργειών για να καθορίσει και να οδηγήσει σε αποφάσεις για το παρόν και το μέλλον.
- (ii) σαν πακέτο από κανόνες για την διοίκηση, διαχείριση και έλεγχο της πρόσβασης στους πόρους του δικτύου.

### **4.3 Πολιτικές**

Οι συγγραφείς του [28] αναφέρουν πως στο E<sup>3</sup> ενσωματώνεται ένα μεγάλος αριθμός από διάφορων ειδών πολιτικών, οι οποίες περιέχουν συγκεκριμένους στόχους στα διάφορα επίπεδα: οικονομικά, επιχειρησιακά, τεχνικά, διοικητικά. Οι πολιτικές αυτές απορρέουν από τους εμπλεκόμενους φορείς (πάροχος δικτύου, χρήστης) και στοχεύουν τη συμπεριφορά συγκεκριμένων οντοτήτων του συστήματος (επιλογή RAT, διαχείριση φάσματος, κ.τ.λ). Οι τύποι των πολιτικών που προσδιορίστηκαν για το E3 παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η Dynamic Spectrum Access (DSA) πολιτική απορρέει από τον πάροχο λαμβάνοντας υπόψη του ρυθμιστικούς κανόνες για τον καθορισμό των συχνοτήτων στα RAT.
- Η Radio Resource Assignment (RRA) πολιτική προέρχεται από το δίκτυο και αναφέρεται στα τερματικά. Αυτή η πολιτική υποδεικνύει στα τερματικά, τους διαθέσιμους ραδιο-πόρους.
- Η Mobile Terminal Assignment (MTA) πολιτική προέρχεται από το δίκτυο και κοινοποιείται στα διάφορα δικτυακά στοιχεία (π.χ. σταθμοί βάσης) για να πετύχει την βέλτιστη διαχείριση ραδιο-πόρων μεταξύ των διάφορων RAN.
- Η RAT Selection πολιτική προέρχεται από το δίκτυο και κοινοποιείται στα τερματικά για ενημέρωση της διαδικασίας επιλογής τεχνολογίας πρόσβασης.
- Η Energy Saving πολιτική προέρχεται από το δίκτυο και κοινοποιείται στη διαχείριση αυτού για να οδηγήσει τα διάφορα δικτυακά στοιχεία σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι αποφάσεις για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση κυψελών.
- Η Handover πολιτική προέρχεται και κοινοποιείται από το δίκτυο στο τερματικό με σκοπό να βοηθήσει την απόφαση για inter-RAT handover.
- Η SON πολιτική προέρχεται και ανταλλάσσεται μεταξύ των δικτυακών στοιχείων και των τερματικών με σκοπό την πιο αποτελεσματική οργάνωση και συμπεριφορά του δικτύου.

Αυτές οι πολιτικές ενσωματώνονται στο μοντέλο πληροφοριών του E3 και σχετίζονται άμεσα με έννοιες του E3, στο τεχνικό και επιχειρηματικό κομμάτι, όπως είναι ο πάροχος δικτύου, ο χρήστης, ο σταθμός βάσης και το τερματικό. Για παράδειγμα:

- Οι πολιτικές DSA και RRA σχετίζονται με τους αντίστοιχους κανόνες για πάροχο και RAT. Αυτό σημαίνει ότι αυτό το είδος πολιτικής εφαρμόζεται στα RAT και προέρχεται από τον πάροχο, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του όλους τους νόμους και τους κανόνες που ισχύουν στην περιοχή. Επίσης οι πολιτικές αυτές είναι βασισμένες στις επιχειρηματικές στρατηγικές του παρόχου.
- Οι πολιτικές MTA και RAT selection βασίζονται στις επιχειρηματικές στρατηγικές του παρόχου και εφαρμόζονται σε σταθμούς και τερματικά αντίστοιχα, ενώ η SON πολιτική εφαρμόζεται τόσο στα τερματικά όσο και στους σταθμούς βάσης.



## **4.4 Λειτουργική αρχιτεκτονική του E<sup>3</sup>**

Η λειτουργική αρχιτεκτονική του E<sup>3</sup> αποτελείται από κάποια ξεχωριστά λειτουργικά blocks. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, αυτά τα block δημιουργήθηκαν και προτάθηκαν μέσα από την παρακάτω καλά δομημένη μεθοδολογία [28]. Στην αρχή προσδιορίστηκε ένας μεγάλος αριθμός περιπτώσεων χρήσης μέσα από τις οποίες προέκυψαν οι σημαντικές λειτουργίες για αναπροσαρμογή καθώς και οι ικανότητες για αυτονομία και γνώση καταστάσεων. Έπειτα, οι σημαντικές αυτές λειτουργίες προσδιορίστηκαν και ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με την ομοιότητα τους και μέσα από αυτή τη διαδικασία προέκυψαν οι λειτουργικές οντότητες. Στο τέλος δημιουργήθηκαν οι συνδέσεις μεταξύ των λειτουργικών οντοτήτων και ορίστηκαν τα αντίστοιχα μηνύματα.

### **4.4.1 Λειτουργικές Οντότητες**

Αναλύοντας λοιπόν ένα σύστημα βασισμένο στην E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική έχουμε τα παρακάτω blocks:

- Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Dynamic Self-organizing Network Planning and Management (DSNPM)
- Joint Radio Resource Management (JRRM)
- Radio Resource Management (RRM)
- Self-x for RAN
- Reconfiguration Control Module (RCM)
- Autonomic Entity Management (AEM)

Το Dynamic Spectrum Management (DSM - Δυναμική διαχείριση φάσματος) [30][31] παρέχει τη μέσο και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος (της τάξης ωρών ή ημερών) για τα διάφορα ραδιο-συστήματα. Το DSM παρέχει τις πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές για τη ανάθεση των συχνοτήτων και πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το ρυθμιστικό πλαίσιο για τη χρήση του φάσματος.

Το Dynamic self-organizing network planning and management (DSNPM) [32], μελετώντας τις πληροφορίες που λαμβάνει, παρέχει τις μέσο και μακροπρόθεσμες αποφάσεις για τη επανα-παραμετροποίηση ενός κομματιού του

δικτύου. Για παράδειγμα το DSNPM αποφασίζει για την βέλτιστη παραμετροποίηση ενός FBS (Flexible Base Station). Αυτές οι αποφάσεις παραμετροποίησης δίνονται στο RCM (Reconfiguration Control Module), το οποίο είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή αυτών των παραμετροποιήσεων και θα αναλύσουμε παρακάτω.

Το Joint Radio Resource Management (JRRM) [33] εκτελεί τη διαχείριση των ραδιο-πόρων που μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά RAT και ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη θα διαλέξει τη καλύτερη πρόσβαση για αυτόν σύμφωνα με:

- Το αιτούμενο QoS (εύρος ζώνης, μέγιστη καθυστέρηση, πραγματικού ή μη-πραγματικού χρόνου)
- τις συνθήκες μετάδοσης (ποιότητα σήματος, διαθέσιμο εύρος ζώνης)
- την κατάσταση του δικτύου (χωρητικότητα κυψέλης, φόρτο κυψέλης)
- τις προτιμήσεις του χρήστη
- τις πολιτικές του δικτύου.

Το JRRM επίσης παρέχει πληροφορίες σχετικές με τους γειτονικούς σταθμούς (Neighborhood Information) για την πιο αποτελεσματική αναζήτηση διαθέσιμης πρόσβασης.

Το RRM κάνει την διαχείριση των ραδιο-πόρων, που του έχουν ανατεθεί. Αυτή η λειτουργία υπάρχει ήδη στα GSM και UMTS δίκτυα, αλλά πρέπει να επεκταθούν οι λειτουργίες του και να δημιουργηθεί μια διεπαφή με το JRRM.

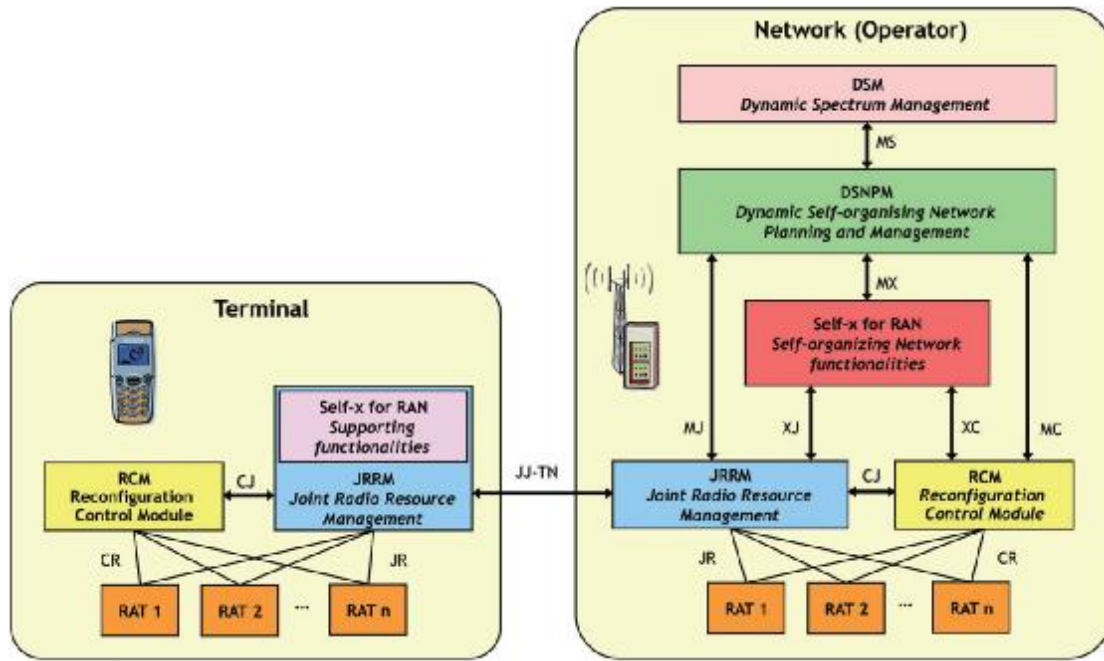
Το Self-x for RAN [34] ενεργοποιεί τον αυτοματισμό για τις self organizing λειτουργίες του RAN, παρέχοντας κυρίως τις βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες αποφάσεις. Το Self-x for RAN το εντοπίζουμε κυρίως στις περιπτώσεις χρήσης που είναι σχετικές με τη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης συγκεκριμένων παρόχων [12]. Η συγκεκριμένη λειτουργική οντότητα συνεργάζεται:

- με το DSNPM, για να παίρνει Key Performance Indicators (KPIs) και πολιτικές
- με το JRRM για την εφαρμογή αποφάσεων του Self-x for RAN και αποτελέσματα μετρήσεων
- με το RCM για την εφαρμογή των παραμετροποιήσεων.

Από τη μεριά του τερματικού, το Self-x for RAN χρησιμοποιείται κυρίως για την υποστήριξη των Self-x λειτουργιών των στοιχείων του δικτύου (π.χ. για την συλλογή στατιστικών). Για λόγους ευκολίας στην αρχιτεκτονική, η επικοινωνία του με την αντίστοιχη οντότητα στη μεριά του δικτύου γίνεται μέσα από το JRRM έτσι ώστε να

αποφευχθεί η υπερβολική και άσκοπη χρήση διεπαφών μεταξύ των τερματικών και του δικτύου.

Το RCM, ακολουθώντας τις οδηγίες που λαμβάνει από τα άλλα block (κυρίως DSNPM, Self-x for RAN και JRRM), είναι κυρίως υπεύθυνο για την εκτέλεση των



Εικόνα 4-4 – E<sup>3</sup> Functional Architecture (Single Operator, Single Terminal), [28]

παραμετροποιήσεων σε ένα τερματικό ή σε ένα σταθμό βάσης. Το RCM είναι απαραίτητο στα παραμετροποιήσιμα τερματικά, στους σταθμούς βάσης και στα υπόλοιπα δικτυακά στοιχεία για να μπορέσουν να ολοκληρώσουν την προσαρμογή τους στη καινούρια κατάσταση.

Το AEM [35] έχει σαν βασικό στόχο την αυτόνομη λειτουργία των οντοτήτων με γνωσιακές ικανότητες. Το AEM, βασιζόμενο σε context πληροφορίες σχετικά με τις οντότητες και το περιβάλλον, φροντίζει για την βελτίωση της λειτουργίας συγκεκριμένων συσκευών. Επίσης το AEM εκτελεί τη λειτουργία επιλογή RAT (RAT selection) σε περιπτώσεις που βρίσκεται σε ad-hoc ή multi-hop καταστάσεις σε αντίθεση με το JRRM το οποίο εκτελεί τις κλασσικές RAT selection λειτουργίες.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, όλες τα παραπάνω λειτουργικές οντότητες εκτελούν ένα cognition loop κατά το οποίο η οντότητα παρατηρεί έναν αριθμό μεταβλητών σχετικές με το δίκτυο και/ ή την κατάσταση του τερματικού. Εάν προκύψει κάποιο γεγονός (π.χ. δεν υπάρχουν πια διαθέσιμοι πόροι για τον BS ή αναγνωρίστηκε μια νέα τεχνολογία πρόσβασης από το τερματικό, κτλ), τότε η

οντότητα εκτιμά τα δεδομένα που έχει συλλέξει και παίρνει την κατάλληλη απόφαση. Μετά, αφού ολοκληρωθεί η ενέργεια, τα αποτελέσματά της καταγράφονται και αξιολογούνται για να βελτιώσουν μελλοντικές παρόμοιες αποφάσεις.

#### 4.4.2 Cognition Enablers

Για την υποστήριξη αυτών των λειτουργικών οντοτήτων δημιουργήθηκαν 3 τεχνολογίες υποστήριξης με γνωσιακές ικανότητες (cognition enablers) που συνεισφέρουν στην συλλογή πληροφοριών από το δικτυακό περιβάλλον. Οι τεχνολογίες αυτές είναι:

- Cognitive Pilot Channel (CPC)
- Cognitive Control Radio (CCR)
- Spectrum Sensing (SS)

Το Cognitive Pilot Channel (CPC) [36][37] είναι ένα λογικό κανάλι το οποίο ενημερώνει τα τερματικά, με έναν αριθμό παραμέτρων που είναι απαραίτητες για να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά. Για παράδειγμα, τα τερματικά ενημερώνονται για τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης στο συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο, ή τις συχνότητες που χρησιμοποιούν αυτές οι τεχνολογίες.

Η δεύτερη τεχνολογία υποστήριξης λέγεται Cognitive Control Radio (CCR) [38] και είναι μια peer to peer ράδιο-επικοινωνία μεταξύ ετερογενών δικτυακών κόμβων (π.χ μεταξύ τερματικών ή μεταξύ δικτύου πρόσβασης και συνδεδεμένων τερματικών) για την ανταλλαγή πληροφοριών περιβάλλοντος. Ο βοηθός αυτός λειτουργεί σε γνωστή, για τα δικτυακά στοιχεία, συχνότητα. Δημιουργήθηκε για να χρησιμοποιείται σε μη αδειοδοτούμενες μπάντες συχνοτήτων που τα ασύρματα τερματικά, με γνωσιακές ικανότητες, μπορούν να λειτουργήσουν. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να προσέξουμε ότι αυτή η cognitive μπάνα μπορεί να περιέχει και άλλους χρήστες. Το CCR είναι παρόμοιο με μια ad hoc ασύρματη σύνδεση δικτύου στενής μπάνας που συμπληρώνεται με multi-hop δικτύωση.

Τέλος, η τρίτη τεχνολογία υποστήριξης λέγεται Spectrum Sensing (SS) [39] και εστιάζει στον εντοπισμό των διαθέσιμων ράδιο-συστημάτων ανιχνεύοντας τις συνθήκες ραδιο-μετάδοσης και την ποιότητα της ραδιο-ζεύξης. Σε συνεργασία με το CPC ή το CCR, οι πληροφορίες από το SS μπορούν να διανέμονται σε διαφορετικούς κόμβους.

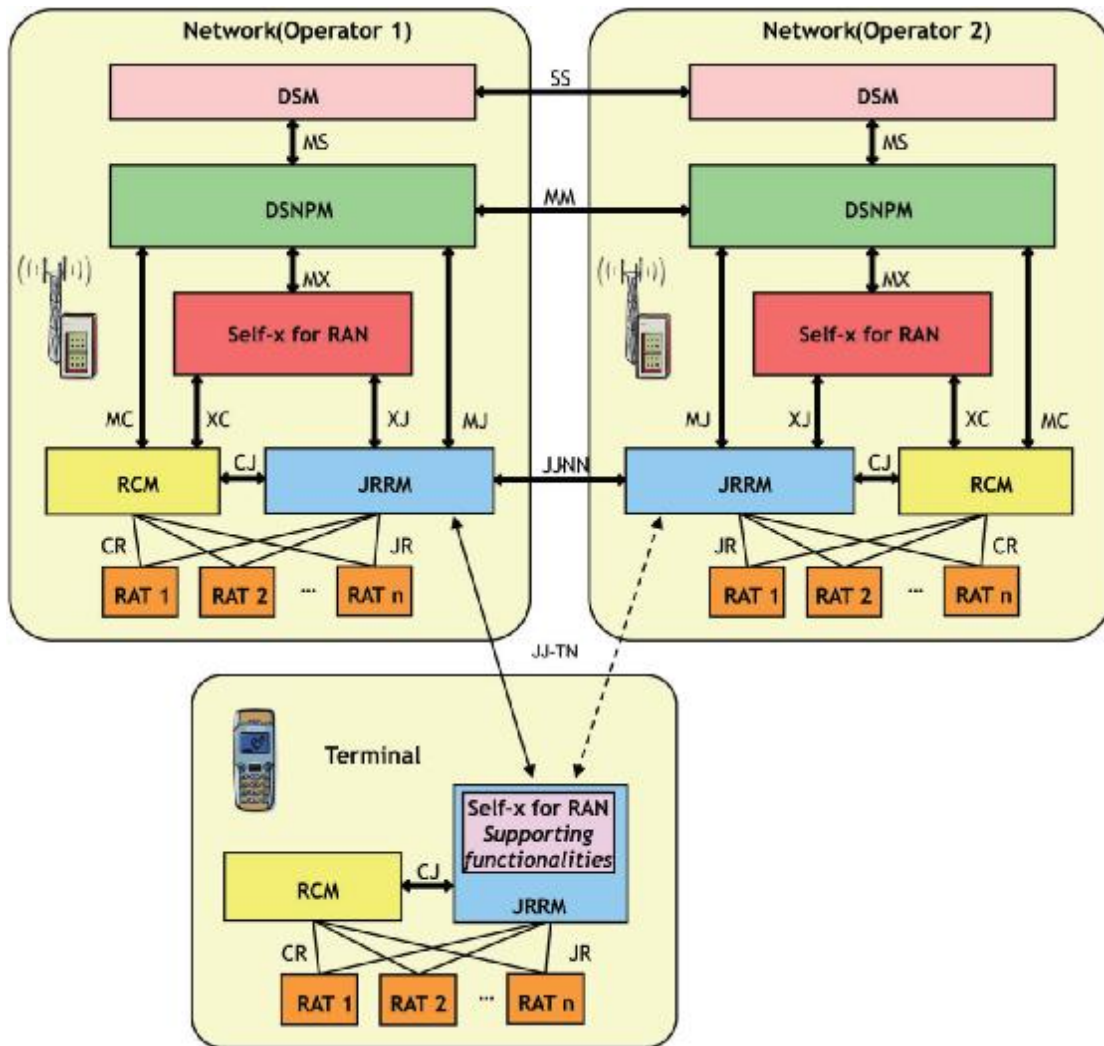
Αυτές οι 3 τεχνολογίες δεν απεικονίζονται στην εικόνα 4-4 αφού η λειτουργία τους ενσωματώνεται σε χαμηλότερου επιπέδου πρωτόκολλα.

#### 4.4.3 Περιπτώσεις Πολλαπλών Παρόχων και Ad-hoc / multi-hop

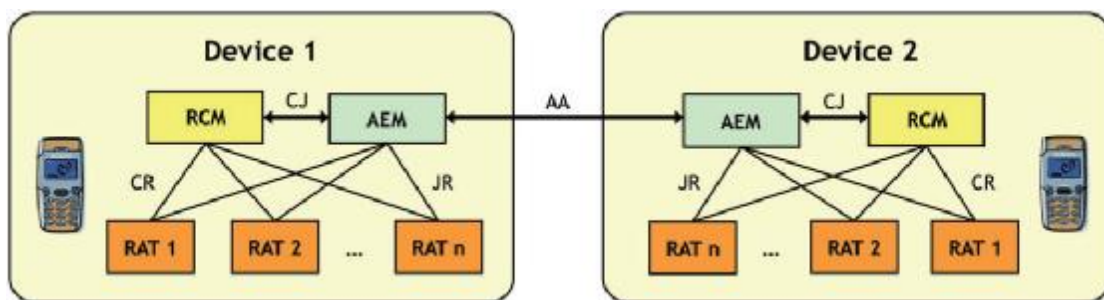
Στην εικόνα 4-5 [28] φαίνεται η λειτουργική αρχιτεκτονική για την περίπτωση πολλαπλών παρόχων. Πρέπει να σημειωθεί πώς ανάλογα με το επίπεδο συνεργασίας μεταξύ των παρόχων, μια, δύο ή και οι τρεις διεπαφές μεταξύ των δικτύων θα χρησιμοποιηθούν. Το SS interface μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαπραγμάτευση του φάσματος μεταξύ των παρόχων. Το MM interface μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με το configuration του δικτύου έτσι ώστε να αποφευχθεί (ή να μειωθεί) η παρεμβολή μεταξύ των δικτύων. Το JJ-NN interface μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το handover των τερματικών μεταξύ των δικτύων (π.χ. σε περιπτώσεις καταμερισμού φόρτου).

Πρέπει επίσης να τονίσουμε ότι ένα τερματικό είναι συνδεδεμένο τυπικά με ένα δίκτυο αλλά, όπως φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή στην εικόνα 4-5, μπορεί ταυτόχρονα να είναι συνδεδεμένο και με άλλους παρόχους. Για παράδειγμα μια υπηρεσία μπορεί να χρησιμοποιεί τη σύνδεση με το πρώτο δίκτυο και μια άλλη υπηρεσία να χρησιμοποιεί το δεύτερο δίκτυο. Κατά τη διάρκεια του handover μεταξύ των δικτύων, το τερματικό μπορεί να χρησιμοποιεί επίσης τα JJ-TN interfaces και των 2 δικτύων.

Επιπλέον, όπως φαίνεται στην εικόνα 4-6, η αρχιτεκτονική του E<sup>3</sup> μπορεί να υποστηρίξει σενάρια ad-hoc και multi-hop. Σε αυτή την περίπτωση αντί για το JRRM block χρησιμοποιείται το Autonomic Entity Management (AEM) block, το οποίο παρέχει παρόμοιες λειτουργίες με το JRRM αλλά με τη διαφορά ότι το AEM λειτουργεί περισσότερο αυτόνομα και δεν επικοινωνεί με το RAN. Αντί αυτού επικοινωνεί με τις υπόλοιπες συσκευές απευθείας χρησιμοποιώντας το AA interface.



Εικόνα 4-5 - E<sup>3</sup> Functional Architecture (Multi-Operator Case), [28]



Εικόνα 4-6 - E<sup>3</sup> Functional Architecture (Ad-hoc or multi-hop case), [28]

## 4.5 Αποτύπωση στο LTE/SAE

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε πως χαρτογραφούμε τα blocks της E<sup>3</sup> αρχιτεκτονικής, πάνω στην LTE/SAE αρχιτεκτονική σύμφωνα με το [29]. Στην εικόνα 4-7 εμφανίζεται η ενσωμάτωση των λειτουργικών οντοτήτων, που είδαμε προηγουμένως, πάνω στα δικτυακά στοιχεία.

Το σύστημα αποτελείται από τον εξοπλισμό του χρήστη (User Equipment – UE) συνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα eRAN (evolved RAN) και τα RAN είναι συνδεδεμένα με ένα ή περισσότερα packet core δίκτυα. Τα δίκτυα κορμού (core network) παρέχουν συνδεσιμότητα σε εξωτερικά δίκτυα μεταφοράς πακέτων δεδομένων (Packet Data Networks - PDNs). Τα «εξελιγμένα» packet core δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν σε συνδυασμό με:

- ένα προϋπάρχων 3GPP σύστημα πρόσβασης (2G/3G) μέσω από το υπάρχων UMTS δίκτυο κορμού.
- με έμπιστα non-3GPP IP δίκτυα πρόσβασης
- με δίκτυα πρόσβασης WLAN μέσω του evolved packet data gateway (ePDG).

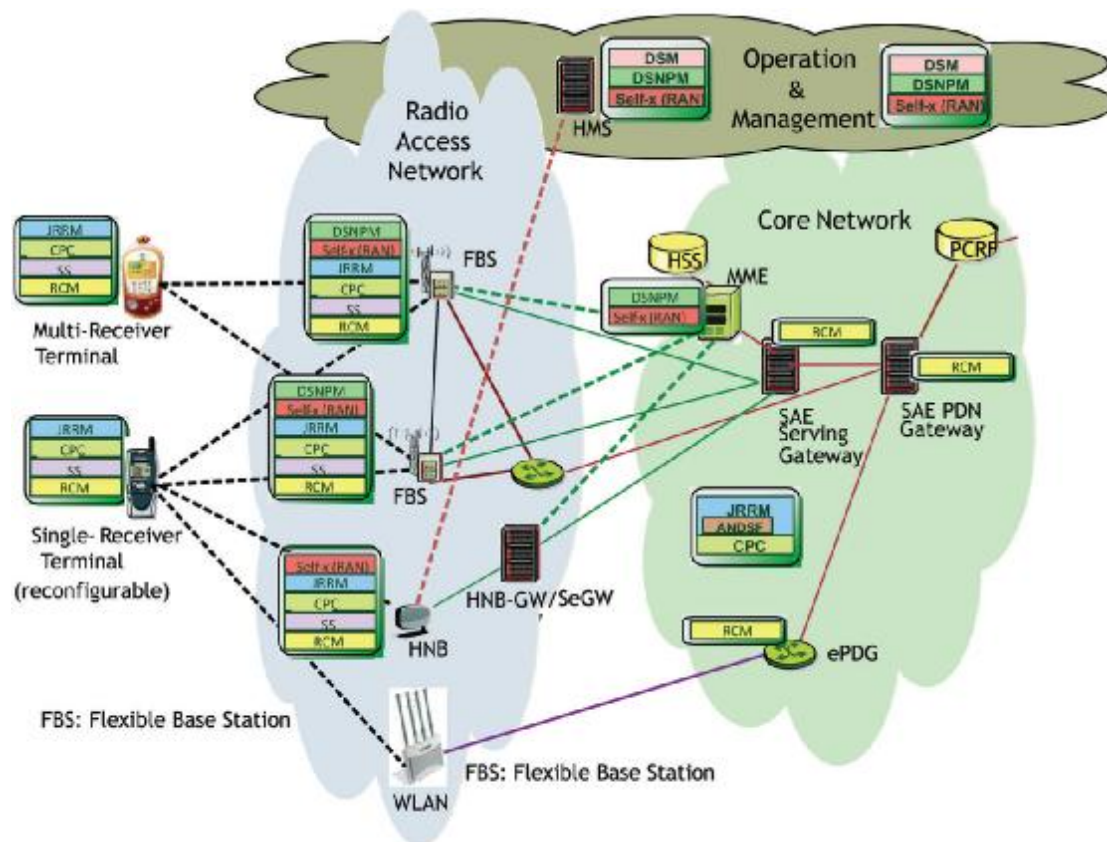
Το «εξελιγμένο» 3GPP σύστημα επίσης αποτελείται από Home Subscriber Server και από συστήματα ή λειτουργίες με 3GPP υπηρεσίες όπως είναι η Policy Charging Rule Function (PCRF), η λειτουργία εφαρμογών, το broadcast/multicast service centre (BM-SC) και το IP multimedia υποσύστημα.

Το evolved RAN αποτελείται από ένα αριθμό από evolved Node-Bs (eNBs), ενώ το evolved packet δίκτυο κορμού αποτελείται από:

- Mobility Management Entity (MME)
- Serving Gateway (S-GW)
- PDN Gateway (P-GW)

Όπως μπορούμε να δούμε, το RCM υπάρχει σε όλες τις παραμετροποιήσιμες οντότητες (π.χ. ασύρματες συσκευές, FBS, SAE Serving Gateway, PDN Gateway όπως και ePDG). Η επιλογή αυτού του σχεδιασμού έγινε γιατί αυτές οι οντότητες πρέπει να μπορούν να δεχτούν και να εκτελούν εντολές παραμετροποίησης από άλλες λειτουργικές οντότητες. Τέτοιες εντολές μπορεί να είναι: η εκτέλεση αποφάσεων για επιλογή RAT και παραμετροποίησης πρωτοκόλλου από το JRRM, η απόφαση για νέο σχεδιασμό από το DSNPM, ή η απόφαση για παραμετροποίηση ενός FBS από το

Self-x for RAN για να αντιμετωπιστεί ένα πρόβλημα στο δίκτυο με ένα γειτονικό FBS.



Εικόνα 4-7 - E<sup>3</sup>, Mapping of Building Blocks to network entities, [28]

Στο τερματικό εντοπίζουμε τη λειτουργία CPC. Με τη λειτουργία αυτή το τερματικό συλλέγει τις CPC broadcast πληροφορίες ή στέλνει αιτήματα CPC για να λάβει συγκεκριμένες πληροφορίες του δικτύου. (π.χ. τη διαθεσιμότητα RAT στην περιοχή). Το JRRM είναι αυτό που παρέχει τις CPC πληροφορίες προς τους σταθμούς και αυτοί προς τα τερματικά.

Το Spectrum Sensing (SS) ενσωματώνεται στους FSB και στα UE. Σκοπός του είναι η ανίχνευση του φάσματος και αφού επεξεργαστεί τα δεδομένα τα μετατρέπει σε μορφή αναγνωρίσιμη από το DSNPM.

Το JRRM είναι βασική λειτουργική οντότητα, η οποία υπάρχει στα τερματικά και στο δίκτυο. Στα τερματικά, όταν βρίσκονται σε κατάσταση αδράνειας (idle state), το JRRM-TE κάνει μετρήσεις για την ποιότητα και απόδοση της σύνδεσης με σκοπό την επιλογή της σύνδεσης. Σε κατάσταση σύνδεσης, η επιλογή της σύνδεσης γίνεται σε συνεργασία με το JRRM του δικτύου. Το JRRM μπορεί να βρίσκεται σε διάφορα

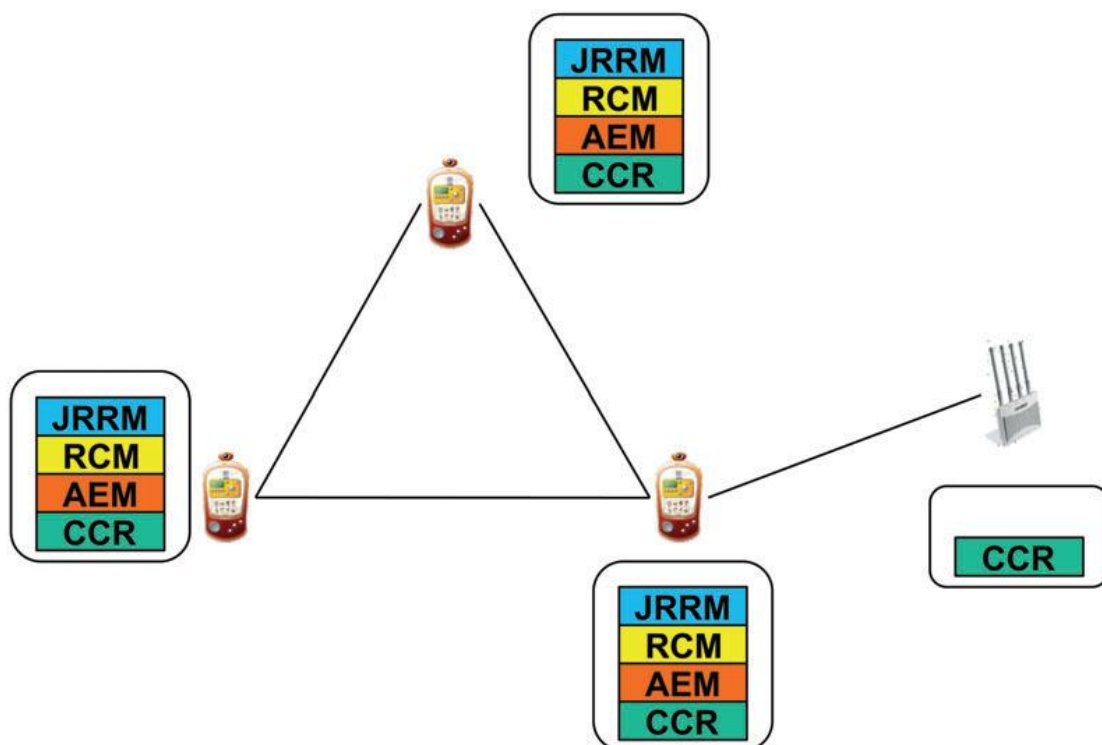


σημεία. Οι λειτουργίες JRRM συνήθως συναντώνται στους σταθμούς βάσης (π.χ. eNodeB), αλλά κάποιες από αυτές μπορεί να τις συναντήσουμε και πιο κεντρικά.

Το Self-x for RAN εντοπίζεται στα στοιχεία του δικτύου πρόσβασης (π.χ. FBS, HNB), στο δίκτυο κορμού (MME) και στο O&M κομμάτι του δικτύου. Στόχος του Self-x for RAN είναι η αυτό-οργάνωση του RAN σε περιπτώσεις όπως η βελτιστοποίηση των handover και η αυτό-διόρθωση προβλημάτων στις κυνέλες με καταμερισμό του φόρτου. Το Self-x for RAN συνεργάζεται με το DSNPM (σε KPIs και πολιτικές), με το JRRM (εκτέλεση αποφάσεων του Self-x for RAN, συλλογή μετρήσεων) και με το RCM το οποίο εκτελεί τις αποφάσεις του Self-x for RAN.

Οι DSNPM λειτουργίες βρίσκονται στο O&M κομμάτι, στο EPC (MME) και στο evolved RAN (FBS). Επίσης, η εκτέλεση συγκεκριμένων λειτουργιών όπως η διαχείριση των πολιτικών μπορεί να εκτελούνται στο PCRF και/ ή στο HSS.

Η DSM λειτουργία βρίσκεται στο O&M μέρος του δικτύου και παρέχει ένα πλαίσιο με τις πολιτικές του παρόχου και τους νομικούς περιορισμούς για τη σωστή διαχείριση του φάσματος στο δίκτυο. Η τελική απόφαση, για το ποιες συχνότητες θα χρησιμοποιηθούν στο σταθμό, έρχεται μέσα από το RAN (FBS) κυρίως από το DSNPM.



Εικόνα 4-8 – E<sup>3</sup>, Mapping of functional blocks in a mesh-based environment, [29]

Το AEM και CCR είναι δυο λειτουργικές οντότητες που προσδιορίστηκαν από το E3 για τη περίπτωση των mesh δικτύων (π.χ. χρήση του IEEE 802.11).

Το CCR είναι μια out-band peer-to-peer ασύρματη επικοινωνία μεταξύ ετερογενών δικτύων για την ανταλλαγή πληροφοριών που έχουν σχέση με την γνώση του περιβάλλοντος. Οι πληροφορίες που μεταδίδονται μέσα από το CCR περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Μηνύματα που βοηθούν έναν καινούριο κόμβο να βρει τη συχνότητα του δικτύου του.
- Εάν ένα δίκτυο έχει μικρή πυκνότητα κόμβων, τα γύρω δίκτυα μοιράζονται μέσω του CCR τις μετρήσεις που έγιναν από το spectrum sensing. Έτσι με αυτό το τρόπο κάθε δίκτυο θα λάβει πιο λεπτομερές πληροφορίες σχετικά με το φάσμα.
- Μηνύματα για τη διαπραγμάτευση του φάσματος. Ο στόχος τους είναι η σωστή και δίκαιη χρήση του φάσματος έτσι ώστε να αποφευχθούν διαφορές και «αδικίες» στο μοίρασμα.

Στόχος του AEM είναι να πετύχει την βέλτιστη παραμετροποίηση της συσκευής και να αποφασίσει για την καλύτερη ad hoc επικοινωνία. Για να γίνει αυτό συλλέγει τις πληροφορίες από το CCR και ζητάει από το RCM να εκτελέσει τις αποφάσεις του. Επίσης επικοινωνεί με το JRRM για περιπτώσεις που το UE είναι συνδεδεμένο με κάποιο mesh-δίκτυο και ταυτόχρονα με κάποιο δομημένο δίκτυο. Μέσα από το JRRM, το AEM παίρνει πληροφορίες για τις πολιτικές και για το context. Το AEM μπορεί επίσης να ειδοποιήσει το JRRM να εκτελέσει τη λειτουργία RAT selection εάν αυτό απαιτείται για τη βέλτιστη παραμετροποίηση της συσκευής. Το AEM είναι η βασική οντότητα στην αναδιοργάνωση και στο νέο σχεδιασμό του mesh δικτύου με στόχο να πετύχει την βέλτιστη απόδοση. (π.χ. ελαχιστοποίηση κατανάλωσης μπαταρίας). Η λειτουργικότητα του AEM και του CCR μπορούν να ενσωματωθούν στο application layer ενός τυπικού TCP/IP κόμβου.

## **4.6 Παραδείγματα λειτουργίας**

Το πολύπλοκο λειτουργικό περιβάλλον των μελλοντικών ασυρμάτων δικτύων απαιτεί από τις λειτουργικές οντότητες να διαθέτουν γνωσιακές ικανότητες και σε

αυτό βοηθούν οι τρεις τεχνολογίες υποστήριξης (CPC, CCR και SS) που αναφέραμε νωρίτερα.

Η γνωσιακή ικανότητα αποτελεί καθοριστικό στοιχείο των self-x λειτουργιών που χαρακτηρίζει την E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική. Η ικανότητα αυτή επιτρέπει στα συστήματα να αποφασίζουν για την συμπεριφορά τους, είτε προληπτικά είτε αντιδραστικά, βασιζόμενοι σε εξωτερικά ερεθίσματα, όπως επίσης να αποφασίζουν για τους στόχους, τις αρχές, τις δυνατότητες, την εμπειρία και τη γνώση. Το επίπεδο της γνώσης, οι self-x λειτουργίες (self-configuration, self-planning, self-optimization, self-managing, self-healing), όπως επίσης και τα συστατικά της κάθε self-x λειτουργία των λειτουργικών οντοτήτων, εξαρτώνται από τον ακριβή ρόλο, τις ευθύνες και τις σχετικές λειτουργίες της κάθε λειτουργικής οντότητας.

Ο Self-x μηχανισμός υπάρχει στις εξής λειτουργικές οντότητες:

- Στο AEM όταν ένα τερματικό βρίσκεται σε ad hoc λειτουργία.
- Στο DSNPM για την βελτιστοποίηση του δικτύου κορμού.
- Στο Self-x (for RAN), για την βελτιστοποίηση λειτουργίας των δικτύων πρόσβασης (RANs)

Παρακάτω θα δούμε 2 παραδείγματα για να διευκρινίσουμε το πως διαλειτουργούν οι λειτουργικές μονάδες με Self-x ικανότητες, χρησιμοποιώντας τις απαραίτητες πληροφορίες. Στο πρώτο παράδειγμα, υποθέτουμε πως έχουμε συμφόρηση στο δίκτυο και η αντίστοιχη Self-x λειτουργία (self-managing) της σχετικής λειτουργικής οντότητας (DSNPM) ενεργοποιείται για να αντιμετωπίσει την κατάσταση με τις κατάλληλες ενέργειες. Πιο συγκεκριμένα, τις αντίστοιχες λειτουργικές οντότητες (JRRM και DSNPM) συγκεντρώνουν context πληροφορίες (κατάσταση του RAN), οι οποίες δείχνουν συμφόρηση κίνησης σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο. Αυτές οι πληροφορίες επεξεργάζονται από τη λειτουργία διαχείρισης context του DSNPM και προωθούνται στη λήψη αποφάσεων του DSNPM για να εκτελεστούν οι κατάλληλες ενέργειες. Την ίδια στιγμή, στο κομμάτι της λήψης αποφάσεων προωθούνται πληροφορίες από τα profiles των FBSs για το συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο. Στη συνέχεια οι context και οι profile πληροφορίες προωθούνται στο κομμάτι διαχείρισης γνώσης. Η διαχείριση γνώσης συγκρίνει την παρούσα κατάσταση με προηγούμενες που έχει αντιμετωπίσει το σύστημα, και εάν ικανοποιούνται παρόμοια κριτήρια ενημερώνει το κομμάτι της

λήψης αποφάσεων να εκτελέσει τις κατάλληλες αποφάσεις/ λύσεις/ ενέργειες. Η σύγκριση μεταξύ της παρούσας και των προηγούμενων καταστάσεων μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας context-matching αλγόριθμους, οι οποίοι στοχεύουν να βρουν το πιο κοντινό context αναφοράς σε σχέση με το καινούριο. Η απόφαση μπορεί να περιλαμβάνει καινούριο configuration (για το RAT και την συχνότητα) των FBSs σε κάποια περιοχή, κατανομή της κίνησης (φόρτου) στους FBSs και κατανομή των QoS επιπέδων στις υπηρεσίες. Έπειτα, το κομμάτι της λήψης αποφάσεων ελέγχει το αν η προτεινόμενη λύση μπορεί να εφαρμοστεί και εφόσον είναι εφικτό, προωθεί την απόφαση στη κατάλληλη λειτουργική οντότητα (π.χ. στο RCM για τη παραμετροποίηση ενός FBS). Εάν δεν είναι εφικτό προωθεί τους κατάλληλους αλγόριθμους για να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Πρέπει να σημειώσουμε επίσης πως οι αποφάσεις σχετίζονται άμεσα με τις σχετικές πολιτικές για την κάθε περίπτωση αντίστοιχα.

Ένα επιπλέον παράδειγμα είναι το παρακάτω. Ας υποθέσουμε την περίπτωση που ένα τερματικό πρέπει να διαλέξει μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης (RAT) για μια υπηρεσία του. Η Self-x λειτουργικότητα του AEM ενεργοποιείται και συλλέγονται οι σχετικές context πληροφορίες (π.χ. διαθέσιμες συχνότητες/ πόροι, RAT) από το CPC και/ ή από το CCR και το JRRM. Αυτές οι πληροφορίες επεξεργάζονται από το κομμάτι διαχείρισης context του AEM και στη συνέχεια προωθούνται στη λήψη αποφάσεων μαζί με τις profile πληροφορίες του χρήστη και του τερματικού. Η λήψη της απόφασης γίνεται σύμφωνα με τις σχετικές πολιτικές (π.χ. κανόνες/ πολιτικές των ρυθμιστικών αρχών για τα επιτρεπόμενα RATs ανά μπάνα συχνότητων και τη στρατηγική των χρηστών) και σύμφωνα με τη συμπεριφορά του τερματικού σε παρόμοιες συνθήκες (knowledge management). Εάν η προτεινόμενη-πιθανή λύση (που προτάθηκε από τη διαχείριση γνώσης) είναι ικανοποιητική, τότε η οντότητα λήψης αποφάσεων την υιοθετεί. Ένα όχι, δίνει εντολή για ποιο δίκτυο πρόσβασης να επιλέξει. Αυτό γίνεται μέσω μια διαδικασίας βελτιστοποίησης που αξιολογεί όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους μηχανισμούς (utility-based functions, fuzzyneural μηχανισμούς ή game theory αρχές).

## 5. Παρουσίαση μια βελτιωμένης αρχιτεκτονικής SON

### 5.1 Σκοπός

Μελετώντας το E<sup>3</sup> project θα μπορούσαμε να προτείνουμε κάποιες λύσεις με σκοπό την βελτίωση της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής. Με μια γρήγορη ματιά στην αρχιτεκτονική του E<sup>3</sup> θα μπορούσαμε να πούμε ότι γίνεται παραπάνω, από το αναγκαίο, χρήση των λειτουργικών οντοτήτων και των αντίστοιχων λογικών καναλιών και σημάτων.

Προσέχοντας, λοιπόν, καλύτερα την E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική παρατηρούμε ότι πολλές από τις λειτουργικές οντότητες εμφανίζονται και συνυπάρχουν με άλλα Blocks στα περισσότερα κομμάτια του. Για παράδειγμα το DSNPM εμφανίζεται στο Radio Access Network, στο Core Network καθώς και στο Operation & Management κομμάτι του δικτύου. Με την παρουσία του DSNPM σε όλα τα παραπάνω στοιχεία, η εκτέλεση των ενεργειών (για τις οποίες το ίδιο το block αποφασίζει) μπορεί να φαίνεται πιο εύκολη όμως με αυτόν τον τρόπο αυξάνουμε τον αριθμό των λογικών καναλιών και των αντίστοιχων σημάτων. Επίσης, με αυτή την αποτύπωση εμφανίζεται να κάνει μια σειρά από ορθογώνιες διαδικασίες. Σε κάποιες περιπτώσεις η χρησιμοποίηση και η ονομασία κάποιων λειτουργικών οντοτήτων φαίνεται ατυχής καθώς είτε δημιουργεί πολυπλοκότητα είτε αποτελεί πλεονασμό. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η χρήση της λειτουργικής οντότητας JRRM στα τερματικά (User Equipment). Ο διαχωρισμός του σε JRRM δικτύου (JRRM-N) και JRRM τερματικών (JRRM-TE) δημιουργεί πολυπλοκότητα καθώς επίσης αποτελεί πλεονασμό αφού τα τερματικά δεν κάνουν διαχείριση ραδιοπόρων από διαφορετικά ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, παρά μόνο δέχονται αποφάσεις για ενέργειες που πρέπει να εκτελέσουν.

Παρακάτω θα αναλύσουμε το Simply SON project. Το Simply SON είναι μια αρχιτεκτονική, βασισμένη στην E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της σηματοδότησης και του αριθμού των λογικών καναλιών καθώς επίσης και την απλοποίηση του συστήματος με λιγότερα αριθμητικά αλλά περισσότερο αποδοτικές λειτουργικές οντότητες.

## 5.2 Ανάλυση Αρχιτεκτονικής

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως ο βασικός στόχος της αρχιτεκτονικής που προτείνουμε και η διαφορά της από την E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική είναι η ελαχιστοποίηση της σηματοδοσίας και η χρήση περισσότερο λειτουργικών οντοτήτων.

### 5.2.1 Λειτουργικές Οντότητες

Οι λειτουργικές οντότητες που συναντάμε στην αρχιτεκτονική μας είναι:

- Self-x
- Joint Radio Resource Management (JRRM)
- Radio Management (RM)
- Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Network Planning (NP)
- Cognitive Pilot Channel (CPC) σαν τεχνολογία υποστήριξης.

Το Dynamic Spectrum Management (DSM) παρέχει τη μέσο και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, το DSM παρέχει τις πληροφορίες για την ανάθεση των συχνοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη τις πολιτικές και το ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με την χρήση του φάσματος. Επίσης το DSM αποφασίζει για τις παραμετροποιήσεις των σταθμών (FBS) και δίνει τις αποφάσεις στο αντίστοιχο Self-x, το οποίο είναι αρμόδιο για να εκτελέσει τις κατάλληλες ενέργειες.

Το Network Planning (NP) παρέχει τις μέσο και μακροπρόθεσμες αποφάσεις για την οργάνωση του δικτύου. Το NP ενημερώνεται για την κάθε αλλαγή στο δίκτυο και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη δομή αυτού.

Το Joint Radio Resource Management (JRRM) είναι υπεύθυνο, όπως και στην E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική, για την διαχείριση των ραδιο-πόρων που μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά RAT και ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη θα βοηθήσει το τερματικό διαλέξει την καλύτερη πρόσβαση για αυτόν. Έτσι το JRRM θα εκτελέσει τις κατάλληλες ενέργειες για να ολοκληρωθεί ή όχι το handover ανάμεσα στα RAT, λαμβάνοντας υπόψη του:

- Το απαιτούμενο QoS
- Τις συνθήκες μετάδοσης
- Την κατάσταση του δικτύου
- Τις προτιμήσεις του χρήστη
- Τις πολιτικές του δικτύου

Επιπλέον, το JRRM παρέχει στο CPC, πληροφορίες σχετικές με τους γειτονικούς σταθμούς και τα σημεία πρόσβασης. Με αυτό τον τρόπο το CPC ενημερώνεται για τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης έτσι ώστε να βοηθήσει στην αναζήτηση διαθέσιμης πρόσβασης.

Το Radio Management (RM) παρέχει την μέσο και βραχυπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος. Το RM το συναντάμε στους σταθμούς βάσης και είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του φάσματος, που έχει ανατεθεί στο σταθμό βάσης από το DSM, έτσι ώστε να εξυπηρετήσει τα τερματικά.

Το Self-x είναι μια από τις πιο βασικές οντότητες και υπάρχει σχεδόν σε όλα τα δικτυακά στοιχεία. Το Self-x σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εκτελεί όλες τις λειτουργίες και διαδικασίες που σχετίζονται με την αυτό-διοργάνωση ενός δικτύου. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το Self-x αντικαθιστά το RCM της E3 αρχιτεκτονικής αλλά στην περίπτωση μας το Self-x υποστηρίζει και τις υπόλοιπες λειτουργίες που είναι διαθέσιμες στην E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική και είναι απαραίτητες για τη σωστή και αυτόνομη λειτουργία του τερματικού. Μερικές από τις πιο βασικές λειτουργίες του Self-x είναι οι παρακάτω:

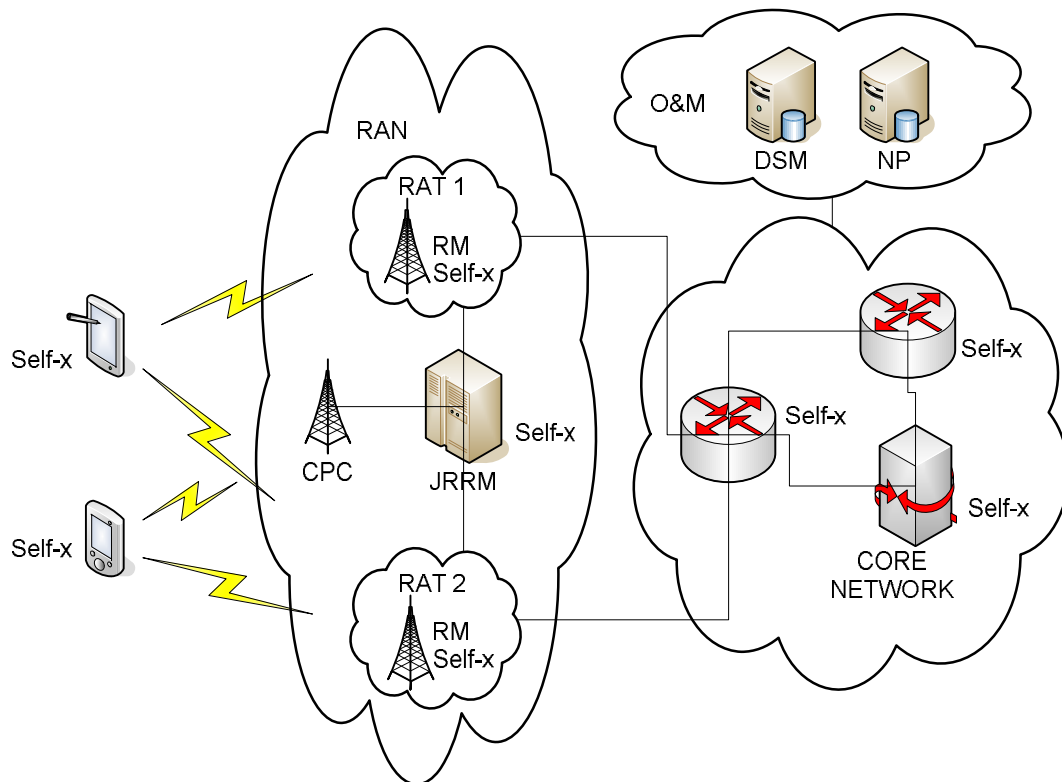
- Εκτέλεση των ενεργειών που σχετίζονται με την αυτό-διοργάνωση του δικτύου.
- Ανίχνευση των Broadcast σημάτων (π.χ. CPC)
- Συλλογή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον (παρεμβολές, ελεύθερα κανάλια κ.α.) και αποστολή αυτών σε ανώτερες βαθμίδες διαχείρισης του δικτύου.
- Επικοινωνία με άλλες λειτουργικές οντότητες για ανταλλαγή πληροφοριών, μεταφορά εντολών και τον συγχρονισμό τους με τα νέα δεδομένα του δικτύου.

## 5.2.2 Cognition Enabler

Το CPC, όπως και στην  $E^3$  αρχιτεκτονική, αποτελεί τεχνολογία υποστήριξης με στόχο τη συλλογή πληροφοριών από το δικτυακό περιβάλλον και την μετάδοσης τους προς κάθε ενδιαφερόμενο. Πιο συγκεκριμένα, η χρησιμότητα του CPC είναι να ενημερώνει τα τερματικά με τις κατάλληλες παραμέτρους έτσι ώστε να λειτουργούν αποτελεσματικά. Ένα παράδειγμα είναι η ενημέρωση των τερματικών για τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης στο συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο. Το συγκεκριμένο παράδειγμα θα το αναλύσουμε και παρακάτω.

## 5.3 Αποτύπωση σε δικτυακές οντότητες

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 5-1) μπορούμε να δούμε πως τα blocks που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα σχεδιάζονται στις δικτυακές οντότητες ενός 3GPP δικτύου και ποιες είναι οι βασικές λειτουργίες τους μέσα σε αυτό.



Εικόνα 5-1 – Αποτύπωση των λειτουργικών block σε δικτυακές οντότητες



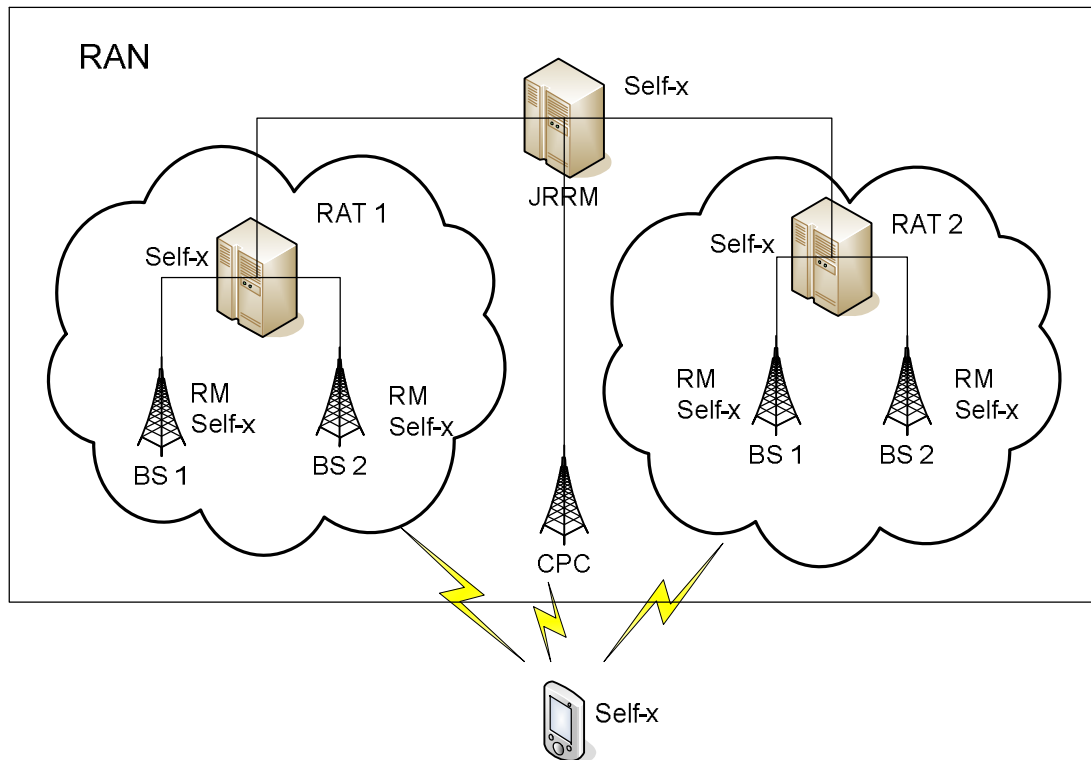
Το self-x υπάρχει σε όλες τις παραμετροποιήσιμες συσκευές (π.χ. ασύρματες συσκευές, σταθμοί βάσης κ.τ.λ.). Αυτές οι συσκευές (οντότητες) πρέπει να έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζονται δυναμικά στα καινούρια δεδομένα του δικτύου. Αυτό το πετυχαίνουν εκτελώντας όλες τις απαραίτητες ενέργειες παραμετροποίησης καθώς επίσης υποστηρίζουν και ακολουθούν εντολές από άλλα block (π.χ. forced handover, frequency reassignment). Σε ένα ασύρματο δίκτυο τα δεδομένα αλλάζουν συνέχεια και καταλαβαίνουμε ότι τα περισσότερα ευάλωτα δικτυακά στοιχεία σε αυτές τις αλλαγές είναι τα ασύρματα τερματικά (εξοπλισμός χρήστη) και οι σταθμοί βάσης (base stations). Συνεπώς η παρουσία του Self-x block σε αυτά τα στοιχεία είναι απαραίτητη.

Στην περίπτωση του εξοπλισμού χρήστη (UE), το Self-x χρησιμοποιείται κυρίως για:

- Ανίχνευση CPC και ανάκτηση δεδομένων από αυτό: Με αυτή τη λειτουργία ανιχνεύει τη συχνότητα εκπομπής του CPC και δέχεται το broadcast μήνυμα από αυτό. Στην συνέχεια αναλύει το μήνυμα και παίρνει πληροφορίες σχετικά με την διαθεσιμότητα ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης στο συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο.
- RAT selection/switching: Με αυτή τη λειτουργία, αφού έχει πάρει τις απαραίτητες πληροφορίες από το CPC για το ποιες τεχνολογίες πρόσβασης είναι διαθέσιμες, το τερματικό θα κάνει την επιλογή για το ποια τεχνολογία θα χρησιμοποιήσει ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη (RAT Selection). Το ίδιο θα συμβεί και στην περίπτωση που ενώ είναι συνδεδεμένο με μια τεχνολογία, οι απαιτήσεις του χρήστη άλλαξαν και η χρήση κάποια άλλης τεχνολογίας πρόσβασης κρίνεται καλύτερη ή προτιμότερη. Σε αυτή την περίπτωση, σε συνεννόηση με το JRRM θα ξεκινήσει τη διαδικασία αλλαγής τεχνολογίας πρόσβασης (RAT Switching).
- Protocol Download: Με αυτή τη λειτουργία, η συσκευή έχει τη δυνατότητα να αναβαθμίσει το λογισμικό της στη τελευταία διαθέσιμη έκδοση.
- Protocol Reconfiguration: Με τη λειτουργία της επανα-παραμετροποίησης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, το τερματικό μπορεί να προσαρμοστεί στα καινούρια δεδομένα και συνθήκες κάνοντας τις κατάλληλες αλλαγές στις παραμέτρους του. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να γίνονται σε συνεννόηση με άλλα block (Self-x σταθμού βάσης, JRRM κ.α.) σε περίπτωση που είναι

προγραμματισμένες (π.χ. Load balancing) ή μπορεί να είναι αποφάσεις του ίδιου του Self-x της συσκευής σε περίπτωση απρόσμενου γεγονότος ή προβλήματος (failures).

- Performance Measurements: Με αυτή τη λειτουργία, η ασύρματη συσκευή του χρήστη κάνει μετρήσεις σχετικά με την ποιότητα του σήματος (ισχύ σήματος, παρεμβολή κτλ)



Εικόνα 5-2 – Αποτύπωση Self-x στους σταθμούς βάσης και στα τερματικά

Στην περίπτωση του σταθμού βάσης (BS), το Self-x χρησιμοποιείται κυρίως για:

- Protocol Download: Με αυτή τη λειτουργία, όπως και στα τερματικά, ο σταθμός βάσης έχει τη δυνατότητα να λάβει και να αναβαθμίσει το λογισμικό του στην πιο πρόσφατη έκδοση.
- Protocol Reconfiguration: Με αυτή τη λειτουργία, ο σταθμός βάσης μπορεί να παραμετροποιήσει τις παραμέτρους λειτουργίας του, εκτελώντας αποφάσεις του DSM είτε αποφάσεις που λαμβάνει ο ίδιος ο σταθμός βάσης. Στην πρώτη περίπτωση το DSM παίρνει τις μέσο και μακροπρόθεσμες αποφάσεις σχετικά με το φάσμα που θα χρησιμοποιηθεί από τον σταθμό βάσης και στέλνει τις εντολές στο Self-x του για να τις εκτελέσει. Το Self-x αφού αναλύσει τα δεδομένα και έρθει σε συμφωνία με το DSM τότε θα στείλει τις αποφάσεις

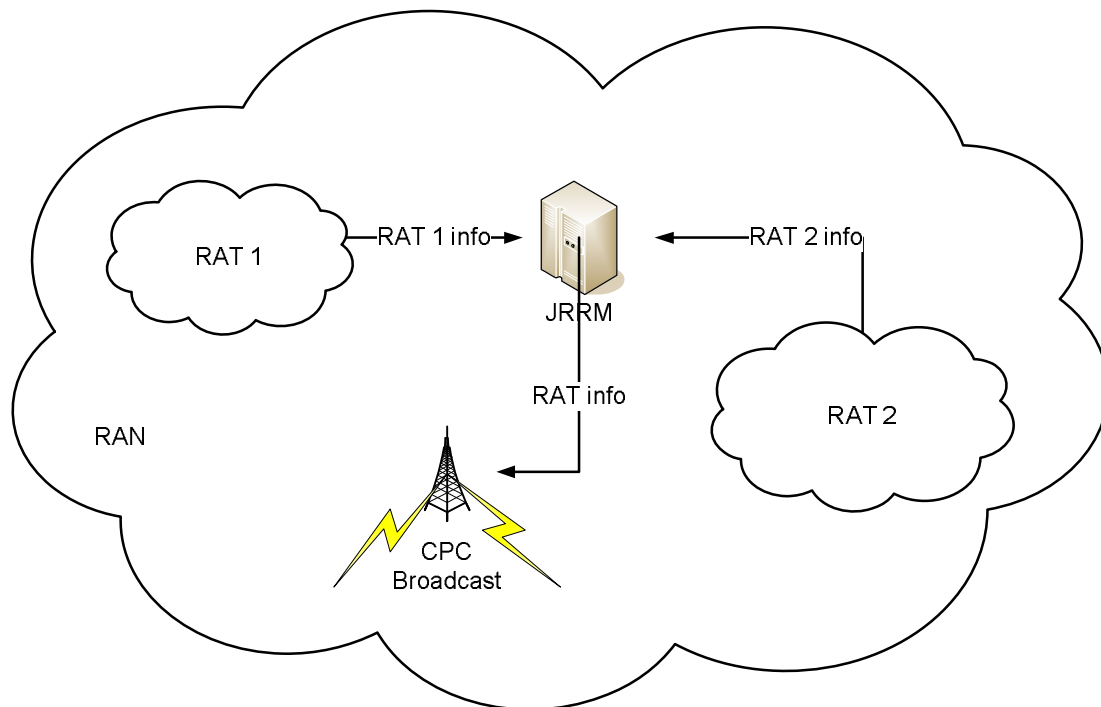
που έχουν σχέση με την διαχείριση του φάσματος στο RM block. Στην δεύτερη περίπτωση το ίδιο το Self-x του σταθμού βάσης παίρνει αποφάσεις για την διαχείριση των λειτουργιών του ανάλογα με το γεγονός που θα προκύψει και αντίστοιχα θα τις εκτελέσει ή θα στείλει τις κατάλληλες οδηγίες στο RM block του σταθμού βάσης. Αυτό μπορεί να συμβεί σε διάφορες περιπτώσεις όπως είναι η αλλαγή ενεργειακή κατάσταση (π.χ. Energy saving), ο επανα-καταμερισμός καναλιών (radio parameters), η αντιμετώπιση προβλημάτων (Self-Healing, π.χ. διακοπή σύνδεσης με δίκτυο κορμού) και σε περιπτώσεις Self-Optimization όπως είναι ο καταμερισμός φόρτου.

- Performance Measurements, Event/ Fault Detection: Με αυτή τη λειτουργία ο σταθμός βάσης κάνει μετρήσεις σχετικά με την απόδοση λειτουργίας του και ταυτόχρονα ελέγχει για απρόσμενα γεγονότα ή προβλήματα (παρεμβολές, Handover failures).
- Context Information Collection: Με αυτή τη λειτουργία ο σταθμός βάσης συλλέγει πληροφορίες context τις οποίες ανταλλάσσει με το JRRM, NP και DSM.

Το Radio Management (RM) block υπάρχει σε όλους τους σταθμούς βάσης. Το RM block παίρνει τις μέσο και βραχυπρόθεσμες αποφάσεις για την διαχείριση του φάσματος και την απόδοση καναλιών ανάλογα με τις περιστάσεις και τις απαιτήσεις του τερματικού (χρήστης). Το RM ανάλογα με τη περίπτωση μπορεί να δράσει μόνο του (π.χ. καταμερισμός συχνοτήτων σε τερματικά) ή σε συνεννόηση με το Self-x του σταθμού βάσης (αρχική οριοθέτηση διαθέσιμου φάσματος, αντιμετώπιση απρόσμενων γεγονότων ή προβλημάτων).

Το JRRM ανήκει στο Radio Access Network αλλά δεν βρίσκεται στους σταθμούς βάσης. Το JRRM τοποθετείται σε μια άλλη υπάρχουσα ή καινούρια δικτυακή οντότητα σε πιο κεντρική θέση και είναι υπεύθυνο για τις τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (RATs) και τους αντίστοιχους σταθμούς βάσης που υπάρχουν στην περιοχή του. Πιο συγκεκριμένα, κάθε JRRM έχει στην επίβλεψη του τα RATs που εντοπίζονται σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Η βασική του λειτουργία είναι η καθοδήγηση των τερματικών και των σταθμών κατά τη διάρκεια των handover μεταξύ τεχνολογιών πρόσβασης (RATs) σύμφωνα με τα κριτήρια (JRRM πολιτικές) που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Επίσης το JRRM συλλέγει

πληροφορίες και στατιστικά για τις διαθέσιμες τεχνολογίες και σταθμούς βάσης και ενημερώνει αναλόγως το CPC και το NP, τα οποία και θα μελετήσουμε παρακάτω.



Εικόνα 5-3 – Αποτύπωση και λειτουργία JRRM και CPC

Το CPC, όπως και το JRRM, ανήκει στο RAN. Η γεωγραφική του θέση εξαρτάται από την σχεδίαση και την κάλυψη του δικτύου. Το CPC έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να καλύπτει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και να παρέχει πληροφορίες στα τερματικά σχετικά με τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης. Η συγκεκριμένη αυτή περιοχή είναι η ίδια με αυτή του αντίστοιχου JRRM. Το CPC βρίσκεται σε μια συνεχή επικοινωνία με το JRRM από το οποίο και «μαθαίνει» τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης και τους αντίστοιχους διαθέσιμους σταθμούς βάσης.

Το DSM, όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα 5-1, βρίσκεται στο Operation and Management κομμάτι του δικτύου. Μερικές από τις λειτουργίες του είναι οι παρακάτω:

- **Spectrum Management:** Η κύρια λειτουργία του είναι η μέσο και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος για τα διάφορα ραδιο-συστήματα. Με αυτό το τρόπο το DSM αποφασίζει για το ποιο κομμάτι του φάσματος θα χρησιμοποιηθεί από το κάθε σταθμό βάσης. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια πως θα

γίνει και δεκτό από τον αντίστοιχο σταθμό βάσης καθώς υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που πρέπει να ελεγχθούν.

- **Policy Management:** Μια σημαντική λειτουργία του DSM είναι η γνώση των πολιτικών και των κανονισμών, σύμφωνα με τα οποία γίνεται η απόδοση του φάσματος στα διάφορα δικτυακά στοιχεία. Παράδειγμα τέτοιας πολιτικής είναι η *Dynamic Spectrum Access policy*, που είδαμε και στην E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική στο προηγούμενο κεφάλαιο, η οποία απορρέει από τον πάροχο λαμβάνοντας υπόψη τους ρυθμιστικούς κανόνες για τον καθορισμό των συχνοτήτων στα RAT.
- **Knowledge Management:** Μια ακόμα λειτουργία είναι η γνώση για το που χρησιμοποιείται το ήδη εκχωρημένο φάσμα καθώς επίσης και ο έλεγχος για τη μη χρησιμοποίηση όλου του αποδιδόμενου φάσματος και επαναδιαπραγμάτευση του πλεονάζοντος φάσματος.

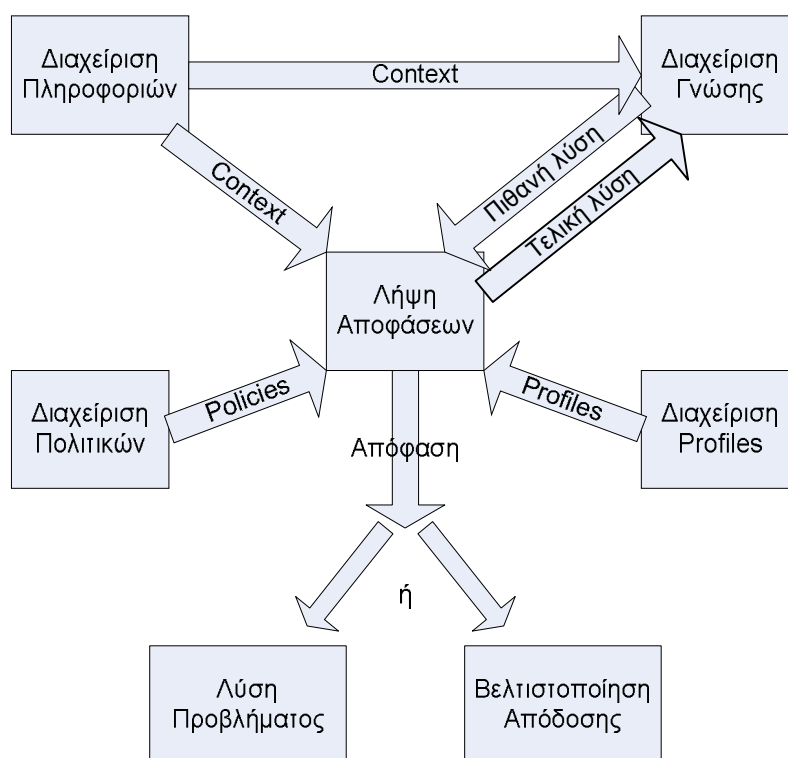
Το NP, όπως βλέπουμε στην εικόνα 5-1, βρίσκεται στο *Operation and Management* κομμάτι του δικτύου. Μία από τις βασικές λειτουργίες του NP είναι η διαχείριση και η παραμετροποίηση των πολιτικών που είναι σχετικές με το QoS τη κάθε υπηρεσίας και της κάθε κλάσης χρηστών. Επίσης οι λειτουργίες του είναι σχετικές με το σχεδιασμό και τη διαχείριση του δικτύου. Για παράδειγμα, το NP είναι ενήμερο για την τοπολογία του δικτύου και παίρνει αποφάσεις σχετικά με την εγκατάσταση νέων δικτυακών στοιχείων.

#### **5.4 Διαδικασία λήψης αποφάσεων**

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, κατά την διάρκεια της ανάλυσης του E<sup>3</sup> project, οι γνωσιακές λειτουργίες είναι απαραίτητες για τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα. Ένας παράγοντας «κλειδί» για την γνωσιακή λειτουργία είναι η ικανότητα μάθησης που επιτρέπει την απόκτηση και την συσσώρευση γνώσης με τις κατάλληλες διαδικασίες με σκοπό τη διαχείριση μελλοντικών καταστάσεων. Έτσι με τον τρόπο αυτό, το σύστημα μας θα αντιδράσει πιο γρήγορα και πιο αποτελεσματικά όταν θα αντιμετωπίσει μια κατάσταση που είναι παρόμοια με μια παλιότερη. Στην ενότητα αυτή θα δούμε πως λειτουργεί η διαδικασία της λήψης αποφάσεων των Self-x λειτουργιών. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι ίδια με αυτή του E<sup>3</sup> αφού όπως

είπαμε το σύστημα είναι βασισμένο στην αρχιτεκτονική και λειτουργία του E<sup>3</sup> [28]. Όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 5-4, στην διαδικασία λήψης αποφάσεων συμμετέχουν οι εξής παράγοντες και αποτελούν το γενικό Self-x μηχανισμό:

- Διαχείριση πολιτικών (Policy management)
- Διαχείριση Πληροφοριών (Context management)
- Διαχείριση Profile
- Διαχείριση Γνώσης/ Μάθησης
- Και φυσικά η λειτουργία της λήψης αποφάσεων



**Εικόνα 5-4 – Διαδικασία λήψης αποφάσεων**

Ας δούμε τώρα αναλυτικά το κάθε παράγοντα.

Οι πολιτικές είναι οι κανόνες που περιέχουν το πλαίσιο λειτουργίας της κάθε λειτουργικής οντότητας συμπεριλαμβάνοντας του self-management. Αυτοί οι κανόνες είναι οι στόχοι και οι αρχές. Δείχνουν την στρατηγική του παρόχου του δικτύου (ειδικότερα για τα δικτυακά στοιχεία που εφαρμόζουν τις αντίστοιχες λειτουργίες των λειτουργικών οντοτήτων) ή την προσωπική στρατηγική του κάθε χρήστη (για τις τερματικές συσκευές), καθώς και τους περιορισμούς που θέτονται από τους σχετικούς επίσημους οργανισμούς. Η διαχείριση των πολιτικών (policy management) αποτελείται από όλες τις διαδικασίες και τις πράξεις που είναι σχετικές με την

δημιουργία, αποθήκευση και διανομή αυτών των «κανόνων» στις κατάλληλες διαδικασίες.

Το context περιλαμβάνει τις πληροφορίες που είναι σχετικές με την κατάσταση των διαχειριζόμενων οντοτήτων (δικτυακά στοιχεία και/ ή τερματικές συσκευές) και με το στενό τους περιβάλλον (π.χ. κατάσταση παρεμβολών, περιβάλλον διάδοσης). Επομένως, η διαχείριση του context αποτελείται από όλες τις διαδικασίες και τις ενέργειες που είναι σχετικές με την διαχείριση των πληροφοριών που συλλέγονται από διάφορες πηγές και λειτουργικές οντότητες. Παραδείγματα τέτοιων διαδικασιών είναι η εξαγωγή των συνδυασμένων πληροφοριών στη σωστή μορφή, η αποθήκευση τους και η διανομή τους στις κατάλληλες λειτουργίες την αντίστοιχη χρονική στιγμή, ανάλογα με το γεγονός που προέκυψε.

Τα profiles ενσωματώνουν πληροφορίες για τις ικανότητες και τις εναλλακτικές παραμετροποιήσεις των διαχειριζόμενων οντοτήτων, τα στατιστικά δεδομένα σχετικά με την συμπεριφορά και τις προτιμήσεις του χρήστη, όπως επίσης και ειδικά χαρακτηριστικά για τα στοιχεία που σχετίζονται με τις λειτουργίες τους (π.χ. αποδεκτό επίπεδο QoS για κάθε υπηρεσία).

Οι ικανότητες μάθησης συνδυάζουν τις διαδικασίες που αξιοποιούν όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες (που προέρχονται από το context και profile) με τα αποτελέσματα από τη λήψη των αποφάσεων, με σκοπό την γνώση. Η διαχείριση της γνώσης περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες οι οποίες, βάση της γνώσης που απέκτησαν μέσω των ικανοτήτων μάθησης, ενισχύουν την λειτουργία λήψης αποφάσεων. Η διαχείριση γνώσης διατηρεί μια βάση δεδομένων στην οποία καταγράφονται παλιότερες λύσεις, οι οποίες είχαν δοθεί σε παρόμοιες καταστάσεις, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα τους. Έτσι κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης του Self-x μηχανισμού, συλλέγει τις τρέχουσες context πληροφορίες και τις συγκρίνει με παλιότερες καταστάσεις με σκοπό να προτείνει πιθανές λύσεις.

Η λήψη αποφάσεων είναι η διαδικασία η οποία, βασιζόμενη στο context, τις πολιτικές, τα profile και την γνώση, αποφασίζει για τις κατάλληλες ενέργειες σύμφωνα με τη συγκεκριμένη Self-x λειτουργικότητα. Οι ενέργειες αυτές στοχεύουν σε επίλυση προβλημάτων ή σε βελτιστοποίηση της ήδη υπάρχουσας κατάστασης. Ας υποθέσουμε λοιπόν πως έχουμε ένα γεγονός – πρόβλημα στο δίκτυο. Όταν το πρόβλημα εντοπιστεί, ενεργοποιείται ο Self-x μηχανισμός ο οποίος καλείται να αποφασίσει για επόμενες ενέργειες. Η διαδικασία της λήψης αποφάσεων συλλέγει και αναλύει τα δεδομένα (πολιτικές, context, profiles) όπως επίσης επεξεργάζεται και τις

πιθανές λύσεις που προτείνει η διαχείριση γνώσης. Σε περίπτωση που η πιθανή λύση μπορεί να εφαρμοστεί τότε ο μηχανισμός της λήψης αποφάσεων υιοθετεί την συγκεκριμένη λύση. Σε περίπτωση που η πιθανή λύση δεν καλύπτει τις ανάγκες του προβλήματος τότε ο μηχανισμός καλείται να δώσει τη λύση μέσω ειδικών αλγορίθμων. Η καινούρια λύση κοινοποιείται και στην διαχείριση γνώσης καθώς επίσης και τα αποτελέσματά της, με σκοπό την μάθηση (αποθήκευση) και την μελλοντική χρήση ως «πιθανή λύση».

## **5.5 Παραδείγματα λειτουργίας**

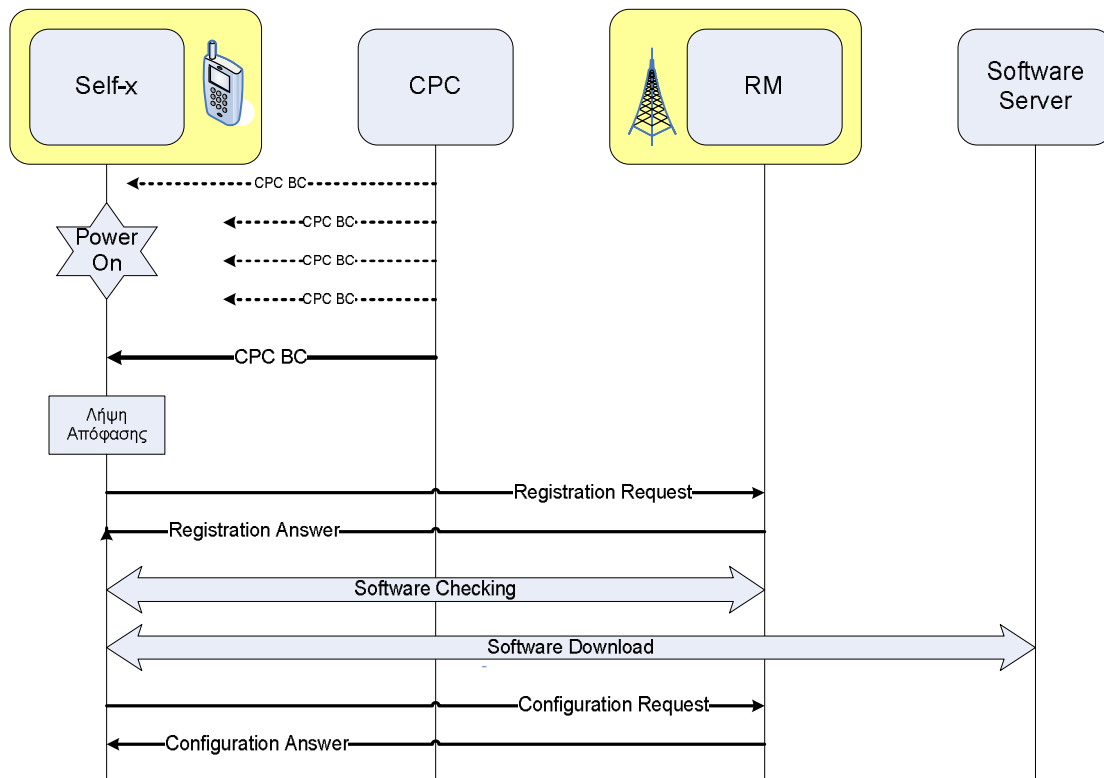
Στην ενότητα αυτή θα δούμε και θα αναλύσουμε τέσσερα παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση της αρχιτεκτονικής μας και του τρόπου λειτουργίας των λειτουργικών οντοτήτων.

### **5.5.1 Αρχική ενεργοποίηση τερματικού και αναβάθμιση λογισμικού**

Στο πρώτο παράδειγμα θα δούμε πως γίνεται το RAT selection από τα τερματικά και η αναβάθμιση του λογισμικού τους όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Ας υποθέσουμε ότι το τερματικό μας είναι απενεργοποιημένο και το θέτουμε σε λειτουργία για να συνδεθεί στο δίκτυο μας. Μετά την ενεργοποίησή του, το Self-x του τερματικού αναζητά context και profile πληροφορίες. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, οι context πληροφορίες περιέχουν όλα τα δεδομένα σχετικά με τα διαθέσιμα RAT, τους διαθέσιμους σταθμούς βάσης, πόρους και συχνότητες. Αυτές οι πληροφορίες είναι διαφορετικές ανάλογα τη γεωγραφική περιοχή και τις συλλέγει από το αντίστοιχο CPC το οποίο είναι υπεύθυνο για την περιοχή αυτή. Οι profile πληροφορίες περιέχουν τις απαιτήσεις του χρήστη καθώς και τις δυνατότητες του τερματικού. Το Self-x μπορεί εύκολα να βρει τις profile πληροφορίες μέσα στο ίδιο το τερματικό. Στην συνέχεια, έχοντας τα δεδομένα, το Self-x αποφασίζει για το καταλληλότερο RAT σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη και στέλνει αίτημα σύνδεσης στο RM του αντίστοιχου σταθμού βάσης. Στο σημείο αυτό το RM του σταθμού βάσης κάνει κάποιους ελέγχους σχετικά με το λογισμικό του τερματικού. Σε περίπτωση που δεν είναι συμβατό τότε του στέλνει τις κατάλληλες οδηγίες για την



αναβάθμιση αυτού μέσω κάποιου software server. Αν το λογισμικό του τερματικού είναι κατάλληλο τότε το RM του σταθμού βάσης στέλνει το κατάλληλο configuration



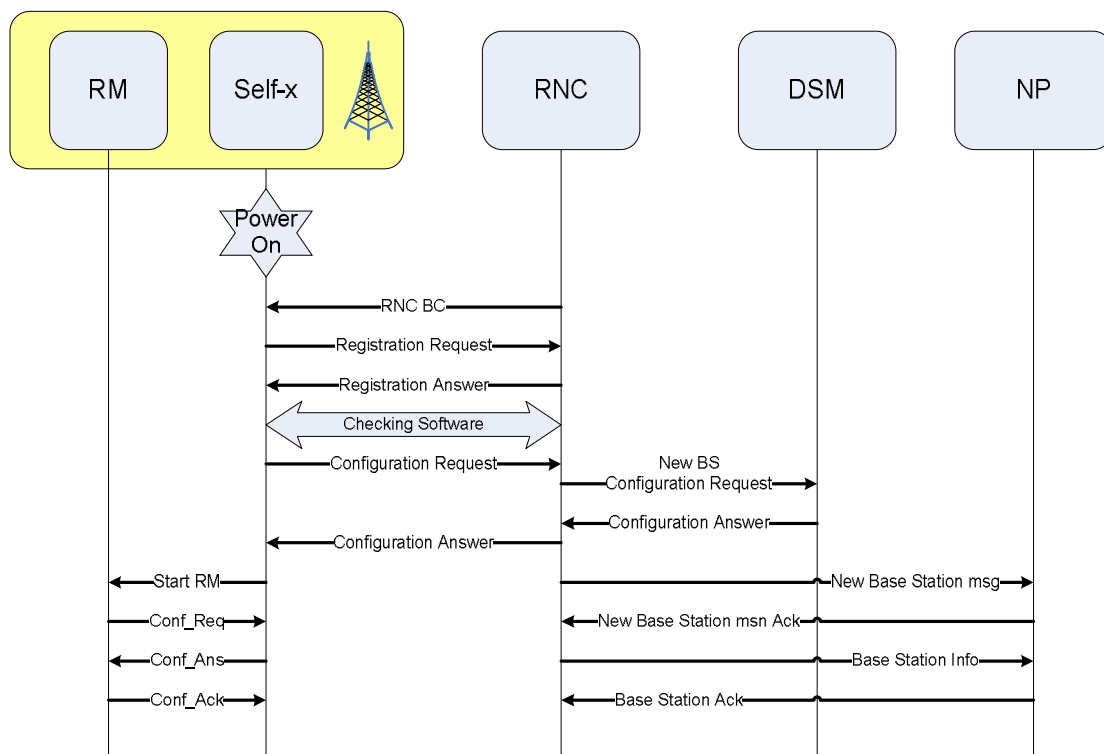
Εικόνα 5-5 – Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά την ενεργοποίηση του τερματικού

file στο Self-x του τερματικό με όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται για να ρυθμίσει τις αντίστοιχες παραμέτρους και να συνδεθεί με το σταθμό βάσης.

### 5.5.2 Ενεργοποίηση σταθμού βάσης και σύνδεση με το δίκτυο πρόσβασης

Στο δεύτερο παράδειγμα θα δούμε πως συνδέεται και παραμετροποιείται ένας καινούριος σταθμός βάσης κατά την πρώτη του σύνδεση με το δίκτυο μας. Ας υποθέσουμε πως μετά από το κατάλληλο σχεδιασμό της κάλυψης του δικτύου αποφασίζουμε να τοποθετήσουμε ένα καινούριο σταθμό βάσης σε ένα γεωγραφικό σημείο. Αφού ολοκληρωθεί η φυσική εγκατάσταση του, είμαστε έτοιμοι να τον ενεργοποιήσουμε για να ολοκληρωθεί η σύνδεση του με το δίκτυο. Κατά την ενεργοποίηση του, το Self-x του σταθμού βάσης αναζητά τις context πληροφορίες για την σύνδεση του με το υπόλοιπο δίκτυο. Για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι, ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα eNodeB σταθμό. Κατά την πρώτη επικοινωνία, το Self-x

του RNC θα ολοκληρώσει μια σειρά ελέγχων σχετικά με το λογισμικό και τις δυνατότητες του σταθμού βάσης. Όπως και στην περίπτωση του τερματικού, αν το λογισμικό του σταθμού βάσης δεν είναι συμβατό με τις προδιαγραφές τότε το Self-x του RNC στέλνει τις κατάλληλες οδηγίες στο Self-x του σταθμού βάσης για την αναβάθμιση του λογισμικού μέσω ενός Software Server. Μετά την αναβάθμιση του λογισμικού, ο σταθμός βάσης προσπαθεί να συνδεθεί ξανά ακολουθώντας την ίδια διαδικασία. Αφού ολοκληρωθούν οι έλεγχοι τότε το Self-x του RNC στέλνει τα κατάλληλα δεδομένα (δυνατότητες σταθμού κ.α.) στο DSM και ζητά από αυτό τις



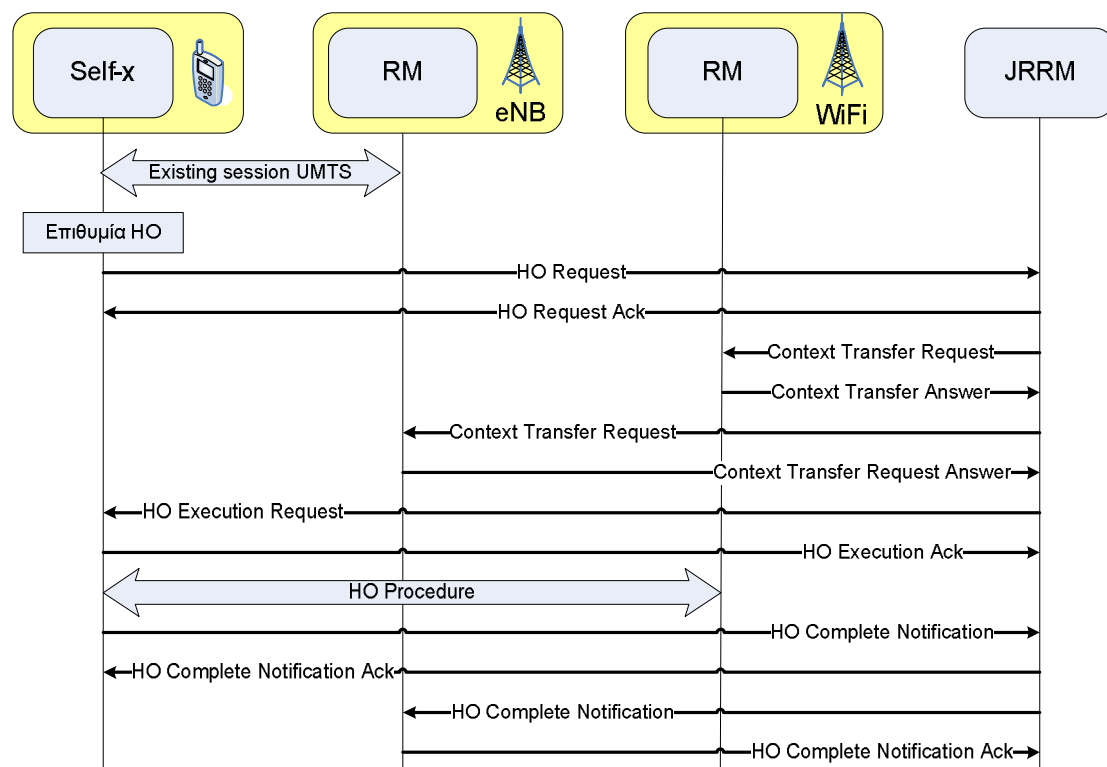
**Εικόνα 5-6 – Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά την ενεργοποίηση του σταθμού βάσης**

κατάλληλες εντολές για την παραμετροποίηση του σταθμού βάσης. Το DSM, αναλύοντας τα δεδομένα σχετικά με το σταθμό βάσης και το διαθέσιμο φάσμα, αποφασίζει για τις κατάλληλες ρυθμίσεις και το διαθέσιμο φάσμα το οποίο θα διαχειρίζεται ο καινούριος σταθμός βάσης. Στη συνέχεια το DSM στέλνει το configuration file στο Self-x του RNC το οποίο το προωθεί στο Self-x του σταθμού βάσης. Την ίδια στιγμή, το Self-x του RNC ενημερώνει το NP για τις καινούριες αλλαγές στο δίκτυο. Το Self-x του σταθμού βάσης αφού λάβει το configuration file προσαρμόζει τις παραμέτρους του κατάλληλα και στέλνει τις πληροφορίες σχετικά με

το διαχειριζόμενο φάσμα στο RM του σταθμού βάσης. Μετά από αυτή τη διαδικασία ο σταθμός βάσης έχει συνδεθεί στο δίκτυο και μπορεί να εξυπηρετήσει τερματικά.

### 5.5.3 Αλλαγή τεχνολογίας πρόσβασης υπό την επιτήρηση του JRRM

Στο τρίτο παράδειγμα θα περιγράψουμε τη λειτουργία του RAT Switching. Με αυτή τη λειτουργία δίνεται στο τερματικό η δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών RAT για την εκτέλεση μιας υπηρεσίας. Ας υποθέσουμε λοιπόν πως οι απαιτήσεις του τερματικού μας άλλαξαν και ενώ είναι συνδεδεμένο με ένα RAT (UMTS), θέλει να μεταβεί σε άλλο RAT (WiFi). Στην αρχή της διαδικασίας ενεργοποιείται το Self-x του τερματικού και αναζητά τις context πληροφορίες από το CPC για να βρει τις κατάλληλες πληροφορίες σχετικά με τα διαθέσιμα RAT.



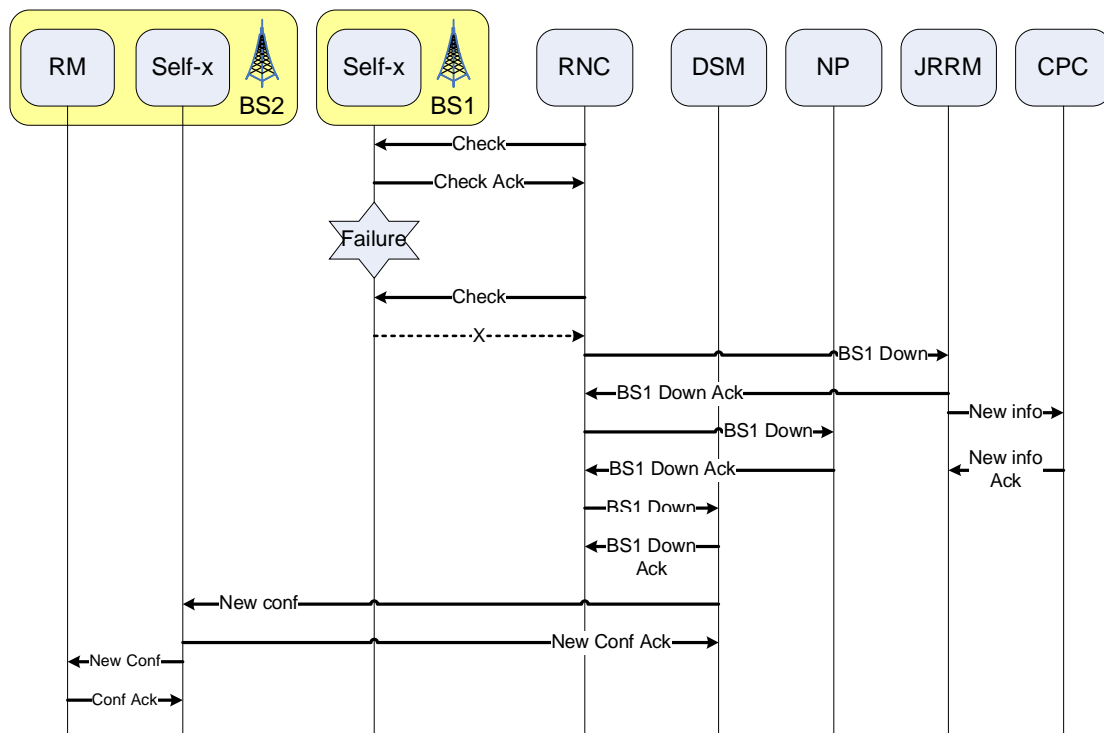
Εικόνα 5-7 – Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για αλλαγή RAT υπό την επιτήρηση του JRRM

Στην συνέχεια το Self-x, με τη διαδικασία της λήψης αποφάσεων, επεξεργάζεται τα δεδομένα (context, profile, πολιτικές) και όταν αποφασίσει στέλνει την προτίμηση του στο JRRM. Το JRRM κάνοντας τους απαραίτητους ελέγχους σχετικά με το απαιτούμενο QoS, τις συνθήκες μετάδοσης, την κατάσταση του δικτύου, τις

προτιμήσεις του χρήστη και τις πολιτικές του δικτύου θα αποφασίσει αν θα δώσει την έγκριση για αυτό το inter-RAT handover. Αν το JRRM συναινέσει για την ολοκλήρωση του inter-RAT handover τότε το JRRM θα αποτελεί τον διαμεσολαβητή ανάμεσα στα 2 RAT αναλαμβάνοντας τη διαχείριση των ραδιο-πόρων μέχρι την ολοκλήρωση του handover. Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο δεν επιτρέπει να ολοκληρωθεί το handover, το JRRM θα δώσει τις κατάλληλες οδηγίες (π.χ. επιλογή διαφορετικού RAT από το προτιμώμενο ή βελτιστοποίηση της υφιστάμενης σύνδεσης) έτσι ώστε το τερματικό να τρέξει την υπηρεσία που ζήτησε.

### 5.5.4 Αντιμετώπιση προβλήματος στο δίκτυο

Στο τελευταίο παράδειγμα θα αναλύσουμε την συμπεριφορά του συστήματος σε περίπτωση αναπάντεχου γεγονότος ή προβλήματος. Υποθέτουμε πως λόγω αναπάντεχου προβλήματος ένα σταθμός βάσης βγαίνει εκτός λειτουργίας. Το σύστημα μας για να μπορέσει να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα θα χρειαστεί να πάρει γρήγορα μέτρα έτσι ώστε να εξυπηρετήσει τους «ξεκρέμαστους χρήστες» χωρίς



Εικόνα 5-8 – Διαδικασία ακολουθίας μηνυμάτων σε περίπτωση προβλήματος σε σταθμό βάσης

να δημιουργήσει προβλήματα στο υπόλοιπο δίκτυο. Όταν λοιπόν το κέντρο στο οποίο ανήκει ο σταθμός βάσης αντιληφθεί πως η επικοινωνία με αυτόν έχει χαθεί, ενημερώνει άμεσα το JRRM, το DSM και το NP. Το JRRM ενημερώνει αντίστοιχα το CPC με τα διαθέσιμα RAT και τους διαθέσιμους σταθμούς βάσης. Το DSM, αφού ενημερωθεί για το πρόβλημα, θα αποδεσμεύσει το κομμάτι του φάσματος που το ίδιο είχε αποδώσει στο σταθμό βάσης. Στη συνέχεια, μελετώντας τα context δεδομένα και τις αντίστοιχες πολιτικές, θα προσπαθήσει να μοιράσει περισσότερους πόρους στους γειτονικούς σταθμούς έτσι ώστε να εξυπηρετηθούν τα «ξεκρέμαστα» τερματικά. Παρόμοια θα είναι και η αντίδραση του NP το οποίο θα αναλύσει τα δεδομένα και θα επέμβει σε περίπτωση που χρειάζεται επανασχεδιασμός για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου. Οι λύσεις που θα δοθούν από την κάθε οντότητα θα καταγραφούν όπως επίσης και τα αποτελέσματά τους. Έτσι σε περίπτωση παρόμοιου προβλήματος, η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος θα είναι πολύ πιο γρήγορη αφού θα χρησιμοποιηθεί η ίδια ή παρόμοια λύση.

## **5.6 Υλοποίηση σε SDL**

Για την ευκολότερη κατανόηση καθώς επίσης και για την επίδειξη της λειτουργίας της αρχιτεκτονικής που προτείναμε σε αυτό το κεφάλαιο, υλοποιήσαμε, με την βοήθεια της SDL, ένα mini SON δίκτυο. Στην ενότητα αυτή, λοιπόν, θα αναλύσουμε τη βασική δομή αυτής της SDL υλοποίησης. Όπως αναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχουν δυο τρόποι προσέγγισης του συστήματος. Η Top Down και Bottom Up προσέγγιση. Εμείς θα ακολουθήσουμε την λογική της Top Down προσέγγισης για να αναλύσουμε το σύστημα καθώς είναι η ίδια με την λογική που χρησιμοποιήσαμε κατά την υλοποίηση αυτού.

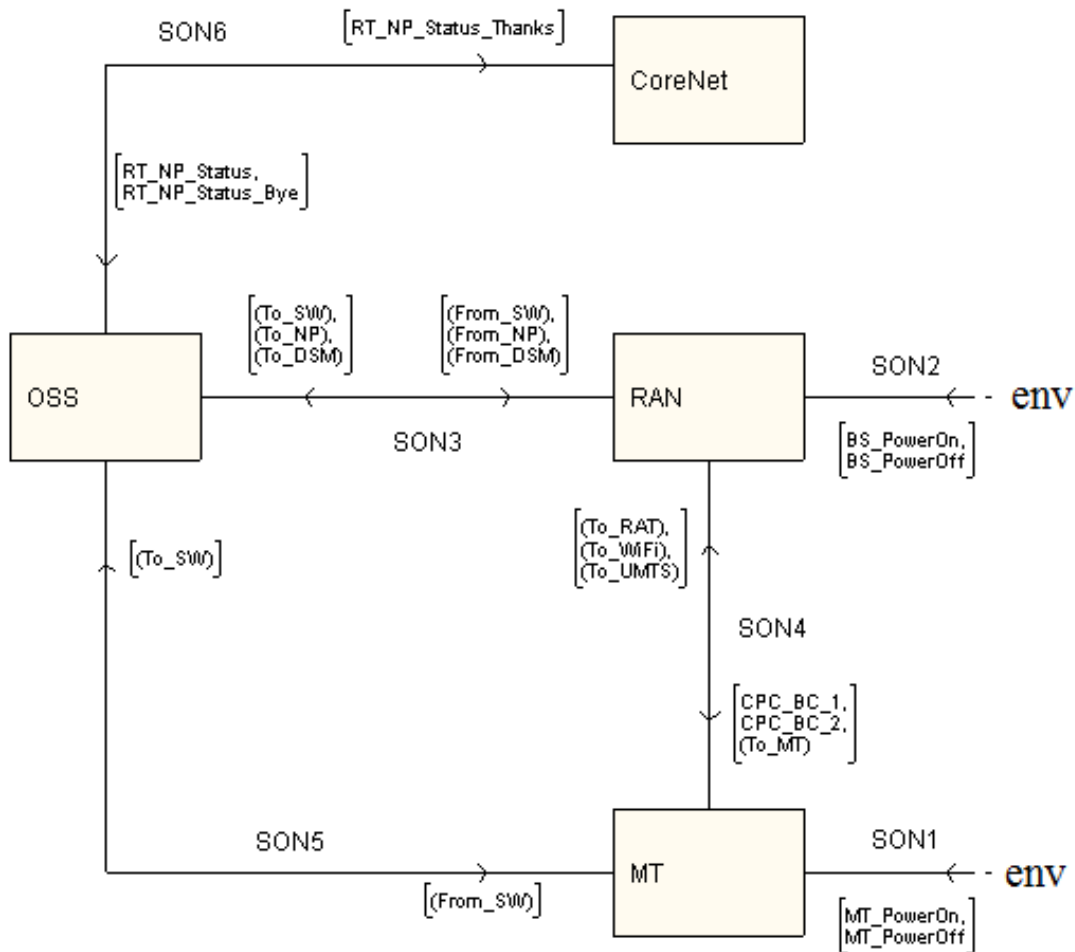
Το σύστημά μας αποτελείται από τα παρακάτω block και οργανώνεται ως εξής:

- Operation Support Systems (OSS)
  - Software Server (Sw\_Server)
  - Network Planning (NetPlan)
  - Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Core Network (CoreNet)
  - Master Router (MR)
  - Router 2 (R2)
  - Router 3 (R3)
- Radio Access Network (RAN)
  - JRRM
  - CPC
  - UMTS
    - § RNC
    - § enodeB1
    - § enodeB2
  - WiFi
    - § GW
    - § Base Station 1 (BS1)
    - § Base Station 2 (BS2)
- Mobile Terminals (MT)
  - Mobile Terminal 1 (MT1)
  - Mobile Terminal 2 (MT2)

Ξεκινάμε λοιπόν με το αρχικό επίπεδο το οποίο αποτελεί και το επίπεδο του συστήματος. Στο επίπεδο του συστήματος, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση το έχουμε ονομάσει SON, συναντάμε τα εξής Block:

- Operation Support Systems (OSS)
- Core Network (CoreNet)
- Radio Access Network (RAN)
- MT (Mobile Terminals)

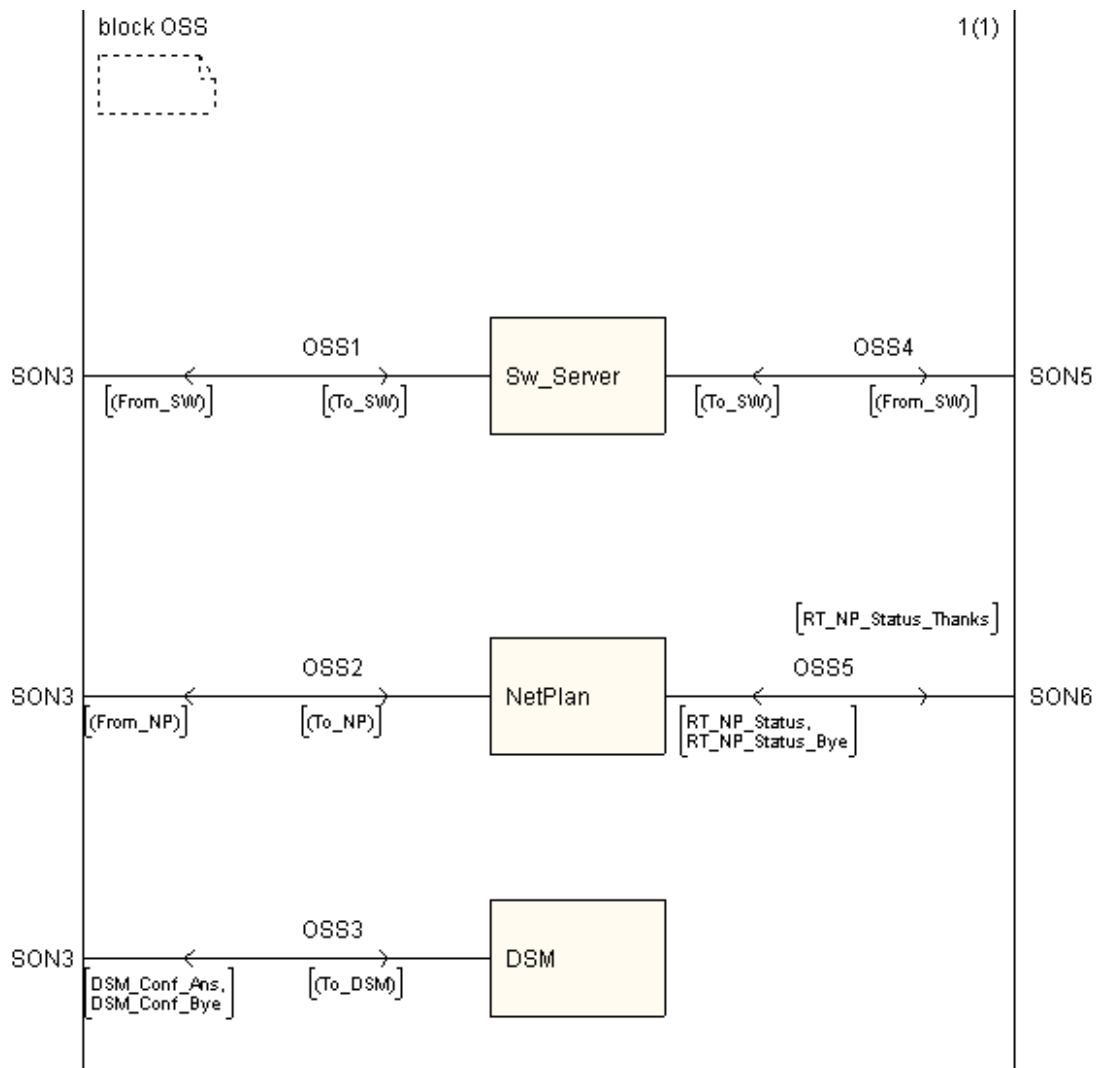
system SON



Εικόνα 5-9 – Υλοποίηση σε SDL του πρώτου επιπέδου του συστήματος SON

Το block OSS είναι το σημείο όπου γίνεται η κεντρική διαχείριση του δικτύου σε θέματα πόρων και σχεδιασμού. Θα μπορούσε κάλλιστα να ονομαστεί O&M (Operation and Management). Αναλύοντας το OSS θα δούμε ότι μέσα σε αυτό έχουμε σχεδιάσει τις παρακάτω οντότητες:

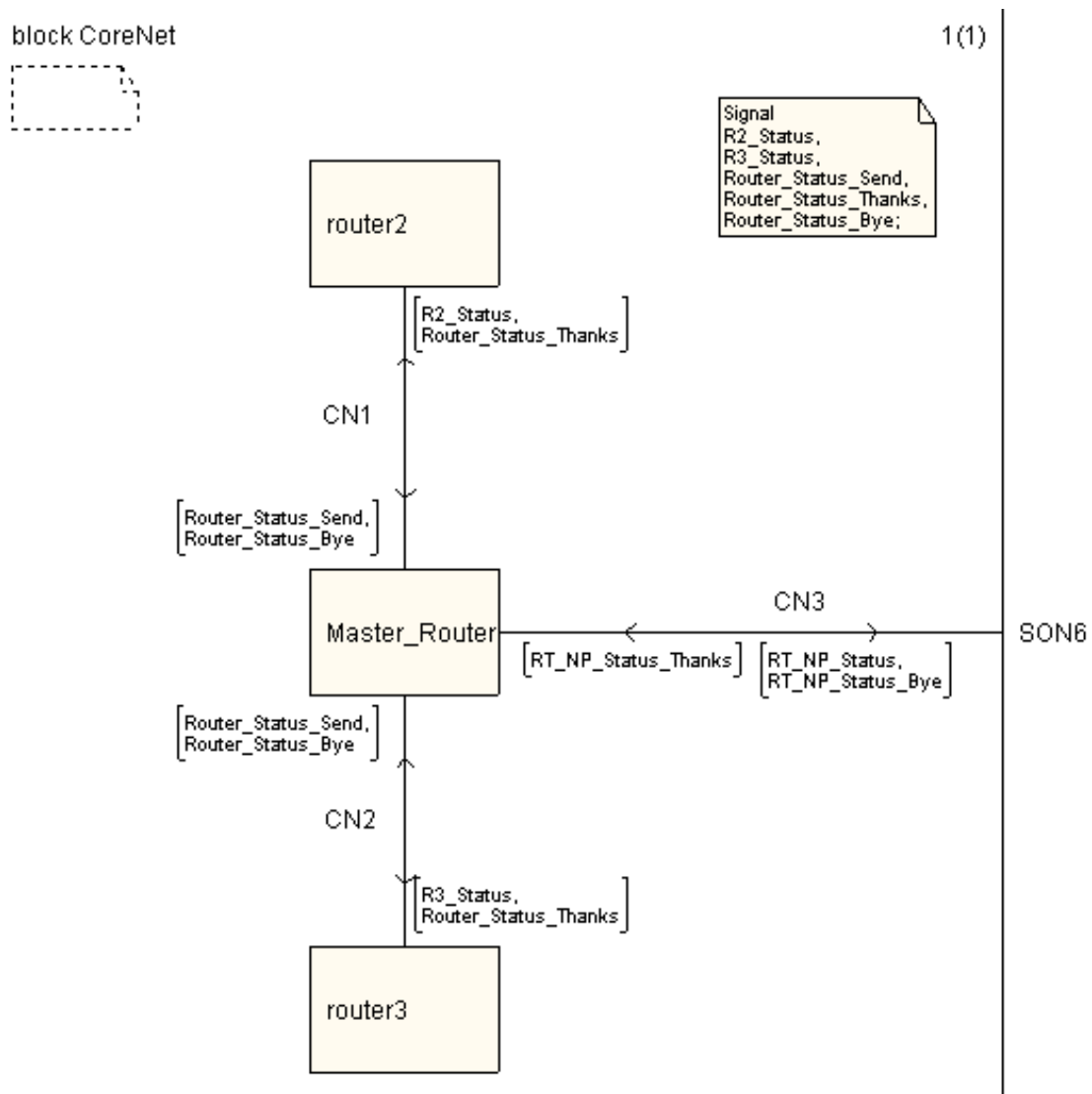
- Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Network Planning (NetPlan)
- Software Server (Sw\_Server)



Εικόνα 5-10 – Υλοποίηση σε SDL του Block OSS

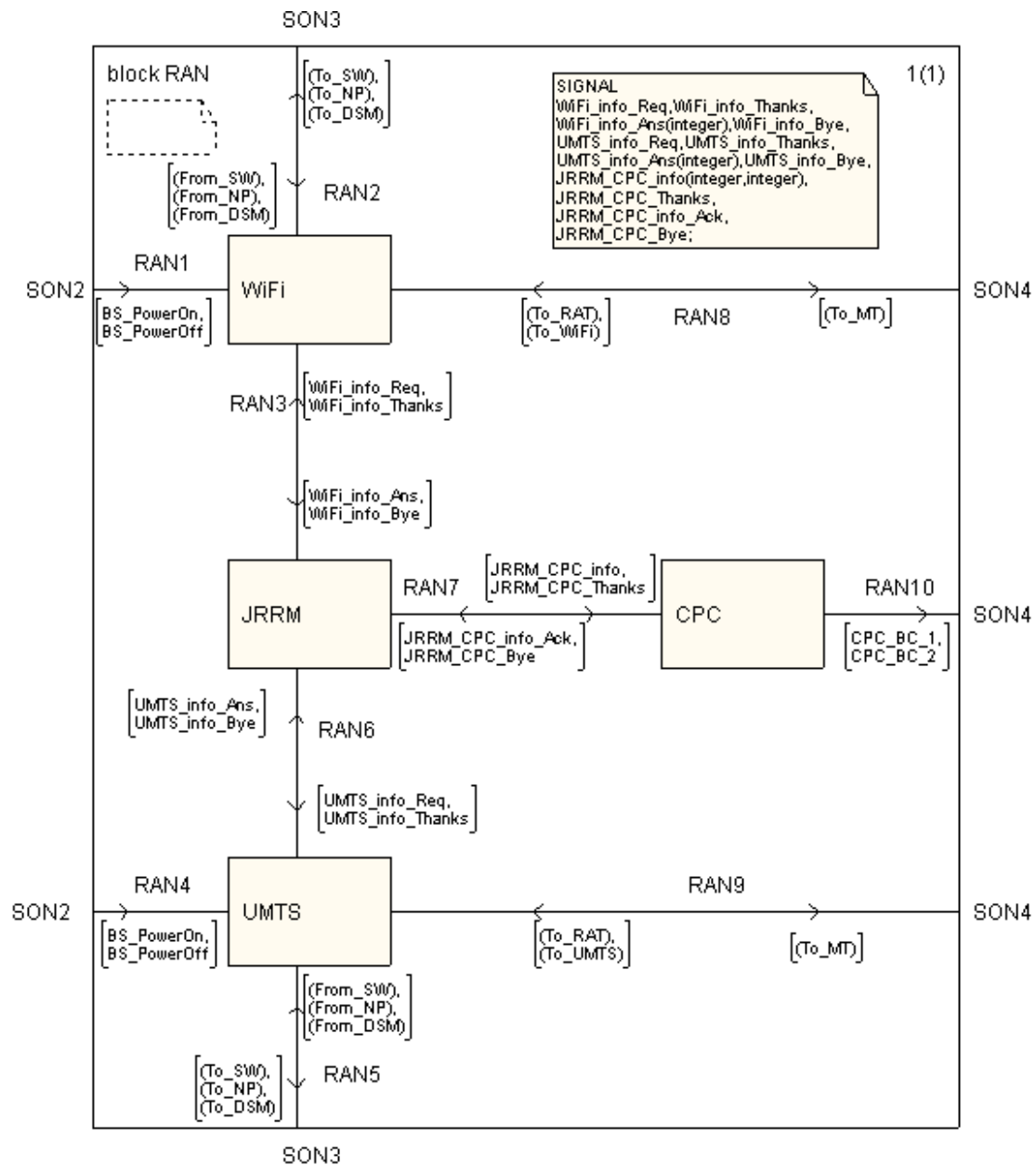


Το Core Network είναι το δίκτυο κορμού και αποτελείται κυρίως από routers και gateways προς άλλα δίκτυα. Στη υλοποίηση μας έχουμε σχεδιάσει 3 router από το οποίους ο ένας εκτελεί χρέη Master Router για την συλλογή στατιστικών και πληροφοριών για την κατάσταση του δικτύου κορμού και την αποστολή τους στις κατάλληλες βάσεις δεδομένων της οντότητας Network Planning.



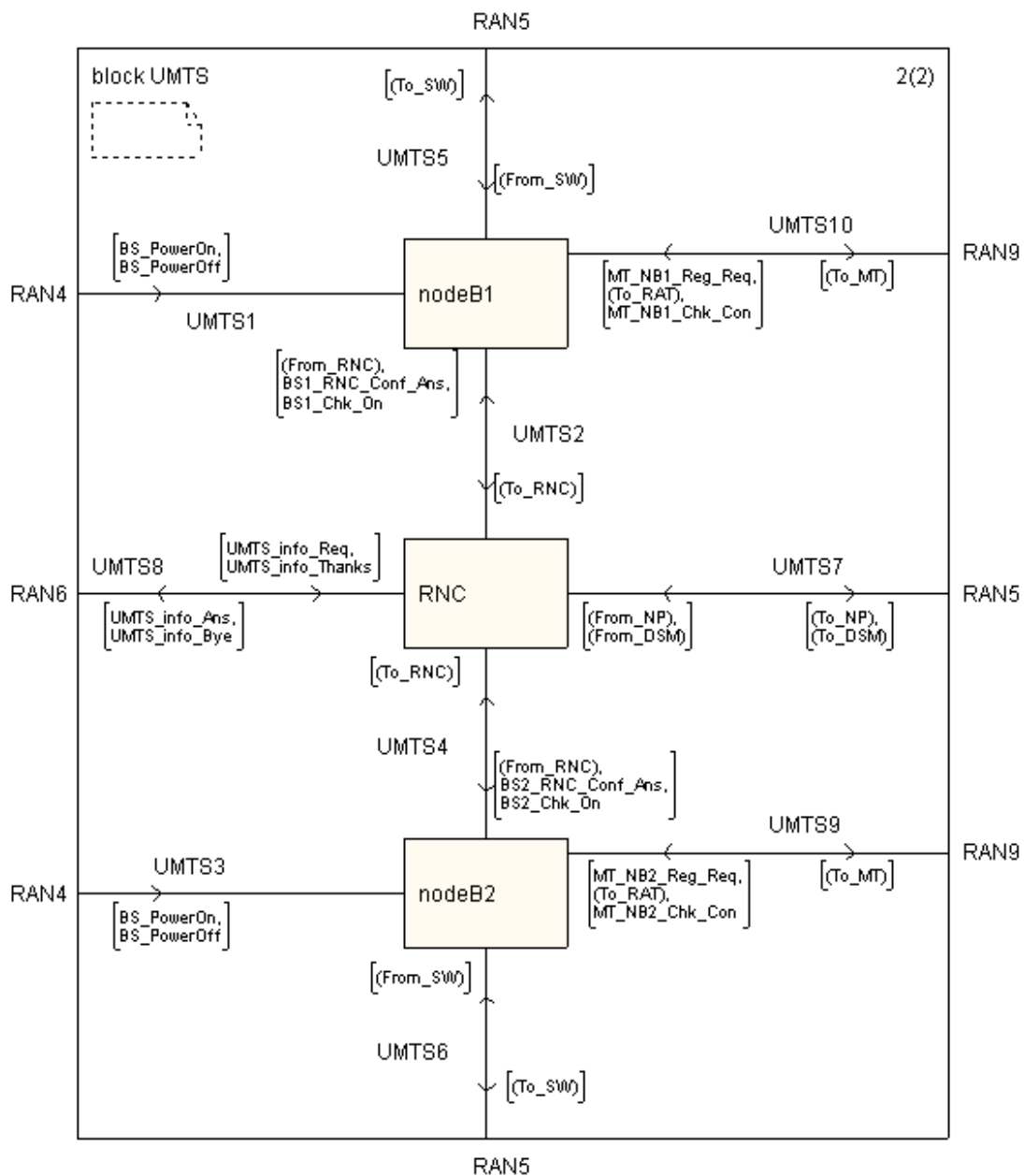
Εικόνα 5-11 – Υλοποίηση σε SDL του block CoreNet

Το Radio Access Network (RAN) είναι το δίκτυο πρόσβασης για το υπόλοιπο δίκτυο. Όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα 5-12, μέσα στο συγκεκριμένο Block σχεδιάσαμε το JRRM, το CPC και τα διαθέσιμα RAT. Στην υλοποίηση μας σχεδιάσαμε ένα block για WiFi και ένα block για UMTS.



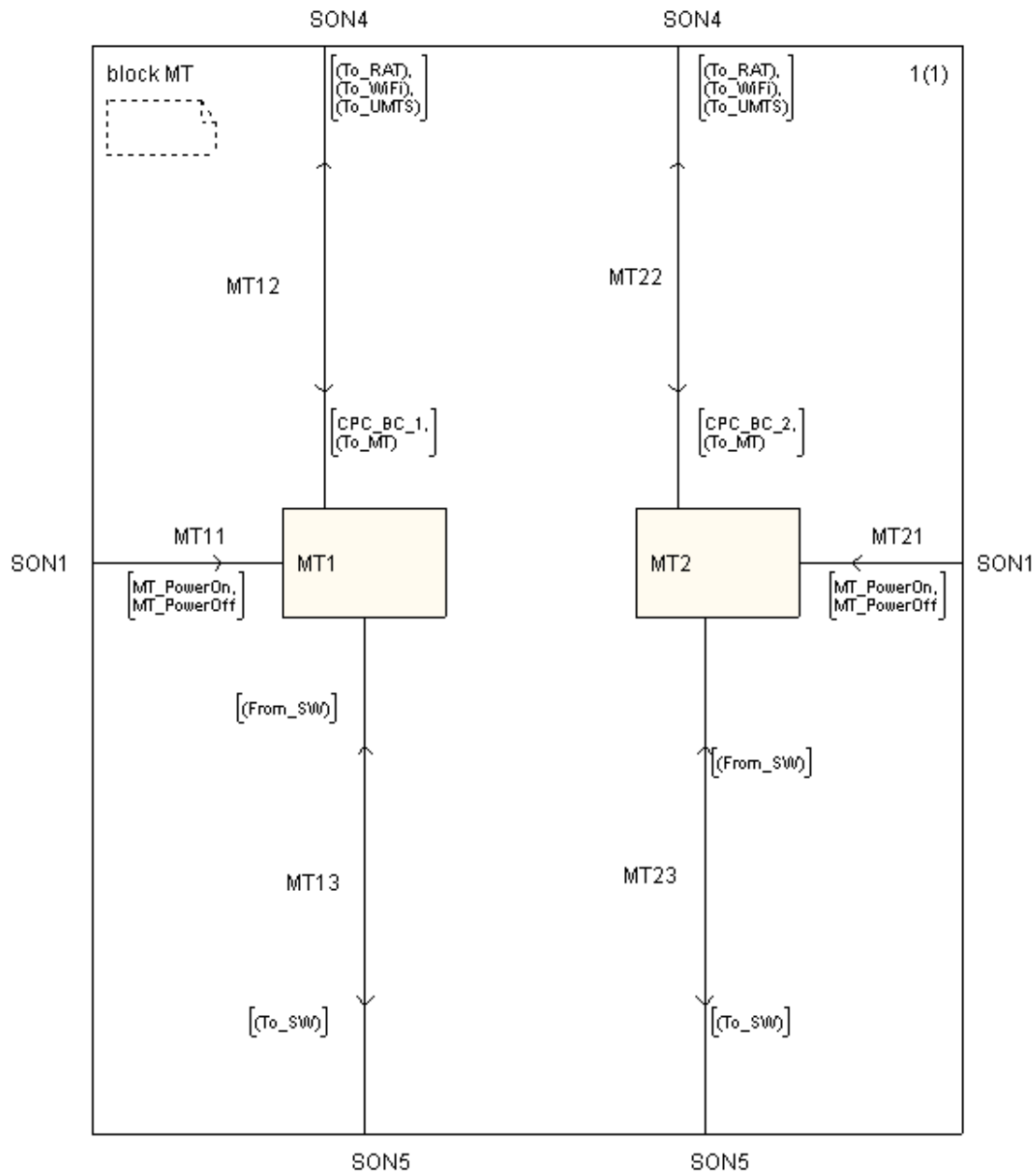
Εικόνα 5-12 - Υλοποίηση σε SDL του block RAN

Το κάθε RAT περιέχει δυο σταθμούς βάσης και αντίστοιχο controller για τη διαχείριση τους. Έτσι στο block του UMTS έχουμε 2 σταθμούς βάσης eNB και ένα RNC. Ενώ στο block του WiFi έχουμε δυο σταθμούς βάσης BS και ένα controller που τον έχουμε ονομάσει GW. Ο λόγος που προσθέσαμε το GW στο WiFi RAT είναι για να απλοποιήσουμε τον έλεγχο των σταθμών και τη σηματοδότηση με το υπόλοιπο δίκτυο. Στην εικόνα 5-13 μπορούμε να δούμε το σχεδιασμό του UMTS block. Ο σχεδιασμός του WiFi block είναι πανομοιότυπος με αυτόν του UMTS.



Εικόνα 5-13 - Υλοποίηση σε SDL του block UMTS

Τέλος στο block MT έχουμε σχεδιάσει δυο πανομοιότυπα τερματικά. Τα τερματικά έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να δίνουν προτεραιότητα σε WiFi δίκτυα εφόσον υπάρχει κάποιο διαθέσιμο. Ο σχεδιασμός και των 2 τερματικών είναι πανομοιότυπος. Στην εικόνα 5-14 μπορούμε να δούμε το σχεδιασμό του Block MT.



**Εικόνα 5-14 - Υλοποίηση σε SDL του block MT**

Αναλύοντας βαθύτερα όλα τα blocks (επίπεδο blocks) θα βρούμε τις αντίστοιχες process που έχουμε δημιουργήσει για το κάθε block. Κατά την δημιουργία των process ακολουθήσαμε μια συγκεκριμένη τυποποίηση στην ονομασία τους. Έτσι λοιπόν τυποποιήσαμε το όνομα της βασικής διεργασίας της κάθε οντότητας και τους δώσαμε το όνομα [όνομα block]\_selfx. Για παράδειγμα το block DSM περιέχει μια διεργασία την οποία ονομάσαμε DSM\_Selfx. Με αυτό τον τρόπο θέλουμε να δείξουμε τις self-x ικανότητες που έχουν όλες οι οντότητες και ταυτόχρονα να ξεχωρίσουμε τη βασική διεργασία του κάθε block χωρίς να τις μπερδεύουμε μεταξύ τους. Σ' αυτό το σημείο να αναφέρουμε πως σε όλα τα επίπεδα έχουν σχεδιαστεί και τα αντίστοιχα κανάλια δρομολόγησης για την επικοινωνία μεταξύ των Block.

Η πλήρης SDL υλοποίηση αυτού του mini SON δικτύου βρίσκεται στο παράρτημα Α της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



## 6. Συμπεράσματα

Σκοπός της διπλωματικής αυτής ήταν η ανάπτυξη σε SDL (Specification and Description Language) μιας καινοτόμου αρχιτεκτονικής για κυψελωτά δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η αρχιτεκτονική αυτή μας δίνει τη δυνατότητα για την δυναμική και καταναεμημένη διαχείριση των δικτυακών στοιχείων ενός δικτύου σε μια σειρά από ενέργειες όπως διαμόρφωση, επισκευή, βελτιστοποίηση λειτουργίας (Self-Organizing Network).

Η διπλωματική εργασία βασίστηκε στα αποτελέσματα του ολοκληρωμένου ερευνητικού προγράμματος End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>) project. Κατά τη διάρκεια αυτής, μελετήθηκε η λειτουργική αρχιτεκτονική του E<sup>3</sup> project, η οποία βελτιώθηκε σε συγκεκριμένους τομείς και υλοποιήθηκε σε SDL.

Οι βελτιώσεις έγιναν με γνώμονα την απλοποίηση και την ελαχιστοποίηση των λειτουργικών οντοτήτων και της αντίστοιχης σηματοδοσίας. Στη βελτιωμένη αυτή αρχιτεκτονική προσδιορίσαμε τις ιδιότητες και λειτουργίες των τροποποιημένων λειτουργικών οντοτήτων καθώς και των καινούριων που δημιουργήσαμε. Επίσης απεικονίσαμε, μέσω μερικών παραδειγμάτων (περιπτώσεων χρήσης), τη ανταπόκριση και τη συνολική λειτουργία του δικτύου σε διάφορα γεγονότα. Τέτοια γεγονότα είναι η εγκατάσταση ενός καινούριου σταθμού, η αυτόματη αναβάθμιση λογισμικού, η εμφάνιση ενός προβλήματος.

Τέλος με τη χρήση της σουίτας Telelogic SDT υλοποιήσαμε ένα μικρό αυτο-οργανωμένο δίκτυο με βάση την καινούρια αρχιτεκτονική που προτείναμε. Με τη χρήση της SDL μπορούμε εύκολα να δούμε την ανταπόκριση του συστήματος στα διάφορα γεγονότα και τις ενέργειες που γίνονται για την αντιμετώπιση τους. Ο τρόπος σχεδιασμού σε SDL μας δίνει την δυνατότητα διόρθωσης και της περαιτέρω ανάπτυξης της αρχιτεκτονικής με νέες προκλήσεις.

Σαν μελλοντικό στόχο αυτής της διπλωματικής εργασίας μπορούμε να θέσουμε τη περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής καθώς επίσης και την υλοποίηση με SDL περισσότερων περιπτώσεων χρήσης και άλλων προκλήσεων.





## 7. Βιβλιογραφία

- [1] Laurent Doldi, “Validation of Communications Systems with SDL – The Art of SDL Simulation and Reachability Analysis”, John Wiley & Sons Ltd, 2003, ISBN: 978-0-470-85286-6, [\[Link\]](#)
- [2] ITU-T, Formal Description Techniques (FDT) - Specification and Description Language (SDL), ITU-T Z.100 Recommendation, August 2002, [\[Link\]](#)
- [3] Ferenc Belina and Dieter Hogrefe, SDL-88 Tutorial, SDL Forum Society, August 2007, [\[Link\]](#)
- [4] ITU, ITU’s History, [\[Link\]](#)
- [5] TIME Electronic Textbook, “Tutorial on SDL”, Sintef, Modified 16 July 1999 [\[Link\]](#)
- [6] 3G Americas, “The Benefits of SON in LTE – Self-Optimizing and Self-Organizing Networks”, 15 December 2009, [\[Link\]](#)
- [7] 3GPP TR 36.902. “Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions.”, [\[Link\]](#)
- [8] 3GPP TR 32.531, “Telecommunication Management; Software Management (SwM); Concepts and Integration Reference Point (IRP) Requirements”, [\[Link\]](#)
- [9] 3GPP TS 32.511, “Telecommunication Management; Automatic Neighbor Relation (ANR) management; Concepts and Requirements.”, [\[Link\]](#)
- [10] 3GPP TS 36.300, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description stage 2.”, [\[Link\]](#)
- [11] NGMN white paper, “Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO”, 5 December 2006, [\[Link\]](#)
- [12] NGMN requirement document, “NGMN Recommendations on SON and O&M Requirements”, Version 1.23, 5 December 2008, [\[Link\]](#)
- [13] D.D. Clark, C. Partridge, J.C. Ramming, J.T. Wroclawski, “A knowledge plane for the internet”, Proceedings of the SIGCOMM 2003, Karlsruhe, Germany, 25-29 August 2003, [\[Link\]](#)
- [14] R.W. Thomas, “Cognitive Networks”, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, VA, 15 June 2007, [\[Link\]](#)

- [15] Q.Mahmoud, “Cognitive Networks – Towards Self-Aware Networks”, John Wiley and Sons Ltd, 2007, ISBN: 978-0-470-06196-1, [\[Link\]](#)
- [16] J. Mitola, “Cognitive Radio – An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio”, Ph.D. Dissertation, Royal Institute of Technology, Kista, Sweden, 8 May 2000, [\[Link\]](#)
- [17] R.W. Thomas, L.A. DaSilva, A.B. MacKenzie, “Cognitive Networks”, Proceedings of the First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Baltimore, MD, USA, 8-11 November 2005, [\[Link\]](#)
- [18] P. Balamuralidhar, R. Prasad, “A Context driven architecture for cognitive nodes”, Wireless Personal Communications 45, 2008, [\[Link\]](#)
- [19] C. Fortuna and M. Mohorcic, “Trends in the development of communication networks: Cognitive Networks” Computer Networks Volume 53, Issue 9, 25 June 2009, Pages 1354-1376, [\[Link\]](#)
- [20] Simon Dodson, Spyros Denazis, Antonio Fernandez, Dominique Gaiti, Erol Gelenbe, Fabio Massacci, Paddy Nixon, Fabrice Saffre, Nikita Schmidt and Franco Zambonelli, “A Survey of Autonomic Communications”, ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, Vol. 1, No. 2, December 2006, Page 223-259, [\[Link\]](#)
- [21] “Autonomic Network Management Principles: From Concepts to Applications”, Edited by N. Agoulmine, Elsevier Academic Press Publications 2011, ISBN: 978-0-12-382190-4, [\[Link\]](#)
- [22] N. Samaan and A. Karmouch, “Towards Autonomic Network Management: An Analysis of Current and Future Research Directions”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 3, Third Quarter 2009
- [23] End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>) Project, <http://ict-e3.eu/>
- [24] 3GPP TS 32.500, “Telecommunications Management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements”, 8.0.0, 19 December 2008, [\[Link\]](#)
- [25] Internet Engineering Task Force (IETF), “Terminology for Policy-Based Management”, RFC 3198, November 2001, [\[Link\]](#)
- [26] Internet Engineering Task Force (IETF), “On the difference between information models and data models”, RFC 3444, January 2003, [\[Link\]](#)
- [27] Unified Model Language (UML), [\[Link\]](#)

- [28] E<sup>3</sup> Deliverable D2.3, “Architecture, Information Model and Reference Points, Assessment Framework, Platform Independent Programmable Interfaces”, 30 September 2009, [\[Link\]](#)
- [29] K. Nolte, A. Kaloxylos, K. Tsagkaris, T. Rosowski, M. Stamatelatos, A. Galani et al, “The E<sup>3</sup> architecture: enabling future cellular networks with cognitive and self-x capabilities”, International Journal of Network Management, 15 September 2010, [\[Link\]](#)
- [30] V. Le, Z. Feng, D. Bourse, P. Zhang, “A cell based dynamic spectrum management scheme with interference mitigation for cognitive networks”, Wireless Personal Communications, 2009, 49(2): 275-293, [\[Link\]](#)
- [31] D. Thilakawardana, K. Moessner, R. Tafazolli, “Darwinian approach for dynamic spectrum allocation in next generation systems”, Communications, IET 2008, 2(6): 827-836, [\[Link\]](#)
- [32] K. Tsagkaris, G. Dimitrakopoulos, A. Saatsakis, P Demestichas, “Distributed radio access technology selection for adaptive networks in high-speed”, B3G infrastructures, International Journal of Communications Systems, 2007, 20(8): 969-992, [\[Link\]](#)
- [33] D. von Hugo, E. Bogenfeld, I. Gaspard, J. Gebert, F. Zhiyong, “Joint RRM as a concept for efficient operation of future radio networks”, In IEEE 70<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference Fall, 20-23 September 2009, 1-5, [\[Link\]](#)
- [34] A White Paper by the FP7 project End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>), “Self-x in Radio Access Networks”, 22 December 2008, [\[Link\]](#)
- [35] P. Demestichas, A. Katidiotis, V. Stavroulaki, D. Petromanolakis, “Management system for terminals in the wireless B3G world”, Wireless Personal Communications 2009, 53(1):81-109, [\[Link\]](#)
- [36] A White Paper by the FP7 project End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>), “Support for heterogeneous standards using CPC”, 30 June 2009, [\[Link\]](#)
- [37] ETSI TR 102 682, “Reconfigurable Radio Systems (RRS), Cognitive Pilot Channel (CPC)”, Version 1.1.1, September 2009, [\[Link\]](#)
- [38] P. Kalliojarvi, J. Pihlaja, A. Richter, P. Ruuska, “Cognitive Control Radio (CCR): enabling coexistences in heterogeneous wireless radio networks”, In proceedings of ICT-Mobile Summit 2009, Santander 10-12 June 2009, [\[Link\]](#)
- [39] A White Paper by the FP7 project End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>), “Spectrum Sensing”, November 2009, [\[Link\]](#)

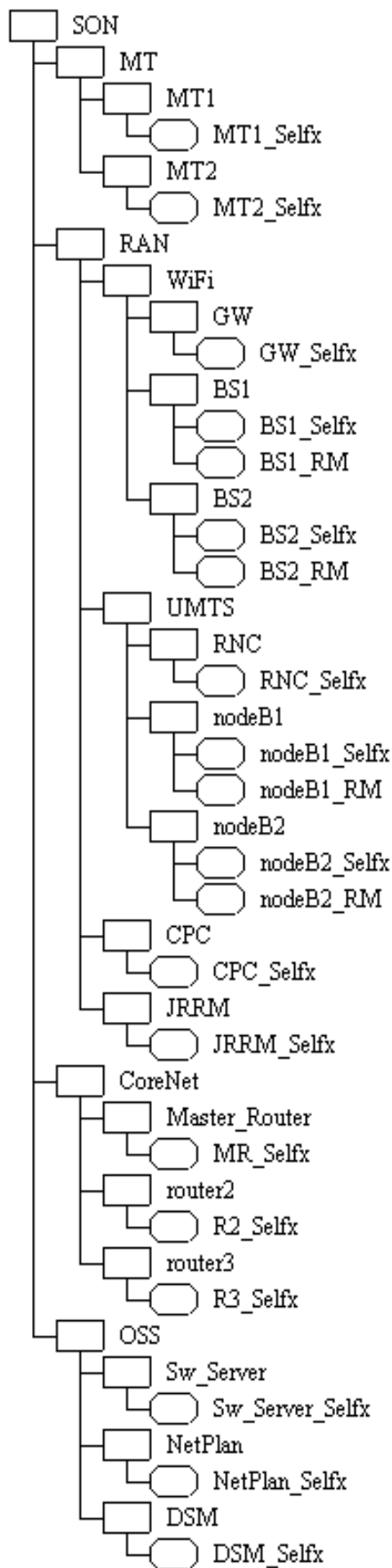


## Παράρτημα Α

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτείναμε μια αρχιτεκτονική για Self-Organizing Networks. Για την επίδειξη και την καλύτερη κατανόηση αυτής της αρχιτεκτονικής υλοποιήσαμε σε SDL ένα δίκτυο μικρής κλίμακας. Έτσι δοκιμάσαμε σε μικρή κλίμακα μερικές από τις περιπτώσεις χρήσης για να δούμε πως ανταποκρίνεται το σύστημα μας στα διάφορα γεγονότα.

Στο παράρτημα Α μπορούμε να δούμε μερικά από τα διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων για τις περιπτώσεις χρήσης που υλοποιήσαμε. Για τα ίδια παραδείγματα θα παραθέσουμε και τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής από την υλοποίηση της SDL για τη διευκρίνηση αυτών και την επίλυση τυχόν αποριών.

Δυστυχώς λόγω του πλήθους των οντοτήτων στο ίδιο σύστημα, κάποια από τα αντίστοιχα Message Sequence Charts (MSC) δεν είναι αναγνώσιμα σε μια σελίδα A4. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την εμφάνιση ενός γεγονότος ενεργοποιείται μια σειρά αντιδράσεων από διάφορα δικτυακά στοιχεία και τα οποία δεν μπορούμε να παραλείψουμε. Έτσι σε κάποιες από τις παρακάτω περιπτώσεις τα διαγράμματα δεν είναι ολόκληρα αλλά έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ανάγνωσή τους και η κατανόηση τους. Για όποιον ενδιαφέρεται για τα πλήρη διαγράμματα με τις ακολουθίες μηνυμάτων, μπορεί να χρησιμοποιήσει τον Simulator και να τρέξει τον κώδικα με τα διαγράμματα ροής (ο οποίος είναι διαθέσιμος με την παρούσα διπλωματική εργασία).



Στην εικόνα δίπλα μπορούμε να δούμε την βασική οργάνωση του συστήματός μας. Το σύστημά μας αποτελείται από:

- Operation Support Systems (OSS)
  - Software Server (Sw\_Server)
  - Network Planning (NetPlan)
  - Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Core Network (CoreNet)
  - Master Router (MR)
  - Router 2 (R2)
  - Router 3 (R3)
- Radio Access Network (RAN)
  - JRRM
  - CPC
  - UMTS
    - § RNC
    - § enodeB1
    - § enodeB2
  - WiFi
    - § GW
    - § Base Station 1 (BS1)
    - § Base Station 2 (BS2)
- Mobile Terminals (MT)
  - Mobile Terminal 1 (MT1)
  - Mobile Terminal 2 (MT2)

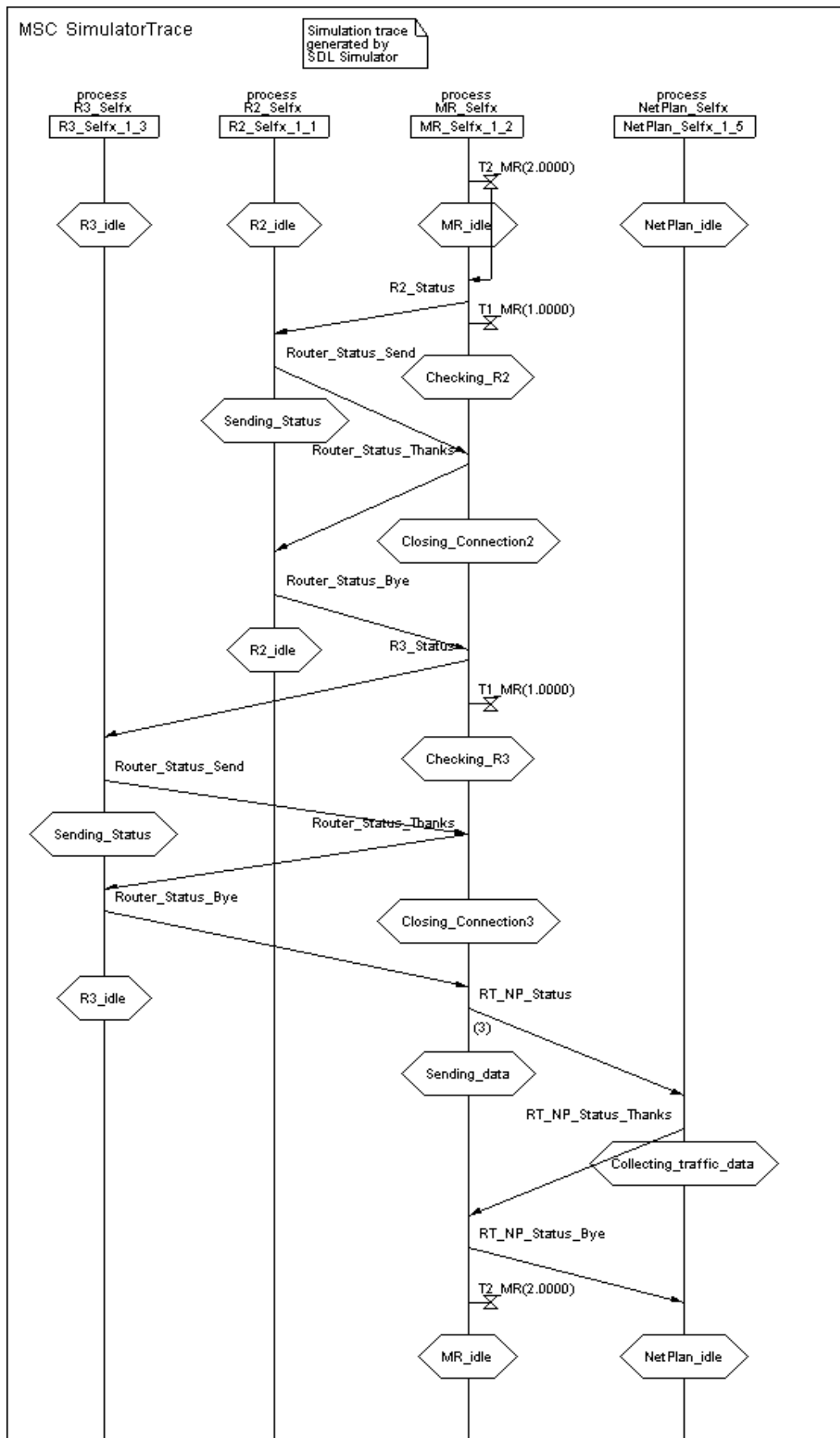
Η βασική διεργασία σε όλες τις οντότητες έχει ονομαστεί με [όνομα Block]\_Selfx. Με αυτό τον τρόπο δείχνουμε τις Self-x ικανότητες και που έχουν και ταυτόχρονα μπορούμε εύκολα να τις ξεχωρίσουμε.

## **A.1 – Ενημέρωση της οντότητας Network Planning για την κατάσταση του δικτύου κορμού**

Αρχικά θα δούμε ένα απλό διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων στο οποίο θα αναλύσουμε τον τρόπο με το οποίο το δίκτυο ενημερώνεται για την κατάσταση των διάφορων δικτυακών οντοτήτων του. Στη παρακάτω εικόνα A-1 μπορούμε να δούμε πως το Network Planning ενημερώνεται για την κατάσταση των διαφόρων router στο δίκτυο κορμού. Το διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων είναι σε επίπεδο process. Στην εικόνα μπορούμε να δούμε 3 router (MR, R2, R3) και το Network Planning. Το κάθε router καθώς επίσης και το Network Planning έχει τη δική του Self-x λειτουργία. Έτσι σε επίπεδο process έχουμε τα αντίστοιχα Self-x. Αναλύοντας το διάγραμμα, αρχικά έχουμε όλες τις οντότητες σε κατάσταση idle. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (timer T2\_MR), ο Master Router ξεκινάει τη διαδικασία συλλογής πληροφοριών για την κατάσταση (λειτουργία, φόρτος, κτλ) των υπόλοιπων router στο δίκτυο κορμού. Στο πρώτο βήμα το Self-x του MR ζητά τις πληροφορίες από το Self-x του Router 2 (R2) και περιμένει να λάβει την απάντηση μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα (timer T1\_MR). Αν δεν πάρει κάποια απάντηση τότε θεωρεί πως ο συγκεκριμένος router δεν λειτουργεί σωστά. Το ίδιο συμβαίνει και στη συνέχεια με το Router 3 (R3). Τέλος το Self-x του Master Router θα ενημερώσει με τις κατάλληλες πληροφορίες το Network Planning το οποίο με τη σειρά του θα λάβει τις κατάλληλες αποφάσεις εάν αυτές κριθούν αναγκαίες. Στο παράδειγμα (Εικόνα A-1) βλέπουμε ότι μεταδίδεται ο αριθμός 3. Ο αριθμός αυτός είναι μια μεταβλητή (rt integer) η οποία παίρνει την κατάλληλη τιμή ανάλογα με την κατάσταση των router. Στο παράδειγμα μας μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 3 (2 bits) σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα. Συνεπώς η τιμή 3 της μεταβλητής δηλώνει ότι και οι 2 router είναι σε λειτουργία.

R2 Status	R3 Status	rt Variable (binary)	rt Variable (decimal)
0 (off)	0 (off)	00	0
0 (off)	1 (on)	01	1
1 (on)	0 (off)	10	2
1 (on)	1 (on)	11	3

**Πίνακας A-1: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής rt**



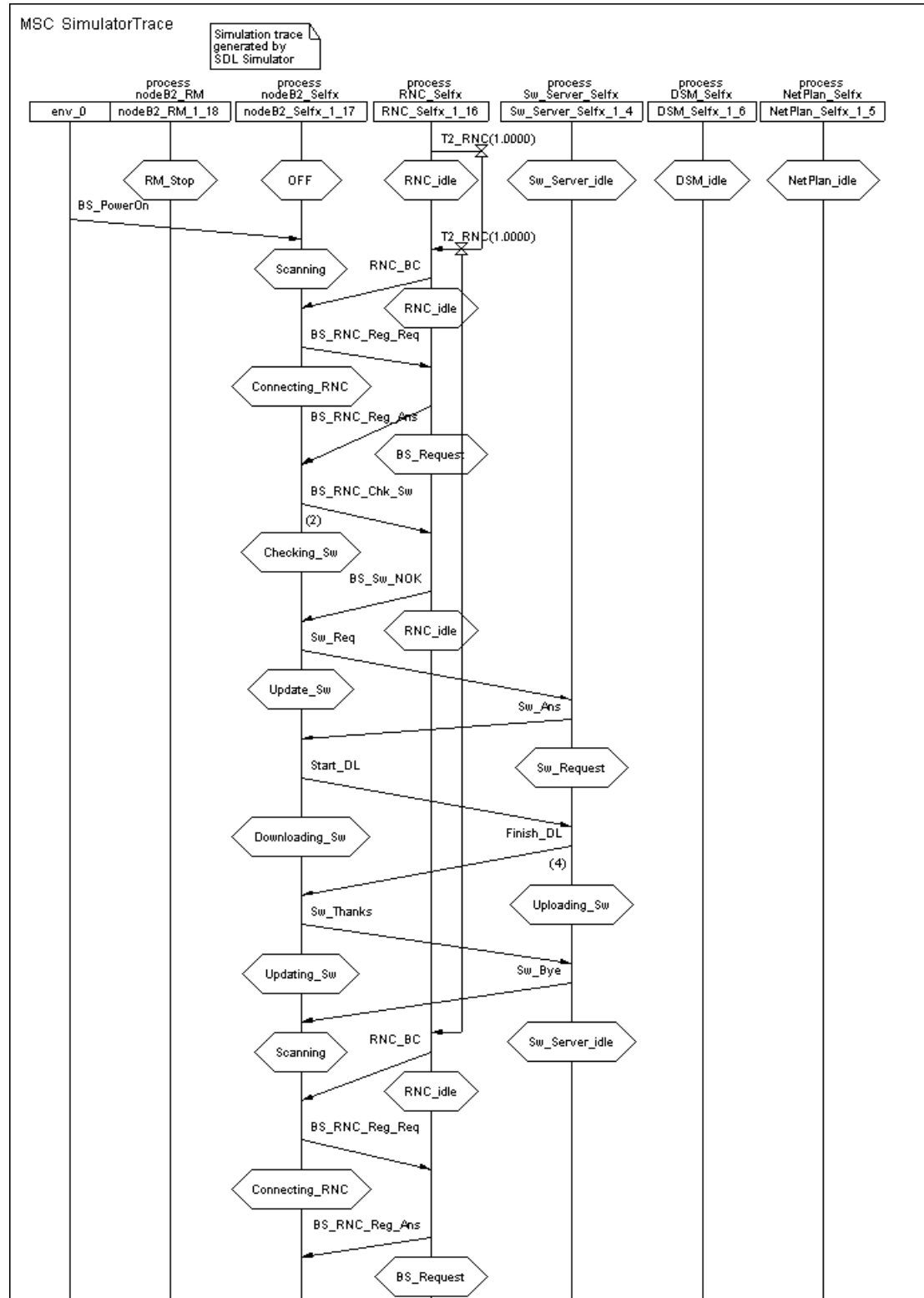
Εικόνα Α-1: Προσομοίωση (MSC) Ενημέρωσης του NP για την κατάσταση του δικτύου κορμού



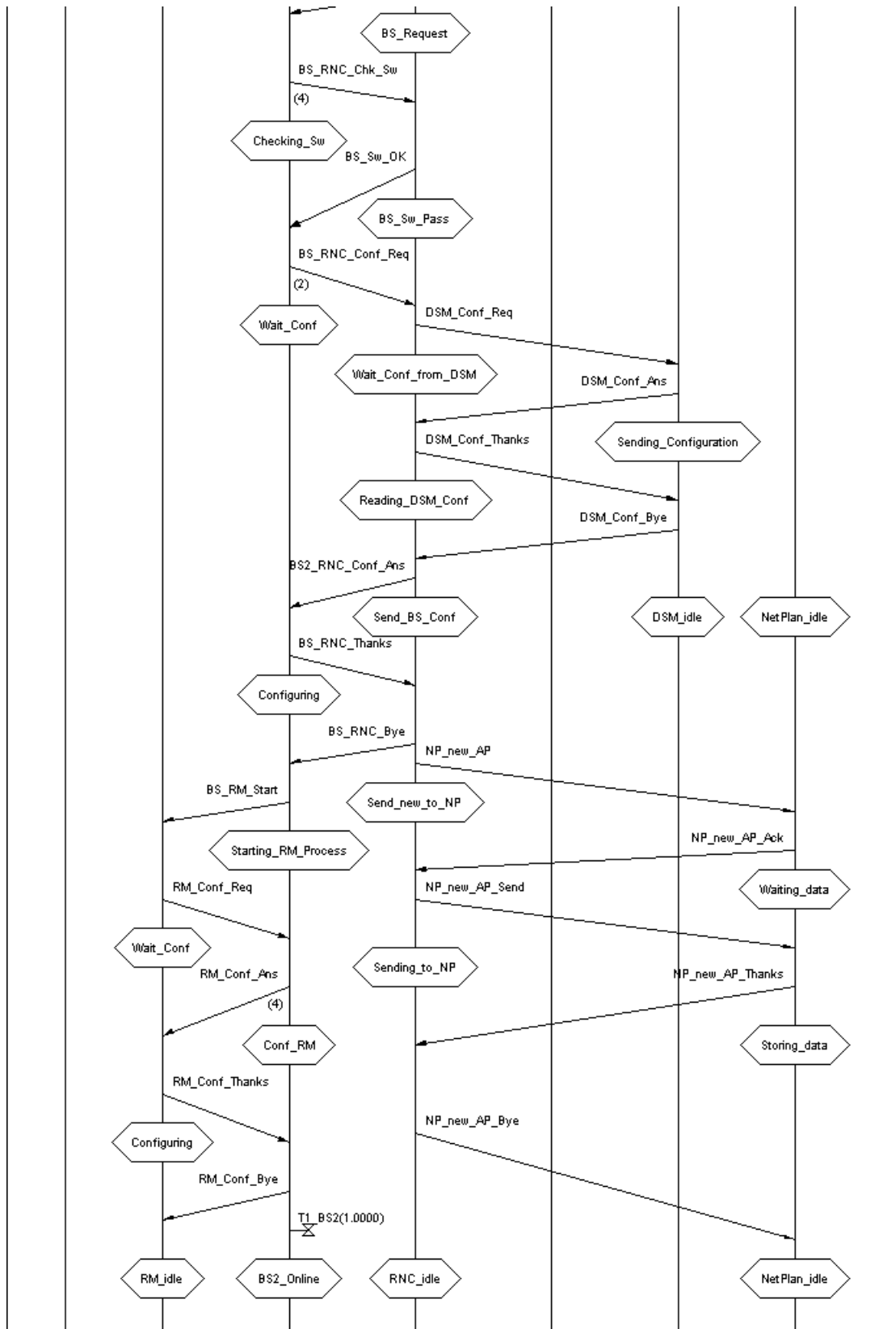
## **A.2 – Πρώτη ενεργοποίηση σταθμού βάσης και ενσωμάτωση με το υπόλοιπο δίκτυο**

Στη ενότητα αυτή θα δούμε και θα αναλύσουμε το διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για την περίπτωση πρώτης ενεργοποίησης ενός σταθμού βάσης (εικόνα A-2 και εικόνα A-3). Στην αρχική κατάσταση ο σταθμός βάσης είναι απενεργοποιημένος (Self-x σε κατάσταση Off και RM σε κατάσταση RM\_Stop). Τα υπόλοιπα δικτυακά στοιχεία (RNC, Software Server, DSM, Network Planning) είναι σε κατάσταση idle. Όταν το Self-x του σταθμού βάσης λάβει το σήμα ενεργοποίησης του (BS\_PowerOn) τότε πηγαίνει σε κατάσταση Scanning. Στην κατάσταση αυτή το Self-x ψάχνει για το κατάλληλο σήμα (από το RNC) έτσι ώστε να συνδεθεί με το υπόλοιπο δίκτυο. Το RNC ανά τακτά χρονικά διαστήματα (timer T2\_RNC) εκπέμπει ένα σήμα Broadcast με τις κατάλληλες πληροφορίες (RNC\_BC). Αυτό είναι το σήμα που περιμένει το Self-x του σταθμού βάσης. Μόλις το λάβει αναλύει τις πληροφορίες και ξεκινάει τη διαδικασία για τη σύνδεση του σταθμού βάσης με το υπόλοιπο δίκτυο. Στο σημείο αυτό το RNC ελέγχει την έκδοση του λογισμικού του σταθμού βάσης. Ο σταθμός βάσης στέλνει την έκδοση του ήδη εγκατεστημένου λογισμικού του, με την βοήθεια μια μεταβλητής (bs\_ver integer). Στη συνέχεια το RNC ελέγχει αν η συγκεκριμένη έκδοση ικανοποιεί τις προϋποθέσεις (συγκρίνει αν η έκδοση του BS είναι νεότερη με αυτή που προαπαιτείται). Στο παράδειγμα μας η αναβάθμιση του λογισμικού του BS κρίνεται απαραίτητη (καθώς  $bs\_ver < 3$ ) και το RNC στέλνει στο Self-x του BS τις οδηγίες για την αναβάθμιση του λογισμικού του (BS\_Sw\_NOK). Όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα A-2 το Self-x του σταθμού βάσης επικοινωνεί με το Software Server και ζητά την νεότερη έκδοση του λογισμικού την οποία και κάνει Download. Στην συνέχεια κάνει την εγκατάσταση αυτού (αλλάζει την μεταβλητή bs\_ver στην νεότερη τιμή) και ξεκινάει τη διαδικασία από την αρχή περιμένοντας το BC σήμα από το RNC. Αφού το λάβει, ο σταθμός βάσης ξαναζητάει από το RNC να συνδεθεί με το υπόλοιπο δίκτυο. Αυτή τη φορά το ο έλεγχος του λογισμικού κρίνεται επιτυχής (BS\_Sw\_OK) και το Self-x του σταθμού βάσης ζητάει από το Self-x του RNC το configuration file που χρειάζεται για την ρύθμιση όλων των παραμέτρων του σταθμού βάσης. Το RNC θα ενημερώσει το DSM για την έναρξη λειτουργίας του καινούριου σταθμού και θα ζητήσει από το DSM να του στείλει τις αποφάσεις σχετικά με το φάσμα που θα ανατεθεί στο καινούριο σταθμό βάσης. Μόλις το RNC λάβει τις

αποφάσεις του DSM τότε θα τις προωθήσει στο σταθμό βάσης για να τις εκτελέσει. Έτσι ο σταθμός βάσης θα ρυθμίσει τις παραμέτρους του σύμφωνα με τις οδηγίες που του δώσανε (configuration file) ενώ παράλληλα το RNC θα ενημερώσει το NetPlan για την λειτουργία του καινούριου σταθμού βάσης.



Εικόνα Α-2: Προσομοίωση (MSC) πρώτης ενεργοποίησης σταθμού βάσης (1/2)



Εικόνα Α-3: Προσομοίωση (MSC) πρώτης ενεργοποίησης σταθμού βάσης (2/2)

Ο σταθμός βάσης αφού ολοκληρώσει τις παραμετροποιήσεις τότε είναι έτοιμος να ενταχθεί στο υπόλοιπο δίκτυο και θα μπει σε κατάσταση online ενεργοποιώντας την RM οντότητα που θα κάνει και τη διαχείριση των διαθέσιμων ραδιοπόρων.

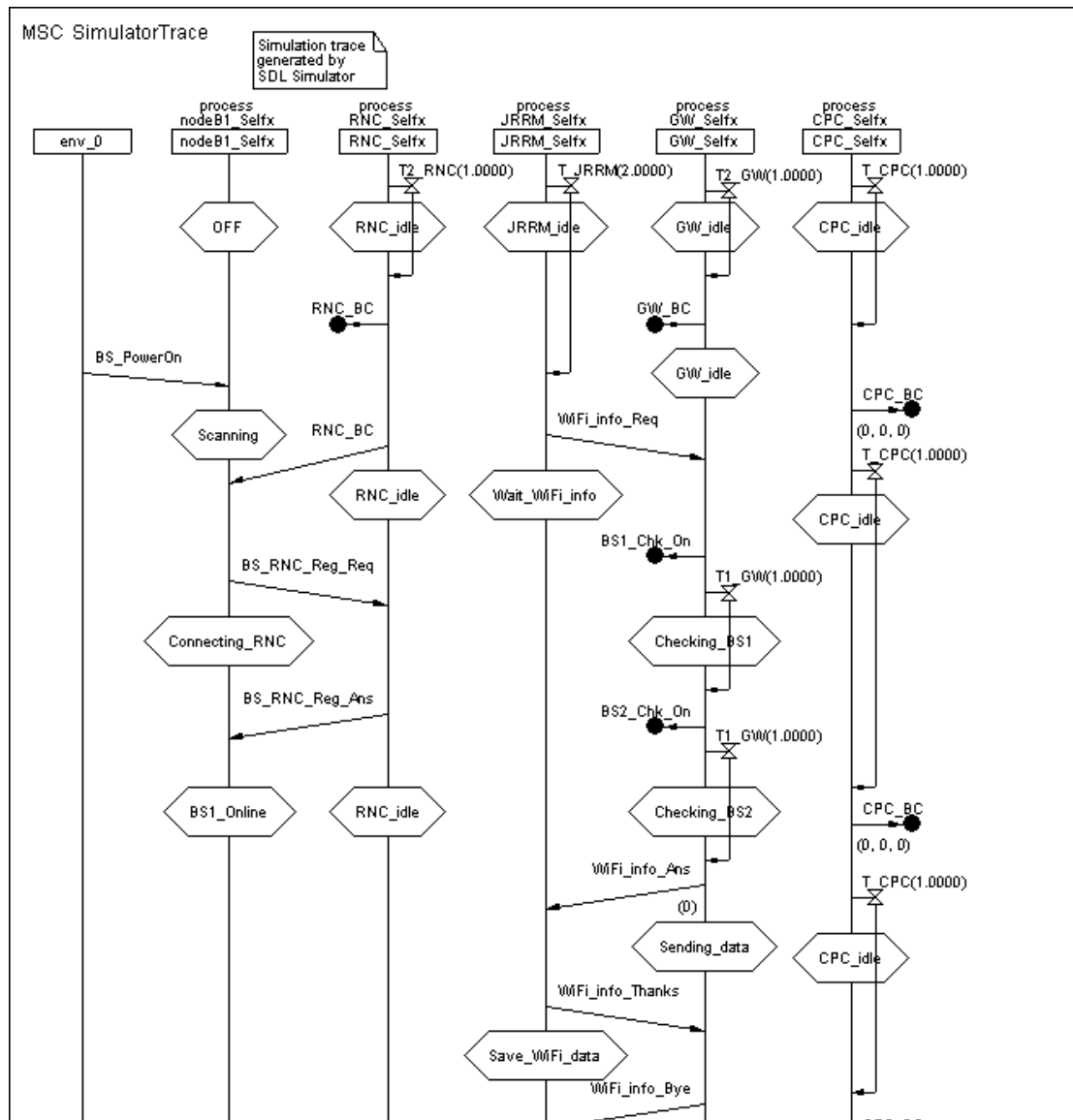
### A.3 – Συλλογή δεδομένων από JRRM και ενημέρωση του CPC

Στο παράδειγμα αυτό θα δούμε πως το CPC ενημερώνεται για τη κατάσταση του δικτύου έτσι ώστε να μπορεί να μεταδίδει τις κατάλληλες πληροφορίες προς τα τερματικά. Σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία έχει το JRRM το οποίο συλλέγει τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου. Στο παράδειγμα μας (Εικόνα A-4), τη χρονική στιγμή 0, όλοι οι σταθμοί βάσης είναι απενεργοποιημένοι και εκτός δικτύου. Έτσι οι πληροφορίες που στέλνει το CPC, αρχικά, είναι 0,0,0 το μας δείχνει ότι δεν υπάρχει ενεργός σταθμός στην περιοχή ευθύνης του CPC. Στην συνέχεια θα ενεργοποιήσουμε το σταθμό βάσης (στέλνουμε το σήμα BS\_PowerOn στο nodeB1\_Selfx) ο οποίος, μόλις λάβει το RNC\_BC, θα ακολουθήσει τη διαδικασία που περιγράψαμε στο A.2. Στην Εικόνα A-4, λόγω έλλειψης χώρου, έχουμε αφαιρέσει τα ενδιάμεσα βήματα καθώς και τις οντότητες που εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία (Προσομοίωση A.2).

Παράλληλα το JRRM ανά τακτά διαστήματα (timer T\_JRRM) ξεκινάει τη διαδικασία συλλογής πληροφοριών. Αρχικά θα ζητήσει (από το GW) τις πληροφορίες για τους ενεργούς σταθμούς με WiFi τεχνολογία πρόσβασης και στη συνέχεια θα ζητήσει (από το RNC) πληροφορίες για τους ενεργούς σταθμούς βάσης με UMTS τεχνολογία πρόσβασης. Το GW και το RNC ελέγχουν αντίστοιχα τους υπ ευθύνη τους σταθμούς βάσης και αποστέλλουν τα αποτελέσματα στο JRRM. Στο παράδειγμά μας (Εικόνα A-4), οι σταθμοί βάσης με WiFi τεχνολογία πρόσβασης είναι απενεργοποιημένοι και για αυτό το λόγο το GW δεν παίρνει απάντηση στα μηνύματα ελέγχου που έχει αποστείλει (BS1\_Chk\_On και BS2\_Chk\_On) μέσα στον επιτρεπόμενο χρόνο (timer T1\_GW). Συνεπώς καταλαβαίνει πως οι σταθμοί δεν είναι διαθέσιμοι και στέλνει τα αποτελέσματα (μεταβλητή bs=0) στο JRRM. Στη συνέχεια (Εικόνα A-5) το JRRM ζητάει από το RNC να του στείλει τα αντίστοιχα δεδομένα για τους σταθμούς βάσης με τεχνολογίας πρόσβασης UMTS (UMTS\_info\_Req). Στο παράδειγμα ο πρώτος σταθμός λειτουργεί και συνεπώς απαντάει στο μήνυμα ενώ ο δεύτερος όχι. Έτσι το RNC στέλνει τα αποτελέσματα (μεταβλητή nb=2) στο JRRM (UMTS\_info\_Ans). Στη συνέχεια το JRRM ενημερώνει το CPC το οποίο με τη σειρά του εκπέμπει το αντίστοιχο ενημερωμένο σήμα broadcast (CPC\_BC). Οι μεταβλητές bs και nb στην ουσία μας δίνουν το id των εν λειτουργία σταθμών βάσης. Οι τιμές των μεταβλητών RAT, bs και nb που αποστέλλονται με το CPC\_BC εξηγούνται στους παρακάτω πίνακες A-2, A-3 και A-4 αντίστοιχα.

WiFi Status	UMTS Status	RAT Variable (binary)	RAT Variable (decimal)
0 (off)	0 (off)	00	0
0 (off)	1 (on)	01	1
1 (on)	0 (off)	10	2
1 (on)	1 (on)	11	3

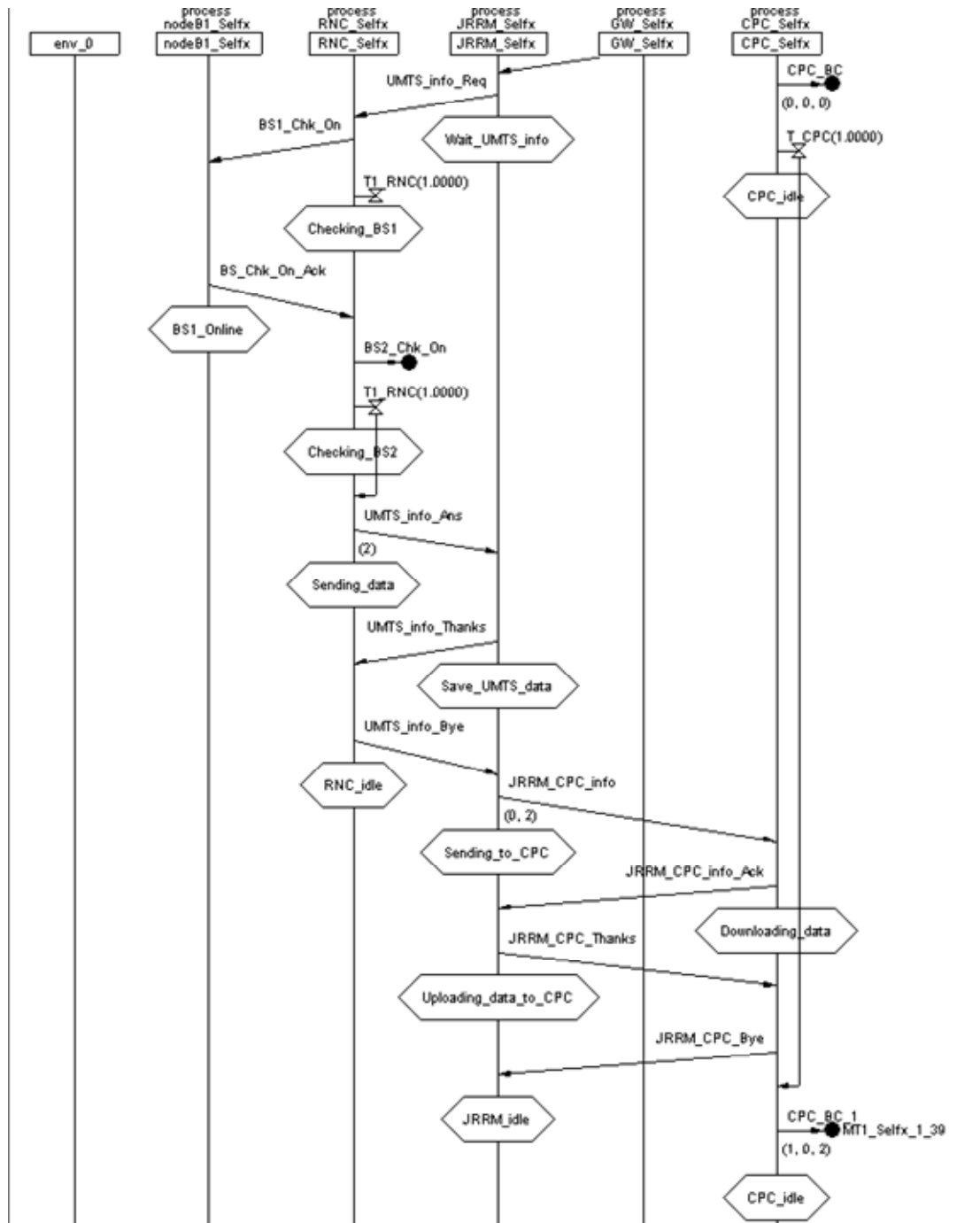
Πίνακας A-2: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής RAT (CPC\_BC)



Εικόνα A-4: Συλλογή δεδομένων από JRRM και ενημέρωση CPC (1/2)

BS1 (WiFi) Status	BS2 (WiFi) Status	bs Variable (binary)	bs Variable (decimal)
0 (off)	0 (off)	00	0
0 (off)	1 (on)	01	1
1 (on)	0 (off)	10	2
1 (on)	1 (on)	11	3

Πίνακας A-3: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής bs (CPC\_BC)



Εικόνα A-5: Συλλογή δεδομένων από JRRM και ενημέρωση CPC (2/2)

nodeB1 (UMTS) Status	nodeB2 (UMTS) Status	nb Variable (binary)	nb Variable (decimal)
0 (off)	0 (off)	00	0
0 (off)	1 (on)	01	1
1 (on)	0 (off)	10	2
1 (on)	1 (on)	11	3

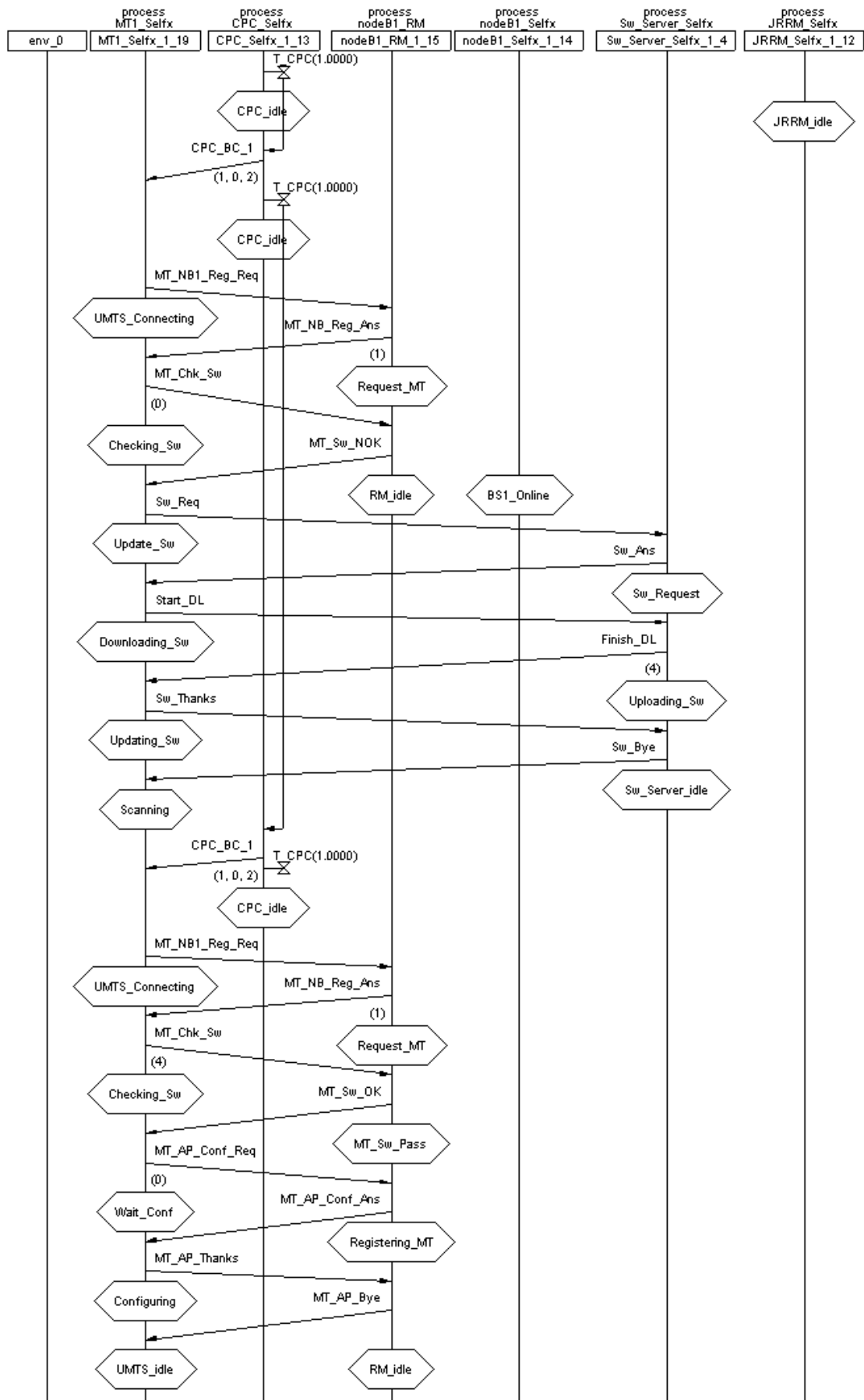
Πίνακας A-4: Επεξήγηση τιμών μεταβλητής nb (CPC\_BC)

#### **A.4 – Πρώτη ενεργοποίηση τερματικού και σύνδεση αυτού με το δίκτυο.**

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε τον τρόπο με το οποίο ένα τερματικό συνδέεται με το υπόλοιπο δίκτυο. Κατά την ενεργοποίηση του, το τερματικό, θα μπει σε κατάσταση Scanning κατά την οποία θα ψάξει να βρει το broadcast σήμα από το CPC. Με αυτό τον τρόπο θα ενημερωθεί για τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης καθώς επίσης και για τους αντίστοιχους ενεργούς σταθμούς βάσης. Στο παράδειγμα μας (εικόνα A-6 και A-7), κατά την ενεργοποίηση του τερματικού, όλοι οι σταθμοί βάσης είναι απενεργοποιημένοι με φυσικό επακόλουθο το Broadcast σήμα του CPC να δίνει την ίδια πληροφορία (RAT=0, bs=0, nb=0). Στην συνέχεια ενεργοποιείται ο σταθμός βάσης nodeB1 ο οποίος ολοκληρώνει την σύνδεση του με το υπόλοιπο δίκτυο (περισσότερες πληροφορίες στην ενότητα A.2). Έτσι το JRRM θα ενημερώσει το CPC για αυτή την αλλαγή (περισσότερες πληροφορίες στην ενότητα A.3) και αυτό με την σειρά του θα διαμορφώσει το broadcast σήμα. Συγκεκριμένα στο παράδειγμα μας, ενεργοποιήσουμε το σταθμό βάσης nodeB2 και όταν η σύνδεση του με το υπόλοιπο δίκτυο έχει ολοκληρωθεί, το JRRM ενημερώνει το CPC ότι υπάρχει σταθμός βάσης σε λειτουργία. Το CPC με την σειρά του διαμορφώνει το broadcast σήμα (σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην ενότητα A.3) και αρχίζει να το μεταδίδει. Το τερματικό θα λάβει το CPC\_BC (RAT=1, bs=0, nb=2) το οποίο (σύμφωνα με τους πίνακες A-2, A-3, A-4) υποδεικνύει πως στην συγκεκριμένη υπάρχει διαθέσιμο μόνο το UMTS σαν τεχνολογία πρόσβασης και ένας σταθμός βάσης ενεργός ο οποίος είναι ο nodeB2. Όταν λοιπόν το τερματικό λάβει αυτές τις πληροφορίες στέλνει ένα αίτημα σύνδεσης στο RM του αντίστοιχου σταθμού βάσης και ξεκινάει τη διαδικασία σύνδεσης με το υπόλοιπο δίκτυο. Πριν ολοκληρωθεί η σύνδεση του είναι πιθανό το τερματικό να χρειαστεί να αναβαθμίσει το λογισμικό του με κάποια νεότερη έκδοση (εικόνα A-7). Η διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού είναι παρόμοια με αυτή που ακολουθεί ένα καινούριος σταθμός βάσης και περιγράφεται στην ενότητα A-2. Σε περίπτωση που στην περιοχή ευθύνης του CPC υπήρχαν περισσότερες τεχνολογίες πρόσβασης διαθέσιμες και μεγαλύτερος αριθμός ενεργών σταθμοί βάσης, τότε το τερματικό θα έκανε την επιλογή της τεχνολογίας και του σταθμού βάσης ανάλογα με τις απαιτήσεις του και τις προτιμήσεις του.







Εικόνα Α-7: Πρώτη ενεργοποίηση τερματικού και σύνδεση αυτού με το δίκτυο (2/2):