



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY OF PELLOPONNESE

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Επισκόπηση και αξιολόγηση τεχνικών διαχείρισης δικτύων
κινητών και ασυρμάτων επικοινωνιών»

Μεταπτυχιακός: ΜΟΥΡΜΟΥΡΑ ΜΑΡΙΛΕΝΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΚΑΛΟΕΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY OF PELLOPONNESE

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Επισκόπηση και αξιολόγηση τεχνικών διαχείρισης δικτύων
κινητών και ασυρμάτων επικοινωνιών»

Μεταπτυχιακός: ΜΟΥΡΜΟΥΡΑ ΜΑΡΙΛΕΝΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΚΑΛΟΞΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Καλόξυλο κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και φυσικά για την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας. Πολύτιμη ήταν και η βοήθειά και καθοδήγησή του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|--|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 11 |
| 1. LONG TERM EVOLUTION | 15 |
| 1.1 GPP Long Term Evolution (LTE) | 15 |
| 1.2 Πλεονεκτήματα του LTE..... | 16 |
| 1.3 Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE..... | 17 |
| 1.4 Υπηρεσίες LTE..... | 18 |
| 1.5 LTE Αρχιτεκτονική | 19 |
| 1.5.1 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης - OFDMA | 22 |
| 1.5.2 Ευελιξία Φάσματος..... | 24 |
| 1.5.3 Προηγμένες τεχνικές κεραιών | 25 |
| 1.5.4 Έλεγχος Ισχύος και ενδοκυψελικός συντονισμός παρεμβολής | 26 |
| 1.5.5 Δυναμική αρχιτεκτονική δικτύου βασισμένη στο πρωτόκολλο IP | 27 |
| 1.5.6 Αρχιτεκτονική Δικτύου SAE | 27 |
| 1.5.7 Τεχνικά Χαρακτηριστικά..... | 29 |
| 1.5.8 LTE-Advanced..... | 31 |
| 1.6 Σημερινή κατάσταση και εξέλιξη | 32 |
| 1.7 Οι πρώτες εμπορικές συνδέσεις..... | 34 |
| 1.8. Τα οφέλη του SON στο LTE | 36 |
| 1.8.1 Το πλαίσιο εργασίας του SON στο LTE..... | 36 |
| 1.8.2 Αυτο-διαμόρφωση των Σταθμών Βάσης | 36 |
| 1.8.3 Αυτόματη Σχέση Γειτόνων | 38 |
| 1.8.4 Περιοχή Αναζήτησης..... | 38 |
| 1.8.5 Εξισορρόπηση Φορτίου | 40 |
| 1.8.6 Αύξηση κινητικότητας / Βελτιστοποίηση Διαπομπής (HO)..... | 41 |
| 2. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ASA | 43 |
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 43 |
| 2.2 Autonomic Service Architecture | 44 |
| 2.2.1 Άποψη λειτουργίας | 46 |
| 2.2.2 Άποψη Διαχείρισης..... | 47 |
| 2.3 Autonomic resource broker architecture..... | 48 |
| 2.3.1 Βάση πληροφοριών..... | 48 |
| 2.3.2 Έλεγχος πολιτικής | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.3 Έλεγχος πελατών | 49 |
| 2.3.4 Σύνοψη υπηρεσιών | 50 |
| 2.3.5 Διαχειριστής πόρων | 51 |
| 2.3.6 Μηχανή Ελέγχου | 51 |
| 2.3.7 Διαχειριστής λειτουργίας..... | 52 |
| 2.3.8 Μηχανή Σχεδιασμού..... | 53 |
| 2.3.9 Διαχειριστής Λογαριασμού | 53 |
| 3. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ FOCALÉ | 54 |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 54 |
| 3.2 Η αρχιτεκτονική - FOCALÉ..... | 54 |
| 3.3 Εφαρμογή FOCALÉ πέρα από τα 3G δίκτυα..... | 58 |
| 3.4 Η αρχιτεκτονική FOCALÉ σε σχέση με την κινητικότητα | 61 |
| 3.5 Επίλογος..... | 67 |
| 4. END-TO-END EFFICIENCY- E3 | 68 |
| 4.1 Εισαγωγή | 68 |
| 4.2 Κίνητρα και Στόχοι..... | 69 |
| 4.3 Η δομή του project E3 | 74 |
| 4.4 Τυποποίηση και Κανονιστική ρύθμιση | 76 |
| 4.5 Τεχνική Προσέγγιση..... | 78 |
| 4.6 Αρχιτεκτονική Συστήματος | 81 |
| 4.6.1 Δομικές Μονάδες της E3 Αρχιτεκτονικής..... | 81 |
| 4.6.1.1 Autonomic Entity Management (AEM) | 82 |
| 4.6.1.2 Cognitive Control Radio (CCR) | 83 |
| 4.6.1.3 Cognitive Pilot Channel (CPC)..... | 83 |
| 4.6.1.4 Spectrum Sensing (SS) | 83 |
| 4.6.1.5 Reconfiguration Control Module (RCM) | 83 |
| 4.6.1.6 Dynamic Spectrum Management (DSM) | 83 |
| 4.6.1.7 Dynamic Self-Organising Network Planning and Management (DSNPM) | 83 |
| 4.6.1.8 Self-x for Radio Access Networks (Self-x for RAN) | 84 |
| 4.6.1.9 Joint Radio Resource Management (JRRM) | 84 |
| 4.6.1.10 Radio Resource Management (RRM)..... | 84 |
| 4.6.2 Επισκόπηση Λειτουργικής Αρχιτεκτονικής | 85 |
| 4.6.2.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική για έναν διαχειριστή δικτύου | 85 |
| 4.6.2.2 Λειτουργική Αρχιτεκτονική για την περίπτωση πολυ-χειριστών | 86 |
| 4.6.2.3 Λειτουργική Αρχιτεκτονική για περιπτώσεις Ad-Hoc και Multi-Hop | 87 |
| 4.6.3 Χαρτογράφηση των E3 δομικών μονάδων σε οντότητες δικτύων | 88 |

| | |
|--|-----|
| 5. ΝΕΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ | 89 |
| 5.1 Εισαγωγή – Οι δομικές μονάδες..... | 89 |
| 5.1.1 Reconfiguration Management-RM | 90 |
| 5.1.2 Global Information Channel – GIC : | 92 |
| 5.1.3 Spectrum Management-SM : | 93 |
| 5.1.4 Spectrum Data Base - SDB:..... | 94 |
| 5.1.5 Network Planning – NP : | 94 |
| 5.1.6 Joint Radio Resource Management – JRRM : | 99 |
| 5.1.7 Autonomic Management-AM:..... | 101 |
| 5.2 Ανταλλαγή μηνυμάτων..... | 104 |
| 5.2.1 Έναρξη λειτουργίας ενός Base Station | 104 |
| 5.2.2 Διαδικασία Handover..... | 106 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 107 |
| ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 108 |

| ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ | |
|---------------------------|---|
| 3G | Third Generation |
| 3GPP | Third Generation Partnership Project |
| ACC | Autonomic Computing Component |
| ACE | Autonomic Computing Element |
| AEM | Autonomic Entity Management |
| AM | Autonomic Management |
| AM | Autonomic Manager |
| AMD | Autonomic Management Domain |
| AME | Autonomic Management Environment |
| ANDSF | Access Network Discovery and Selection Function |
| ARB | Autonomic Resource Broker |
| ASA | Autonomic Service Architecture |
| ASCM | Autonomic and Self-Organizing Cognitive Management |
| BS | Base Station |
| CAPEX | Capital Expenses |
| CARB | Composite ARB |
| CMA | Context Matching Algorithm |
| CCR | Cognitive Control Radio |
| CIB | Customer Information Base |
| CNE | Core Network Entity |
| CPC | Cognitive Pilot Channel |
| CR | Cognitive Radio |
| CR | Interface between RCM and RAT |
| CRF | Common Resource Format |
| DSA | Dynamic Spectrum Allocation |
| DSM | Dynamic Spectrum Management |
| DSNPM | Dynamic Self-Organising Network Planning and Management |
| E2R | End to End Reconfigurability |
| E3 | End To End Efficiency |
| Enb | eUTRAN Node-B |
| EPC | Evolved Packet Core |
| Epdg | Enhanced Packet Data Gateway |
| eUTRAN | Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network |
| FA | Functional Architecture |
| FBS | Flexible Base Station |
| FOCALE | Foundation Observation Compare Act Learning Environment |
| GARB | Global ARB |
| GIC | Global Information Channel |
| GSM | Global System for Mobile communications |
| HAM | Heterogeneous Access Manager |
| HO | Handover |
| HSS | Home Subscriber Server |
| HW | Hardware |

| | |
|----------------|---|
| ICIC | Inter-Cell Interference Cancellation |
| IEEE | Institute of electrical and electronics engineers |
| IP | Internet Protocol |
| JJ-NN | Interface between JRRM instances on network side |
| JJ-TN | Interface between JRRM on Terminal and JRRM on Network side |
| JR | Interface between JRRM and RAT |
| JRRM | Joint Radio Resource Management |
| KIB | Knowledge Information Base |
| KPI | Key Performance Indicator |
| LAN | Local Area Network |
| LB | Load Balancing |
| LCPC | Local CPC |
| LTE | Long Term Evolution |
| MAC | Medium Access Control (protocol layering context) |
| MBTL | Model-Based Translation Layer |
| MC | Interface between DSNPM and RCM |
| MJ | Interface between DSNPM and JRRM |
| MM | Interface between DSNPM instances |
| MME | Mobile Management Entity |
| MS | Interface between DSNPM and DSM |
| MX | Interface between DSNPM and Self-x for RAN |
| NM | Network Monitoring |
| NRO | Network Resources Optimization |
| NP | Network Planning |
| NO | Network Operator |
| OFDMA | Orthogonal Frequency Division Multiple Access |
| O&M | Operation and Maintenance |
| OPEX | Operational Expenses |
| PDN | Packet Data Network |
| P-GW | PDN Gateway |
| PHY | Physical layer |
| PIB | Policy Information Base |
| PnP | Plug and Play |
| QoS | Quality of Service |
| RAN | Radio Access Network |
| RAT | Radio Access Technology |
| RCM | Reconfiguration Control Module |
| RF | Radio Frequency |
| RIB | Resource Information Base |
| RM | Reconfiguration Management |
| RRM | Radio Resource Management |
| SAE | System Architecture Evolution |
| SDB | Spectrum Data Base |
| Self-x for RAN | Self-organizing functionalities for RAN |

| | |
|-------|---|
| S-GW | Serving Gateway |
| SIARB | Service Instance ARB |
| SIB | Service Information Base |
| SM | Spectrum Management |
| SON | Self-organizing Network |
| SP | Service Provider |
| SS | Spectrum Sensing |
| SS | Interface between DSM instances |
| SW | Software |
| UE | User Equipment |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| XC | Interface between Self-x for RAN and RCM |
| XJ | Interface between Self-x for RAN and JRRM |

Λίστα Σχημάτων

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1 . Χρονολογική εξέλιξη του LTE [1]..... | 15 |
| Σχήμα 2. LTE αρχιτεκτονική [5] | 19 |
| Σχήμα 3 . Δομή πρωτοκόλλων LTE [5]..... | 20 |
| Σχήμα 4 . Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλου του σταθμού βάσης σε επίπεδο-χρήστη και επίπεδο ελέγχου [6] | 21 |
| Σχήμα 5 . Μεταβολές στην ποιότητα καναλιού στη συχνότητα και στο χρόνο | 23 |
| Σχήμα 6 . LTE ευελιξία φάσματος [5]..... | 24 |
| Σχήμα 7 . Τεχνικές πολλαπλών κεραιών στο LTE [5]..... | 26 |
| Σχήμα 8 . LSTI επίδειξη διαπομπής [5]..... | 29 |
| Σχήμα 9. Το πλαίσιο εργασίας του SON | 36 |
| Σχήμα 10 . Αυτό-διαμόρφωση του eNodeB στα LTE | 37 |
| Σχήμα 11. Επίπεδα Αρχιτεκτονικής ASA..... | 45 |
| Σχήμα 12. Ιεραρχική Διαχείριση | 47 |
| Σχήμα 13 . Αρχιτεκτονική αυτόνομου μεσίτη πόρων..... | 48 |
| Σχήμα 14 . FOCAL- Αυτόνομο υπολογιστικό στοιχείο [18] | 55 |
| Σχήμα 15 . Τομέας αυτόνομης διαχείρισης [18]..... | 56 |
| Σχήμα 16. Περιβάλλον αυτόνομης διαχείρισης [18] | 56 |
| Σχήμα 17 . Αυτόνομος βρόγχος ελέγχου βασισμένος στην πολιτική [18] | 57 |
| Σχήμα 18. Στοιχεία και τομείς σε ένα B3G περιβάλλον [18]..... | 59 |
| Σχήμα 19. Εφαρμογή της αρχιτεκτονικής FOCAL- στη διαχείριση των B3G δικτύων [18]..... | 60 |
| Σχήμα 20. Σύγκλιση κινητικότητας [18] | 61 |
| Σχήμα 21 . Το DEN-ng μοντέλο πλαισίου [18]..... | 65 |
| Σχήμα 22 . Συνθήκες πλαισίου και πολιτικής [18] | 65 |
| Σχήμα 23. Οι συνεργάτες του project [23] | 69 |
| Σχήμα 24. E ³ Key Research Challenges [25]..... | 69 |
| Σχήμα 25. E3 κατηγορίες χρήσης [25] | 70 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 26. E3 κεντρικοποιημένη και κατανεμημένη διαχείριση [25] | 73 |
| Σχήμα 27. Αυτόνομη διαχείριση των κόμβων του συστήματος [25] | 74 |
| Σχήμα 28. Τα πακέτα εργασίας [28]..... | 75 |
| Σχήμα 29. E3 Πρότυπα / Κάλυψη κανονιστικής ρύθμισης [26] | 76 |
| Σχήμα 30. E3 Τυποποίηση [26] | 77 |
| Σχήμα 31. Οι έξι άξονες της E3 γνωστικής ραδιο-αρχιτεκτονικής [10]..... | 82 |
| Σχήμα 32. Αρχιτεκτονική ενός χειριστή δικτύου[31]..... | 85 |
| Σχήμα 33. Αρχιτεκτονική σε περίπτωση πολύ-χειριστών[31]..... | 86 |
| Σχήμα 34. Αρχιτεκτονική σε περίπτωση ad-hoc και multi-hop[31]..... | 87 |
| Σχήμα 35. Χαρτογράφηση των E3 δομικών μονάδων στις οντότητες δικτύου[31].. | 88 |
| Σχήμα 36. Οι δομικές μονάδες της αρχιτεκτονικής..... | 89 |
| Σχήμα 37. Λειτουργικές οντότητες του RM..... | 91 |
| Σχήμα 38. Χαρτογράφηση των λειτουργικών μονάδων του RM στα στοιχεία του δικτύου | 91 |
| Σχήμα 39. Το Network Planning για B3G ασύρματα τμήματα δικτύου [33] [34] | 96 |
| Σχήμα 40. Ο αλγόριθμος προσαρμογής πλαισίου – CMA [33] [34]..... | 97 |
| Σχήμα 41 . Ο αλγόριθμος προσαρμογής πλαισίου – CMA [33]..... | 98 |
| Σχήμα 42. Λειτουργικές οντότητες του Network Planning..... | 99 |
| Σχήμα 43. Λειτουργικές οντότητες του JRRM..... | 100 |
| Σχήμα 44. Χαρτογράφηση των λειτουργικών μονάδων του JRRM στα στοιχεία του δικτύου | 101 |
| Σχήμα 45 . Λειτουργικές οντότητες του Autonomic Management | 103 |
| Σχήμα 46. Χαρτογράφηση των λειτουργικών μονάδων του AM στα στοιχεία του δικτύου | 103 |
| Σχήμα 47. Χαρτογράφηση των δομικών μονάδων στα στοιχεία του δικτύου..... | 104 |
| Σχήμα 48. Ανταλλαγή μηνυμάτων για την έναρξη λειτουργίας ενός σταθμού βάσης | 105 |
| Σχήμα 49. Ανταλλαγή μηνυμάτων για τη διαδικασία διαπομπής..... | 106 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η 1η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η πρώτη γενιά συστημάτων κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη γενιά δεν αποτέλεσε το ξεκίνημα των κινητών τηλεπικοινωνιών. Αντίθετα από πιο πριν είχαν εμφανιστεί αρκετά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών τα οποία όμως δεν είχαν τα χαρακτηριστικά των κινητών δικτύων με τον τρόπο που τα εννοούμε σήμερα. Το βασικότερο από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η κυψελωτή δομή του δικτύου. Τα πρώιμα αυτά δίκτυα είχαν περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με τα κυψελωτά. Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η υποτυπώδης και προβληματική υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών.

Στα κυψελωτά κινητά δίκτυα, που στο εξής θα αναφέρονται απλώς σαν κινητά δίκτυα, η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρά κελιά. Με αυτόν τον τρόπο οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιούνται πολλές φορές στο ίδιο δίκτυο χωρίς να δημιουργούνται έντονα φαινόμενα παρεμβολής. Επομένως, οι δυνατότητες του δικτύου αυξάνονται σημαντικά. Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης για την κίνηση η οποία ήταν αποκλειστικά φωνή. Δεν υπήρξε κάποιο πρότυπο που να επικράτησε, αντίθετα υπήρξαν αρκετά πρότυπα όπως το Nordic Mobile Telephone (NMT), το Total Access Communication System (TACS) και το Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Τα δύο πρώτα πρότυπα είχαν μία σχετική επιτυχία στις ευρωπαϊκές χώρες, ενώ το τρίτο ήταν το πιο διαδεδομένο στις Η.Π.Α. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι παρόλο που σήμερα η εξέλιξη στις τηλεπικοινωνίες έχει εστιαστεί στα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς, υπάρχουν πολλά δίκτυα πρώτης γενιάς που εξακολουθούν να βρίσκονται σε λειτουργία. Βέβαια, στις χώρες όπου υπάρχει προχωρημένη υποδομή στις τηλεπικοινωνίες τα συστήματα αυτά έχουν εγκαταλειφθεί καθώς θεωρείται ότι σπαταλούν πολύτιμο φάσμα συχνοτήτων το οποίο τα σύγχρονα ψηφιακά κινητά δίκτυα επικοινωνιών εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά.

Η 2η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η δεύτερη γενιά κινητών δικτύων επικοινωνιών χρησιμοποιεί ψηφιακή μετάδοση της κίνησης. Αυτή είναι και η κύρια διαφοροποίηση μεταξύ των κινητών συστημάτων πρώτης και δεύτερης γενιάς: ο διαχωρισμός αναλογικού – ψηφιακού. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν πολύ ευρύτερες δυνατότητες από αυτά της πρώτης γενιάς. Ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς χρήστες (είτε με διαίρεση χρόνου είτε με διαίρεση κώδικα). Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κελιών, για την ακρίβεια η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells (κελιά μεγάλης έκτασης), microcells (κελιά μικρής έκτασης) και picocells (κελιά περιορισμένης έκτασης κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα), με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων. Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: το Global System for Mobile (GSM) communications, το Digital AMPS (D-AMPS), το Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95 καθώς και το Personal Digital Cellular (PDC). Το

GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως.

Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Παρόλα αυτά, το 2001 η βορειοαμερικανική κοινότητα για την Time Division Multiple Access (TDMA) αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA) που ορίστηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP). Προκειμένου να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικάνικες εταιρίες που χρησιμοποιούσαν το D-AMPS έχουν υιοθετήσει ήδη το σύστημα GSM/GPRS. Το βασικό σύστημα GSM χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο βασικότερος λόγος ήταν η έλλειψη χωρητικότητας στη ζώνη των 900 MHz. Οι ζώνες των 1800 ή 1900 MHz μπορούν να εξυπηρετήσουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η περιοχή κάλυψης όμως μειώνεται σε σχέση με τα συστήματα που λειτουργούν στη ζώνη των 900 MHz.

Η Γενιά 2,5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο «γενιά 2,5» αναφερόμαστε στο ευρύτερο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν πάνω στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5. Αυτές οι τεχνολογίες είναι: η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίασαν οι αρχικές μορφές του GSM ήταν οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης στον αέρα που περιορίζονταν στα 9,6 Kbps. Αργότερα, τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14,4 Kbps παρόλο που δε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί, αντί μίας, περισσότερων χρονοσχισμών (timeslots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχισμή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητά τους δεν χρησιμοποιούνταν. Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι αν αγνοηθεί η διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Επομένως, δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή/λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά, η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας.

Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8PSK). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

Η 3η Γενιά Κινητών Δικτύων

Η γρήγορη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών ήταν ένα από τα αναμφισβήτητα γεγονότα της δεκαετίας του 1990. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο GSM λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά, το ίδρυμα ETSI ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα που προέκυψε από αυτή την προτυποποίηση ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η ανάπτυξη των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς δεν έγινε μόνο στο ETSI. Υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, που είχαν τον ίδιο σκοπό. Η Εικόνα 1 δείχνει σχηματικά την εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα μέχρι την τρίτη γενιά .

Ο βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς είναι η παροχή των κινητών υπηρεσιών «οπουδήποτε» και «κάθε στιγμή». Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα. Για την ακρίβεια, ο χρήστης θα μπορεί να εξυπηρετείται από οικιακά ασύρματα συστήματα, από άλλα κυψελωτά κινητά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα.

Επιπλέον, οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες πολυμέσων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (προβλέπονται ρυθμοί που ξεκινούν από τα 144 Kbps και φτάνουν ακόμα και σε ρυθμούς της τάξης των Mbps). Με τον όρο υπηρεσίες πολυμέσων αναφερόμαστε σε υπηρεσίες κατά τις οποίες υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν τα επικρατέστερα, προς το παρόν, συστήματα τρίτης γενιάς τα οποία είναι: το UMTS , το CDMA2000 και το NTT Docomo .

ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Η Γενιά 3,5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο «γενιά 3,5» (3.5G ή 3G+) αναφερόμαστε στη νέα γενιά κινητών δικτύων τα οποία εκτός από την τεχνολογία WCDMA έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA). Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις του UMTS Radio Interface στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ και να προσδιορίσει τα δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς.

Η HSPA αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει τη χωρητικότητα καταρχήν του κατερχόμενου και σε δεύτερη φάση του ανερχόμενου ασύρματου συνδέσμου για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Το γεγονός αυτό

θεωρήθηκε απαραίτητο καθώς, στην πράξη, οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς αποδείχθηκαν χαμηλοί για πολυμεσικές εφαρμογές. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που θα υπήρχαν πολλοί χρήστες πολυμεσικών εφαρμογών στο ίδιο κελί, αυτό θα σήμαινε ραγδαία πτώση της απόδοσης του δικτύου στο συγκεκριμένο κελί.

Το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS. Το HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ (ανακοινώθηκε το 2003 και υλοποιήθηκε το 2005) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 14,4 Mbps ανά χρήστη. Αναφορικά με τον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, το HSUPA εισήχθη στην έκδοση 6 του 3GPP προτύπου δίνοντας τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5,8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου uplink καναλιού. Η βασική ιδέα του HSPA είναι η προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Πρόκειται για το κανάλι High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ρυθμαπόδοσης (throughput) μόνο του κατερχόμενου συνδέσμου. Στο κανάλι αυτό έχουν ενσωματωθεί διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του όσον αφορά ρυθμό μετάδοσης. Προφανώς, η τεχνική HSPA δεν είναι κατάλληλη για όλα τα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα, δεν παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση, συνεπώς, δεν ενδείκνυται για απαιτητικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια (DCH). Αντίθετα, η χρήση του HSPA ενδείκνυται προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου hot spots κίνησης δεδομένων. Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της HSPA τεχνολογίας συγκαταλέγονται οι αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες, η αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών καθώς και η παροχή υψηλής χωρητικότητας του δικτύου προς όφελος κυρίως των πάροχων. Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στην δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Τέτοιες υπηρεσίες είναι η πολύ γρήγορη, ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο, VoIP, multi-player παιχνίδια, Mobile TV, ενισχυμένη μετάδοση video/MP3 streaming, video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες.

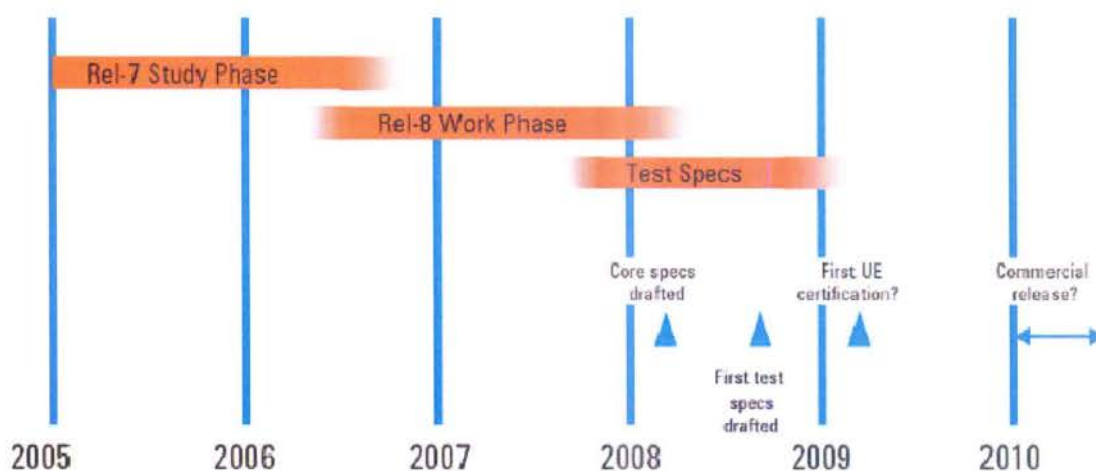
Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη μελετώνται περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+. Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας MIMO και η χρήση 64 QAM κωδικοποίησης. Η MIMO τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραίες λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραίες μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης.

1. LONG TERM EVOLUTION

1.1 GPP Long Term Evolution (LTE)

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+, που οριοθετούν την «γενιά 3,5» προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πληθώρας ευρυζωνικών υπηρεσιών, το 3GPP έφθασε στο GPP LTE. Το 3GPP LTE (Long Term Evolution) είναι η ονομασία που αποδόθηκε στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP) με σκοπό να βελτιώσει το προηγούμενο πρότυπο κινητών τηλεπικοινωνιών UMTS και να διευκολύνει τη μετάβαση σε περισσότερο εξελιγμένες εφαρμογές .

Οι πρώτες διεργασίες για την τυποποίηση του LTE άρχισαν το 2005 στο Τορόντο του Καναδά. Στο συνέδριο αυτό , μελετήθηκαν πάνω από 40 προτάσεις από κατασκευαστές , ερευνητικά ινστιτούτα και τηλεπικοινωνιακούς φορείς σχετικά με την εξέλιξη του UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) . Ακολούθησε το Δεκέμβριο του ίδιου χρόνου η δημοσιοποίηση ενός τεχνολογικού πλαισίου το οποίο προέβλεπε την υλοποίηση των προτάσεων που είχαν διατυπωθεί το Νοέμβριο . Η νέα αυτή τεχνολογία θα αποτελούσε την εξέλιξη της 3GPP τεχνολογίας προς μια νέα , η οποία θα υποστήριζε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης , μικρούς χρόνους αναμονής , μεταγωγή πακέτου καθώς και δυνατότητα πλήρους κινητικότητας . Σήμερα , οι προδιαγραφές για το LTE περιλαμβάνονται στο 3GPP Release 8 , το οποίο αποτελεί και την πλέον πρόσφατη αναθεώρηση , η οποία και καθορίζει την τεχνολογική εξέλιξη των 3GPP κινητών δικτυακών συστημάτων . Το LTE είναι μια από τις αναδυόμενες τεχνολογίες της λεγόμενης 4^{ης} Γενιάς . Βασισμένη στα τεχνολογικά θεμέλια της 3GPP οικογένειας κυψελωτών συστημάτων , η οποία περιλαμβάνει επίσης το GSM , το GPRS , το EDGE , το WCDMA και το HSPA που εξυπηρετούν σχεδόν το 85% του συνόλου των κινητών συνδρομητών, το LTE παρέχει το μονοπάτι για ομαλή μετάβαση σε υψηλότερες ταχύτητες και χαμηλότερους χρόνους αναμονής . [1]



Σχήμα 1 . Χρονολογική εξέλιξη του LTE [1]

1.2 Πλεονεκτήματα του LTE

Το LTE ευρέως αποκαλείται τεχνολογία 4^{ης} γενιάς. Είναι μια IP τεχνολογία που βασίζεται στην OFDM, που είναι πιο αποτελεσματική, εννοώντας ότι μπορεί να μεταφέρει περισσότερα bits per Hertz. Το LTE θα είναι η τεχνολογική επιλογή για τους περισσότερους κινητούς χειριστές. Το πρότυπο LTE έχει καθορισθεί με τόση ευελιξία ώστε οι χειριστές να μπορούν να το αναπτύξουν σε όλες τις ήδη υπάρχουσες συχνότητες καθώς και σε νέο φάσμα. Το LTE θα εμφανίσει σε διαφορετικές ζώνες φάσματος, συμπεριλαμβανομένης τη ζώνη των 2,6 GHz. Μπορεί επίσης να αναπτυχθεί στις ζώνες GSM στα 900 MHz και στα 1800 MHz και στο ψηφιακό φάσμα (700MHz στις Ηνωμένες Πολιτείες), παρέχοντας τη μεγαλύτερη κάλυψη και παγκόσμια περιαγωγή.

Με βελτιώσεις στη χωριτικότητα, την ταχύτητα και στο λανθάνων χρόνο το LTE θα παρέχει όχι μόνο γρήγορες εφαρμογές αλλά θα είναι ικανό να προσφέρει πολλές εφαρμογές, οι οποίες ήταν διαθέσιμες μόνο κατά την ενσύρματη σύνδεση. Ο τοίχος ανάμεσα στην ενσύρματη και ασύρματη σύνδεση θα μειωθεί. Καθώς, μετακινούμαστε από το ένα περιβάλλον στο άλλο θα μπορούμε να :

- Συνεχίσουμε να παρακολουθούμε τις τηλεοπτικές σειρές που έχουμε εγγράψει στο DVR μας, αφού αυτόματα μεταφερόμαστε στο δίκτυο τέταρτης γενιάς καθώς κινούμαστε.
- Ανεβάσουμε στοιχεία στο προφίλ μας ώστε οι φίλοι να μπορούν να δουν για μας
- Μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε ένα αρχείο powerpoint που έχουμε σώσει στον υπολογιστή μας, από το κινητό μας

Το LTE εστιάζει αποκλειστικά στη βελτιστοποίηση υποστήριξης και μετάδοσης packet-switched εφαρμογών. Επίσης, θέτει πολύ υψηλούς και φιλόδοξους στόχους προκειμένου να ξεπεράσει τα όρια των 14.4 Mbps και 5.8 Mbps που επιτυγχάνονται στο HSDPA και HSUPA αντίστοιχα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του προτύπου LTE είναι :

- **Εύρος Ζώνης:** Έχουμε κλιμακωτή χρήση φάσματος εύρους ζώνης της τάξης των 5, 10, 15 και 20 MHz. Επίσης, μπορεί να γίνει και χρήση εύρους ζώνης μικρότερου των 5 MHz (1.5 MHz και 2.5 MHz) για επιπλέον ευελιξία.
- **Ρυθμοί Μετάδοσης:** Πετυχαίνονται μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των 100 Mbps στην κάτω ζεύξη και 50 Mbps στην πάνω ζεύξη για εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz.
- **Mode Λειτουργίας:** Το LTE λειτουργεί τόσο σε FDD όσο και TDD mode.
- **Throughput – Διεκπεραιωτικότητα :** Πετυχαίνεται 3-4 φορές μεγαλύτερο throughput χρήστη ανά MHz στην κάτω ζεύξη και αντίστοιχα 2-3 φορές μεγαλύτερο για την πάνω ζεύξη συγκριτικά με τις εκδόσεις 6 και 7 του 3GPP προτύπου (HSDPA και HSUPA).
- **Αποδοτικότητα φάσματος:** Η αποδοτικότητα φάσματος είναι μεγαλύτερη κατά 2-3 φορές σε σχέση με την έκδοση 6 του 3GPP προτύπου (HSDPA).
- **Καθυστέρηση:** Υπάρχει σημαντική μείωση της round-trip καθυστέρησης από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5ms-10ms.

- **Κινητικότητα:** Υπάρχει δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χλμ/ώρα) καθώς και δυνατότητα υποστήριξης χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- **Διαλειτουργικότητα:** Έχουμε τη δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα επικοινωνιών καθώς και με τα υπάρχοντα UTRAN/GERAN συστήματα κινητών επικοινωνιών. Επίσης, έχουμε υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά.
- **Ποιότητα Υπηρεσίας:** Το LTE υποστηρίζει από άκρο σε άκρο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), για την υποστήριξη απαιτητικών σε QoS υπηρεσιών όπως είναι οι VoIP εφαρμογές.

1.3 Βασικές Τεχνικές Μετάδοσης Πληροφορίας στο LTE

Το LTE βασίζεται σε βέλτιστες τεχνολογίες μετάδοσης πληροφορίας στο ασύρματο τμήμα του δικτύου πρόσβασης. Μία από τις κύριες τεχνολογίες αυτές που υιοθετεί το LTE είναι το OFDM. Κύριος λόγος υιοθέτησης του OFDM ως μοντέλου διαμόρφωσης για το LTE είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών.

Ειδικότερα, για την περίπτωση της μετάδοσης δεδομένων στην κάτω ζεύξη, η OFDM τεχνολογία διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο, και είναι αυτή που προτείνεται από το 3GPP ως η πλέον κατάλληλη τεχνική. Η OFDM αποτελεί μία εξ' ολοκλήρου ψηφιακή προσέγγιση πολυπλεξίας πληροφορίας, η οποία κάνει χρήση του Fast Fourier Transform (FFT) για να διαχωρίσει το σήμα σε μικρού εύρου ζώνης.

Παράλληλα, για την άνω ζεύξη, στο LTE γίνεται χρήση της τεχνολογίας Single Carrier OFDM (SC-OFDM). Το LTE διαφοροποιείται από το πρότυπο WiMAX, το οποίο χρησιμοποιεί την OFDMA τεχνική για την άνω ζεύξη. Η OFDMA τεχνική, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα για τη μπαταρία των κινητών συσκευών των χρηστών, καθώς απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Για το λόγο αυτό, στο LTE υιοθετείται η SC-OFDM τεχνική. Η SC-OFDM τεχνική παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή απόδοση, αφού έχει και πολύ υψηλό λόγο Peak-to-Average Ratio (PAR) σήματος. Ο λόγος PAR είναι μια πολύ κρίσιμη παράμετρος για την άνω ζεύξη, και σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, η SC-OFDM τεχνική επιτρέπει υψηλή απόδοση και μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης της κεραίας του σταθμού βάσης. Η SC-OFDM τεχνική εξασφαλίζει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στην άνω ζεύξη, κυρίως όταν ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης.

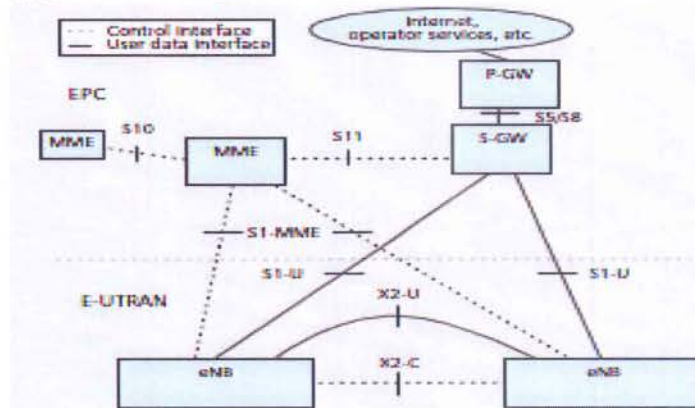
Τέλος, μια ακόμη τεχνολογία που υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αυξημένη κάλυψη δικτύου και χωρητικότητα στο LTE είναι η MIMO τεχνική. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία MIMO συνίσταται στην ύπαρξη πολλαπλών κεραιών (κεραιοσυστημάτων) τόσο στον πομπό-σταθμό βάσης όσο και στο δέκτη-συσκευή του χρήστη. Για την περίπτωση του LTE, σε πρώτη φάση η ύπαρξη MIMO κεραιοσυστημάτων 2x2 (δύο κεραιές στο σταθμό βάσης και δύο κεραιές στη συσκευή του χρήστη) θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη υψηλής απόδοσης. Σε μεταγενέστερη φάση ανάπτυξης είναι δυνατόν να γίνει χρήση συστημάτων MIMO 4x4. Στο MIMO διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Το Spatial Multiplexing (στο οποίο η πληροφορία διαχωρίζεται σε stream τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές κεραιές) και το Transmit Diversity.

1.4 Υπηρεσίες LTE

Η απόδοση του LTE έχει αξιολογηθεί επανειλημμένως στα λεγόμενα checkpoints, των οποίων τα αποτελέσματα έχουν συζητηθεί στις συνεδρίες που πραγματοποιήθηκαν το Μάιο και τον Ιούνιο του 2007 στη Νότια Κορέα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το LTE εκπληρώνει και σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνά τους στόχους που έχουν τεθεί για τους ρυθμούς απόδοσης, τη φασματική απόδοση και την απόδοση των υπηρεσιών VoIP και MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service). Η τεχνολογία LTE επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες. Μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας MBMS σε enhanced MBMS επιτρέπει και την παροχή υπηρεσιών ευρυεκπομπής ψηφιακού περιεχομένου, ταυτόχρονα με τις υπηρεσίες δεδομένων, πιο αποδοτικά και με περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά στη χωρητικότητα και στον αριθμό των προσφερόμενων καναλιών ευρυεκπομπής. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία LTE ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερο latency) για τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA+, και μπορεί επιπρόσθετα να υποστηρίξει μέσω της τεχνολογίας enhanced MBMS:

- Μετάδοση υψηλής ποιότητας περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο –Video and Audio stream services: τηλεόραση, ραδιόφωνο. Το μεταδιδόμενο περιεχόμενο μπορεί να μεταφέρεται σε πραγματικό χρόνο ή να είναι αποθηκευμένο και να αναμεταδίδεται
- Υπηρεσίες παρεχόμενες/διαφοροποιούμενες ανά εντοπισμένη περιοχή εξυπηρέτησης (Localized services) – δυνατότητα συνδυασμού εθνικών και τοπικών προγραμμάτων τηλεόρασης ή άλλου περιεχομένου ευρυεκπομπής ανά γεωγραφική περιοχή, ευρυεκπομπή τουριστικού περιεχομένου (videoclips, διαφημίσεις) με πληροφορίες για φεστιβάλ, εστιατόρια, ξενοδοχεία, μουσεία κοκ.

1.5 LTE Αρχιτεκτονική



Σχήμα 2. LTE αρχιτεκτονική [5]

Τα δύο βασικά θέματα εργασίας της 3GPP Release 8, είναι η LTE (Long Term Evolution) και η αρχιτεκτονική SAE (Service Architecture Evolution). Όλο το σύστημα που αποτελείται από το LTE και την αρχιτεκτονική SAE ονομάζεται Evolved Packet System (EPS). Οι διεργασίες για την προτυποποίηση, οι οποίες άρχισαν το 2005 οδήγησαν στον προσδιορισμό του EPC (Evolved Packet Core) και ενός νέου δικτύου πρόσβασης που αναφέρεται ως E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). Η ολοκλήρωση των προδιαγραφών αποτέλεσε ορόσημο για την ανάπτυξη των κινητών επικοινωνιών.

Το LTE είναι σε θέση να εξασφαλίσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για λογαριασμό της 3GPP έναντι των άλλων κυψελωτών τεχνολογιών . Το δίκτυο πρόσβασης του LTE που καλείται E-UTRAN, ήρθε για να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση σε πολλά κρίσιμα μεγέθη του δικτύου, όπως είναι η ρυθμαπόδοση, η χωρητικότητα κυψέλης και τομέα και ο λανθάνων χρόνος (latency time) του συστήματος, βελτιώνοντας σημαντικά τις ικανότητες του χρήστη και προσφέροντάς του συγχρόνως δυνατότητα πλήρους κινητικότητας.

Τα υποσυστήματα (subcomponents) του EPC είναι :

- **MME (Mobility Management Entity):** Το MME είναι ο βασικός κόμβος ελέγχου για πρόσβαση στο δίκτυο LTE. Είναι αρμόδιο για την παρακολούθηση της κατάστασης του UE (τεματικά χρηστών) tracking χρηστών και διαδικασία paging συμπεριλαμβανομένων των αναμεταδόσεων. Περιλαμβάνεται επίσης η διαδικασία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ραδιοφορέων και είναι επίσης αρμόδιο για την επιλογή του SGW ανά UE από την αρχική σύνδεση και στην διαδικασία του Inter-LTE handover που περιλαμβάνει τον επανεντοπισμό κόμβων κεντρικών δικτύων (CN). Είναι αρμόδιο για την επικύρωση του χρήστη (αλληλεπίδραση με το HSS). Η σηματοδότηση στρωμάτων μη-πρόσβασης (NAS) τερματίζει στο MME και είναι επίσης αρμόδιο για την παραγωγή και κατανομή προσωρινών ταυτοτήτων στα UEs. Ελέγχει την έγκριση του UE όσον αφορά τη σύνδεση του στο κινητό δίκτυο του φορέα παροχής υπηρεσιών (PLMN) και επιβάλλει τους περιορισμούς περιαγωγής στα UE. Το MME είναι το σημείο τερματισμού του δικτύου για την προστασία cipherring / integrity για σηματοδότηση NAS και απευθύνετε στη βασική διαχείριση ασφάλειας.

- **S-GW (Serving Gateway):** Το S-GW δρομολογεί και προωθεί πακέτα χρηστών, επίσης ενεργώντας ως mobility anchor για τα τερματικά κατά τη inter-E-UTRAN handovers όπως και για κινητικότητα μεταξύ LTE και άλλων 3GPP τεχνολογιών/δικτύων. Για τερματικά που είναι συνδεδεμένα αλλά IDLE, το S-GW ολοκληρώνει την διαδικασία συσσώρευσης στοιχείων για το UE (π.χ. πληροφορίες DL, UE contexts, IP bearer service, network internal routing information νόμιμη συνακρόαση) και ενεργοποιεί τη διαδικασία paging.
- **P-GW (PDN gateway):** Το PDN GW παρέχει συνδετικότητα στο UE προς στα εξωτερικά δίκτυα δηλαδή είναι το σημείο αναφοράς όσον αφορά την κίνηση προς/από το UE. Ένα UE μπορεί να έχει την ταυτόχρονη συνδετικότητα με περισσότερα από ένα PDN GW για την πρόσβαση πολλαπλάσιων PDNs. Το PDN GW εκτελεί policy enforcement, το φιλτράρισμα πακέτων για κάθε χρήστη, την υποστήριξη χρέωσης, νόμιμη συνακρόαση, και επιλογή πακέτων. Ένας άλλος βασικός ρόλος του PDN GW είναι να ενεργήσει ως anchor για την κινητικότητα μεταξύ 3GPP και μη- 3GPP τεχνολογίες όπως WiMAX και 3GPP2 .

LTE protocol structure

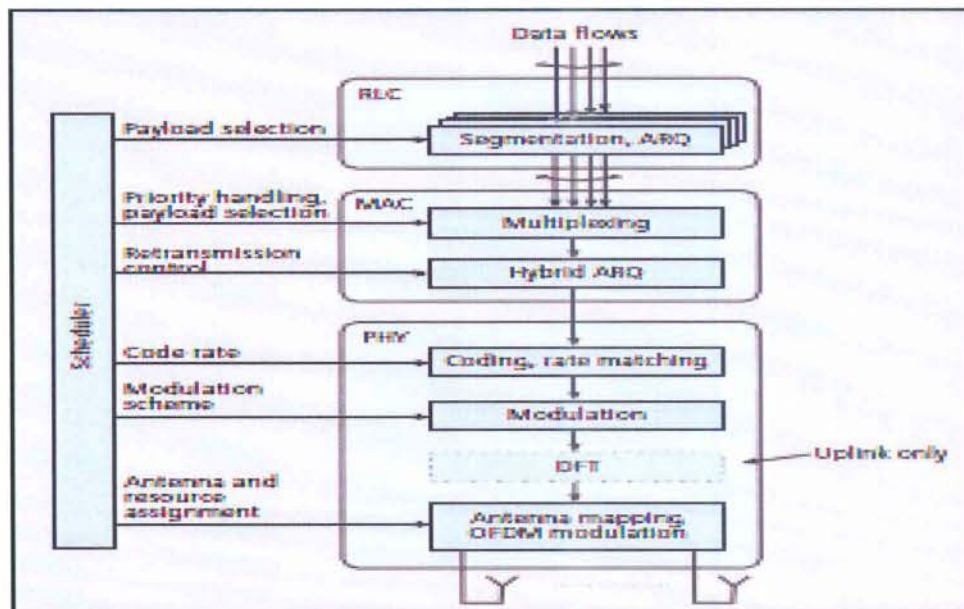


Figure 1. LTE protocol structure (simplified).

Σχήμα 3 . Δομή πρωτοκόλλων LTE [5]

Η δομή πρωτοκόλλων για το LTE φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το Radio Link Control (RLC) και το Medium Access Control (MAC) στρώμα είναι υπεύθυνα για την επαναμετάδοση και την πολυπλεξία της ροής δεδομένων. Στο φυσικό επίπεδο, τα δεδομένα που είναι προς μετάδοση είναι (turbo-coded) στροβιλοκωδικευμένα και διαμορφωμένα χρησιμοποιώντας QPSK, 16-QAM ή 64-QAM. Στην κάτω ζεύξη υπάρχουν διαφορετικοί τύποι επεξεργασίας κεραιών πριν από την OFDM διαμόρφωση. Στην πάνω ζεύξη, για να διατηρούνται οι ιδιότητες της φέρουσας, ένας DFT precoder χρησιμοποιείται πριν τον OFDM διαμορφωτή.

Το LTE υποστηρίζει FDD καθώς και TDD, το οποίο συχνά αναφέρεται ως TD-LTE. Αν και ο χρόνος και για τις δυο τεχνικές είναι ίδιος, υπάρχουν αρκετές διαφορές, όπως θα δούμε παρακάτω.

Για να αντιμετωπίσει λάθη κατά την επανεκπομπή το LTE περιλαμβάνει ένα σχέδιο αναμετάδοσης δύο επιπέδων, ένα γρήγορο υβριδικό – ARQ πρωτόκολλο με χαμηλό (επίβαρο ανάδρασης) - overhead feedback και η υποστήριξη του soft combining με αυξητικό πλεονασμό συμπληρώνεται με ένα υψηλής αξιοπιστίας πρωτόκολλο ARQ.

Αυτό φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, όπου το υβριδικό ARQ βρίσκεται στο MAC στρώμα και το ARQ στο RLC στρώμα. Η χρήση αυτού του μηχανισμού δυο επιπέδων πετυχαίνει χαμηλό latency και χαμηλό overhead χωρίς να μειώνεται το επίπεδο αξιοπιστίας.

User-plane and control-plane protocol architecture

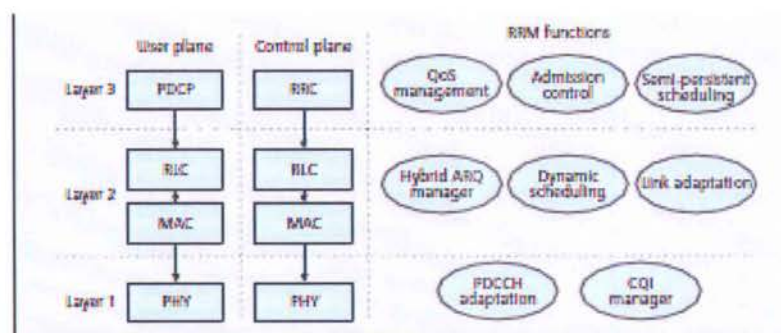


Figure 1. Overview of the data session user-plane and control-plane protocol architecture, and the mapping of the primary RRM functionalities to the different layers.

Σχήμα 4 . Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής πρωτοκόλλου του σταθμού βάσης σε επίπεδο-χρήστη και επίπεδο ελέγχου [6]

Η αρχιτεκτονική LTE δικτύου ραδιοπρόσβασης αποτελείται από τους σταθμούς βάσης που συνδέονται με μια πύλη πρόσβασης μέσω της S1 διεπαφής. Μια X2 γρήγορη διεπαφή κορμού παρέχει άμεση επικοινωνία ανάμεσα στους σταθμούς βάσης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η στοίβα πρωτοκόλλων για το επίπεδο χρήστη και για το επίπεδο ελέγχου στο σταθμό βάσης, όπως και η αντίστοιχη χαρτογράφηση του RRM αλγορίθμου.

Το user-plane πρωτόκολλο στο σταθμό βάσης αποτελείται από το πρωτόκολλο Packet Data Convergence (PDCP) στο στρώμα 3, από το πρωτόκολλο ελέγχου ραδιοζεύξης

(RLC) και το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μέσου στο στρώμα 2. Το RLC χειρίζεται περιλαμβάνει έναν εξωτερικό μηχανισμό ενώ το MAC περιέχει ασύγχρονο υβριδικό ARQ. Το RLC και το MAC βρίσκονται στο ίδιο στρώμα στο σταθμό βάσης. Το PDCP χειρίζεται κάθε ροή δεδομένων και αποκαλείται κομιστής. Αντίθετα, η στοιβία πρωτοκόλλου του control plane ολοκληρώνεται στο σταθμό βάσης με το Radio Resource Control (RRC)-Ελεγχος ραδιοπόρου, στο στρώμα 3, όπου αποτελεί και την κύρια λειτουργικότητα.

1.5.1 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης - OFDMA

Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιείται για το φυσικό στρώμα του LTE είναι η Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) με ένα κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix-CP) για την κάτω ζεύξη και η Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) με επίσης ένα CP για την άνω ζεύξη. Η τεχνική OFDMA είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιπτώσεις διαύλων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Ένα κανάλι που χαρακτηρίζεται από διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα μετασχηματίζεται σε ένα κανάλι με επίπεδες διαλείψεις χάρη στη χρήση του CP. Ακόμα, αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι πιο κοινοί τύποι RF παραμορφώσεων χωρίς να απαιτούνται σύνθετες τεχνικές εξίσωσης.

Το LTE χρησιμοποιεί την τεχνική πρόσβασης OFDMA για την κάτω ζεύξη, δηλαδή για τη σύνδεση που υλοποιείται από το σταθμό βάσης προς το τερματικό. Η OFDMA ικανοποιεί την απαίτηση του LTE για δυναμική κατανομή φάσματος και κάνει χρήση οικονομικά αποδοτικών λύσεων για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης.

Η OFDMA χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό υποφερουσών (subcarriers). Ο αριθμός των υποφερουσών εξαρτάται από το διατιθέμενο εύρος ζώνης (από 1.4MHz μέχρι 20MHz), αλλά δεν καταλαμβάνεται το 100% του εύρους ζώνης από αυτές, δεδομένου ότι τα CP καταλαμβάνουν ένα μέρος αυτού. Η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να απεικονιστεί μέσω ενός πλέγματος χρόνου-συχνότητας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

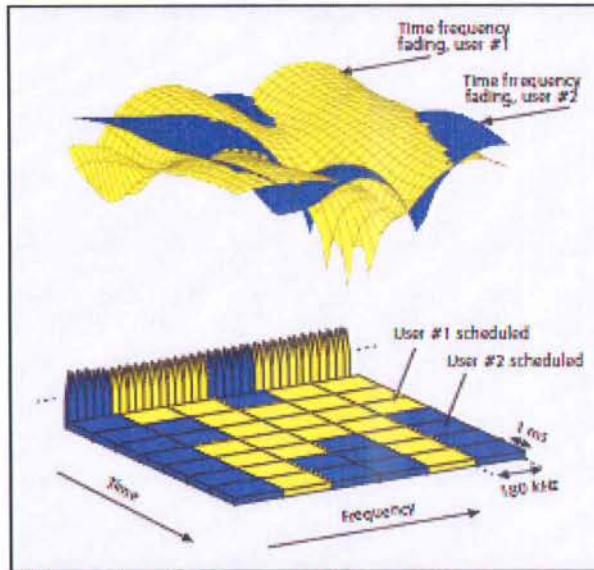


Figure 3. Channel quality variations in frequency and time.

Σχήμα 5 . Μεταβολές στην ποιότητα καναλιού στη συχνότητα και στο χρόνο

Στο πεδίο συχνότητας, το διάστημα μεταξύ των υποφερουσών (subcarriers) είναι 15kHz. Τα OFDMA σύμβολα οργανώνονται σε φασματικές περιοχές (resource blocks). Οι φασματικές αυτές περιοχές (resource blocks) έχουν ένα συνολικό μέγεθος 180kHz στο πεδίο της συχνότητας και 0.5ms στο πεδίο του χρόνου. Κάθε χρονικό διάστημα μετάδοσης (Transmission Time interval-TTI) του 1ms αποτελείται από δύο σχισμές (Tslot). Σε κάθε χρήστη κατανέμεται ένα σύνολο φασματικών περιοχών (resource blocks) από το υποτιθέμενο πλέγμα χρόνου-συχνότητας. Όσες περισσότερες φασματικές περιοχές έχει ένας χρήστης στη διάθεσή του και όσο υψηλότερη είναι η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται, τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης. Πόσες φασματικές περιοχές και ποιες συγκεκριμένα διατίθενται σε κάθε χρήστη σε μια δεδομένη χρονική στιγμή προκύπτει μέσω προηγμένων προγραμματιστικών μηχανισμών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τον χρόνο και τη συχνότητα. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι παρόμοιοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία HSPA, και καθιστούν εφικτή τη βέλτιστη απόδοση για διαφορετικές υπηρεσίες και σε διαφορετικά περιβάλλοντα μετάδοσης.

Στην άνω ζεύξη, χρησιμοποιείται η τεχνική Single-Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA), η οποία αποτελεί και μια παραλλαγή της OFDMA. Η SC-FDMA έχει πολλές ομοιότητες με την OFDMA, από τις οποίες ξεχωρίζει η διατήρηση της ορθογωνικότητας συχνότητας μεταξύ των χρηστών της ίδιας κυψέλης με την οποία περιορίζεται το επίπεδο παρεμβολών στο σταθμό βάσης.

Η διαφορά είναι στο ότι η SC-FDMA έχει χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος, γεγονός που αυξάνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επιπλέον, η αυξημένη κατανάλωση ισχύος προϋποθέτει την ύπαρξη ακριβών ενισχυτών με υψηλές απαιτήσεις για γραμμικότητα, η οποία αυξάνει το κόστος του τερματικού. Η SC-FDMA επιλύει αυτό το πρόβλημα ομαδοποιώντας κατά τέτοιο τρόπο τις φασματικές περιοχές (resource blocks) ώστε να περιορίζεται η ανάγκη για γραμμικότητα και συνεπώς και την κατανάλωση ισχύος στον αντίστοιχο ενισχυτή. Η χαμηλή κατανάλωση ισχύος βελτιώνει επίσης την κάλυψη και την απόδοση στα σύνορα των κυψελών.

1.5.2 Ευελιξία Φάσματος

Το LTE μπορεί να υλοποιηθεί και σε ζώνες κατά ζεύγη (FDD) και σε άζευκτες (TDD). Οι πρώτες υλοποιήσεις που προωθούνται υποστηρίζουν και τις δύο τεχνικές. Γενικά, το FDD είναι αποδοτικότερο και βρίσκει εφαρμογή σε περισσότερες συσκευές και υποδομές, ενώ το TDD θεωρείται ως ένα καλό συμπλήρωμα. Επειδή το hardware του LTE είναι το ίδιο για το FDD και το TDD (εκτός από τα φίλτρα), οι φορείς εκμετάλλευσης του TDD θα είναι σε θέση για πρώτη φορά να απολαύσουν τις οικονομίες κλίμακας που συνοδεύουν τα ευρέως αποδεχτά FDD προϊόντα.

Τα περισσότερα κυψελωτά συστήματα χρησιμοποιούν στις μέρες μας την τεχνική του FDD, και περισσότερο από το 90 % των συχνοτήτων παγκοσμίως ταξινομούνται κατά ζεύγη στις αντίστοιχες ζώνες. Στο FDD, η κίνηση στην άνω και την κάτω ζεύξη διαβιβάζονται ταυτόχρονα σε χωριστές ζώνες συχνότητας. Στο TDD, η μετάδοση στην άνω και την κάτω ζεύξη πραγματοποιούνται ασυνεχώς μέσα στην ίδια ζώνη συχνότητας. Η μέση ισχύς που διατίθεται σε κάθε ζεύξη είναι η μισή της μέγιστης ισχύος. Δεδομένου ότι η μέγιστη ισχύς περιορίζεται από διάφορες ρυθμιστικές απαιτήσεις, το αποτέλεσμα είναι ότι για την ίδια μέγιστη ισχύ, το TDD θα προσφέρει λιγότερη κάλυψη από το FDD. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει την υλοποίηση των δύο τεχνικών.

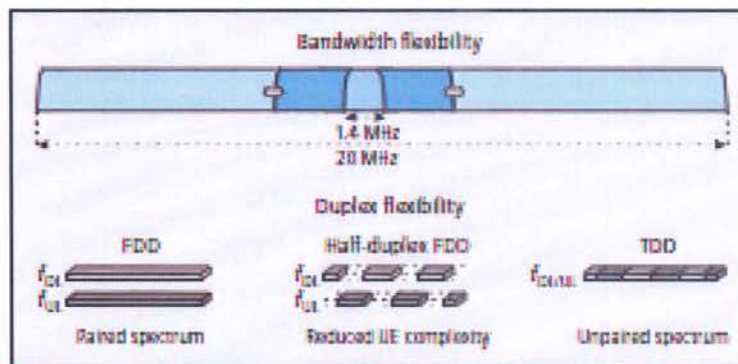


Figure 4. LTE spectrum (bandwidth and duplex) flexibility. Half-duplex FDD is used from a terminal perspective.

Σχήμα 6 . LTE ευελιξία φάσματος [5]

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας LTE είναι η δυνατότητα που προσφέρει για υλοποίηση σε scalable-κλιμακοθετίσιμο εύρος ζώνης που κυμαίνεται από 1.25 MHz ως 20 MHz. Επιπλέον, μπορεί να λειτουργήσει σε όλες τις 3GPP ζώνες συχνότητας και να κάνει χρήση των συχνοτήτων ανά ζεύγη αλλά και άζευκτες.

Η πραγματική απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί με το LTE εξαρτάται από το εύρος ζώνης που διατίθενται για τις υπηρεσίες, και όχι από την επιλογή του ίδιου του φάσματος. Αυτό δίνει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου μεγάλη ευελιξία στις εμπορικές και τεχνολογικές στρατηγικές τους. Όταν υλοποιείται στις υψηλότερες συχνότητες, το LTE αυξάνει σημαντικά τη χωρητικότητα των δικτύων, ενώ στις χαμηλότερες συχνότητες παρέχει οικονομικά συμφέρουσα κάλυψη.

Τα LTE δίκτυα, υπό αυτές τις συνθήκες θα μπορούσαν να επεκταθούν σε οποιοσδήποτε ζώνες εναρμονίζονται με τα 3GPP πρότυπα. Αυτές περιλαμβάνουν τις βασικές IMT-2000 ζώνες συχνότητας (1.9-2 GHz) και τις ζώνες επέκτασης (2.5 GHz), καθώς επίσης και τις συχνότητες 850-900 MHz, 1800 MHz και τέλος το φάσμα AWS (1.7 GHz -2.1 GHz).

Υπάρχουν, ωστόσο, και συχνότητες κάτω από τα 5 GHz, οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί από την ITU ως ενδεχομένως κατάλληλες για τις IMT υπηρεσίες όπως είναι το LTE. Ενώ η εκμετάλλευση των συχνοτήτων πάνω από τα 5 GHz για την παροχή εξαιρετικά υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης μέσω των LTE δικτύων είναι εφικτή, οι προκλήσεις που τίθενται αφορούν στην παροχή ευρείας και εθνικής κάλυψης με ρεαλιστικό κόστος.

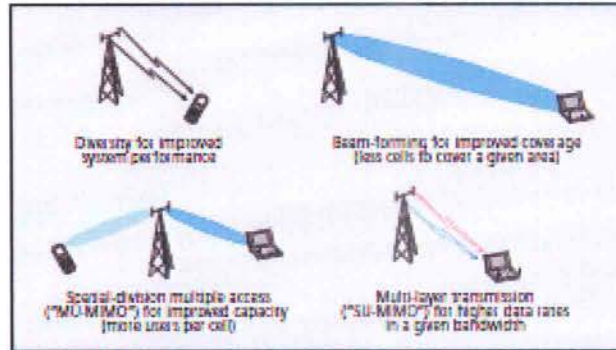
Η ευελιξία του LTE να λειτουργεί σε ένα scalable εύρος ζώνης επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου να επεκτείνουν το LTE στις υπάρχουσες κατανομές φάσματός τους. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω του αναδασμού και ανακατανομής του φάσματος, το οποίο αποτελεί μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων κίνησης.

1.5.3 Προηγμένες τεχνικές κεραιών

Η τεχνική Multiple Input-Multiple Output (MIMO) αυξάνει τη μέγιστη ρυθμαπόδοση με την εκπομπή και τη λήψη πολλαπλών ρευμάτων πληροφορίας κάνοντας χρήση του ίδιου φάσματος. Η MIMO εκμεταλλεύεται τα αποτελέσματα της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται ευρέως στα ασύρματα.

Η MIMO τεχνική χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές εκπομπής και λήψης προκειμένου να βελτιώσει σημαντικά τις εναέριες διεπαφές. Συγκεκριμένα αυτό που κάνει είναι να διαβιβάζει το ίδιο ρεύμα πληροφοριών μέσω πολλών κεραιών ταυτόχρονα, το οποίο συνιστά σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές στις οποίες χρησιμοποιείται μια και μόνο κεραία μετάδοσης για την κάλυψη της κυψέλης. Εκμεταλλεύεται επίσης τη χωρική πολυπλεξία, κατά την οποία διαφορετικά ρεύματα πληροφοριών διαβιβάζονται ταυτόχρονα μέσω διαφορετικών κεραιών, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το ρυθμό μετάδοσης για τον τελικό χρήστη και τη χωρητικότητα της κυψέλης. Επιπλέον, όταν ο διάυλος μετάδοσης είναι γνωστός στον πομπό, η MIMO μπορεί επίσης να εφαρμόσει την τεχνική της διαμόρφωσης λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beam-forming) προκειμένου να αυξήσει ακόμα περισσότερο το ρυθμό μετάδοσης και τη φασματική απόδοση του συστήματος.

Δεν υπάρχει μια λύση κεραιών που να καλύπτει κάθε ενδεχόμενο. Συνεπώς, κάθε οικογένεια κεραιών είναι διαθέσιμη για να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές. Για παράδειγμα, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης μπορούν να επιτευχθούν με τις πολλαπλές κεραιές όπως είναι οι 2x2 και 4x4, ενώ η εκτεταμένη κάλυψη μπορεί να επιτευχθεί με διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beam-forming).



■ Figure 5. Multiple-antenna techniques in LTE.

Σχήμα 7. Τεχνικές πολλαπλών κεραιών στο LTE [5]

1.5.4 Έλεγχος Ισχύος και ενδοκυψελικός συντονισμός παρεμβολής

Το LTE παρέχει ενδοκυψελική ορθογωνικότητα ανάμεσα στους χρήστες και στην άνω και στην κάτω ζεύξη. Έτσι τουλάχιστον σε ιδανική περίπτωση, δε θα υπάρχει παρεμβολή ανάμεσα μεταδόσεις στην ίδια κυψέλη αλλά μόνο μεταξύ διαφορετικών κυψελών. Η απόδοση του LTE σε σχέση με την αποτελεσματικότητα του φάσματος και τους διαθέσιμους ρυθμούς δεδομένων, είναι περισσότερο περιορισμένη από παρεμβολές από άλλες κυψέλες συγκρινόμενο με το WCDMA/HSPA, ειδικά για χρήστες στην άκρη της κυψέλης. Συνεπώς, τα μέσα για να μειώσουν ή να ελέγξουν την ενδοκυψελική παρεμβολή, ενδεχομένως, μπορούν να παρέχουν οφέλη για την απόδοση του LTE. Ο έλεγχος ισχύος ανερχόμενης ζεύξης είναι ένας από τους μηχανισμούς στο LTE που χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό. Χρησιμοποιείται όχι μόνο για να ελέγξει τα λαμβανόμενα σήματα αλλά συνήθως για να ελέγξει το μέγεθος της παρεμβολής σε γειτονικές κυψέλες. Ο έλεγχος ισχύος ανερχόμενης ζεύξης στο LTE, υποστηρίζει fractional path-loss compensation, εννοώντας ότι χρήστες κοντά στα όρια της κυψέλης χρησιμοποιούν λιγότερη ισχύ μετάδοσης και έτσι έχουμε παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες.

Ο συντονισμός ενδοκυψελικής παρεμβολής (ICIC) είναι ουσιαστικά μια στρατηγική σχεδίου που χρησιμοποιείται για να μειώσουμε την ενδοκυψελική παρεμβολή. Μια απλή μέθοδος για να βελτιώσουμε τους ρυθμούς δεδομένων της κυψέλης είναι να περιορίσουμε το εύρος ζώνης στατικά. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνουμε το λόγο σήματος προς παρεμβολή. Ωστόσο, οι απώλειες εξαιτίας της μειωμένης διαθεσιμότητας εύρους ζώνης είναι τυπικά μεγαλύτερες από το αντίστοιχο κέρδος λόγω του υψηλού λόγου σήματος προς παρεμβολή, οδηγώντας σε μείωση της αποτελεσματικότητας. Συνεπώς, το LTE πρότυπο, παρέχει τα εργαλεία για δυναμικό συντονισμό ενδοκυψελικής παρεμβολής σε γειτονικές κυψέλες. Το LTE ακόμα επιτρέπει, το συνολικό διαθέσιμο φάσμα να χρησιμοποιείται σε όλες τις κυψέλες. Ο συντονισμός παρεμβολής μπορεί να εφαρμοστεί και στην πάνω και στην κάτω ζεύξη αν και υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφορές. Στην πάνω ζεύξη, η παρεμβολή δημιουργείται από αρκετά διαχωρισμένα γεωγραφικά τερματικά και έτσι η συνολική παρεμβολή διαφέρει. Από την άλλη πλευρά, στην κάτω ζεύξη, η παρεμβολή δημιουργείται από τους στάσιμους σταθμούς βάσης. Έτσι, η παρεμβολή εξαρτάται κυρίως τη σχεδιαστική απόφαση στην περίπτωση της πάνω ζεύξης συγκρινόμενη με

την κάτω ζεύξη και μπορούμε να ισχυριστούμε ότι ο ICIC είναι κατάλληλος περισσότερο στην πάνω ζεύξη. Για να αυξήσει τον ενδοκυψελικό συντονισμό στην πάνω ζεύξη, το LTE καθορίζει δυο δείκτες που ανταλλάσσονται μεταξύ των σταθμών βάσεων : τον δείκτη υψηλής παρεμβολής (high-interference) και τον δείκτη υπερφόρτωσης (overload indicator). Ο δείκτης υψηλής παρεμβολής παρέχει πληροφορίες στις γειτονικές κυψέλες σχετικά με το μέρος του εύρους ζώνης της κυψέλης, στο οποίο θα στηριχτεί η κυψέλη προγραμματίζει τους χρήστες που θα βρίσκονται στα όρια αυτής. Ο δείκτης υπερφόρτωσης παρέχει πληροφορίες για το επίπεδο παρεμβολής στο uplink.

1.5.5 Δυναμική αρχιτεκτονική δικτύου βασισμένη στο πρωτόκολλο IP

Ένα χαρακτηριστικό των αποκαλούμενων 4G δικτύων όπως είναι το LTE είναι ότι βασίζονται πλήρως στο TCP/IP πρωτόκολλο, το βασικό πρωτόκολλο του Διαδικτύου, με το οποίο υλοποιούνται υψηλότερου επιπέδου υπηρεσίες όπως υπηρεσίες φωνής, βίντεο και μηνύματα.

Αυτό που προσφέρει το LTE σε σχέση με τις τεχνολογίες προηγούμενων γενεών είναι η μετάβαση σε ένα επίπεδο IP κεντρικό δίκτυο με μια απλουστευμένη αρχιτεκτονική και ανοικτές διεπαφές. Μάλιστα, ένα σημαντικό τμήμα της εργασίας τυποποίησης αφιερώθηκε από την 3GPP στη μετατροπή της υπάρχουσας δικτυακής αρχιτεκτονικής σε ένα σύστημα που θα υλοποιείται αποκλειστικά με το πρωτόκολλο IP. Στην πρωτοβουλία αυτή αποδόθηκε από την ίδια την 3GPP η ονομασία Systems Architecture Evolution (SAE), η οποία αργότερα εξελίχθηκε σε Evolved Packet Core - (EPC). Η αρχιτεκτονική SAE/EPC επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών με τρόπο δυναμικό και παράλληλα εξασφαλίζει απλουστευμένη αλληλεπίδραση με σταθερά και κινητά δίκτυα , τα οποία δεν υπακούν στην τυποποίηση της 3GPP. Το EPC είναι βασισμένο στα πρωτόκολλα TCP/IP, όπως η μεγάλη πλειοψηφία των σημερινών σταθερών δικτύων παρέχοντας έτσι υπηρεσίες φωνής, βίντεο, πολυμέσων και μηνυμάτων και κάνει χρήση της μεταγωγής πακέτων. Η χρησιμοποίηση της IP δικτύωσης ως βάσης για την παροχή υπηρεσιών εξασφαλίζει μέγιστη ευελιξία και αποσυνδέει τα επίπεδα χρήστη και ελέγχου, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά το δίκτυο και βελτιώνει την κλιμακοθετισιμότητα - scalability. Με τη χρησιμοποίηση του παραπάνω πρωτοκόλλου επιτυγχάνονται τα ακόλουθα :

- Βέλτιστη δρομολόγηση της κίνησης
- Μεταφορά βασισμένη στο IP
- Κινητικότητα
- Απλοποίηση του δικτύου

1.5.6 Αρχιτεκτονική Δικτύου SAE

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις απόδοσης που έχουν τεθεί κατά τη διαδικασία τυποποίησης του LTE, κρίνεται επιτακτική η μείωση του αριθμού των κόμβων του δικτύου που μετέχουν στην επεξεργασία δεδομένων και τη μεταφορά. Μια περισσότερο επίπεδη δικτυακή αρχιτεκτονική συντελεί στη βελτίωση της λανθάνουσας καθυστέρησης (data latency), η οποία δεν είναι τίποτε άλλο από την καθυστέρηση μετάδοσης μεταξύ του πομπού που αποστέλλει τα δεδομένα και του δέκτη που τα λαμβάνει.

Δύο παράγοντες επηρεάζουν την ταχύτητα: ο ρυθμός μετάδοσης και ο λανθάνων χρόνος. Η σχέση μεταξύ τους εξαρτάται από τι ο χρήστης επιθυμεί να κάνει. Όταν για παράδειγμα κατεβάζουμε ένα μεγάλο αρχείο, όπως MP3 ή ταινία, ο χρόνος εξαρτάται από την ταχύτητα που κατεβάζουμε. (χρόνος = μέγεθος του αρχείου/ρυθμό μετάδοσης).

Υπάρχουν δύο τύποι στόχων λανθάνουσας κατάστασης που καθορίζονται για το LTE/SAE:

- C-plane latency: ο χρόνος που απαιτείται για την εγκατάσταση μιας σύνδεσης με ένα χρήστη, για να εγκατασταθεί η επικοινωνία.
- U-plane latency: ο χρόνος που απαιτείται για κάθε πακέτο δεδομένων να ταξιδέψει από την πηγή στον προορισμό.

Επιπλέον, χάρη στη νέα αρχιτεκτονική δικτύου υποστηρίζονται αποδοτικότερα υπηρεσίες και εφαρμογές πραγματικού χρόνου, αλληλεπίδρασης καθώς επίσης και αυτές που παρουσιάζουν ευαισθησία ως προς την καθυστέρηση.

Ένα δίκτυο LTE/SAE έχει δύο τύπους δικτυακών στοιχείων που διαδραματίζουν πρωτεύοντα ρόλο στα επίπεδα χρήστη και ελέγχου .

- Το πρώτο είναι ο νέος εξελιγμένος σταθμός βάσης , που καλείται πλέον Evolved NodeB (eNB) σύμφωνα με το 3GPP πρότυπο . Ο eNB παρέχει την εναέρια LTE διεπαφή .
- Το δεύτερο είναι η νέα Access GateWay (AGW) . Η AGW παρέχει τη λήξη του LTE κομιστή (φορέα) . Ενεργεί επίσης ως σημείο αγκύρωσης κινητικότητας (mobility anchor point) σε επίπεδο χρήστη .

Το Evolved Radio Access Network (E-RAN) αποτελείται από τα eNBs που διασυνδέονται μεταξύ τους με χρήση της X2 διεπαφής. Κάθε eNB συνδέεται με το EPC μέσω της S1 διεπαφής, που δεν είναι τίποτε άλλο από μια πολλαπλή σύνδεση μεταξύ των AGW και των διαφόρων eNBs. Κάθε AGW αποτελείται από τη Mobility Management Entity (MME) και τη User Plane Entity (UPE).

Χάρη στη δεδομένη αρχιτεκτονική, ενισχύεται και αναβαθμίζεται η ασφάλεια του δικτύου, καθώς όλες οι λογικές λειτουργίες, όπως η κρυπτογράφηση της κίνησης χρηστών και ο έλεγχος ταυτότητας πραγματοποιούνται στην AGW και επιπλέον, οι επιτυχείς επιθέσεις που γίνονται εναντίον των σταθμών βάσης (eNB) έχουν μικρότερη επίδραση στο δίκτυο. Ακόμα, λειτουργίες που σχετίζονται με τη ραδιομετάδοση πραγματοποιούνται στους eNBs με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλότερη ρυθμαπόδοση και χαμηλότερη λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time). Η λειτουργία του E-RAN είναι επομένως, ανεξάρτητη από αυτή του κεντρικού δικτύου .

Η διατήρηση μιας κλήσης ενώ ένας χρήστης κινείται από μια κυψέλη σε μια άλλη είναι μια από τις βασικές προκλήσεις για οποιοδήποτε κυψελωτό σύστημα. Μια μεταπομπή τείνει να πραγματοποιηθεί όταν ένας χρήστης είναι κοντά στην άκρη της κυψέλης και έτσι μια αποτυχημένη μεταπομπή είναι η πιο πιθανή αιτία μιας κλήσης που χάνεται. Το LTE/SAE δεν υποστηρίζει πλέον “soft” μεταπομπές που χρησιμοποιούνται στα WCDMA συστήματα. Αντίθετα, μια πολύ γρήγορη μεταπομπή πραγματοποιείται. Μια νέα διεπαφή, X2, υποβοηθά συνδέοντας άμεσα την πηγή με τον στόχο-σταθμό βάσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Αυτό μειώνει το φορτίο στον πυρήνα πακέτων και επιταχύνει τη διαδικασία μεταπομπής, μειώνοντας την πιθανότητα αποτυχίας και τις κλήσεις που πέφτουν. Το LSTI έχει παγιώσει τα αποτελέσματα που αποδεικνύουν και την intra-eNB μεταπομπή (μεταξύ τμημάτων του ίδιου σταθμού βάσης) και την inter- eNB μεταπομπή (μεταξύ δυο διαφορετικών σταθμών βάσης). Η δοκιμή πραγματοποιείται

σε κινητά που επιταχύνονται με 120km/h. Η διεπαφή X2 έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί σωστά.



■ Figure 5. LSTI Handover demonstrations.

Σχήμα 8 . LSTI επίδειξη διαπομπής [5]

Η βιομηχανία αυτή την εποχή λαμβάνει μέτρα που εξασφαλίζουν ότι η επόμενη γενιά, Long Term Evolution / System Architecture Evolution (LTE/SAE) θα εμπορευματοποιηθεί με πιο μεθοδικό –σταθερό τρόπο.

Μια παγκόσμια ομάδα προμηθευτών εξοπλισμού και χειριστών δημιούργησαν την LTE/SAE Trial Initiative (LSTI) για να συντονίσουν τις δραστηριότητες που απαιτούνται για την εμπορευματοποίηση. Αυτή η πρωτοβουλία προωθήθηκε τυπικά το Μάιο του 2007 με την καθοδήγηση των τηλεπικοινωνιακών επιχειρήσεων Alcatel-Lucent, Ericsson, Nokia, Nokia Siemens Networks, Netel, Orange, T-Mobile και Vodafone. Το LSTI ενδιαφέρεται για τις δοκιμές της τεχνολογίας σε πραγματικές εφαρμογές των προτύπων.

Τα κινητά δίκτυα επόμενης γενιάς - Next Generation Mobile Networks (NGMN) είναι μια συμμαχία που σκοπό έχει να παρέχει μια μεθοδική εικόνα με το τι οι χειριστές πρόκειται να απαιτήσουν μετά το 2010.

Η PoC (Proof of Concept) δραστηριότητα είναι ένας πρώτος σε βιομηχανικό επίπεδο έλεγχος, εάν οι εφαρμογές LTE/SAE είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της 3GPP και της NGMN συμμαχίας. Για να αποδείξουν ότι το LTE/SAE θα ανταποκριθεί στις προσδοκίες της βιομηχανίας, συμφωνήθηκαν ανάμεσα στους προμηθευτές και τους χειριστές proof points- σημεία απόδειξης, που σχετίζονται με την απόδοση και τη λειτουργία του.

1.5.7 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

❖ Ασφάλεια

Η πρόκληση της ασφάλειας που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα IP δίκτυα είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιβραδύνουν την περαιτέρω υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών δικτύων. Οι χειριστές και οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν τις σαφείς βελτιώσεις που επέρχονται στους τομείς της παραγωγικότητας και της εξοικονόμησης κόστους, όταν ενοποιούν τις τεχνολογίες επικοινωνιών τους σε μια ενιαία υποδομή η οποία διευκολύνει την συνδεσιμότητα των χρηστών. Εντούτοις, είναι διστακτικοί να υλοποιήσουν τεχνολογίες που μπορούν

να διακινδυνεύσουν την ασφάλειά τους, να θέσουν την επιχείρησή τους σε κίνδυνο και να προκαλέσουν ενδεχομένως σημαντική οικονομική απώλεια.

Η δυνατότητα ενός διατεματικού συστήματος ασφάλειας που προσφέρει η LTE τεχνολογία υλοποιείται μέσω των ακόλουθων πρωτοκόλλων και εφαρμογών:

- Επαλήθευση ταυτότητας, έγκριση και έλεγχος χειριστών και χρηστών
- Πρωτόκολλα ασφάλειας και αποθήκευση δεδομένων και αρχείων
- Ασφαλής διαχείριση δικτύου, έλεγχος και σηματοδότηση
- Συμβατότητα τελικού σημείου (end-point compliance)
- Περιμετρική και εσωτερική προστασία δικτύου
- Εκούσια προστασία κίνησης
- Κρυπτογράφηση της κίνησης χρηστών

❖ **Κινητικότητα**

Η απόδοση του δικτύου γίνεται βέλτιστη όταν το τερματικό κινείται με χαμηλές ταχύτητες μεταξύ 0 και 15 km/h. Η απόδοση κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητική όταν το τερματικό αναπτύσσει ταχύτητες μεταξύ 15 και 120 km/h. Παρόλα αυτά, η κινητικότητα διατηρείται και για ταχύτητες μεταξύ 120 km/h και 350 km/h, ή και σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι τα 500 km/h ανάλογα με τη ζώνη συχνότητα.

❖ **Μειωμένη λανθάνουσα καθυστέρηση**

Εκτός από τη βελτίωση που έχει επέλθει στους ρυθμούς μετάδοσης, η μείωση της λανθάνουσας καθυστέρησης (latency time) θα αναβαθμίσει ακόμα περαιτέρω την εμπειρία του χρήστη. Στα 3.5G δίκτυα, ο χρήστης υπομένει μια καθυστέρηση 2 ή περισσότερων δευτερολέπτων κατά την πραγματοποίηση της πρώτης του σύνδεσης και έπειτα μια λανθάνουσα καθυστέρηση των 50ms. Το LTE, όντας βασισμένο στο πρωτόκολλο IP και έχοντας επίπεδη αρχιτεκτονική, θα έχει αρκετά ταχύτερη αρχική σύνδεση πακέτων, της τάξης των 50ms, και στη συνέχεια μια λανθάνουσα καθυστέρηση των 5ms.

Συγκεκριμένα σε επίπεδο ελέγχου, έχουν σημειωθεί σημαντικές μειώσεις στους χρόνους μετάβασης από την κατάσταση αναμονής στην ενεργό κατάσταση, με επιδόσεις που προσεγγίζουν τα 100 ms.

Η λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time) σε επίπεδο χρήστη κυμαίνεται σε τιμές κάτω από τα 5ms στην κατάσταση χωρίς φορτίο και για μικρά IP πακέτα, όπως στην περίπτωση ενός χρήστη που έχει προς μετάδοση ένα ρεύμα δεδομένων.

Αυτό πρακτικά συνεπάγεται ότι μόλις ο χρήστης πατήσει τα κουμπιά του browser ή του media player, θα αντιληφθεί το δίκτυο LTE ως πολύ άμεσο, σχεδόν στιγμιαίο. Κάτι τέτοιο θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην εμπειρία χρηστών και το βαθμό ικανοποίησης.

❖ **Αυξημένη χωρητικότητα φωνής**

Η αυξανόμενη φασματική απόδοση συντελεί με τη σειρά της στην αύξηση της χωρητικότητας φωνής, η οποία αποτελεί μια κρίσιμη πτυχή της συνεχούς εξέλιξης των κινητών τεχνολογιών. Στο LTE και την υπηρεσία VoIP, η χωρητικότητα φωνής είναι άμεση συνάρτηση του ρυθμού μετάδοσης ή της ρυθμαπόδοσης. Μάλιστα, πρόσφατες δοκιμές έδειξαν ότι ένα LTE φέρον του 1MHz μπορεί να υποστηρίξει έως και 105 ταυτόχρονες φωνητικές κλήσεις, απόδοση που είναι τρεις φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη για το UMTS. Η υψηλή χωρητικότητα φωνής όχι μόνο θα μειώσει σημαντικά το κόστος υπηρεσιών φωνής, αλλά είναι πιθανό να

διευκολύνει την ενδοζωνική μετακίνηση (in-band migration) προσφέροντας με τον τρόπο αυτό στους παρόχους υπηρεσιών τη δυνατότητα να αποσύρουν και να ανακυκλώσουν κατά κάποιο τρόπο τις υπάρχουσες κατανομές φάσματος.

❖ **Συμβατότητα με πρότυπα και συστήματα**

Οι LTE χρήστες θα είναι σε θέση να πραγματοποιούν φωνητικές κλήσεις από τα τερματικά τους και παράλληλα να έχουν πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες δεδομένων ακόμα και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες βρίσκονται σε περιοχές που δεν παρέχεται η LTE κάλυψη. Για το λόγο αυτό, το LTE δίνει τη δυνατότητα για ομαλά, seamless handover σε περιοχές που εξασφαλίζεται η πρόσβαση με χρήση των τεχνολογιών HSPA, WCDMA ή και GSM/GPRS/EDGE . Επιπλέον , το LTE υποστηρίζει όχι μόνο ενδοσυστημικά και διασυστημικά handover, αλλά και διατομεακά handovers between packet switched και circuit switched συνεδριών.

❖ **Μέγεθος κυψέλης**

Το LTE έχει βέλτιστη απόδοση για μέγεθος κυψέλης μικρότερο των 5 χιλιομέτρων. Η απόδοσή του κρίνεται ικανοποιητική και σε περιπτώσεις κυψελών που φτάνουν τα 30 χιλιόμετρα, ενώ δεν αποκλείεται να παρέχεται πρόσβαση και σε ακτίνα 100 χιλιομέτρων. Το σήμα παρουσιάζει, όμως, σημαντική εξασθένηση μετά τα 30 χιλιόμετρα.

❖ **Χαμηλότερο κόστος ανά bit**

Η βελτιωμένη φασματική απόδοση του LTE σε συνδυασμό με την ελαστικότητα υλοποίησης, την απλουστευμένη αρχιτεκτονική του δικτύου και την αυξημένη χωρητικότητα συνιστούν μια συμφέρουσα και άμεσα υλοποιήσιμη τεχνολογική πρόταση. Για παράδειγμα, κάθε E-UTRAN κυψέλη θα παρέχει τέσσερις φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα για τη μετάδοση φωνής και δεδομένων σε σύγκριση με την αντίστοιχη απόδοση της τεχνολογίας HSPA. Αν σε όλα τα παραπάνω προστεθεί και η αύξηση της περιοχής κάλυψης, η οποία οφείλεται στη χρήση προηγμένων τεχνικών κεραιών και στην υλοποίηση δικτύων σε χαμηλές ζώνες συχνοτήτων, τότε άμεσα προκύπτει ότι η τεχνολογία LTE θα επιφέρει σημαντική μείωση στο κόστος που αντιστοιχεί σε κάθε bit που αποδίδεται προς χρήση.

1.5.8 LTE-Advanced

Τον Απρίλιο του 2008 άρχισε μια μελέτη με θέμα "Requirements for further Advancements for E-UTRA" που συχνά αναφέρεται ως LTE-Advanced. Ο σκοπός του LTE-Advanced είναι να αυξήσει την απόδοση του συστήματος και τις ικανότητες του σε σχέση με την LTE ραδιοπρόσβαση, με κύριο στόχο να εξασφαλίσει ότι το LTE ανταποκρίνεται σε όλες τις απαιτήσεις του "IMT-Advanced", όπως καθορίζεται από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών.

Τα χαρακτηριστικά του είναι :

- Carrier aggregation : Για παράδειγμα, φέρουσες στα 20 MHz συναθροίζονται για να υποστηρίξει εύρος ζώνης μετάδοσης πάνω από 100MHz, παρέχοντας πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- Αναμετάδοση για να βελτιώσει την κάλυψη και να μειώσει το κόστος.
- Εκτεταμένη μετάδοση multi-antenna (CoMP), αυξάνοντας τον αριθμό των στρωμάτων μετάδοσης στην κάτω ζεύξη σε οκτώ και στην πάνω ζεύξη σε τέσσερα, για να αυξήσει τους ρυθμούς δεδομένων.
- Συντονισμένη πολυσημειακή μετάδοση/λήψη, όπου η μετάδοση/λήψη εκτελείται από κοινού στις κυψέλες για να βελτιώσουν την απόδοση των κυψελών.

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι το LTE-Advanced είναι μια εξέλιξη του LTE και όχι ένα καινούργιο σύστημα.

1.6 Σημερινή κατάσταση και εξέλιξη

Πράγματι δεν έχει περάσει αρκετός καιρός από την έναρξη των πρώτων 3G/UMTS δικτύων κι όμως οι βιομηχανίες αναζητούν νέες τεχνολογίες κυψελωτών επικοινωνιών κι αυτό γιατί οι προσδοκίες των χρηστών αυξάνονται συνεχώς.

Το LTE προσφέρει ανταγωνιστικά κίνητρα για τους UMTS/HSPA φορείς εκμετάλλευσης δικτύων και πιο συγκεκριμένα, τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιήσουν σημαντικά τμήματα των υπάρχουσών υποδομών τους καθώς και τμήμα του φάσματος συχνοτήτων που έχουν στη διάθεσή τους.

Καθώς το LTE ατενίζει με αισιοδοξία στο μέλλον, δεν επιχειρεί να υποβαθμίσει την αξία των υπάρχουσών επενδύσεων των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του LTE έγκειται στο γεγονός ότι εγγυάται μια ομαλή μετάβαση από τις υπάρχουσες ευρυζωνικές τεχνολογίες όπως είναι το HSPA, το οποίο παράγει σημαντικά εισοδήματα για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων και θα συνεχίσει για αρκετά ακόμα χρόνια, σε μια επόμενη γενιά τεχνολογίας. Επιπρόσθετα, το LTE απλοποιεί τη διαδικασία διαλειτουργικότητας με μη 3GPP δίκτυα μέσω της αρχιτεκτονικής του SAE. Κατά συνέπεια, το LTE θα επιτρέψει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων από τη μια να παράγουν νέα τεχνολογία κάνοντας χρήση των ήδη υπάρχουσών υποδομών δικτύου, ενώ συγχρόνως από την άλλη θα απολαμβάνουν τα σημαντικά οικονομικά οφέλη που απορρέουν από τη συμμετοχή τους στην μεγαλύτερη οικογένεια κυψελωτών συστημάτων, την 3GPP .

Η τεχνολογία LTE φαίνεται να κερδίζει τη μάχη των εντυπώσεων μεταξύ των αναδυόμενων 4G τεχνολογιών και να συγκεντρώνει τις προτιμήσεις των περισσότερων κατασκευαστών και τηλεπικοινωνιακών φορέων. Ακόμη και το WiMAX, το οποίο προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς το χρόνο διάθεσής του στην αγορά και το κόστος υλοποίησής του , έχει αρχίσει να δέχεται έντονες αμφισβητήσεις ως προς την υπεροχή του.

Το Σεπτέμβριο του 2006, η Siemens Networks παρουσίασε σε συνεργασία με την Nomor Research την πρώτη ζωντανή εξομοίωση ενός LTE δικτύου στα μέσα και τους επενδυτές. Στην παρουσίαση αυτή έγινε live επίδειξη εφαρμογών με δύο χρήστες όπως είναι το streaming ενός HD -TV video για την κάτω ζεύξη και ένα παιχνίδι αλληλεπίδρασης για την άνω.

Το Σεπτέμβριο του 2007, η NTT Docomo παρουσίασε μετάδοση δεδομένων με χρήση της LTE τεχνολογίας με ταχύτητες που έφταναν τα 200 Mbit/s και με κατανάλωση ισχύος της τάξης των 100mW κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Το Φεβρουάριο του 2008 στο Παγκόσμιο Κινητό Συνέδριο (Mobile World Congress): Η Motorola παρουσίασε πώς το LTE μπορεί να ενισχύσει και να βελτιώσει την ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη μέσω εφαρμογών όπως το HD video streaming, το HD video blogging, το online gaming και το VoIP. Η Ericsson παρουσίασε ένα φορητό LTE τερματικό που έκανε χρήση video streaming. Η Freescale Semiconductor παρουσίασε ένα streaming HD video με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 96 Mbit/s για την κάτω ζεύξη και τα 86 Mbit/s για την άνω. Η NXP Semiconductors παρουσίασε ένα πολλυρυθμικό LTE modem, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για ένα ραδιοσύστημα που θα εφαρμοστεί στα κινητά τηλέφωνα.

Τον Απρίλιο του 2008, η LG και η Nortel παρουσίασαν μετάδοση δεδομένων με χρήση της LTE τεχνολογίας με ρυθμό μετάδοσης 50 Mbit/s όταν το κινητό αναπτύσσει ταχύτητα 110 km/h. Ερευνητές από τη Nokia Siemens Networks και το Ινστιτούτο Heinrich Hertz παρουσίασαν δοκιμαστική λειτουργία του LTE με ρυθμό μετάδοσης άνω ζεύξης τα 100 Mbit/s.

Δεδομένου ότι πολλά μέλη της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών έχουν τοποθετηθεί και δημοσίως για την προτίμησή τους προς το LTE, παραθέτουμε τις πλέον αξιοσημείωτες περιπτώσεις. Οι περισσότεροι τηλεπικοινωνιακοί φορείς που υποστηρίζουν τα GSM ή HSPA δίκτυα αναμένεται κάποια στιγμή να αναβαθμίσουν τα δίκτυά τους σε LTE: Η AT&T Mobility δήλωσε ότι σκοπεύει να αναβαθμίσει το δίκτυό της επιλέγοντας το LTE ως την κύρια 4G τεχνολογία της, αλλά θα χρησιμοποιήσει τις HSUPA και HSPA+ ως τις ενδιάμεσες μεταβατικές τεχνολογίες. Οι εταιρείες T-Mobile, France Télécom, Telia Sonera και Telecom Italia Mobile έχουν ανακοινώσει ή έχουν μιλήσει δημόσια για την προτίμησή τους προς το LTE.

Η Vodafone, ο μεγαλύτερος τηλεπικοινωνιακός φορέας παγκοσμίως, θεωρείται από τους πρωτοπόρους στο LTE. Η Verizon Wireless έχει στα σχέδιά της να αναπτύξει το LTE δίκτυο των 700 MHz το 2010. Η AT&T προγραμματίζει να αναπτύξει το δικό της 4G δίκτυο γύρω στο 2012 κάνοντας χρήση του φάσματος των 700 MHz που πρόσφατα απέκτησε. Παρόλα αυτά, διάφορα δίκτυα που δεν κάνουν χρήση των προτύπων αυτών σκοπεύουν επίσης να μεταβούν στην LTE τεχνολογία: Οι εταιρείες Alltel, China Telecom/Unicom και KDDI της Ιαπωνίας ανήγγειλαν ότι επιλέγουν το LTE ως τη 4G τεχνολογία δικτύων τους. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερος σημαντικό, καθώς οι συγκεκριμένες εταιρείες κατατάσσονται στους CDMA τηλεπικοινωνιακούς φορείς και εμφανίζονται πρόθυμες να αλλάξουν την τεχνολογία δικτύωσής τους προκειμένου να συμπλέουν με το LTE, το οποίο ίσως και να αποδειχτεί το πρότυπο που θα επικρατήσει παγκοσμίως. Έχουν επιλέξει να ακολουθήσουν το φυσικό μονοπάτι εξέλιξης του GS, το οποίο όμως δε συμπίπτει με το 3GPP2 CDMA2000 μονοπάτι, το οποίο και απορρέει από την UMB τεχνολογία. Η Bell Mobility προγραμματίζει να αρχίσει την επέκταση του LTE το 2009-2010. Η Telus Mobility έχει αναγγείλει ότι θα υιοθετήσει το LTE ως το επίσημο 4G ασύρματο πρότυπό της.

Η Κίνα και η Ινδία, οι δύο χώρες που κυριαρχούν στον τομέα των κινητών τηλεφώνων, δεν έχουν ακόμα λάβει τις οριστικές τους αποφάσεις σχετικά με το 3G/4G μέλλον τους και αποτελούν το μεγάλο ερωτηματικό.

Δεδομένου ότι ολοένα και περισσότεροι τηλεπικοινωνιακοί φορείς επιλέγουν το LTE, οι κατασκευαστές εξοπλισμού μπορούν να αρχίσουν να κάνουν τον προγραμματισμό τους και να ρίξουν τις τιμές για τους συγκεκριμένους τηλεπικοινωνιακούς φορείς. Η επιβολή χαμηλότερων τιμών μπορεί να δράσει ως ντόμινο, και να δούμε εν τέλει και μικρότερους τηλεπικοινωνιακούς φορείς να επιλέγουν επίσης το LTE. Οι εταιρείες που προμηθεύουν εξοπλισμό κάνουν ήδη σχέδια για το LTE.

Σε ένα συνέδριο που πραγματοποιήθηκε στο Λας Βέγκας τον Απρίλιο του 2009, έγιναν ορισμένες σημαντικές ανακοινώσεις: Η κινέζικη εταιρεία κατασκευής εξοπλισμού Huawei Technologies ανακοίνωσε ότι θα διαθέσει στην αγορά τον LTE εξοπλισμό το πρώτο τρίμηνο του 2009, την ίδια περίπου περίοδο που οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς θα αρχίσουν να χρησιμοποιούν το ασύρματο φάσμα που αγόρασαν. Η Ericsson, που κυριαρχεί στην προμήθεια ασύρματου εξοπλισμού ανήγγειλε τα σχέδια της για τη νέα M700 κινητή πλατφόρμα, μια LTE πλατφόρμα με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 100Mbps για την κάτω ζεύξη και τα 50Mbps για την άνω. Ο Fred Wright, εκπρόσωπος της Motorola για τα 4G δίκτυα, θεωρεί ότι το LTE θα είναι το πρότυπο που θα επιλεγεί εν τέλει από το 80 τοις εκατό των τηλεπικοινωνιακών φορέων ανά τον κόσμο. Η πρόβλεψη αυτή αποτελεί επιτυχή εξέλιξη για προμηθευτές όπως η Alcatel-Lucent και η Ericsson, οι οποίοι έχουν εμμείνει στην επιλογή του LTE. Φυσικά, δεδομένου ότι το GSM αποτελεί το δεσπόζων κινητό πρότυπο στις μέρες μας και είναι γνήσιος πρόγονος του LTE, μια τέτοια πρόβλεψη δεν αποτελεί έκπληξη.

1.7 Οι πρώτες εμπορικές συνδέσεις

Η TeliaSonera εγκαινίασε το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τεχνολογίας Long Term Evolution (LTE) στην Στοκχόλμη και το Όσλο, με εξοπλισμό που παρείχαν η Ericsson και η Huawei αντίστοιχα. Το κέντρο της Στοκχόλμης καλύπτεται πλέον με δίκτυο LTE της Ericsson, δημιουργώντας έτσι το μεγαλύτερο μέχρι σήμερα δίκτυο LTE, σύμφωνα με το Δελτίο Τύπου του κατασκευαστή. Οι Σουηδοί συνδρομητές της TeliaSonera Σουηδίας έχουν πρόσβαση στο δίκτυο LTE μέσω συσκευών USB της Samsung για τα laptops τους. Στο μεταξύ η Huawei ανακοίνωσε πως η Νορβηγική θυγατρική της TeliaSonera, NetCom, προσφέρει δίκτυο στο Όσλο με ταχύτητες έως και 50Mbps σύμφωνα με την ανακοίνωση της εταιρείας. Η σύνδεση στο δίκτυο LTE στοίχιζε 58€/μήνα και μέχρι την 1 Ιουλίου του 2010 δεν θα υπάρχει περιορισμός στον όγκο των δεδομένων που διακινεί ο χρήστης. Μετά την 1η Ιουλίου το όριο τέθηκε στα 30GB/μήνα. Με ενδιαφέρον αναμένεται η πραγματική επίδοση του δικτύου αφού σε εργαστηριακό στάδιο απέδωσε ταχύτητες μεγαλύτερες των 100Mbps. Πάντως η TeliaSonera υπόσχεται έως 50Mbps και στην ανακοίνωση της αφήνει περιθώρια για καλύτερες ταχύτητες στο μέλλον έως και 80Mbps. Για την σύνδεση στο δίκτυο LTE ενός υπολογιστή απαιτείται usb συσκευή της Samsung. Προς το παρόν το modem αυτό είναι συμβατό αποκλειστικά με την 4G τεχνολογία ενώ σύντομα σύμφωνα με το site της Telia θα είναι διαθέσιμα modems που θα υποστηρίζουν και 3G δίκτυα.

Ο Carl-Henric Svanberg, Πρόεδρος και CEO της Ericsson, δήλωσε για την έναρξη στην Σουηδία:

Η νέα εποχή κινητής ευρυζωνικότητας ξεκίνησε σήμερα.» Το LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να μεταφέρει πολύ μεγάλα πακέτα πληροφορίας αποτελεσματικά, βελτιστοποιώντας την χρήση των συχνοτήτων και αποδίδοντας ταχύτητες στον αέρα παραπλήσιες με αυτές ενός δικτύου οπτικών ινών. Με το μειωμένο latency, οι καταναλωτές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε εφαρμογές όπως το online high definition (HD) video καθώς και δικτυακά παιχνίδια, ενώ βρίσκονται στον δρόμο. Η Ericsson προμήθευσε την TeliaSonera Σουηδίας με ένα σύστημα LTE (4G), συμπεριλαμβάνοντας σταθμούς βάσης LTE, που ανήκουν στην νέα σειρά RBS6000, ένα δίκτυο Evolved Packet Core, μια λύση για δίκτυο κορμού κινητής τηλεφωνίας που περιλαμβάνει και δρομολογητές SmartEdge 1200, το τελευταίας τεχνολογίας EDA multi-access aggregation switch, και ένα σύστημα διαχείρισης και λειτουργίας.

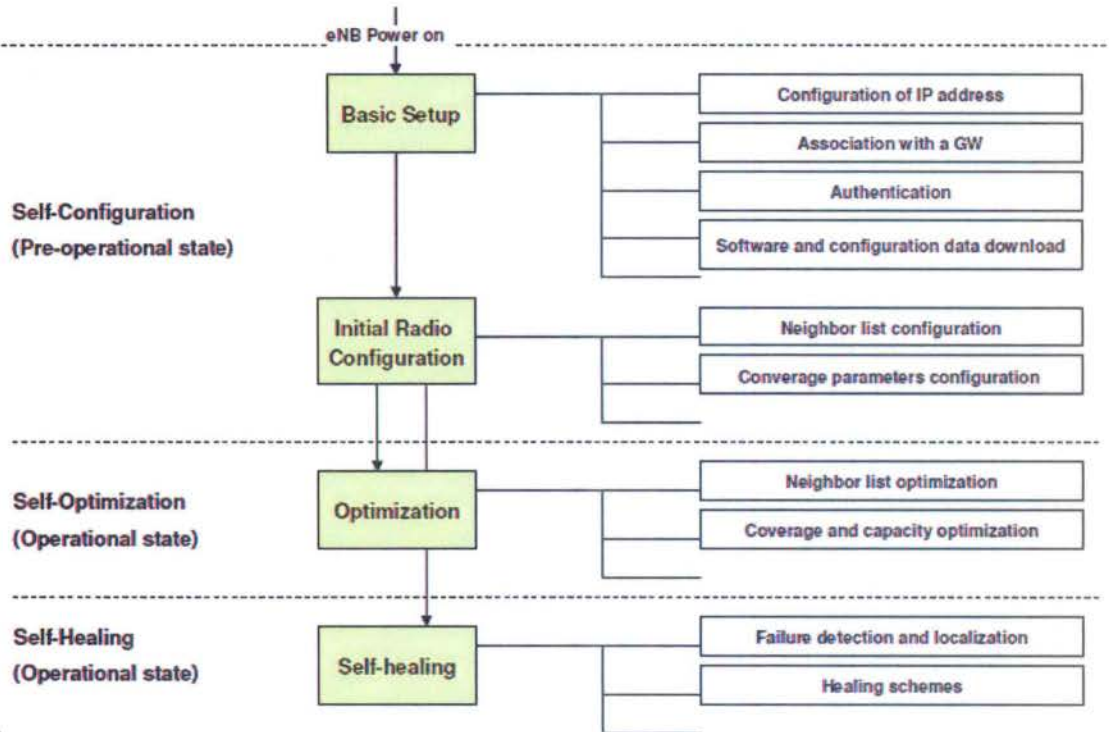
Στο Δελτίο Τύπου της Huawei, αναφέρεται πως παρέδωσε στην TeliaSonera και εξοπλισμό υποδομής δικτύων και υπηρεσίας συντομότερα από την συμβατική υποχρέωσή της, συμπεριλαμβανομένων δικτύου πρόσβασης, δικτύου κορμού, σύστημα διαχείρισης και σχεδιασμό και βελτιστοποίηση του δικτύου. Η Κινεζική εταιρεία συμπεριέλαβε τους Σταθμούς Βάσης της 4ης γενιάς και την λύση System Architecture Evolution (SAE) ώστε να εξασφαλίσει την σταθερότητα του Δικτύου και να γίνει εφικτή η γρήγορη ανάπτυξή του.

Όπως είδαμε είναι αρκετός ο κόσμος που έχει εκδηλώσει ενδιαφέρον για το LTE. Πολλές εταιρείες έχουν ήδη υιοθετήσει το Long Term Evolution και εργάζονται εντατικά για την ανάπτυξη και υλοποίησή του. Η ABI έρευνα προβλέπει ότι θα υπάρχουν πάνω από 32 εκατομμύρια συνδρομητές μέχρι το 2013. Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφάσισε να επενδύσει ακόμη 18 εκατ. ευρώ στην έρευνα για τη βελτιωμένη έκδοση της LTE και την LTE Advanced.

1.8. Τα οφέλη του SON στο LTE

1.8.1 Το πλαίσιο εργασίας του SON στο LTE

Η κύρια λειτουργία του SON περιλαμβάνει: Αυτό-διαμόρφωση, Αυτό-βελτιστοποίηση και Αυτό-Ίαση. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει το βασικό πλαίσιο εργασίας του SON.



Σχήμα 9. Το πλαίσιο εργασίας του SON

1.8.2 Αυτό-διαμόρφωση των Σταθμών Βάσης

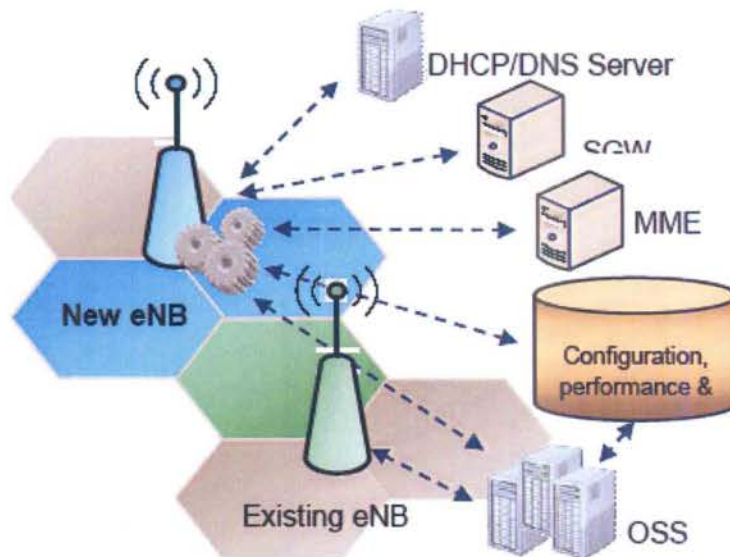
Η επέκταση σε νέες τεχνολογίες των δικτύων είναι μια σημαντική επένδυση για οποιοδήποτε φορέα παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Εκτός από το φάσμα και τις δαπάνες εξοπλισμού, ο χειριστής αντιμετωπίζει τις πολλαπλάσιες προκλήσεις σχετικές με τον σχεδιασμό των δικτύων, την ανάθεση και την ολοκλήρωση που οδηγούν συχνά σε δαπάνες υψηλότερες από ότι ο ίδιος ο εξοπλισμός υποδομής. Σήμερα, υπάρχουν διάφορα σχεδιαστικά εργαλεία όπου με την βοήθεια υπολογιστών, οι χειριστές των δικτύων, τα χρησιμοποιούν, για να απλοποιήσουν εργασίες όπως, διάδοση, αυτόματο σχεδιασμό κυψελών (ACP) ή αυτόματο σχεδιασμό συχνοτήτων (AFP).

Ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος της διαδικασίας σχετικά με την ολοκλήρωση και τη διαμόρφωση των στοιχείων του δικτύου εκτελείται ακόμα χειροκίνητα. Όταν ένας νέος σταθμός βάσης (eNB) εγκαθίσταται, οι περισσότερες παράμετροι της διαμόρφωσής του, παρέχονται τοπικά από μηχανικούς, όπως και η διασύνδεση του σταθμού με το υπόλοιπο δίκτυο, προσθέτοντας τον στον αντίστοιχο κόμβο συγκέντρωσης (BTS ή RNC) καθώς και η διασύνδεσή του στο δίκτυο κορμού. Εκτός των άλλων από τη διαμόρφωση θα πρέπει να καθοριστούν παράμετροι σχετικά με την εκπομπή – λήψη, τον τύπο κεραιών και τον προσανατολισμό τους, την ισχύ εκπομπής, τις σχέσεις γειτόνων, κ.λπ. Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι δυσκίνητες, χρονοβόρες, επιρρεπείς σε λάθη, και γενικά, θα απαιτήσουν την παρουσία περισσότερων του ενός ειδικών τηλεπικοινωνιακών μηχανικών, κάνοντας τα ανωτέρω μια ανεπαρκή και δαπανηρή διαδικασία.

Ο στόχος της λειτουργίας αυτό-διαμόρφωσης του SON στα LTE είναι να μειωθεί το ποσό ανθρώπινης επέμβασης στη γενική διαδικασία ώστε η λειτουργία στο eNodeBs να γίνεται αυτόματα (plug & play).

Οφέλη

Η αυτό-διαμόρφωση θα μειώσει το ποσοστό των χειρωνακτικών διαδικασιών που είναι απαραίτητες, στον προγραμματισμό, την ολοκλήρωση και τη διαμόρφωση ενός νέου eNodeB . Αυτό θα οδηγήσει σε μια γρηγορότερη επέκταση δικτύων και μείωση των δαπανών για το χειριστή εκτός από το ότι θα έχει ένα πιο ακέραιο σύστημα διαχείρισης που θα είναι λιγότερο επιρρεπές σε ανθρώπινο λάθος.



Σχήμα 10 . Αυτό-διαμόρφωση του eNodeB στα LTE

1.8.3 Αυτόματη Σχέση Γειτόνων

Μια από τις διαδικασίες μεγάλου ενδιαφέροντος στις υπάρχουσες τεχνολογίες ράδιο-επικοινωνιών είναι ο χειρισμός των σχέσεων μεταξύ γειτονικών κυψελών για την διαπομπή (handover). Είναι μια συνεχής δραστηριότητα η οποία γίνεται εντονότερη κατά τη διάρκεια της επέκτασης των δικτύων αλλά προσφέρει και σημαντική χρονοκαθυστέρηση. Η διαδικασία πολλαπλασιάζεται με διάφορα στρώματα κυψελών όταν έχουμε διάφορα δίκτυα να διαχειριστούμε.

Με το LTE, ένα ακόμα στρώμα από κυψέλες προστίθεται με συνέπεια η βελτιστοποίηση των σχέσεων μεταξύ γειτόνων να γίνεται πιο σύνθετη. Ακόμη και με την καλύτερη μέθοδο, λόγω του μεγάλου μεγέθους των ράδιο-δικτύων, με αρκετές χιλιάδες σχέσεις γειτόνων κάτω από την επίβλεψη ενός μόνο χειριστή (δικτύου), είναι αδύνατο να διατηρήσουμε τις σχέσεις γειτόνων χειροκίνητα. Οι σχέσεις γειτονικών κυψελών είναι επομένως μια προφανής διαδικασίας στην οποία μπορεί να γίνει αυτοματοποίηση και η αυτόματη σχέση γειτόνων (ANR) είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα για το SON. Για να πάρουμε τα μέγιστες δυνατότητές του, το ANR πρέπει να υποστηρίζεται μεταξύ του εξοπλισμού από διαφορετικούς προμηθευτές. Το ANR είναι, επομένως, μια από τις πρώτες λειτουργίες SON που τυποποιούνται στο 3GPP

Οφέλη

Το ANR θα αφαιρέσει, αν όχι θα ελαχιστοποιήσει τουλάχιστον, την ανθρώπινη παρέμβαση στο χειρισμό των σχέσεων γειτόνων κατά την εγκατάσταση ενός νέου eNBs ή όταν βελτιστοποιείται η λίστα γειτόνων. Αυτό θα αυξήσει τον αριθμό επιτυχών διαπομπών (handovers) και θα οδηγήσει σε λιγότερες απορριφθείσες συνδέσεις λόγω απώλειας της σχέσης γειτονίας.

1.8.4 Περιοχή Αναζήτησης

Τα ασύρματα δίκτυα χωρίζουν την περιοχή ενδιαφέροντος (περιοχή που θέλουμε κάλυψη) σε μη-επικαλυπτόμενες περιοχές κίνησης (TAs – Trafic Areas). Κάθε TA προσδιορίζεται μεμονωμένα από το προσδιοριστικό της TA (tai - Trafic Area Identifier). Ο εξοπλισμός (UE) των χρηστών όταν τίθεται σε λειτουργία χαρτογραφείται σε ένα (ή περισσότερα) TAs. Τα TAs κατασκευάστηκαν για να διευκολύνουν τη διαδικασία ανεύρεσης (paging).

Όποτε ο MME λαμβάνει μια κλήση για το κινητό M, ελέγχει στο TA του κινητού M, στέλνοντας μια αναζήτηση σε όλα τα eNodeBs στο TA (M). Κάθε eNodeB μεταδίδει μήνυμα στο κανάλι αναζήτησης (Paging Channel), το οποίο παραλαμβάνεται από τα UEs κατά την εκκίνηση τους. Όταν το κινητό M λαμβάνει το μήνυμα αναζήτησης, συνειδητοποιεί ότι υπάρχει μια κλήση τερματισμού για αυτό (μεταφορά στοιχείων), και στέλνει μια απάντηση στον εξυπηρετούντα eNodeB – eNB (M). Το eNB (M) ανταποκρίνεται θετικά στον MME, ο οποίος με την σειρά του θα

κατευθυνθεί την κλήση προς το eNB(M). Στη συνέχεια, η διαδικασία εγκατάστασης της κλήσης οργανώνεται μεταξύ του κινητού M, eNB(M), και MME/ S-GW.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η MME έχει τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για κάθε κινητό από την άποψη του τρέχοντος TAI, όλα τα UEs απαιτείται για να παρέχουν το TAU μόλις συνειδητοποιούν ότι η το εξυπηρετούντα eNodeB τους έχει διαφορετικό TAI. Μια τέτοια αναπροσαρμογή στέλνεται στο τυχαίο κανάλι πρόσβασης (RACH). Μια τέτοια δομή οδηγεί σε μια ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του RACH και του καναλιού αναζήτησης (Paging Channel). Παρατηρούμε ότι εάν το TA κρατιέται μικρό, ένα κινούμενο κινητό θα διέσχιζε πολλά TAs, και θα πρέπει να κάνει μια τυχαία προσπάθεια πρόσβασης σε ένα από τα συνοριακά eNodeB κάθε TA. Εντούτοις, εάν ο αριθμός του eNodeBs σε ένα TA είναι μεγάλος, ο φόρτος του RACH στα συνοριακά eNodeBs θα ήταν λιγότερος, αλλά κάθε τερματισμός κλήσης/μεταφορά στοιχείων σε ένα κινητό M θα οδηγούσε σε μια καθολική (Broadcast) μετάδοση του μηνύματος αναζήτησης από την MME σε κάθε eNodeB στο ίδιο TA.

Αυτό με την σειρά του θα δημιουργούσε επιπρόσθετη κίνηση στους διαύλους επικοινωνίας των περιφερειακών eNodeBs με το δίκτυο κορμού. Επιπλέον, σε κάθε ένα από το eNodeBs, μια «αναζήτηση» δεσμεύει το κανάλι αναζήτησης. Επομένως, ο δημογραφικός καθορισμός του μεγέθους ενός TA είναι ένας συνδυασμός μεταξύ του φορτίου RACH στα συνοριακά eNodeBs και του φορτίου αναζήτησης που προστίθεται στους διαύλους επικοινωνίας των eNodeBs τόσο στην διασύνδεσή τους με το δίκτυο κορμού όσο και στους ράδιο-διαύλους. Εδώ να υπενθυμίσουμε ότι το φορτίο RACH έχει επιπτώσεις μόνο σε μία κυψέλη, ενώ το φορτίο αναζήτησης μεταφράζεται σε ένα μήνυμα καθολικής μετάδοσης σε όλα τα eNodeBs που ανήκουν σε ένα TA.

Οφέλη

Οι χειριστές ασύρματων δικτύων έχουν αναγκαστεί να υιοθετήσουν μη διαδραστικούς μηχανισμούς για την αποτελεσματική και αποδοτική ρύθμιση των περιοχών αναζήτησης. Λόγω της δυσκίνητης φύσης μιας τέτοιας διαδικασίας, οι περισσότεροι τηλεπικοινωνιακοί παροχείς δύσκολα αλλάζουν τις περιοχές αναζήτησης των κυψελών τους. Με άλλα λόγια, τα TAIs για κάθε κυψέλη αποφασίζονται κατά την διάρκεια της επέκτασης του δικτύου, βασισμένα στα προσδοκώμενα σχέδια κυκλοφορίας, κ.λπ., και αλλάζουν μόνο σε περίπτωση ακραίων υποβαθμίσεων της απόδοσης της κυψέλης. Το SON έχει την δυνατότητα να αλλάξει το TA τόσο κατά την διάρκεια της επέκτασης του δικτύου, χρησιμοποιώντας το προγραμματισμό περιοχής αναζήτησης (TAP), όσο και κατά τη διάρκεια μιας επιπρόσθετης βελτιστοποίησης του δικτύου χρησιμοποιώντας τη βελτιστοποίηση περιοχής αναζήτησης (TAO).

Κατά την διάρκεια της επέκτασης, ο αλγόριθμος TAP προετοιμάζει το αρχικό σχέδιο επέκτασης για τις περιοχές των κυψελών. Η έξοδος του αλγόριθμου TAP

καθορίζει σε ποία περιοχή αναζήτησης κάθε ένα eNodeB θα ανήκει. Αντίστοιχα το TAI για κάθε ένα eNodeB προσδιορίζεται κατά τη διάρκεια της φάσης αρχικοποίησης. Τα στοιχεία εισόδου σε έναν τέτοιο αλγόριθμος επέκτασης θα μπορούσαν να είναι τα γεωγραφικά στοιχεία της αγοράς, το μέγεθος και οι τιμές των TAI, οι θέσεις των eNodeB, το μέγεθος αγοράς, κ.λπ.

Μόλις η αρχική επέκταση ολοκληρωθεί, ο αλγόριθμος TAO ελέγχει ενεργά τις αναπροσαρμογές της περιοχής (TAU) και το φορτίο στο ράδιο-κανάλι πρόσβασης (RACH) για να προσδιορίσει συνεχώς τα eNodeBs που είναι κατάλληλα για μια αλλαγή στο TAI τους. Η πρόθεση είναι να βγάλουν συμπεράσματα για τα σχέδια κινητικότητας για κάθε eNodeB. Π.χ, εάν μια εθνική οδός περνά μέσω μιας συστάδας eNodeBs, θα ήταν λογικό τα σύνορα της περιοχής αναζήτησης να μην βρίσκονται επάνω στην εθνική οδό ώστε να αποφεύγεται ένα κινούμενο (επί της εθνικής) UE να μεταπηδά μεταξύ διαφορετικών TAs. Ο αλγόριθμος TAO έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τέτοια eNodeBs και να τους προσδιορίσει στο κατάλληλο TA.

1.8.5 Εξισορρόπηση Φορτίου

Ο όρος εξισορρόπηση φορτίου κινητικότητας (MLB) θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την παράγραφο για να αναφερθεί συγκεκριμένα στο επίπεδο των κυψελών του δικτύου (eNodeB) μόνο και όχι στο δίκτυο κορμού (MME). Ο στόχος του MLB είναι να διανέμει την κίνηση των χρηστών στους ράδιο-πόρους του συστήματος προκειμένου να παρασχεθούν ποιότητα υπηρεσίας και υψηλή απόδοση δικτύου στον τελικό χρήστη.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί από έναν ή από συνδυασμό αλγορίθμων που εκτελούν την εξισορρόπηση για τους χρήστες. Αυτοί οι αλγόριθμοι SON για μπορούν να εκτρέψουν την κυκλοφορία από ένα στοιχείο του δικτύου σε ένα άλλο, πρέπει να μπορούν να έχουν την δυνατότητα να χειριστούν μεταφορείς διαφορετικού τύπου καθώς και στοιχεία διαφορετικής τεχνολογίας ώστε για να εξασφαλιστεί η ανεμπόδιστη παροχή των υπηρεσιών στους χρήστες. Η πραγματική μεταφορά των χρηστών ολοκληρώνεται με την τροποποίηση, είτε των παραμέτρων των γειτονικών κυψελών, είτε συγκεκριμένων παραμέτρων του χρήστη. Αυτό απαιτεί το συντονισμό με τους ανταγωνιστικούς αλγορίθμους του SON και τυποποίηση των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων σε ένα δίκτυο με εξοπλισμό από πολλούς κατασκευαστές για να εξασφαλιστεί η δυναμικότητα και η σταθερότητα του δικτύου.

Η εφαρμογή των αλγορίθμων MLB εξαρτάται από την αρχιτεκτονική. Ανά περίπτωση μπορούν να δοθούν παραδείγματα για τους αλγορίθμους MLB είτε για διανεμημένα δίκτυα είτε για συγκεντρωτικά. Γενικά, η επιλεγμένη αρχιτεκτονική εξαρτάται από την τεχνολογία πρόσβασης. Τα LTE μπορεί να ταιριάζουν καλύτερα σε έναν διανεμημένο αλγόριθμο που χρησιμοποιεί τη διεπαφή X2, ενώ οι

τεχνολογίες με αρχιτεκτονική BSC/RAN ή micro-diversity εννοούνται από μια συγκεντρωμένη προσέγγιση.

Για τα LTE.

- **Διανεμημένη LB:** Οι αλγόριθμοι τρέχουν τοπικά στους σταθμούς βάσεων. Οι πληροφορίες φόρτου ανταλλάσσονται μεταξύ των σταθμών βάσεων έτσι ώστε οι παράμετροι HO (idle/active παράδοσης κλήσης) μπορούν να ρυθμιστούν και επίσης μπορούν να γίνουν ρυθμίσεις στη λειτουργία RRM
- **Συγκεντρωμένη LB:** Αλγόριθμοι που οργανώνονται σε ένα βασικό OSS στοιχείο. Οι σταθμοί βάσεων παρέχουν τις πληροφορίες φορτίου σε μια κεντρική οντότητα η οποία αποκρίνεται έπειτα με τις κατάλληλες τροποποιήσεις στις παραμέτρους του HO (idle/active).

Σε κάθε περίπτωση (Διανεμημένη ή Συγκεντρωμένη), υποτίθεται ότι θα υπάρξουν συγκεντρωμένες διαδικασίες λειτουργίας, διαχείρισης και Συντήρησης (OA&M) για έναν χειριστή ώστε αν μπορεί να ενεργοποιεί/απενεργοποιεί και να διαμορφώνει τις σχετικές παραμέτρους του αλγορίθμου.

Οφέλη

Ο στόχος της εξισορρόπησης του φορτίου κίνησης (MLB) είναι η έξυπνη διασπορά της κίνησης των χρηστών σε όλους τους ράδιο-πόρους του συστήματος προκειμένου να αυξηθεί η ποιότητα της υπηρεσίας καθώς και η απόδοση, με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος. Η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας, ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη επέμβαση στις εργασίες διαχείρισης και βελτιστοποίησης του δικτύου.

1.8.6 Αύξηση κινητικότητας / Βελτιστοποίηση Διαπομπής (HO)

Η βελτιστοποίηση της αύξησης της κινητικότητας (MRO) καλύπτει την αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση των παραμέτρων οι οποίες έχουν επίπτωση στις διαπομπές (HOs), σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode) ή σε κατάσταση χρήσης (active mode), για να εξασφαλίσει την απόδοση και την υψηλή ποιότητα υπηρεσίας στον τελικό χρήστη ενώ ταυτόχρονα ελέγχει για πιθανές αλληλοεπιδράσεις με άλλες δυνατότητες του SON όπως το ANR και το LB.

Ενώ ο στόχος του MRO είναι ο ίδιος ανεξάρτητα από τη ράδιο-τεχνολογία (δηλαδή η βελτιστοποιημένες απόδοση της υπηρεσίας στον τελικό χρήστη και η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου), οι χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι και οι παράμετροι τους ποικίλλουν ανάλογα με το τεχνολογικό υπόβαθρο. Η περιγραφή για τα παρακάτω αφορά τα LTE έκδοση 8 και 9, με προσέγγιση μίας ζεύξης και την χρήσης διεπαφής X2 μεταξύ των eNodeBs.

Είτε με διανεμημένη είτε με συγκεντρωμένη εφαρμογή της λειτουργία του MRO (η διανεμημένη είναι πιο εφαρμόσιμη) υποτίθεται ότι θα υπάρξει συγκεντρωτικός έλεγχος OA&M από τον χειριστή του δικτύου για να μπορεί να ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί και διαμορφώνει τις ρυθμίσεις των σχετικού αλγόριθμου.

Οφέλη

Ο στόχος του MRO είναι να βελτιωθεί δυναμικά η απόδοση δικτύων όσο ν' αφορά τις διαπομπές (HO) προκειμένου να απολαμβάνουν οι χρήστες αυξημένη ποιότητας υπηρεσίας καθώς επίσης και να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με αυτόματη προσαρμογή των παραμέτρων των κυψελών ώστε να γίνει ρύθμιση του σημείου που θα γίνεται διαπομπή βασισμένη σε ανατροφοδότηση από δείκτες απόδοσης. Η αυτοματοποίηση αυτού ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη επέμβαση στην διαχείριση του δικτύου και τις εργασίες βελτιστοποίησης του.

2. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΣΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δίκτυα IP έχουν αυξηθεί εντυπωσιακά σε μέγεθος και λειτουργικότητα στην προηγούμενη δεκαετία και εξελίσσονται σε μια υποδομή επικοινωνίας παγκόσμιας υπηρεσίας.

Εκτός από τις παραδοσιακές βέλτιστης προσπάθειας υπηρεσίες δεδομένων, εγγυημένες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS) έχουν αρχίσει να επεκτείνονται πέρα από τα δίκτυα IP, για παράδειγμα, φωνή πάνω από IP (VoIP). Για να μειωθεί ο χρόνος αγοράς των νέων υπηρεσιών Διαδικτύου και να ελαττώσει τη λειτουργία/την ανάπτυξη/τις κύριες δαπάνες των φορέων παροχής υπηρεσιών (SPs), είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα νέο πλαίσιο παροχής υπηρεσιών από το οποίο το SPs μπορεί να δημιουργήσει και να επεκτείνει εγγυημένες υπηρεσίες QoS μέσω IP με έναν εξελικτικό, εύκαμπτο και αυτόματο τρόπο. Από τον κόσμο της τεχνολογίας πληροφοριών (IT), ο αυτόνομος υπολογισμός είναι ένα μέσο για την παροχή ενός συνόλου υπηρεσιών IT για μια κοινή υποδομή υπολογισμού. [10], [11] Το κύριο χαρακτηριστικό του αυτόνομου υπολογισμού είναι η αυτοματοποιημένη διαχείριση των υπολογιστικών πόρων, που καλύπτουν τα χαρακτηριστικά της αυτο-διαμόρφωσης, της αυτο-βελτιστοποίησης, της αυτό-ίασης και της αυτό-προστασίας. Η εφαρμογή των αυτόνομων διοικητικών αρχών για να εξασφαλίσουν την παράδοση των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών μέσω IP δικτύων είναι κατά ένα μεγάλο μέρος ανεξερεύνητη. Η αυτόνομη αρχιτεκτονική υπηρεσιών (ASA) που παρουσιάζεται παρακάτω απευθύνεται-καλύπτει αυτήν την ανάγκη. Πολλές μελέτες για τον αυτόνομο υπολογισμό ή την αυτόνομη διαχείριση επικεντρώνεται στην εφαρμογή της αυτόνομης έννοιας για μια εφαρμογή ή υπηρεσία. [12-15] Είναι μια γενική αρχιτεκτονική, για την αυτόνομη παροχή υπηρεσιών μέσω IP δικτύων.

Η αρχιτεκτονική ASA οδηγείται από την άποψη ότι ``κάθε πράγμα είναι ένα υπηρεσία `` από τις πιο σύνθετες εφαρμογές πολυμέσων έως την απλή παράδοση πακέτων IP και όλες οι υπηρεσίες οργανώνονται σε μια ιεραρχία υπηρεσιών. Χρησιμοποιώντας αυτήν την προοπτική υπηρεσιών, παρέχει ένα ομοιόμορφο πλαίσιο για την υπηρεσία και τη διαχείριση δικτύου μεταφοράς. Η παράδοση πακέτων IP και η αναμονή στην ουρά θεωρούνται οι βασικές υπηρεσίες, πάνω στις οποίες οι ανώτερες εφαρμογές στρώματος χτίζονται ως σύνθετες υπηρεσίες. Η ASA επιτρέπει στο δίκτυο για να ενορχηστρώσει από το η υπηρεσία, ο πόρος, ο λογαριασμός και η διαχείριση σφαλμάτων υπό την υψηλού επιπέδου πολιτική καθοδήγηση, όπου η αλληλεπίδραση με τους διαχειριστές περιορίζεται διευκρινίζοντας υπηρεσίες σύμφωνα με τις ανάγκες των πελατών και καθιέρωση των διοικητικών πολιτικών σύμφωνα με το QoS και τους στόχους εισοδήματος.

Αν και η ASA υποστηρίζει την αυτόνομη διαχείριση μέσω μιας γενικής αρχιτεκτονικής, αυτή η αρχιτεκτονική πρέπει να σταθεροποιηθεί και να υλοποιηθεί μέσω συγκεκριμένων τεχνολογιών, όπως η διαπραγμάτευση συμφωνίας επιπέδων εξυπηρέτησης (SLA), ο πολιτικός έλεγχος, η αποδοτική κατανομή των πόρων, καθώς επίσης και η αυτόματη διαχείριση υπολογισμού και κοστολόγησης.

SLAs είναι συμβάσεις μεταξύ των παροχέων υπηρεσιών και των πελατών που καθορίζουν, μεταξύ των άλλων, τις παρεχόμενες υπηρεσίες, τις μετρικές που συνδέονται με αυτές τις υπηρεσίες, τα αποδεκτά και τα μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης, οι ευθύνες-υποχρεώσεις του παροχέα υπηρεσιών- SP και του πελάτη και ενέργειες που λαμβάνονται στις συγκεκριμένες περιστάσεις. Το SLAs είναι κρίσιμο στην εγγύηση της παροχής υπηρεσιών. Η διαχείριση υπηρεσιών πρέπει να εξασφαλίσει ότι οι απαραίτητοι πόροι παρέχονται για να τηρήσουν - ικανοποιήσουν το SLA.

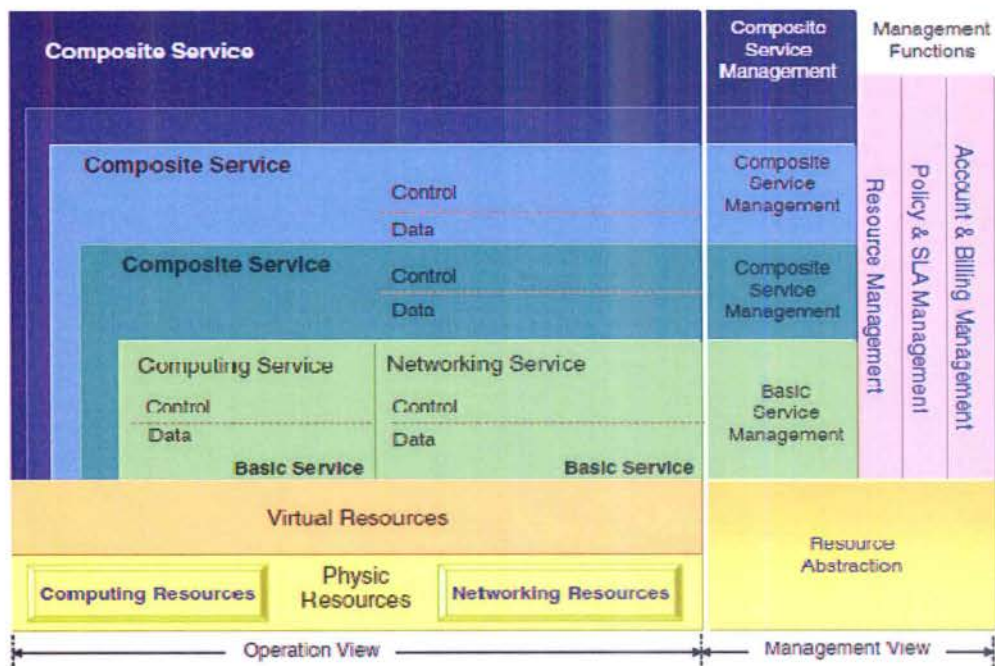
2.2 Autonomic Service Architecture

Οι φορείς που εμπλέκονται στην παράδοση μιας υπηρεσίας είναι οι πελάτες και το SPs. Αφού οι πελάτες και οι παροχείς υπηρεσιών - SPs διαπραγματεύονται οι υπηρεσίες που απαιτούνται και οι αντίστοιχες SLAs, η ASA θα διαχειριστεί αυτές τις υπηρεσίες με σκοπό να εξασφαλίσει ικανοποιητική παροχή υπηρεσιών χωρίς επέμβαση του παροχέα-SP.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μερικές χειρωνακτικές ενέργειες απαιτούνται για να ολοκληρώσουν τη διαδικασία παροχής υπηρεσιών, αλλά περιορίζονται σε λίγες υψηλού επιπέδου διαδικασίες όπως η καθιέρωση των διοικητικών πολιτικών και η διευκρίνιση νέων υπηρεσιών. Εάν τα προβλήματα που υφίστανται είναι πολύ περίπλοκα για να αντιμετωπιστούν από το αυτόνομο σύστημα, οι χειρωνακτικές ρυθμίσεις απαιτούνται.

Στην αρχιτεκτονική ASA, καθορίζεται μια υπηρεσία ως δέσμευση των πόρων για μια χρονική περίοδο σύμφωνα με μια συμβατική σχέση μεταξύ των πελατών και των παροχέων υπηρεσιών SPs. Οι πόροι μπορεί να είναι φυσικά ή λογικά συστατικά που χρησιμοποιούνται για να κατασκευάσουν τις υπηρεσίες. Όταν οι πελάτες αγοράζουν οποιαδήποτε υπηρεσία από το SP, μπορούν επίσης να προσφέρουν την αγορασμένη υπηρεσία σε άλλους πελάτες, που γίνονται SPs σε εκείνους τους πελάτες.

Τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής αυτόνομης υπηρεσίας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 11. Επίπεδα Αρχιτεκτονικής ASA

Το χαμηλότερο στρώμα αποτελείται από τους πραγματικούς φυσικούς πόρους, οι οποίοι εμπλέκονται στην παράδοση της υπηρεσίας. Το μεσαίο στρώμα αποτελείται από μια αφαίρεση των φυσικών πόρων στους εικονικούς πόρους, οι οποίοι διευκρινίζουν τα χαρακτηριστικά των φυσικών πόρων. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούνται από τις υπηρεσίες (βασικές και σύνθετες) οι οποίες είναι ιεραρχικά και κατ' επανάληψη συντίθεται χρησιμοποιώντας αυτούς τους φυσικούς και εικονικούς πόρους.

Κάθετα, οι υπηρεσίες μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες: λειτουργία και διαχείριση. Η λειτουργία, αποτελείται από τον έλεγχο και από τα επίπεδα δεδομένων από τις παραδοσιακές υπηρεσίες στα διαφορετικά στρώματα, ενώ η διοικητική άποψη αποτελείται από τις διοικητικές λειτουργίες που απαιτούνται για να διαχειριστεί τις παρεχόμενες υπηρεσίες.[16]

Οι λειτουργίες Διαχείρισης περιλαμβάνουν κυρίως τη διαχείριση των πόρων, την πολιτική και τη διαχείριση SLA, καθώς επίσης και τη διαχείριση λογιστικής και τιμολόγησης.

Σημειώστε ότι μια υποδομή μέτρησης απαιτείται σε μερικά σημεία ελέγχου στην περιοχή της SP, για να συγκεντρώσει τα ακατέργαστα στοιχεία απόδοσης.

2.2.1 Αποψη λειτουργίας

Η λειτουργία αποτελείται κυρίως από την επαναληπτική διάταξη σε στρώματα των υπηρεσιών (βασικών και σύνθετων), στην κορυφή των υποκείμενων λογικών και φυσικών πόρων.

Φυσικό επίπεδο πόρων : Αυτό το επίπεδο αποτελείται από τους φυσικούς πόρους που ο παροχέας- SP έχει στη διάθεσή της, οι οποίοι περιλαμβάνουν πόρους υπολογισμού και δικτύωσης (π.χ., δρομολογητές, μεταγωγείς, συνδέσεις, κεντρικοί υπολογιστές, και συσκευές αποθήκευσης).

Εικονικό επίπεδο πόρων: Η αρχιτεκτονική ASA καλύπτει-περιστοιχίζει τον ετερογενείς υπολογισμό, την αποθήκευση, και τη δικτύωση πόροι για να υποστηρίξει τις διάφορες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Το εικονικό επίπεδο των πόρων παρέχει μια ομοιόμορφη διεπαφή σε όλους τους φυσικούς πόρους, οι οποίοι θα απλοποιήσουν τη διαχείριση των πόρων, τη σύνθεση υπηρεσιών και τη δυναμική διανομή πόρων.

Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει επίσης έναν προσαρμοστή για να εφαρμόσει τη φυσική έως εικονική μετάφραση, δηλ. η μετάφραση από ένα χαμηλότερο ιδιόκτητο σχήμα στο σχήμα CRF. Η συγκεκριμένη εφαρμογή μεταφράσεων εξαρτάται από τους τύπους φυσικών πόρων

περιληφθείτε, τα οποία περιλαμβάνουν τρεις κατηγορίες: (α) ενιαίοι πόροι που αποτελούνται από έναν ενιαίο φυσικό πόρο όπως ένας δρομολογητής ή κεντρικοί υπολογιστές, (β) συγκεντρωμένοι πόροι που αποτελούνται από τους πολλαπλάσιους φυσικούς πόρους που συγκεντρώνονται από κοινού στην ίδια γεωγραφική θέση, και (γ) διανεμημένοι πόροι που αποτελούνται από τους πολλαπλούς φυσικούς πόρους, που διασκορπίζονται γεωγραφικά, αλλά που μπορούν να φανούν ως ένας συνολικός πόρος.

Επίπεδο βασικών υπηρεσιών: Σε μερικές περιπτώσεις, οι εικονικοί πόροι προσφέρονται στους πελάτες άμεσα από τον παροχέα υπηρεσιών –SP ως βασικές υπηρεσίες δικτύωσης, για παράδειγμα ως υπηρεσίες μεταφοράς IP εγγυημένου QoS. Σε άλλες καταστάσεις, οι βασικές υπηρεσίες, οι οποίες αγοράζονται από άλλο SP-παροχέα υπηρεσίας σύμφωνα με τα SLAs, γίνονται εικονικοί πόροι στη διάθεση της αγοράς.

Σύνθετο επίπεδο υπηρεσιών : Οι σύνθετες υπηρεσίες αποτελούνται από διάφορες βασικές υπηρεσίες ή/και σύνθετες υπηρεσίες.

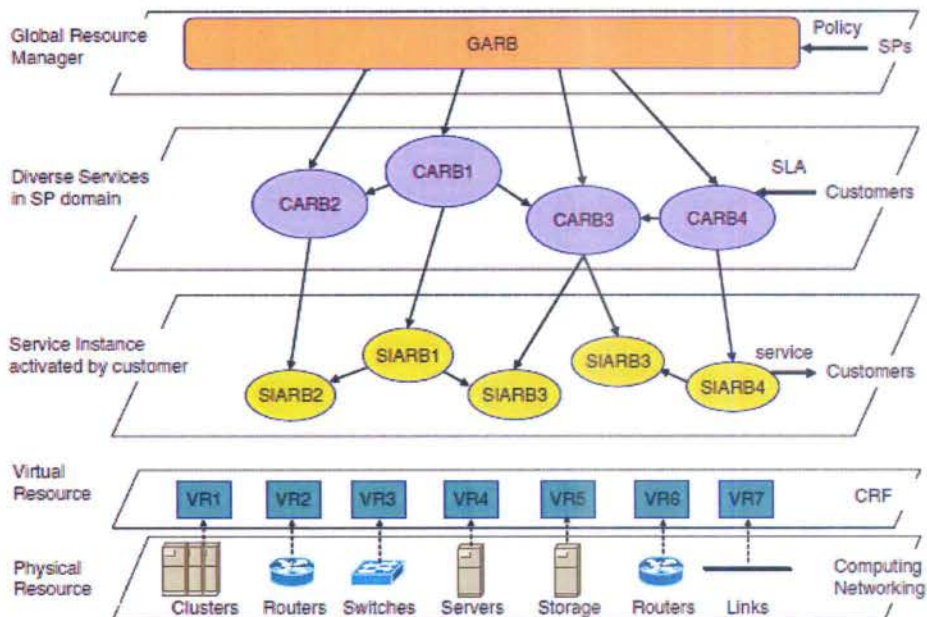
Οι ανώτατες σύνθετες υπηρεσίες στρώματος προσφέρονται άμεσα στους πελάτες. Η σύνθεση υπηρεσιών είναι ιεραρχική και επαναλαμβανόμενη, και συνεχίζεται έως ότου η επιθυμητή σύνθετη υπηρεσία είναι έτοιμη να προσφερθεί στους πελάτες.

2.2.2 Άποψη Διαχείρισης

Το κύριο καθήκον του ASA αποτελείται από αυτόνομη διαχείριση των πόρων στη διάθεση της SP με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι διακυμάνσεις απαιτήσεων των υπηρεσιών. Όλες οι λειτουργίες διαχείρισης (διαχείριση των πόρων, πολιτικής, SLA, λογιστικής και τιμολόγησης) εκτελούνται από αυτόνομες οντότητες, που ονομάζονται Autonomic Resource Broker (ARB), που είναι αυτό-διαχειριζόμενες και ο ρόλος τους είναι να εξασφαλίσουν αυτοματοποιημένη παράδοση των υπηρεσιών.

Μια βασική έννοια στην αυτόνομη αρχιτεκτονική υπολογισμού της IBM είναι το αυτόνομο στοιχείο, ένα συστατικό που είναι αρμόδιο για τη διαχείριση της συμπεριφοράς του σύμφωνα με τις υψηλού επιπέδου πολιτικές, και για την αλληλεπίδραση με άλλα αυτόνομα στοιχεία. Στο πλαίσιο ASA, οι ARBs είναι η αναλογία των αυτόνομων στοιχείων της IBM. Το ARB είναι το αρμόδιο συστατικό για τη διαχείριση των υπηρεσιών σύμφωνα με τις πολιτικές και το SLAs, αλληλεπιδρώντας με τους πόρους και με άλλο ARBs για να παρέχει ή να καταναλώσει τις υπηρεσίες.

Η ιεραρχία ARB παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

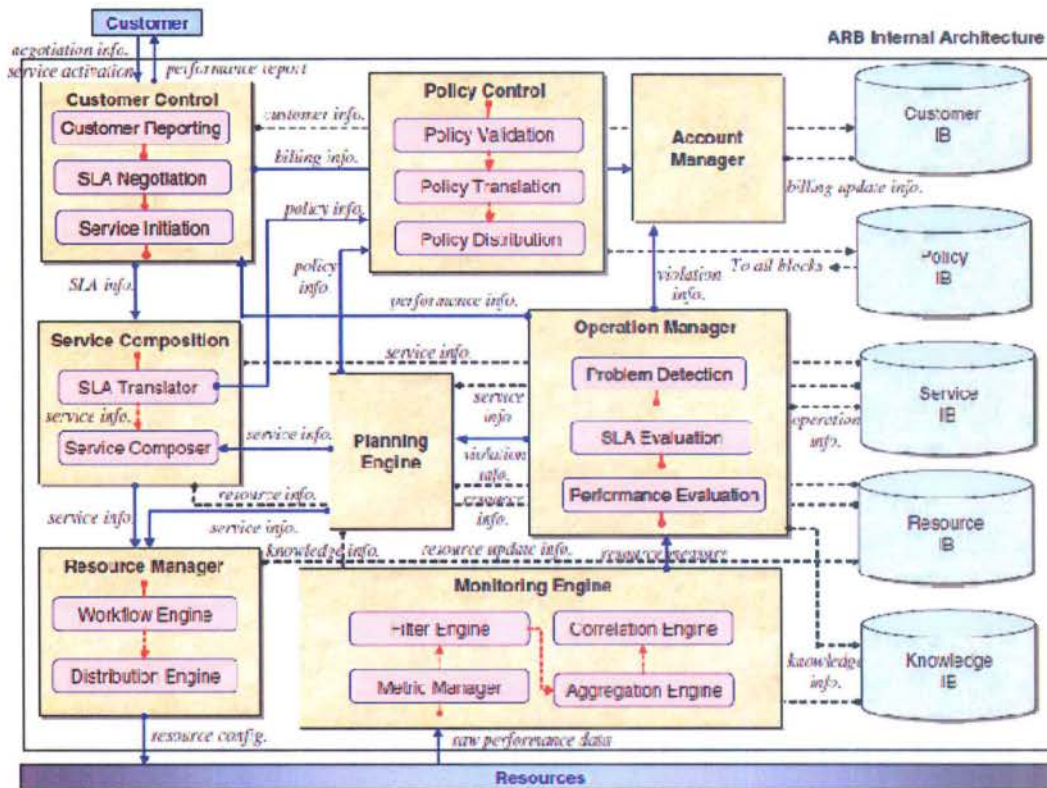


Σχήμα 12. Ιεραρχική Διαχείριση

Όταν οι πελάτες ενεργοποιούν τις περιπτώσεις υπηρεσιών, αυτές οι περιπτώσεις ρυθμίζονται από SIARBs (Service Instance ARBs). Οι πολλαπλές περιπτώσεις υπηρεσιών μιας ιδιαίτερης υπηρεσίας που προσφέρεται από μια SP ρυθμίζονται από τους CARBs (Composite ARBs). Οι διαφορετικές υπηρεσίες προσφέρονται από έναν παροχέα- SP και διαχειρίζονται από μια GARB (Global ARB), που χειρίζεται όλους τους διαθέσιμους πόρους στη διάθεση αυτού του παροχέα.

2.3 Autonomic resource broker architecture

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την εσωτερική αρχιτεκτονική του ARB.



Σχήμα 13 . Αρχιτεκτονική μεσίτη πόρων

2.3.1 Βάση πληροφοριών

Προκειμένου να εκτελεσθεί η αυτόνομη διαχείριση υπηρεσιών, το ASA πρέπει να διατηρήσει τις απαραίτητες πληροφορίες για το περιβάλλον υπηρεσιών. Οι βάσεις πληροφοριών είναι ταξινομημένες σε πέντε λογικές ομάδες:

- Βάση πληροφορίας πελάτη (CIB): περιέχει τις πληροφορίες σχετικές με τους πελάτες, όπως οι προσωπικές πληροφορίες, κατάλογος των εγγεγραμμένων υπηρεσιών και του ενημερωμένου λογαριασμού.
- Βάση πληροφοριών υπηρεσιών (SIB): περιέχει τις πληροφορίες για τις περιπτώσεις υπηρεσιών που ενεργοποιούνται από τους πελάτες, όπως τα μέρη που εμπλέκονται (πελάτες και SP) SLAs ρυθμίζοντας τη παροχή υπηρεσιών, τους τύπους των πόρων που απαιτούνται, το σχέδιο τιμολόγησης για κάθε υπηρεσία και την ιστορία λειτουργίας.
- Βάση πληροφοριών πόρων (RIB): περιέχει πληροφορίες για τους διαθέσιμους πόρους στη διάθεση της SP σε μία δεδομένη στιγμή, όπως οι τύποι των πόρων και ενημερωμένων ποσοτήτων διαθέσιμων κάθε μια.

- Βάση πληροφοριών πολιτικής (PIB): περιέχει τις πολιτικές που δημιουργούνται στο χρόνο εκτέλεσης ή που προκαθορίζονται από τους ανθρώπινους χειριστές.

Αυτές οι πολιτικές είναι βασισμένες στην υπηρεσία και χρησιμοποιούνται για να ρυθμίσουν τη λειτουργία κάθε συστατικού ARB, όπως ο έλεγχος της μηχανής, αξιολόγηση της απόδοσης, αξιολόγηση SLA, ανίχνευση προβλήματος, μηχανή προγραμματισμού, αναφορά πελατών, σύνθεση υπηρεσιών, διευθυντής-διαχειριστής των πόρων, διευθυντής υπολογισμού, καθώς επίσης και για να παρέχουν τα πρότυπα SLA για τις υπηρεσίες που παρέχονται.

- Βάση πληροφοριών γνώσης (KIB): περιέχει τις πληροφορίες για τη χρήση σε περίπτωση που προκύψουν προβλήματα. Μπορούν να ληφθούν ενέργειες θεραπείας που βασίζονται σε προηγούμενα περιστατικά του προβλήματος, όπως η περιγραφή του προβλήματος, η αιτία του προβλήματος, ο χρόνος που συμβαίνει, τα μέρη που εμπλέκονται, η λύση και το αποτέλεσμα της λύσης.

2.3.2 Έλεγχος πολιτικής

Το ASA χρησιμοποιεί πολιτικές για να λάβει αποφάσεις και να επιλέξει ένα ορισμένο σχέδιο δράσης. Αυτές οι πολιτικές θα μπορούσαν να δημιουργηθούν αρχικά από τους παροχείς- SPs, ή στο χρόνο εκτέλεσης ως αποτέλεσμα των ενεργοποιημένων υπηρεσιών. Αυτές οι πολιτικές μπορούν να ενημερωθούν όταν οι απαιτήσεις υπηρεσιών αλλάζουν και ποικίλλουν τα φορτία υπηρεσιών. Ο έλεγχος πολιτικής περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

(1) πολιτική επικύρωση: Μερικές φορές, η δημιουργία ή η αναπροσαρμογή των πολιτικών θα μπορούσε να οδηγήσει σε συγκρούσεις, στον πλεονασμό, στην ασυνέπεια και σε προβλήματα infeasibility. Ο ρόλος αυτού του συστατικού είναι να εξασφαλίσει ότι κανένα τέτοιο πρόβλημα δεν εμφανίζεται και για να τους θεραπεύσει εάν είναι δυνατό.

(2) πολιτική μετάφραση: Αυτό το συστατικό ερμηνεύει τις πολιτικές και τις μεταφράζει σε ένα κατανοητό σχήμα πριν από τη χρήση.

(3) πολιτική διανομή: Αυτό το συστατικό διανέμει τις πολιτικές στα συστατικά ARB που τις χρειάζονται.

2.3.3 Έλεγχος πελατών

Οι πελάτες και οι παροχείς υπηρεσιών - SPs πρέπει να αλληλεπιδράσουν προκειμένου να αγοράσουν τις υπηρεσίες με ένα ορισμένο SLA και έπειτα για να χρησιμοποιήσουν αυτές τις υπηρεσίες.

Ο έλεγχος πελατών αποτελεί αυτήν την αλληλεπίδραση. Το SLA αρχικά διαπραγματεύεται μεταξύ των δύο συμβαλλόμενων μερών και αργότερα οι πελάτες ενεργοποιούν τις υπηρεσίες.

1. Διαπραγμάτευση SLA: Η διαπραγμάτευση SLA αποτελείται από δύο κύρια βήματα: (α) παράγοντας τη σύμβαση από τον παροχέα υπηρεσιών-SP κρατά τα ταξινομημένα πρότυπα συμβάσεων έτσι ώστε οι συμβάσεις να μπορούν να προσαρμοστούν σύμφωνα με τους τύπους πελατών χρησιμοποιώντας πολιτικές (β) έγκριση της σύμβασης από τους πελάτες - οι πελάτες συμπληρώνουν τα πεδία συμβάσεων κατάλληλα και ο SP-παροχέας υπηρεσίας ελέγχει την ισχύ των καταχωρήσεων. Εάν είναι σωστή, η σύμβαση μεταφράζεται σε πληροφορίες πελατών και πληροφορίες τιμολόγησης, οι οποίες κρατιούνται στο CIB. Οι πληροφορίες που εισάγονται από τον πελάτη επάνω στη συνδρομή υπηρεσίας, καλείται πληροφορία διαπραγμάτευσης και μόλις η διαπραγμάτευση είναι επιτυχής, στέλνεται ως πληροφορίες SLA στο τμήμα σύνθεσης υπηρεσιών για τη μετάφραση SLA.

2. Έναρξη υπηρεσιών: Μόλις συμφωνηθεί το SLA και αποθηκευτεί για μια ειδική υπηρεσία, οι περιπτώσεις υπηρεσιών μπορούν να ενεργοποιηθούν από τους πελάτες. Η ενεργοποίηση γίνεται μέσω του τμήματος έναρξης υπηρεσιών, το οποίο ανακτά τις πληροφορίες υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας το μεταφραστή SLA στο τμήμα σύνθεσης υπηρεσιών και το στέλνει στην υπηρεσία σύνθεσης.

3. Πελάτης που υποβάλλει αναφορά : Το SLA επιτρέπει στους πελάτες την πρόσβαση στον έλεγχο της απόδοσης υπηρεσιών, έτσι ώστε να έχουν την ελευθερία να γίνει μεταγωγή, εάν η απόδοση δεν είναι ικανοποιητική.

2.3.4 Σύνθεση υπηρεσιών

Αυτό το συστατικό χειρίζεται τη σύνθεση των υπηρεσιών στην ενεργοποίηση υπηρεσιών από τους πελάτες και προσδιορίζει τους πόρους που απαιτούνται για κάθε ενεργοποιημένη περίπτωση υπηρεσιών.

1. Μεταφραστής SLA: Με βάση τις πληροφορίες SLA που λαμβάνονται από το τμήμα ελέγχου πελατών, μερικές πολιτικές θα μπορούσαν να δημιουργηθούν κατά τη μετάβαση. Επιπλέον, αυτές οι πληροφορίες SLA μεταφράζονται σε έναν κατάλογο που περιέχει τον τύπο και το ποσό των πόρων που απαιτούνται για να υποστηρίξουν την ενεργοποιημένη υπηρεσία. Αυτό είναι μέρος της αυτο-διαμόρφωσης της ASA.

2. Συνθέτης υπηρεσιών : Όταν η υπηρεσία που ενεργοποιείται από τον πελάτη είναι σύνθετη, ο συνθέτης υπηρεσιών χρειάζεται να βελτιστοποιήσει τη σύνθεση, επιλέγοντας βασικές υπηρεσίες ή χαμηλού επιπέδου σύνθετες υπηρεσίες και τις ποσότητές τους κατάλληλα. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης για τη σύνθεση υπηρεσιών διατυπώνεται από τον παροχέα- SP αρχικά, σύμφωνα με τον τύπο υπηρεσιών και τους πόρους που η υπηρεσία έχει ανάγκη, και έπειτα αυτό λύνονται για να μεγιστοποιήσουν ή να ελαχιστοποιήσουν μια ορισμένη αντικειμενική

λειτουργία ανάλογα με τις πολιτικές και τους στόχους από τους παροχείς -SP, για παράδειγμα, μεγιστοποιώντας το εισόδημα ή ελαχιστοποιώντας το κόστος λειτουργίας. Οι προκύπτουσες πληροφορίες υπηρεσιών στέλνονται έπειτα στο διευθυντή των πόρων για την κατάλληλη κατανομή των πόρων. Αυτό είναι μέρος των διαδικασιών αυτο-διαμόρφωσης και αυτό-βελτιστοποίησης της αρχιτεκτονικής ASA.

2.3.5 Διαχειριστής πόρων

Οι απαραίτητοι πόροι πρέπει να κατανεμηθούν στην υπηρεσία που ενεργοποιείται. Το κατάλληλο ARBs ή/και οι πόροι ενημερώνονται για την απόφαση σχετικά με την παροχή των αναγκαίων πόρων.

1. Μηχανή Workflow : Η διαδικασία κατανομής των πόρων μετατρέπεται σε μια ροή, για παράδειγμα, εγκαθιστώντας νέα ποσά πελατών, κατανέμοντας τα μέσα, αποφασίζοντας για την κατηγορία QoS over IP και διαμορφώνοντας το χρονοπρογραμματιστή και το διευθυντή buffer σε κάθε άλμα για να εγγυηθεί ένα επίπεδο QoS.

2. Μηχανή κατανομής : Οι ενέργειες που αποφασίζονται από τη μηχανή Workflow κατανέμονται στον κατάλληλο ARBs και στους κατάλληλους πόρους και η εκτέλεσή τους ελέγχεται. Η μηχανή κατανομής είναι η διεπαφή μεταξύ του ARB και των λογικών και φυσικών πόρων.

Η σύνθεση υπηρεσιών και η διαχείριση των πόρων κανονικά υφίσταται διαστασιοποίηση δικτύου και διαμόρφωση δικτύου, όταν εξετάζονται οι μεγάλοι πελάτες ή στην περίπτωση που εξετάζονται μικρότεροι πελάτες υφίσταται σύνδεση αποδοχής ελέγχου και διαχείριση πόρων ανά ροή.

2.3.6 Μηχανή Ελέγχου

Η λειτουργία αυτό-οργάνωσης του ARB βασίζεται στα δεδομένα απόδοσης που συλλέγονται από τη μηχανή ελέγχου. Αυτό το συστατικό ελέγχει τους πόρους και τους φυσικούς και τους εικονικούς και παράγει τις συνολικές μετρικές όπως το πραγματικό ποσοστό στοιχείων πελατών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαβιβάζονται στο διευθυντή λειτουργίας για ανάλυση.

1. Μετρικός διευθυντής: Υπάρχει μια ανάγκη να ποσολογηθούν τα ανεπεξέργαστα δεδομένα μέτρησης με ένα κοινό σχήμα κατανοητό από τα συστατικά ARB προκειμένου να πάρουν σωστές αποφάσεις. Αυτό το συστατικό εξασφαλίζει ότι, τα ακατέργαστα δεδομένα μέτρησης που συλλέγονται προσαρμόζονται στο σχήμα CRF.

2. Μηχανή φίλτρου : Για να αποφευχθεί η υπερφόρτωση, τα συστατικά ARB με τα ανεπεξέργαστα δεδομένα μέτρησης χρειάζονται φιλτράρισμα, για να απομονώσουν τα ανεπιθύμητα δεδομένα.

Η ανταλλαγή είναι μεταξύ της ακρίβειας και των γενικών εξόδων των μετρήσεων. Ο ακριβέστερος τα αποτελέσματα πρέπει να είναι, οι περισσότερες μετρήσεις που πρέπει να εκτελέσουμε.

3. Μηχανή συνάθροισης: Τα αποτελέσματα μέτρησης αφού φιλτραριστούν μπορούν να αθροιστούν εάν απαιτείται μια νέα μετρική που είναι μια λειτουργία συνδυασμού (π.χ. άθροισμα, μέσος όρος, μέγιστο ή ελάχιστο) μετρήσεων.

4. Μηχανή συσχετισμού: Η μηχανή συσχετισμού συσχετίζει τις φιλτραρισμένες μετρήσεις και ανιχνεύει τις σύνθετες καταστάσεις, χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως ο χωρικός/χρονικός συσχετισμός και η πρόβλεψη.

2.3.7 Διαχειριστής λειτουργίας

Προκειμένου να ληφθούν κατάλληλες διορθωτικές δραστηριότητες που θα εξασφαλίσουν βέλτιστη λειτουργία στην περιοχή του παροχέα υπηρεσίας- SP, ένα συστατικό ARB απαιτείται για να αναλύσει τις μετρήσεις που στέλνονται από τη μηχανή ελέγχου, με σκοπό να ανιχνευθεί οποιαδήποτε ανώμαλη συμπεριφορά που προκύπτει από ελαττώματα, την παραβίαση PSLA και τη sub-optimal απόδοση. Ο Διευθυντής λειτουργίας και η μηχανή προγραμματισμού είναι τα κύρια συστατικά που παρέχουν στο ARB χαρακτηριστικά αυτο-βελτιστοποίησης, αυτό-ίασης και αυτο-προστασίας.

1. Ανίχνευση προβλήματος: Τα ελαττώματα μπορούν να εμφανιστούν όταν τα τμήματα υπολογισμού ή δικτύωσης αποτυγχάνουν. Υπερφορτώσεις μπορούν εμφανιστούν όταν η ζήτηση για ένα ιδιαίτερο συστατικό υπερβεί την ικανότητα του συστατικού. Συμφόρηση μπορεί να συμβεί όταν η απόδοση μερικών συστατικών υποβιβαστεί λόγω του υπερβολικού φορτίου. Αυτό είναι μέρος της αυτό-ίασης του ASA.

2. Αξιολόγηση SLA: Το SLAs αξιολογείται και οι παραβιάσεις που ανιχνεύονται στέλνονται στη μηχανή προγραμματισμού για κατάλληλο προγραμματισμό και εάν είναι απαραίτητο, για τις κατάλληλες ρυθμίσεις για το λογαριασμό πελατών αποθηκεύονται στο CIB. Αυτό είναι μέρος της αυτό-βελτιστοποίησης του ASA.

3. Αξιολόγηση απόδοσης: Όταν η λειτουργία υπηρεσιών είναι ικανοποιητική, ARB εξασφαλίζει ότι οι πόροι κατανέμονται βέλτιστα χρησιμοποιώντας λειτουργίες βελτιστοποίησης. Είναι μέρος της αυτο-βελτιστοποίησης του ASA.

2.3.8 Μηχανή Σχεδιασμού

Αυτό το συστατικό είναι ο εγκέφαλος του ARB για να επιτύχει την αυτο-βελτιστοποίηση, την αυτο-προστασία και τις αυτό-θεραπευτικές πτυχές των αυτόνομων συστημάτων. Τα δεδομένα εισαγωγής στη μηχανή προγραμματισμού είναι:

- Πληροφορίες υπηρεσιών, δηλ. οι απαιτήσεις απόδοσης για τις υπηρεσίες (SLAs), που λαμβάνονται από τη βάση πληροφοριών υπηρεσιών.
- Πληροφορίες πολιτικής που περιορίζει τις λύσεις, δηλ. πολιτικές που περιορίζουν την κατανομή των πόρων, που λαμβάνεται από τη βάση πολιτικών πληροφοριών.
- Πληροφορίες των πόρων που εξάγονται από τη λίμνη των πόρων που παρακολουθεί τους διαθέσιμους πόρους στη διάθεση του παροχέα υπηρεσίας- SP, που λαμβάνεται από τη βάση πληροφοριών των πόρων.
- Πληροφορίες γνώσης που περιέχουν προηγούμενες συγκρίσιμες καταστάσεις, όπου οι υποστηριγμένες λύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί της διαμόρφωσης νέων, που λαμβάνονται από τη βάση πληροφοριών γνώσης.
- Πληροφορίες παραβίασης που αποτελούνται από τα αποτελέσματα που δίνονται από το διεθυντή λειτουργίας, όπως η ανίχνευση προβλήματος, οι παραβιάσεις SLA και η sub-optimal απόδοση.

Τα αποτελέσματα- οι έξοδοι που μπορούν να παραχθούν είναι:

- Οι αλλαγές στο συνθέτη υπηρεσιών για παράδειγμα, πόροι χρειάζονται για να καλύψουν τις απαιτήσεις υπηρεσιών, τα σχέδια ανακατανομής για να βελτιώσει την απόδοση υπηρεσιών, υπό μορφή πληροφοριών υπηρεσιών.
- Αλλαγές στο διεθυντή των πόρων όταν τα προβλήματα δεν απαιτούν ανασύνθεση της υπηρεσίας.
- Αλλαγές στις πολιτικές που ρυθμίζουν τη λειτουργία των συστατικών ARB, υπό μορφή πολιτικών πληροφοριών.

2.3.9 Διαχειριστής Λογαριασμού

Ο διαχειριστής λογαριασμών κάνει ρυθμίσεις για ένα λογαριασμό ενός συγκεκριμένου πελάτη, όταν SLA παραβιάζεται. Οι ρυθμίσεις εξαρτώνται από το σύνολο των πολιτικών για τους λογαριασμούς από τον παροχέα υπηρεσίας-SP. Αυτό είναι μέρος της αυτό-ΐασης της ASA.

3. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ FOCALÉ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τρέχοντα δίκτυα επικοινωνιών φωνής και δεδομένων παρουσιάζουν ένα σύνολο δύσκολων ζητημάτων διαχείρισης. Τα παρακάτω προβλήματα προκαλούνται από την ανικανότητα να ρυθμιστεί η αύξηση στο σύστημα και στην επιχειρησιακή πολυπλοκότητα.

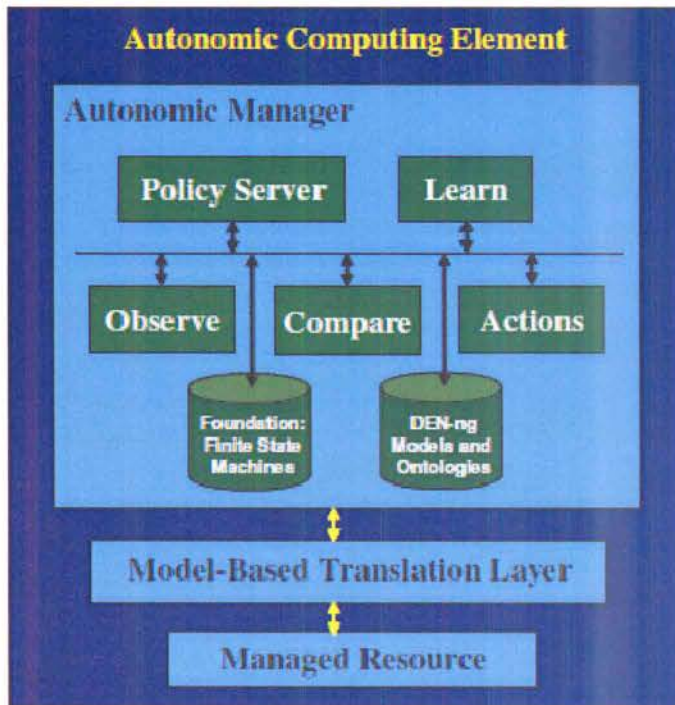
1. Ο διαχωρισμός των ειδικών επιχειρησιακών και τεχνολογικών πληροφοριών που σχετίζονται με το ίδιο θέμα
2. Η ανικανότητα να εναρμονιστεί τα δεδομένα διαχείρισης δικτύου που είναι διαφορετικά
3. Η ανικανότητα να αντιμετωπιστεί η νέα λειτουργικότητα και οι νέες τεχνολογίες λόγω της έλλειψης μιας κοινής φιλοσοφίας δράσης που χρησιμοποιείται από όλα τα στοιχεία
4. Η απομόνωση των κοινών δεδομένων.
5. Η ανικανότητα να ανταποκριθούν στο χρήστη και στις περιβαλλοντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των συστημάτων.

Η τιμή που έχει καταβληθεί είναι η αυξανόμενη πολυπλοκότητα της εγκατάστασης, της συντήρησης, της διαμόρφωσης και του συντονισμού των συστημάτων, περιπλέκοντας τη διοίκηση και τη χρήση του συστήματος. Η επιχειρησιακή πολυπλοκότητα αυξάνεται επίσης, με τους τελικούς χρήστες που θέλουν περισσότερη λειτουργικότητα και απλότητα. Αυτό απαιτεί μια αύξηση στη "νοημοσύνη" του συστήματος, το οποίο είναι όπου η αυτονομία θα εισέλθει.

Εάν ο αυτόνομος υπολογισμός, πρόκειται να πραγματοποιηθεί, τότε οι ανάγκες της επιχείρησης πρέπει να τρέξουν τις υπηρεσίες που το δίκτυο παρέχει. Αυτό είναι ο θεμελιώδης στόχος της αυτόνομης αρχιτεκτονικής δικτύωσης, FOCALÉ, τα αρχικά της οποίας την ίδρυμα-παρατήρηση-συγκρίνω-πράξη-εκμάθηση του περιβάλλοντος. Αυτή η αρχιτεκτονική αναπτύσσει έναν νέο βρόχο ελέγχου μέσω ολοκληρωμένης μοντελοποίησης, γνώσεις εφαρμοσμένης μηχανικής, και πολιτικής διαχείρισης.

3.2 Η αρχιτεκτονική - FOCALÉ

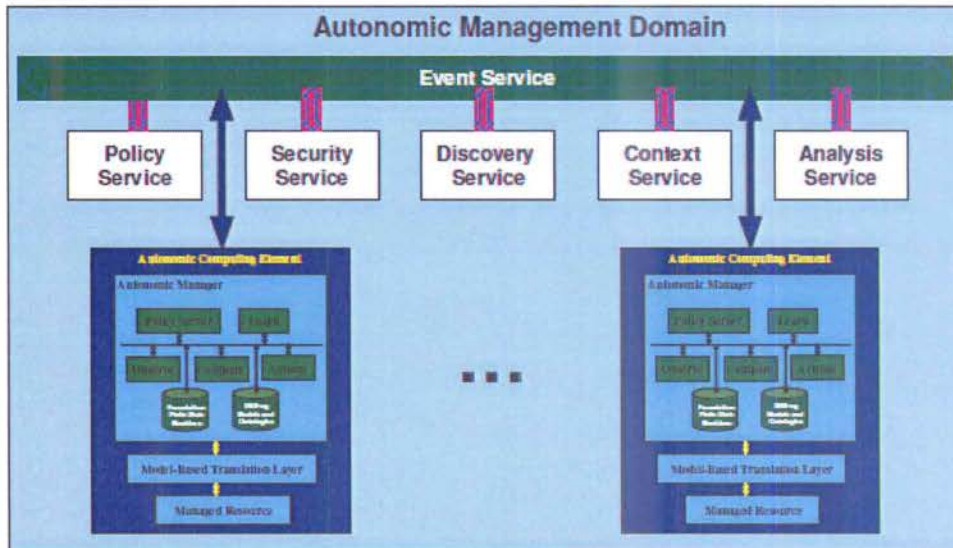
Τα αρχικά του όρου FOCALÉ προέρχονται από τα αρχικά των παρακάτω λέξεων : Foundation, Observation, Comparison, Action, Learning Environment που σημαίνουν ίδρυμα, παρατήρηση, σύγκριση, δράση και μαθησιακό περιβάλλον. Το πρώτο βήμα για την αρχιτεκτονική FOCALÉ παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



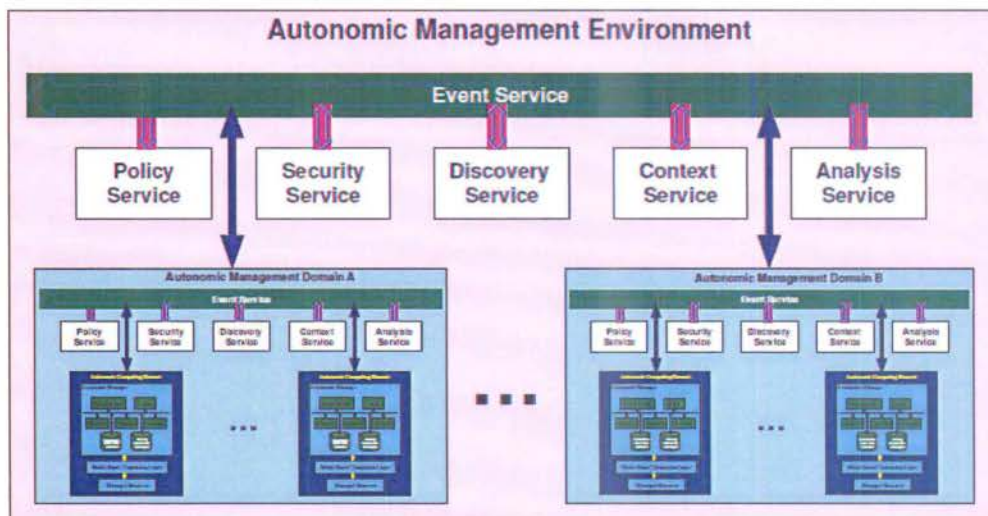
Σχήμα 14 . FOCAL- Αυτόνομο υπολογιστικό στοιχείο [18]

Αυτή η προσέγγιση υποθέτει ότι οποιοδήποτε υπό διαχείριση στοιχείο-Managed Element (που μπορεί να είναι τόσο απλό όσο μια διεπαφή συσκευών ή τόσο σύνθετο όσο ένα ολόκληρο σύστημα ή δίκτυο) μπορεί να μετατραπεί σε αυτόνομο στοιχείο υπολογισμού – Autonomic Computing Manager (ACE). Αυτό γίνεται με τη σύνδεση του υπό διαχείριση στοιχείου με τον ίδιο αυτόνομο διαχειριστή-Autonomic Manager (AM) χρησιμοποιώντας το Model-Based Translation Layer (MBTL). Με την ενσωμάτωση του ίδιου AM και της ίδιας μηχανής MBTL σε κάθε ACE, παρέχεται μια ομοιόμορφη λειτουργία διαχείρισης σε όλο το αυτόνομο σύστημα.

Αυτό επεκτείνεται έπειτα, πρώτα σε έναν ομοιόμορφο αυτόνομο τομέα διαχείρισης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα : 15 και έπειτα σε ένα αυτόνομο περιβάλλον διαχείρισης όπως φαίνεται στο σχήμα:16. Αυτό αποτελείται από ένα σύνολο αυτόνομων τομέων διαχείρισης.



Σχήμα 15. Τομέας αυτόνομης διαχείρισης [18]



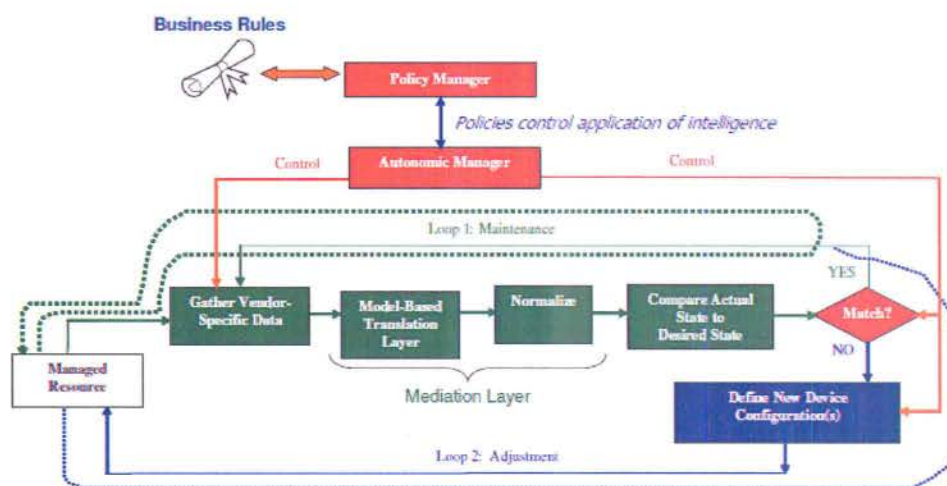
Σχήμα 16. Περιβάλλον αυτόνομης διαχείρισης [18]

Η αρχιτεκτονική FOCALE χρησιμοποιεί την ακόλουθη προσέγγιση για να κάνει αυτόν τον μετασχηματισμό:

1. Αρχικά, χρησιμοποιούνται τα πρότυπα πληροφοριών/δεδομένων DEN-ng και οι οντολογίες για να δημιουργηθεί η βάση - ένα σύνολο μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων (FSMs) που καθορίζουν την επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος.
2. Κατόπιν, διαμορφώνεται ένα στρώμα μεσολάβησης μεταξύ του υπό διαχείριση στοιχείου-Managed Element και του AM χρησιμοποιώντας το στρώμα MBTL. Αυτό

μεταφράζει τα δεδομένα συγκεκριμένου προμηθευτή, σε μια μορφή που ο αυτόνομος διαχειριστής-AM μπορεί να επεξεργαστεί. Ομοίως, επιτρέπει στον AM να καθορίσει τις ενέργειες, που μεταφράζονται σε εντολές ίδιες ως προς τον πωλητή. Εάν υπάρχουν πολλαπλά στοιχεία διαχείρισης που χρησιμοποιούν διαφορετικές γλώσσες, τότε οι πολλαπλές λεπίδες χρησιμοποιούνται για να μεταφράσουν τις εντολές και τα δεδομένα κάθε διαφορετικού υπό διαχείριση στοιχείου σε μια κοινή μορφή.

3. Σε αυτό το σημείο, μπορεί να χτιστεί ο βασικός βρόχος ελέγχου που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 17. Αυτόνομος βρόχος ελέγχου βασισμένος στην πολιτική [18]

a) Τα δεδομένα αισθητήρα από το υπό διαχείριση στοιχείο-ME αναλύονται για να καθορίσει εάν η τρέχουσα κατάσταση του υπό διαχείριση στοιχείου είναι ισοδύναμη με την επιθυμητή κατάστασή της. Εάν είναι, η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

b) Εάν δεν είναι, κατόπιν το AM εξετάζει τα δεδομένα.

Εάν ο AM καταλαβαίνει ήδη τα δεδομένα, κατόπιν συνεχίζει να εκτελεί τις διαδικασίες που εκτελούσε. Διαφορετικά, ο AM προσπαθεί να καταλάβει τα δεδομένα. Αποτελείται από ένα σύνολο βημάτων που αρχίζουν με την εξέταση των προτύπων και των οντολογιών για να αναπτύξουν τη γνώση σχετικά με τα λαμβανόμενα δεδομένα.

Αυτή η γνώση σηματοτροφοδοτείται έπειτα σε ένα σύνολο βασισμένων στη μηχανή αλγορίθμων εκμάθησης και συλλογισμού που συλλογίζονται για τα λαμβανόμενα δεδομένα. Για παράδειγμα εάν τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν ένα πρόβλημα, κατόπιν οι αλγόριθμοι δοκιμάζουν και καθορίζουν την πρωταρχική αιτία του προβλήματος. Βρίσκοντας μια αιτία, εκδίδονται οι ενέργειες, που μεταφράζονται

στις ίδιες ως προς τον πωλητή εντολές από το MBTL και εφαρμόζονται στα κατάλληλα διοικούμενα στοιχεία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τα διοικούμενα στοιχεία που δεν ήταν η αιτία του προβλήματος ή δεν ελεγχόταν. Ο κύκλος έπειτα επαναλαμβάνεται, εκτός από το ότι γενικά τα σημεία ελέγχου θα έχουν αλλάξει για να εξασφαλίσουν ότι οι εντολές επανασηματισμού είχαν την επιθυμητή επίδρασή τους.

4. Ένας ή περισσότεροι αλγόριθμοι μηχανής εκμάθησης, χρησιμοποιούνται για να αποκτήσουν την εμπειρία από το περιβάλλον και για να βοηθήσουν τη διαδικασία συλλογισμού.

5. Ο εξυπηρετητής πολιτικής εξυπηρετεί δύο σκοπούς:

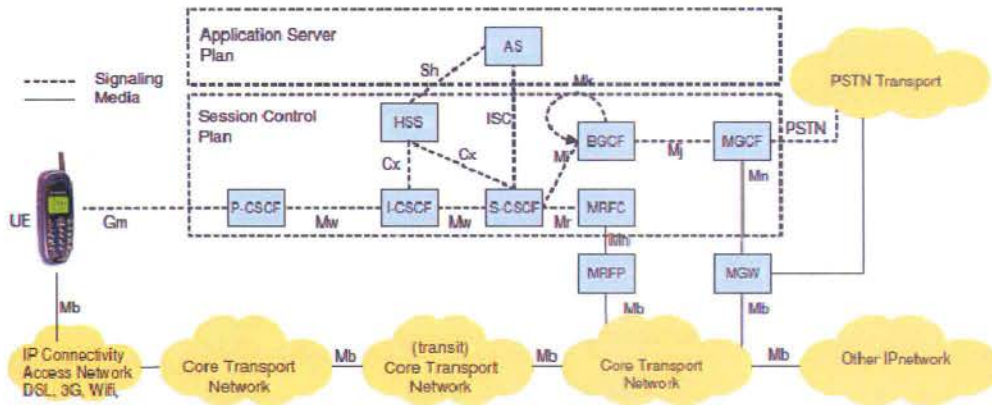
- να ελέγξει τη δράση για κάθε ένα από τα τμήματα ACE
- να έχει διεπαφή με τον εξωτερικό κόμβο (άνθρωποι και μηχανές, όπως ACEs).

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαφορετικές μελέτες που επεξηγούν τη χρήση της αρχιτεκτονικής FOCALÉ.

3.3 Εφαρμογή FOCALÉ πέρα από τα 3G δίκτυα

Αυτό το τμήμα δείχνει πώς η αρχιτεκτονική FOCALÉ θα μπορούσε να επεκταθεί σε ένα σύνθετο περιβάλλον, όπως τα 3G (B3G) δίκτυα. [20] Αυτό το περιβάλλον επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε ένα χαρτοφυλάκιο υπηρεσιών των υποσυστημάτων πολυμέσων Διαδικτύου (IMS) από διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης (π.χ. διαφορετικές ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες (UMTS, Wi-Fi, WiMax, xDSL) [21] που κατέχονται από διαφορετικούς χειριστές.

Τα αναπτυγμένα συστήματα διαχείρισης είναι πιθανό να είναι ετερογενή ακόμη και για την ίδια τεχνολογία, όπως οι χειριστές δεν χρησιμοποιούν απαραίτητως το ίδιο σύστημα διαχείρισης και το πιο σημαντικό, όχι το ίδιο πρότυπο πληροφοριών. Έτσι, η υποστήριξη διατεματικής ποιότητα εξυπηρέτησης είναι μια μεγάλη πρόκληση για τους φορείς παροχής υπηρεσιών. Η διαχείριση αυτού του περιβάλλοντος μπορεί να γίνει πολύ σύνθετη, καθώς ο αριθμός των συστατικών για να διαχειριστεί χωριστά και συνολικά μπορεί να είναι μεγάλος και σύνθετος, ξεπερνώντας την ικανότητα των ανθρώπινων χειριστών.



Σχήμα 18. Στοιχεία και τομείς σε ένα B3G περιβάλλον [18]

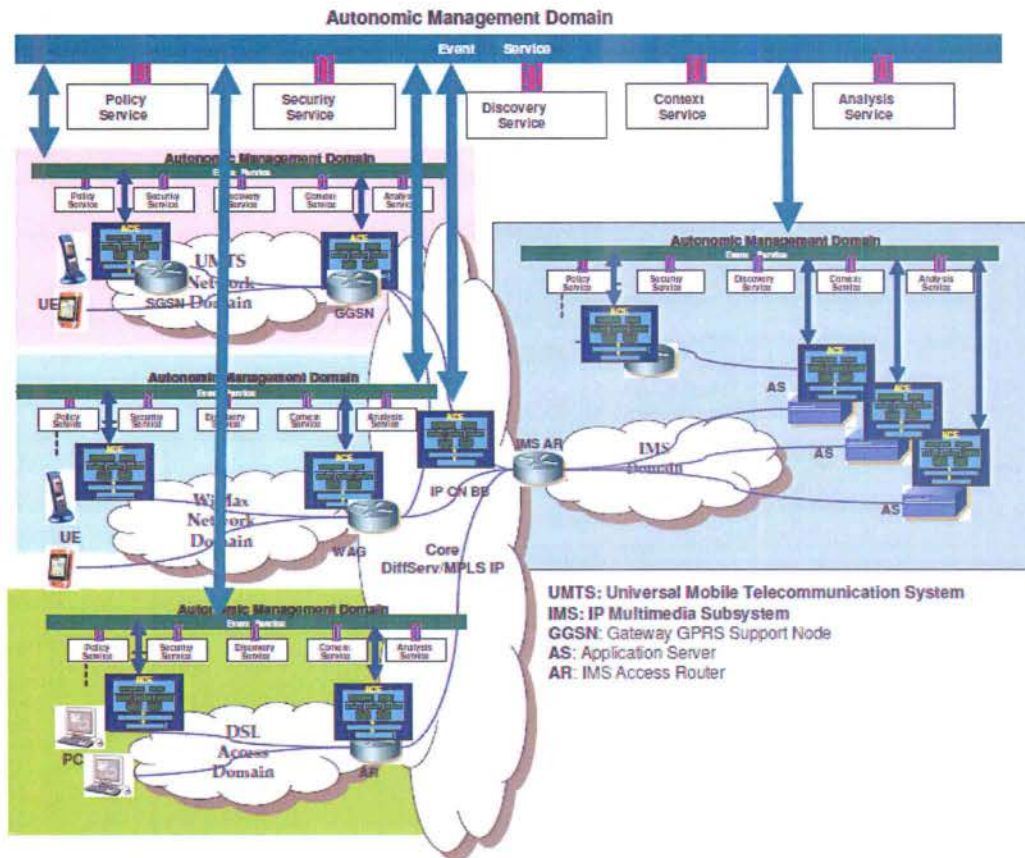
Το παραπάνω σχήμα παρουσιάζει πολλαπλούς τομείς. Εξετάζεται μόνο το δίκτυο πρόσβασης και οι τομείς κινητού δικτύου, ο τομέας του δικτύου κορμού μεταφοράς και ο τομέας IMS. Κάθε τομέας θα ρυθμιστεί από μια ιδιαίτερη διοικητική λύση χειριστών με τα εργαλεία και το πρότυπο πληροφοριών του. Οι έννοιες αυτού του εγγράφου εφαρμόζονται ως εξής:

- Το αυτόνομο περιβάλλον διαχείρισης (AME) είναι αρμόδιο για την εξασφάλιση διατεματικών υπηρεσιών.
- Ο τομέας αυτόνομης διαχείρισης (AMD) είναι αρμόδιος για την αυτόνομη διαχείριση μιας ιδιαίτερης διοικητικής περιοχής
- Το αυτόνομο τμήμα υπολογισμού (ACC) που είναι αρμόδιο για την αυτόνομη διαχείριση των πόρων (αυτός ο τομέας μπορεί να αποσυνθεθεί κατ' επανάληψη σε άλλους τομείς).
- Ο φυλλικός τομέας μπορεί ο ίδιος να αποσυνθεθεί σε έναν αριθμό ACCs που ελέγχει κάθε επιμέρους συστατικό στον φυλλικό τομέα.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να αποσυνδεθεί το παραπάνω περιβάλλον σε τομείς. Για παράδειγμα, ένα κατώτατο σημείο της προσέγγισης, που αρχίζει από το υπό διαχείριση στοιχείο, μπορεί να καθοριστεί, όπου η κοκκιότητα είναι μια λειτουργία του AC και το ελάχιστο μέγεθος του ACD.

Τότε, κάθε ACD μπορεί να ομαδοποιηθεί σε ένα AMD. Κάθε AMD μπορεί ομοίως να είναι κατ' επανάληψη ομαδοποιημένο σε ένα AME. Ένας προμηθευτής μπορεί έτσι να διαχειριστεί την κατάλληλη οντότητα (AC, ACD, AMD ή AME) που αντιστοιχεί καλύτερα στην πραγματική τους επέκτασή. Είναι επίσης δυνατό να κατασκευαστεί ένα AME για να απεικονίσει ένα σύστημα διασταυρωτικού τομέα. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ AMDs μπορεί να είναι πολύ σύνθετη δεδομένου ότι μόνο μια περιορισμένη προσαρμογή συμπεριφοράς (μέσω της επιβολής στόχου) μπορεί να επιτραπεί μεταξύ των διάφορων AMDs (δηλ. σε περίπτωση εικονικού φορέα παροχής υπηρεσιών που αναπτύσσει δραστηριότητες στην κορυφή διάφορων χειριστών προμηθευτών δικτύων).

Το παρακάτω σχήμα δίνει ένα παράδειγμα υποστασιοποίησης FOCALE σε αυτό το σύνθετο περιβάλλον που δείχνει πώς η επαναλαμβανόμενη διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί από πάνω προς τα κάτω μέχρι την κατασκευή ενός αυτόνομου περιβάλλοντος υπηρεσιών IMS.



Σχήμα 19. Εφαρμογή της αρχιτεκτονικής FOCALE στη διαχείριση των B3G δικτύων [18]

Η αναδρομική επέκταση της αρχιτεκτονικής FOCALE απλοποιεί τη διαχείριση ενός σύνθετου B3G περιβάλλοντος δικτύου. Μια από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση αρχίζει στρέφοντας τον εξοπλισμό και τους κεντρικούς υπολογιστές σε AMC's και έπειτα το AMC's σε ένα AMD. Ο φορέας παροχής υπηρεσιών μπορεί να αρχίσει με μια από επάνω προς τα κάτω προσέγγιση καθορίζοντας το υψηλό επίπεδο AME. Το σύστημα απεικονίζει έπειτα την επιθυμητή συμπεριφορά του AMDs. Οι ενέργειες σε αυτό το επίπεδο έγιναν στόχοι σε χαμηλότερο επίπεδο, και ούτω καθ'εξής, έως ότου φθάνουμε σε ACs. Κάθε χειριστής θα καθορίσει τους επιχειρησιακούς του στόχους για να επιβάλλει στον αυτόνομο τομέα δικτύωσής του. Στο πάνω μέρος, οι επιχειρησιακοί στόχοι περιγράφονται σε επίπεδο στόχων που επιβάλλονται στο αυτόνομο σύστημα και μεταφράζονται μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων της πολιτικής συνέχειας. Η πολιτική συνέχεια καθοδηγεί το μετασχηματισμό των στόχων στις πολιτικές, οι οποίες περιέχουν τις ενέργειες που επιβάλλονται στο κατάλληλο σημείο ελέγχου. Σε αυτήν την περίπτωση χρήσης, οι επικρατέστερες σχέσεις μπορούν να βρεθούν μεταξύ των αυτόνομων περιοχών μέσα σε ένα UMTS, ενώ

σχέσεις ομοιότητας μπορούν να βρεθούν στην περίπτωση του AME όπου το υποκείμενο AMDs μπορεί να λειτουργήσει από διαφορετικούς χειριστές (π.χ. το AME που χρησιμοποιείται από το φορέα παροχής υπηρεσιών και το AMD που χρησιμοποιείται από το χειριστή UMTS, το χειριστή WiMax ή το χειριστή xDSL).

3.4 Η αρχιτεκτονική FOCALÉ σε σχέση με την κινητικότητα

Η αρραγής πρωτοβουλία κινητικότητας της Motorola [19] περιλαμβάνει χρήστες που έχουν εύκολη, συνεχή πρόσβαση στις πληροφορίες, την ψυχαγωγία, την επικοινωνία, την παρακολούθηση και τον έλεγχο. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ότι υπάρχουν ποικίλοι τύποι και τεχνολογίες δεδομένων που πρέπει να εξεταστούν σε μια αρραγής λύση κινητικότητας.



Σχήμα 20. Σύγκλιση κινητικότητας [18]

Ενώ πολλοί άνθρωποι καθορίζουν τη σύγκλιση ως τη δυνατότητα να παρέχει φωνή, βίντεο και ταυτόχρονα δεδομένα πάνω από το ίδιο δίκτυο, αντ' αυτού υποστηρίζουμε ότι υπάρχουν πολλοί τύποι συγκλίσεων. Μερικοί ή όλοι από αυτούς πρέπει για να μετακινηθούν στην ένωση ή ομοιόμορφα για να επιτρέψουν στα διαφορετικά περιβάλλοντα που οι χρήστες λειτουργούν, να παρέχουν μια αρραγής εμπειρία στο χρήστη:

- Σύγκλιση υπηρεσιών: Ο τελικός χρήστης που έχει πρόσβαση στην ίδια υπηρεσία χρησιμοποιεί μια ή περισσότερες συσκευές μέσω ενός ή περισσότερων μηχανισμών πρόσβασης.
- Σύγκλιση συσκευών: Ο τελικός χρήστης που έχει πρόσβαση σε πολλαπλές υπηρεσίες σε πολλαπλούς μηχανισμούς πρόσβασης μέσω μιας ενιαίας συσκευής.
- Σύγκλιση δικτύου : Ένα ενοποιημένο δίκτυο που πραγματοποιεί πολλαπλές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες συσκευές μέσω ενός ή περισσότερων μηχανισμών πρόσβασης.

- Σύγκλιση τιμολόγησης-έκδοσης λογαριασμών : Ένα ενοποιημένο σύστημα έκδοσης λογαριασμών που παρέχει έναν ενιαίο λογαριασμό για τις πολλαπλές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες συσκευές.
- Σύγκλιση ασφάλειας: Ένα ενοποιημένο σύστημα στο οποίο υπάρχει διατεμαστική ασφάλεια, ανεξάρτητα από τα επίπεδα, τις συνόδους, τις εφαρμογές και τα πρωτόκολλα.
- Σύγκλιση Διαχείρισης : Ένα ενοποιημένο σύστημα στο οποίο η διαχείριση του συστήματος μπορεί να γίνει με έναν συνεπή-σταθερό τρόπο, ανεξάρτητα από τις συσκευές και τα πρωτόκολλα.
- Σύγκλιση διεπαφών : Ένα ενοποιημένο σύστημα στο οποίο παρέχεται μια ενιαία, σταθερή διεπαφή χρήστη ανεξάρτητα από τις συσκευές και τις εφαρμογές.

Η σύγκλιση σε αυτές και σε άλλες περιοχές είναι κρίσιμη προκειμένου να παρασχεθεί ο χρήστης μια αληθινά αρραγής εμπειρία. Έτσι, ενώ η αρραγής κινητικότητα περιλαμβάνει την παροχή handover μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών (π.χ. κάνοντας μεταγωγή μιας κλήσης κλήση μεταξύ ενός κινητού τηλεφώνου και μιας συνόδου VoIP, ή μεταφέροντας ένα βίντεο από μια HDTV σε ένα κινητό τηλέφωνο), το σημείο κλειδί της αρραγής κινητικότητας είναι να διατηρηθεί η ίδια σύνοδος πέρα από αυτές και άλλες διαπομπές.

Αναπτύσσεται ένα σύνολο λύσεων για να δώσουμε στο χρήστη την εμπειρία να είναι συνδεδεμένος οπουδήποτε, οποτεδήποτε, με οποιαδήποτε υπηρεσία, ανεξάρτητη από τους χωρικούς τομείς, τις συσκευές, τα πρωτόκολλα δικτύων και τους τρόπους πρόσβασης.

Οι τεχνολογίες και οι λύσεις θα γίνουν πιο σύνθετες στο μέλλον, επειδή οι χρήστες θέλουν περισσότερη λειτουργικότητα σε πολλούς διαφορετικούς τρόπους (π.χ. νέους τρόπους να προσεγγιστούν τα στοιχεία, νέες συσκευές που χρησιμοποιήσουν κ.λ.π.). Επομένως, θα πρέπει να αποφευχθούν προηγούμενα λάθη στα τρέχοντα συστήματα διαχείρισης δικτύου και να καταστήσουν αρραγή συστήματα διαχείρισης κινητικότητας απλά και εύχρηστα. Θα πρέπει οι συσκευές να είναι εύχρηστες, καθώς οι λειτουργίες διαχείρισης απαιτούν ένα πάρα πολύ υψηλό σύνολο ικανοτήτων.

Ο αυτόνομος υπολογισμός διαχειρίζεται την πολυπλοκότητα μέσω της χρήσης των τεχνικών εφαρμοσμένης μηχανικής γνώσης. Ουσιαστικά κάθε παράδειγμα αυτό-διαχείρισης σήμερα χρησιμοποιεί ένα στατικά καθορισμένο σύνολο κανόνων (και σε σπάνιες περιπτώσεις, πρότυπα) για να καθοριστεί πώς το σύστημα πρέπει να συμπεριφερθεί. Το πρόβλημα είναι ότι αυτή η προσέγγιση δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν οι ανάγκες του χρήστη και του περιβάλλοντος που ο χρήστης λειτουργεί, αλλάζει. Σαφώς, κάποιος δεν μπορεί να αλλάξει απλά τις πολιτικές και οι διαμορφώσεις συσκευών - οι επιχειρησιακοί κανόνες και οι διαδικασίες θα παραβιαστούν. Έτσι, εισήγαγαν έναν κλειστό self-learning βρόχο ελέγχου που

επιτρέπει στο αυτόνομο σύστημα να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες ανάγκες και τις συνθήκες, υπακούοντας μερικούς θεμελιώδεις κανόνες και βελτιστοποιώντας τους στόχους αυτών των κανόνων. Αυτό επιτρέπει να αντιμετωπίζονται προκλήσεις της κίνησης από μια κεντρική συσκευή προς ένα κεντρικό-στόχο πρότυπο.

Αυτό το τελευταίο σημείο είναι αρκετά σημαντικό. Οι συσκευές βελτιώνονται ακόμα και εξελίσσονται. Σημαντικοί τύποι συσκευών, συμπεριλαμβάνοντας κινητά τηλέφωνα, lap-top, και μετασχηματιστές, απαιτούν το χρήστη για να μάθει μια μοναδική διεπαφή αλληλεπίδρασης. Οι κοινές λειτουργίες παρέχονται χρησιμοποιώντας διαφορετικές εντολές σε διαφορετικές επιλογές, μηχανές αναζήτησης συσκευών (π.χ., ένα lap-top εναντίον ενός κινητού τηλεφώνου) κοιτάζουν και ενεργούν διαφορετικά η μια από την άλλη, ακόμη και το πώς γίνεται η επικοινωνία με τη συσκευή διαφέρει (π.χ. μέσω σχεδιαγραμμάτων).

Ωστόσο, η αόρατη διαχείριση είναι δύσκολο να εφαρμοστεί. Αυτό υπονοεί είτε μια συνεπής UI ή ένα συνεπές σύνολο διεπαφών, οι οποίες είναι ubiquitously διαθέσιμες. Δεδομένου ότι αυτό αντιτάσσεται στο πώς οι συσκευές χτίζονται αυτήν την περίοδο, είναι ασφαλές να υποθεθεί ότι αυτό δεν θα συμβεί από τους περισσότερους προμηθευτές εξοπλισμού δικτύων. Επιπλέον, πολλοί στόχοι απαιτούν μια δυνατότητα να αθροιστούν οι πληροφορίες και να συντεθούν τα αποτελέσματα. Αυτό είναι εμφανώς δύσκολο να παρέχει μια διεπαφή χρήστη.

Ο πανταχού παρών υπολογισμός είναι ένα κοινωνικό όραμα, όχι μόνο ένα όραμα υπολογισμού. Αυτό ισχύει επίσης για την αρραγή κινητικότητα και τον αυτόνομο υπολογισμό. Προγραμματισμός για το πώς η εισαγωγή των έξυπνων συσκευών και πώς επηρεάζει μια κοινότητα (π.χ. η μυστικότητα παρέχει τη διανομή των δεδομένων) είναι δυσκολότερος από το συντονισμό συσκευών που έχει ένα άτομο. Οι πρόσθετες επιπλοκές περιλαμβάνουν την ενορχήστρωση για το πώς αυτές οι συσκευές συνεργάζονται και πώς να εξασφαλίσουν ότι δεν παρεμβάλλουν με άλλες συσκευές.

Τρεις σημαντικές προκλήσεις του υπολογισμού ισχύουν για την αρραγή κινητικότητα:

- Πλαίσιο-συνειδητοποίηση
Οι εφαρμογές λειτουργούν μέσα σε ένα δεδομένο περιβάλλον για να εκτελέσουν έναν συγκεκριμένο σκοπό ανά-χρήστη. Η τοποθεσία αλληλεπίδρασης είναι σημαντική. Απαιτεί προληπτικές αποφάσεις και εκμάθηση.
- Task-Based, not Keyboard-Based, Actions
Ο χρήστης μπορεί να παρέχει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ποικίλα μέσα, όπως η ομιλία και η υπόδειξη. Ο ίδιος στόχος πρέπει να είναι σε θέση να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας πολλαπλούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης προκειμένου ο χρήστης να μην σκεγτεται τους μηχανισμούς ανάκτησης των δεδομένων αλλά να συγκεντρώνεται στο περιεχόμενο των δεδομένων.

- Αυτοματοποιημένη σύνθεση στοιχείων.
Το σχήμα και το πρωτόκολλο μετατρέπονται αυτόματα για το χρήστη. Οι πληροφορίες από τις πολλαπλές πηγές αθροίζονται επιλεκτικά για να εκτελέσουν το στόχο του χρήστη.

Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται για να απλοποιήσει και να καλύψει μερικές από τις δύσκολες απαιτήσεις. Κατανέμει την πραγματογνωσία αυξάνοντας τα δεδομένα αισθητήρων με σημαντική σημασιολογία.

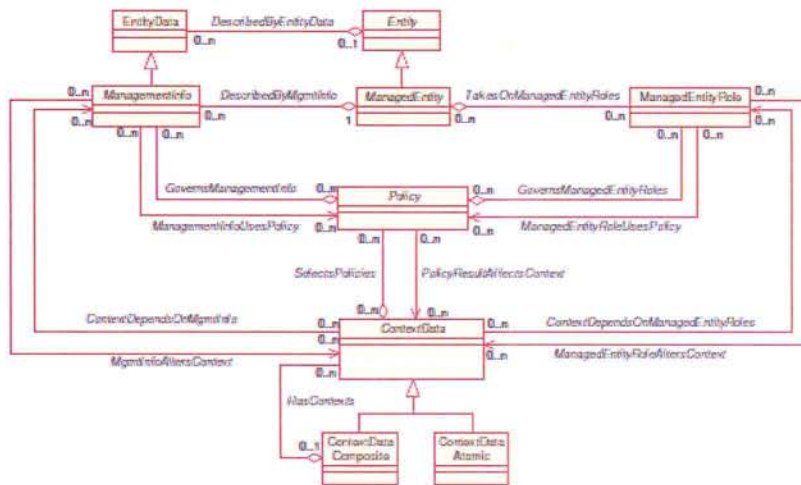
Αυτές οι σημασιολογίες περιλαμβάνουν μηχανισμούς εκμάθησης και συλλογισμού για να επιτραπεί στο σύστημα να υποθέσει και να συμπεράνει τι συμβαίνει και τι πρέπει να γίνει για να προστατεύσει τους επιχειρησιακούς στόχους. Αυτό απλοποιείται χρησιμοποιώντας έναν κοινό μεσολαβητή, *Autonomic Computing Element* - το αυτόνομο στοιχείο υπολογισμού, ως ένα μέσο να παρέχει μια αυτόνομη διεπαφή για *Managed Element* που δεν έχουν καμία έμφυτη αυτόνομη ικανότητα.

Μια απλουστευμένη έκδοση του γενικού προτύπου πλαισίου DEN-ng παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτό το πρότυπο πλαισίου είναι μοναδικό, δεδομένου ότι αφορά το πλαίσιο την πολιτική στις διοικητικές πληροφορίες. Σε ένα υψηλό επίπεδο, αυτό το πρότυπο λειτουργεί ως εξής: Το πλαίσιο καθορίζει το σύνολο εργασίας πολιτικών που μπορεί να επικαλεσθεί. Αυτό το σύνολο εργασίας πολιτικών καθορίζει το σύνολο ρόλων και σχεδιαγραμμάτων που μπορεί να υποτεθεί από το σύνολο *ManagedEntities* που περιλαμβάνεται στον καθορισμό του πλαισίου. Σημαντικά, αυτό το πρότυπο καθορίζει επίσης το σύνολο των διοικητικών πληροφοριών που χρησιμοποιείται για να καθορίσει πώς το διοικούμενο στοιχείο λειτουργεί. Το άθροισμα *SelectsPolicies* καθορίζει ένα δεδομένο σύνολο πολιτικών που πρέπει να φορτωθεί βασισμένο στο τρέχον πλαίσιο. Η συσχέτιση *PolicyResultAffectsContext* επιτρέπει στα πολιτικά αποτελέσματα να επηρεάσουν το πλαίσιο. Για παράδειγμα, εάν η εκτέλεση μιας πολιτικής πετύχει, το τρέχον πλαίσιο δεν αλλάζει. Εναλλακτικά, εάν η εκτέλεση της πολιτικής αποτύχει, το πλαίσιο έπειτα αλλάζει.

Το επιλεγμένο σύνολο εργασίας πολιτικών χρησιμοποιεί το άθροισμα *GovernsManagedEntityRoles* για να καθορίσει τους κατάλληλους ρόλους των *ManagedEntities* που επηρεάζονται από αυτό το πλαίσιο. Κάθε *ManagedEntityRole* καθορίζει τη λειτουργία του *ManagedEntity* ενώνοντας εκείνη τη λειτουργία με έναν ή περισσότερους ρόλους. Αυτό αποφεύγει τα συγκεκριμένα διοικούμενα στοιχεία με τη συγκεκριμένη λειτουργία, δίνοντας στο σύστημα περισσότερη ευελιξία.

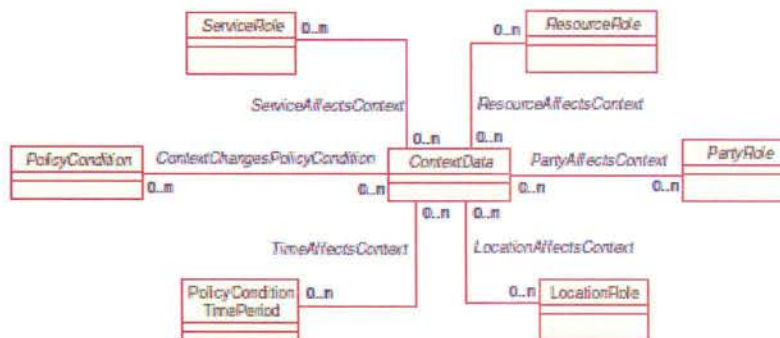
Και οι *ManagedEntityRoles* και η *ManagementInfo* (δεδομένα διαχείρισης περιγράφοντας την κατάσταση του *ManagedEntity*) συνδέονται έπειτα και με την πολιτική και το πλαίσιο από τα τέσσερα αθροίσματα που παρουσιάζονται. Συγκεκριμένα, η πολιτική χρησιμοποιείται για να καθορίσει ποιες πληροφορίες διαχείρισης θα συλλεχθούν και θα εξεταστούν (μέσω του αθροίσματος *GovernsManagementInfo*). Αυτές οι διοικητικές πληροφορίες έχουν επιπτώσεις στην

πολιτική χρησιμοποιώντας την συσχέτιση ManagementInfoUsesPolicy. Μόλις καθοριστούν οι διοικητικές πληροφορίες, οι δύο ενώσεις ContextDependsOnMgmtInfo και MgmtInfoAltersContext κωδικοποιούν αυτές τις εξαρτήσεις (π.χ., το πλαίσιο καθορίζει τις διοικητικές πληροφορίες για τον έλεγχο και οι αξίες αυτών των διοικητικών στοιχείων έχουν επιπτώσεις στο πλαίσιο).



Σχήμα 21 . Το DEN-ng μοντέλο πλαισίου [18]

Το πλαίσιο μπορεί να αλλάξει τα συστατικά ενός PolicyRule. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει αυτήν την διαδικασία για PolicyConditions. Αυτή η διαδικασία ισχύει επίσης για PolicyEvents και PolicyActions. Σε αυτό το σχήμα, έχουν καθορίσει μερικά από τα πιθανά συστατικά που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο πλαίσιο, όπως η θέση-τοποθεσία.



Σχήμα 22 . Συνθήκες πλαισίου και πολιτικής [18]

Οι παραπάνω μηχανισμοί δείχνουν πώς οι συσκευές και τα δίκτυα μπορούν να γίνουν εξυπνότερες, όπου σημαντικό σημείο είναι το πλαίσιο στο οποίο ο χρήστης λειτουργεί. Η αρχιτεκτονική FOCAL επιτρέπει στο πλαίσιο να καθοριστεί και να γίνει κατανοητό μέσω της πλούσιας διαχείρισης γνώσης του.

Οι συσκευές αρραγής κινητικότητας έχουν την πραγματογνωσία και την ευελιξία να αποκριθούν. Αυτό δεν σημαίνει ότι η συσκευή πρέπει να είναι ένα αυτόνομο στοιχείο

υπολογισμού. Αφού η συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει με το αυτόνομο σύστημα, μπορεί να ενσωματωθεί στο αυτόνομο σύστημα. Αυτό επιτρέπει το στόχο του χρήστη, το προσωπικό πλαίσιο και τις προσωπικές προτιμήσεις για να καθορίσει τον τύπο και την έκταση της αλληλεπίδρασης.

Η Motorola έχει καθορίσει έξι αρχικές ιδιότητες της ευφυούς αλληλεπίδρασης:

- Goal –Oriented : οι χρήστες πρέπει να είναι σε θέση να εστιάσουν στους στόχους τους, με τρόπους που είναι σημαντικοί σε αυτούς, παρά μέσω των στατικών, προκαθορισμένων διαδικασιών που δεν έχουν καμία ευελιξία να λάβουν υπόψη τις ανάγκες των χρηστών.
- Context aware - οι συσκευές πρέπει να είναι σε θέση να διαφοροποιηθούν μεταξύ των διάφορων θέσεων, των χρηστών και των στόχων και να λειτουργήσουν κατάλληλα (π.χ., με τη δόνηση αντί του χτυπήματος σε ένα θέατρο).
- Adaptive to the User Needs - οι συσκευές μπορούν να παράγουν τις πληροφορίες που βασίζονται στα σχέδια των χρηστών καθώς επίσης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η συμπεριφορά της συσκευής οποιαδήποτε στιγμή.
- Interactive - οι συσκευές πρέπει να έχουν τη πραγματογνωσία για να κάνουν ότι ο χρήστης θέλει χωρίς να υπάρξει πολυπλοκότητα. Πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν την ασάφεια του χρήστη και να τον προτρέψουν για την κατάλληλη διεκρίνιση σε περίπτωση ανάγκης.

Ενώ οι χρήστες θέλουν τις έξυπνες συσκευές, μελέτες έχουν δείξει ότι είναι απρόθυμοι να τις πληρώσουν. Επιπλέον, οι προμηθευτές εξοπλισμού δικτύων τείνουν να καταναλώνουν το μέγεθος των αποτυπωμάτων στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που καθορίζονται από τον καταναλωτή. Για παράδειγμα, ο χώρος και η ισχύς είναι εξαιρετικά λιγοστοί πόροι για τα κινητά τηλέφωνα. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως οι ενσωματωμένες φωτογραφικές μηχανές, είναι πολύ ευκολότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που πωλούν από τη νεφελώδη υπόσχεση των «έξυπνων συσκευών»!

Η αρχιτεκτονική FOCALÉ αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα με το να μην επιβάλλει συσκευές για να επανοικοδομηθεί.

Η αρχιτεκτονική FOCALÉ καθιστά την τεχνολογική πολυπλοκότητα αόρατη, επιτρέποντας την πλήρη ελευθερία κινήσεων μεταξύ των συσκευών και των περιβαλλόντων.

Η συγκεκριμένη εστίαση τομέων της έρευνας μέσα σε αυτήν την αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τα εργαλεία ανάπτυξης, το σχέδιο εμπειρίας, την αλληλεπίδραση καθώς επίσης και τη διαχείριση δικτύων και συσκευών, το βασισμένο στα συμφραζόμενα συλλογισμό, τη διαμόρφωση-μοντελοποίηση χρηστών και τον προσδιορισμό στόχου.

Η αρχιτεκτονική FOCALE είναι μια νέα αυτόνομη αρχιτεκτονική δικτύωσης. Εισάγει διαφορετικές τεχνικές για να ρυθμιστούν και να ενσωματωθούν ετερογενείς και διανεμημένοι πόροι υπολογισμού χρησιμοποιώντας δύο επίπεδα βρόχων ελέγχου.

3.5 Επίλογος

Η αρχιτεκτονική FOCALE είναι μια νέα αυτόνομη αρχιτεκτονική δικτύωσης. Εισάγει διαφορετικές τεχνικές για να ρυθμιστούν και να ενσωματωθούν ετερογενείς και διανεμημένοι πόροι υπολογισμού χρησιμοποιώντας δύο επίπεδα βρόχων ελέγχου.

Προτάθηκε η χρήση των τεχνικών εφαρμοσμένης μηχανικής γνώσης για να διαχειριστεί η κληρονομιά καθώς επίσης και τα νέα συστατικά και να διαχειριστεί η συμπεριφορά τους. Αυτή η λύση χρησιμοποιεί τις οντολογίες ως ένα κοινό λεξιλόγιο μεταξύ των σημασιολογικά ισοδύναμων στοιχείων και των πολιτικών. Τέλος, το παράδειγμα της επέκτασης FOCALE σε ένα B3G περιβάλλον δικτύων διευκόλυνε και αυτοματοποίησε τη διαχείριση των σύνθετων και ετερογενών τομέων.

4. END-TO-END EFFICIENCY- E3

4.1 Εισαγωγή

Το End-to-End Efficiency (E3) project αποτελεί ένα φιλόδοξο, μεγάλης εμβέλειας, ολοκληρωμένο project το οποίο στοχεύει σε ολοκληρωμένα γνωσιακά ασύρματα δίκτυα στον κόσμο της Beyond 3G (B3G) τεχνολογίας, εξελίσσοντας σύγχρονες ετερογενείς ασύρματες υποδομές συστημάτων μέσα σε ένα ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό οργανωμένο B3G γνωσιακό πλαίσιο συστήματος. Ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2008 και ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2009. [22]

Οι συμμετέχοντες ανέρχονται σε 21 οργανισμούς και 11 χώρες. Ο καθοριστικός στόχος του συγκεκριμένου project είναι να σχεδιάσει και να αναπτύξει πρότυπες λύσεις και υποδείγματα που εγγυώνται διαλειτουργικότητα, ευελιξία και πολλαπλότητα επιπέδων μεταξύ των κληροδοτημένων και των μελλοντικών ασύρματων δικτύων, να διαχειρίζεται την πολυπλοκότητα του συνολικού συστήματος και να προσφέρει σύγκλιση μεταξύ της τεχνολογίας, του επιχειρηματικού κλάδου, των εξουσιαστικών δυνάμεων, των ρυθμιστικών τομέων και των γεωγραφικών περιοχών.

Η συμμαχία για το E3 φέρει σε επαφή σημαντικούς Ευρωπαϊκούς «παίκτες» στον τομέα των γνωσιακών δικτύων, επιφέρει αυτο-οργάνωση και επαναδιαμόρφωση. Το E3 στηρίχθηκε σε ορισμένα επιτεύγματα από το πετυχημένο πρόγραμμα FP6 E2 R , επιδιώκοντας έρευνα στις πιο ελπιδοφόρες κατευθύνσεις με στόχο τον κατακερματισμό κάποιων φραγμών (σύγχρονους τεχνικούς και νομικούς περιορισμούς) και κτίζοντας τεχνικές ώστε να διευκολύνει το όραμα για μια πραγματικά συνδεσιμότητα.

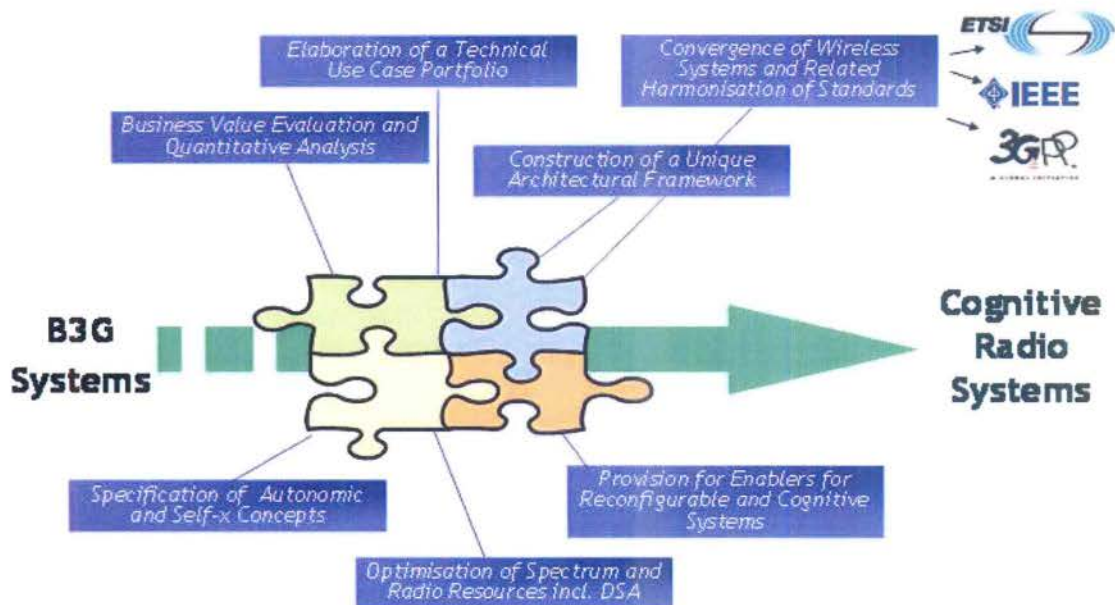
Ο κύριος συντονιστής του E3 project είναι ο Dr. Didier Bourse, από τα Motorola Labs που βρίσκεται στο Παρίσι. Οι συνεργάτες του project είναι: Motorola (FR), Alcatel-Lucent (GE), ANFR (FR), BNetzA (GE), BUTP (CHN) , Deutsche Telekom (GE), Eicsson (SW), Fraunhofer (GE), France Telecom (FR), IDATE (FR), Nokia (FI), Ofcom (UK), RA/AT (NL), Thales Communications (FR), Telefonica I+D (SP), Telecom Italia (IT), University of Surrey (UK), University of Athens (GR), Universitat Politecnica de Catalunya (SP), University of Piraeus (GR), Vrije Universiteit Brussel (BE) (Bourse, D. 2008)



Σχήμα 23. Οι συνεργάτες του project [23]

4.2 Κίνητρα και Στόχοι

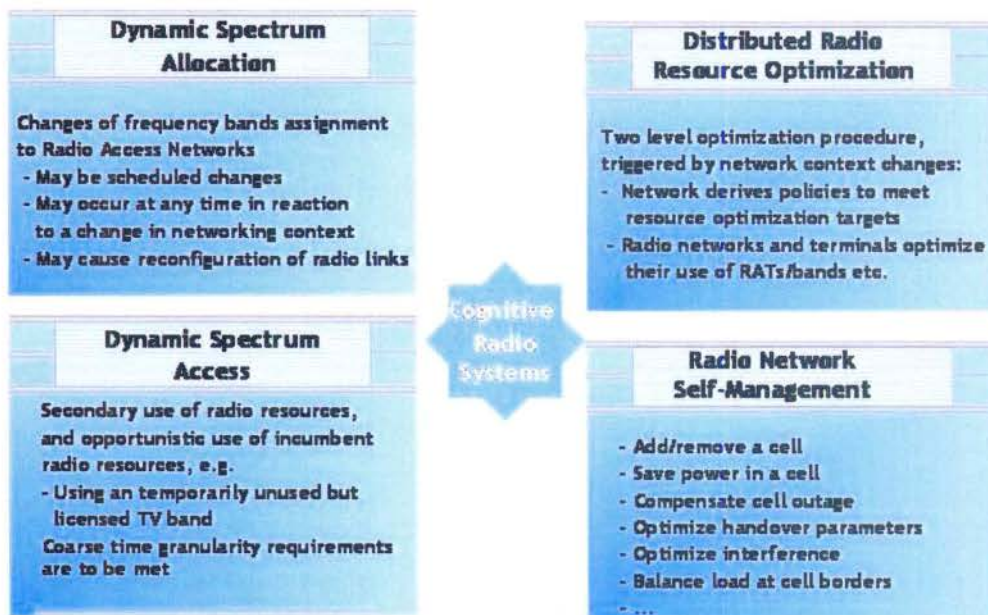
Το συστατικό των Προκλήσεων Έρευνας του E3 αποτελείται από ορισμένες σημαντικότερες προκλήσεις που πρέπει να επιτευχθούν κατά τη διάρκεια ζωής του project. Παρακάτω παρουσιάζονται πιο αναλυτικά αυτές τις προκλήσεις.



Σχήμα 24. E³ Key Research Challenges [25]

- Εκτίμηση Επιχειρηματικής Αξίας και Ποσοτική Ανάλυση : Από τη στιγμή που επαναπροσδιορισμένα και γνωσιακά συστήματα θα μπορούσαν να ανοίξουν την αγορά για τους νέους μετόχους, μια κύρια πρόκληση για το E3 αποτελεί το να προσδιορίσει το ρόλο των παραδοσιακών και των νέων μετόχων όπως επίσης και τα αντίστοιχα επιχειρηματικά μοντέλα στο πλαίσιο των επαναδιαμορφωμένων και γνωσιακών ετερογενών ασύρματων τεχνολογιών. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στο να δομηθεί μια περιληπτικά επαναδιαμορφωμένη και γνωσιακή πρόθεση αξίας που λαμβάνει υπόψη της τους συσχετισμούς μεταξύ των μετόχων και των ρόλων τους. Ακόμη, στόχος του E3 είναι να παρουσιάσει μια ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των οικονομικών συναλλαγών μεταξύ των μετόχων.

- Μελέτη μιας περίπτωσης τεχνικής χρήσης : Σε αρχικό στάδιο του project, καθορίστηκαν αναφορές σε πρακτικές περιπτώσεις για το πλαίσιο του επιδιωκόμενου ετερογενούς και γνωστικού ασύρματου συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν προτάσεις για χρήση περιπτώσεων που καλύπτουν την ετερογένεια στο δίκτυο περιλαμβάνοντας πολλαπλά κελιά, μητροπολιτική περιοχή και μικρής εμβέλειας ραδιοσυστήματα πρόσβασης όπως επίσης και ένα ετερογενές πλαίσιο πολλαπλών συσκευών από την πλευρά του χρήστη. Ακόμη, οι πρακτικές περιπτώσεις θα καλύψουν ιδιαίτερα δυναμικά σενάρια στα οποία η συσκευή του χρήστη διαρκώς ενημερώνει τις υπάρχουσες συνδεδεμένες παραμέτρους συνδυασμένες με τη διακοπή των υπάρχοντων και την αφετηρία νέων συνδέσμων μέσα σε ένα μονό αλλά και πολλαπλό λειτουργικό πλαίσιο. [24][25]



Σχήμα 25. E3 κατηγορίες χρήσης [25]

- Κατασκευή ενός μοναδικού αρχιτεκτονικού πλαισίου : Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα μοναδικό και γενικευμένο αρχιτεκτονικό πλαίσιο το οποίο θα αποτελεί δικτυακό και αγνωστικιστικό εξοπλισμό και θα προκύπτει διευθυνσιοδότηση σε υπάρχουσες/ μελλοντικές δικτυακές τοπολογίες. Θα υποστηρίζει και τις τηλεπικοινωνιακές λειτουργίες (λειτουργικά συστήματα που εξασφαλίζουν κανονικό έλεγχο στον τομέα της επικοινωνίας) και τις «O&M» Λειτουργίες (λειτουργίες του συστήματος που εξασφαλίζουν κανονική συμπεριφορά των τμημάτων του συστήματος). Αυτό το πλαίσιο θα παρέχει στο E3 μια ομοιογενή προσέγγιση της αρχιτεκτονικής του συστήματος και θα σχηματίσει μια σχετική βάση για τις λειτουργίες και ικανότητες, αλγοριθμική εξέλιξη και κατανόηση για το ότι θα ενσωματωθούν στα υπόλοιπα WPs του πλαισίου. Μια τέτοια προσέγγιση θα κάνει πραγματικότητα την αποτελεσματική διευθυνσιοδότηση των SA(System Architecture/ Αρχιτεκτονικό Σύστημα) για πρότυπα και μελλοντικά συστήματα και δίκτυα.

- Συνένωση ασύρματων συστημάτων και σχετικός εναρμονισμός των προτύπων : Στο πλαίσιο ενός τοπίου ιδιαίτερα ετερογενών , γνωστικών ασύρματων συστημάτων, η συνένωση των ανεξάρτητα διαχειριζόμενων ραδιο-συστημάτων προς ένα αποτελεσματικό και ολοκληρωμένο πλαίσιο αποτελεί μια στοιχειώδη πρόκληση. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, ο στόχος είναι διαδοχικός: να αναλύσουμε και να προσδώσουμε στο CPC (Cognitive Pilot Channel) λογικά και φυσικά χαρακτηριστικά (π.χ. πρωτόκολλα / συχνότητα / εύρος ζώνης) ως ένα εργαλείο για να βοηθά τον ακροδέκτη να ανακαλύψει την κατανομή του φάσματος και να αναπτύξει γνωστικά σχήματα για επαναδιαρθρώσιμα / γνωστικά συστήματα., εστιάζοντας στην ανίχνευση του φάσματος και σε μηχανισμούς παροχής πληροφοριών. Το E3 απευθύνεται στο πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου. Ακόμη, ως μια μακροχρόνια προσέγγιση, στοχεύει στο να καθορίσει προοπτικές-κλειδιά για τα μελλοντικά ασύρματα πρότυπα και πιο συγκεκριμένα στο πλαίσιο των IMT-Advanced σχετικών σωμάτων και για να συνεισφέρει σε επιλεγμένα σώματα με σκοπό να δουλέψουν για τη συνένωση των μελλοντικών συστημάτων.

- Προδιαγραφές των Αυτόνομων και self-x σχετικών Εννοιών : Αυτόνομες και self-x έννοιες θα ενσωματωθούν στο πλαίσιο του Αρχιτεκτονικού Συστήματος (SA – System Architecture). Το Αρχιτεκτονικό Σύστημα θα ολοκληρώσει τα αυτό-διαχειριζόμενα και αυτό-οργανωσιακά συστήματα διακυβέρνησης με στόχο να αντιδρούν σε αλλαγές του περιβάλλοντός του με δυναμικό και αποτελεσματικό τρόπο. Στόχος είναι να εφαρμοστούν συλλογικές ή αυτόνομες προσεγγίσεις βασισμένες στη λήψη αποφάσεων, υπολογίζοντας τόσο τα μονολειτουργικά όσο και τα πολυλειτουργικά σενάρια. Θα εισαχθούν οι προδιαγραφές των λειτουργικών οπτικών όπως επίσης και πρωτόκολλα / σηματοδοσία και λειτουργικά ενσωματωμένα ζητήματα και η επιρροή στις κληροδοτημένες δικτυακές αρχιτεκτονικές και τα προκύπτοντα CN(Cognitive Network – Γνωστικό Δίκτυο) /CT συστήματα που μελετούνται στις self-x λειτουργίες σε όλα τα επίπεδα του αρχιτεκτονικού συστήματος αντιμετωπίζεται ως λύση – κλειδί για την αποτελεσματική διαχείριση των γνωστικών, ετερογενών ασύρματων συστημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο το «Self-x» αναφέρεται σε οπτικές όπως σύνθεση, σχεδιασμός, βελτιστοποίηση που μπορεί να εφαρμοστούν στις άκρες του δικτύου και του τελικού χρήστη. Λύνοντας αυτή την πρόκληση, οδηγούμαστε σε αυξημένο βαθμό αυτοματοποίησης στη λειτουργία των ραδιο-δικτυακών στοιχείων.

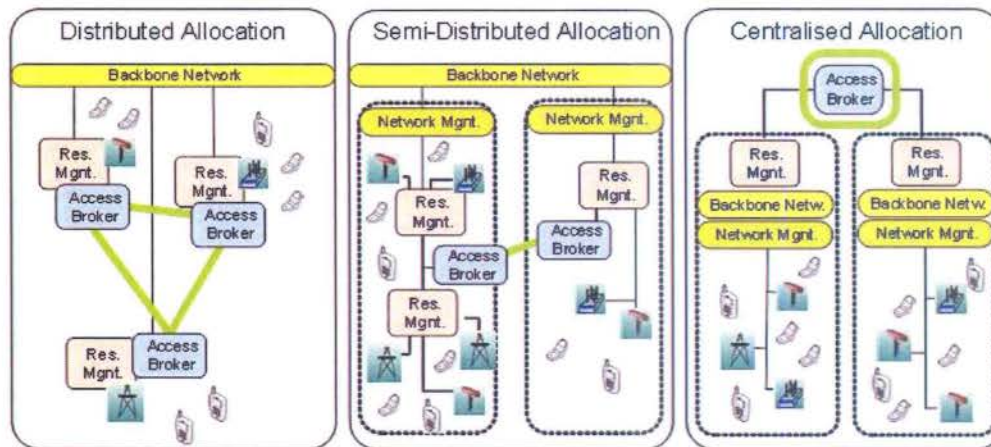
- Βελτιστοποίηση του Φάσματος και των ραδιο-πόρων που ακολουθούν Υποδείγματα Γνωστικού Δικτύου : Στο πλαίσιο ενός ιδιαίτερα δυναμικού, ετερογενούς ασύρματου συστήματος, ο στόχος είναι να δημιουργηθεί φάσμα και ραδιο-σχήματα επιλογής πηγών τα οποία είναι αποτελεσματικά όσον αφορά α) την εγγύηση της υψηλής αντιδραστικότητας σε οποιαδήποτε αλλαγή του πλαισίου, b) χαμηλή παραμετροποίηση του επιβλέποντος, ιδιαίτερα από το δίκτυο προς τον τελικό χρήστη, και c) διαχωρισμό της πολυπλοκότητας των διάφορων δικτυακών οντοτήτων. (End-to-End Efficiency, Key Challenges 2008)

- Παροχή Enablers για τα Reconfigurable και γνωστικά συστήματα : Πέρα από την παροχή φυσικού/λογικού γνωστικού πιλοτικού καναλιού, αναμένεται να μελετηθούν οι προσεγγίσεις spectrum-sensing και από την κεντρική και την κατανεμημένη άποψη δικτύων. Η ιδέα είναι να επιτραπούν στα άκρα του δικτύου καθώς επίσης και στα τερματικά να προσδιοριστούν ανεξάρτητα τα διαθέσιμα συστήματα, είτε σε ένα συνεργάσιμο σενάριο ενιαίου-χειριστή είτε ένα μη-συνεργάσιμο σενάριο πολλαπλών-χειριστών. Για αυτόν το λόγο, οι αλγοριθμικές μελέτες προορίζονται να διεξαχθούν με στόχο να επιτύχουν έναν προσδιορισμό των διαθέσιμων πόρων και των σχεδίων πρόσβασης με έναν κατανεμημένο τρόπο. [24][25]

Το E3 εξετάζει αυτήν την πρόκληση από δύο προσεγγίσεις:

• Collaborative in Semi-Distributed Resource Management

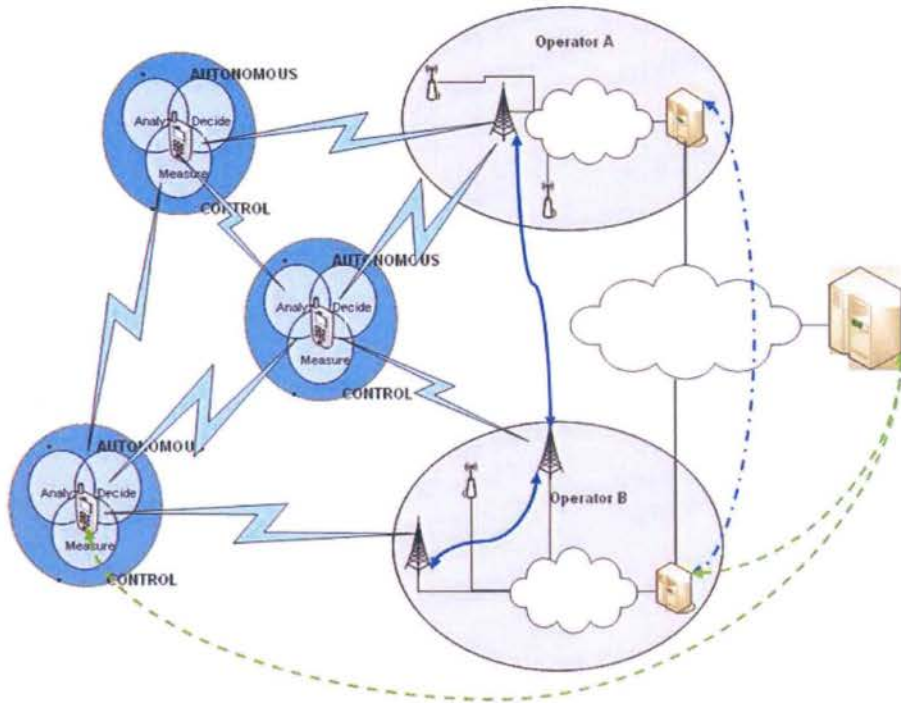
Οι πολυ-τυποποιημένοι-βάση-σταθμοί αναμένονται για να είναι βασικοί στη μελλοντική επέκταση των γνωστικών, ετερογενών ασύρματων συστημάτων. Ο φορέας εκμετάλλευσης δικτύου θα είναι σε θέση να προσαρμόσει δυναμικά τη στρατηγική κατάληψης του φάσματος και την επιλογή των κατάλληλων ραδιο τεχνολογιών πρόσβασης (RATs) ανάλογα με το τρέχον πλαίσιο. Τα τερματικά των χρηστών, από την άλλη πλευρά, πρέπει να προσαρμόσουν τις αντίστοιχες ραδιο στρατηγικές χρήσης των πόρων τους ανάλογα με μια time-variant δευτερεύουσα διαμόρφωση δικτύων. Ο στόχος είναι να επεκταθεί η ύπαρξη SOTA προκειμένου να ληφθούν οι ιδιομορφίες των βαριά ετερογενών συστημάτων που υπόψη είναι βασισμένα στις συνεργάσιμες και αυτόνομες διανεμημένες αρχές λήψης αποφάσεων.



Σχήμα 26. E3 κεντριοποιημένη και κατανεμημένη διαχείριση [25]

• Autonomous Cognitive Radio Schemes

Ενώ η συνεργάσιμη κατανεμημένη λήψη αποφάσεων απαιτεί μερικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του δικτύου και των ακρών του ή/και των τερματικών και των χρηστών, οποιαδήποτε αυτόνομη προσέγγιση υποτίθεται ότι εκτελεί τις αποφάσεις μονομερώς. Σε αυτό το πλαίσιο, δύο περιοχές στόχων προσδιορίζονται: a) τα άκρα του δικτύου προσαρμόζοντας αυτόνομα στις time-variant ανάγκες του συστήματος από μια προοπτική και b) τα τερματικά (π.χ. λειτουργώντας σε μια περιοχή πολλαπλού-χρηστού) που είναι σε θέση να επιλέξουν τους προμηθευτές συνδέσεων και να ανταλλάξουν αμοιβαία πληροφορίες πλαισίου με τις γειτονικές οντότητες.

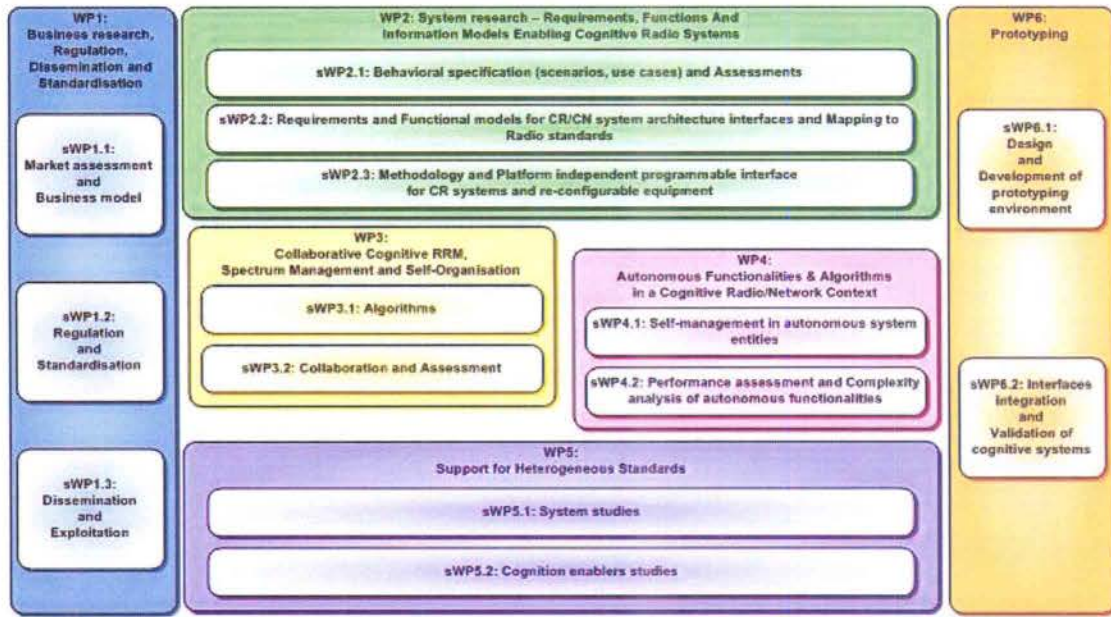


Σχήμα 27. Αυτόνομη διαχείριση των κόμβων του συστήματος [25]

4.3 Η δομή του project E3

Η δομή προγράμματος E3 έχει σκοπό να ικανοποιήσει πλήρως τους στόχους προγράμματος. Η πρόθεση είναι να αναπτυχθεί μια ολοκλήρωση των διάφορων ερευνητικών διαδρομών (WPs).

Ο βασικός στόχος του E3 προγράμματος είναι να σχεδιαστεί, να αναπτυχθεί, να πρωτυποποιηθεί λύσεις για να εγγυηθούν διαλειτουργικότητα, ευελιξία και κλιματοθετισιμότητα μεταξύ των κληροδοτημένων και των μελλοντικών ασύρματων συστημάτων, να διαχειριστεί τη γενική πολυπλοκότητα των συστημάτων και να εξασφαλίσει σύγκλιση στις τεχνολογίες πρόσβασης, στους επιχειρησιακούς και ρυθμιστικούς τομείς, καθώς και στις γεωγραφικές περιοχές.[28]



Σχήμα 28. Τα πακέτα εργασίας [28]

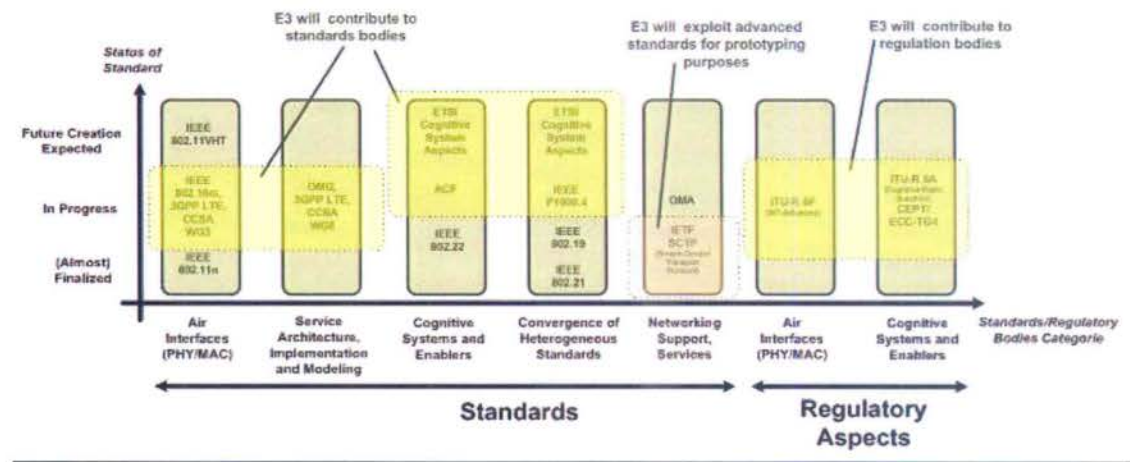
Οι βασικοί στόχοι των πακέτων εργασίας από το WP1 έως το WP6 παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Το WP1 προετοιμάζει τη μελλοντική προστασία για τις στρατηγικές αγορές για τα γνωστικά ραδιο-συστήματα, μέσα σε ένα κατάλληλα προσαρμοσμένο ρυθμιστικό πλαίσιο.
- Το WP2 δίνει τα μέσα για απομονωμένες λειτουργίες σε ένα εναρμονισμένο και inter-acting σύστημα των αυτόνομων και συνεργάσιμων λειτουργιών εγκαθιστώντας γνωστικούς ραδιο-χαρακτηριστικά καθώς και self-x χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως είναι απαραίτητα σήμερα και στο μέλλον.
- Το WP3 θα ενισχύσει την αποδοτικότητα των συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας μέσω γνωστικών και self-organising των στοιχείων δικτύων πρόσβασης.
- Το WP4 αναπτύσσει την αυτόνομη τεχνολογία και ένα γνωστικό ραδιο σχέδιο για σεναρία πολλαπλού χειριστή, όπου ο έλεγχος δεν μπορεί να εγγυηθεί.
- Το WP5 δίνει τα μέσα για αρκετά απομονωμένη ύπαρξη των προτύπων σε μια πλήρως εναρμονισμένη και συντονισμένη συνύπαρξη των ετερογενών προτύπων.
- Το WP6 θα αναπτύξει ένα περιβάλλον διαμόρφωσης πρωτοτύπου στο οποίο οι δραστηριότητες επικύρωσης E3 πρέπει να διευκολύνουν την ολοκλήρωση και την επικύρωση, στο περιβάλλον διαμόρφωσης πρωτοτύπου, των γνωστικών συστημάτων που το E3 θα εισάγει στα κληροδοτημένα και στα εξελικτικά συστήματα.

4.4 Τυποποίηση και Κανονιστική ρύθμιση

Το E3 προσδιορίζει ένα προκλητικό ζήτημα στον κόσμο του κανονισμού για να συνοδεύσει την εξέλιξη του ρυθμιστικού τοπίου προς τη διαχείριση του φάσματος που προσαρμόζεται στα γνωστικά ραδιο συστήματα. Το E3 εξετάζει αυτήν την πρόκληση συμμετέχοντας στους ρυθμιστικούς οργανισμούς με συνεισφορές στους γνωστικούς ραδιο-σχετικούς ορισμούς, τις συστάσεις σχετικά με την ευέλικτη και δυναμική χρήση φάσματος. Στο πλαίσιο τυποποίησης, το E3 ακολουθεί δύο στρατηγικές: α) Το E3 συμβάλει στην τυποποίηση με σκοπό να προωθηθεί η εξέλιξη προς τις γνωστικές λειτουργίες και υπηρεσίες δικτύων επόμενης γενιάς και β) παρέχει συνεισφορές στα εξελισσόμενα πρότυπα με στόχο να εξασφαλίσουν τη σύγκλιση και τη διαλειτουργικότητα σε ένα μελλοντικό ασύρματο δίκτυο. [26]

Το ακόλουθο σχήμα απεικονίζει τα βασικά πρότυπα και τους ρυθμιστικούς οργανισμούς που έχουν προσδιοριστεί από την E3 κοινοπραξία. Στον οριζόντιο άξονα, οι αντίστοιχες ζώνες landing έχουν χωριστεί στις ευδιάκριτες περιοχές εστίασης, ενώ ο κάθετος άξονας δείχνει την τρέχουσα ωριμότητα των διαδικασιών τυποποίησης.

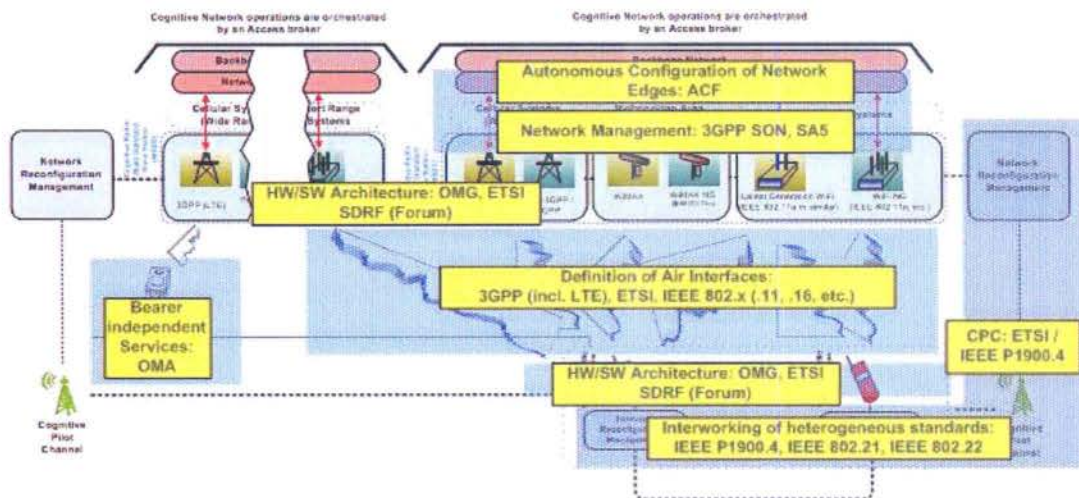


Σχήμα 29. E3 Πρότυπα / Κάλυψη κανονιστικής ρύθμισης [26]

(1)“Future Creation Expected” δείχνει ότι μια σχετική τυποποίηση αναμένεται για να δημιουργηθεί, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εδώ είναι μια μελλοντική προσπάθεια γνωστικών συστημάτων στο ETSI, (2) “In Progress” δείχνει ότι η τρέχουσα ομάδα είναι ενεργή και (3) “Almost” τα πρότυπα είναι περιορισμένου ενδιαφέροντος, αφού καμία εισαγωγή δεν είναι

πιθανό να γίνει αποδεκτή. Πέρα από το E3 πεδίο κάλυψης για τη συμβολή-συνεισφορά (κίτρινα κουτάκια), αυτό το σχήμα απεικονίζει ότι μερικά νέα υπάρχοντα πρότυπα θα είναι σχετικά με τη διαμόρφωση του προτύπου. Ιδιαίτερα, στην περίπτωση του IETF SCTP πρωτοκόλλου (πρωτόκολλο μεταφοράς ελέγχου ροής) που επιτρέπει στο E3 να αναπτύξει αποτελεσματικά μια πλατφόρμα επίδειξης όπου μια ροή δεδομένων χωρίζεται σε πολλαπλές διεπαφές αέρα.

Το ακόλουθο σχήμα απεικονίζει τη σχέση των προτύπων στο E3 όραμα συστημάτων.



Σχήμα 30. E3 Τυποποίηση [26]

Οι ακόλουθες δραστηριότητες τυποποίησης θεωρούνται ως σχετικές για E3:

- ETSI Reconfigurable Radio System Technical Committee (RRS TC)
- IEEE SCC41 P1900.4
- IEEE 802.11
- IEEE 802.16
- IEEE 802.19
- IEEE 802.21
- IEEE 802.22
- 3GPP
- Object Management Group (OMG)
- Open Mobile Alliance (OMA)
- Autonomic Communication Forum (ACF)
- China Communications Standards Association (CCSA)
- IEEE1900.4
- IEEE1900.6
- TSG RAN
- TSG SA
- OMA [26]

4.5 Τεχνική Προσέγγιση

Το E3 συνενώνει γνωστικά δίκτυα από διάφορες σκοπιές (τεχνικής, επιχειρηματικής και νομικής). Η έρευνα για τα επιχειρηματικά μοντέλα θα επιτρέψει την επιλογή των περισσότερο σχετικών συλλογισμών και λύσεων που εξασφαλίζουν την ανάπτυξη και μελλοντική εξέλιξη των διατηρούμενων γνωστικών ραδιο-συστημάτων. Η έρευνα θα επεκτείνει και θα υποστηρίξει την υιοθεσία των ιδεών και λύσεων που προκύπτουν από το E3 στις παγκόσμιες ραδιο- περιοχές. Η έρευνα θα βοηθήσει επίσης στην εξέλιξη του κανονιστικού πλαισίου ώστε να ασχοληθεί με τη μελλοντική ανάπτυξη μιας περισσότερο ευέλικτης φασματικής υλοποίησης (π.χ. βασισμένη σε αλλαγμένους διοικητικούς μηχανισμούς ή κατευθυνόμενη από την αγορά και την τεχνολογία), που θα είναι πιθανή μόνο αν τεθούν σε εφαρμογή οι κατάλληλες λύσεις για τη διαχείριση και τον έλεγχο των σύνθετων ετερογενών συστημάτων. Το E3 στηρίζεται στα αποτελέσματα της IST E2 R έρευνας με επαναδιαμορφωμένο εξοπλισμό, επεκτείνοντας τις συσχετιζόμενες ιδέες όσον αφορά το σχεδιασμό ενός ασύρματου γνωστικού ραδιο-συστήματος στο οποίο οι δικτυακές οντότητες θα είναι σε θέση να αυτό-προσαρμόζονται σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο πλαίσιο (για παράδειγμα, αιτήματα ανάθεσης από το χρήστη κλπ.). περισσότερη έμφαση δίνεται στην εξέλιξη ενός ασύρματου συστήματος σε έναν εξελικτικό τρόπο, ολοκληρώνοντας τα υπάρχοντα ασύρματα ραδιο- δεδομένα μέσα σε ένα συνηθισμένο πλαίσιο με χρηστικές συσκευές που είναι σε θέση να επαναδιαμορφώνουν και να διατηρούν έναν ή πολλαπλούς συνδέσμους ταυτόχρονα, και συνεισφέροντας σε σύγχρονα ενεργά τυποποιημένα σώματα. Το E3 θα διαχωρίσει κατασκευαστικούς κανόνες για τον καθορισμό και τη σχεδίαση των διαφόρων κριτηρίων της επόμενης γενιάς (π.χ. IEEE 802.16/11, P1900, ETSI, 3GPP) επιτρέποντας μια αδιανόητη χρήση αυτών των επιπέδων για να ολοκληρώσει τα σενάρια των σύγχρονων ορισμών των 4G συστημάτων σε χαμηλότερο κόστος και πολυπλοκότητα και για ένα καλύτερο φάσμα αποτελεσματικότητας. [29]

- Self-x techniques για τη βελτιστοποίηση των ραδιο-δικτύων πρόσβασης: Το E3 ανέπτυξε self-x τεχνικές για τη βελτιστοποίηση των ραδιο-δικτύων πρόσβασης και εστίασε στα γνωστικά δίκτυα, εμπλουτίζοντας τους ανεπτυγμένους αλγόριθμους με γνωστικές τεχνικές. Τα πρωτοφανή αποτελέσματα αποδεικνύουν τα οφέλη που προκύπτουν. Γενικά, η αυτό-οργανωτική συμπεριφορά είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται στη φύση καθώς επίσης και σε διάφορες επιστήμες. Κατά συνέπεια, υπάρχουν διαφορετικοί αλγόριθμοι που περιγράφουν και παρουσιάζουν αυτό-οργανωτική συμπεριφορά. Ένα αυτό-οργανωτικό δίκτυο (SON self-organizing) αποτελεί ένα επικοινωνιακό δίκτυο το οποίο υποστηρίζει self-x λειτουργίες, όπως αυτό-διάρθρωση ή αυτό-βελτιστοποίηση. Ένα αυτό-οργανωτικό δίκτυο περιλαμβάνει όλες τις πιθανές λειτουργίες που εκτελεί ένα δίκτυο με αυτόνομο όμως τρόπο , κάτι που του προσδίδει άριστη λειτουργία και λειτουργική αποτελεσματικότητα. Η λειτουργία self-x κάνει πράξη την

αυτοματοποίηση των λειτουργικών εργασιών και επιπλέον ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη παρέμβαση. Ακόμη, μειώνονται τα λειτουργικά έξοδα. Οι self-x λειτουργίες βασίζονται σε ένα βρόχο (self-x κύκλος) όπου εισάγονται δεδομένα, προωθούνται και προκύπτει βελτιστοποιημένη παραμετροποίηση. Οι self-x λειτουργίες επηρεάζουν τη βελτίωση της χρηστικότητας των μελλοντικών ασύρματων λύσεων πρόσβασης (plug & play) και αναβαθμίζουν την εισαγωγή και εξέλιξη των νέων ασύρματων υπηρεσιών. Στο πλαίσιο του E3, έχουν προσδιοριστεί οι ακόλουθες περιπτώσεις για αυτό-οργανωτικά δίκτυα:

1. Αυτό-αναδιάρθρωση των κελιών
 2. Μεταπομπή και εξισορρόπηση φορτίου
 3. Βελτιστοποίηση των παραμέτρων στο HBS (Home Base Station)
 4. Συντονισμός παρεμβολών
- Διαχείριση του δυναμικού φάσματος (Dynamic Spectrum Management) με την αξιοποίηση γνωστικών τεχνικών : Η κανονιστική οπτική για τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να εφαρμοστεί το φάσμα σε ένα σενάριο σύνθετης τεχνολογίας αναφέρεται σε περισσότερη ευελιξία. Οι DSM τεχνικές που αναπτύσσονται στο E3 προσπαθούν να επιτύχουν μια αποτελεσματική χρηστικότητα των αξιόλογων φασματικών πηγών, στοχεύοντας στο να μεγιστοποιήσουν τη φασματική επαναχρησιμοποίηση μεταξύ των χρηστών, των κελιών, των Radio Access Networks (RAN) και συστημάτων, επιβεβαιώνοντας όμως πως η μεταξύ τους αμοιβαία παρεμβολή κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Οι κύριες ευθύνες του DSM είναι:
- a. Εκτίμηση της κατάληψης φάσματος.
 - b. Ανίχνευση των μακροχρόνιων διαθέσιμων φασματικών ζωνών για επανεκχώρηση και διαμοίραση του φάσματος.
 - c. Παραγωγή των οικονομικών παραμέτρων για διαμοιρασμό του φάσματος
 - d. Πρόβλεψη ενός φασματικού πλαισίου (διαθέσιμη ποσότητα φάσματος) σε ραδιο-τεχνολογίες (RATs) , που βασίζεται στην εκτίμηση της κατάληψης φάσματος και system-level παραμέτρων.
- Joint Radio Resource Management (JRRM) : Joint Radio Resource Management (JRRM) μπορεί να περιγραφεί ως η κοινή διαχείριση των ραδιο- πόρων που είναι διαθέσιμοι στο σύνολο των ραδιο-τεχνολογιών (RATs). Το JRRM χρησιμοποιεί τις τεχνικές διαχείρισης πόρων για να επιτύχει τη δυναμική δρομολόγηση και ανάθεση χωρητικότητας στις ραδιο-τεχνολογίες (Radio Access Technology) που συμμετέχουν στην υποδομή ετερογενούς ασύρματης πρόσβασης. Το E3 ανέπτυξε JRRM στρατηγικές βελτιωμένες με γνωσιακές μεθόδους, ώστε να αξιοποιήσει γνωσιακές αρχές προκειμένου να πάρει σχετικές αποφάσεις διαχείρισης. Οι κύριες ευθύνες ενός JRRM όπως αναπτύσσεται στο E3, όπως επίσης και πρωτοφανή

αποτελέσματα που απέδειξαν το όφελος που αποφέρουν παρατίθενται παρακάτω.

RAT selection and Admission control : Σε ένα ετερογενές πλαίσιο, η απόφαση σχετικά με το σε ποια ραδιο-τεχνολογία (RAT) πρέπει να εκχωρηθεί το εκάστοτε αίτημα υπηρεσίας αποτελεί ερώτημα που αναλαμβάνει το JRRM.

Vertical handover and load balancing : είναι η διαδικασία που επιτρέπει την εναλλαγή από το ένα RAN στο άλλο. Εφαρμογές, στις οποίες χρησιμεύει το vertical handover είναι οι εξής:

1. Αποφεύγεται η αποσύνδεση λόγω έλλειψης κάλυψης στην τρέχουσα ραδιο-τεχνολογία (RAT)
2. Πιθανή βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας
3. Υποστήριξη των προτιμήσεων του χρήστη όσον αφορά τη χρησιμοποίηση των RAN
4. Εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) στις ραδιο-τεχνολογίες (RATs)

Στο πλαίσιο του E3, το JRRM καλύπτει όλες τις συλλογικές δραστηριότητες μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων για να επιτύχει μια συντονισμένη και κοινή ανάθεση χωρητικότητας των ραδιο-πόρων που χρησιμοποιούν γνωσιακές ραδιο- ιδιότητες. Τα κύρια αποτελέσματα του JRRM όσον αφορά το SON(Self-organizing Network) και τη DSM (Dynamic Spectrum Management) είναι :

1. Περιγραφή της διασυνεργασίας μεταξύ JRRM και DSM : και οι δυο λειτουργίες στοχεύουν στην υιοθέτηση ενός αποτελεσματικού δικτύου που θα χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους σε ένα ετερογενές περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο, τα δεδομένα εισόδου, τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις του δικτύου ή μια προβλεπόμενη συμπεριφορά.
2. Περιγραφή της διασυνεργασίας μεταξύ JRRM και SON : βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης του φάσματος στις δικτυακές οντότητες, δικτυακούς τομείς και συχνότητα εύρους.

- Διαχείριση των Ευέλικτων Σταθμών Βάσης-Flexible Base Stations(FBSs) :
- Οι FBSs ανοίγουν μια νέα κατεύθυνση για τα γνωστικά δίκτυα, χρησιμοποιώντας τη διαθέσιμη υποδομή και τους ραδιο-πόρους. Επιτρέπουν ακόμη την παράλληλη λειτουργία διαφορετικών ραδιο- δεδομένων (multi standard base station).

Το E3 σχεδίασε και ανέπτυξε ένα FBS αλγόριθμο, καθορίζοντας ποιος σταθμός βάσης πρέπει να αναδιαρθρωθεί έτσι ώστε να προσαρμόσει τα ποσοστά των πόρων που απαιτούνται για κάθε υποστηριζόμενη ραδιο-τεχνολογία (RAT) και να σχηματίσει δυναμικά τους ενεργά ραδιο-πόρους σύμφωνα με τη συμπεριφορά της κίνησης.

Ένα παράδειγμα για την αποτελεσματικότητα του FBS αλγορίθμου είναι: σε μια γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από δυο ραδιο-τεχνολογίες (RATs) όπως GSM(Global System for Mobile Communication) και UMTS με

ακριβώς ίσους μοιρασμένους τους διαχειριζόμενους πόρους μεταξύ των δυο αυτών συστημάτων, σε κάποιο τμήμα αυτής της περιοχής παρουσιάζεται μια κατάσταση υψηλής κυκλοφορίας (π.χ. υπερφόρτωση) για το UMTS σύστημα ενώ μια κατάσταση χαμηλής για το GSM. Σε αυτή την περίπτωση, ο αλγόριθμος που τρέχει στο FBS θα λειτουργήσει για την αναδιάρθρωση του λογισμικού και των ραδιο-πόρων των κυψελών έτσι ώστε να προσφέρει στο UMTS σύστημα περισσότερη διαδικαστική ικανότητα και περισσότερους ραδιο-πόρους. [24] [29]

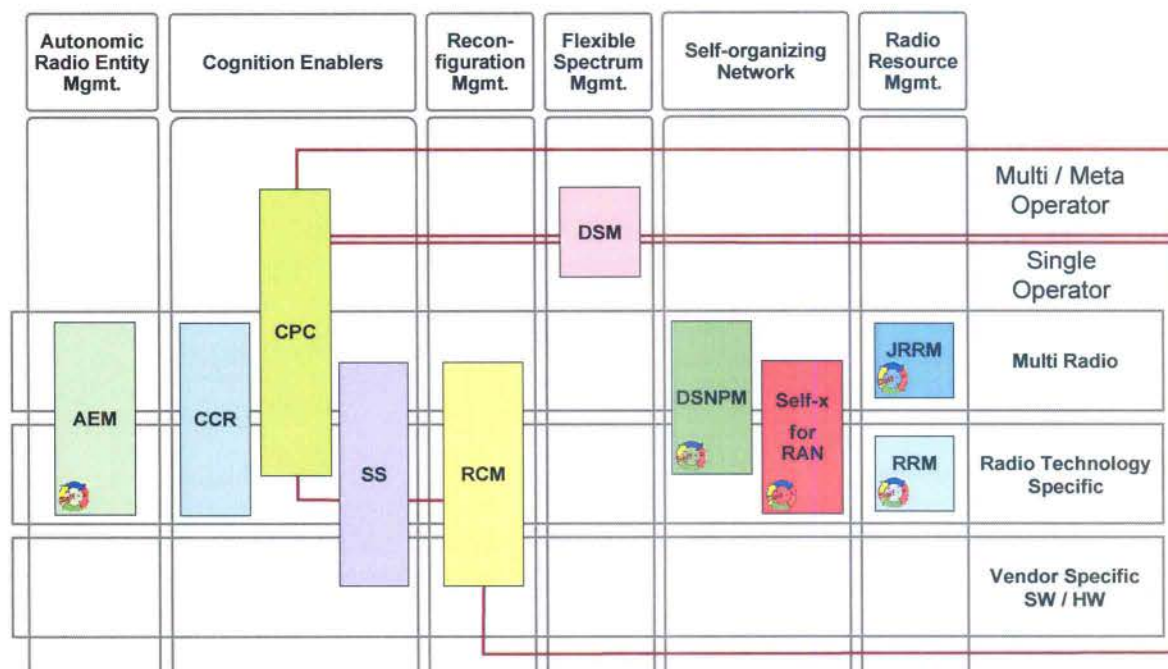
4.6 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Μια υψηλού επιπέδου επισκόπηση της Ε3 αρχιτεκτονικής συστημάτων που έχει αναπτυχθεί βάση των απαιτήσεων και των περιπτώσεων χρήσης. Ένα μεγάλο σύνολο περιπτώσεων χρήσης καθορίστηκε καθώς και οι διάφορες λειτουργικές απαιτήσεις. Αυτές οι ομάδες διαμόρφωσαν και τις δομικές μονάδες της αρχιτεκτονικής όπως θα δούμε παρακάτω.

4.6.1 Δομικές Μονάδες της Ε3 Αρχιτεκτονικής

Οι γενικές περιοχές μελέτης και οι κύριες δομικές μονάδες της Ε3 αρχιτεκτονικής παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Αυτοί παρουσιάζονται σε ένα δισδιάστατο διάστημα. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στις Ε3 αρχιτεκτονικές στήλες :

- Αυτόνομη διαχείριση ραδιο- οντοτήτων
- Γνωστικό δυναμικό
- Διαχείριση επανασχηματισμού
- Ευέλικτη διαχείριση φάσματος
- Self-organizing δίκτυο
- Ραδιο-διαχείριση πόρων



Self-x pattern applies

Σχήμα 31. Οι έξι άξονες της E3 γνωστικής ραδιο-αρχιτεκτονικής [10]

Οι διάφορες περιπτώσεις ανάπτυξης της E3 αρχιτεκτονικής διευθετούνται στον κάθετο άξονα. Συγκεκριμένα, από πάνω προς τα κάτω, εμφανίζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος:

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

Το τελευταίο απεικονίζει όλες τις μεμονωμένες περιπτώσεις επέκτασης που το E3 προσπαθεί να περιλάβει και πραγματοποιείται μέσω μιας ενιαίας αρχιτεκτονικής προσέγγισης. Στις ακόλουθες υποενότητες περιγράφονται οι διαφορετικές δομικές μονάδες.[30][31]

4.6.1.1 Autonomic Entity Management (AEM)

Η οντότητα αυτή στοχεύει στην αυτόνομη λειτουργία των γνωστικών ραδιο-οντοτήτων για να επιτευχθεί βέλτιστη απόδοση των συστημάτων. Η AEM είναι υπεύθυνη για τη βελτίωση της λειτουργίας των συγκεκριμένων συσκευών που βασίζεται στις κατάλληλες συμφραζόμενες πληροφορίες της ραδιο-οντότητας συστημάτων και του περιβάλλοντος. Ακόμα, πραγματοποιεί επιλογή ραδιο-τεχνολογίας σε περιπτώσεις ad-hoc ή multi-hop σε αντίθεση με την JRRM που περιλαμβάνεται στις παραδοσιακές περιπτώσεις επιλογής ραδιο-τεχνολογίας (RAT).

4.6.1.2 Cognitive Control Radio (CCR)

Το CCR είναι μια out-band peer to peer ραδιοπρόσβαση που υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ των ετερογενών κόμβων των δικτύων (π.χ. μεταξύ των τερματικών ή μεταξύ ενός δικτύου πρόσβασης και των τερματικών) για την ανταλλαγή γνωστικών πληροφοριών. Λειτουργεί σε γνωστή συχνότητα και προορίζεται για τη χρήση σε μια μη-αδειοδοτημένη ζώνη, όπου λειτουργούν γνωστικά ραδιοσυστήματα. Αυτή η «γνωστική ζώνη» μπορεί να περιέχει τους αρχικούς χρήστες. Το CCR είναι παρόμοιο με το περιορισμένου ζώνης ad-hoc ασύρματου τοπικού LAN που συμπληρώνεται με multi-hop δικτύωση. Το PHY και η MAC που υποστηρίζουν το CCR πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε η κατανάλωση ισχύος να είναι μικρή.

4.6.1.3 Cognitive Pilot Channel (CPC)

Το CPC είναι ένα λογικό, και προαιρετικά φυσικό κανάλι, το οποίο παρέχει πληροφορίες από το δίκτυο στα τερματικά, π.χ. για τις ζώνες συχνότητας, τις διαθέσιμες ραδιο-τεχνολογίες πρόσβασης και τις πολιτικές χρήσης φάσματος προκειμένου να επιτραπεί σε ένα τερματικό να βρει μια βέλτιστη ραδιο-πρόσβαση και να προκύψει μια αποδοτική επικοινωνία.

4.6.1.4 Spectrum Sensing (SS)

Το πεδίο αυτό σκοπό έχει να αποκτήσει γνώση των διαθέσιμων ραδιο-συστημάτων με την αίσθηση, με τον χαρακτηρισμό των ραδιο-συνθηκών και με την εκτίμηση της ποιότητας της ραδιο-σύνδεσης. Οι πληροφορίες αντίληψης του φάσματος μπορούν να κατανεμηθούν μεταξύ των διαφορετικών κόμβων χρησιμοποιώντας το CCR ή το CPC.

4.6.1.5 Reconfiguration Control Module (RCM)

Το RCM είναι κυρίως υπεύθυνο για την εκτέλεση της επαναδιάρθρωσης ενός τερματικού ή ενός σταθμού βάσης, σύμφωνα με τις οδηγίες που προέκυψαν από τις άλλες δομικές μονάδες, χαρακτηριστικά από το DSNPM, το Self-x για RAN και από το JRRM. Απαιτείται στα επαναδιαρθρώσιμα τερματικά, στους σταθμούς βάσης και προαιρετικά σε άλλα επαναδιαρθρώσιμα στοιχεία των δικτύων, με σκοπό να ενισχυθεί και να πραγματοποιηθεί η προσαρμογή τους στο τρέχον πλαίσιο.

4.6.1.6 Dynamic Spectrum Management (DSM)

Αυτή η μονάδα παρέχει τη μέση και μακροπρόθεσμη διαχείριση (π.χ. της τάξεως των ωρών ή των ημερών) του φάσματος για τα διαφορετικά ραδιο-συστήματα. Παρέχει τη γνώση σχετικά με τις πολιτικές για την ανάθεση φάσματος. Αυτές οι πολιτικές πρέπει να περιλαμβάνουν το ρυθμιστικό πλαίσιο για τη χρήση φάσματος.

4.6.1.7 Dynamic Self-Organising Network Planning and Management (DSNPM)

Το DSNPM παρέχει στις μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αποφάσεις για τις ενέργειες επανασχηματισμού ενός τμήματος των δικτύων, εξετάζοντας ορισμένες πληροφορίες εισόδου, και εφαρμόζοντας λειτουργίες βελτιστοποίησης. Το DSNPM

για παράδειγμα, αποφασίζει σχετικά με τη βέλτιστη διαμόρφωση ενός ευέλικτου σταθμού βάσης. Τέτοιες αποφάσεις επαναδιάρθρωσης δίνονται στη συνέχεια στο RCM, το οποίο είναι υπεύθυνο για την επόμενη εκτέλεση των επανασηματισμών.

4.6.1.8 Self-x for Radio Access Networks (Self-x for RAN)

Το self-x για τα δίκτυα ραδιοπρόσβασης επιτρέπει την αυτοματοποίηση των λειτουργικών εργασιών. Γενικά οι λειτουργίες self-x βασίζονται σε έναν βρόχο συγκεντρώνοντας τα δεδομένα εισόδου, επεξεργάζοντας αυτά τα δεδομένα και παράγοντας βελτιστοποιημένη παραμετροποίηση.

Το self-x για τα δίκτυα ραδιοπρόσβασης στοχεύουν στις λειτουργίες αυτό-οργάνωσης για τα δίκτυα ραδιο-πρόσβασης, παρέχοντας κυρίως μεσοπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες αποφάσεις. Εστιάζει στη ραδιο-τεχνολογία πρόσβασης για συγκεκριμένους διαχειριστή περιπτώσεις χρήσεις. Οι περιπτώσεις χρήσης για παράδειγμα είναι «η βελτιστοποίηση παραμέτρου handover», «ανίχνευση και διόρθωση της διακοπής λειτουργίας των κυψελών» και «εξισορρόπηση φορτίου». Το self-x για τα δίκτυα ραδιοπρόσβασης συνεργάζεται με το DSNPM (σε KPIs και τις πολιτικές), με το JRRM (εκτέλεση του self-x για αποφάσεις RAN, παροχή μετρήσεων) και με το RCM (που περιέχει τις λειτουργίες ελέγχου).

4.6.1.9 Joint Radio Resource Management (JRRM)

Το JRRM εκτελεί την κοινή διαχείριση των ραδιο-πόρων που ανήκουν σε ετερογενή ραδιο-τεχνολογία (RAT). Επιλέγει την καλύτερη ραδιο-πρόσβαση («επιλογή πρόσβασης») για έναν δεδομένο χρήστη με βάση το ζητούμενο QoS (εύρος ζώνης, μέγιστη καθυστέρηση, πραγματικός χρόνος/μη πραγματικό χρόνο), τις ραδιο-συνθήκες (π.χ. αφηρημένη ισχύς σήματος/ποιότητα, διαθέσιμο εύρος ζώνης), τις συνθήκες ραδιο-πρόσβασης (π.χ. χωρητικότητα κυψέλης, τρέχον φορτίο κυψέλης), τις προτιμήσεις του χρήστη και τις πολιτικές των δικτύων. Το JRRM παρέχει επίσης τις πληροφορίες γειτονιάς (Neighbourhood Information) για την αποδοτική ανακάλυψη των διαθέσιμων επιλογών πρόσβασης, οι οποίες μπορούν να καταναμηθούν χρησιμοποιώντας το CPC.

1.6.1.10 Radio Resource Management (RRM)

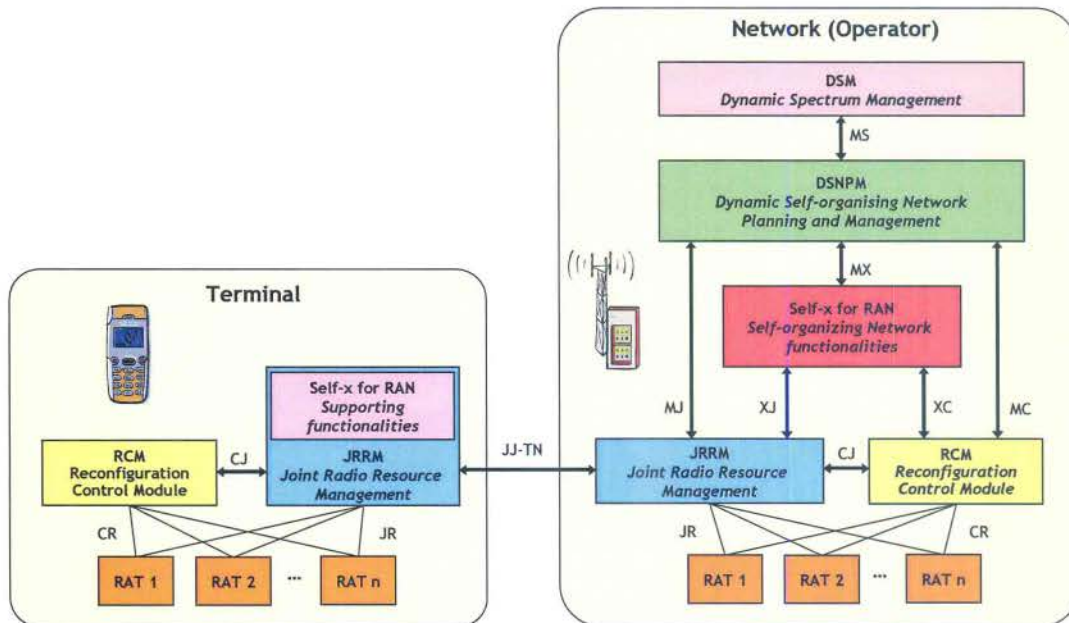
Η RRM περιλαμβάνει τη τεχνολογία ραδιο-πρόσβασης , τη συγκεκριμένη λειτουργία διαχείρισης των ραδιο-πόρων. Αυτή η λειτουργία υπάρχει ήδη π.χ. στα δίκτυα GSM και UMTS, αλλά πρέπει να επεκταθεί με μια ενοποιημένη διεπαφή προς το JRRM.[31]

4.6.2 Επισκόπηση Λειτουργικής Αρχιτεκτονικής

Η λειτουργική αρχιτεκτονική (FA) για τη διαχείριση και τον έλεγχο των επαναδιαρθρώσιμων ραδιο-συστημάτων περιέχει τις δομικές μονάδες, το διαχωρισμό των λειτουργιών μεταξύ της πλευράς του δικτύου και τερματικού και τις αντίστοιχες διεπαφές τους.

4.6.2.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική για έναν διαχειριστή δικτύου

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την περίπτωση ενός τερματικού και ενός δικτύου.



Σχήμα 32. Αρχιτεκτονική ενός χειριστή δικτύου[31]

Η λειτουργική αρχιτεκτονική για έναν χειριστή και ένα τερματικό περιλαμβάνει τις ακόλουθες διεπαφές :

JJ-TN: Διεπαφή ανάμεσα σε JRRM στο τερματικό και στην πλευρά του δικτύου

MS: Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και DSM

MJ: Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και JRRM

MX: Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και Self-x for RAN

MC: Διεπαφή ανάμεσα σε DSNPM και RCM

XJ : Διεπαφή ανάμεσα σε Self-x for RAN και JRRM

XC: Διεπαφή ανάμεσα σε Self-x for RAN και RCM

CJ: Διεπαφή ανάμεσα σε RCM και JRRM

JR: Διεπαφή ανάμεσα JRRM και ραδιο-τεχνολογίας (RAT)

CR: Διεπαφή ανάμεσα RCM και ραδιο-τεχνολογίας (RAT)

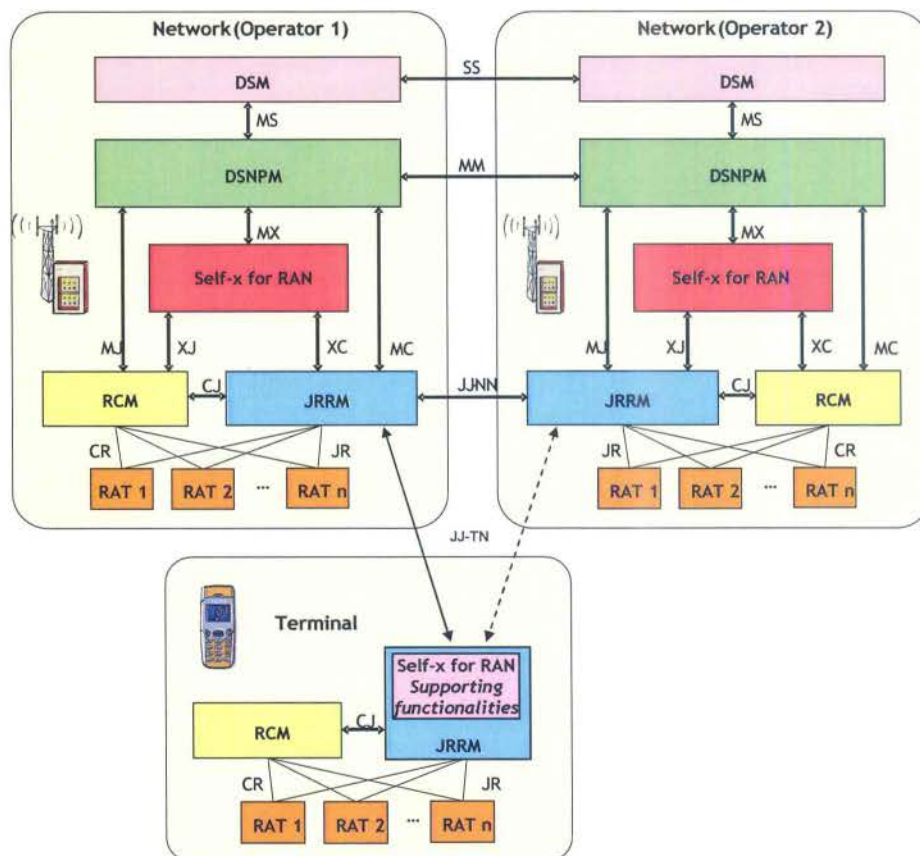
4.6.2.2 Λειτουργική Αρχιτεκτονική για την περίπτωση πολυ-χειριστών

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την λειτουργική αρχιτεκτονική στην περίπτωση διάφορων διαχειριστών δικτύου που συνεργάζονται ο ένας με τον άλλον. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι πρόσθετες διεπαφές μεταξύ δύο δικτύων:

SS: Διεπαφή ανάμεσα στα DSM

MM: Διεπαφή ανάμεσα στα DSNPM

JJ-NN: Διεπαφή ανάμεσα στα JRRM στην πλευρά του δικτύου



Σχήμα 33. Αρχιτεκτονική σε περίπτωση πολυ-χειριστών[31]

Πρέπει να σημειωθεί ότι εξαρτώμενες από το επίπεδο συνεργασίας και μεταξύ των χειριστών, μία, δύο ή και οι τρεις διεπαφές του διά-δικτύου θα χρησιμοποιηθούν.

Η SS-διεπαφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαπραγμάτευση σχετική με τη χρήση του φάσματος μεταξύ των χειριστών.

Η MM-διεπαφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανταλλαγή πληροφοριών στη διαμόρφωση του δικτύου με σκοπό να αποφευχθεί ή να μειωθεί η παρεμβολή ανάμεσα στα δίκτυα.

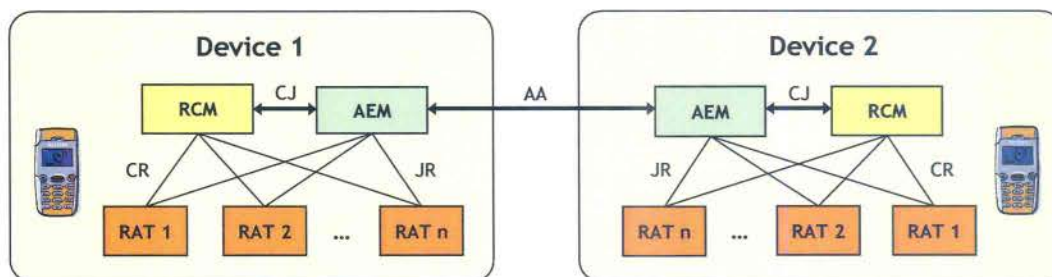
Η JJ-NN-διεπαφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για handover των χρηστών ανάμεσα στα δίκτυα, π.χ. για την εξισορρόπηση φορτίου.

Ένα τερματικό συνδέεται με ένα δίκτυο, αλλά όπως υποδεικνύεται από το παραπάνω σχήμα, ένα τερματικό μπορεί επίσης να συνδεθεί με δύο ή περισσότερα δίκτυα χειριστών συγχρόνως, π.χ. για να λάβει μια υπηρεσία μέσω του πρώτου χειριστή ενώ μια άλλη υπηρεσία χρησιμοποιεί τη σύνδεση με το δεύτερο χειριστή. Κατά τη διάρκεια handover ανάμεσα στα δίκτυα, το τερματικό μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει και τις δύο διεπαφές JJ-TN και στα δύο δίκτυα.[31]

4.6.2.3 Λειτουργική Αρχιτεκτονική για περιπτώσεις Ad-Hoc και Multi-Hop

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και τα σενάρια ad-hoc και multi-hop υποστηρίζονται στην λειτουργική αρχιτεκτονική. Στη θέση της δομικής μονάδας JRRM αυτό το σενάριο περιέχει τη δομική μονάδα AEM που παρέχει παρόμοιες λειτουργίες στο JRRM, αλλά περισσότερο αυτόματα και δεν επικοινωνεί με το δίκτυο ραδιο-πρόσβασης. Αντίθετα, επικοινωνεί με τις άλλες συσκευές άμεσα χρησιμοποιώντας την ακόλουθη διεπαφή :

AA: Διεπαφή ανάμεσα σε AEM

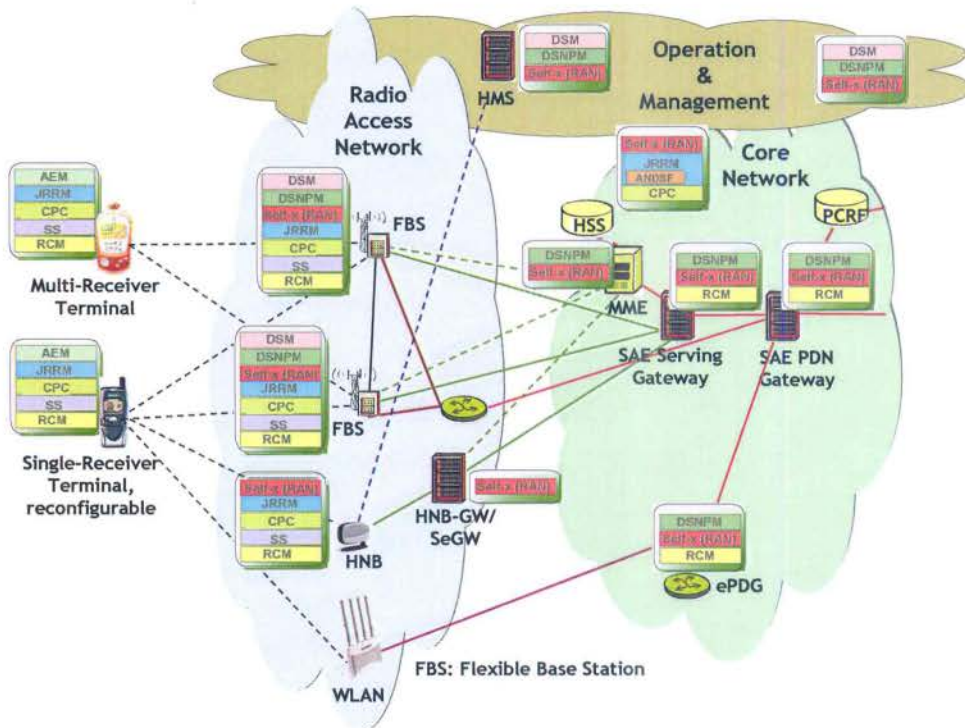


Σχήμα 34. Αρχιτεκτονική σε περίπτωση ad-hoc και multi-hop[31]

4.6.3 Χαρτογράφηση των E3 δομικών μονάδων σε οντότητες δικτύων

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα για το πώς οι διάφορες δομικές μονάδες μπορούν να χαρτογραφηθούν στις οντότητες δικτύων. Αυτό τονίζει ότι οι λειτουργίες των περισσότερων δομικών μονάδων είναι εξαπλωμένες σε διάφορες οντότητες των δικτύων.

Για παράδειγμα, οι λειτουργίες JRRM συμπεριλαμβάνονται στους σταθμούς βάσης, στα τερματικά και μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν στις κεντροκοποιημένες οντότητες μέσα στον Evolved Packet Core (EPC).



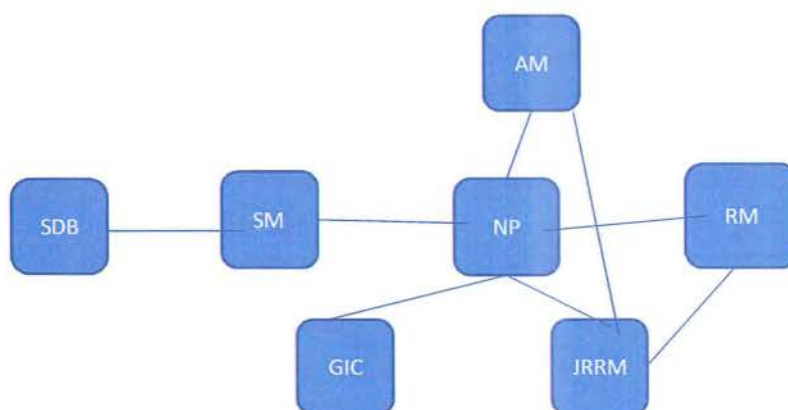
Σχήμα 35. Χαρτογράφηση των E3 δομικών μονάδων στις οντότητες δικτύου[31]

5. ΝΕΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

5.1 Εισαγωγή – Οι δομικές μονάδες

Έχοντας μελετήσει Ε3 Αρχιτεκτονικές ASA και FOCALE, παρατηρήσαμε ότι υπάρχουν λειτουργίες που εκτελούνται σε περισσότερες από μια οντότητες, χωρίς να υπάρχει ανάγκη για κάτι τέτοιο. Έτσι, προτείνουμε την παρακάτω αρχιτεκτονική.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι δομικές μονάδες που προτείναμε καθώς και οι πιθανές διεπαφές τους σε μια αποτύπωση της λειτουργικής αρχιτεκτονικής ενός δικτύου που υποστηρίζει θέματα αυτόνομης και δυναμικής διαχείρισης κόμβων. Οι δομικές μονάδες αναλύονται παρακάτω.



Σχήμα 36. Οι δομικές μονάδες της αρχιτεκτονικής

5.1.1 Reconfiguration Management-RM

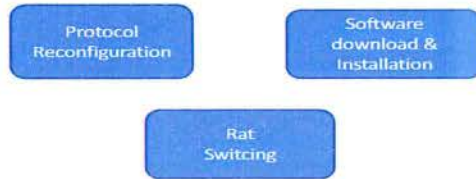
Η δομική μονάδα διαχείρισης επανασηματισμού (RM) περιλαμβάνει τη λειτουργία για την επιβολή- εκτέλεση των ενεργειών επανασηματισμού σε μια οντότητα. Μια από τις κύριες λειτουργίες του RM είναι η αποθήκευση και η επεξεργασία των συμφραζόμενων πληροφοριών. Συσχετίζεται με την ίδια τη συσκευή (δηλ. μνήμη, ισχύς επεξεργασίας, πρωτόκολλα/εκδόσεις λογισμικού) ή το δίκτυο στο οποίο η συσκευή λειτουργεί (δηλ. φορτίο κυψέλης). Η βασισμένη στα συμφραζόμενα ικανότητα συνειδητοποίησης RM καλύπτει επίσης τους χρήστες και τις υπηρεσίες. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες χρηστών όπως οι προτιμήσεις τους και η υπηρεσία σχετικά με τα χαρακτηριστικά τους (δηλ. ζητούμενο εύρος ζώνης και ο τύπος υπηρεσίας) διατηρούνται και επεξεργάζονται από το RM. Η ενημερότητα του RM του επιτρέπει ακόμα να υποστηρίζει την προσαρμογή της συσκευής σε νέες καταστάσεις φάσματος.

Μια άλλη λειτουργία του RM περιλαμβάνει τη διαχείριση και τον επανασηματισμό των πρωτοκόλλων και γενικά τις στοίβες πρωτοκόλλων. Το RM αναλαμβάνει τους στόχους για downloading, να διαμορφώσουν και να εγκαταστήσουν τα τμήματα πρωτοκόλλου, να επαναδιαμορφώσουν τις λίστες πρωτοκόλλου (δηλ. πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας). Ουσιαστικά, το RM εστιάζει στον αποδοτικό και αποτελεσματικό προγραμματισμό του επανασηματισμού, εννοώντας την επιλογή και την ανάπτυξη των περισσότερων κατάλληλων ενεργειών όσον αφορά τις διαθέσιμες συμφραζόμενες πληροφορίες. Το RM λαμβάνει τις γενικές οδηγίες από άλλες οντότητες, όπως από Autonomic Management (AM) και το JRRM και εκτελεί τις αποφάσεις που λαμβάνει.

Οι λειτουργικές οντότητες της δομικής μονάδας είναι :

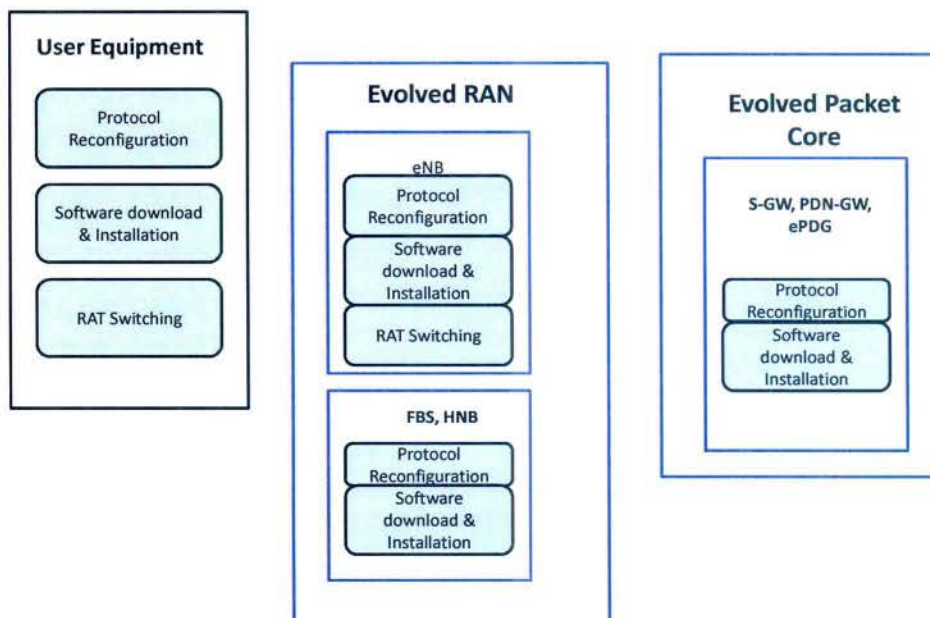
- Protocol Reconfiguration : Ο επανασηματισμός πρωτοκόλλου, συμπεριλαμβάνει τη βέλτιστη επιλογή για μια τεχνολογία, την ανακάλυψη της θέσης του, την αυτοανάλυση στην υπάρχουσα λίστα πρωτοκόλλων και τη δυναμική σύνδεση των πρωτοκόλλων
- Software Download & Installation : Περιλαμβάνει το download του απαραίτητου λογισμικού και την εγκατάσταση του.
- RAT Switching : Αρχικοποιεί τη μεταγωγή στην πιο κατάλληλη ραδιο-τεχνολογία (RAT), καθώς επίσης και τον επανασηματισμό μετά από handover.

Reconfiguration Management



Σχήμα 37. Λειτουργικές οντότητες του RM

Σχετικά με τη θέση της δομικής μονάδας RM, βρίσκεται σε όλες τις reconfigurable συσκευές, όπως η κινητή συσκευή, ο ευέλικτος σταθμός βάσης, η πύλη εξυπηρέτησης SAE και η πύλη PDN καθώς επίσης και στο ePDG. Η λειτουργική οντότητα RAT Switching του RM απαιτείται στον εξοπλισμό του χρήστη-User Equipment (UE) και στα eNB.



Σχήμα 38. Χαρτογράφηση των λειτουργικών μονάδων του RM στα στοιχεία του δικτύου

5.1.2 Global Information Channel – GIC :

Το σφαιρικό-γενικό κανάλι πληροφοριών (GIC) υποστηρίζει τις διαθέσιμες ραδιο-τεχνολογίες πρόσβασης και της διαχείρισης επανασηματισμού σε ετερογενές ασύρματο περιβάλλον ανάμεσα στο δίκτυο και στο χρήστη.

Το GIC μπορεί να οριστεί ως ένας συνδυασμός δύο συστατικών που ονομάζονται Out-band GIC και In-band GIC και μπορεί ακόμα να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα από τα δύο συστατικά:

- Το Out-band είναι ένα φυσικό κανάλι έξω από τις τεχνολογίες ραδιο πρόσβασης
- Το In-band αναφέρεται σε ένα λογικό κανάλι μέσα στις τεχνολογίες ραδιο πρόσβασης.

Το GIC έχει τμήματα downlink και uplink συνδέσεων, αλλά μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας μόνο τη downlink σύνδεση, π.χ. αναμεταδίδοντας τις πληροφορίες γειτονιάς- neighbourhood.

Out-band GIC

Το out-band GIC προβλέπεται για την κάλυψη ευρείας περιοχής, είτε χρησιμοποιώντας μια νέα ραδιο-διεπαφή, είτε ενδεχομένως μια προσαρμογή της προηγούμενης τεχνολογίας με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές, το out-band δεν παρέχεται από τους φορείς από μια ραδιο-τεχνολογία σε ένα σύστημα προηγούμενου διαχειριστή και απαιτεί κάποια μορφή εναρμόνισης (εναρμονισμένη ζώνη). Ο στόχος του out-band είναι να παρέχει πληροφορίες ζωτικής σημασίας όπως η έναρξη λειτουργίας της συσκευής (π.χ. διαθέσιμα δίκτυα στη τοποθεσία τους). Όταν παρέχεται η πληροφορία για την έναρξη της λειτουργίας, αναμένεται ότι η συσκευή θα μετάγει στο in-band για τις τρέχουσες πληροφορίες. Ο διευθυντής-διαχειριστής GIC, δηλ. η οντότητα που ελέγχει και διαχειρίζεται το GIC, συνδέεται με τη ραδιο-τεχνολογία (RAT) κρατώντας το out-band GIC . Αφού τεθεί σε λειτουργία το τερματικό, θα πρέπει πρώτα να ανιχνεύσει και να συγχρονιστεί με το GIC. Τότε οι πληροφορίες που μεταφέρονται από το GIC μπορούν να εξαχθούν, και αφού αξιολογηθούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλέξουν και να συνδεθούν σε ένα δίκτυο. Τα παραπάνω βήματα μπορούν επίσης να εκτελεσθούν περιοδικά για να ανιχνεύσουν τις αλλαγές στο περιβάλλον λόγω είτε της εναλλαγής της κινητής θέσης είτε στις επαναδιαρθρώσεις του δικτύου.

Στη διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω, το out-band CPC παρέχει μόνο τη μεταφορά πληροφορίας downlink. Ωστόσο, σε άλλα σενάρια, το out-band CPC μπορεί να έχει και τη μεταφορά πληροφοριών downlink και uplink.

Τοπικό γνωστικό πιλοτικό κανάλι

Μια εναλλακτική λύση είναι ένα τοπικό GIC (LGIC). Το LGIC είναι ένα out-band, διπλής κατεύθυνσης σύστημα μετάδοσης. Τα δίκτυα μεταφέρουν σε εκείνα τα τερματικά, τα οποία έχουν μόλις τεθεί σε λειτουργία, πληροφορίες του χειριστή, των ραδιο-τεχνολογιών (RAT) και των συχνοτήτων τους. Στην περίπτωση των κυβελωτών συστημάτων, οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν τις πληροφορίες. Κάθε συσκευή αποστολής σημάτων LGIC χρησιμοποιεί την ίδια γνωστή συχνότητα και οι συγκρούσεις λύνονται από ένα πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης παρόμοιο με το πρωτόκολλο MAC του ασύρματου τοπικού LAN. Για να επιταχυνθεί η διαδικασία, το πρόσφατα επεκταμένο τερματικό μπορεί να στείλει ένα μήνυμα «είναι το δίκτυό μου εδώ» στο LGIC. Κατόπιν ο κόμβος του δικτύου απαντά κατάλληλα δίνοντας τη συχνότητα του δικτύου. Έτσι, ένα τερματικό δεν είναι απαραίτητο να ανιχνεύσει την πιθανή μεγάλη ζώνη των γνωστικών ραδιο-συστημάτων. Αντί για αυτό, αφού λάβει ένα κατάλληλο μήνυμα σε LGIC, το τερματικό πηδά άμεσα στη συχνότητα του προτιμώμενου δικτύου. Οι πληροφορίες που στέλνονται είναι μόνο για τα τοπικά προσωρινά δίκτυα. Ο κατάλογος των τεχνολογιών των δικτύων είναι μικρός. Το κινητό τερματικό δεν χρειάζεται να ξέρει τη θέση του επειδή λαμβάνει μόνο τις πληροφορίες που είναι σχετικές με την τρέχουσα τοποθεσία τους.

In-band GIC

Το In-band GIC μπορεί να εφαρμοστεί σε μια ή περισσότερες διαθέσιμες ραδιο-τεχνολογίες (RATs). Ο διευθυντής GIC μπορεί να λάβει τις πληροφορίες που κατανέμονται στο In-band από το Network Planning. Η συνδυασμένη χρήση της out-band και του In-band μπορεί να διευκρινιστεί όπως απεικονίζεται στον ακόλουθο όπου τα διαδοχικά βήματα αποτελούνται από:

- Αρχική φάση: όταν το τερματικό τίθεται σε λειτουργία, αρχίζει να ακούει out-band προκειμένου να λαμβάνει τις βασικές παραμέτρους (π.χ. διαθέσιμα δίκτυα σε εκείνη την τοποθεσία), κατόπιν να επιλέγει και να συνδέεται με το δίκτυο
- Τρέχουσα φάση: μόλις συνδεθεί το τερματικό σε ένα δίκτυο σταματά να ακούει την out-band και αρχίζει να λαμβάνει το in-band μέσα στο καταχωρημένο δίκτυο.

5.1.3 Spectrum Management-SM :

Περιλαμβάνει τη διαχείριση του φάσματος και στοχεύει στη μέσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη διαχείριση (π.χ. της τάξης των ωρών, των ημερών) του φάσματος για διαφορετικά ραδιο-συστήματα. Περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες :

- α) Γνώση σχετικά με τις πολιτικές για την ανάθεση φάσματος. Αυτές οι πολιτικές πρέπει να περιλάβουν το ρυθμιστικό πλαίσιο για τη χρήση φάσματος.
- β) Γνώση σχετικά με τις τρέχουσες αναθέσεις φάσματος. Αυτό περιλαμβάνει τις αρχικές καθώς επίσης και τις δευτερεύουσες αναθέσεις φάσματος.

- γ) Λήψη απόφασης σχετικά με την ανάθεση φάσματος σε ορισμένες ραδιο-τεχνολογίες (RAT).
- δ) Η γνώση σχετικά με το διαθέσιμο φάσμα που μπορεί να εκμεταλλευτεί εμπορικά
- ε) Η ικανότητα το διαθέσιμο φάσμα να εμπορευματοποιηθεί με άλλες περιπτώσεις διαχείρισης φάσματος π.χ. που ανήκουν σε έναν άλλο χειριστή.

Βρίσκεται σε στενή συνεργασία με την SDB - Βάση Δεδομένων Φάσματος, από όπου και αντλεί πληροφορίες για προηγούμενες αναθέσεις φάσματος και πολιτικές καθώς και γενικότερα για τις συχνότητες που κάθε φορά είναι διαθέσιμες. Την προτείνουμε ως ξεχωριστή οντότητα στον τομέα Operation & Maintenance.

Βρίσκεται ακόμα σε άμεση επικοινωνία με το Network Planning, όπου παρέχει το ποσό του διαθέσιμου φάσματος για τις διαφορετικές ραδιο-τεχνολογίες (RATs), τις μη κατειλημμένες ζώνες φάσματος, τις ευκαιρίες φάσματος καθώς επίσης και το κόστος της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η SM πληροφορεί το NP για τις αλλαγές στις πολιτικές χρήσης του φάσματος.

5.1.4 Spectrum Data Base - SDB:

Ως ξεχωριστή οντότητα στον τομέα Operation & Maintenance προτείνουμε και τη Βάση Δεδομένων Φάσματος, η οποία όπως αναφέραμε, επικοινωνεί απευθείας με την οντότητα Διαχείριση Φάσματος.

5.1.5 Network Planning – NP :

Ο σχεδιασμός του δικτύου περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργικές οντότητες :

- Network Resources Optimization - NRO :

Οι κύριες λειτουργίες του Network Planning, που μπορούν να θεωρηθούν ως αποτέλεσμα των αλγορίθμων βελτιστοποίησης μέσα στη λειτουργική του διαδικασία είναι :

Σχετικά με το στρώμα εφαρμογής:

1. Ανάθεση QoS (π.χ. μέγιστο/εγγυημένο ρυθμό δεδομένων ανά κατηγορία QoS ανά κυψέλη κ.λπ)

Σχετικά με το στρώμα δικτύου:

1. Κατανομή της κίνησης των ραδιο-τεχνολογιών (RAT) και των δικτύων (η απόφαση παρέχεται στο JRRM λειτουργώντας σε επίπεδο πακέτου/ ροή υπηρεσίας (περιοχή ελέγχου))

2. Απόδοση δικτύων (π.χ. βελτιστοποίηση παραμέτρου HO, εξισορρόπηση φορτίου, έλεγχος παρεμβολής)

Σχετικά με PHY/MAC:

1. Επιλογή φάσματος, σύμφωνα με τις πολιτικές-πληροφορίες που λαμβάνει από την Spectrum Management.

2. Ραδιο-παραμέτροι διαμόρφωσης π.χ. κατανομή ισχύος (π.χ. μέγιστο επίπεδο ανά φέρον, κλίση κεραιών, επιλογή καναλιού)

Σχετικά με το στρώμα εφαρμογής:

1. Ανάθεση επιπέδου QoS (ρυθμός δεδομένων, μέγιστος αριθμός ροών υπηρεσίας, κ.λπ.) στις κατηγορίες χρηστών/υπηρεσιών (απόφαση διαχείρισης, στηρίζοντας στις στατιστικές παραμέτρους, που δεν γίνονται ανά επίπεδο πακέτου/ροής υπηρεσίας).

▪ Network Monitoring- NM :

Η λειτουργική μονάδα Ελέγχου Δικτύου περιλαμβάνει τις ακόλουθες μεμονωμένες λογικές λειτουργίες:

1. Διαχείριση πλαισίου (έλεγχος και ανταλλαγή πληροφοριών που απαιτούνται για τη σωστή λήψη απόφασης)

2. Διαχείριση απόδοσης (βελτιστοποιώντας την απόδοση του δικτύου προβλέποντας πιθανά προβλήματα και αξιολογώντας τις υπάρχουσες πληροφορίες)

3. Λήψη αποφάσεων (αποφασίζοντας τον επανασηματισμό των τμημάτων του δικτύου π.χ. κυψέλες εντός ή εκτός λειτουργίας, επαναδιαρθρώνοντας τη λειτουργία και τις παραμέτρους ενός σταθμού βάσης)

4. Επιλογή της ραδιο διαμόρφωσης παραμέτρου (επιλέγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους λειτουργίας των BS για να βελτιώσει την αποδοτικότητα του γενικού δικτύου)

5. Διαχείριση KPI (επιλέγοντας ένα διαμορφωμένο KPI για να ελέγξει την απόδοση του δικτύου)

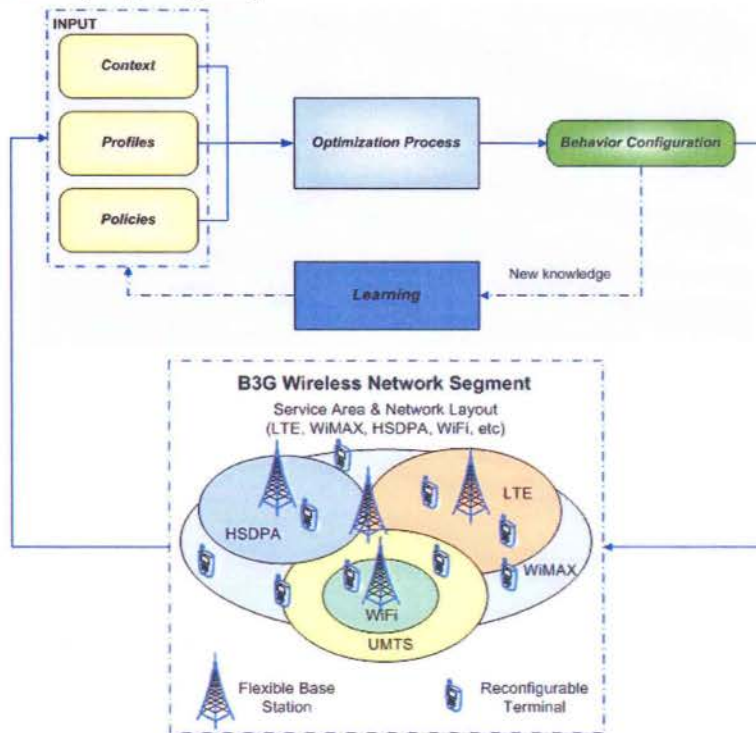
6. Αυτοκριτική (ελέγχοντας την ελαττωματική λειτουργία του δικτύου και αποφασίζοντας τις κατάλληλες ενέργειες για να διορθωθεί και δοκιμάζοντας ένα νέο σχηματισμό)

7. Διαχείριση γνώσης (η διαδικασία εκμάθησης δηλ. εξαγωγή γνώσης)

8. Πολιτική διαχείρισης (εγκατάσταση, εφαρμογή και διανομή)

Η είσοδος στο NP περιλαμβάνει τις ακόλουθες πληροφορίες :

- Πληροφορίες πλαισίου που περιλαμβάνουν τις τρέχουσες συνθήκες κίνησης, κινητικότητα, παρεμβολής και των καταστάσεων των στοιχείων.
- Πληροφορίες profile, που αφορούν τον εξοπλισμό, την εφαρμογή, τις απαιτήσεις και τις προτιμήσεις των χρηστών.
- Πληροφορίες πολιτικής που προέρχονται από τους στόχους βελτιστοποίησης και τις στρατηγικές.



Σχήμα 39. Το Network Planning για B3G ασύρματα τμήματα δικτύου [33] [34]

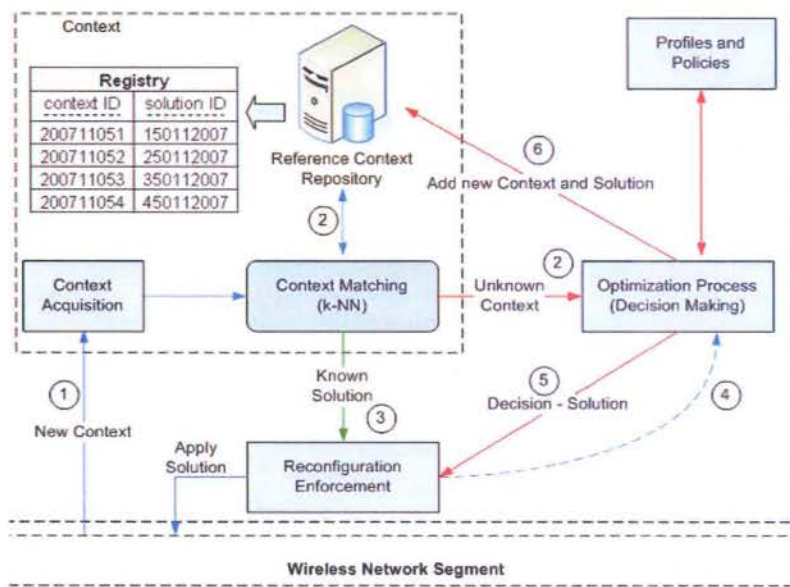
Η διαδικασία βελτιστοποίησης , εξετάζει τις πληροφορίες εισόδου και παρέχει μια εφικτή διαμόρφωση δικτύου. Τέλος, η απόφαση επανασχηματισμού εφαρμόζεται από την Decision Enforcement Module στην περιοχή εξυπηρέτησης.

Πρέπει να βρει τις καλύτερες διαμορφώσεις που μεγιστοποιούν τη λειτουργία, λαμβάνοντας υπόψη την ικανοποίηση του χρήστη, την κατανομή των επιπέδων QoS και το κόστος των επαναδιαρθρώσεων. Η απόφαση για τη διαδικασία βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τρεις κατανομές-καταχωρίσεις, που εφαρμόζονται στην περιοχή εξυπηρέτησης. Η πρώτη κατανομή περιλαμβάνει την κατανομή των ραδιο-τεχνολογιών (RATs) στους διαθέσιμους πομποδέκτες της περιοχής. Έτσι, αρκετοί πομποδέκτες ίσως χρειαστεί να αλλάξουν την τεχνολογία πρόσβασης ή τη ζώνη συχνοτήτων τους. Η δεύτερη είναι η κατανομή του φορτίου κίνησης , που επηρεάζεται από τις υπηρεσίες του χρήστη, στους πομποδέκτες. Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι η εξισορρόπηση φορτίου.

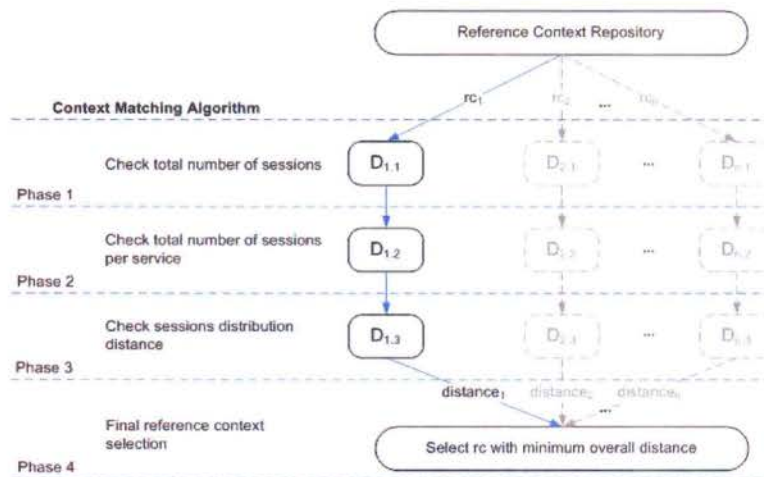
Έτσι, το φορτίο κίνησης είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στους πομποδέκτες σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας τους, όπως η χωρητικότητα. Η τελευταία κατανομή, είναι η κατανομή των επιπέδων QoS στις υπηρεσίες του χρήστη. Η διαδικασία βελτιστοποίησης εκμεταλλεύεται τις ικανότητες των ραδιο-τεχνολογιών (RATs) με σκοπό οι υπηρεσίες του χρήστη να παρέχονται με το μεγαλύτερο πιθανό επίπεδο QoS.

Το σύστημα αποθηκεύει τις πληροφορίες σχετικά με τα περιεχόμενα, όπως τις απαιτήσεις, τις συνθήκες, και λύσεις από το παρελθόν. Ακόμα, έχει την ικανότητα να αναγνωρίσει ένα καινούργιο πλαίσιο, εάν είναι παρόμοιο με ένα παλιότερο και εάν μια λύση είναι γνωστή και κατάλληλη σε αυτήν την περίπτωση. Η όλη διαδικασία βοηθά στο να αποφευχθούν πολύπλοκες διαδικασίες βελτιστοποίησης και υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία εκτιμώντας την καταλληλότητα των λύσεων.

Ο αλγόριθμος Context Matching (CMA) είναι υπεύθυνος για τον προσδιορισμό του πλαισίου, δηλαδή εάν είναι παρόμοιο ή όχι με κάποιο πλαίσιο από το παρελθόν. Περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις καθεμία από τις οποίες επικεντρώνεται σε ένα κριτήριο με τις αντίστοιχες τιμές κατωφλίου, διαρθρωμένες από τον Διαχειριστή Δικτύου (NO).



Σχήμα 40. Ο αλγόριθμός προσαρμογής πλαισίου – CMA [33] [34]



Σχήμα 41 . Ο αλγόριθμός προσαρμογής πλαισίου – CMA [33]

Αυξάνεται η πιθανότητα προσαρμογής, εξαιτίας της ικανότητας του συστήματος να αποθηκεύει τα χαρακτηριστικά πλαισίου και τις λύσεις. Έτσι, το σύστημα είναι ικανό να παρέχει στο μέλλον τις κατάλληλες λύσεις άμεσα. Ακόμα, ο χρόνος που απαιτείται για να βρεθεί η κατάλληλη λύση μειώνεται εκμεταλλεύοντας την ικανότητα του συστήματος.

Το πλαίσιο (έλεγχος και ανακάλυψη) μέσα στη διαδικασία NP ελέγχει την κίνηση, την κινητικότητα, την παρεμβολή και έτσι γνωρίζει τη θέση των στοιχείων του δικτύου μέσα στα τμήματα του. Ο έλεγχος δικτύου παρέχει τις πληροφορίες για τις απαιτήσεις κίνησης, τα προσφερόμενα επίπεδα QoS, τις συνθήκες κινητικότητας, τα επίπεδα παρεμβολής και η τρέχουσα διαμόρφωση. Η ανακάλυψη δικτύου δίνει τις πληροφορίες για την απόδοση και επίπεδο QoS από εναλλακτικές διαμορφώσεις.

Το στοιχείο Profiles παρέχει πληροφορίες για τις ικανότητες των στοιχείων του δικτύου και του εξοπλισμού των χρηστών, τις απαιτήσεις εφαρμογής και τις προτιμήσεις του χρήστη (π.χ. δαπάνες, εφαρμογές, QoS, κινητικότητα) που είναι απαραίτητα για να αποφασίσουν σχετικά με την κατάλληλη διαμόρφωση, λαμβάνοντας υπόψη επίσης τις απαιτήσεις πληροφοριών πλαισίου και πολιτικής.

Οι στοιχείο Policies περιέχει τους κανόνες και τις στρατηγικές του διαχειριστή δικτύου (Network Operator). Αυτοί οι κανόνες και οι στρατηγικές όπως οι καθορισμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης (για την επιλογή ραδιο-τεχνολογίας (RAT), handover) ή το ελάχιστο επίπεδο QoS πρέπει να εκτιμηθούν στο χειρισμό του πλαισίου.

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης μέσα στη λειτουργική διαδικασία NP μεταφέρουν το αποτέλεσμα, που ενισχύει τις ενέργειες επανασχηματισμού στα στοιχεία του δικτύου και στα τερματικά, λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο, τα σχεδιαγράμματα και τις πολιτικές.

Η λειτουργία *Machine Learning Capabilities* λαμβάνει νέες πληροφορίες για τη τοποθεσία του δικτύου και τις απαιτήσεις. Επιπλέον είναι σε θέση να προσδιορίσει τις κατάλληλες διαμορφώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήδη σε προηγούμενες διαδικασίες βελτιστοποίησης που καθιστούν τη γενική διαδικασία γρηγορότερη. [33] [34]

Προτείνουμε το Network Planning ως μια ανεξάρτητη οντότητα στον τομέα Operation & Maintenance.

Network Planning



Σχήμα 42. Λειτουργικές οντότητες του Network Planning

5.1.6 Joint Radio Resource Management – JRRM :

Το JRRM εκτελεί την κοινή διαχείριση των ραδιο-πόρων που ανήκουν σε ετερογενή τεχνολογίες ραδιο-πρόσβασης (RAT). Οι λειτουργικές οντότητες της JRRM είναι :

- Resource Monitoring- RM
- Call Admission Control - CAC

Επικοινωνούν απευθείας με την Autonomic Management(AM), την Reconfiguration Management (RM) και το Network Planning (NP). Η διεπαφή MJ ανάμεσα στο NP και στην JRRM στην πλευρά του δικτύου αφορά κυρίως την απόκτηση πληροφοριών πλαισίου για το δίκτυο. Οι πληροφορίες στέλνονται από το JRRM στο NP, για παράδειγμα το ποσό των πόρων που χρησιμοποιείται σε κάθε ραδιο-τεχνολογία (RAT) και την πληροφορία κατάστασης.

Προτείνουμε την άμεση επικοινωνία της JRRM με την οντότητα AM, για να μπορούν να αντιμετωπιστούν θέματα Self-Healing.

NP –JRRM διεπαφή : Το JRRM στέλνει τις ακόλουθες πληροφορίες στο NP:

- Την αίτηση πόρων πέρα από τις διαθέσιμες ραδιο-τεχνολογίες (RAT)

- Τους πόρους που απορρίπτονται από τις διαθέσιμες ραδιο-τεχνολογίες (RATs)
- Τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τις ραδιο-τεχνολογίες (RATs)

Το NP παρέχει τις ακόλουθες πληροφορίες στο JRRM :

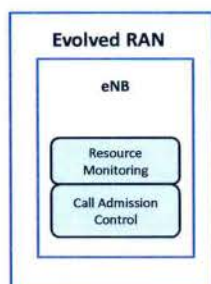
- Τις διαμορφώσεις των τμημάτων του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τις ραδιο-τεχνολογίες (RATs) και το φάσμα στους πομποδέκτες.
- Τη διαμόρφωση του σταθμού βάσης
- Τη διαμόρφωση του δικτύου

Ακόμα, η οντότητα JRRM επικοινωνεί με την RM, όπου ανταλλάσσουν πληροφορίες για τον έλεγχο των διαθέσιμων πόρων, ώστε η RM να κλείσει μια ραδιο-τεχνολογία (RAT).

Joint Radio Resource Management



Σχήμα 43. Λειτουργικές οντότητες του JRRM



Σχήμα 44. Χαρτογράφηση των λειτουργικών μονάδων του JRRM στα στοιχεία του δικτύου

5.1.7 Autonomic Management-AM:

Η δομική μονάδα αυτόνομης διαχείρισης (AM) στοχεύει στην αυτόνομη λειτουργία των γνωστικών ραδιο-οντοτήτων του συστήματος για την επίτευξη μιας βέλτιστης απόδοσης των συστημάτων.

Πιο συγκεκριμένα, είναι υπεύθυνη για τη βελτίωση της λειτουργίας συγκεκριμένων συσκευών που βασίζονται στις κατάλληλες πληροφορίες του ραδιο-συστήματος και του περιβάλλοντος. Σε αντίθεση με άλλες λειτουργικές μονάδες στο σύστημα που εστιάζουν στη γενική βελτιστοποίηση απόδοσης των δικτύων, η AM αποφασίζει βασισμένη στις πολιτικές σχετικά με τη λειτουργία των ενιαίων οντοτήτων σε σχέση με την υπολογιστική (π.χ. μνήμη, χρήση CPU, κατανάλωση ισχύος) . Είναι ένας γνωστικός τρόπος για έξυπνες αποφάσεις που βασίζονται σε προηγούμενα δεδομένα και στις πρόσφατες συνθήκες του δικτύου και του συστήματος. Η AM είναι σε θέση να παίρνει αποφάσεις σχετικά με την καταλληλότερη ραδιο-τεχνολογία (RAT) και να ανταλλάσει πληροφορίες με την Reconfiguration Management, όπου εκτελεί την απόφαση της AM . Η επιλογή μιας ραδιο-τεχνολογίας (RAT) μπορεί επίσης να υπονοήσει τον επανασηματισμό της στοίβας πρωτοκόλλου μιας οντότητας (π.χ. τερματικό). Η απόφαση για αυτήν την δράση επανασηματισμού λαμβάνεται από την AM ενώ η εκτέλεση πραγματοποιείται από την RM.

- **Self-Configuration :** Η αυτο-διάρθρωση ορίζεται ως η διεργασία κατά την οποία οι καινούριοι κόμβοι που εισάγονται στο σύστημα διαρθρώνονται απο αυτόματες διαδικασίες εγκατάστασης ώστε οι κόμβοι να μπορούν να πληρούν τις προϋποθέσεις λειτουργίας του συστήματος. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα σε κατάσταση προ-λειτουργίας, δηλαδή σε κατάσταση κατά την οποία

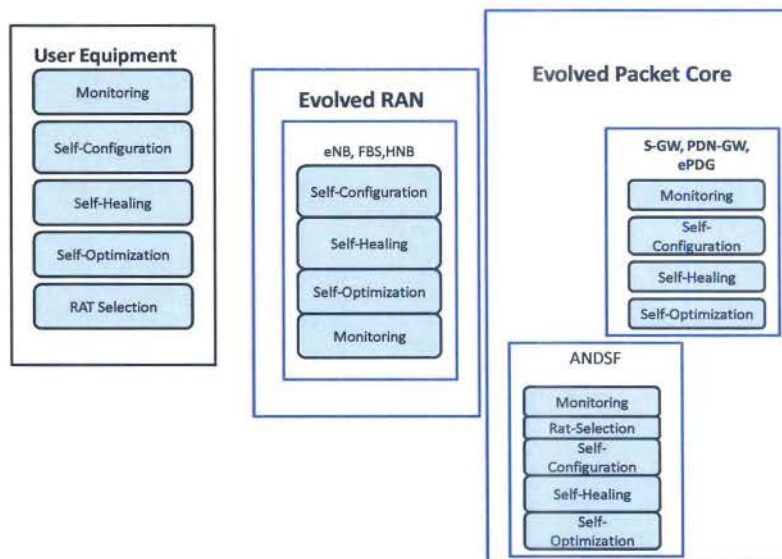
το RF interface δεν είναι ακόμη εμπορικά ενεργό. Μετά από την πρώτη αυτή αρχική διάρθρωση, ο κόμβος θα πρέπει να έχει ικανοποιητική συνδεσιμότητα προς το δίκτυο, ώστε να έχει τη δυνατότητα να αντλήσει πιθανές επιπρόσθετες παραμέτρους διάρθρωσης ή ακόμη και ενημερώσεις λογισμικού από το δίκτυο, για να κατορθώσει να είναι πλήρως λειτουργικός.

- **Self-Healing** : Η αυτο-ίαση είναι μια SON λειτουργία που ανιχνεύει προβλήματα και είτε τα λύνει είτε τα μετριάζει (από μόνη της), έτσι ώστε να αποφύγει την εμφάνιση επιπτώσεων στο χρήστη αλλά και για να μειώσει σημαντικά το κόστος συντήρησης. Για κάθε σφάλμα που ανιχνεύεται, παράγονται κατάλληλα σήματα συναγερμού από την οντότητα του δικτύου που φέρει τη βλάβη. Όπως είναι εμφανές, το trigger (σκανδαλιστής) της αυτο-ίασης είναι τα μηνύματα συναγερμού. Η λειτουργία του self healing παρακολουθεί τους συναγερμούς και όταν εντοπίζει κάποιον, ο οποίος οφείλεται σε σφάλμα που μπορεί να επιλυθεί αυτόματα, συγκεντρώνει περισσότερες σχετικές πληροφορίες(π.χ. μετρήσεις, αποτελέσματα δοκιμών κ.α.), πραγματοποιεί ανάλυση σε βάθος και στη συνέχεια ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, υποκινεί τις κατάλληλες ενέργειες ανάκαμψης ώστε να λυθεί αυτόματα το σφάλμα.
- **Self-Optimisation** : Η αυτο-βελτιστοποίηση θα μπορούσε να οριστεί ως η διαδικασία όπου οι μετρήσεις από τον εξοπλισμό του χρήστη αλλά και από το σταθμό βάσης, όπως επίσης και οι μετρήσεις επίδοσης χρησιμοποιούνται για τον αυτο-συντονισμό (auto-tune) του δικτύου. Οι ενέργειες συντονισμού αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές παραμέτρων, κατωφλίων, συσχέτισης γειτόνων κ.α. Το βασικά κέρδη από τη χρήση του self-optimization μηχανισμού είναι : ελαχιστοποίηση λειτουργικής προσπάθειας, αύξηση ποιότητας και επιδόσεων και μείωση προσπάθειας σχεδιασμού και σφαλμάτων. Η διεργασία της αυτο-βελτιστοποίησης εκτελείται σε κατάσταση λειτουργίας του δικτύου, δηλ. σε κατάσταση κατά την οποία το RF interface είναι εμπορικά διαθέσιμο.
- **Rat-Selection** : Επιλέγει την καλύτερη ραδιο-πρόσβαση για (ή μέσα) το κινητό τερματικό που βασίζεται στο :
 - ✓ Απαιτούμενο QoS (εύρος ζώνης, μέγιστη καθυστέρηση, πραγματικός χρόνος/μη-πραγματικός χρόνος)
 - ✓ Ραδιο-συνθήκες (π.χ. θεωρητική δύναμη σήματος/ποιότητα, διαθέσιμο εύρος ζώνης)
 - ✓ Συνθήκες δικτύου πρόσβασης (π.χ. χωρητικότητα κυψέλης, τρέχον φορτίο κυψέλης)
 - ✓ Προτιμήσεις χρηστών
 - ✓ Πολιτικές δικτύων

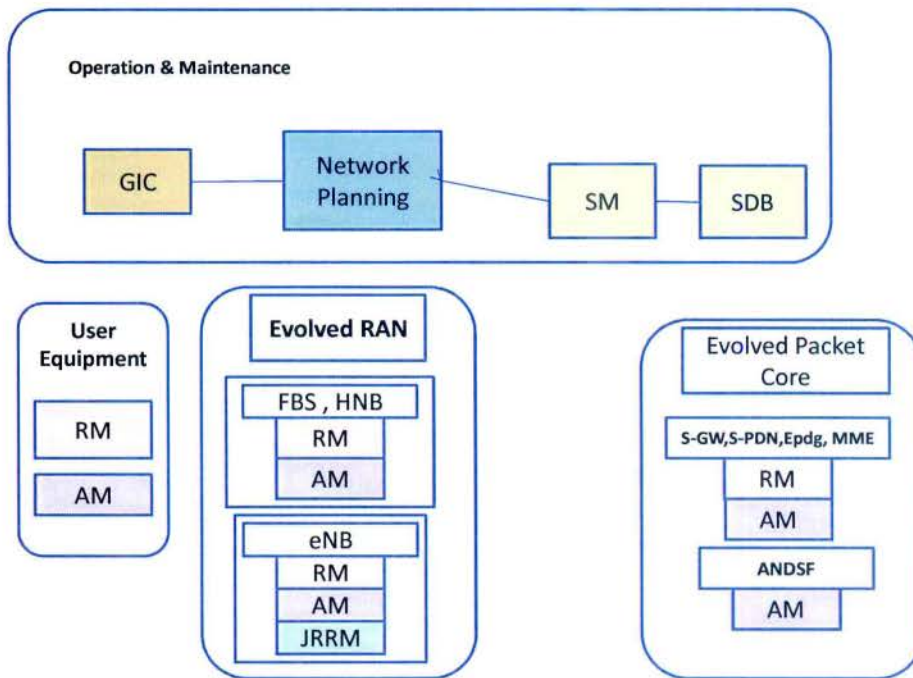
Autonomic Management



Σχήμα 45 . Λειτουργικές οντότητες του Autonomic Management



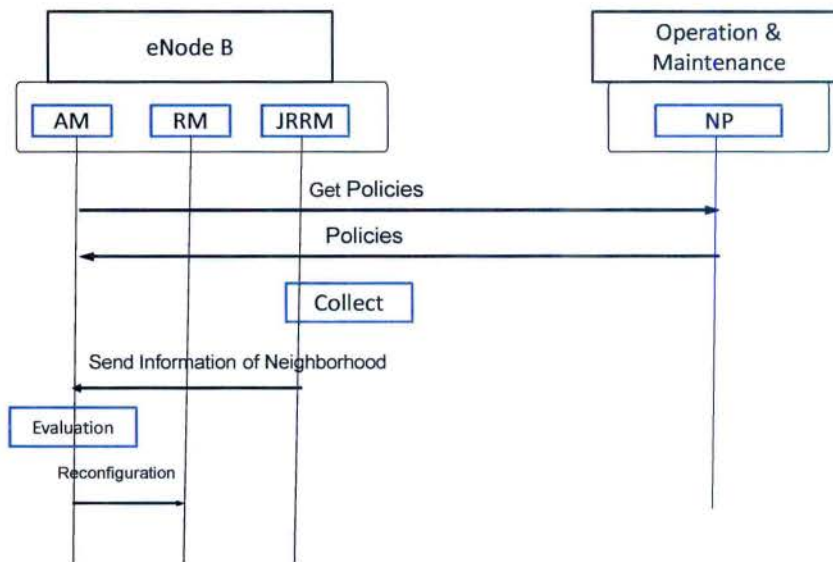
Σχήμα 46. Χαρτογράφηση των λειτουργικών μονάδων του AM στα στοιχεία του δικτύου



Σχήμα 47. Χαρτογράφηση των δομικών μονάδων στα στοιχεία του δικτύου

5.2 Ανταλλαγή μηνυμάτων

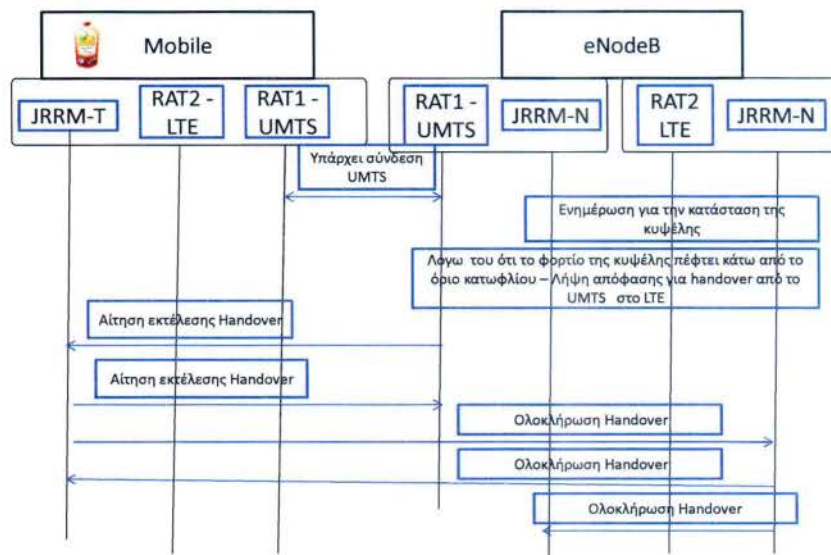
5.2.1 Έναρξη λειτουργίας ενός Base Station



Σχήμα 48. Ανταλλαγή μηνυμάτων για την έναρξη λειτουργίας ενός σταθμού βάσης

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η ανταλλαγή μηνυμάτων κατά την έναρξη λειτουργίας ενός σταθμού βάσης. Στον eNodeB η μονάδα Autonomic Management και η μονάδα Network Planning στο O&M, ανταλλάσσουν τις πολιτικές, δηλαδή τους κανόνες και τις στρατηγικές για τη διαχείριση του δικτύου. Στη συνέχεια, η δομική μονάδα JRRM- Κοινής Διαχείρισης των ραδιο-πόρων συλλέγει τις πληροφορίες γειτονιάς, τις διαθέσιμες δηλαδή δυνατές προσβάσεις, όπου τις στέλνει στην οντότητα Αυτόνομης Διαχείρισης-AM. Αφού γίνει η εκτίμηση αυτών των πληροφοριών, λαμβάνεται η απόφαση για επαναδιαρθρωση.

5.2.2 Διαδικασία Handover



Σχήμα 49. Ανταλλαγή μηνυμάτων για τη διαδικασία διαπομπής

Το JRRM στην πλευρά του δικτύου συλλέγει πληροφορίες για την κατάσταση των κυψελών π.χ. το φορτίο της κυψέλης και διανέμει αυτή την πληροφορία στις γειτονικές κυψέλες. Σε ορισμένα γεγονότα όταν για παράδειγμα η ποιότητα της σύνδεσης ενός τερματικού μειώνεται, όταν το φορτίο της κυψέλης ανέβει πάνω ή πέσει από μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου ή όταν οι χρήστες απαιτούν αλλαγή στο QoS, το JRRM μπορεί να αποφασίσει ότι ένα τερματικό θα κάνει διαπομπή από μια ραδιο-τεχνολογία σε άλλη. Αφού συνδεθεί στη νέα ραδιο-τεχνολογία, το JRRM στο τερματικό ενημερώνει το νέο JRRM-N εάν έχει γίνει η σύνδεση και στέλνει με τη σειρά του επιβεβαίωση. Έπειτα, το νέο JRRM-N πληροφορεί την παλιά JRRM-N ότι η διαπομπή ολοκληρώθηκε και έτσι οι πόροι ελευθερώνονται.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εισαγωγή των αυτοματοποιημένων δικτύων παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στους παροχείς του δικτύου και φυσικά στους χρήστες. Οι παροχείς μειώνουν τις λειτουργικές τους δαπάνες και ταυτόχρονα βελτιώνουν την απόδοση των δικτύων τους. Από την άλλη πλευρά, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα σε χαμηλές τιμές να απολαμβάνουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, χωρίς σημαντικά προβλήματα, όπως προβλήματα κάλυψης.

Η αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε στο τελευταίο μέρος, βασίζεται στην λειτουργική αρχιτεκτονική από το πλαίσιο του έργου E3-(End-to-End Efficiency). Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονίσουμε ότι, οι δομικές μονάδες Network Planning και Autonomic Management ουσιαστικά εκτελούν τις ίδιες λειτουργίες, αλλά λειτουργούν για διαφορετικούς χρόνους. Το Network Planning λειτουργεί μακροπρόθεσμα, ενώ το Autonomic Management βραχυπρόθεσμα, για αυτό και εξοικονομούνται πόροι και χρόνος.

- [1] Long Term Evolution- LTE- A tutorial, Ahmed Hamza, Network Systems Laboratory Simon Fraser University, 13 October 2009 - <http://nsl.cs.sfu.ca/wiki/upload/1/10/LTE.pdf>
- [2] <http://www.3gpp.org/LTE>
- [3] 3GPP security hot topics : LTE/SAE and Home eNB, Valtteri Niemi, Nokia Research Center, Lausanne, Switzerland and Marc Blommaert 3GPP LTE/SAE security rapporteur Devoteam Telecom and Media, Herentals, Belgium, 13-14 January 2009
- [4] “Network and Service Management”, IEEE Communications Magazine, July 2009 , - www.comsoc.org
- [5] “LTE Part I: Core Network, Advances in Cooperative and Relay Communications , Optical Communications” IEEE Communications Magazine, February 2009- www.comsoc.org
- [6] “LTE Part II : Radio Access , Integrated Circuits for Communications, Design and Implementation ” , IEEE Communications Magazine, April 2009- www.comsoc.org
- [7] 3GPP TS 36.300 v8.5.0, “3GPP E-UTRA and E-UTRAN”, Overall description, Stage 2 (Release 8)
- [8] 3GPP TR 36.816: "Evolved Study on Management of Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) and Evolved Packet Core (EPC)"
- [9] Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long Term Evolution Sujuan Feng, Eiko Seidel Nomor Research GmbH, Munich, Germany 20th of May 2008
- [10] J.O. Kephart, D.M. Chess, The vision of autonomic computing, IEEE Computer 36 (2003) 41–50.
- [11] IBM Corporation, An architectural blueprint for autonomic computing, White Paper 2003.
- [12] D. Xiangdong et al., Autonomia: an autonomic computing environment, Proceedings of the IEEE International Performance, Computing,

and Communications Conference (2003) 61–68.

[13] M. Agarwal et al., AutoMate: enabling autonomic applications on the grid, Proceedings of the Autonomic Computing Workshop (2003) 48–57.

[14] IBM and University of Berkeley, Oceano Project, <<http://www.research.ibm.com/oceanoproject/>>.

[15] S. Graupner, A. Andrzejak, V. Kotov, H. Trinks, Adaptive control overlay for service management, Proceedings of the Workshop on the Design of Self-Managing Systems, International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN) (2003).

[16] A. Leon-Garcia, I. Widjaja, Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures, Mc Graw Hill, 2004.

[17] Yu Cheng a,*, Ramy Farha a, Myung Sup Kim a, Alberto Leon-Garcia a, James Won-Ki Hong b, A generic architecture for autonomic service and network management , Computer Communications (2006), doi:10.1016/j.comcom.2006.06.017.

[18] Motorola Technical Publication Library - John Strassner -Elyes Lehtihet - Nazim Agoulmine, FOCALE: A Novel Autonomic Networking Architecture - Extended Version , International Transactions on Systems Science and Applications (2006) - <http://priorartdatabase.com/IPCOM/000141385#>

[19] <http://www.motorola.com/content.jsp?globalObjectId=6611-9309>

[20] 3GPP- http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/GSM_GERAN/0505-8k0.pdf

[21] UMTS FORUM - ftp://ftp.3gpp.org/PCG/PCG_14/DOCS/PDF/PCG14_24.pdf

[22] <https://ict-e3.eu/project/overview/overview.html>

[23] Bource, D. (11&12 Μαρτίου 2008) Research project [Online] Διαθέσιμο από: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/future-networks/projects-e3-08031112-e3-concertation-brussels_en.pdf

[24] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/future-networks/projects-e3-factsheet_en.pdf

[25] https://ict-e3.eu/project/challenges/key_challenges.html

[26] <https://ict-e3.eu/project/standardization/standardization.html>

[27] https://ict-e3.eu/project/white_papers/Self-x_WhitePaper_Final_v1.0.pdf

[28] <https://ict-e3.eu/project/wps/wp.html>

[29] <https://ict-e3.eu/project/approach/approach.html>

[30] E3_WP2_D2.2_081231 - System Requirements and Functional Entities Specification, Modelling Languages

[31] E3_WP2_D2.3_090930- Architecture, Information Model and Reference Points, Assessment Framework, Platform Independent Programmable Interfaces

[32] https://ict-e3.eu/project/technical_highlights/2-3_acs/acs_2009_02.html

[33] Cognitive Wireless Networks Technologies: Research Findings and Results from the E3 project -<http://cordis.europa.eu/fp7/ict/futurenetworks/crw/5demestichas.pdf>

[34] The E3 Architecture and Solutions for Cognitive Radio Networks - http://www.ikr.uni-stuttgart.de/Content/itg/fg524/Meetings/2009-10-07-Hamburg/02_Gebert_ITG524_Hamburg.pdf