



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

**Προδιαγραφές Αρχιτεκτονικής Κινητών Συστημάτων  
Επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> Γενιάς**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αθανάσιος Γ. Γεωργιόπουλος

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

Τρίπολη, Δεκέμβριος 2012

*Αφιερωμένο στους γονείς μου,  
π. Γεώργιο και Βασιλική.*

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήταν μεγάλη μου παράλειψη να μην ευχαριστήσω όλους αυτούς τους ανθρώπους οι οποίοι συνέβαλλαν με διαφόρους τρόπους στην ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών.

Ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Καλόξυλο ο οποίος με την καθοδήγηση του, την διαρκή στήριξη του, την μεγάλη εμπειρία του καθώς και με την βαθιές γνώσεις του συνέβαλε με το μέγιστο αποτελεσματικό τρόπο στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Ευχαριστώ επίσης το Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου για την διάθεση του εργαστηριακού χώρου και την παραχώρηση υπολογιστών για την πραγματοποίηση της υλοποίησης σε SDL της καινούριας αρχιτεκτονικής καθώς και το προσωπικό του εργαστηρίου που ήταν πρόθυμα να με βοηθήσει σε ότι πρόβλημα προέκυπτε.

Ευχαριστώ την οικογένεια μου, τον πατέρα μου π. Γεώργιο, την μητέρα μου Βασιλική και τις αδελφές μου Ζωή και Δήμητρα. Το ξέρω, ότι και να πω για σας θα είναι λίγο μπροστά στην διαρκή στήριξη σε όλους τους τομείς που μου παρείχατε κατά την διάρκεια των σπουδών μου βάζοντας στην άκρη τις δυσκολίες των καιρών.

Κλείνοντας θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους κολλητούς και αχώριστους φίλους μου, Δημήτρη, Γιάννη και Θοδωρή οι οποίοι ποτέ δεν σταμάτησαν όλα αυτά τα χρόνια να μου συμπαραστέκονται, να με ενθαρρύνουν και να με κατανοούν σε κάθε τι καινούριο που με προβλημάτιζε κατά καιρούς.

Τρίπολη, Δεκέμβριος 2012

Αθανάσιος Γ. Γεωργιόπουλος



## Συντομογραφίες

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
E <sup>4</sup>	Evolved End-to-End Efficiency
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-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	Εισαγωγή .....	9
2	Η αρχιτεκτονική End to End Efficiency Project (E <sup>3</sup> ) .....	11
2.1	Εισαγωγή .....	11
2.1	Δυναμικά αυτό-οργανούμενα δίκτυα (Self Organizing Networks SON) .....	11
2.2	Δομικά στοιχεία της E <sup>3</sup> Αρχιτεκτονικής .....	12
2.3	Παρουσίαση των λειτουργικών οντοτήτων .....	12
2.4	Παραδείγματα Λειτουργίας των μηχανισμών δικτύου της E <sup>3</sup> .....	15
3	Προτάσεις για την ανάδειξη μιας βελτιωμένης αρχιτεκτονικής.....	18
3.1	Εισαγωγή .....	18
3.2	Διαφορές της E <sup>4</sup> Αρχιτεκτονικής με την αντίστοιχη της E <sup>3</sup> .....	19
3.3	Παραδείγματα Λειτουργίας των μηχανισμών δικτύου της E <sup>4</sup> .....	21
3.3.1	Επιλογή Πρόσβασης για το Τερματικό.....	21
3.3.2	Ενημέρωση του JRRM για την κατάσταση του RAN.....	23
Σχήμα 13:	Διαδικασία handover η οποία προκλήθηκε και ελέγχεται από το JRRM ..	26
3.3.3	Παράδειγμα λειτουργίας In-Band και Out-Band CPC .....	26
Σχήμα 14:	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για συνδυασμό In-Band και Out-Band CPC.....	26
3.3.4	Αποτυχία δικτυακών στοιχείων .....	27
Σχήμα 15:	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για αναμενόμενη αποτυχία .....	27
3.3.5	Ανάκτηση λειτουργιών του σταθμού βάσης μετά από επίλυση της δικτυακής του αποτυχίας .....	29
4	Υλοποίηση πτυχών της E <sup>4</sup> Αρχιτεκτονικής σε SDL .....	31
4.1	Εισαγωγή .....	31
4.2	Παρουσίαση υλοποίησης στην SDL του πρώτου παραδείγματος .....	32
4.3	Διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων (MSCs) μετά από προσομοίωση σεναρίων λειτουργίας.....	38
4.3.1	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αναμενόμενης αποτυχίας RAT ....	39
4.3.2	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων εγκατάστασης καινούριου σταθμού βάσης στο δίκτυο .....	42
4.3.3	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων σύνδεσης τερματικού στο δίκτυο.	44

4.3.4	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού υπό την επίβλεψη του NP .....	46
4.4	Παρουσίαση υλοποίησης στην SDL του δεύτερου παραδείγματος.....	49
4.5	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αλλαγής τεχνολογίας πρόσβασης του τερματικού υπό την επιτήρηση του JRRM .....	53
5	Συμπεράσματα.....	55
6	Βιβλιογραφία .....	57



## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Σενάριο ανταλλαγής πληροφοριών CPC μεταξύ του τερματικού (T) και δικτύου (N)[25].....	16
Σχήμα 2: Παράδειγμα διαδικασίας για Self-x περιπτώσεις χρήσης[25].....	17
Σχήμα 3: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για την επιλογή πρόσβασης του τερματικού .....	22
Σχήμα 4: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για την επικαιροποίηση των πληροφοριών που αφορούν την κατάσταση του RAN.....	23
Σχήμα 5: Διαδικασία handover η οποία προκλήθηκε από το τερματικό και ελέγχεται από το JRRM .....	25
Σχήμα 6: Διαδικασία handover η οποία προκλήθηκε και ελέγχεται από το JRRM ....	26
Σχήμα 7: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για συνδυασμό In-Band και Out-Band CPC.....	26
Σχήμα 8: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για αναμενόμενη αποτυχία.....	27
Σχήμα 9: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων με σκοπό την ανάκτηση λειτουργιών του σταθμού βάσης που αντιμετώπισε πρόβλημα .....	29
Σχήμα 10: Οργανωτική απεικόνιση του δικτύου του πρώτου παραδείγματος μας ....	32
Σχήμα 11: Υλοποίηση σε sdl του πρώτου επιπέδου του συστήματος μας.....	33
Σχήμα 12: Υλοποίηση του block OSS σε SDL .....	34
Σχήμα 13 : Υλοποίηση σε SDL του block CN(Core Network).....	34
Σχήμα 14: Υλοποίηση σε SDL του block RAN .....	35
Σχήμα 15: Υλοποίηση σε SDL του Block UMTS_1 .....	36
Σχήμα 16 :Υλοποίηση σε SDL του Block UMTS2.....	37
Σχήμα 17: Υλοποίηση σε SDL του Block MT .....	38
Σχήμα 18: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αναμενόμενης αποτυχίας RAT(1/2) .	40
Σχήμα 19: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αναμενόμενης αποτυχίας RAT(2/2)	41
Σχήμα 20: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων εγκατάστασης νέου σταθμού βάσης στο δίκτυο .....	42
Σχήμα 21: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία σύνδεσης του τερματικού στο δίκτυο .....	45

Σχήμα 22: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού(1/2).....	47
Σχήμα 23: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού(2/2).....	48
Σχήμα 24: Οργανωτική δομή του δικτύου του δεύτερου παραδείγματος μας .....	49
Σχήμα 25: Οργανωτική δομή πρώτου επιπέδου δευτέρου παραδείγματος .....	50
Σχήμα 26: Υλοποίηση σε sdl του block ran του δευτέρου παραδείγματος .....	51
Σχήμα 27: Υλοποίηση του block Lte του 2 <sup>ου</sup> παραδείγματος .....	52
Σχήμα 28: Υλοποίηση του block MT του 2 <sup>ου</sup> παραδείγματος .....	52
Σχήμα 29: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αλλαγής τεχνολογίας πρόσβασης υπό την επιτήρηση του JRRM .....	54

## 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών βρίσκεται σε μια περίοδο ριζικής αλλαγής με την τη σύγκλιση του Διαδικτύου και των κινητών υπηρεσιών φωνής. Επιπλέον τα δίκτυα άρχισαν να γιγαντώνονται με ταχύτατους ρυθμούς γεγονός που έκανε την επίβλεψη και διαχείρισή τους ιδιαίτερα δύσκολη. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την επέκταση του δικτύου επηρεάζουν τόσο την διαχείριση της καθημερινής λειτουργίας του όσο και τον στρατηγικό σχεδιασμό για τη μελλοντική ανάπτυξή του. Επιπλέον έχει αυξηθεί σημαντικά η πιθανότητα να συμβεί κάποιο λάθος και έτσι ολόκληρο το δίκτυο ή ένα μέρος του να τεθεί εκτός λειτουργίας ή να μειωθεί η αξιοπιστία και η απόδοση του.

Απ' την άλλη μεριά μέσα από την ανάπτυξη της τεχνολογίας, ο κάθε χρήστης έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει μια πληθώρα από συσκευές διαφορετικών κατηγοριών που μπορούν να μεταδώσουν ασύρματα, δεδομένα. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα ο κάθε πάροχος ασύρματης πρόσβασης να έχει να υποστηρίξει έναν αυξανόμενο αριθμό χρηστών, να διασφαλίσει την ποιότητα παροχής υπηρεσιών στον πελάτη καθώς επίσης και να αυξήσει την απόδοση του δικτύου μέσα από την εφαρμογή κατάλληλων πολιτικών διαχείρισης και του σωστού QoS (Quality of Service) για να καλύψει την αυξανόμενη ανάγκη για ασύρματη μετάδοση δεδομένων.

Μια αυξανόμενη ανάγκη προέκυψε λοιπόν για την αυτοματοποιημένη διαχείρισή των δικτύων, η οποία θα ελάττωνε τις πιθανότητες σφάλματος σε διαφορετικά περιβάλλοντα τεχνολογιών και υπηρεσιών, θα αξιοποιούσε καλύτερα το διαθέσιμο φάσμα, θα ικανοποιούσε τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών και θα μείωνε τα έξοδα για τη λειτουργία και συντήρηση του δικτύου. Έτσι μια σειρά από αρχιτεκτονικές αυτόνομης διαχείρισης άρχισαν να προτείνονται από διάφορους Οργανισμούς Τυποποίησης, από ερευνητικά κέντρα ή ακόμα και από μεμονωμένους ερευνητές με απώτερο σκοπό την επίτευξη των παραπάνω στόχων.

Ο σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να μελετήσει μια από αυτές τις αρχιτεκτονικές η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου End-to-End Efficiency (E3) (<https://ict-e3.eu/>). Μετά από τη μελέτη αυτή έγινε μια προσπάθεια απλοποίησης κάποιων από τα δομικά στοιχεία της εν λόγω αρχιτεκτονικής και τέλος μια υλοποίηση της σε υψηλό επίπεδο χρησιμοποιώντας την γλώσσα προδιαγραφής πρωτοκόλλων SDL. Η SDL (Specification and Description Language) [1] είναι η

γλώσσα προδιαγραφής και περιγραφής πρωτοκόλλων και τηλεπικοινωνιακών συστημάτων γενικότερα, που αναπτύχθηκε και τυποποιήθηκε από την CCITT [2] (International Telegraph and Telephone Consultative Committee). Γενικά, οι προδιαγραφές και οι περιγραφές καλύπτουν ποικίλους τομείς ενός συστήματος. Η SDL εστιάζει στη συμπεριφορά των συστημάτων, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση δεδομένων, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο.

## 2 Η αρχιτεκτονική End to End Efficiency Project (E<sup>3</sup>)

### 2.1 Εισαγωγή

#### 2.1 Δυναμικά αυτό-οργανούμενα δίκτυα (Self Organizing Networks SON)

Στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα τα δικτυακά στοιχεία ρυθμίζονται χειροκίνητα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους λόγω του ότι εξειδικευμένο προσωπικό θα πρέπει να αναλάβει να ρυθμίσει τις παραμέτρους. Η παραπάνω διαδικασία όμως είναι χρονοβόρα και επιρρεπής σε λάθη και πιο αργή σε σχέση με τις πολύ συχνές αλλαγές στη λειτουργία του δικτύου, με αποτέλεσμα τη χαμηλή απόδοση. Επειδή τα μελλοντικά δίκτυα θα είναι ετερογενή και θα υποστηρίζουν ποικίλες εφαρμογές και υπηρεσίες, η διαχείριση των δικτυακών κόμβων θα είναι ακόμα πιο πολύπλοκη. Γι αυτό το λόγο λοιπόν, είναι επιτακτική ανάγκη, σ' ένα περιβάλλον όπως έχει περιγραφεί παραπάνω, η εισαγωγή και υιοθέτηση αυτοματισμών και δυνατοτήτων αυτό-οργάνωσης που θα διαμορφώνουν τα δικτυακά στοιχεία όταν αυτό απαιτείται.

Οι λειτουργίες ενός δυναμικά αυτό-οργανούμενου δικτύου (Self Organizing Network) όπως αναφέρεται και στο [7] μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Η αυτό-διαμόρφωση παραμέτρων (Self-Configuration): π.χ., αρχική διαμόρφωση διευθύνσεων, πιστοποίηση, εγκατάσταση και διαμόρφωση λογισμικού, διαμόρφωση παραμέτρων κάλυψης κτλ
- Η αυτό-βελτιστοποίηση (Self-Optimization): αλλαγή σε κάποιες από τις παραπάνω παραμέτρους για την πιο αποδοτική λειτουργία του δικτύου
- Η αυτό-αποκατάσταση (Self-Healing): ο εντοπισμός και η αποκατάσταση βλαβών

Μια τέτοια αρχιτεκτονική υλοποιήθηκε στο ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο E<sup>3</sup> ([14]-[16]) και παρουσιάζεται στις επόμενες υπό-ενότητες.

## **2.2 Δομικά στοιχεία της E<sup>3</sup> Αρχιτεκτονικής**

Η αρχιτεκτονική παρουσιάζεται όπως αναφέρεται και στο [15] σε ένα δισδιάστατο χώρο. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στους αρχιτεκτονικούς πυλώνες της E<sup>3</sup>, και συγκεκριμένα:

- Reconfiguration Management,
- Cognition Enablers,
- Autonomic Radio Entity Management ,
- Spectrum Management,
- Cognitive Radio Access Network Optimization,
- Radio Resource Management.

Οι διάφορες περιπτώσεις εγκατάστασης της E<sup>3</sup> αρχιτεκτονικής αποτυπώνονται στον κατακόρυφο άξονα. Συγκεκριμένα από πάνω προς τα κάτω εμφανίζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος:

- Multi / Meta Operator,
- Single Operator,
- Multi Radio,
- Radio Technology Specific Case,
- Vendor Specific HW/SW.

Κάθε πυλώνας συλλαμβάνει μια συγκεκριμένη περιοχή του project. Μέσα σε κάθε περιοχή υπάρχουν ένα ή περισσότερα δομικά στοιχεία. Κάθε δομικό στοιχείο τοποθετείται μέσα σε ένα πυλώνα, σύμφωνα με τις περιπτώσεις που προβλέπεται ότι θα αντιμετωπίσει.

## **2.3 Παρουσίαση των λειτουργικών οντοτήτων**

Τα δομικά στοιχεία που έχει ένα σύστημα το οποίο είναι βασισμένο στην E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική όπως αναφέρονται στα [14][15][16] είναι τα εξής:

- Autonomic Entity Management (AEM)
- Cognitive Control Radio (CCR)
- Cognitive Pilot Channel (CPC)
- Spectrum Sensing (SS)

- Reconfiguration Control Module (RCM)
- Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Dynamic Self-Organizing Network Planning and Management (DSNPM)
- Self-x for Radio Access Networks (Self-x for RAN)
- Joint Radio Resource Management (JRRM)
- Radio Resource Management (RRM)

Το Autonomic Entity Management [19] ( AEM – Αυτόνομη διαχείριση οντότητας ) στοχεύει στην αυτόνομη λειτουργία των γνωσιακών Μίκρο-κυματικών οντοτήτων με σκοπό την επίτευξη μιας βέλτιστης απόδοσης. Το AEM εκτελεί επίσης την λειτουργία επιλογής ράδιο τεχνολογίας(Radio Access Technology-RAT) σε ad-hoc ή multi-hop περιπτώσεις διαδρομής, σε αντίθεση προς το JRRM που εμπλέκεται στις παραδοσιακές λειτουργίες επιλογής RAT.

Το Cognitive Control Radio ( CCR- Γνωσιακή Διαχείριση Μίκρο-κυματικής )[20] είναι μια ραδιοεπικοινωνία υποστήριξης μεταξύ ετερογενών κόμβων του δικτύου(π.χ. μεταξύ των τερματικών σταθμών ή μεταξύ ενός δικτύου πρόσβασης και των τερματικών ) για την ανταλλαγή πληροφοριών του συστήματος. Λειτουργεί σε μια γνωστή συχνότητα και προορίζεται για χρήση σε μη αδειοδοτημένη ζώνη όπου τα ασύρματα τερματικά μπορούν να λειτουργήσουν. Επιπλέον αυτή η γνωστική μπάντα μπορεί να περιέχει και άλλους χρήστες.

Το Cognitive Pilot Channel [17][18]( CPC - Γνωσιακό Πιλοτικό Κανάλι) είναι ένα λογικό και προαιρετικό επίσης γνωσιακό κανάλι, το οποίο παρέχει πληροφορίες από το δίκτυο προς τα τερματικά,(π.χ. για τις ζώνες συχνοτήτων, για τις τεχνολογίες πρόσβασης, για τις πολιτικές χρήσης του ράδιο-φάσματος κλπ.) ώστε να καταστεί δυνατό ένα τερματικό να βρει για αυτό την βέλτιστη πρόσβαση στο δίκτυο κορμού.

Ο σκοπός του Spectrum Sensing[23]( SS – Ανίχνευση Φάσματος) είναι να αποκτήσει γνώση των διαθέσιμων ράδιο-συστημάτων,Να χαρακτηρίσει της συνθήκες ράδιο-μετάδοσης και να εκτιμήσει την ποιότητα της ράδιο-ζεύξης. Οι SS πληροφορίες μπορούν να διανεμηθούν μεταξύ διαφόρων κόμβων χρησιμοποιώντας το CCR ή το CPC.

Το Reconfiguration Control Module [15] (RCM –Μονάδα ελέγχου αναδιαμόρφωσης) είναι κυρίως υπεύθυνο για την εκτέλεση της αναδιαμόρφωσης ενός τερματικού σταθμού ή σταθμού βάσης ,ακολουθώντας τις οδηγίες που παρέχονται

από τα άλλα δομικά στοιχεία, συνήθως από το DSNMP, Το Self-x for RAN και το JRRM. Είναι απαραίτητο σε αναδιαρθρώσιμα τερματικά, σταθμούς βάσης, έτσι ώστε να επιβάλει και να συνειδητοποιήσουν την προσαρμογή τους στην παρούσα κατάσταση.

Το Dynamic Spectrum Management ( DSM – Δυναμική διαχείριση φάσματος) [20] [21] παρέχει τη μέσω και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος (π.χ. της τάξης ωρών ή ημερών) για τα διάφορα ράδιο-συστήματα. Επιπλέον παρέχει τις πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές για την ανάθεση των συχνοτήτων και πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το ρυθμιστικό πλαίσιο για τη χρήση φάσματος.

Το Dynamic Self-Organizing Network Planning and Management (DSNMP- Δυναμικός σχεδιασμός και διαχείριση αυτό-οργανώμενου δικτύου) [22] παρέχει τις μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αποφάσεις επί των δράσεων της αναδιαμόρφωσης ενός τμήματος του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη ορισμένες πληροφορίες εισόδου καθώς επίσης εφαρμόζοντας και την λειτουργικότητα της βελτιστοποίησης, ενισχυμένες με μαθησιακές ικανότητες. Για παράδειγμα το DSNMP αποφασίζει για την βέλτιστη παραμετροποίηση ενός ευέλικτου σταθμού βάσης FBS(Flexible Base Station). Αυτές οι αποφάσεις παραμετροποιούνται στο RCM το οποίο είναι υπεύθυνο και για την εκτέλεση και εφαρμογή αυτών των παραμετροποιήσεων όπως είδαμε παραπάνω.

Το Self-x for Radio Access Networks ( Self-x for RAN ) [23] ενεργοποιεί τον αυτοματισμό για τις επιχειρησιακές εργασίες, Γενικά αυτές οι λειτουργίες self-x βασίζονται σε ένα επαναληπτικό βρόχο που περιέχει τις εξής διαδικασίες: συλλογή εισερχόμενων πληροφοριών, επεξεργασία αυτών και τέλος εξαγωγή της βέλτιστης παραμετροποίησης.

Το Self-x for RAN [15] στοχεύει στις λειτουργίες αυτό-οργάνωσης για το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN), παρέχοντας κυρίως βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αποφάσεις. Το Self-x for RAN το εντοπίζουμε συνήθως στις περιπτώσεις χρήσης που είναι σχετικές με την τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης. Τέτοια παραδείγματα περιπτώσεων χρήσης είναι τα παρακάτω «βελτιστοποίηση παραμέτρων διαπομπής (handover), ανίχνευση διακοπής των κυττάρων και αποζημίωση, καθώς επίσης και εξισορρόπηση φόρτου.»

Το Self-x for RAN συνεργάζεται με τις παρακάτω οντότητες :

- Με το JRRM, για την εφαρμογή αποφάσεων του Self-x for RAN



- Με το DSNMP, για να παίρνει KPIs(Key Performance Indicators) και πολιτικές
- Με το RCM για την εφαρμογή των παραμετροποιήσεων

Το Joint Radio Resource Management (JRRM) [24] εκτελεί την από κοινού διαχείριση των ράδιο-πόρων που μπορεί να ανήκουν σε ετερογενή RATs. Επιλέγει την καλύτερη ασύρματη πρόσβαση ανάλογα με τις απαιτήσεις ενός χρήστη με βάση:

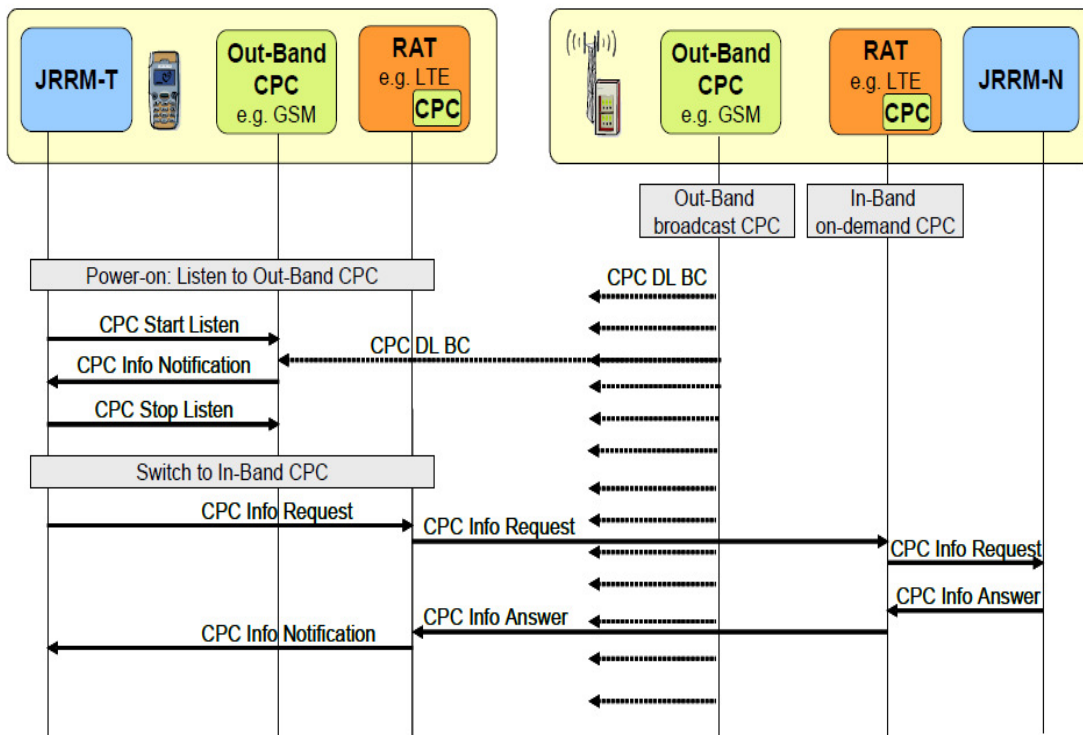
- Το αιτούμενο QoS ( εύρος ζώνης, μέγιστη καθυστέρηση κλπ.)
- Τις συνθήκες μετάδοσης (ποιότητα σήματος, διαθέσιμο εύρος ζώνης)
- Την κατάσταση του δικτύου(χωρητικότητα κυψέλης, φόρτο κυψέλης)
- Τις προτιμήσεις του χρήστη
- Τις πολιτικές του δικτύου

Το JRRM παρέχει επίσης πληροφορίες σχετικές με τους γείτονες για πιο αποτελεσματική ανακάλυψη των διαθέσιμων επιλογών πρόσβασης, οι οποίες μπορούν να διανεμηθούν χρησιμοποιώντας το CPC.

Το Radio Resource Management (RRM) περιέχει την λειτουργικότητα της ειδικής διαχείρισης ράδιο-πόρων για τα RAT. Αυτή η λειτουργικότητα υπάρχει ήδη στα τωρινά GSM και UMTS δίκτυα ,αλλά χρειάζεται να επεκταθεί με μια ενιαία διεπαφή προς το JRRM.

#### **2.4 Παραδείγματα Λειτουργίας των μηχανισμών δικτύου της E<sup>3</sup>**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε δύο παραδείγματα της λειτουργικότητας του E<sup>3</sup> με τη μορφή των διαγραμμάτων ακολουθίας μηνυμάτων όπως αυτά περιγράφονται στο [25]. Σκοπός μας είναι για λόγους πληρότητας της εργασίας να παρουσιάσουμε και σ' αυτό το κείμενο πώς συνεργάζονται μεταξύ τους οι λειτουργικές οντότητες της E<sup>3</sup> που παρουσιάστηκαν πάρα πάνω, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των εξελιγμένων διαδικασιών διαχείρισης



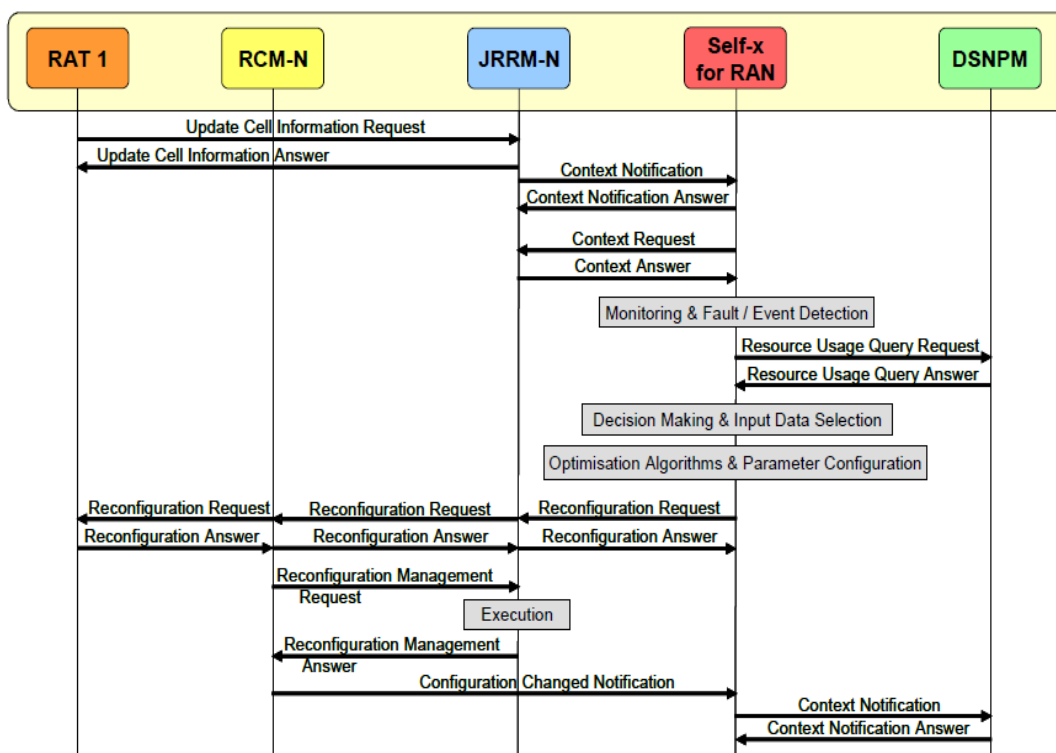
Σχήμα 1: Σενάριο ανταλλαγής πληροφοριών CPC μεταξύ του τερματικού (T) και δικτύου (N)[25]

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται ένα σενάριο για την συνδυασμένη χρήση του Out-band CPC και του In-band CPC. Στην λεγόμενη «φάση εκκίνησης», όταν το τερματικό είναι ενεργοποιημένο, ξεκινά ακρόαση στο Out-band CPC για να αποκτήσει τις βασικές παραμέτρους (π.χ. τοπικά διαθέσιμα δίκτυα) για την επιλογή του δικτύου και τη σύνδεση. Μετά τη σύνδεση σε ένα δίκτυο το τερματικό σταματά να ακούει το Out-Band CPC και ξεκινά την ανάκτηση των In-Band CPC πληροφοριών στο εγγεγραμμένο δίκτυο με τη χρήση των on-demand διαδικασιών "CPC\_Info\_Request" και "CPC\_Info\_Answer".

Το Σχήμα 2 δείχνει μια παραδειγματική διαδικασία ή οποία εφαρμόζεται γενικά για τις Self-x περιπτώσεις χρήσης (π.χ. βελτιστοποίηση λίστας γειτονικών κυψελών, τον έλεγχο παρεμβολών, βελτιστοποίηση των παραμέτρων διαπομπής, εξισορρόπηση φόρτου, ανίχνευση διακοπής κυττάρων και αποζημίωση) σε ένα μονό περιβάλλον RAT. Το λειτουργικό τμήμα "Self-x for RAN" χρησιμοποιεί τις διαδικασίες Monitoring and Fault/Event Detection για να ελέγχει συνεχώς την κατάσταση του περιβάλλοντος του δικτύου. Η λειτουργία παρακολούθησης εκτιμά όλες τις εκθέσεις μέτρησης του συστήματος. Η Fault/Event Detection λειτουργία ανιχνεύει αν ένα σφάλμα και / ή άλλο γεγονός (π.χ. διακοπή λειτουργίας των κυττάρων, κυτταρικές

παρεμβολές, ασύμμετρος φόρτος δικτύου, μη-κατάλληλες διαμορφώσεις, αναγνώριση ενός νέου σταθμού βάσης, κλπ.) έχει συμβεί. Το DSNPM υποστηρίζει τις διαδικασίες αυτές με την παροχή KPIs και πολιτικών για το "Self-x for RAN". Η λειτουργία Λήψης Αποφάσεων αποφασίζει κατά πόσον είναι αναγκαίο να αλλάξει η συμπεριφορά του συστήματος και επιλέγει τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Η λειτουργία Input Data Selection υπολογίζει διαφορετικές μετρήσεις εισόδου και ορίζει τις παραμέτρους για την έναρξη των αλγόριθμων βελτιστοποίησης. Προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα των αντίστοιχων ενεργειών, η γνώση που έχει δημιουργηθεί από πρώην αποτελέσματα βελτιστοποίησης εκτιμάται επίσης από την Input Data Selection λειτουργία. Μετά την εκτέλεση, των αλγόριθμων βελτιστοποίησης και της προκύπτουσας διαμόρφωσης παραμέτρων, η δυνατότητα αναδιαμόρφωσης ελέγχεται μεταξύ των Self-x for RAN και RCM-N και μία αντίστοιχη εντολή αποστέλλεται στο JRRM-N.

Τέλος, το Self-x για RAN και το DSNPM είναι ενημερωμένα για τις νέες ρυθμίσεις. Αυτή η διαδικασία γενικά ισχύει για όλες τις Self-x (single RAT) περιπτώσεις χρήσης.



Σχήμα 2: Παράδειγμα διαδικασίας για Self-x περιπτώσεις χρήσης[25]

### **3 Προτάσεις για την ανάδειξη μιας βελτιωμένης αρχιτεκτονικής**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Μελετώντας και αναλύοντας την αρχιτεκτονική E<sup>3</sup> προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε Κάποια σημεία που ενδεχομένως να μείωναν τη συνολική πολυπλοκότητα του συστήματος συγχωνεύοντας κάποιες από τις λειτουργίες σε μικρότερο αριθμό οντοτήτων.

Κατά την διαδικασία ανάλυσης της E<sup>3</sup> αρχιτεκτονικής παρατηρήσαμε ότι πολλές από τις λειτουργικές οντότητες συνυπάρχουν με άλλα στοιχεία και βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη του δικτύου: Π.χ. Το DSNMP εμφανίζεται στο Radio Access Network , στο Core Network και στο Operation & Management κομμάτι του δικτύου που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των λογικών καναλιών και της σηματοδοσίας. Τα JRRM-N και το JRRM-T είναι ομότιμες οντότητες στο δίκτυο και στο τερματικό. Η JRRM-T υπάρχει κυρίως για να συλλέγει στοιχεία τα οποία αξιολογούνται από το JRRM-N. Τα στοιχεία αυτά όμως μπορούν κάλλιστα να συλλέγονται από μια από τις άλλες οντότητες που υπάρχουν στο τερματικό

Επιπλέον παρατηρήσαμε ότι η ύπαρξη πολλών λειτουργικών οντοτήτων στα κατά μέρη στοιχεία του δικτύου δεν είναι επιβεβλημένη και μπορούν να συγχωνευθούν σε μία λειτουργική οντότητα η οποία θα έχει πιο διευρυμένες αρμοδιότητες και θα καλύπτει εξίσου αποτελεσματικά την λειτουργία του δικτύου. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των λογικών καναλιών και την απλοποίηση του συστήματος. Π.χ. το Spectrum Sensing θα μπορούσε να είναι ενσωματωμένο λειτουργικά στο Self-x κλπ.

Κλείνοντας για όλους του παραπάνω λόγους προχωράμε στην δημιουργία μιας τροποποιημένης αρχιτεκτονικής, βασισμένη στην E<sup>3</sup> την οποία θα υλοποιήσουμε σε SDL και θα παρουσιάσουμε παραδείγματα χρήσης για την καλύτερη κατανόηση της. Την τροποποιημένη αρχιτεκτονική την αποκαλούμε E<sup>4</sup>

### 3.2 Διαφορές της E<sup>4</sup> Αρχιτεκτονικής με την αντίστοιχη της E<sup>3</sup>

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τις λειτουργικές οντότητες που συναντάμε στην συγκεκριμένη αρχιτεκτονική καθώς επίσης θα ορίσουμε και τις αρμοδιότητες τους όσο πιο καλύτερα γίνεται.

Οι λειτουργικές οντότητες είναι οι εξής:

- Network Planning (NP)
- Dynamic Spectrum Management (DSM)
- Radio Management (RM)
- Joint Radio Resource Management (JRRM)
- Self-X
- Cognitive Pilot Channel (CPC)

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των ορισμών των παραπάνω οντοτήτων θα ήταν χρήσιμο να παρουσιάσουμε τις διαφορές μεταξύ των E<sup>3</sup> και E<sup>4</sup> αρχιτεκτονικών έτσι ώστε να αναδείξουμε την βελτίωση που προκύπτει με την νέα προσέγγιση μας.

Αναλύοντας την E<sup>3</sup> αρχιτεκτονική παρατηρήσαμε ότι το DSNMP εμφανίζεται σε πολλούς τομείς του δικτύου μας κάτι που συνεισφέρει στην αύξηση των λογικών καναλιών και της σηματοδότησης. Ως εκ τούτου αποφασίσαμε λοιπόν την δημιουργία μιας νέας οντότητας του NP της οποίας ο ορισμός βρίσκεται παρακάτω και η οποία τοποθετείται στο OSS κομμάτι του δικτύου μας.

Ένα δεύτερο πράγμα που διαπιστώσαμε και θελήσαμε να βελτιστοποιήσουμε είναι το JRRM. Όπως μπορούμε να δούμε στην E<sup>3</sup> διαχωρίζεται σε δύο μέρη α) το JRRM-T και β) το JRRM-N. Δηλαδή στο κομμάτι του τερματικού και στο κομμάτι του δικτύου αντίστοιχα. Εδώ σε αυτή την περίπτωση θεωρήσαμε ότι είναι πλεονασμός η ύπαρξη του JRRM στο κομμάτι του τερματικού εφόσον το τερματικό δεν κάνει διαχείριση ράδιο-πόρων παρά μόνο δέχεται αποφάσεις. Στο κομμάτι λοιπόν του τερματικού απαλείφθηκε η παρουσία της συγκεκριμένης οντότητας, ενώ στο κομμάτι του δικτύου τοποθετήθηκε σε πιο κεντρική θέση.

Επιπροσθέτως στο κομμάτι του τερματικού παρατηρήσαμε ότι υπάρχουν λειτουργικές οντότητες, για τις οποίες δεν είναι επιβεβλημένη η αυτόνομη παρουσία τους λόγω της περιορισμένης λειτουργίας τους. Π.χ. Spectrum Sensing, RCM, CPC.

Έτσι λοιπόν αποφασίσαμε την ενσωμάτωση των λειτουργιών των συγκεκριμένων οντοτήτων σε μια ενιαία η οποία είναι το Self-X. Με αυτό τον τρόπο μπορεί κάποιος να επιτύχει μείωση του αριθμού των διεπαφών.

Στο κομμάτι του Radio Access Network προχωρήσαμε με το ίδιο σκεπτικό όπως στο κομμάτι του τερματικού και στους νέους σταθμούς βάσης τοποθετήσαμε μια οντότητα Self-x με διευρυμένες αρμοδιότητες όπως και στην περίπτωση του τερματικού, και μια οντότητα RM. Το RM εδώ είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του φάσματος που έχει ανατεθεί από το DSM με σκοπό την σωστή εξυπηρέτηση των τερματικών. Τέλος τοποθετήσαμε σε κεντρική θέση το JRRM για τον έλεγχο και την σωστή και απρόσκοπτη λειτουργία των σταθμών βάσης και αφήσαμε ίδια την οντότητα του CPC στους σταθμούς βάσης.

Σε αυτό εδώ το σημείο θα πρέπει να ορίσουμε-διασαφηνήσουμε τις αρμοδιότητες-λειτουργίες των νέων οντοτήτων τις νέες μας βελτιωμένης πρότασης αρχιτεκτονικής.

Το NP παρέχει τις μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αποφάσεις για την οργάνωση του δικτύου. Ενημερώνεται για την κάθε αλλαγή και παρέχει πληροφορίες σχετικά με την δομή του δικτύου. Βρίσκεται και αυτό παρέα με το DSM στο OSS κομμάτι του δικτύου.

Το Self-X είναι από τις πιο βασικές οντότητες και το συναντάμε σχεδόν σε όλο το δίκτυο. Σκοπός του είναι να εκτελεί όλες εκείνες τις διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με την αυτό-διοργάνωση ενός δικτύου. Στο Self-X ενσωματώνονται όλες εκείνες οι βασικές λειτουργίες της E<sup>3</sup> αρχιτεκτονικής οι οποίες είναι απαραίτητες για την αυτόνομη λειτουργία του τερματικού. Με λίγα λόγια το Self-X ενσωματώνει τις λειτουργίες JRRM-TE, Spectrum Sensing, CPC και RCM της αντίστοιχης E<sup>3</sup> αρχιτεκτονικής στην πλευρά του κινητού. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις βασικές λειτουργίες του Self-X:

- Εκτέλεση ενεργειών αυτό-διοργάνωσης του δικτύου
- Εκτέλεση μετρήσεων για την απόδοση της σύνδεσης με το δίκτυο, συλλογή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον και αποστολή όλων αυτών προς κεντρικές οντότητες του δικτύου.
- Ανίχνευση εκπεμπόμενων καναλιών CPC
- Και τέλος επικοινωνία με άλλες δικτυακές οντότητες για ανταλλαγή πληροφοριών κατάστασης καθώς επίσης μεταφορά εντολών από και προς

αυτές έτσι ώστε να συμβαδίζουν απόλυτα όλοι στα νέα δεδομένα της κατάστασης του δικτύου.

### **3.3 Παραδείγματα Λειτουργίας των μηχανισμών δικτύου της E<sup>4</sup>**

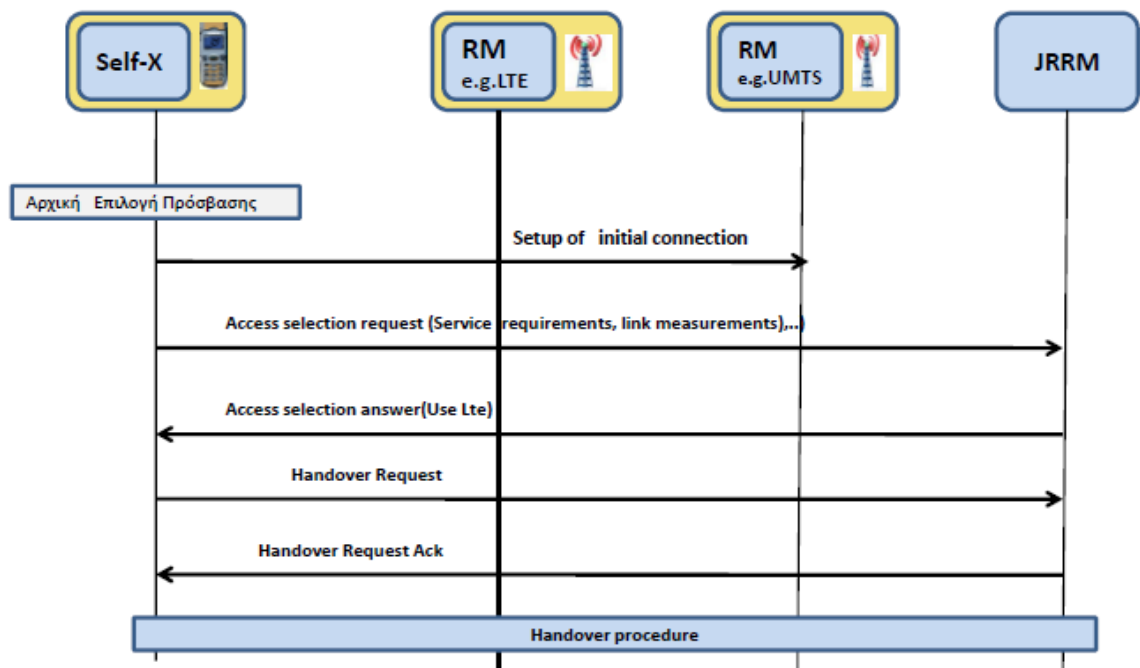
Όπως είναι γνωστό, μια εικόνα ισούται με χίλιες λέξεις. Γι αυτό το λόγο, σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιάσουμε παραδείγματα με διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων για την κατανόηση της αρχιτεκτονικής E<sup>4</sup> καθώς επίσης και του τρόπου λειτουργίας των λειτουργικών οντοτήτων όπως αυτές υλοποιήθηκαν σε SDL.

#### **3.3.1 Επιλογή Πρόσβασης για το Τερματικό**

Το Σχήμα 3 μας δείχνει ένα παραδειγματικό σενάριο για το πως το JRRM πραγματοποιεί την επιλογή πρόσβασης σε ένα τερματικό βασιζόμενο στο ζητούμενο QoS, τις απαιτήσεις του χρήστη, την κατάσταση του δικτύου κλπ.

Στην πλευρά του δικτύου όπως μπορούμε να διακρίνουμε υπάρχει το JRRM το οποίο είναι ενήμερο για την κατάσταση των διαθέσιμων RATs ,των τεχνολογιών πρόσβασης που υπάρχουν υπό την επίβλεψη του, την χωρητικότητα και άλλες παρόμοιες παραμέτρους.

Στην πλευρά του τερματικού υπάρχει το Self-X, το οποίο έχει κάνει την αρχική επιλογή πρόσβασης μετά την ενεργοποίηση του κινητού και τώρα στέλνει στο δίκτυο μήνυμα με το ζητούμενο QoS για την υποστήριξη των υπηρεσιών που τρέχει ο χρήστης. Επιπλέον στέλνει και επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση της σύνδεσης, την ποιότητα του σήματος και άλλα.

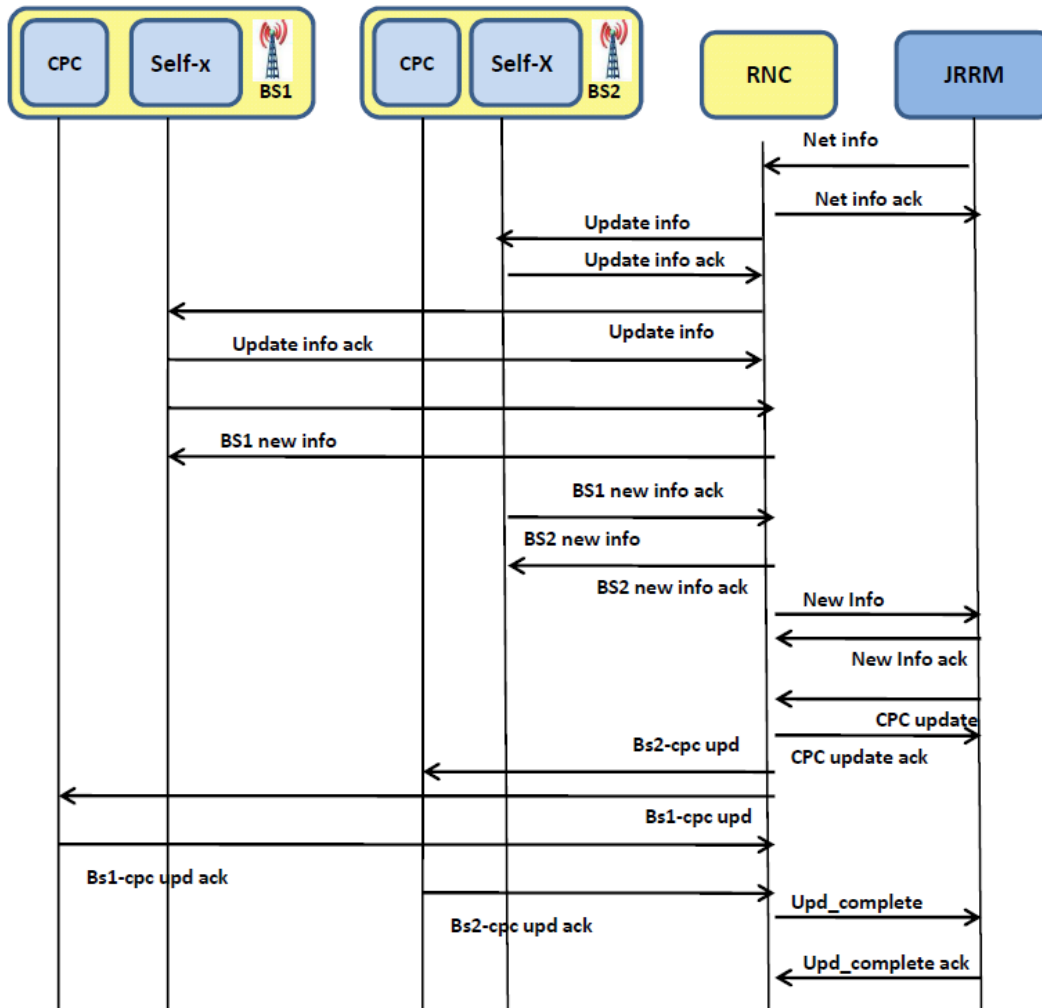


Σχήμα 3: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για την επιλογή πρόσβασης του τερματικού

Το JRRM με την σειρά του αφού συνδυάσει τις παραπάνω πληροφορίες με τη κατάσταση που επικρατεί στην πλευρά του δικτύου θα αποφασίσει για το ποια πρόσβαση θα χρησιμοποιήσει το τερματικό και θα στείλει την απόφαση αυτή στο τερματικό. Σε περίπτωση όπως αυτή του σχήματος που έχει επιλεγεί ένα διαφορετικό RAT τότε θα πρέπει να γίνει handover.



### 3.3.2 Ενημέρωση του JRRM για την κατάσταση του RAN



Σχήμα 4: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για την επικαιροποίηση των πληροφοριών που αφορούν την κατάσταση του RAN.

Στο δεύτερο παράδειγμα θα δούμε πως ενημερώνεται το JRRM για την κατάσταση του δικτύου με σκοπό την παροχή επικαιροποιημένων context και profile πληροφοριών μέσω των CPC στα τερματικά τα οποία επιθυμούν να συνδεθούν στο δίκτυο. Επίσης όλες αυτές οι επικαιροποιημένες πληροφορίες που θα λάβει το JRRM θα το βοηθήσουν να πάρει σωστές αποφάσεις σε μελλοντικά ζητήματα αφού θα τις έχει συμπεριλάβει στην διαδικασία λήψης των.

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στο Σχήμα 4 σε πρώτη φάση το JRRM στέλνει το μήνυμα Net Info προς το RNC και ουσιαστικά ζητάει να του σταλούν

επικαιροποιημένες πληροφορίες. Στη συνέχεια το RNC με τη σειρά του προωθεί το αίτημα στο Self-X των σταθμών βάσης. Το Self-x του κάθε σταθμού δημιουργεί μέσα από τις διαδικασίες του τις καινούριες πληροφορίες και τις στέλνει με το μήνυμα BS new info. Τέλος το RNC με τη σειρά του προωθεί προς το JRRM τις πληροφορίες.

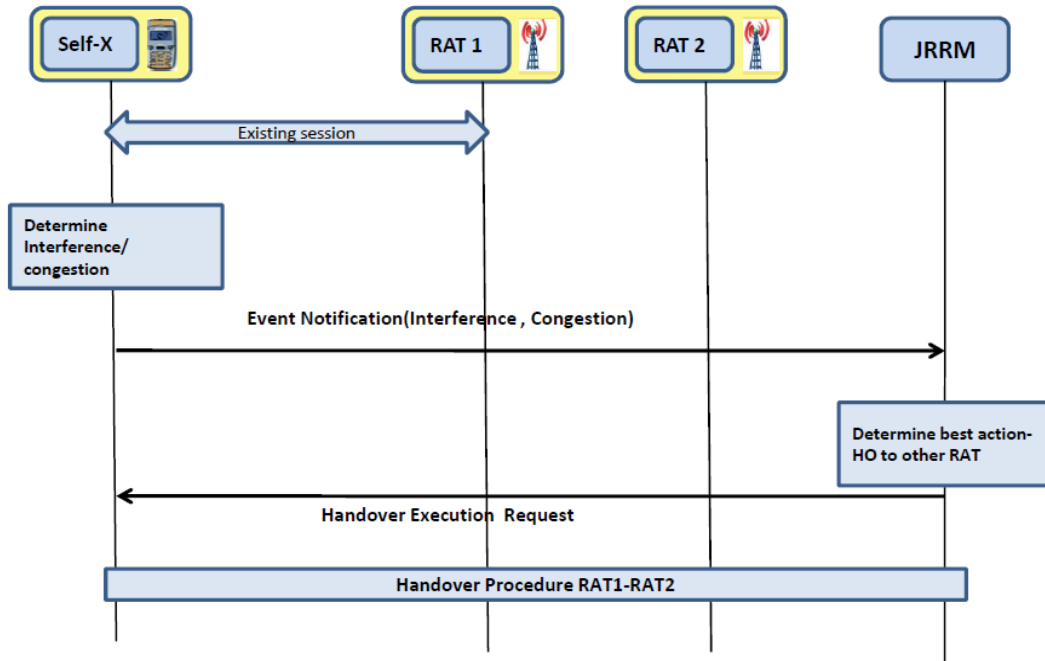
Στην δεύτερη φάση το JRRM έχοντας λάβει επιτυχώς όλες τις παραπάνω πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση του δικτύου τις στέλνει προς τα CPC για να ενημερωθούν και να παρέχουν με τη σειρά τους αυτές τις πληροφορίες στα τερματικά.

Αυτός ο τρόπος ενημέρωσης του JRRM ουσιαστικά γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και αφορά όλη την περιοχή κάλυψης του. Βέβαια όπως θα δούμε και σε επόμενα παραδείγματα το JRRM ενημερώνεται και με άλλα μηνύματα ιδίως όταν πρόκειται για προβλήματα συγκεκριμένων δικτυακών στοιχείων που έχουν προκύψει στο δίκτυο και χρειάζεται άμεση επίλυση τους έτσι ώστε να μην επηρεαστεί σημαντικά η λειτουργία του.

#### **5.5.3.1 Διαδικασία διαπομπής του τερματικού μετά από διάγνωση σφάλματος από τη μεριά του τερματικού**

Μια διαφοροποίηση του προηγούμενου σεναρίου είναι να λάβει το JRRM μια ειδοποίηση για ένα πρόβλημα που υπάρχει από το τερματικό (Όπως συμφόρηση ή παρεμβολές) και έτσι να προκαλέσει την εκκίνηση της διαδικασίας διαπομπής (handover)

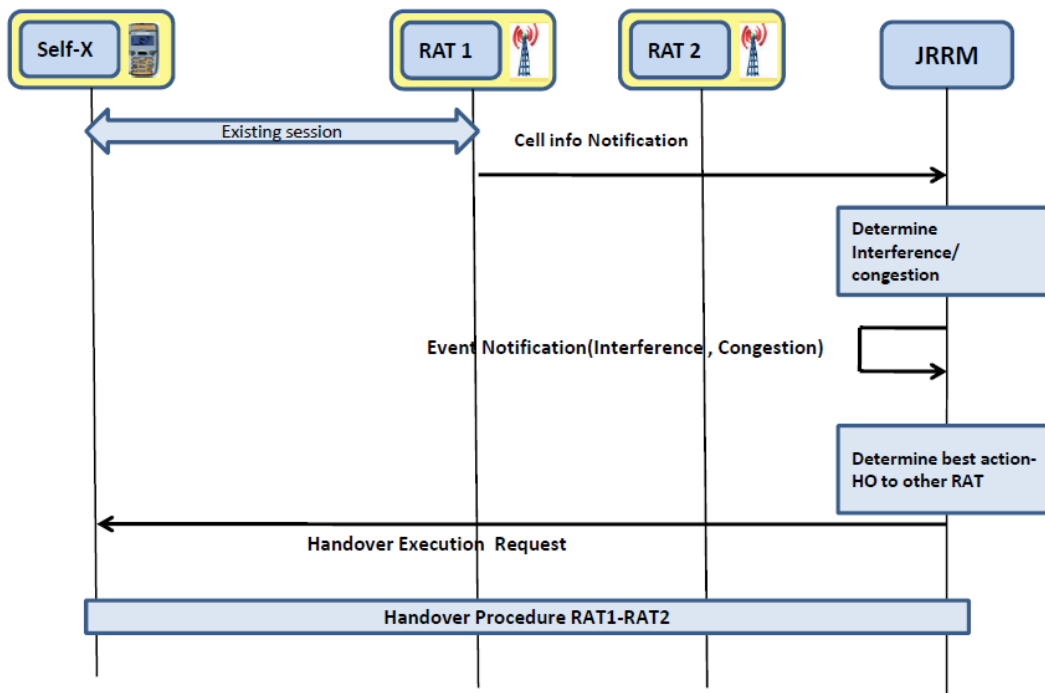
Στο Σχήμα 5 που ακολουθεί το Self-x του τερματικού προσδιορίζει εάν παρατηρείται συμφόρηση ή παρεμβολές στη συγκεκριμένη τεχνολογία πρόσβασης του δικτύου. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί η ύπαρξη τους στέλνει ένα Event notification μήνυμα στο JRRM το οποίο με τη σειρά του θα αποφασίσει την εκκίνηση των διαδικασιών handover ή θα λάβει μια εναλλακτική απόφαση για την εξάλειψη του συγκεκριμένου προβλήματος.



Σχήμα 5: Διαδικασία handover η οποία προκλήθηκε από το τερματικό και ελέγχεται από το JRRM

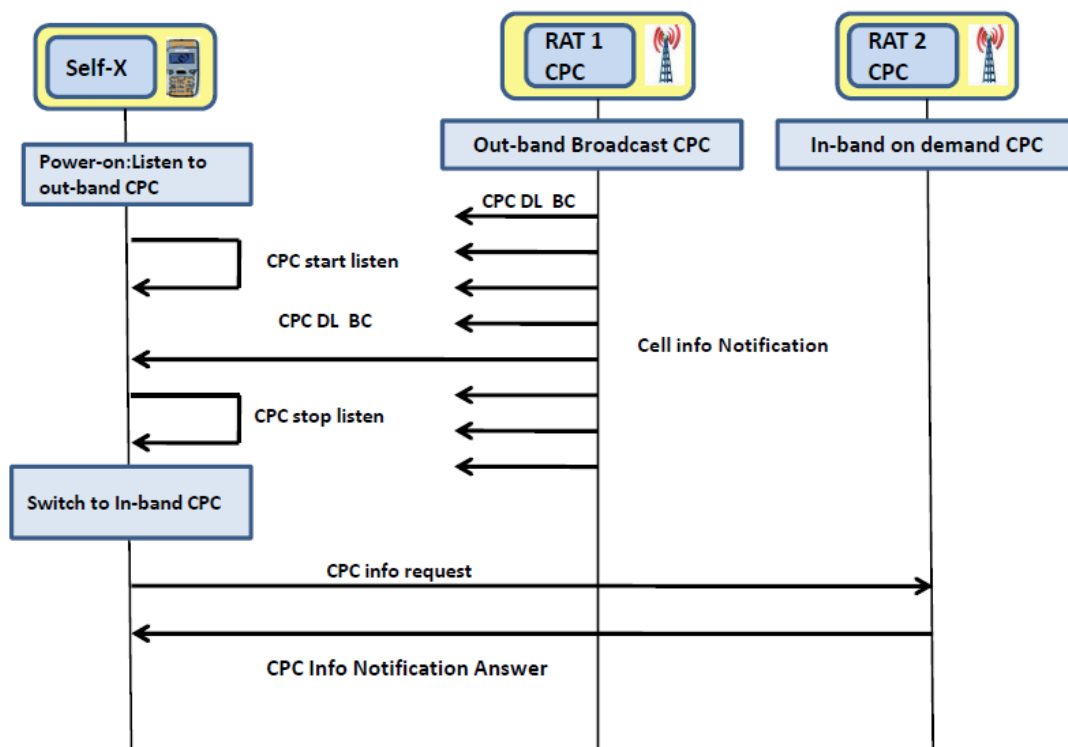
### 5.5.3.2 Διαδικασία διαπομπής του τερματικού μετά από διάγνωση σφάλματος από τη μεριά του δικτύου

Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι το ίδιο με το προηγούμενο με την διαφορά όμως ότι το JRRM αφού έλαβε το μήνυμα με τις πληροφορίες από το RAT προσδιόρισε την ύπαρξη προβλήματος και αποφάσισε σαν λύση να κάνει το τερματικό διαπομπή από μία τεχνολογία πρόσβασης σε μία άλλη.



Σχήμα 6: Διαδικασία handover η οποία προκλήθηκε και ελέγχεται από το JRRM

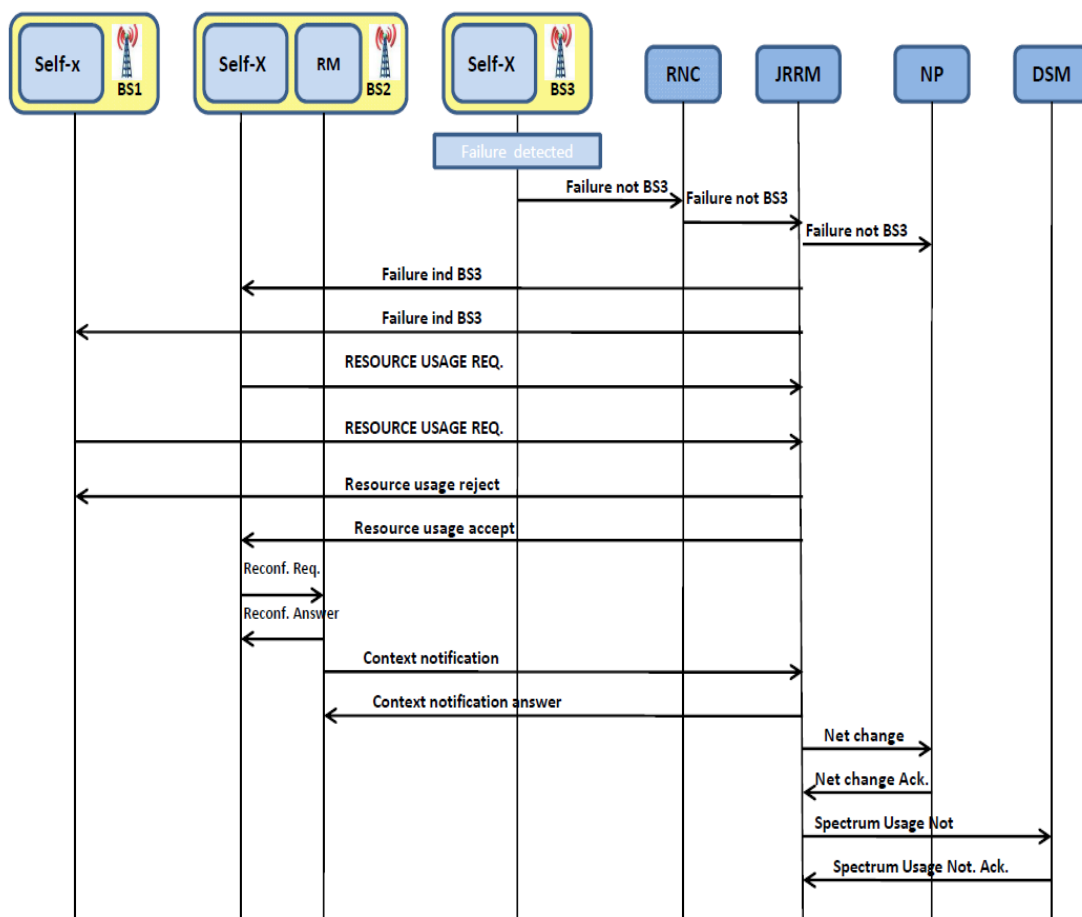
### 3.3.3 Παράδειγμα λειτουργίας In-Band και Out-Band CPC



Σχήμα 7: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για συνδυασμό In-Band και Out-Band CPC

Το Σχήμα 7 μας δείχνει μια διαδικασία για συνδυασμένη χρήση In-Band και Out-Band CPCs. Όπως εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε από το σχήμα υπάρχουν δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση, η οποία αρχίζει με το που ανοίγει το τερματικό, τότε αυτό αρχίζει να «ακούει» ένα συγκεκριμένο Out-band CPC με σκοπό να λάβει συγκεκριμένες πληροφορίες και παραμέτρους έτσι ώστε να συνδεθεί με κάποιο διαθέσιμο δίκτυο. Στην δεύτερη φάση, η οποία αρχίζει όταν το τερματικό συνδεθεί επιτυχώς με ένα δίκτυο, τότε το τερματικό σταματάει να λαμβάνει από το Out-band CPC και αρχίζει να λαμβάνει μηνύματα από το In-Band CPC.

### 3.3.4 Αποτυχία δικτυακών στοιχείων



Σχήμα 8: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων για αναμενόμενη αποτυχία

Σε αυτό το παράδειγμα σκοπός μας είναι να παρουσιάσουμε τις διεργασίες μεταξύ των οντοτήτων της E<sup>4</sup> οι οποίες εμπλέκονται στο χειρισμό της έλλειψης ενός σταθμού βάσης και την αδυναμία του να παράσχει υπηρεσίες στους χρήστες. Σε μια τέτοια περίπτωση οι ράδιο-πόροι που έχουν ανατεθεί σε αυτό το σταθμό βάσης δεν χρησιμοποιούνται και έτσι μπορούν να ανακατανεμηθούν σε γειτονικούς σταθμούς βάσης για να αυξήσουν την χωρητικότητα τους και τελικά να μειώσουν την περιοχή η οποία είναι εκτός υπηρεσιών.

Στο Σχήμα 8 διακρίνουμε ένα σταθμό βάσης ο οποίος ενημερώνει το JRRM για την αναμενόμενη διακοπή παροχής των υπηρεσιών του για κάποιους λόγους. Οι λόγοι αυτοί μπορεί να είναι :

- Επανεκκίνηση
- Αναβάθμιση του λογισμικού
- Αποτυχία σύνδεσης Back-Haul

Το JRRM με τη σειρά του ενημερώνει τους υπόλοιπους σταθμούς βάσης για την συγκεκριμένη διακοπή. Οι σταθμοί βάσης εφόσον λάβουν επιτυχώς την συγκεκριμένη πληροφορία, ζητούν με τη σειρά να χρησιμοποιήσουν τους πόρους που είχε ο εκτός λειτουργίας σταθμός. Το JRRM εξετάζοντας τα αιτήματα αυτά προχωράει στην λήψη της απόφασης και δίνει έγκριση σε ένα σταθμό βάσης να τα χρησιμοποιήσει.

Ο σταθμός βάσης που πήρε την έγκριση προχωράει αμέσως σε επαναπαραμετροποίηση και συμπεριλαμβάνει τους συγκεκριμένους ελεύθερους πόρους. Αφού τελειώσει με αυτή την ενέργεια ενημερώνει το JRRM με τις καινούριες πληροφορίες Context και το JRRM ενημερώνει το NP για την καινούρια αλλαγή που προέκυψε στο δίκτυο και το DSM για την αλλαγή στην χρησιμοποίηση του φάσματος αντίστοιχα.

Σε αυτό το παράδειγμα όπως βλέπουμε υπάρχει ενημέρωση από τον σταθμό βάσης για την διακοπή λειτουργίας του. Θα ήταν σκόπιμο λοιπόν να αναφέρουμε τι γίνεται στην περίπτωση όπου δεν υπάρξει αυτή η ενημέρωση ποιες θα είναι οι ενέργειες του δικτύου για την γρήγορη ανίχνευση της και την επίλυση του προβλήματος.

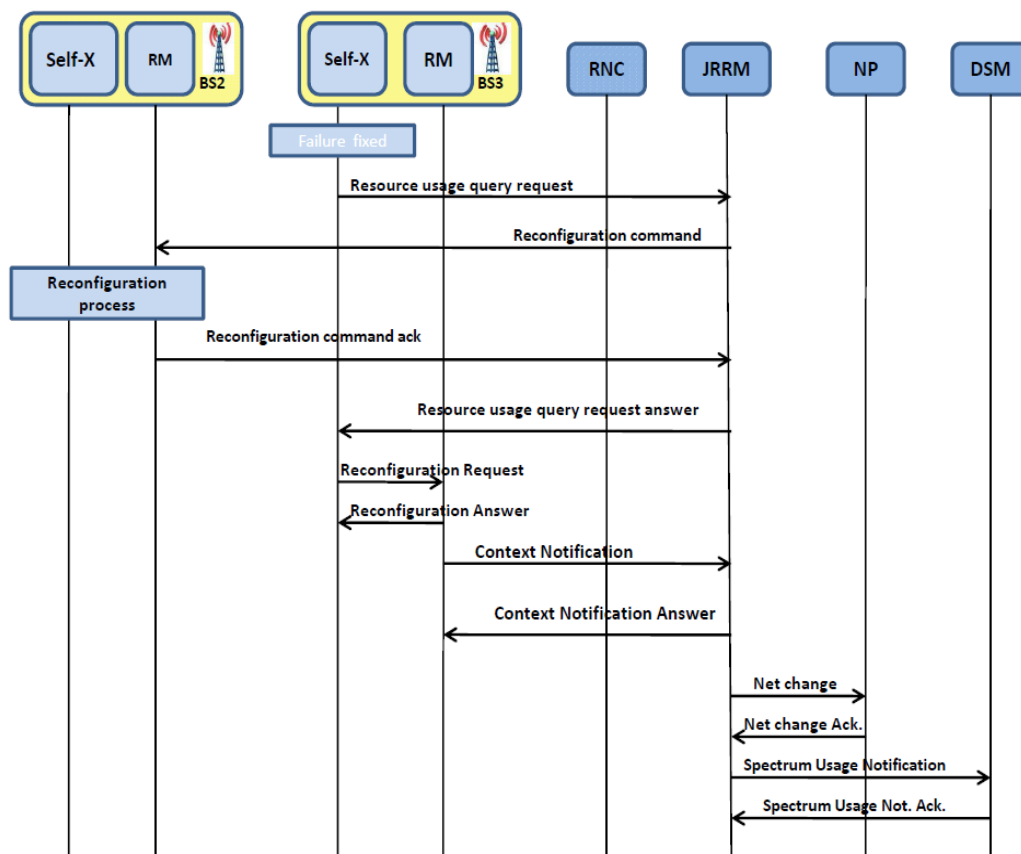
Πιο συγκεκριμένα θα αναφέρουμε δύο τρόπους με τους οποίους θα δράσει το δίκτυο σε μια τέτοια μη αναμενόμενη αποτυχία. Στον πρώτο τρόπο η διακοπή θα ανιχνευθεί

από τα Self-X των γειτονικών σταθμών βάσης εφόσον αυτά διαπιστώσουν άμεσα την ύπαρξη ελεύθερου φάσματος και με τη σειρά τους ενημερώσουν το JRRM.

Ο άλλος τρόπος είναι μέσα από περιοδικά μηνύματα που στέλνει το JRRM για την ενημέρωση των πληροφοριών που αφορούν την κατάσταση του δικτύου όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο παράδειγμα. Με αυτό τον τρόπο το RNC θα στείλει μήνυμα ότι ο συγκεκριμένος σταθμός βάσης έχει βγει εκτός υπηρεσιών και πιθανόν εκτός λειτουργίας.

Και με τους δύο τρόπους δράσης το JRRM θα ενημερωθεί για την αποτυχία και θα δράσει όπως και στην περίπτωση της αναμενόμενης αποτυχίας.

### 3.3.5 Ανάκτηση λειτουργιών του σταθμού βάσης μετά από επίλυση της δικτυακής του αποτυχίας



Σχήμα 9: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων με σκοπό την ανάκτηση λειτουργιών του σταθμού βάσης που αντιμετώπισε πρόβλημα

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που αποτυπώνετε στο Σχήμα 9 όπως μπορούμε να διακρίνουμε ο σταθμός βάσης BS3 αφού τέλειωσε η επίλυση των προβλημάτων του στέλνει προς το JRRM μήνυμα και ζητά την χρησιμοποίηση δικτυακών πόρων με σκοπό να παρέχει ξανά υπηρεσίες.

Το JRRM με τη σειρά αποστέλλει μήνυμα επαναπαραμετροποίησης στον σταθμό βάσης BS2 στον οποίο είχαν ανατεθεί οι δικτυακοί πόροι του BS3 και ουσιαστικά να απελευθερώσει τους συγκεκριμένους πόρους. Εφόσον γίνει επιτυχώς αυτό στέλνει μήνυμα απάντησης στο BS3 και του δηλώνει ότι έγινε δεκτό το αίτημα του. Τότε ο BS3 προχωράει και αυτός σε επαναπαραμετροποίηση και στέλνει τις καινούριες πληροφορίες Context στο JRRM.

Τέλος το JRRM αποστέλλει προς το NP ενημέρωση για την καινούρια αλλαγή του δικτύου και ενημέρωση προς το DSM για την αλλαγή στην χρησιμοποίηση του φάσματος.



## 4 Υλοποίηση πτυχών της E<sup>4</sup> Αρχιτεκτονικής σε SDL

### 4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύξαμε με την βοήθεια της SDL δύο παραδείγματα δικτύων βασισμένα στην E<sup>4</sup> αρχιτεκτονική με σκοπό να αναδείξουμε και να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργική αρχιτεκτονική της E<sup>4</sup>.

Ο σκοπός που αναπτύξαμε δύο παρόμοια δίκτυα είναι απλός και βασίζεται στην καλύτερη οργάνωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των ίδιων των δικτύων. Και στα δύο παραδείγματα όπως αναφερθήκαμε και στο δεύτερο κεφάλαιο αυτής της εργασίας εργαστήκαμε με την Top-Down προσέγγιση στην υλοποίηση στην sdl αφού αποδεικνύεται καλύτερη όταν είμαστε στη φάση σχεδιασμού ενός συστήματος γενικά λόγω του ότι μεταβαίνουμε από γενικές περιγραφές σε περισσότερο ειδικές που αφορούν την λειτουργία του.

Στο πρώτο παράδειγμα μας παραθέτουμε τα δομικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το συγκεκριμένο δίκτυο του παραδείγματος καθώς επίσης και το πως αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με σκοπό να παρουσιάσουμε τα παρακάτω διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων:

- Αναμενόμενη αποτυχία ενός σταθμού βάσης
- Εγκατάσταση ενός νέου σταθμού στο δίκτυο
- Σύνδεσης τερματικού στο δίκτυο και έλεγχος για ενημερωμένο λογισμικό στην πλευρά του τερματικού
- Διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού στα διαθέσιμα eNodeB

Θα πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι σε αυτό το παράδειγμα συναντάμε μόνο τεχνολογία πρόσβασης UMTS .

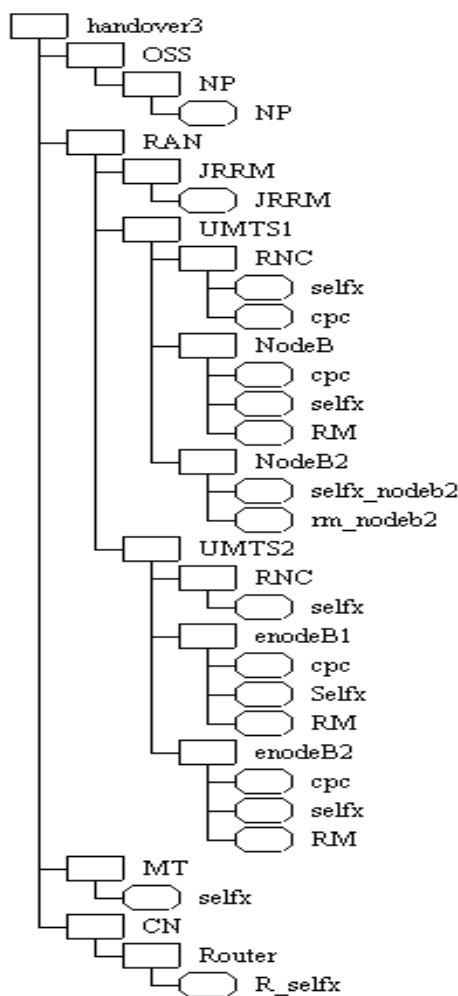
Στο δεύτερο επίσης παραθέτουμε τα δομικά στοιχεία του συγκεκριμένου δικτύου του παραδείγματος μας και έχουμε σαν σκοπό να παρουσιάσουμε την συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης με σκοπό την παροχή καλύτερων υπηρεσιών στο τερματικό του κάθε χρήστη. Εδώ το διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων είναι το εξής:

- Αλλαγή σύνδεσης του τερματικού μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης υπό την επιτήρηση του JRRM

Κλείνοντας αυτή την μικρή εισαγωγή και πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των παραδειγμάτων θα ήταν σωστό να αναφερθεί ότι λόγω του πλήθους των οντοτήτων στο ίδιο σύστημα και λόγω του ότι μετά από την εμφάνιση ενός γεγονότος δημιουργείται μια σειρά από αντιδράσεις, κάποια από τα αντίστοιχα κάποια Message Sequence Charts έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε να είναι αναγνώσιμα σε μια σελίδα A4 και επιπλέον να αποτυπωθούν όλες οι αντιδράσεις μεταξύ των δικτυακών στοιχείων με τον καλύτερο τρόπο .

Η υλοποίηση αυτής τη διπλωματικής θα μπορούσε να μελετηθεί και σε συνδυασμό με την [7] η οποία ασχολήθηκε παράλληλα και ανεξάρτητα με το ίδιο αντικείμενο εστιάζοντας στην ενεργοποίηση των τερματικών και των σταθμών βάσης, στην εκτέλεση μεταπομπών με τη συνέργια του JRRM, αλλά σε ένα σενάριο αυτό-ίασης.

#### 4.2 Παρουσίαση υλοποίησης στην SDL του πρώτου παραδείγματος



Στο Σχήμα 10 που ακολουθεί παρουσιάζουμε την οργανωτική δομή του δικτύου του παραδείγματος μας. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα δίπλα σύστημα μας αποτελείται από:

- Operation & surveillance system
  - Network Planning(NP)
- Core Network (CN)
  - Router
- Radio Access Network(RAN)
  - JRRM
  - UMTS1
    - RNC
    - eNodeB1
    - eNodeB2
  - UMTS2
    - RNC
    - eNodeB1
    - eNodeB2

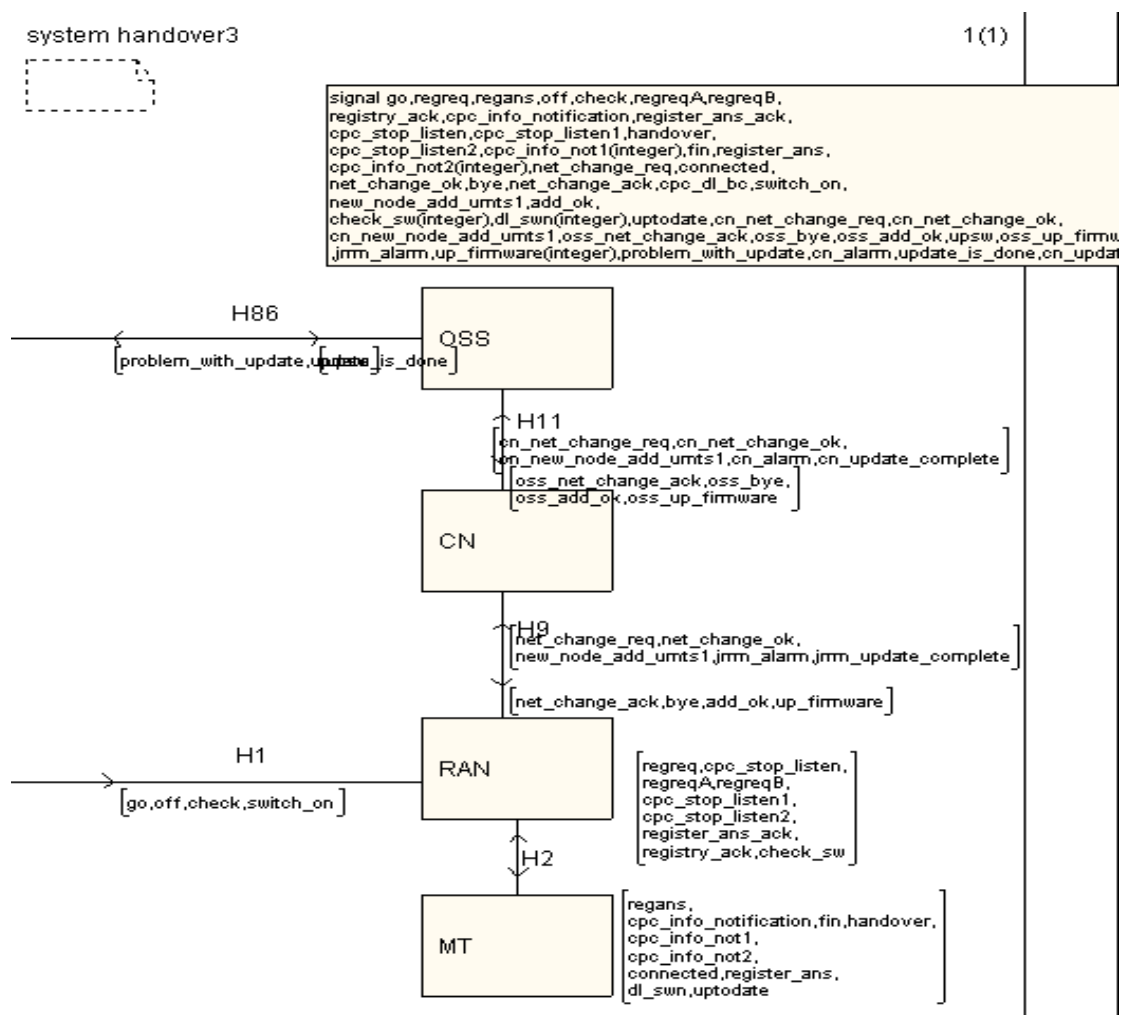
➤ Mobile Terminal (MT)

Σχήμα 10: Οργανωτική απεικόνιση του δικτύου του πρώτου παραδείγματος μας

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε, στα παραπάνω λείπει το DSM. Το DSM δεν έχει συμπεριληφθεί σκόπιμα στην οργανωτική αυτή δομή λόγω του ότι έχουμε μια πολύ μικρή κλίμακα δίκτυο και την δουλειά του DSM άνετα την κάνει το NP. Επίσης έχουμε τοποθετήσει ένα δρομολογητή μόνο στο Core Network λόγω του πάρα πολύ μικρού μεγέθους του δικτύου. Σε περίπτωση όμως υλοποίησης ενός πολύ μεγαλύτερου δικτύου πρέπει να συμπεριληφθούν οπωσδήποτε το DSM αλλά και περισσότεροι του ενός δρομολογητές.

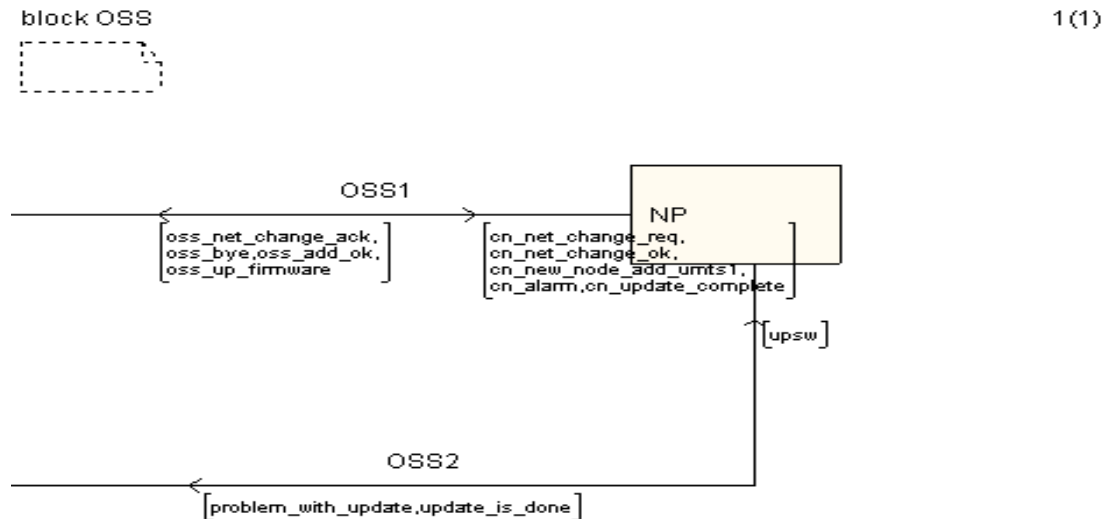
Συνεχίζοντας την παρουσίαση προχωράμε προς το αρχικό επίπεδο του συστήματος μας το οποίο ονομάζουμε handover3 και συναντάμε τα παρακάτω block:

- Operation & Surveillance System
- Core Network (CN)
- Radio Access Network(RAN)
- Mobile Terminal(MT)



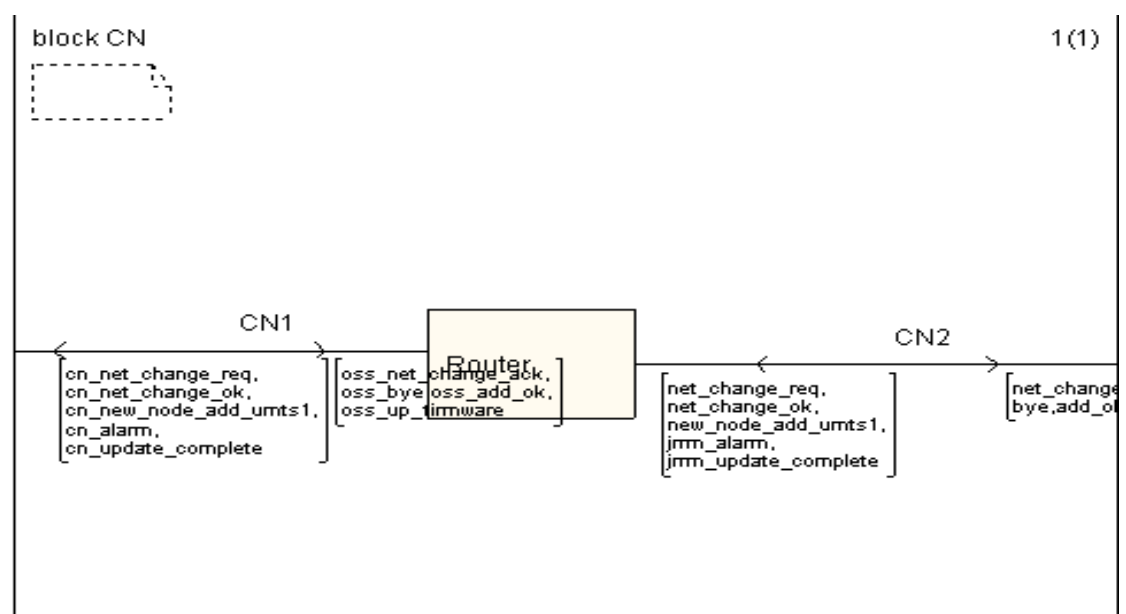
Σχήμα 11: Υλοποίηση σε sdl του πρώτου επιπέδου του συστήματος μας

Το Block OSS(Operation & Surveillance System) είναι το σημείο όπου γίνεται η κεντρική διαχείριση και επιτήρηση του συνολικού δικτύου. Όπως αναφέραμε και πριν εδώ θα έπρεπε να ήταν τοποθετημένο το DSM αν το δίκτυο μας ήταν μεγαλύτερο. Τώρα το DSM είναι ενσωματωμένο στο NP.



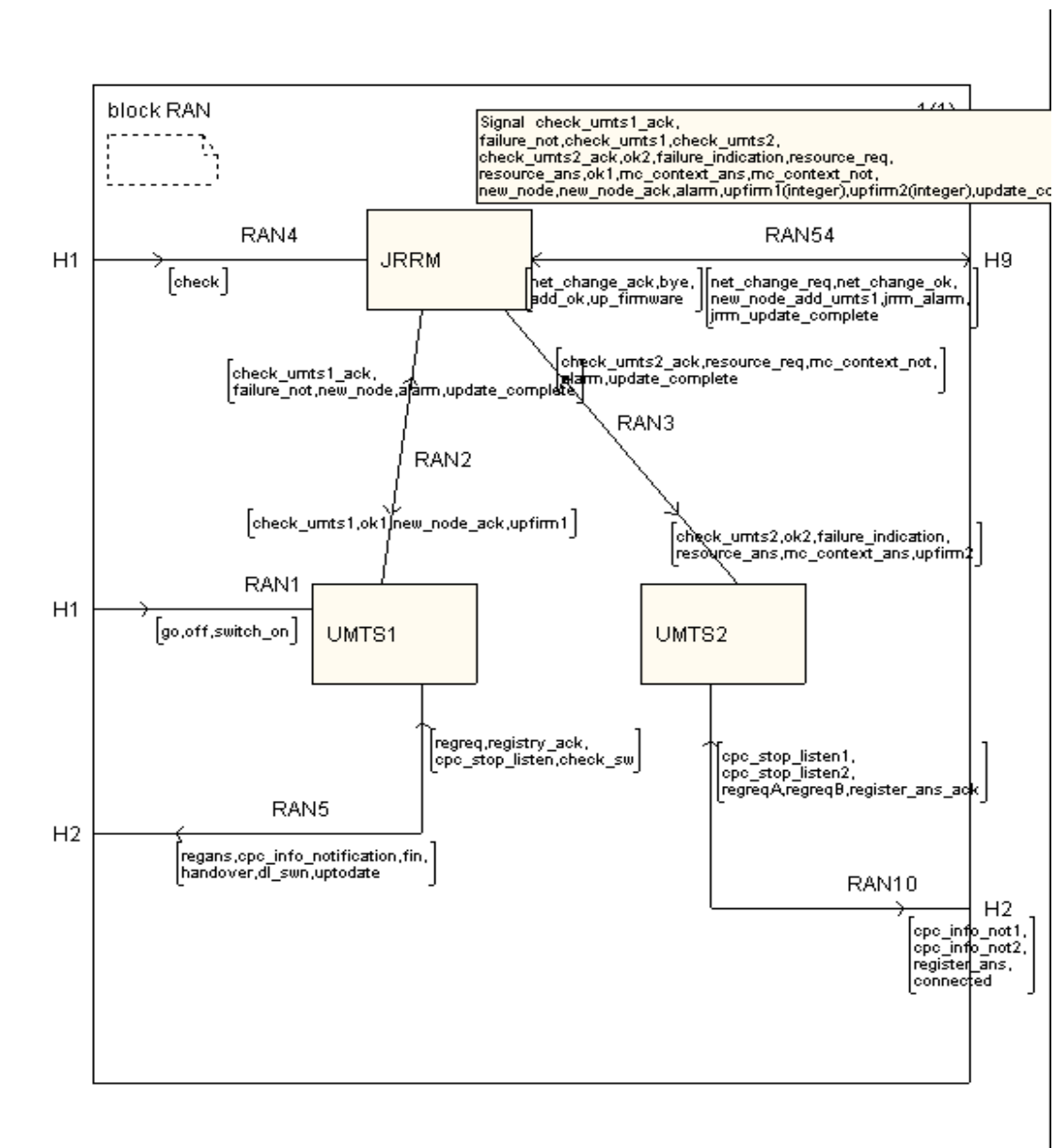
Σχήμα 12: Υλοποίηση του block OSS σε SDL

Το επόμενο block που θα παρουσιάσουμε είναι το block του CN(Core Network). Όπως αναφέραμε και πιο πάνω εκεί βρίσκονται οι δρομολογητές οι οποίοι τρέχοντας κατάλληλα πρωτόκολλα δρομολόγησης βοηθούν σημαντικά στην δρομολόγηση των πακέτων από το OSS στο RAN και αντίστροφα.



Σχήμα 13 : Υλοποίηση σε SDL του block CN(Core Network)

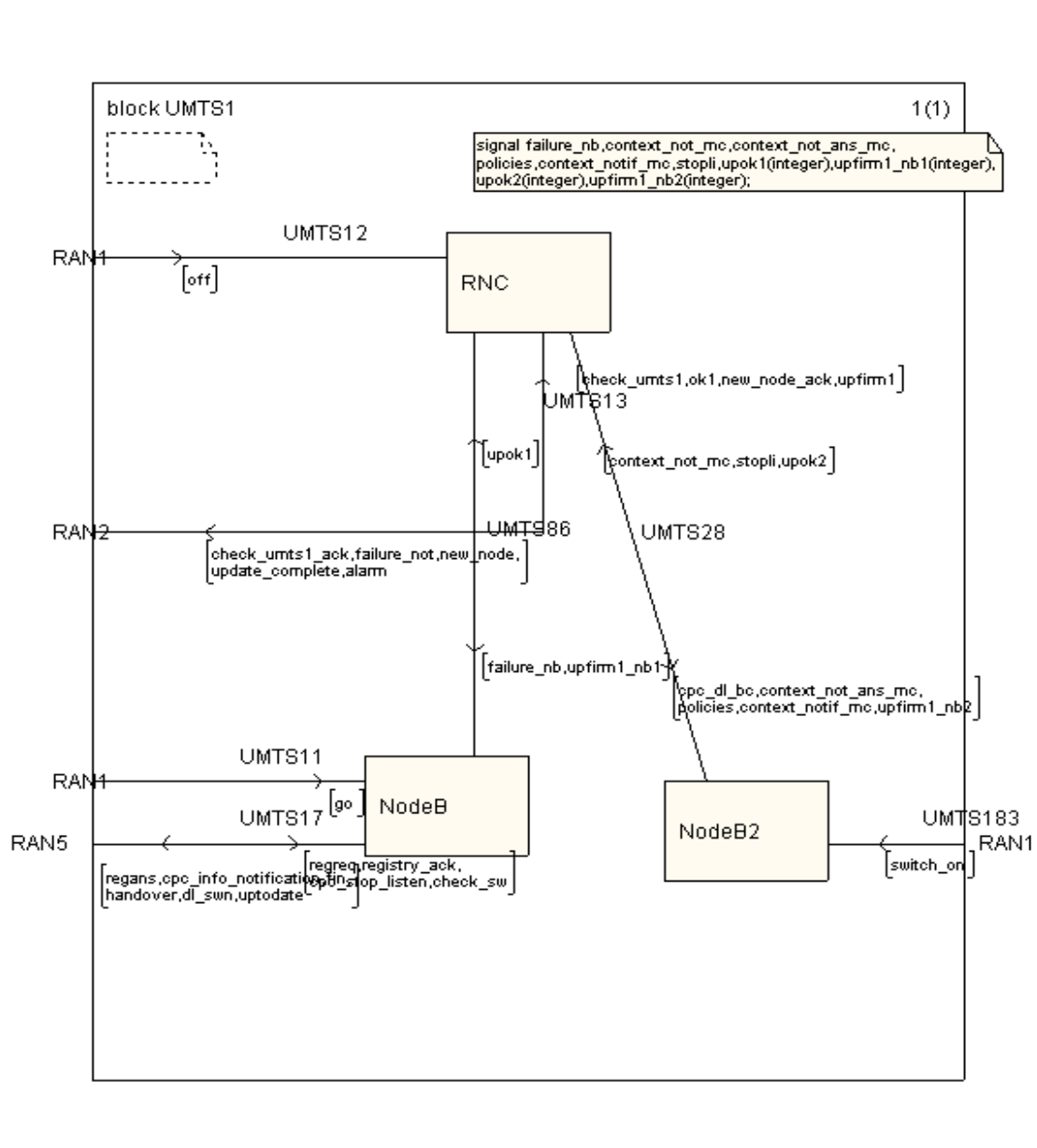
Στο Σχήμα 14 παρουσιάζουμε την υλοποίηση σε SDL του Radio Access Network. Όπως μπορούμε να δούμε και απ' το σχήμα μέσα στο συγκεκριμένο Block έχουμε σχεδιάσει το JRRM και τα δύο διαθέσιμα RAT όπου στην περίπτωση μας είναι η ίδια τεχνολογία πρόσβασης. Άρα λοιπόν έχουμε ένα block για το UMTS\_1 και ένα για το UMTS\_2



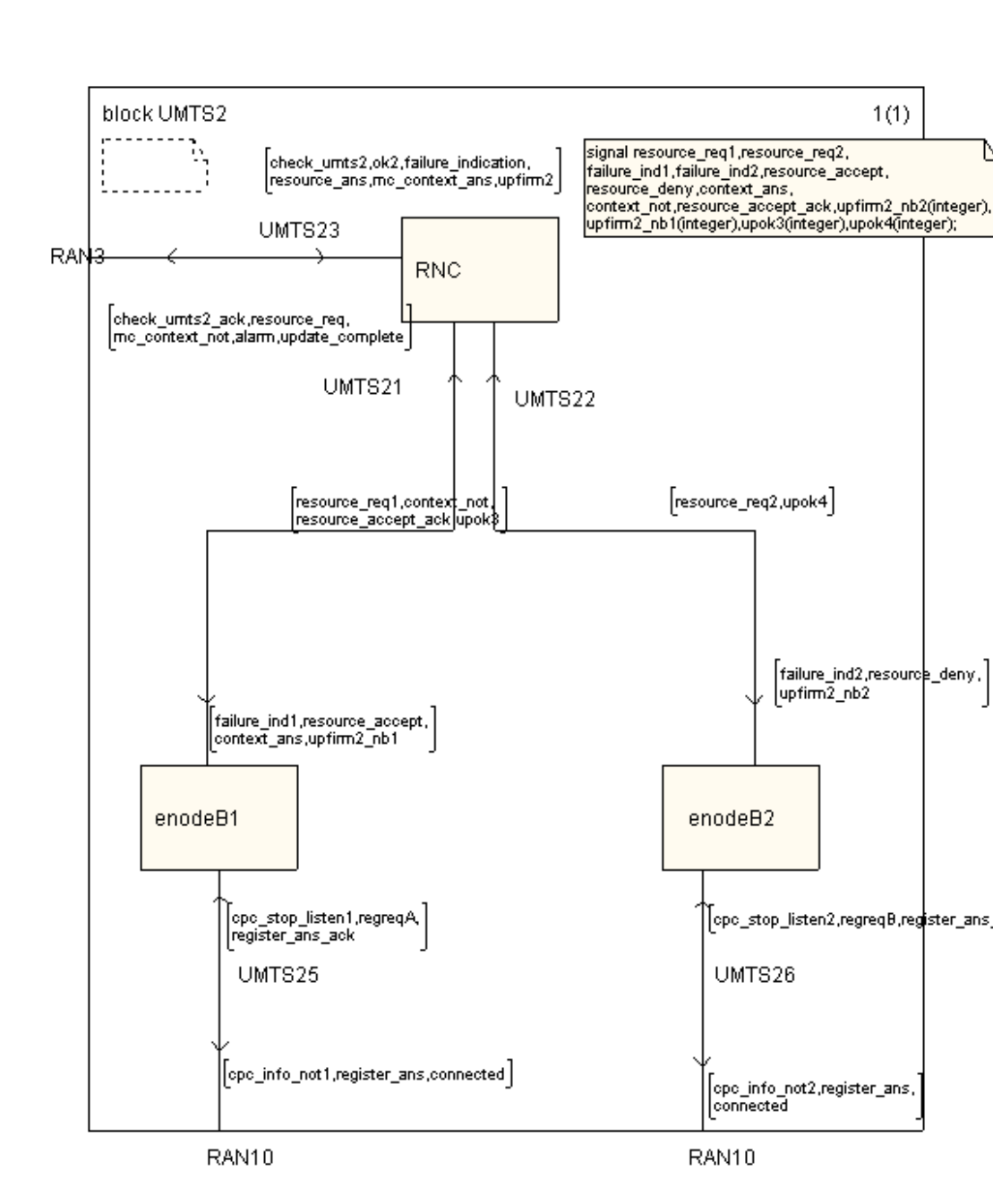
Σχήμα 14: Υλοποίηση σε SDL του block RAN

Το κάθε ένα από τα RAT περιέχει για τις ανάγκες του σεναρίου μας δύο σταθμούς βάσης και ένα RNC για τη διαχείριση τους. Εσωτερικά στο κάθε RNC έχουμε

τοποθετήσει και το κεντρικό CPC της τεχνολογίας πρόσβασης. Στα Σχήματα 15 και 16 μπορούμε να δούμε το σχεδιασμό των UMTS\_1 και UMTS\_2

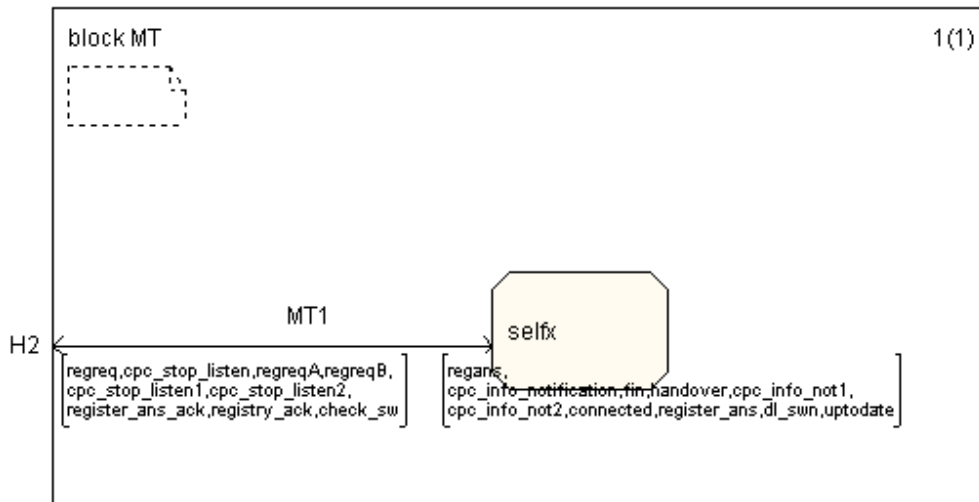


Σχήμα 15: Υλοποίηση σε SDL του Block UMTS\_1



Σχήμα 16 :Υλοποίηση σε SDL του Block UMTS2

Και για το τέλος αφήνουμε την υλοποίηση το Block MT(Mobile Terminal) όπου έχουμε σχεδιάσει ένα τερματικό για τις ανάγκες των σεναρίων μας και παρουσιάζεται στο Σχήμα 17



Σχήμα 17: Υλοποίηση σε SDL του Block MT

Κλείνοντας αυτή την ενότητα θα ήταν καλό να αναφερθεί ότι αναλύοντας βαθύτερα όλα τα Blocks θα συναντήσουμε τις αντίστοιχες process καθώς επίσης και τα κανάλια δρομολόγησης μηνυμάτων για την επικοινωνία μεταξύ τους και με το περιβάλλον.

#### 4.3 Διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων (MSCs) μετά από προσομοίωση σεναρίων λειτουργίας

Σε αυτή εδώ την ενότητα σκοπός μας είναι να αναλύσουμε τον τρόπο όπου το δίκτυο θα δράσει σε συγκεκριμένα ζητήματα που θα προκύψουν. Γι αυτό το λόγο δημιουργήσαμε σενάρια με ζήτημα δυσλειτουργιών, οργάνωσης και διαχείρισης του δικτύου, τα προσομοιώσαμε και τώρα θα παρουσιάσουμε τα διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων που προκύπτουν από το κάθε ένα σενάριο όσο καλύτερα γίνεται.



#### **4.3.1 Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αναμενόμενης αποτυχίας RAT**

Στο πρώτο παράδειγμα που ακολουθεί θα παρουσιάσουμε το σενάριο που υλοποιήσαμε και αφορά την αναμενόμενη αποτυχία ολόκληρης τεχνολογίας πρόσβασης(RAT).Ονομάζεται αναμενόμενη γιατί το RAT πριν σταματήσει να παρέχει υπηρεσίες ενημερώνει το δίκτυο για αυτή την διακοπή .

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 18 το Self-x του RNC δέχεται ένα μήνυμα off από το περιβάλλον που σημαίνει ότι πρέπει να βγει εκτός λειτουργίας. Αυτό έγινε για να προκληθεί η εκκίνηση του σεναρίου μας. Σε πραγματικές περιπτώσεις το Self-X μετά από διάγνωση προβλήματος θα θέσει το RAT εκτός λειτουργίας.

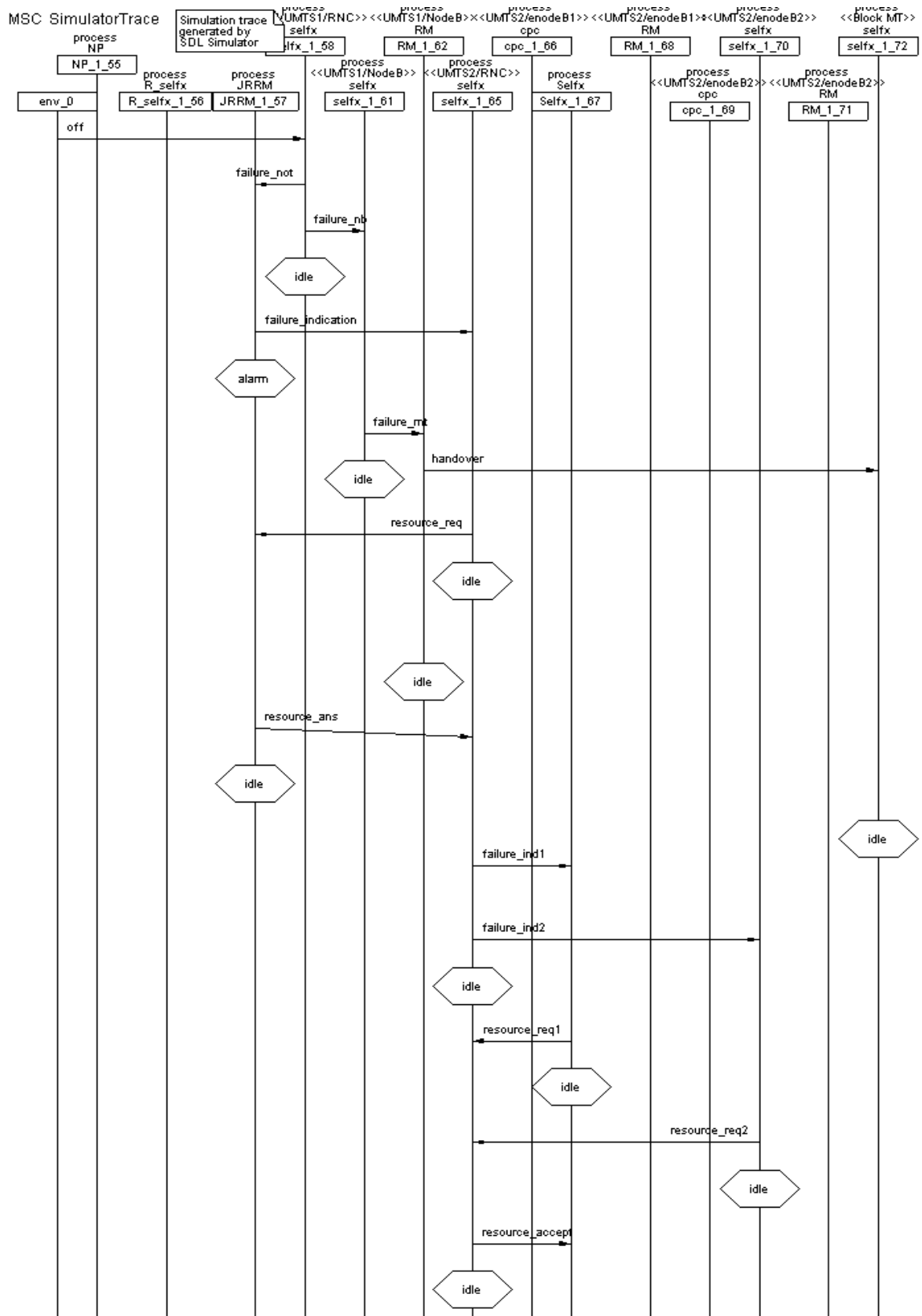
Στο επόμενο στάδιο το Self-x θα στείλει Failure\_Notification μήνυμα προς το JRRM και προς τον σταθμό βάσης ο οποίος με τη σειρά του θα ενημερώσει το τερματικό που είναι συνδεδεμένο σε αυτό να αλλάξει RAT.

Το JRRM στη συνέχεια θα ενημερώσει με το Failure\_Indication μήνυμα το RNC του δεύτερου RAT το οποίο θα ζητήσει να λάβει περισσότερους πόρους για να καλύψει την ανεπάρκεια. Εφόσον πάρει την έγκριση από το JRRM τότε το RNC θα στείλει με τη σειρά του στους σταθμούς βάσης Failure\_Indication και αυτοί θα ζητήσουν περισσότερους πόρους .Το Self-X του RNC λοιπόν θα δώσει σύμφωνα με τις οδηγίες του JRRM έγκριση στον ένα σταθμό βάσης και θα απορρίψει την αίτηση του άλλου.

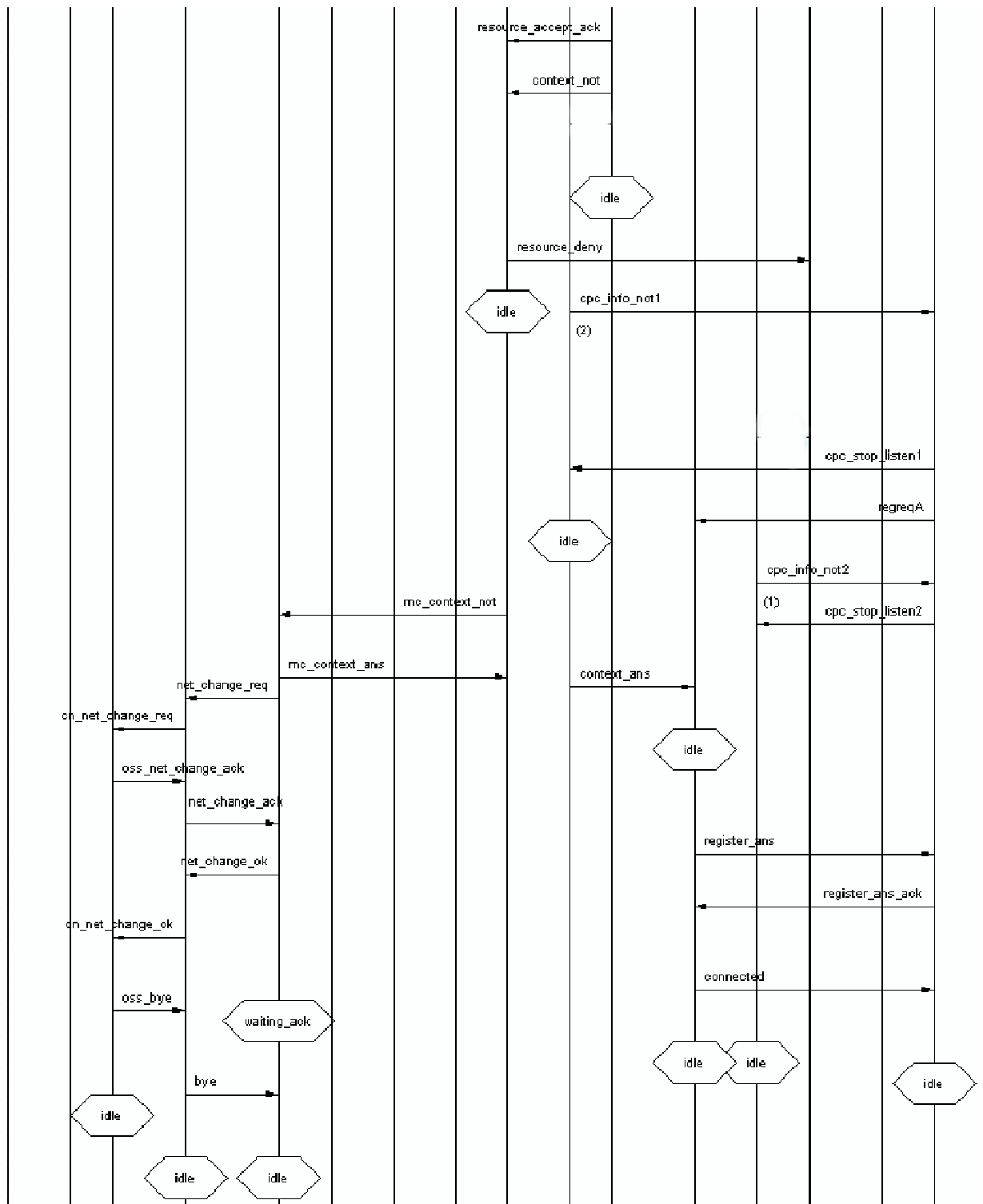
Σε αυτό το σημείο το σενάριο μας εξελίσσεται σε δύο πλευρές, στην πλευρά του δικτύου και στην πλευρά του τερματικού. Στην πλευρά του δικτύου λοιπόν ο σταθμός που πήρε την έγκριση θα ζητήσει από το JRRM να του δοθούν καινούριες πληροφορίες Context και αφού τις πάρει το JRRM θα ενημερώσει το NP για τις καινούριες αλλαγές στο δίκτυο και στη χρησιμοποίηση του φάσματος αφού το NP συμπεριλαμβάνει και τις αρμοδιότητες του DSM.

Στην πλευρά τώρα του τερματικού, αυτό θα λάβει πληροφορίες από τα δύο In-band CPC των δύο διαθέσιμων σταθμών βάσης και αφού τις επεξεργαστεί θα λάβει την απόφαση η οποία καλύπτει καλύτερα τις ανάγκες του και θα ζητήσει να συνδεθεί στο δίκτυο με τον συγκεκριμένο σταθμό βάσης.

Τα Σχήματα 18 και 19 απεικονίζουν το διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων του συγκεκριμένου σεναρίου.

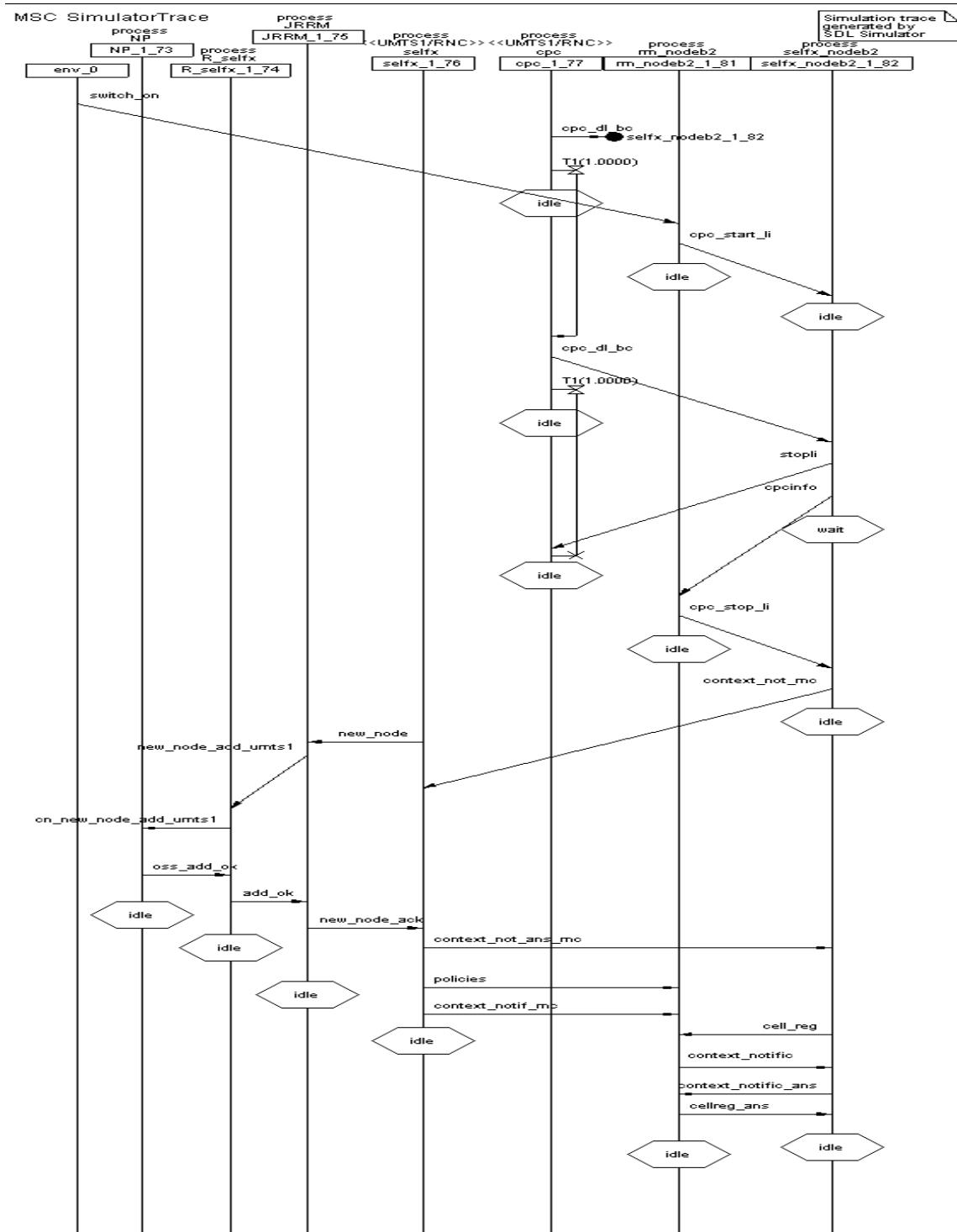


Σχήμα 18: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αναμενόμενης αποτυχίας RAT(1/2)



Σχήμα 19: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αναμενόμενης αποτυχίας RAT(2/2)

### 4.3.2 Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων εγκατάστασης καινούριου σταθμού βάσης στο δίκτυο



Σχήμα 20: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων εγκατάστασης νέου σταθμού βάσης στο δίκτυο

Σε αυτό το σενάριο θα αναλύσουμε την περίπτωση εγκατάστασης ενός σταθμού βάσης στο ήδη υπάρχον δίκτυο και τις απαραίτητες κινήσεις που πρέπει να γίνουν για την σωστή λειτουργία του σταθμού αλλά και την σωστή λειτουργία και οργάνωση ολόκληρου του υπολοίπου δικτύου.

Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 20 εφόσον έχει εγκατασταθεί ο σταθμός βάσης ενεργοποιείται και στέλνει μήνυμα στο CPC του RNC για να του στείλει τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται για να συνδεθεί στο δίκτυο. Σε αυτό το παράδειγμα παίρνουμε σαν δεδομένο την ύπαρξη της τελευταίας έκδοσης λογισμικού στο σταθμό βάσης και έτσι δεν χρειάζεται να γίνει έλεγχος για τυχόν αναβαθμίσεις.

Στη συνέχεια το Self-x του σταθμού αφού τελειώσει με την λήψη των απαιτούμενων πληροφοριών και την μεταβίβαση των πληροφοριών που αφορούν το RM στο RM στοιχείο ζητάει από το RNC να του μεταβιβάσει τις καινούριες πληροφορίες Context. Το RNC με τη σειρά του ενημερώνει το JRRM για την τοποθέτηση ενός νέου σταθμού και το JRRM ενημερώνει το NP για την αλλαγή που προέκυψε στο δίκτυο και επίσης για να πάρει άδεια χρήσης του συγκεκριμένου φάσματος που θα χρησιμοποιηθεί από τον σταθμό βάσης.

Το NP ενημερώνει το JRRM ότι η αίτηση εγκρίθηκε και το JRRM ενημερώνει το RNC έτσι ώστε να δοθούν μέσω αυτού οι καινούριες πληροφορίες context καθώς επίσης και οι πολιτικές που αφορούν τη χρήση φάσματος στο νέο σταθμό βάσης.

Τέλος αφού ο σταθμός βάσης λάβει τις πληροφορίες και τις πολιτικές προχωράει στην εγγραφή τις κυψέλης και είναι έτοιμος να παρέχει υπηρεσίες στα τερματικά που θα ζητήσουν να έχουν υπηρεσίες του δικτύου μέσω αυτού.

### **4.3.3 Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων σύνδεσης τερματικού στο δίκτυο**

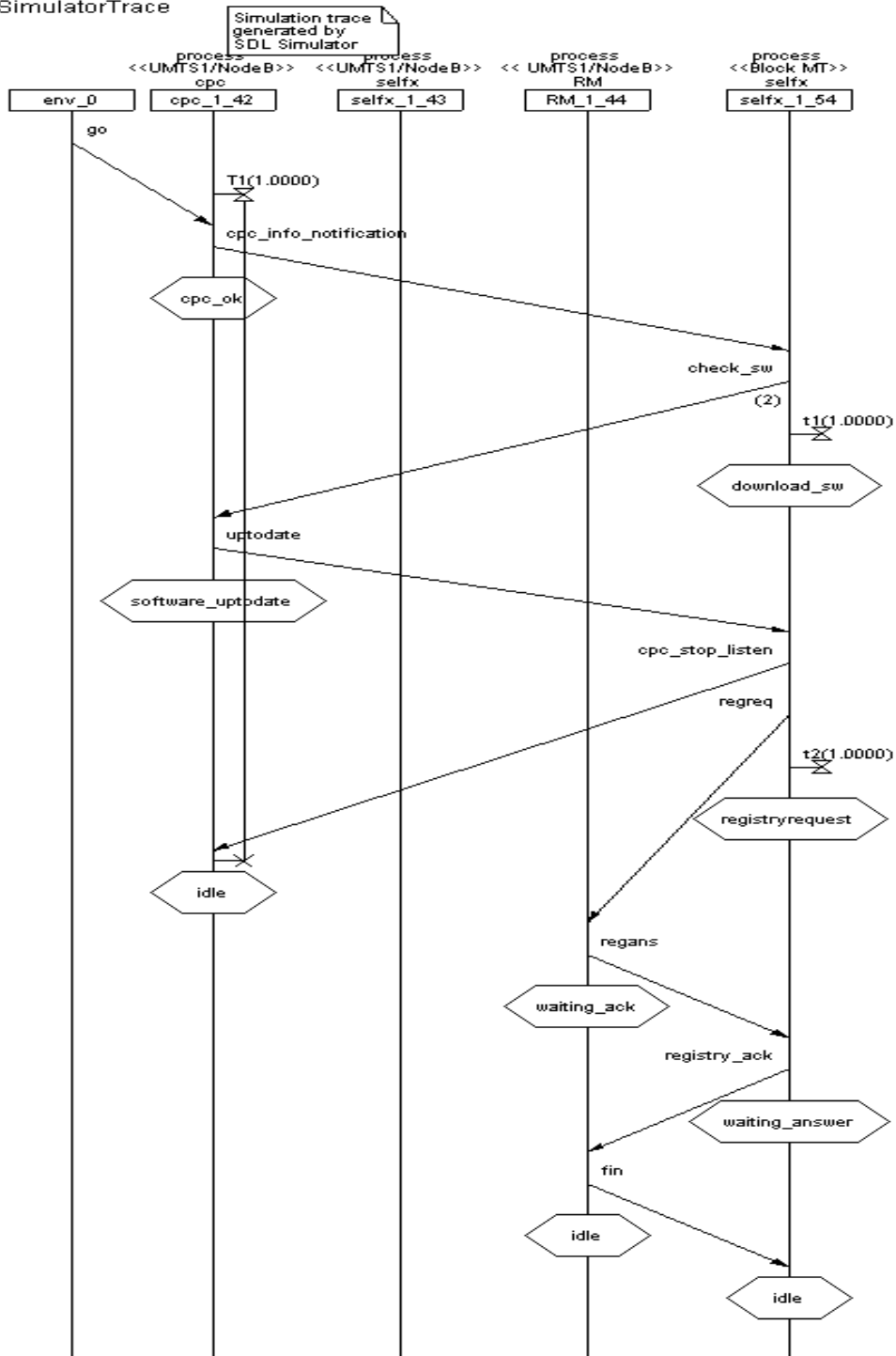
Στο σενάριο που ακολουθεί σκοπός μας είναι να περιγράψουμε τις διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά την σύνδεση ενός τερματικού σε σταθμό βάσης του δικτύου πρόσβασης.

Εφόσον ενεργοποιηθεί το κινητό μας αρχίζει να λαμβάνει τα CPC broadcast μηνύματα του συγκεκριμένου σταθμού βάσης. Με το που λάβει τα μηνύματα το Self-x του τερματικού στέλνει ένα μήνυμα το οποίο περιέχει την έκδοση του λογισμικού που έχει και το οποίο αφορά την υποστήριξη της συγκεκριμένης υπηρεσίας στην πλευρά του.

Τότε το CPC ελέγχει την έκδοση του λογισμικού μέσα απ' την μεταβλητή sw και προχωράει στην συγκεκριμένη ενέργεια. Αν το λογισμικό είναι ενημερωμένο ( $sw:=2$ ) τότε στέλνει μήνυμα στο Self-x του τερματικού ότι δεν χρειάζεται να γίνει καμία ενέργεια. Σε περίπτωση όμως όπου δεν είναι ενημερωμένο το λογισμικό ( $sw: < 2$ ) ακολουθεί διαδικασία αναβάθμισης του.

Τελειώνοντας και με την διαδικασία αναβάθμισης, το τερματικό ζητάει να συνδεθεί στο δίκτυο και περιμένει να λάβει απάντηση. Όταν λάβει απάντηση από το δίκτυο πρόσβασης ότι η σύνδεση έχει ολοκληρωθεί τότε μπορεί να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες του δικτύου.

MSC SimulatorTrace



Σχήμα 21: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία σύνδεσης του τερματικού στο δίκτυο

#### **4.3.4 Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού υπό την επίβλεψη του NP**

Με αυτό το σενάριο θέλουμε να υποδείξουμε ένα τρόπο αναβάθμισης των δικτυακών στοιχείων του δικτύου πρόσβασης μας εκμεταλλευόμενοι τις λειτουργίες αυτό-οργάνωσης και αυτό-διαχείρισης του δικτύου μας.

Όπως είναι γνωστό κάθε τηλεπικοινωνιακός πάροχος έχει στο δίκτυο που έχει αναπτύξει δικτυακές συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού οι οποίες αποσκοπούν στην παροχή διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης στα τερματικά των χρηστών.

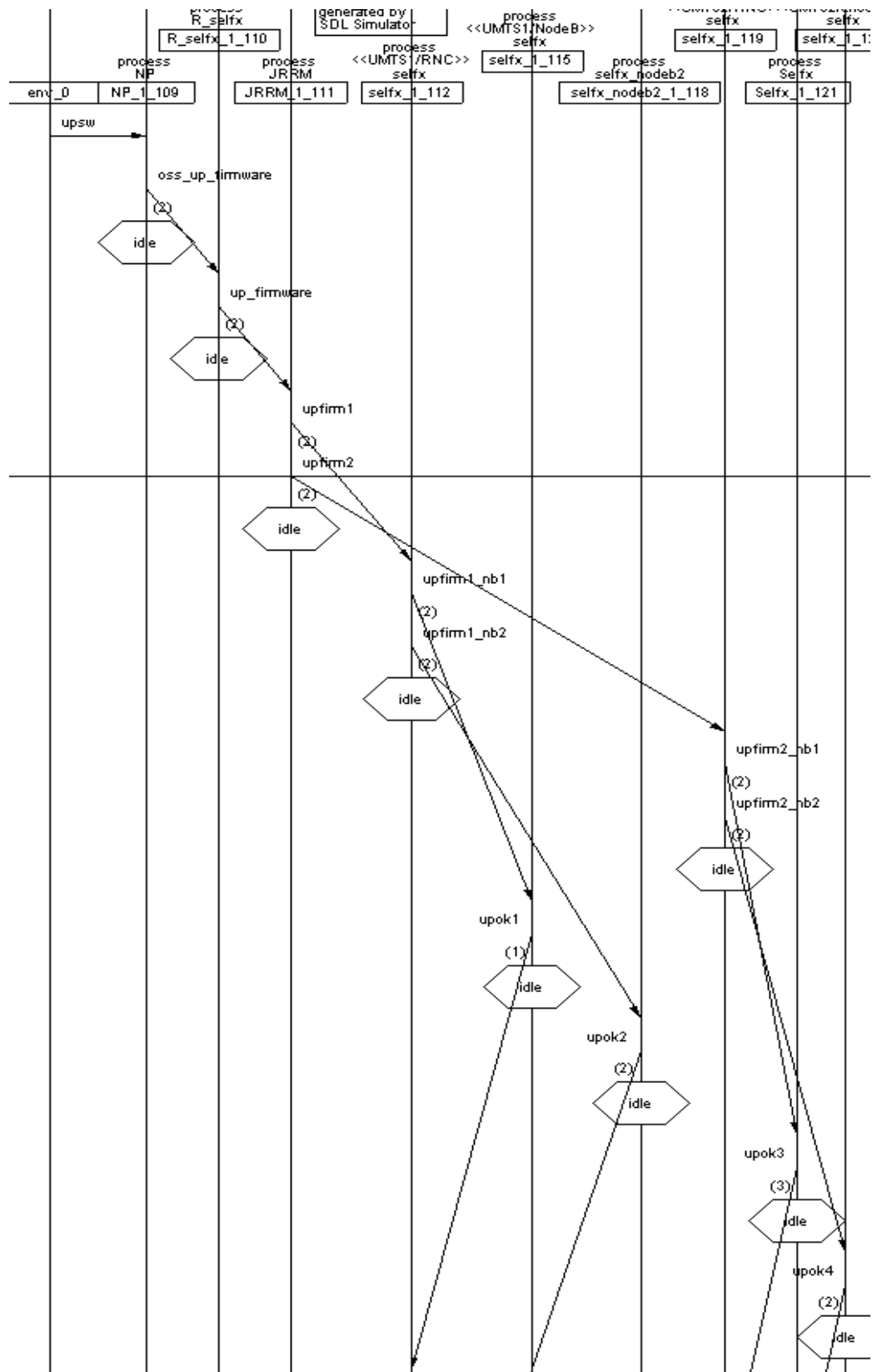
Πιο συγκεκριμένα, για να περάσουμε στο σενάριο του παραδείγματος μας την εργασία της αναβάθμισης την έχουμε αναθέσει στο NP. Το NP λοιπόν διατηρεί βάση δεδομένων με την διάταξη του δικτυακών στοιχείων καθώς επίσης και με τις προδιαγραφές ξεχωριστά του καθενός απ' αυτά. Αυτό που έχει να κάνει είναι να ομαδοποιήσει τις δικτυακές συσκευές που είναι αναπτυγμένες κατά τύπους με βάση την τεχνολογία πρόσβασης, τον κατασκευαστή εγκατεστημένο λογισμικό που τρέχουν κλπ. και να προχωρήσει στην αναβάθμιση τους σε περίπτωση που ο κατασκευαστής προμηθεύσει τον πάροχο με αναβαθμισμένο λογισμικό.

Το NP λοιπόν σε περίπτωση αναβάθμισης στέλνει στο JRRM το καινούριο λογισμικό και αυτό με τη σειρά του το προωθεί μέσω του RNC στα επιλεγμένα για αναβάθμιση RATs. Τα RNC με τη σειρά τους προχωρούν στον έλεγχο της έκδοσης του συγκεκριμένου λογισμικού για περισσότερη ασφάλεια. Αν σε περίπτωση που έχει γίνει λάθος και είναι ήδη αναβαθμισμένα ή κάτι πάει στραβά κατά την διαδικασία της αναβάθμισης, το Self-x των δικτυακών στοιχείων των RATs θα επιστρέψει το μήνυμα `problem_with_update`. Στην περίπτωση που όλα πάνε καλά θα επιστρέψουν το μήνυμα `Update_is_done`.

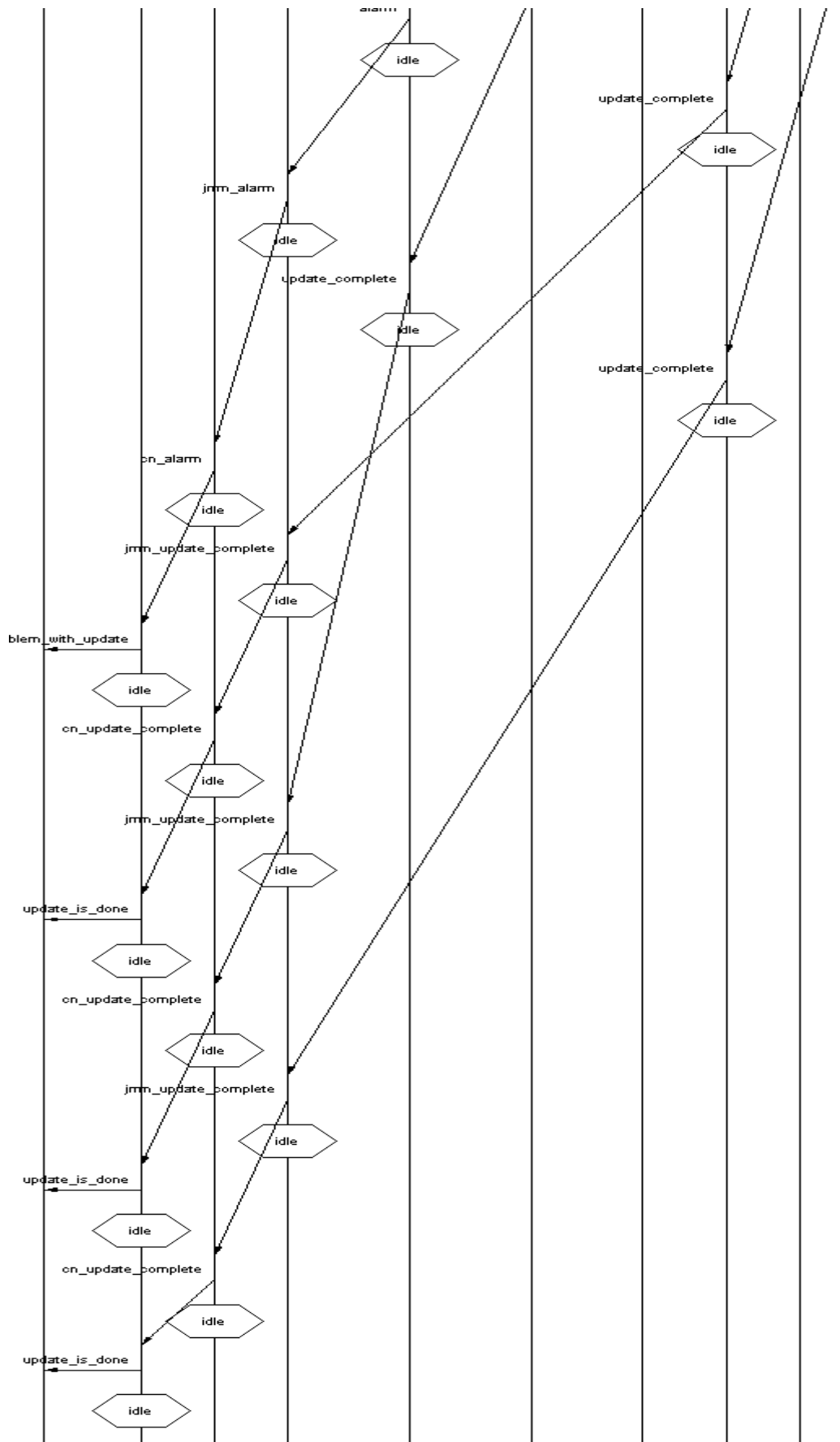
Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις αυτά τα μηνύματα θα πρέπει να τα προωθήσει το NP προς το περιβάλλον έτσι ώστε να ενημερωθούν οι διαχειριστές του δικτύου και σε περίπτωση προβλήματος να υπάρξει άμεση επίλυση του.

Στα σχήματα 22 και 23 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων του παραπάνω σεναρίου.





Σχήμα 22: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού(1/2)

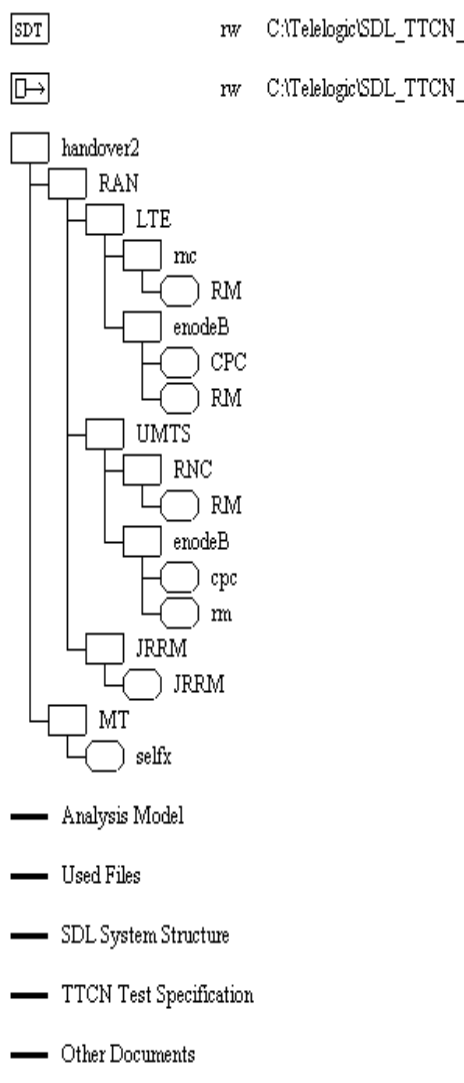


Σχήμα 23: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αναβάθμισης λογισμικού(2/2)

#### 4.4 Παρουσίαση υλοποίησης στην SDL του δεύτερου παραδείγματος

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε μια υλοποίηση σε SDL ενός πολύ μικρού δικτύου RAN με σκοπό να παρατηρήσουμε την συνύπαρξη διαφορετικών τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης και να δούμε πως γίνεται η εναλλαγή σύνδεσης σε διαφορετική τεχνολογία από το τερματικό υπό την επιτήρηση του JRRM.

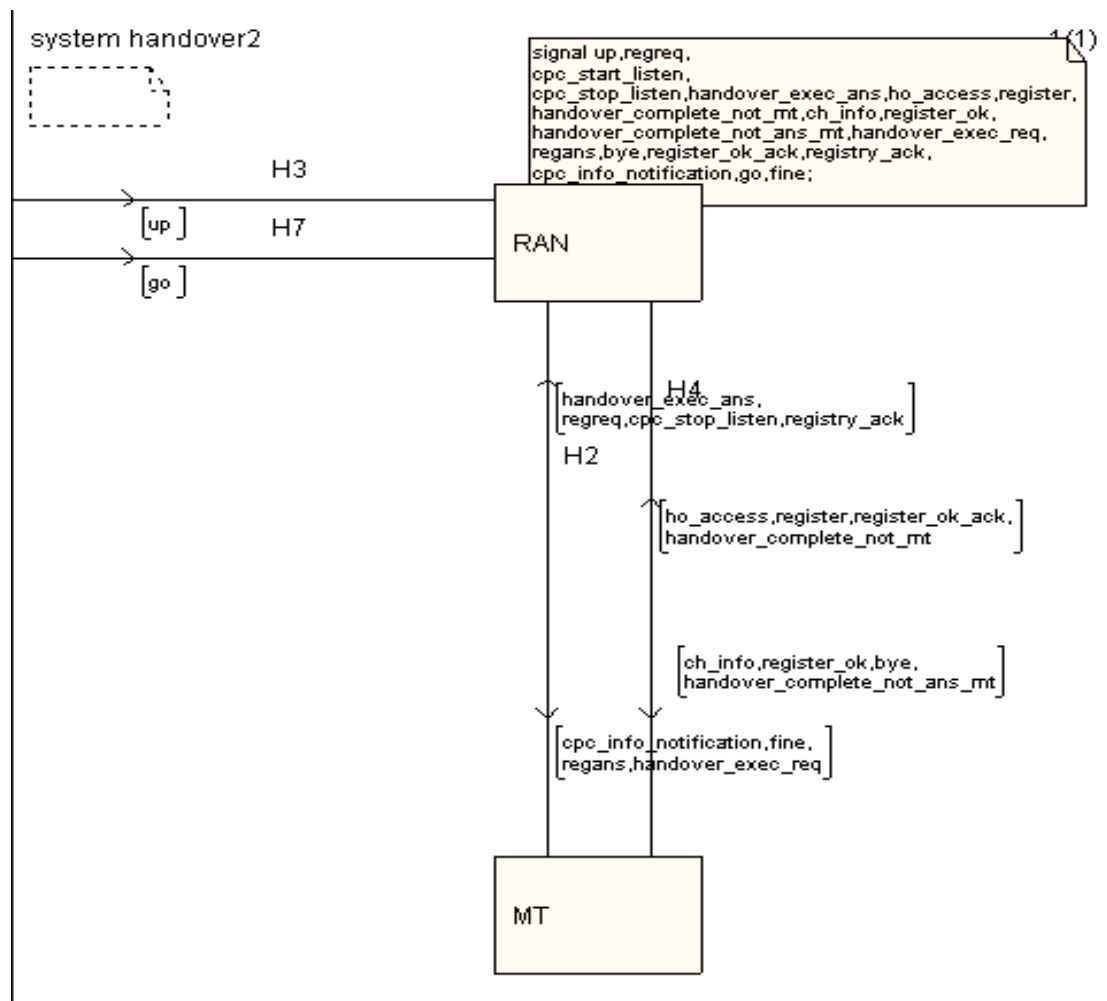
Το παράδειγμα αυτό ουσιαστικά αποτελεί προσομοίωση ενός μέρους του συνολικού δικτύου, το έχουμε ονομάσει handover2 και η οργανωτική του δομή διακρίνεται παρακάτω



- **RAN(Radio Access Network)**
  - **LTE**
    - **RNC**
    - **ENodeB**
  - **UMTS**
    - **RNC**
    - **ENodeB**
  - **JRRM**
- **MT(Mobile Terminal)**

Σχήμα 24: Οργανωτική δομή του δικτύου του δεύτερου παραδείγματος μας

Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να διακρίνουμε την οργανωτική δομή του πρώτου επιπέδου του παραδείγματος μας.

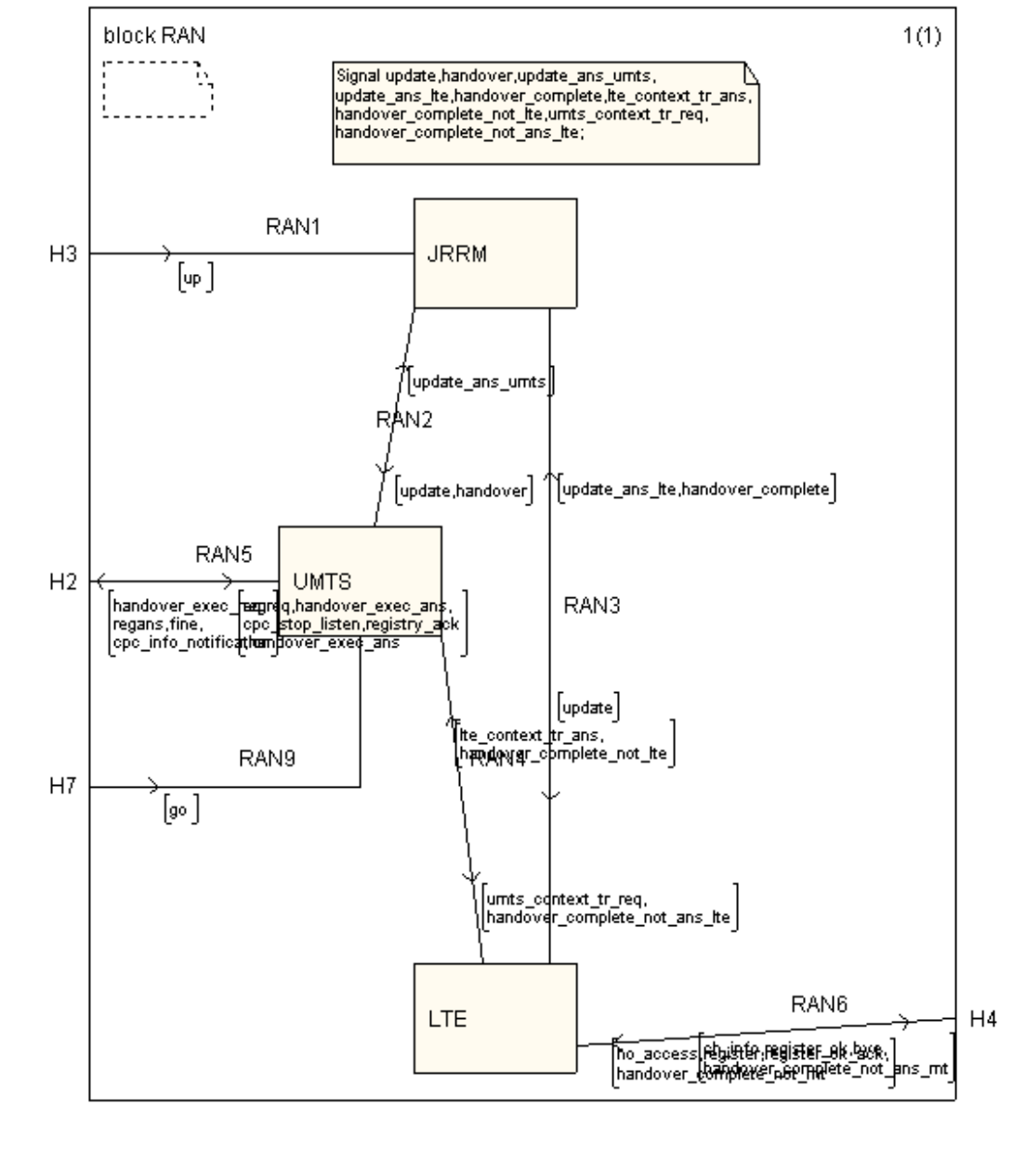


Σχήμα 25: Οργανωτική δομή πρώτου επιπέδου δευτέρου παραδείγματος

Στην παρακάτω εικόνα που ακολουθεί θα δούμε την εσωτερική απεικόνιση του RAN και θα διακρίνουμε τις τεχνολογίες πρόσβασης που υπάρχουν σε συνεργασία με το JRRM .

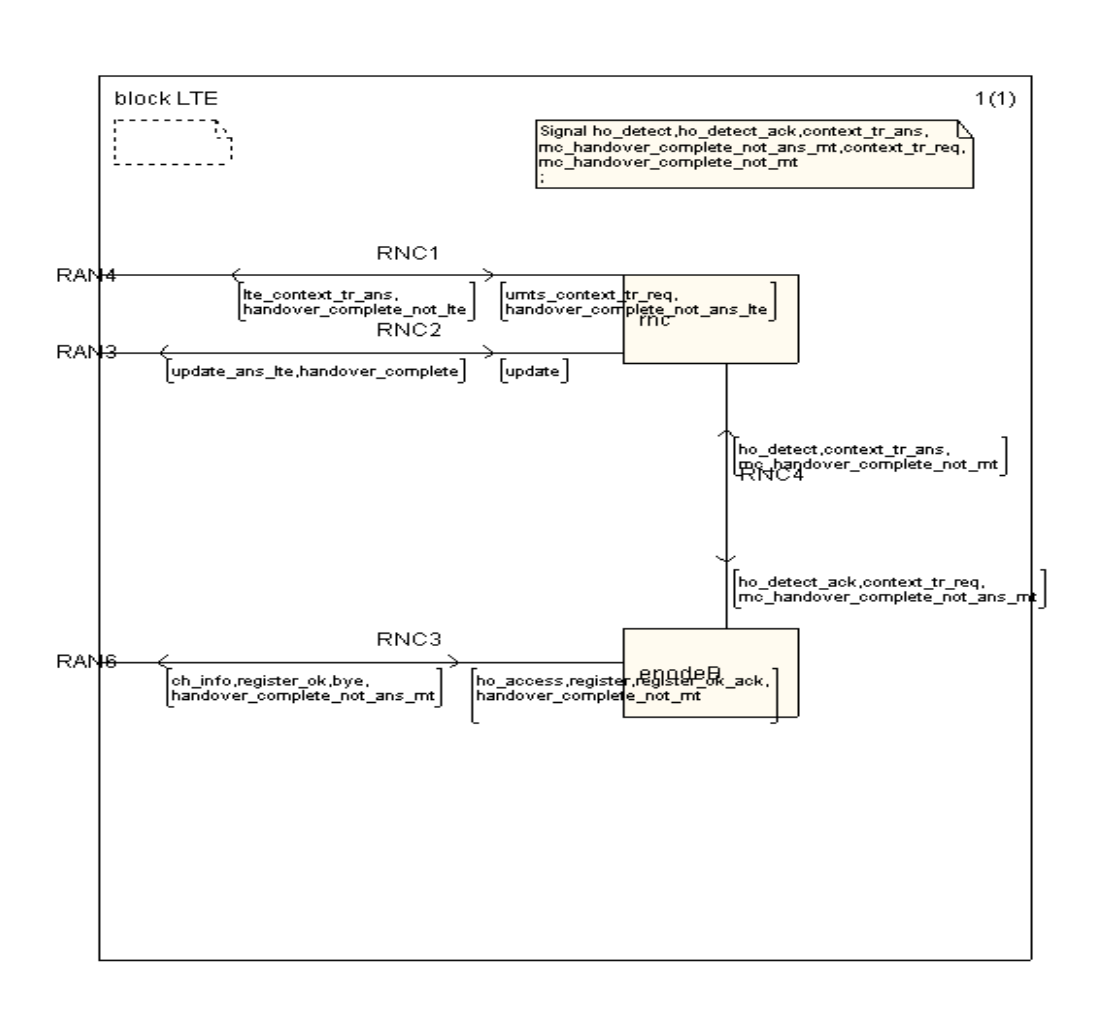
Όπως είπαμε στην αρχή σκοπός μας είναι να παρατηρήσουμε την συνύπαρξη των δύο και περισσότερων διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης κάτω από το ίδιο JRRM.

Στο σχήμα 33 διακρίνουμε ένα RAT με UMTS και άλλο ένα με LTE και η μεταξύ τους σύνδεση με το JRRM.



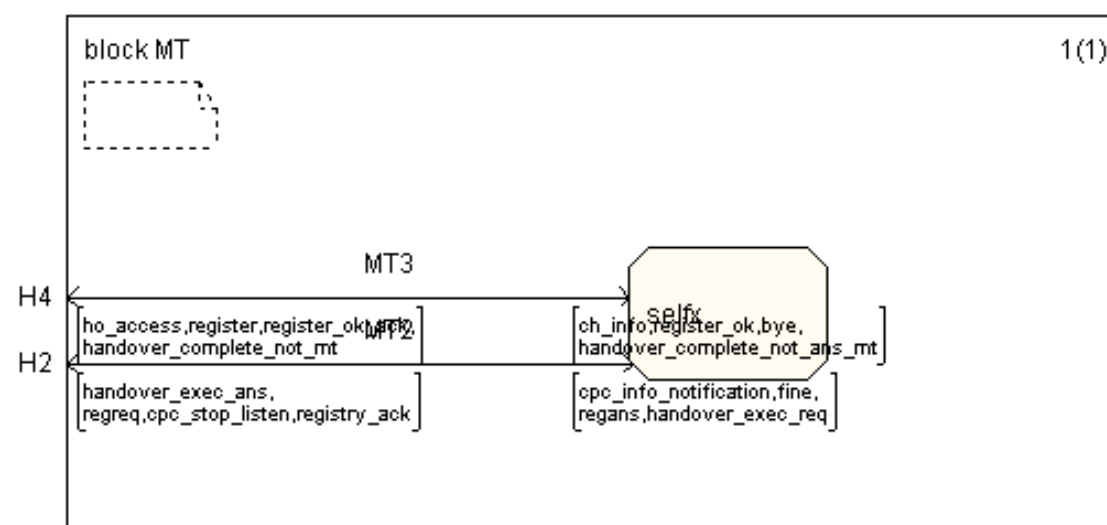
Σχήμα 26: Υλοποίηση σε sdl του block ran του δευτέρου παραδείγματος

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε την υλοποίηση σε sdl του block LTE το οποίο περιέχει ένα σταθμό βάσης και έναν controller. Πανομοιότυπη υλοποίηση έχουμε κάνει και για το Block του UMTS το οποίο και εκείνο περιέχει ένα RNC και έναν controller. Στο σχήμα 27 παρουσιάζεται η παραπάνω υλοποίηση.



Σχήμα 27: Υλοποίηση του block Lte του 2<sup>ου</sup> παραδείγματος

Και στο τέλος βλέπουμε την υλοποίηση του block MT στο Σχήμα 28



Σχήμα 28: Υλοποίηση του block MT του 2<sup>ου</sup> παραδείγματος

#### **4.5 Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αλλαγής τεχνολογίας πρόσβασης του τερματικού υπό την επιτήρηση του JRRM**

Σε αυτή την περίπτωση χρήσης θα παρουσιάσουμε με διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων την διαδικασία διαπομπή του τερματικού υπό την επιτήρηση του JRRM.

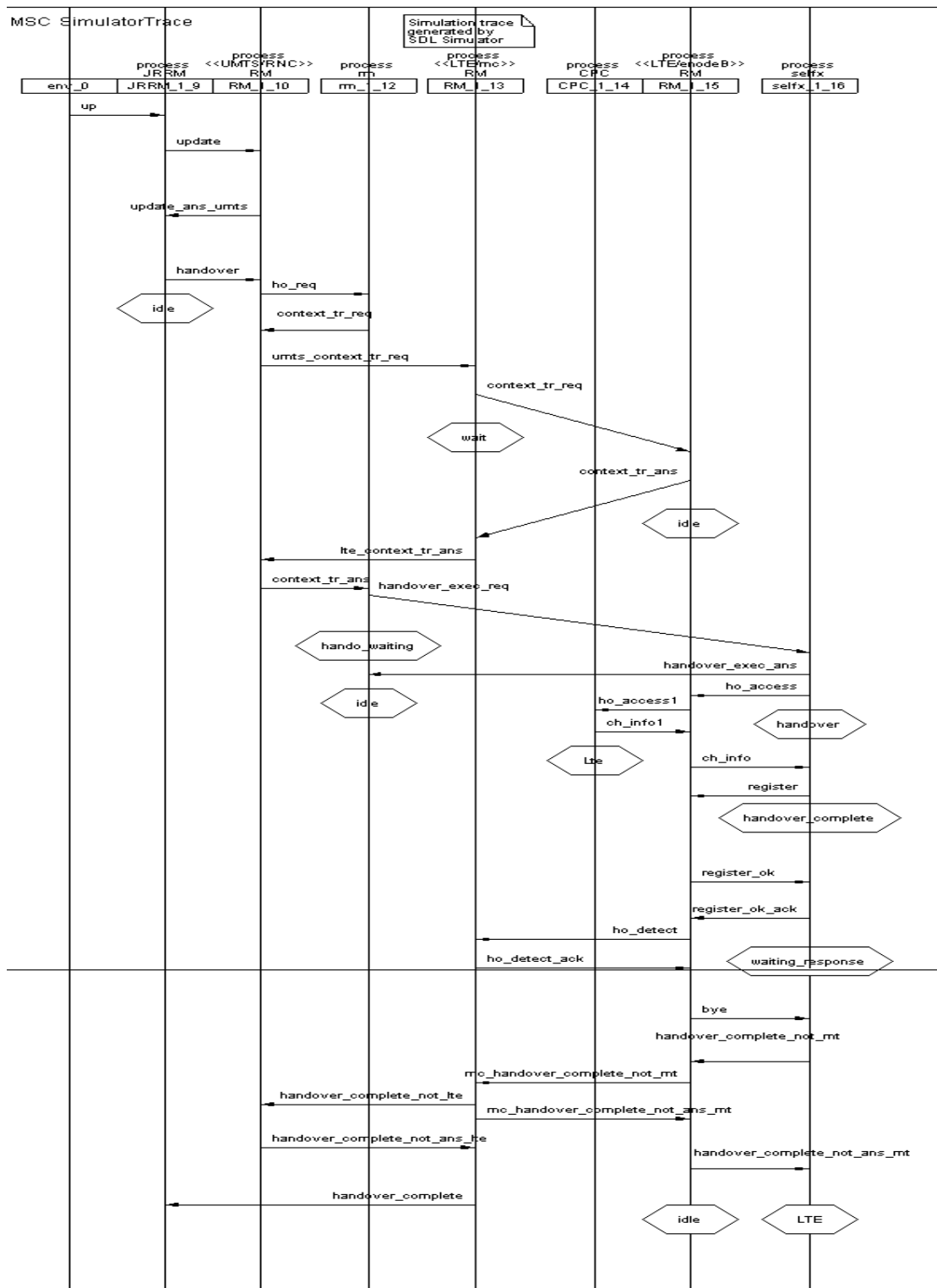
Όπως είναι γνωστό το JRRM συλλέγει πληροφορίες σε θέματα όπως η κατάσταση της κυψέλης, ο φόρτος της κυψέλης κα. και τα διανέμει με το μήνυμα update προς τους ενδιαφερόμενους.

Σε γεγονότα όπως μείωση της ποιότητας σύνδεσης του τερματικού, αύξηση του φόρτου της κυψέλης πάνω από το επιτρεπόμενο επίπεδο, ειδοποίηση συμβάντος, αλλαγή του ζητούμενου QoS του χρήστη το JRRM μπορεί να αποφασίσει την αλλαγή τεχνολογίας πρόσβασης του τερματικού.

Στο σχήμα 37 βλέπουμε ένα παραδειγματικό σενάριο όπου το JRRM παίρνει την απόφαση για την εκκίνηση της διαδικασίας handover ενός τερματικού. Στην αρχή αυτό που γίνεται είναι η μεταφορά των πληροφοριών context του τερματικού από την μία τεχνολογία πρόσβασης στην άλλη με το context\_tr\_req και τελειώνει με το context\_tr\_ans. Στη συνέχεια ο σταθμός βάσης στέλνει στο τερματικό το μήνυμα handover\_exec\_req και του ζητάει να κάνει handover στην άλλη τεχνολογία πρόσβασης.

Παίρνοντας στην πλευρά του τερματικού, αυτό εκτελεί την εντολή handover και ζητάει από το In-Band CPC της άλλης τεχνολογίας πρόσβασης να του στείλει τις απαραίτητες πληροφορίες έτσι ώστε να συνδεθεί. Λαμβάνει λοιπόν τις πληροφορίες αυτές με το μήνυμα Ch\_info και προχωράει σε εγκαθίδρυση σύνδεσης με τον νέο σταθμό βάσης.

Στην πλευρά του δικτύου εφόσον ολοκληρωθεί η σύνδεση του τερματικού τότε οι τεχνολογίες πρόσβασης ανταλλάσσουν μηνύματα ολοκλήρωσης της συγκεκριμένης διαδικασίας και στο τέλος ενημερώνουν το JRRM για την επιτυχή έκβαση της συγκεκριμένης εργασίας.



Σχήμα 29: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων αλλαγής τεχνολογίας πρόσβασης υπό την επιτήρηση του JRRM



## 5 Συμπεράσματα

Κλείνοντας την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ήρθε η ώρα να διατυπώσουμε τα συμπεράσματα μας καθώς και μελλοντικές πτυχές που μπορούν να υλοποιηθούν βασισμένες στην παρούσα πτυχιακή.

Ξεκινώντας την συγκεκριμένη πτυχιακή, μελετήθηκε η αρχιτεκτονική End-to-End-Efficiency η οποία είναι βασισμένη σε λειτουργίες SON και στο επόμενο βήμα προτάθηκαν τροποποιήσεις με στόχο την βελτιστοποίηση και την απλοποίηση της παραπάνω αρχιτεκτονικής. Επιπλέον παρουσιάστηκαν διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων για διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης με σκοπό την αποτύπωση της αντίδρασης του δικτύου σε διαφορετικά πιθανά προβλήματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης.

Στο τελευταίο στάδιο υλοποιήθηκαν με την βοήθεια της SDL δύο μικρά παραδείγματα βασισμένα στη νέα αρχιτεκτονική μας και σαν αποτέλεσμα ήταν να εξαχθούν διαγράμματα ακολουθίας μηνυμάτων και να αποτυπωθεί η απόκριση των δικτύων των παραδειγμάτων.

Βάζοντας τον επίλογο σε αυτή την πτυχιακή εργασία δεν μπορούσαμε να γράψουμε κάτι άλλο πέρα απ' τους μελλοντικούς στόχους της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής.

Σίγουρα κάποιοι από τους στόχους είναι η περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίηση της καθώς επίσης η ενσωμάτωση περισσότερων προκλήσεων κατά τη σχεδίαση και η ενσωμάτωση υποστήριξης μελλοντικών τεχνολογιών και εφαρμογών με σκοπό πάντα την αύξηση της απόδοσης των δικτύων και την καλύτερη παροχή υπηρεσιών στον τελικό χρήστη.



## 6 Βιβλιογραφία

- [1] Μιλτιάδης Αναγνώστου, «Σχεδιασμός υπηρεσιών και πρωτοκόλλων με τυπικές μεθόδους» Ιούλιος 2009
- [2] ITU-T, Formal Description Techniques (FDT) - Specification and Description Language (SDL), ITU-T Z.100 Recommendation, August 2002, [[Link](#)]
- [3] Conway J.H., “Regular Algebra and Finite Machines”, Chapman & Hall, London 1971.
- [4] ITU, ITU’s History, [[Link](#)]
- [5] Hopcroft J.E., Ullman J.D., “Introduction to automata theory, languages and computation”, Addison-Wesley 1979.
- [6] Novel mobile radio “nolmolr”, “Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long Term Evolution” Sujuan Feng, Eiko Seidel Nomor Research GmbH, Munich, Germany ,May 2008
- [7] 3G Americas, “The Benefits of SON in LTE – Self-Optimizing and Self-Organizing Networks”, 15 December 2009, [[Link](#)]
- [8] 3GPP TS 36.902. “Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions.”
- [9] 3GPP TR 32.531, “Telecommunication Management; Software Management (SWM); Concepts and IRP Requirements”
- [10] 3GPP TS 32.511, “Telecommunication Management; Automatic Neighbor Relation (ANR) management; Concepts and Requirements.”
- [11] 3GPP TS 36.300, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description stage 2.”
- [12] NGMN white paper, “Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO”, December 2006
- [13] NGMN requirement document, “NGMN Recommendations on SON and O&M Requirements”, Version 1.23, 5 December 2008, [[Link](#)]
- [14] End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>) Project, <http://ict-e3.eu/>
- [15] E<sup>3</sup> Deliverable D2.3, “Architecture, Information Model and Reference Points, Assessment Framework, Platform Independent Programmable Interfaces”, 30 September 2009,

[ict-e3.eu/project/deliverables/full\_deliverables/E3\_WP2\_D2.3\_090930.pdf ]

- [16] Klaus Nolte, Alexandros Kaloxylos, Kostas Tsagkaris, Thomas Rosowski, Makis Stamatelatos, Aristi Galani, Eckard Bogenfeld, Panagis Magdalinos, Jens Tiemann, Jens Gebert, Paul Arnold, Dirk von Hugo, Nancy Alonistioti, Panagiotis Demestichas, Wolfgang Koenig: The E3 architecture: enabling future cellular networks with cognitive and self-x capabilities. *Int. Journal of Network Management* 21(5): 360-383 (2011)
- [17] Βασίλειος Σ. Ζαφειρόπουλος, «Προδιαγραφή αρχιτεκτονικής αυτό-οργανώμενων δικτύων πρόσβασης για δίκτυα κινητών επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> γενιάς», Πτυχιακή εργασία, Ιανουάριος 2012.
- [18] 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](#)]
- [19] ETSI TR 102 682, “Reconfigurable Radio Systems (RRS), Cognitive Pilot Channel (CPC)”, Version 1.1.1, September 2009, [[Link](#)]
- [20] A White Paper by the FP7 project End-to-End Efficiency (E<sup>3</sup>), “Spectrum Sensing”, November 2009, [[Link](#)]
- [21] 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
- [22] D. Thilakawardana, K. Moessner, R. Tafazolli, “Darwinian approach for dynamic spectrum allocation in next generation systems”, *Communications, IET* 2008, 2(6): 827-836
- [23] 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
- [24] 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](#)]
- [25] 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
- [26] *International Journal of Network Management*, “The E<sup>3</sup> architecture: enabling future cellular networks with cognitive and self-x capabilities”, 15 September 2010, [[Link in Wiley Online Library](#)]

