



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

**Διαχείριση Δικτύων Κινητών
και
Ασύρματων Επικοινωνιών**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Μ. Μαστοράκης

Επιβλέποντες : Δρ. Αλέξανδρος Καλόξυλος
Επίκουρος Καθηγητής

Τρίπολη, Ιούνιος 2012

Ευχαριστίες

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω το επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Καλόξυλο για την καθοδήγηση και τη στήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής, καθώς η εμπειρία και οι γνώσεις του ήταν πολύτιμες. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Μιχαήλ και Βασιλική, και την αδελφή μου Ξένια, για την διαρκή συμπαράσταση τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τρίπολη, Ιούνιος 2012
Μαστοράκης Βασίλειος

Ακρόνυμα

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
A	
AC	Autonomic Computing
ACE	Autonomic Communication Element
AMD	Autonomic Management Domain
AME	Autonomic Management Element
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
ANA	Autonomic Network Architecture
AND	Automatic Neighbor Discovery
ANMS	Automated Network Management System
AP	Access Point
AUC	Authentication Center
B	
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
C	
CASCADAS	Component-ware for Autonomic Situation-aware Communications, and Dynamically Adaptable Services
CAPEX	Capital Expense
CDMA	Code Division Multiple Access
CLI	Command-line interface
CMIP	Common Management Information Protocol
CMISE	Common Management Information Service Element
CMOL	Common Managed Object Language
CN	Core Network ή Cognitive Network
CNMS	Cerberus Management Network System
CONMan	Complexity Oblivious Network Management
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
D	

DAP	Directory Access Protocol
DBMS	Data Base Management System
DCF	Distributed Coordination Function
DCS	Digital Cellular System
DECT	Digital Enhanced Cordless Communications
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIFS	Distributed Interframe Spaces
DMP	Directory Management Protocol
DSNPM	Dynamic self-organizing network planning and management
DSSS	Direct-sequence spread spectrum
DSM	Dynamic Spectrum Management
DST	Distributed Systems Technology
E	
E-UTRAN	Evolved UTRAN
EDGE	Enhanced Data Rate via GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EMS	Element Management System
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
F	
FBS	Flexible Base Station
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency-hop spread spectrum
FOCALE	Foundation – Observation – Comparison – Action – Learn – rEason
G	
GAN	Generic Autonomous Network Architecture
GeRAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gate GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GRAN	Generic Radio Access Network
GSM	Global System for Mobile Communications
H	
HA	Home Agent

HLR	Home Location Register
HRPD	High Rate Packet Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved HSPA
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
I	
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
INE	Intelligent Network Element
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
IT	Internet Technologies
ITU	International Telecommunication Union
J	
JMX	Java Management Extensions
JRRM	Joint radio resource management
K	
KBS	Knowledge Base System
L	
LTE	Long Term Evolution
M	
MA	Management Agent
MAC	Media Access Control
MBTL	Modelbased Translation Layer
MIB	Management Information Base
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MME	Mobility Management Entity
MNN	Multi-level Neuronic Networks
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Center
MTSO	Mobile Telephone Switching Office

N	
NAS	Non-Access Stratum
NE	Network Element
NESTOR	Network Self Management and Organization
NLOS	Non-line-of-sight
NMP	Network Management Protocols
NMS	Network Management System
NRM	Network Reconfiguration manager
NSS	Network Switching Subsystem
O	
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
OMA	Open Mobile Alliance
OMC	Operations and Maintenance Center
OPEX	Operating Expense
OSI	Open Systems Interconnection
OSS	Operations Support System
P	
PC	Packet Core
PDP	Policy Decision Point
PCEF	Policy Control Enforcement Function
PCF	Point Coordination Function
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function
PCS	Personal Communication System
PDC	Pacific Digital Cellular
PDSN	Packet Data Serving Node
PHY	Physical Layer
PS	Packet switched domain
PSTN	Public Switched Telephone Network
Q	
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
R	
RAN	Random Access Network
RME	Reconfiguration Management Entity

RDS	Resource Directory Server
RE	Radio Enabler
REDS	REconfigurable Dispatching System
RMON	Remote Monitoring
RMC	RAN Measurement Collector
RRC	RAN Reconfiguration Controller
S	
S-GW	Serving Gateway
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access
SerWorks	Service frameworks
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Modules
SIP	Session Initiation Protocol
SMAE	System Management Application Entity
SMI	Structure of Management Information
SNMP	Simple Network Management Protocol
Socrates	Self-Optimisation and self-ConfigURATion in wirelEss networkS
SON	Self Organising Networks
T	
TCP	Transmission Control Protocol
TD-CDMA	Time Division-CDMA
TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TL1	Transaction Language 1
TMC	Terminal Measurement Collector
TMN	Telecommunications Management Network
TRM	Terminal Reconfiguration manager
U	
UE	User equipment
UML	Unified Model Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS terrestrial radio access network
V	
VLR	Visitor Location Register

W	
WCDMA	Wideband CDMA
WLAN	Wireless Local Area Networks
X	
XML	Extensible Markup Language

Πίνακας Περιεχομένων

1.Εισαγωγή.....	15
2. Εισαγωγή στις Ασύρματες και Κινητές Τηλεπικοινωνίες.....	17
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Ασύρματες Τηλεπικοινωνίες.....	18
2.2.1 Wi-Fi: 802.11 Wireless LANs.....	18
2.2.2 Συστατικά στοιχεία των 802.11 LAN.....	19
2.3 Πέρα από τις τεχνολογίες 802.11: Bluetooth and WiMAX.....	23
2.4 Bluetooth.....	23
2.5 WiMAX.....	23
2.6 Κυψελοειδής Πρόσβαση στις Τηλεπικοινωνίες.....	24
2.6.1 Αρχιτεκτονική Κυψελοειδούς Δικτύου.....	24
2.6.2 Βασικά στοιχεία Κυψελοειδών Δικτύων	24
2.6.2.1 Ραδιο-πόροι.....	25
2.6.2.2 Ισχύς σήματος.....	25
2.6.2.3 Εξασθένηση Ισχύος Σήματος (Fading)	25
2.6.2.4 Παρεμβολές (Interferences).....	26
2.6.3 Μέθοδοι Πολλαπλής Πρόσβασης (Multiple Access) Ραδιοσυχνοτήτων.....	27
2.6.4 OFDM Τεχνική Πολυπλεξίας.....	28
2.6.5 Σχεδιασμός Κυψελών.....	28
2.6.6 Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση.....	29
2.6.7 Στοιχεία Κυψελοειδούς Συστήματος.....	30
2.6.8 Στάδια Κλήσης.....	37
2.7 Διαφορετικές Γενιές Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών.....	38
2.8 Το UMTS.....	40
2.8.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	41
2.8.2 Διαφορές GSM-UMTS.....	41
2.9 HSPA (HSDPA and HSUPA).....	42
3. LTE – SAE – EPS.....	44
3.1 Εισαγωγή.....	44
3.2 Η ανάγκη για παγκόσμια πρότυπα	46
3.3 Forums τα οποία εμπλέκονται στην ανάπτυξη Ασύρματων Τεχνολογιών Πρόσβασης.....	47

3.4 Η ανάγκη για δίκτυα νέας γενιάς.....	48
3.5 Η Μακροχρόνια Εξέλιξη, LTE (Long Term Evolution).....	49
3.5.1 Τεχνολογίες για την LTE.....	51
3.5.2 Διασύνδεση σταθμών βάσης LTE με το EPC.....	54
3.6 Η Εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής Συστήματος (SAE).....	54
3.6.1 Λόγοι για την ανάπτυξη της SAE.....	55
3.6.2 Βασικά χαρακτηριστικά SAE.....	56
3.6.3 Πλεονεκτήματα από την ανάπτυξη της SAE.....	56
3.7 Το Δίκτυο Πυρήνα	57
3.8 Εξελιγμένο Σύστημα Πακέτων (EPS).....	60
3.8.1 Παρουσίαση Αρχιτεκτονικής του(EPS).....	60
4. Διαχείριση Δικτύου.....	62
4.1 Εισαγωγή.....	62
4.2 Εξελίξεις στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών και διαχείριση δικτύου.....	64
4.3 Προκλήσεις διαχείρισης λόγω της εξέλιξης των τηλεπικοινωνιών.....	65
4.4 Αρχιτεκτονική Διαχείρισης Δικτύου.....	66
4.5 Σύστημα Διαχείρισης Δικτύων και Σύστημα Διαχείρισης Στοιχείου.....	67
4.5.1 Element Management System (EMS).....	67
4.5.2 Network Management System (NMS).....	68
4.6 Γενικό Μοντέλο και οντότητες Διαχείρισης/ Standards.....	69
4.7 Διαχείριση με πληρεξούσιους Αντιπροσώπους(Proxy Agents).....	70
4.8 Πρωτόκολλα Διαχείρισης Ανά Οργανισμό.....	70
4.9 ΓενικάΧαρακτηρηστικά ενός Συστήματος Διαχείρισης Δικτύων.....	71
4.10 Πρωτόκολλα Διαχείρισης Δικτύων.....	73
4.10.1 Το πρωτόκολλο SNMP.....	73
4.10.1.1 Δομικά Στοιχεία SNMP.....	74
4.10.2 Το πρωτόκολλο CMIP.....	76
4.10.3 Σύγκριση Πρωτοκόλλων.....	77
4.11 OAM&P Λειτουργίες Διαχείρισης Δικτύου.....	78

4.11.1 Απαιτήσεις κατά την εφαρμογή των oam&r λειτουργιών διαχείρισης.....	79
4.12 Κατηγορίες διαχείρισης δικτύου.....	79
4.13 Λοιπές Λειτουργίες Διαχείρισης Δικτύου.....	84
4.14 Παράδειγμα διαχείρισης Συστήματος.....	85
4.14.1 Διαχειριστικό σύστημα CNMS (Cerberus Management Network System).....	85
4.14.2 Η δομή του διαχειριστικού συστήματος CNMS	86
5. Αυτόνομη Διαχείριση-Οργάνωση Δικτύων.....	88
5.1 Εισαγωγή.....	88
5.2 Αυτόνομη Πληροφορική.....	89
5.2.1 Λειτουργίες M.A.P.E.....	92
5.2.2 Δικτυακή Βάση Γνώσεων.....	92
5.2.2.1 Δικτυακά Είδη γνώσεων της Δικτυακής Βάσης.....	92
5.3 Γνωστικά Δίκτυα.....	93
5.3.1 Γνωστικός Βρόχος.....	93
5.3.2 Αναπαράσταση Γνώσης.....	95
5.3.3 Έξυπνοι Πράκτορες.....	96
5.4 Κριτήρια για την ανάλυση των Αυτόνομων Αρχιτεκτονικών Διαχείρισης του Δικτύου.....	97
5.5 Ανάλυση Αρχιτεκτονικών Αυτόνομης Διαχείρισης.....	101
5.6 Αρχιτεκτονική 4D.....	102
5.6.1 Δομή 4D Αρχιτεκτονικής Δικτύου.....	102
5.7 Αρχιτεκτονική ANA.....	105
5.7.1 Δομή Αρχιτεκτονικής ANA.....	105
5.7.2 Βασικές έννοιες Αρχιτεκτονικής ANA.....	106
5.8 Αρχιτεκτονική CASCADAS.....	109
5.8.1 Τεχνική Προσέγγιση Αρχιτεκτονικής.....	109
5.8.2 Το Αυτόνομο στοιχείο Επικοινωνίας, ACE.....	110
5.9 Αρχιτεκτονική CONMan.....	112
5.9.1 Δομή αρχιτεκτονικής CONMan.....	113
5.9.2 Είδη και χαρακτηριστικά της Ενότητας (Module).....	115
5.10 Η Ε3 Αρχιτεκτονική.....	117
5.10.1 Το Ε3 Πληροφοριακό Μοντέλο.....	117

5.10.2 Λειτουργική αρχιτεκτονική.....	117
5.11 Αρχιτεκτονική FOCALÉ.....	120
5.12 Αρχιτεκτονική GANA.....	123
5.12.1 Δομή αρχιτεκτονικής GANA.....	124
5.13 Αρχιτεκτονική NESTOR.....	126
5.13.1 Δομή Αρχιτεκτονικής NESTOR και Λειτουργίες.....	126
5.14 Το Πρότυπο IEEE P1900.4.....	129
5.14.1 Απαιτήσεις Συστήματος.....	129
5.14.2 Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....	131
5.14.3 Μοντέλο Αναφοράς.....	133
5.15 Αρχιτεκτονική SON.....	134
5.15.1 Λόγοι Ανάπτυξης του SON.....	135
5.15.2 Βασικές Λειτουργίες του SON.....	135
5.15.3 Αρχιτεκτονικές SON.....	136
5.15.3.1 Κεντρικοποιημένο SON.....	136
5.15.3.2 Κατανεμημένο SON.....	137
5.15.3.3 Υβριδικό SON.....	138
5.15.4 Εφαρμογή του SON σε RANs.....	139
5.15.5 Το SON στο UMTS.....	139
5.15.6 Το SON στο LTE.....	140
5.15.7 Το SON στο IEEE 1900 Πρότυπο.....	140
5.16 Σύγκριση Αρχιτεκτονικών Αυτόνομης Διαχείρισης	
Δικτύων.....	142
5.17 Συμπεράσματα.....	145
References.....	147

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1: Συστατικά των 802.11 LANs.....	20
Εικόνα 2-2: Κινητό Τερματικό.....	30
Εικόνα 2-3: Αρχιτεκτονική GSM συστήματος.....	32
Εικόνα 2-4: Υποσύστημα Μεταγωγής Δικτύου.....	33
Εικόνα 2-5: Διασύνδεση του Κέντρου Λειτουργιών και Συντήρησης (OMC).....	35
Εικόνα 2-6: Operation Support System (OSS).....	36
Εικόνα 2-7: Αρχιτεκτονική UMTS.....	41
Εικόνα 3-1: Παρουσίαση του πεδίου συχνοτήτων των LTE τεχνολογιών πολλαπλής πρόσβασης.....	51
Εικόνα 3-2: Τρία βασικά οφέλη Πολλαπλών κεραιών α) Κέρδος Διαφορετικότητας β) Κέρδος Σειράς γ) Κέρδος Χωρικής Πολυπλεξίας.....	52
Εικόνα 3-3: Το LTE και η απλοποιημένη επαφή στο EPC.....	54
Εικόνα 3-4: Κόμβοι του Core Network.....	58
Εικόνα 3-5: Τμήματα Αρχιτεκτονικής 3GPP.....	60
Εικόνα 4-1: Αρχιτεκτονική Διαχείρισης του Δικτύου.....	67
Εικόνα 5-1: Γνωστικός Βρόχος.....	94
Εικόνα 5-2: Τρισδιάστατη Αναπαράσταση Πρακτόρων.....	97
Εικόνα 5-3: Κριτήρια για Αυτόνομη Διαχείριση του Δικτύου.....	100
Εικόνα 5-4: Αρχιτεκτονική Δικτύου 4D.....	105
Εικόνα 5-5: Λειτουργικό μπλοκ και Σημείο Αποστολής Πληροφοριών.....	106
Εικόνα 5-6: Η έννοια του Διαμερίσματος (Compartment).....	108
Εικόνα 5-7: Το λειτουργικό μπλοκ ACE.....	111
Εικόνα 5-8: Στα αριστερά: Γράφος που περιγράφει τη λειτουργία Συσκευής ή Δικτύου, στα δεξιά τα βασικά συστατικά της έννοιας της ενότητας (Module Abstraction).....	117
Εικόνα 5-9: Λειτουργική Αρχιτεκτονική E3 μοντέλου.....	120
Εικόνα 5-10: Λειτουργική Αρχιτεκτονική Περιβάλλοντος Αυτόνομου Διαχειριστή FOCALE.....	122
Εικόνα 5-11: Μια προσέγγιση του MBTL.....	122
Εικόνα 5-12: Παραδείγματα Σχέσεων Ιεραρχίας, Σχέσεων Ανταλλαγής Κίνησης (Peering), Σχέσεων Αδελφότητας (Sibling) και διασυνδέσεων DE στην αρχιτεκτονική GANA.....	126
Εικόνα 5-13: Αρχιτεκτονική NESTOR.....	128
Εικόνα 5-14: Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	132
Εικόνα 5-15: Το IEEE 1900.4 σύστημα.....	133
Εικόνα 5-16: Το 1900.4 Μοντέλο Αναφοράς.....	134
Εικόνα 5-17: Το πλαίσιο λειτουργίας του SON.....	136
Εικόνα 5-18: Κεντριοποιημένο SON.....	137
Εικόνα 5-19: Καταμεμημένη Αρχιτεκτονική.....	138
Εικόνα 5-20: Υβριδική Αρχιτεκτονική.....	139

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Κύρια Χαρακτηριστικά Προτύπων 802.11.....	19
--	----

Πίνακας 2: Ανταλλαγή Πληροφοριών μέσω Διεπαφών	133
Πίνακας 3: Σύγκριση Αρχιτεκτονικών Αυτόνομης Διαχείρισης Δικτύων.....	143

1. Εισαγωγή

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

Μια αυξανόμενη ανάγκη προέκυψε λοιπόν για την αυτοματοποιημένη διαχείρισή τους, η οποία θα ελάττωνε τις πιθανότητες σφάλματος σε διαφορετικά περιβάλλοντα τεχνολογιών και υπηρεσιών. Έτσι μια σειρά από Αρχιτεκτονικές Αυτόνομης Διαχείρισης άρχισαν να προτείνονται από διάφορους Οργανισμούς Τυποποίησης, από ερευνητικά κέντρα ή ακόμα και από μεμονωμένους ερευνητές με απώτερο σκοπό την όσο το δυνατό μικρότερη εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής είναι η εξής: Στο δεύτερο κεφάλαιο κάνουμε μια γενική εισαγωγή στις κινητές και ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Παρουσιάζουμε και αναλύουμε έννοιες όπως το Wi-Fi ή WLAN , Bluetooth και WiMAX ενώ η περιορισμένη εμβέλεια κάλυψής τους και οι ανάγκες για σύνδεση στο Internet ακόμα και εν κινήσει μας υποχρεώνει να αναλύσουμε και τις τεχνολογίες GPRS (General Packet Radio Service) και 3G, μέσω των GSM (Global System for Mobile Communications) και UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Αναφορά γίνεται επιπλέον στο HSPA (High Speed Packet Access).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε έννοιες όπως οι EPC, SAE, LTEκαι EPS. Η βάση για υπηρεσίες δεδομένων και φωνητικών υπηρεσιών τόσο στο Διαδίκτυο όσο και στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι οι IP τεχνολογίες καθώς και οι τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου. Η σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο διαφορετικών τεχνολογιών δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την εξέλιξη του δικτύου πυρήνα ή EPC (Evolved Packet Core), η οποία βασίζεται στη τυποποιημένη μελέτη του 3GPP (Third

Generation Partnership Project) γνωστή ως Εξέλιξη του Συστήματος Αρχιτεκτονικής, SAE (System Architecture Evolution). Σημαντικό μέρος της μελέτης συνδέεται στενά με το LTE, το οποίο καλύπτει την εξέλιξη του ασύρματου δικτύου. Η ασύρματη πρόσβαση, το δίκτυο πυρήνα και τα τερματικά που αποτελούν το συνολικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας καλύπτονται από το Εξελιγμένο Σύστημα Πακέτων το οποίο αναφέρεται επίσης και ως EPS (Evolved Packet System).

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στη διαχείριση των δικτύων, μιας και μια αυξανόμενη ανάγκη προέκυψε λοιπόν για την αυτοματοποιημένη διαχείρισή τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα τεχνολογιών και υπηρεσιών. Έτσι αναπτύχθηκαν τα ανάλογα πρωτόκολλα και βάσεις διαχείρισης πληροφοριών καθώς και το αντίστοιχο λογισμικό για να είναι εφικτή η διαχείριση των δικτύων. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται και χρησιμοποιείται σήμερα για την διαχείριση τηλεπικοινωνιακών δικτύων και δικτύων υπολογιστών αποτελείται από το Σύστημα Διαχείρισης των Δικτύων, NMS (Network Management System,) από το Σύστημα Διαχείρισης Στοιχείου, EMS (Element Management System) και τα στοιχεία εκείνα των δικτύων (Network Elements ,NE) τα οποία θέλουμε να διαχειριστούμε. Αναφορά γίνεται επίσης στα γνωστότερα πρωτόκολλα όπως το SNMP (Simple Network Management Protocol), το οποίο συμπληρώνεται με τις προδιαγραφές για την δομή της πληροφορίας που αφορά τη διαχείριση (Structure of Management Information, SMI) και τη βάση διαχείρισης πληροφορίας (Management Information Base ,MIB) καθώς και τα RMON (Remote Monitoring) και CMIP (Common Management Information Protocol).

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην αντιμετώπιση των πολλαπλών προβλημάτων διαχείρισης των δικτύων μέσω της αυτόματης οργάνωσής τους με την εισαγωγή των όρων της αυτόνομης υπολογιστικής, AC (Autonomic Computing) και του Γνωστικού Δικτύου. Εν συνεχεία παραθέτουμε μια σειρά από κριτήρια τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε για να κάνουμε τελικά μια ανάλυση των Αυτόνομων Αρχιτεκτονικών Διαχείρισης του Δικτύου, οι οποίες θα αναλυθούν αρχικά και μετά θα τις συνοψίσουμε σε ένα πίνακα συγκρίνοντάς αυτές με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια.

2. Εισαγωγή στις Ασύρματες και Κινητές Τηλεπικοινωνίες

2.1 Εισαγωγή

Ο κόσμος των ασύρματων τεχνολογιών και ειδικότερα των ασύρματων επικοινωνιών είναι ο πιο ραγδαία αναπτυσσόμενος αυτή τη στιγμή στους κόλπους των τεχνολογικών επιστημών. Στις μέρες μας οι ασύρματες τεχνολογίες στις τηλεπικοινωνίες έχουν προχωρήσει απίστευτα πολύ και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις κινητές τηλεπικοινωνίες, στα αμυντικά συστήματα, στην τηλεκαίτευση, την τηλεϊατρική, την ψηφιακή τηλεόραση και σε πολλές ακόμα υπηρεσίες. Μια εξελιγμένη τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης είναι το Wi-Fi[1] ή WLAN[1](Wireless Local Area Networks), το οποίο απλοποιεί τη διαδικασία σύνδεσης στο Internet. Το μοναδικό του ωστόσο μειονέκτημα-η περιορισμένη εμβέλεια κάλυψής του- άφησε σαν μοναδική λύση για τους χρήστες που επιθυμούν μόνιμη πρόσβαση στο δίκτυο, ακόμα και εν κινήσει, τη χρήση των τεχνολογιών GPRS (General Packet Radio Service)[2] και 3G, μέσω των GSM (Global System for Mobile Communications) [2] και UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)[2] δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα WLANs στις μέρες μας χρησιμοποιούνται σχεδόν παντού και αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες πρόσβασης στο διαδίκτυο. Παρά το γεγονός ότι πολλές τεχνολογίες και πρότυπα για τα ασύρματα δίκτυα LAN αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1990, μια συγκεκριμένη κατηγορία προτύπων επικράτησε: η IEEE 802.11 Wireless LAN, επίσης γνωστή ως WiFi.. Η ευκολία εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου, οδήγησε στην ανάπτυξη σήμερα εκατομμυρίων δικτύων Wi-Fi σε ολόκληρο τον πλανήτη διευκολύνοντας τους ανά τον κόσμο χρήστες του διαδικτύου. Το Wi-Fi όμως, αν και αρκετά απλό στη χρήση, δεν έφερε την πραγματική επανάσταση, που όλοι περίμεναν και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιορισμένη εμβέλεια της κάλυψής του.

Στην πραγματικότητα η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιήθηκε κυρίως για σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών και δρομολογητών (routers) σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους και όχι για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης στο Internet σε μια γεωγραφικά εκτεταμένη περιοχή. Με την εμβέλειά του να περιορίζεται σε κάποιες εκατοντάδες μέτρα, δεν θα μπορούσε φυσικά να περιμένει κανείς κάτι διαφορετικό.

Το μειονέκτημα της περιορισμένης εμβέλειας του Wi-Fi οδήγησε στη χρήση των τεχνολογιών GPRS και 3G, μέσω των GSM και UMTS δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Οι εν λόγω τεχνολογίες προσφέρουν σταθερή σύνδεση σε κάθε σημείο όπου υπάρχει κάλυψη σήματος από το δίκτυο, κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι ο συνδρομητής μπορεί να πλοηγείται στα web sites που τον ενδιαφέρουν, να «κατεβάζει» τα e-mail του και να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία του Internet ακόμη και στη διάρκεια ενός ταξιδιού, χωρίς καμία σχεδόν διακοπή της σύνδεσης.

Ωστόσο νέες ανάγκες προέκυψαν στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών με τη σύγκλιση του Διαδικτύου και των κινητών υπηρεσιών φωνής με αποτέλεσμα η κινητή τηλεφωνία να κινείται προς μια εξολοκλήρου Internet Protocol (IP) αρχιτεκτονική δικτύου μετά από αρκετές δεκαετίες τεχνολογιών μεταγωγής κυκλώματος. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων νέες τεχνολογίες ήρθαν στο προσκήνιο όπως η ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης Μακροπρόθεσμης Εξέλιξης γνωστή και ως LTE (Long Term Evolution) η οποία σε συνδυασμό με την Εξέλιξη του Δικτύου Πυρήνα EPC (Evolved Packet Core) γνωστή ως Εξέλιξη του Συστήματος Αρχιτεκτονικής SAE (System Architecture Evolution) άνοιξαν το δρόμο για την υποστήριξη νέων υψηλού εύρους ζώνης υπηρεσιών.

2.2 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

2.2.1 Wi-Fi: 802.11 Wireless LANs

Τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα WLANs(Wireless Local Area Networks) στις μέρες μας χρησιμοποιούνται ευρέως στους χώρους εργασίας, στο σπίτι, στα καφέ, στα αεροδρόμια και άλλου. Διαφορετικές τεχνολογίες και πρότυπα για τα ασύρματα δίκτυα LAN αναπτύχθηκαν, ωστόσο μια συγκεκριμένη κατηγορία προτύπων επικράτησε: η IEEE 802.11 Wireless LAN, επίσης γνωστή ως WiFi.

Υπάρχουν πολλά 802.11 πρότυπα για την ασύρματη τεχνολογία LAN, συμπεριλαμβανομένων των 802.11 a, 802.11 b, 802.11 g και 802.11 n[1] έτσι ώστε να καλύπτονται οι διαφορετικές ανάγκες των τελικών χρηστών. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των προτύπων.

Standard	Frequency Range (United States)	Data Rate
802.11b	2.4-2.485 GHz	up to 11 Mbps
802.11a	5.1-5.8 GHz	up to 54 Mbps
802.11g	2.4-2.485 GHz	up to 54 Mbps
802.11n	2.4-5 GHz	up to 600 Mbps

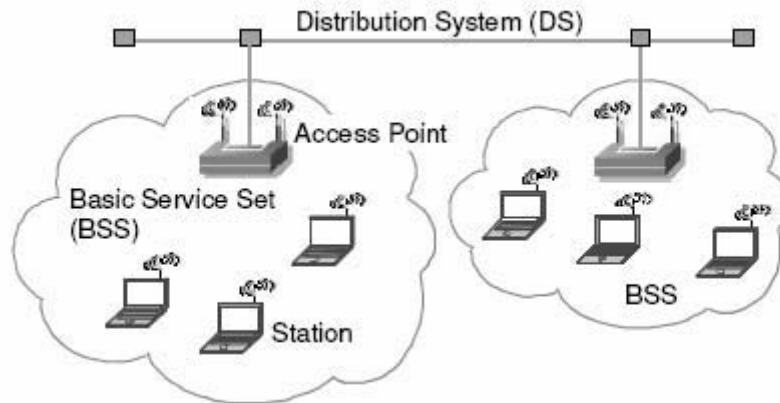
Πίνακας 1: Κύρια Χαρακτηριστικά Προτύπων 802.11

Τα 802.11 πρότυπα έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούν όλα το ίδιο πρωτόκολλο πρόσβασης, CSMA/CA[3] (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) καθώς επίσης χρησιμοποιούν την ίδια δομή πλαισίου για το επίπεδο ζεύξης. Επίσης έχουν την δυνατότητα να μειώσουν το ρυθμό εκπομπής τους, προκειμένου τα data να φτάσουν σε μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο τα πρότυπα έχουν σημαντικές διαφορές στο φυσικό επίπεδο.

Το 802.11b ασύρματο LAN έχει ένα ρυθμό δεδομένων της τάξης των 11 Mbps και λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων των 2,4 - 2,485 GHz. Λειτουργώντας σε υψηλότερη συχνότητα, τα 802.11a LANs έχουν δυνατότητα μετάδοσης σε μικρότερες αποστάσεις για ένα συγκεκριμένο ενεργειακό επίπεδο και υποφέρουν περισσότερο από τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών (multipath). Τα 802.11g LANs λειτουργούν στην ίδια χαμηλή ζώνη συχνοτήτων όπως τα 802.11b. Ένα νέο πρότυπο WiFi, το 802.11n [IEEE 802.11n 2009], είναι σε διαδικασία τυποποίησης και κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι χρησιμοποιεί κεραίες MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).

2.2.2 Συστατικά στοιχεία των 802.11 LAN

Τα 802.11 δίκτυα αποτελούνται από τέσσερα δομικά στοιχεία, τα οποία συνοψίζονται στο Σχήμα 2-1.



Σχήμα 2-1: Συστατικά των 802.11 LANs [4]

Βασικό δομικό στοιχείο των WLANs είναι το BSS (Basic Service Set) Το BSS αποτελείται από ένα ή περισσότερους ασύρματους σταθμούς και ένα κεντρικό σταθμό βάσης γνωστό ως σημείο πρόσβασης AP (Access Point)

- **Σταθμοί**

Τα δίκτυα χτίζονται για να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ των σταθμών οι οποίοι είναι οι τερματικές συσκευές οι οποίες «τρέχουν» τις εφαρμογές. Οι σταθμοί μπορεί να είναι Laptops, Palmtops, PDAs, κινητά τηλέφωνα ή ακόμα και σταθεροί υπολογιστές.

- **Σημεία Πρόσβασης**

Το Σημείο Πρόσβασης, AP (Access Point) είναι το ασύρματο ισοδύναμο ενός διανομέα δικτύου (LAN hub). Λαμβάνει, και μεταδίδει δεδομένα μεταξύ του WLAN και του ενσύρματο δικτύου, υποστηρίζοντας μια ομάδα από ασύρματες συσκευές. Ένα AP είναι συνήθως συνδεδεμένο με το δίκτυο κορμού μέσω ενός καλωδίου Ethernet, και επικοινωνεί με τις ασύρματες συσκευές μέσω μιας κεραίας. Όπως οι κυψέλες σε ένα κυψελοειδές δίκτυο, πολλαπλά σημεία πρόσβασης μπορεί να υποστηρίξουν τη μεταπομπή (handoff) από το ένα AP σε ένα άλλο καθώς ο χρήστης μετακινείται από περιοχή σε περιοχή. Τα APs έχουν μια ακτίνα κάλυψης από 20 έως 500 μέτρα. Ένα μόνο AP μπορεί να υποστηρίξει από 15 ως 250 χρήστες, ανάλογα με την τεχνολογία, που χρησιμοποιείται.

Τα APs είναι εξοπλισμένο με δύο διεπαφές δικτύου:

- Η πρώτη είναι μια ασύρματη διεπαφή από την οποία λαμβάνει όλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται στο χώρο κάλυψης και μέσω της οποίας αναμεταδίδει τα πλαίσια προς το σταθμό προορισμού στο χώρο αυτό.
- Η δεύτερη διεπαφή, η οποία είναι το Ethernet, χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με άλλα σημεία πρόσβασης ή χρησιμοποιείται για πρόσβαση στο Internet.

• **Ασύρματο Μέσο**

Το IEEE 802.11 έχει θέσει προδιαγραφές τόσο για το Φυσικό Στρώμα, PHY (Physical Layer)[5] όσο και για το στρώμα ελέγχου πρόσβασης, MAC (Media Access Control)[5]. Χαρακτηριστικό του στρώματος MAC είναι πως μπορεί να είναι κοινό για διαφορετικά είδη φυσικού στρώματος.

Για την κίνηση των πλαισίων από το ένα σταθμό στον άλλο, τα πρότυπα 802.11 χρησιμοποιούν ένα ασύρματο μέσο. Στο φυσικό στρώμα (PHY), το IEEE 802.11 ορίζονται τρία φυσικά στρώματα (layers) για τα δίκτυα WLAN: το διάχυτο υπέρυθρο (infrared), το DSSS[6] (direct-sequence spread spectrum), και το FHSS[6] (frequency-hop spread spectrum) . Και τα τρία υποστηρίζουν 1 έως 2 Mbps, ρυθμούς δεδομένων. Τόσο το DSSS όσο και το FHSS χρησιμοποιούν τη 2,4 GHz ISM ομάδα συχνοτήτων (2,4 έως 2,4835 GHz) ενώ το PHY του infrared χρησιμοποιεί υπέρυθρο φώς για τη μετάδοση δυαδικού κώδικα στα 1 ή 2 Mbps χρησιμοποιώντας διαφορετική μέθοδο διαμόρφωσης για τη καθεμιά.

Επειδή πολλοί σταθμοί μπορεί να θέλουν να μεταδώσουν ταυτόχρονα πλαίσια δεδομένων πάνω από το ίδιο κανάλι ένα πρωτόκολλο MAC είναι απαραίτητο για το συντονισμό των μεταδόσεων. Η κύρια λειτουργία του στρώματος MAC είναι να ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο. Το IEEE 802.11 όρισε δύο αλγορίθμους ελέγχου της πρόσβασης στο κανάλι: τη Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού ,DCF (Distributed Coordination Function) και τη Λειτουργία Συντονισμού Σημείου, PCF (Point Coordination Function). Η προεπιλεγμένη μέθοδος πρόσβασης είναι η DCF, η οποία έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει ασύγχρονα δεδομένα και η οποία χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access / Carrier Avoidance) . Σήμερα, το IEEE 802.11 λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο μόνο. Το πιο

σημαντικό μέρος αυτού του αλγορίθμου είναι η διαδικασία της υποχώρησης που εφαρμόζεται πριν από κάθε μετάδοση πλαισίου.

Η μέθοδος PCF, που ονομάζεται επίσης λειτουργία ελεγχόμενης πρόσβασης, βασίζεται σε μια μέθοδο «δημοσκόπησης» (polling method), η οποία ελέγχεται από το σημείο πρόσβασης. Ο σταθμός του WLAN δεν μπορεί να μεταδώσει αν δεν του επιτραπεί και δεν μπορεί να λάβει παρά μόνο αν έχει επιλεγεί από το σημείο πρόσβασης.

Κάθε φορά που ένας σταθμός WLAN θέλει να στείλει δεδομένα, αρχικά ελέγχει το μέσον. Εάν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας, τότε ο σταθμός WLAN θα μεταδώσει τα δεδομένα του, διαφορετικά αναβάλλει την εκπομπή τους. Αφού ανιχνεύσει πως το μέσο είναι σε αδράνεια για μια περίοδο DIFS (Distributed Interframe Spaces), ο σταθμός θα συνεχίσει να ελέγχει το μέσον κατά τη διάρκεια μιας συμπληρωματικής περιόδου τυχαίου χρόνου η οποία ονομάζεται περίοδος υποχώρησης (backoff). Το πλαίσιο στη συνέχεια θα μεταδοθεί αν το μέσο είναι αδρανές, μετά τη λήξη της περιόδου υποχώρησης.

- **Σύστημα Διανομής**

Το σύστημα διανομής είναι το λογικό συστατικό του 802.11 που χρησιμοποιείται για να διαβιβάσει τα πλαίσια στον προορισμό τους. Το 802.11 δεν διευκρινίζει καμία ιδιαίτερη τεχνολογία για το σύστημα διανομής. Στα περισσότερα εμπορικά προϊόντα το σύστημα διανομής εφαρμόζεται ως συνδυασμός μιας μηχανής γεφυρώματος (bridging) και ενός μέσου το οποίο χρησιμεύει ως σύστημα διανομής, το οποίο είναι το δίκτυο κορμού (backbone network) που χρησιμοποιείται για να αναμεταδώσει τα πλαίσια μεταξύ των σημείων πρόσβασης. Σχεδόν σε όλα τα εμπορικά επιτυχημένα προϊόντα, το Ethernet[7] χρησιμοποιείται ως τεχνολογία δικτύων κορμού.

2.3 Πέρα από τις τεχνολογίες 802.11: Bluetooth and WiMAX

Εκτός από το IEEE 802.11 Wi-Fi, πρότυπο το οποίο έχει ως στόχο την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών που απέχουν μεταξύ τους έως 100 μέτρα, υπάρχουν και δύο άλλα IEEE 802 πρωτόκολλα: το Bluetooth[8] (που ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1 πρότυπο [IEEE 802.15 2009]) και το WiMAX[9] (World Interoperability for Microwave Access), που ορίζεται ως πρότυπο IEEE 802.16 [IEEE 802.16d 2004; IEEE 802.16e 2005]. Τα πρότυπα αυτά υποστηρίζουν τηλεπικοινωνίες για μικρότερες και μεγαλύτερες αποστάσεις, αντιστοίχως.

2.4 Bluetooth

Ένα IEEE 802.15.1 (Bluetooth) δίκτυο λειτουργεί σε μικρή ακτίνα, με χαμηλή ισχύ, και σε χαμηλό κόστος. Πρόκειται ουσιαστικά για μια χαμηλής ισχύος και μικρής εμβέλειας, τεχνολογία «αντικατάστασης καλωδίου» για διασύνδεση φορητών υπολογιστών, περιφερειακών συσκευών, κινητών τηλεφώνων, και PDAs, ενώ το 802.11 είναι τεχνολογία πρόσβασης υψηλότερης κατανάλωσης ισχύος και μεσαίου βεληνεκούς, τεχνολογία πρόσβασης

2.5 WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX αποτελεί μια οικογένεια από πρότυπα IEEE 802.16 που έχει ως στόχο να προσφέρει ασύρματη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλο αριθμό χρηστών σε μια ευρεία περιοχή. Το πρότυπο 802.16d κάνει update στο προγενέστερο 802.16a πρότυπο. Το 802.16e πρότυπο στοχεύει στην υποστήριξη κινητικότητας (mobility) σε ταχύτητες 70-80 μιλίων ανά ώρα και έχει διαφορετική δομή συνδέσμου για μικρές συσκευές, όπως για παράδειγμα τηλέφωνα και φορητοί υπολογιστές. Η 802.16 αρχιτεκτονική βασίζεται στην ιδέα ενός σταθμού βάσης που κεντρικά εξυπηρετεί ένα δυνητικά μεγάλο αριθμό πελατών (γνωστοί και ως σταθμοί συνδρομητή) οι οποίοι σχετίζονται με αυτό το σταθμό βάσης. Προσφέρει μια ακτίνα για αντικείμενα εκτός οπτικής επαφής NLOS (non-line-of-sight), η οποία κυμαίνεται σε μια ακτίνα 4 μιλίων και, το μοντέλο μπορεί να διανείμει σχεδόν οποιοδήποτε

εύρος ζώνης για σχεδόν οποιοδήποτε αριθμό συνδρομητών, ανάλογα πάντα με την αρχιτεκτονική του δικτύου.

2.6 Κυψελοειδής Πρόσβαση στις Τηλεπικοινωνίες

Στην προηγούμενη ενότητα εξετάσαμε πώς κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση στο Internet όταν βρίσκεται μέσα σε ένα WiFi δίκτυο. Αλλά τα περισσότερα WiFi δίκτυα έχουν μια μικρή περιοχή κάλυψης μεταξύ 10 και 100 μέτρα σε διάμετρο ενώ ευρύτερης περιοχής δίκτυα όπως τα WiMAX δίκτυα δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί επαρκώς. Τι κάνουμε επομένως, όταν έχουμε ανάγκη για ασύρματη πρόσβαση στο Internet και δεν μπορούμε να αποκτήσουμε πρόσβαση σε ένα WiFi hotspot;

Δεδομένου ότι το κινητό τηλέφωνο βρίσκεται πλέον παντού σε πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο, μια φυσική στρατηγική είναι να επεκταθούν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, έτσι ώστε να υποστηρίζουν όχι μόνο φωνητική τηλεφωνία αλλά και ασύρματη πρόσβαση στο Internet. Στην ιδανική αυτή περίπτωση, η πρόσβαση στο Internet θα είναι σε λογικά υψηλή ταχύτητα και θα επέτρεπε την απρόσκοπτη κινητικότητα, επιτρέποντας στους χρήστες να διατηρήσουν TCP[10] (Transmission Control Protocol) συνεδρίες τους, ενώ βρίσκονται σε κίνηση.

2.6.1 Αρχιτεκτονική Κυψελοειδούς Δικτύου

Όταν οι άνθρωποι μιλούν για κινητή τεχνολογία, κατατάσσουν συχνά την τεχνολογία αυτή σε μία από τις πολλές "γενιές". Οι πρώτες γενιές έχουν σχεδιαστεί κατά κύριο λόγο για την μετάδοση φωνής. Τα συστήματα πρώτης γενιάς (1G) ήταν αναλογικά FDMA συστήματα και είχαν σχεδιαστεί αποκλειστικά και μόνο για επικοινωνία φωνής. Αυτά τα συστήματα πρώτης γενιάς (1G) έχουν σχεδόν εξαφανιστεί τώρα και έχουν αντικατασταθεί από ψηφιακά συστήματα δεύτερης γενιάς (2G). Τα αρχικά 2G συστήματα είχαν επίσης σχεδιαστεί για μετάδοση φωνής, αλλά αργότερα επεκτάθηκαν (2.5 G) για την υποστήριξη τόσο δεδομένων (δηλαδή Internet), όσο και υπηρεσιών φωνής. Τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G) υποστηρίζουν μετάδοση φωνής και δεδομένων, αλλά με μια διαρκώς αυξανόμενη έμφαση στις δυνατότητες μετάδοσης των τελευταίων.

2.6.2 Βασικά στοιχεία Κυψελοειδών Δικτύων

2.6.2.1. Ραδιο-πόροι

Οι ασύρματες επικοινωνίες αντιμετωπίζουν αρκετά προβλήματα λόγω της ατέλειας των ραδιοπόρων. Στην πραγματικότητα οι ραδιοπόροι είναι επιρρεπής σε λάθη και πάσχουν από την εξασθένηση του σήματος. Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια προβλήματα που σχετίζονται με τους ραδιοπόρους:

2.6.2.2 Ισχύς σήματος

Το σήμα μεταξύ του σταθμού βάσης BS (Base Station) και του κινητού σταθμού MS (Mobile Station) , πρέπει να είναι αρκετά υψηλό για να διατηρηθεί η επικοινωνία. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το σήμα (η απόσταση από τον BS, τα παρεμβάλλοντα σήματα, κ.λπ.).

2.6.2.3 Εξασθένηση Ισχύος Σήματος (Fading)

Στις ασύρματες επικοινωνίες, η εξασθένηση είναι η μείωση της ισχύος του σήματος κατά τη διέλευσή του από ορισμένα μέσα διάδοσης. Η εξασθένηση μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο, τη γεωγραφική θέση, τη συχνότητα, την απόσταση και συχνά μοντελοποιείται ως μια τυχαία διαδικασία. Ένα κανάλι εξασθένησης είναι ένα κανάλι επικοινωνίας που «βιώνει» το φαινόμενο αυτό. Στα ασύρματα συστήματα, η εξασθένηση μπορεί να οφείλεται είτε σε διάδοση πολλαπλών διαδρομών, ή λόγω σκίασης από εμπόδια που επηρεάζουν τη διάδοση των κυμάτων. Επειδή , είναι επιθυμητό το λαμβανόμενο σήμα να είναι αρκετά πάνω από το θόρυβο του περιβάλλοντος και για να διασφαλιστεί η σωστή επικοινωνία και για την αποφυγή παρεμβολών, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν τεχνικές ενδυνάμωσης του σήματος.

- **Η Εξασθένηση Πολλαπλών Διαδρομών**

Σε ένα ασύρματο σύστημα κινητής επικοινωνίας, το σήμα μεταφέρεται από τον πομπό στο δέκτη μέσω πολλαπλών ανακλώμενων διαδρομών και το φαινόμενο αυτό αναφέρεται συνήθως ως πολλαπλή διόδευση (multipath propagation). Οι επιπτώσεις

του φαινομένου στο σήμα είναι η εμφάνιση έντονων διακυμάνσεων στη λήψη του όσων αφορά το πλάτος, τη φάση και τη γωνία αφίξεώς του. Οι διακυμάνσεις αυτές είναι γνωστές ως εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών (multipath fading).

- **Η Εξασθένηση Σκίασης**

Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας πραγματεύονται την εξασθένηση της μέσης τιμής της ισχύος του σήματος λήψης εξαιτίας απώλειας στη διαδρομή (Path Loss Attenuation) και τη μεταβολή της τιμής αυτής λόγω της σχετικής κίνησης μεταξύ πομπού-δέκτη. Η ύπαρξη αυτού του φαινομένου είναι αποτέλεσμα της παρεμβολής μεταξύ πομπού και δέκτη, καθώς αλλάζει η σχετική τους θέση, διαφόρων εμποδίων (κτίρια, λόφοι, δασώδεις εκτάσεις κ.λ.π.). Έχουμε λοιπόν μια συνεχή αλλαγή του χώρου που παρεμβάλλεται μεταξύ πομπού και δέκτη που οδηγεί σε μια μεταβαλλόμενη "σκίαση" του δέκτη. Για τον λόγο αυτό, η μεταβολή της μέσης τιμής του σήματος λήψης αναφέρεται ως διαλείψεις σκίασης (Shadow Fading).

2.6.2.4 Παρεμβολές (Interferences).

Όταν αναφερόμαστε στις κινητές τηλεπικοινωνίες δύο είναι τα σημαντικότερα είδη παρεμβολών. Αυτές είναι α)η ομοδιαυλική (co-channel) παρεμβολή και β)η παρεμβολή γειτονικού διαύλου (adjacent channel).

- **Η ομοδιαυλική παρεμβολή**

Η ομοδιαυλική παρεμβολή οφείλεται στην αμοιβαία παρεμβολή διαύλων της ίδιας συχνότητας, οι οποίοι λειτουργούν όμως σε διαφορετικές κυψέλες. Λύσεις αποτελούν i)ο καθορισμός μιας επαρκούς απόστασης D μεταξύ των ομοδιαυλικών κυψελών η οποία ονομάζεται απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (frequency reuse distance).ii) Η χρησιμοποίηση κατευθυντικών κεραιών σε συνδυασμό με τη κατανομή διαύλων και iii) η χρήση διαφορικής λήψης.

- **Η παρεμβολή γειτονικού διαύλου**

Παρουσιάζεται όταν παρεμβάλει το σήμα του πλησιέστερου στο σταθμό βάσης κινητού (ισχυρότερο) στο σήμα του απομακρυσμένου κινητού (ασθενέστερο). Επομένως για να αντιμετωπιστεί θα πρέπει η εξασθένιση του σήματος του πλησιέστερου κινητού λόγω απόστασης της συχνότητας του από εκείνη του απομακρυσμένου να είναι ίση με την επιπρόσθετη εξασθένιση που υφίσταται το σήμα του απομακρυσμένου κινητού λόγω της μεγαλύτερης γεωγραφικής απόστασης από το σταθμό βάσης.

2.6.3 Μέθοδοι Πολλαπλής Πρόσβασης (Multiple Access) Ραδιοσυχνοτήτων

Κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας πρέπει να έχει μεθόδους οι οποίες να επιτρέπουν σε πολλούς συνδρομητές να αποκτούν πρόσβαση σε αυτό. Τέτοιες μέθοδοι είναι γνωστές ως πολλαπλά συστήματα πρόσβασης, ενώ οι επικρατέστερες είναι οι ακόλουθες:

- Η FDMA (Frequency Division Multiple Access) είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων. Αυτή η τεχνική είναι η παλαιότερη και επιτρέπει στους χρήστες να διαφοροποιούνται από μια απλή διαφοροποίηση συχνότητα.
- Η TDMA (Time Division Multiple Access) είναι μια μέθοδος πρόσβασης η οποία βασίζεται στη κατανομή των ραδιοπόρων με την πάροδο του χρόνου. Κάθε συχνότητα στη συνέχεια χωρίζεται σε χρονικά διαστήματα. Κάθε χρήστης στέλνει ή μεταδίδει κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος στο οποίο η συχνότητα καθορίζεται από το μήκος του πλαισίου
- Η CDMA (Code Division Multiple Access) ανήκει στην οικογένεια των πρωτοκόλλων διαμερισμού καναλιού και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στα ασύρματα LAN και τις κυβελοειδείς τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Στη CDMA μέθοδο, κάθε bit που αποστέλλεται είναι κωδικοποιημένο αφού πολλαπλασιαστεί με ένα σήμα (κωδικό) που αλλάζει με πολύ ταχύτερο ρυθμό (γνωστό ως chipping rate) σε σχέση με την αρχική σειρά των bits δεδομένων.

2.6.4 OFDM Τεχνική Πολυπλεξίας

Η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)[11] είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική μετάδοσης. Είναι βασισμένη στην ιδέα της διαίρεσης μιας δοθείσας υψηλόρυθμης ροής δεδομένων σε διάφορους παράλληλους χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων οι οποίοι διαμορφώνουν κάθε ρεύμα σε ξεχωριστούς φορείς (carriers) , που ονομάζονται συχνά subcarriers. Στην OFDM τα υπο-φέροντα επιλέγονται έτσι ώστε να είναι όλα ορθογώνια το ένα με το άλλο κατά τη διάρκεια μετάδοσης του συμβόλου, αποφεύγοντας έτσι την ανάγκη να υπάρχουν μη-επικαλυπτόμενα κανάλια υπο-φερόντων για την εξάλειψη της δια-φεροντικής (intercarrier) παρεμβολής . Προκειμένου να υπάρχουν πολλαπλές μεταδόσεις χρήστη, ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης, όπως το TDMA ή το FDMA έπρεπε να συνδέεται με την OFDM. Στην πραγματικότητα, ένα σήμα OFDM μπορεί να δημιουργηθεί από πολλά σήματα χρήστη, δίνοντας την πολλαπλή πρόσβαση OFDMA

2.6.5 Σχεδιασμός Κυψελών

Ένα κυψελοειδές δίκτυο βασίζεται στη χρήση ενός πομπού χαμηλής ισχύος (~ 100 W). Η κάλυψη αυτού του πομπού πρέπει να μειωθεί, έτσι ώστε μια γεωγραφική περιοχή να χωριστεί σε μικρές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες. Κάθε κυψέλη έχει το δικό της πομπό-δέκτη (κεραία), υπό τον έλεγχο του B.S.. Κάθε κυψέλη έχει ένα συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων. Για να αποφευχθούν παρεμβολές, οι διπλανές κυψέλες δεν χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες.

Οι κυψέλες έχουν σχεδιαστεί σε εξαγωνική μορφή για να διευκολυνθεί η απόφαση της μετάβασης από μια κυψέλη σε άλλη για ένα κινητό κόμβο και γιατί είναι τα μοναδικά σχήματα μαζί με τα ισοσκελή τρίγωνα και τα τετράγωνα που καλύπτουν το χώρο χωρίς να δημιουργούν επικαλύψεις και να αφήνουν κενά. Πράγματι, εάν η απόσταση μεταξύ όλων των κυψελών που μεταδίδουν είναι η ίδια, τότε είναι εύκολο να εναρμονιστούν τη στιγμή που ένας κινητός κόμβος θα πρέπει να αλλάξει τη κυψέλη του. Στην πράξη, οι κυψέλες δεν είναι ακριβώς εξαγωνικές λόγω της διαφορετικής τοπογραφίας, των συνθηκών διάδοσης, κ.λπ.

Μια άλλη σημαντική επιλογή για την κατασκευή ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι ο καθορισμός της ελάχιστης απόστασης ανάμεσα σε δύο κυψέλες που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι

παρεμβολές. Για να γίνει πράξη αυτό, ο σχεδιασμός της κυψέλης πρέπει να ακολουθήσει την εξής λογική: Αν το σχήμα περιέχει N κυψέλες, τότε καθεμιά από αυτές θα μπορεί να χρησιμοποιήσει K / N συχνότητες όπου το K ο αριθμός των συχνοτήτων που διατίθενται στο σύστημα.

Η αξία της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων είναι η αύξηση του αριθμού των χρηστών του συστήματος με τη χρήση της ίδιας ζώνης συχνοτήτων που είναι πολύ σημαντικό για έναν πάροχο.

Στην περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιεί το μέγιστο των δυνατοτήτων του, πράγμα που σημαίνει ότι όλες οι συχνότητες χρησιμοποιούνται, υπάρχουν κάποιες τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν την υποστήριξη νέων χρηστών από το σύστημα. Για παράδειγμα, η προσθήκη νέων καναλιών, τα ποία θα δανείζονται συχνότητες των γειτονικών κυψελών, οι τεχνικές διαίρεσης των κυψελών είναι χρήσιμες για την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος. Η γενική αρχή είναι να δημιουργηθούν μικρές *micro* και *pico* (πολύ μικρές) κυψέλες σε περιοχές υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας έτσι ώστε να επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων για την κάλυψη των τηλεπικοινωνιακών αναγκών.

2.6.6 Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

Για τη σωστή λειτουργία του τηλεφωνικού δικτύου είναι απαραίτητη η γνώση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, δηλαδή του αριθμού των κλήσεων που καλείται να διεκπεραιώσει το δίκτυο κατά τη διάρκεια της ημέρας και πιο συγκεκριμένα κατά την ώρα αιχμής, όπου και παρατηρείται η μεγαλύτερη τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Για το σκοπό αυτόν η τηλεπικοινωνιακή κίνηση πρέπει να καταγράφεται σε καθημερινή βάση ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της κίνησης που καλείται να εξυπηρετήσει το τηλεπικοινωνιακό σύστημα.

Η λήψη, επεξεργασία και αξιοποίηση των μετρήσεων της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, αποτελούν για κάθε τηλεπικοινωνιακό οργανισμό, χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων που αφορούν τον προσδιορισμό της δομής των κέντρων, την παρακολούθηση της παρεχόμενης ποιότητας επικοινωνίας κλπ. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις μετρήσεις της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, το τηλεπικοινωνιακό σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει την κίνηση κατά την ώρα αιχμής, δηλαδή την ώρα που παρατηρείται η μεγαλύτερη τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Εφ' όσον το δίκτυο

σχεδιάζεται με αυτόν τον τρόπο, αυτό σημαίνει ότι τις περισσότερες από τις υπόλοιπες ώρες το σύστημα υπολειπεται. Με βάση τα παραπάνω, καταλαβαίνουμε τον λόγο για τον οποίον οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί προσφέρουν φθηνές τιμές κλήσεων κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

2.6.7 Στοιχεία Κυψελοειδούς Συστήματος

Ένα κυψελοειδές δίκτυο γενικά αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

α. Το Κινητό Τερματικό ,MS (Mobile Station)

Το Κινητό Τερματικό M.S., Σχήμα 2-2, αποτελείται από τον εξοπλισμό, όπως ο ραδιο-πομποδέκτης, η οθόνη, οι επεξεργαστές ψηφιακού σήματος, και η κάρτα SIM (Subscriber Identity Modules)[12] . Οι υπηρεσίες που παρέχει, είναι τηλεπηρεσίες φωνής και ανταλλαγής δεδομένων καθώς και άλλες συμπληρωματικές υπηρεσίες. Ποιο συγκεκριμένα το M.S. χρησιμοποιείται για ανταλλαγή SMS μηνύματων, και επιτρέπει στο χρήστη την εναλλαγή μεταξύ της φωνής και δεδομένων χρήσης. Επιπλέον, το κινητό διευκολύνει την πρόσβαση σε συστήματα voice messaging. Το M.S. παρέχει επίσης πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες διαθέσιμων δεδομένων σε δίκτυο GSM. Οι υπηρεσίες δεδομένων περιλαμβάνουν δεδομένα υψηλών ταχυτήτων μεταγωγής κυκλώματος σε ταχύτητες μέχρι 64 Kbps



Εικόνα 2-2: Κινητό Τερματικό

β. Το υποσύστημα σταθμού βάσης, BSS (Base Station Subsystem)

Το BSS (Σχήμα 2-3) αποτελείται από δύο μέρη:

- Το Σταθμό Μετάδοσης Βάσης, BTS (Base Transceiver Station)
- Τον Ελεγκτή Σταθμού Βάσης, BSC (Base Station Controller)

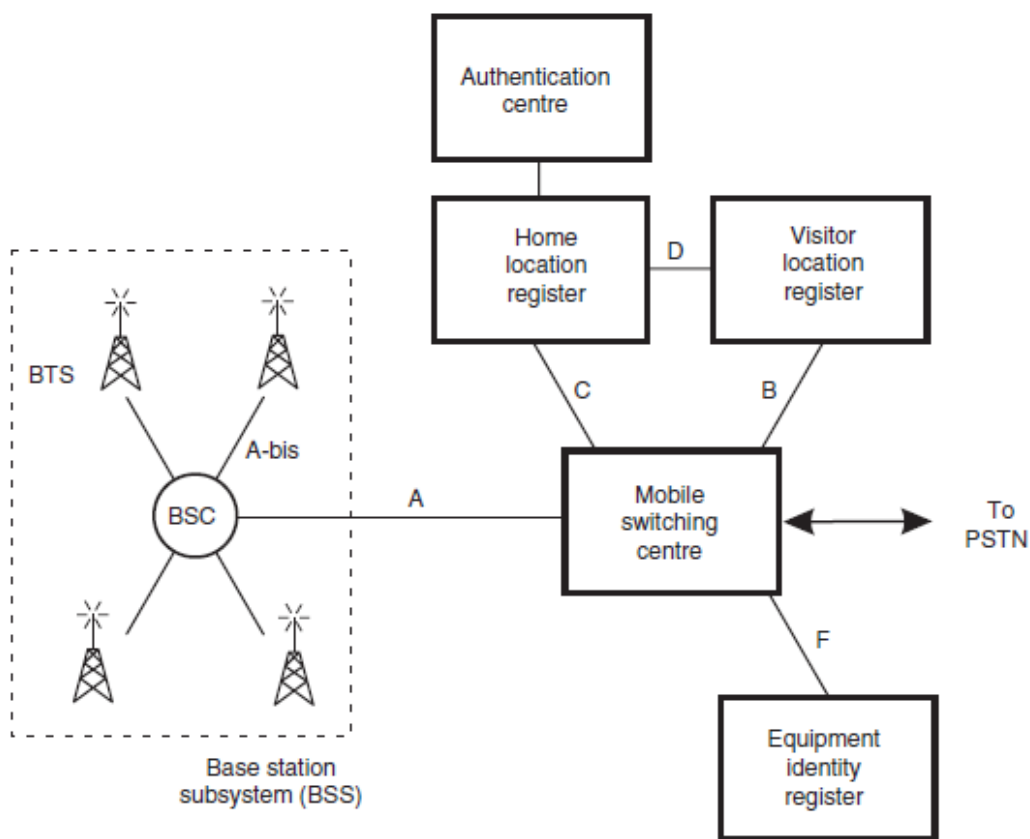
Τα BTS και BSC επικοινωνούν μέσω μιας καθορισμένης διασύνδεσης Abis, επιτρέποντας τη συνεργασία μεταξύ των στοιχείων που προέρχονται από διαφορετικούς προμηθευτές. Ένας BSS μπορεί να έχει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Μια ξεχωριστή γραμμή μεγάλης ταχύτητας (T1 ή E1), στη συνέχεια συνδέεται από το BSS στο Κινητό Κέντρο Μεταγωγής MSC (Mobile Switching Center).

γ. Ο Σταθμός Μετάδοσης Βάσης, BTS (The Base Transceiver Station)

Ο BTS (Σχήμα 2-3) στεγάζει τους πομποδέκτες που ορίζουν μια κυψέλη και χειρίζεται τα πρωτόκολλα ασύρματης σύνδεσης με το Κινητό Τερματικό. Σε μια μεγάλη αστική περιοχή, ένας μεγάλος αριθμός BTSs είναι αναγκαίο να αναπτυχθεί.

Ο BTS αντιστοιχεί στο πομποδέκτες και τις κεραίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε κυψέλη του δικτύου. Ένα BTS τοποθετείται συνήθως στο κέντρο του κυττάρου. Η ισχύς εκπομπής του καθορίζει το μέγεθος του κελιού. Κάθε BTS έχει από 1 ως και 16 πομποδέκτες, ανάλογα με την πυκνότητα των χρηστών στο κελί. Κάθε BTS εξυπηρετεί ένα μόνο κύτταρο. Περιλαμβάνει επίσης τις παρακάτω λειτουργίες:

- Τη κωδικοποίηση, τη κρυπτογράφηση, την πολυπλεξία, τη διαμόρφωση και τη τροφοδοσία των RF σημάτων στην κεραία.
- Τη προσαρμογή των ρυθμών αποστολή και λήψης
- Το συγχρονισμό χρόνου και συχνότητας
- Τη μετάδοση φωνής μέσω υπηρεσιών πλήρους ή μισού ρυθμού
- Την αποκωδικοποίηση, αποκρυπτογράφηση, και εξίσωση λαμβανόμενων σημάτων
- Τη τυχαία ανίχνευση πρόσβασης
- Τις εξελίξεις χρονισμού



Εικόνα 2-3: Αρχιτεκτονική GSM συστήματος [13]

δ. Ο Ελεγκτής Σταθμού Βάσης, BSC (The Base Station Controller)

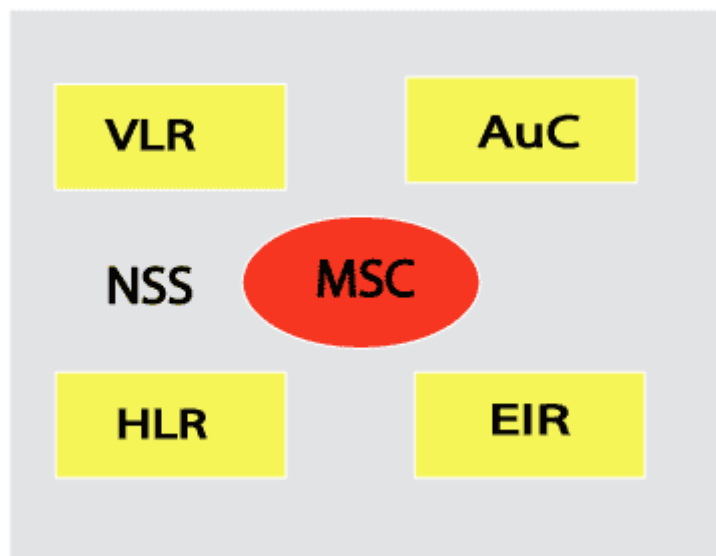
Ο BSC διαχειρίζεται τους ραδιο-πόρους για έναν ή περισσότερους BTSs. Χειρίζεται τη ρύθμιση του καναλιού, τη μεταπήδηση συχνοτήτων, και τα handovers. Ο BSC είναι η σύνδεση μεταξύ του κινητού και του MSC. Ο BSC μεταφράζει επίσης τα κανάλια φωνής των 13 Kbps που χρησιμοποιούνται στην ασύρματη σύνδεση με το πρότυπο κανάλι των 64 Kbps που χρησιμοποιείται από το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο PSTN (Public Switched Telephone Network) ή ISDN[14] (Integrated Services Digital Network).

Αναθέτει και απελευθερώνει τις συχνότητες και τις χρονοθυρίδες για το M.S.. Ο BSC χειρίζεται επίσης τη διακυβελική παράδοση. Ελέγχει τη μετάδοση της ισχύος των BSS και των M.S. στην περιοχή του. Λειτουργία του BSC είναι επίσης η διάθεση των απαραίτητων χρονοθυρίδων μεταξύ του BTS και του MSC. Πρόκειται δηλαδή για μια συσκευή που χειρίζεται τους ραδιο-πόρους. Πρόσθετες λειτουργίες που πραγματοποιεί είναι οι εξής:

- Ο έλεγχος μεταπήδησης συχνοτήτων
- Η πραγματοποίηση συγκέντρωσης κυκλοφορίας για τη μείωση του αριθμού των γραμμών από τον MSC
- Η παροχή μιας διασύνδεσης με το Κέντρο Επιχειρήσεων και Συντήρησης OMC (Operations and Maintenance Center) για τον BSS
- Η ανακατανομή των συχνοτήτων μεταξύ των BTSs
- Ο συγχρονισμός συχνότητας και χρόνου
- Η διαχείριση της ενέργειας

ε. Υποσύστημα Μεταγωγής Δικτύου, NSS (Network Switching Subsystem)

Το NSS (Σχήμα 2-4), το κύριο μέρος του οποίου είναι το MSC, εκτελεί την μεταγωγή των κλήσεων μεταξύ του κινητού και άλλων δικτύων σταθερής ή κινητής τηλεφωνίας, καθώς και τη διαχείριση των κινητών υπηρεσιών όπως η ταυτοποίηση.



Εικόνα 2-4: Υποσύστημα Μεταγωγής Δικτύου

Το NSS περιλαμβάνει τα ακόλουθα λειτουργικά στοιχεία:

- **Καταγραφείας Συνδρομητών , HLR (Home Location Register)**

Το HLR είναι μια βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και τη διαχείριση των συνδρομητών. Το HLR θεωρείται η πιο σημαντική βάση δεδομένων, καθώς αποθηκεύει μόνιμα δεδομένα σχετικά με τους συνδρομητές

- **Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Υπηρεσιών, MSC (Mobile Services Switching Center)**

Η κεντρική συνιστώσα του Υποσυστήματος Δικτύου (Network Subsystem) είναι το MSC. Το MSC εκτελεί την μεταγωγή των κλήσεων μεταξύ των χρηστών κινητής και χρηστών άλλων σταθερών ή κινητών δικτύων τηλεφωνίας, καθώς και τη διαχείριση των κινητών υπηρεσιών, όπως η καταγραφή, η πιστοποίηση, η ενημέρωση τοποθεσίας, τα handovers, και η δρομολόγηση κλήσεων σε συνδρομητές περιαγωγής

- **Καταγραφέας Τοποθεσίας Επισκέπτη , VLR (Visitor Location Register)**

Το VLR είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει προσωρινές πληροφορίες για τους συνδρομητές ,οι οποίες απαιτούνται από το MSC, προκειμένου να τους εξυπηρετήσει.

- **Κέντρο Ταυτοποίησης , AUC (Authentication Center)**

Το AUC είναι μια προστατευμένη βάση δεδομένων που αποθηκεύει ένα αντίγραφο του μυστικού κλειδιού που είναι αποθηκευμένο στην κάρτα SIM κάθε συνδρομητή, η οποία χρησιμοποιείται για έλεγχο ταυτότητας και κρυπτογράφησης του ραδιο-καναλιού.

- **Καταγραφέας Ταυτότητας Εξοπλισμού, EIR (Equipment Identity Register)**

Το EIR είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει μια λίστα όλων των έγκυρων εξοπλισμών κινητής τηλεφωνίας στο δίκτυο.

στ. Το κέντρο Εργασιών και συντήρησης, OMC (Operations and Maintenance Center)

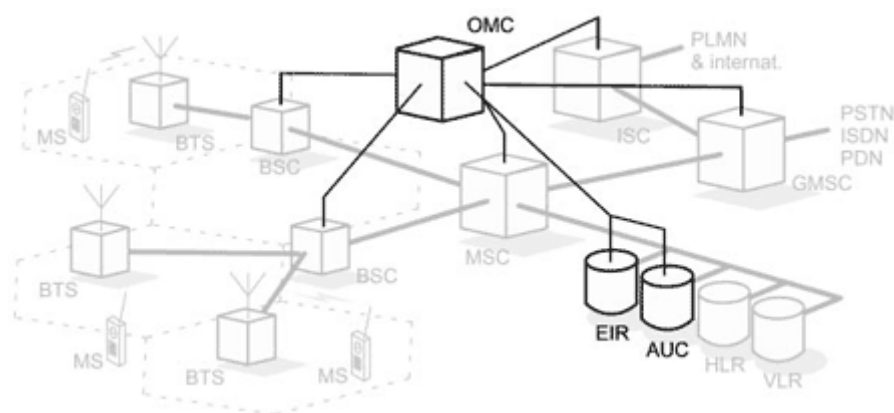
Το Κέντρο Εργασιών και Συντήρησης , OMC (Operations and Maintenance Center) είναι το λειτουργικό σύστημα μέσω των οποίων ένας πάροχος υπηρεσιών τηλεφωνίας παρακολουθεί και ελέγχει το σύστημα. Το OMC παρέχει τη δυνατότητα στο προσωπικό διαχείρισης, της συντήρησης και παρακολούθησης του συνόλου του συστήματος. Ένα OMC μπορεί να εξυπηρετήσει πολλαπλούς MSCs. . Η εφαρμογή του OMC ονομάζεται Σύστημα Λειτουργικής Υποστήριξης ,OSS (Operations Support System)

Παρακάτω παρατίθενται μερικές από τις OMC λειτουργίες:

- Η διοίκηση και εμπορική λειτουργία (συνδρομές, τερματικά, τιμολόγηση και στατιστικές).
- Η διαχείριση Ασφάλειας.
- Η διαμόρφωση του Δικτύου, Διαχείριση Απόδοσης και Λειτουργίας.
- Οι εργασίες συντήρησης.

Οι λειτουργίες συντήρησης και διαχείρισης βασίζονται στις έννοιες του Δικτύου Διαχείρισης Τηλεπικοινωνιών, TMN (Telecommunications Management Network), το οποίο έχει τυποποιηθεί στο ITU-T series M.30.

Παρακάτω παρατίθεται το Σχήμα 2-5 που δείχνει πώς το OMC σύστημα καλύπτει όλα τα στοιχεία του GSM (Global System for Mobile communications).



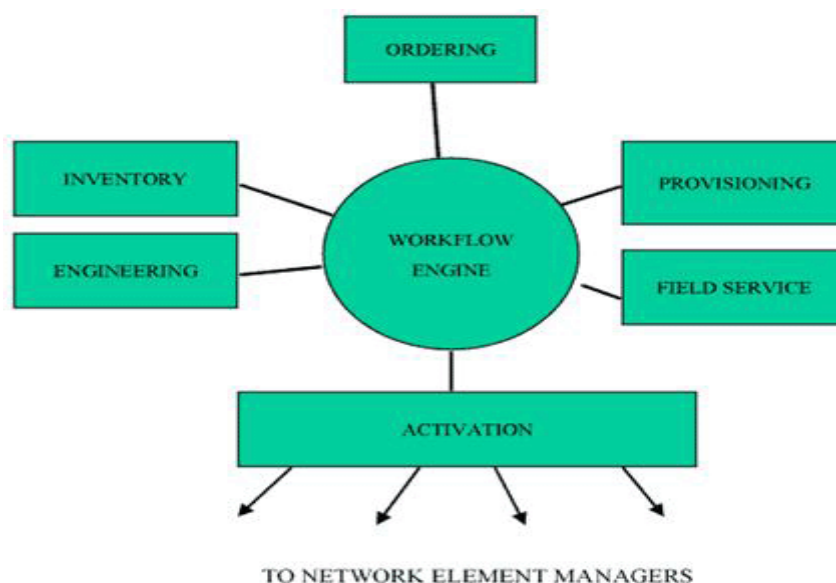
Εικόνα 2-5: Διασύνδεση του κέντρου λειτουργιών και συντήρησης (OMC)

ζ. Το Υποσύστημα Λειτουργικής Υποστήριξης, OSS (The Operation Support Subsystem)

Το OSS (Σχήμα 2-6) είναι η λειτουργική μονάδα από την οποία ο διαχειριστής του δικτύου παρακολουθεί και ελέγχει το σύστημα και εκτελεί τη διαχείριση, την απογραφή, το σχεδιασμό και τις λειτουργίες επισκευής και συντήρησής του. Σκοπός του OSS είναι η υποστήριξη των προσπαθειών των μελών του προσωπικού της τηλεφωνική εταιρείας για αυτοματοποίηση των καθημερινών δουλειών τους, όπως η επεξεργασία της παραγγελίας, η εκχώρηση της γραμμής, η δοκιμές γραμμών, οι χρεώσεις, κλπ. Μια σημαντική λειτουργία του OSS είναι να παρέχει μια γενική εικόνα του δικτύου και να υποστηρίζει τις εργασίες συντήρησης διαφορετικών οντοτήτων λειτουργίας και συντήρησης. Τέλος όσον αφορά τον πελάτη στόχος του είναι να προσφέρει αποδοτικότερη και οικονομικότερη στήριξη και παροχή υπηρεσιών.

Κάποιες λειτουργίες του OSS είναι οι παρακάτω:

- Η επεξεργασία παραγγελιών, η λογιστική, η τιμολόγηση και η διαχείριση του κόστους
- Η απογραφή του δικτύου, η παροχή υπηρεσιών και ο σχεδιασμός
- Η διαχείριση προβλημάτων και αντιμετώπιση σφαλμάτων
- Η διαχείριση στοιχείων του δικτύου και του εξοπλισμό



Εικόνα 2-6: Operations Support System (OSS)

2.6.8 Στάδια Κλήσης

- **Αρχικοποίηση κινητού:** όταν ο κινητός κόμβος ενεργοποιηθεί, ανιχνεύει τα κανάλια συχνότητας και επιλέγει το ισχυρότερο κανάλι κλήσης ελέγχου (setup). Κάθε κυψέλη τακτικά ελέγχει τις πληροφορίες σχετικά με τη ζώνη συχνοτήτων που αντιστοιχεί στο κανάλι ελέγχου. Ο κινητός κόμβος επιλέγει το κανάλι του οποίου το σήμα είναι το πιο ισχυρό. Στη συνέχεια, το τηλέφωνο περνά μέσα από μια φάση ταύτισης με την κυψέλη (χειραψία-handshake). Η φάση αυτή πραγματοποιείται μεταξύ του κινητού και του MTSO (Mobile Telephone Switching Office). Το κινητό αναγνωρίζεται, ακολουθώντας μια ταυτοποίηση και η θέση του καταγράφεται. Το κινητό συνεχίζει την τακτική σάρωση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και αποφασίζει να αλλάξει το B.S., εάν ανακαλύψει ένα ισχυρότερο σήμα από αυτό που έχει ήδη βρει.
- **Κλήση που πραγματοποιείται από ένα κινητό κόμβο:** ο κινητός κόμβος ελέγχει αν το κανάλι κλήσης είναι ελεύθερο, ελέγχοντας τις πληροφορίες οι οποίες αποστέλλονται από το B.S. στη κάτω σύνδεση (downlink) του καναλιού ελέγχου.
- **Ειδοποίηση κλήσης:** ο αριθμός τηλεφώνου λαμβάνεται, το switching center προσπαθεί να συνδεθεί με τους B.Ss που ασχολούνται με τον αριθμό και στέλνει ένα μήνυμα ειδοποίησης κλήσεων στο καλούμενο κινητό κόμβο (paging). Η ειδοποίηση κλήσης αναμεταδίδεται από τους B.Ss στο downlink κανάλι ελέγχου.
- **Αποδοχή της κλήσης:** το κινητό αναγνωρίζει τον αριθμό του στο κανάλι ελέγχου κλήσεων και στη συνέχεια απευθύνεται στο B.S. για να αναμεταδώσει το μήνυμα στο switch που θα δημιουργήσει ένα κύκλωμα μεταξύ των B.Ss των καλούντων και των καλούμενων κόμβων. Ο μεταγωγέας (switch) θα επιλέξει επίσης ένα διαθέσιμο κανάλι κίνησης σε καθένα από τις δύο εμπλεκόμενες κυψέλες και στέλνει τις πληροφορίες που σχετίζονται με την εν λόγω κλήση στους B.Ss. Τα τηλέφωνα στη συνέχεια θα συγχρονιστούν στα κανάλια κίνησης που επιλέγονται από τον B.S.

- **Ενεργός επικοινωνία:** αυτή είναι η διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων ή κίνηση φωνής μεταξύ των καλούντων και των καλούμενων κινητών. Αυτό εξασφαλίζεται τόσο από τους B.Ss όσο και το Κέντρο Μεταγωγής (switching center).
- **Φραγή κλήσεων:** αν όλα τα κανάλια κυκλοφορίας σε ένα BS είναι κατειλημμένα, το κινητό θα προσπαθήσει έναν αριθμό από προ-καθορισμένες φορές να επαναλάβει την κλήση. Σε περίπτωση αποτυχίας, ένα ηχητικό σήμα «κατειλημμένου» επιστρέφει στον χρήστη.
- **Τερματισμός κλήσεων:** στο τέλος της επικοινωνίας, το switching center πληροφορεί τους B.Ss να απελευθερώσουν κανάλια. Η ενέργεια αυτή είναι επίσης σημαντική για την τιμολόγηση (billing).
- **Η εγκατάλειψη της κλήσης:** κατά τη διάρκεια μιας επικοινωνίας, εάν ο B.S. αποτύχει να διατηρήσει ένα καλό επίπεδο σήματος (παρεμβολές, χαμηλό σήμα, κλπ.) θα εγκαταλείψει το κανάλι κίνησης (traffic channel) του κινητού και θα ειδοποιήσει το κέντρο μεταγωγής (switching center)
- **Κλήση μεταξύ ενός σταθερού τερματικού, και ενός κινητού κόμβου:** το κέντρο μεταγωγής (switching center) αρχικά συνδέεται με το σταθερό δίκτυο και στη συνέχεια είναι σε θέση να εγκαταστήσει επικοινωνία με τον κινητό κόμβο.
- **Μεταπομπή-(Handoff):** όταν το κινητό ανακαλύπτει ένα κανάλι ελέγχου, όπου το σήμα είναι ισχυρότερο από ό, τι στη τρέχουσα κυψέλη του, το δίκτυο θα αλλάξει αυτόματα τη κυψέλη μεταφέροντας τη κλήση του κινητού καναλιού της στη νέα κυψέλη χωρίς ο χρήστης να το αντιληφθεί.

2.7 Διαφορετικές Γενιές Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών

Κινητές Επικοινωνίες Πρώτης Γενιάς (1G)

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πρώτη γενιάς όπως το CT0 / 1 (Ασύρματο Τηλέφωνο) για ασύρματες επικοινωνίες και AMPS (Advanced Mobile Phone

Service) για τις κινητές επικοινωνίες αρχικά αποτελούσαν μέρος των αναλογικών επικοινωνιών. Τα πρώτα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι σχεδόν ανύπαρκτα σήμερα. Το σύστημα AMPS ήταν η πρώτη γενιά των πιο εξαπλωμένων δικτύων που χρησιμοποιούνταν στις ΗΠΑ μέχρι τη δεκαετία του 1980

Κινητές Επικοινωνίες Δεύτερης Γενιάς (2G)

Τα κυψελοειδή δίκτυα όπως τα DECT [15](Digital Enhanced Cordless Communications) δεύτερης γενιάς για ασύρματα και κινητά τηλέφωνα χαρακτηρίζονταν από ψηφιακά δίκτυα τηλεπικοινωνιών, σε αντίθεση με η πρώτη γενιά, στην οποία ήταν αναλογικά. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 διάφορες ψηφιακές τεχνολογίες αναπτύχθηκαν:

- Το GSM (Global System for Mobile Communication), που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη, και λειτουργεί στα 900 MHz.
- Το DCS[16] 1800 (Digital Cellular System) που ισοδυναμεί με το GSM, αλλά λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες (1.800 MHz).
- Το PCS[16] 1900 (Personal Communication System) και D-AMPS (Digital AMPS) τα οποία αναπτύχθηκαν στις ΗΠΑ.
- Τέλος, το PDC[16] (Pacific Digital Cellular) που αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία.

Το GSM και το D-AMPS (ονομάζεται επίσης IS-136) βασίζονται στη TDMA μέθοδο πρόσβασης, ενώ η PCS 1900, που ονομάζεται επίσης IS-95 ή cdmaOne[17], βασίζεται στη CDMA τεχνολογία

Κινητές Επικοινωνίες Τρίτης Γενιάς (3G)

Τα 3G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 2 GHz, παρέχοντας ένα φάσμα υπηρεσιών πολυμέσων τόσο σε σταθερούς όσο και σε κινητούς χρήστες με Ποιότητα Υπηρεσιών, QoS(Quality of Service) σχεδόν συγκρίσιμη με αυτή των σταθερών δικτύων. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, ITU[17](International Telecommunication Union) έχει επιλέξει πέντε πρότυπα ασύρματης πρόσβασης για τα 3G κινητά, με το σύμβολο IMT-2000 (Διεθνές

Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών για το έτος 2000). Αυτά είναι τα WCDMA[18] (Wideband CDMA), TD-CDMA[18], TD-SCDMA[18] (Time Division-CDMA) πρότυπα που χρησιμοποιούνται στο Ευρωπαϊκό UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) του Cdma2000, το EDGE [19] (Enhanced Data Rate για GSM Evolution) και η τρίτη γενιά του DECT. Τα πρότυπα IMT-2000 έχουν σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζουν υπηρεσίες περιαγωγής σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς και μια σειρά από ευρυζωνικές υπηρεσίες όπως το βίντεο και η χρήση ενός ενιαίου τερματικού σε διάφορα ασύρματα δίκτυα. Τέλος κύριος στόχος είναι να κάνουμε τις υπηρεσίες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας όσο το δυνατό πιο προσβάσιμες και εύκολες στο χρήστη.

2.8 Το UMTS

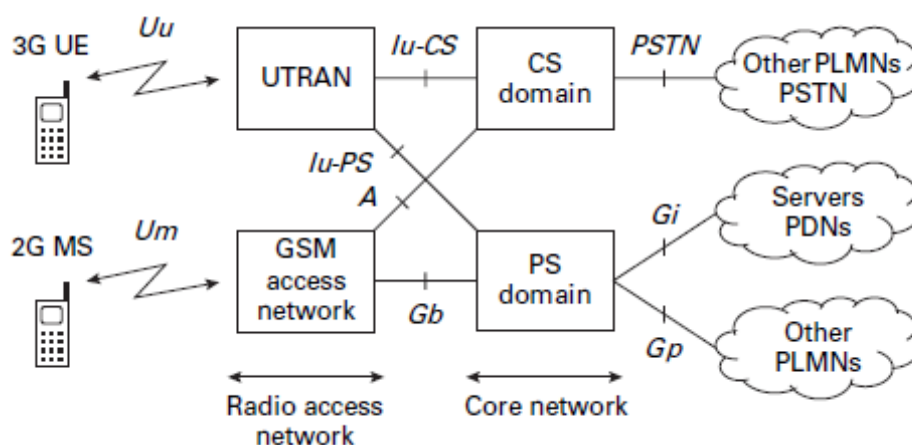
Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς UMTS αποτελεί τον απόγονο των προηγούμενων συστημάτων κινητών επικοινωνιών πρώτης (αναλογικά κυβελωειδή συστήματα) και δεύτερης γενιάς (ψηφιακά συστήματα π.χ. GSM) τα οποία καθιστούσαν δυνατή την επικοινωνία με φωνή, καθώς και μέσω γραπτών μηνυμάτων.

Το UMTS δημιουργήθηκε από την ανάγκη ύπαρξης ενός παγκόσμιου δικτύου κινητών επικοινωνιών, γι' αυτό άλλωστε έγινε μεγάλη προσπάθεια παγκοσμίως για την κατανομή κοινού φάσματος συχνοτήτων για τα συστήματα τρίτης γενιάς σε όλες τις χώρες. Στις περισσότερες από τις διάφορες περιοχές σε όλη τη γη αυτό επετεύχθη, σε κάποιες όχι.

Μια από τις πιο σημαντικές διαφορές του UMTS από τα προγενέστερα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι οι υπηρεσίες που αυτό θα μπορεί να παρέχει στους χρήστες. Τα συστήματα τρίτης γενιάς σχεδιάστηκαν για να παρέχουν επικοινωνία πολυμέσων (multimedia communication). Πληθώρα υπηρεσιών και ρυθμοί δεδομένων που κανένα άλλο σύστημα κινητών επικοινωνιών μέχρι σήμερα δεν μπορούσε να υποστηρίξει θα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν από το ευρύ κοινό για την ικανοποίηση ακόμη και του πιο απαιτητικού χρήστη.

2.8.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το Σχήμα 2-7 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του UMTS δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Τρία είναι τα κύρια μέρη της: το Δίκτυο Πυρήνα, CN (Core Network), το Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης, RAN (Random Access Network) και το κινητό, MS (Mobile Station). Το δίκτυο πυρήνα περιλαμβάνει δύο τομείς: Τον τομέα του κυκλώματος μεταγωγής, CS (circuit switched domain) ο οποίος μεταφέρει τις φωνητικές κλήσεις χρησιμοποιώντας την τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος και το τομέα μεταγωγής πακέτου, PS (Packet switched domain) ο οποίος μεταφέρει ροές δεδομένων με μεταγωγή πακέτων. Οι δύο τομείς μεταφέρθηκαν από το GSM και GPRS, αντίστοιχα, με μόνο λίγες τροποποιήσεις. Το πιο σημαντικό μέρος του δικτύου ασύρματης πρόσβασης είναι το (UTRAN)[20] (UMTS terrestrial radio access network) . Τέλος το κινητό UMTS είναι γνωστό ως εξοπλισμός χρήστη, UE (user equipment)[21]. Πρόκειται για μια αλλαγή στην ορολογία από το GSM, όπου ήταν γνωστός ως κινητός σταθμός, MS (Mobile Station).



Εικόνα 2-7 Αρχιτεκτονική UMTS [22]

2.8.2 Διαφορές GSM-UMTS

Σε αντίθεση με το GSM, το UMTS, βασίζεται κυρίως σε διαμόρφωση CDMA (Code Division Multiple Access) την οποία συνδυάζει με TDMA. Ωστόσο, το UMTS είναι ακόμα νέο, καθώς υπάρχουν λίγες μόνο περιοχές και δίκτυα που υποστηρίζουν την τεχνολογία αυτή.

Σε σύγκριση με το GSM, η κύρια διαφορά του UMTS είναι η διεπαφή αέρα. Η διεπαφή αέρα χρησιμοποιεί GRAN[23] (Generic Radio Access Network). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να συνδεθεί με ένα ευρύ φάσμα δικτύων, όπως το διαδίκτυο, ISDN, GSM, ή σε άλλο δίκτυο UMTS. Υπάρχουν επίσης προβλήματα όσον αφορά τη συμβατότητα μεταξύ UMTS και GSM, τα οποία συχνά οδηγούν σε αποσυνδέσεις, το οποίο έχει αντιμετωπιστεί με τις UMTS / GSM dual-mode συσκευές.

Συνοψίζοντας:

- Το UMTS, έχει μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από το GSM.
- Το GSM είναι 2G και 2,5 G, τεχνολογία ενώ ήδη το UMTS είναι 3G.
- Το πρότυπο GSM είναι μια μάλλον παλιά τεχνολογία ενώ το UMTS είναι νεότερο.
- Το GSM βασίζεται συνήθως σε TDMA ενώ το UMTS-κυρίως σε CDMA.
- Επί του παρόντος, το GSM εξακολουθεί να είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία σήμερα ενώ το UMTS κάνει τα πρώτα του βήματα.
- Το UMTS χρησιμοποιεί τη διεπαφή αέρα GRAN- (Generic Radio Access Network)

2.9 HSPA (HSDPA και HSUPA)

Λίγο μετά την αρχική ανάπτυξη των δικτύων UMTS, έγινε φανερό ότι η μετάδοση δεδομένων με μεταγωγή πακέτων παρουσίαζε μειονεκτήματα. Λύση στο πρόβλημα αυτό αποτέλεσε η ανάπτυξη της Πρόσβασης Πακέτων Υψηλών Ταχυτήτων, HSPA[24] (High Speed Packet Access). Η HSPA είναι μια συγχώνευση δύο πρωτοκόλλων κινητής τηλεφωνίας, του HSDPA[24], (High Speed Downlink Packet) και του HSUPA[24], (High Speed Uplink Packet Access), που παρατείνει και βελτιώνει την απόδοση των υπαρχόντων πρωτοκόλλων WCDMA. Ένα επιπλέον πρότυπο 3GPP, το Evolved HSPA (επίσης γνωστό ως HSPA+[24]), κυκλοφόρησε στα τέλη του 2008.

Το HSPA υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων μέχρι και 14 Mbit / s στο downlink και 5,76 Mbit / s uplink. Μειώνει, επίσης, τη καθυστέρηση και παρέχει έως και πέντε φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα συστήματος στην κάτω ζεύξη και μέχρι

και διπλάσια χωρητικότητα του συστήματος στη πάνω ζεύξη, μειώνοντας το κόστος παραγωγής ανά bit σε σύγκριση με το αρχικό πρωτόκολλα WCDMA. Το HSPA αυξάνει τους ρυθμούς μετάδοσης, και την χωρητικότητα με διάφορους τρόπους:

- Με την από κοινού μετάδοση καναλιών, γεγονός που οδηγεί σε αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων στο WCDMA
- Με τη χρήση ενός μικρότερου χρονικού διαστήματος μετάδοσης, το οποίο μειώνει το χρόνο επαναφοράς (roundtrip time) και βελτιώνει την παρακολούθηση των γρήγορων διακυμάνσεων στο κανάλι
- Με τη προσαρμογή της Σύνδεσης, η οποία μεγιστοποιεί τη χρήση των καναλιών και επιτρέπει στο σταθμό βάσης να λειτουργεί κοντά στη μέγιστη ισχύ της κυψέλης
- Με τον γρήγορο προγραμματισμό, ο οποίος δίνει προτεραιότητα στους χρήστες με τις πλέον ευνοϊκές συνθήκες καναλιού
- Με τη γρήγορη αναμετάδοση, οι οποία αυξάνει περαιτέρω την ικανότητα
- Με διαμόρφωση 16QAM και 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation), η οποία αποδίδει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων
- Με τη χρήση MIMO [25], η οποία εκμεταλλεύεται τη διαφορετικότητα των κεραιών αυξάνοντας μ' αυτό τον τρόπο τη χωρητικότητα.

Μέχρι τον Ιούλιο του 2010, το HSPA είχε αναπτυχθεί εμπορικά από περισσότερους από 200 παρόχους σε περισσότερες από 80 χώρες. Πολλά HSPA χαρακτηριστικά μπορούν να επιτευχθούν με μια αναβάθμιση λογισμικού στο υφιστάμενο δίκτυο 3G, δίνοντας στο HSPA ένα σημαντικό προβάδισμα έναντι του WiMAX, το οποίο απαιτεί ειδική υποδομή δικτύου. Τέλος την αύξηση στις πωλήσεις της τεχνολογίας HSPA οδηγεί μια μεγάλη ποικιλία συσκευών με ευκολία στη χρήση οι οποίες διατίθενται στο εμπόριο.

3. LTE – SAE - EPS

3.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών βρίσκεται σε μια περίοδο ριζικής αλλαγής με την τη σύγκλιση του Διαδικτύου και των κινητών υπηρεσιών φωνής. Η αλλαγή αυτή είναι εφικτή μέσω σημαντικών αλλαγών στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Η κινητή τηλεφωνία κινείται προς μια εξολοκλήρου IP (Internet Protocol) αρχιτεκτονική δικτύου μετά από αρκετές δεκαετίες τεχνολογιών μεταγωγής κυκλώματος. Σημαντικό κομμάτι για την υποστήριξη των νέων υψηλού εύρους ζώνης υπηρεσιών που υπόσχονται ο κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες αποτελεί η εξέλιξη του δικτύου πυρήνα ,CN (core network).

Η πρωτοφανής επιτυχία του GSM (Global System for Mobile Communications), βασίστηκε στα θεμέλια της μεταγωγής κυκλώματος. Όμως κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, η χρήση του Διαδικτύου απογειώθηκε, οδηγώντας σε ζήτηση για ‘Κινητό Internet’ όπως για παράδειγμα υπηρεσίες Internet που θα μπορούσαν να είναι προσβάσιμες από το κινητό τερματικό ενός χρήστη. Οι πρώτες τέτοιου είδους υπηρεσίες υπόκεινταν σε περιορισμούς όπως για παράδειγμα το περιορισμένο εύρος ζώνης για την ασύρματη διεπαφή (radio inerface) και οι περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας των τερματικών συσκευών. Αυτό έχει αλλάξει τώρα με την εξέλιξη των δικτύων πρόσβασης τηλεπικοινωνιών, RANs (Radio Access Networks), με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων καθώς και με την ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης Μακροπρόθεσμης Εξέλιξης γνωστή και ως LTE (Long Term Evolution). Όσον αφορά τον εξοπλισμό και τα τερματικά η αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας των ημιαγωγών καθώς επίσης και το εξελιγμένο λογισμικό που χρησιμοποιείται οδηγούν στην παροχή όλο και πιο εξελιγμένων υπηρεσιών.

Η βάση για υπηρεσίες δεδομένων και φωνητικών υπηρεσιών τόσο στο Διαδίκτυο όσο και στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι οι IP τεχνολογίες καθώς και οι τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου. Η σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο διαφορετικών τεχνολογιών δεν θα ήταν εφικτή χωρίς το δίκτυο πυρήνα. Η εξέλιξη του δικτύου πυρήνα, ή EPC (Evolved Packet Core), αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της επανάστασης των κινητών ευρυζωνικών τηλεπικοινωνιών. Χωρίς αυτό ούτε τα

RANS ούτε υπηρεσίες κινητού Internet θα αξιοποιούσαν πλήρως τις δυνατότητές τους. Το νέο δίκτυο κορμού έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει τη δημιουργία πραγματικά ευρυζωνικών κινητών υπηρεσιών και εφαρμογών καθώς επίσης και για να συνδέει πολλαπλές τεχνολογίες πρόσβασης τηλεπικοινωνιών.

Η Εξέλιξη του Δικτύου Πυρήνα (EPC) βασίζεται στη τυποποιημένη μελέτη του 3GPP (Third Generation Partnership Project)[26] γνωστή ως Εξέλιξη του Συστήματος Αρχιτεκτονικής, SAE (System Architecture Evolution). Σημαντικό μέρος της μελέτης συνδέεται στενά με το LTE, το οποίο καλύπτει την εξέλιξη του ασύρματου δικτύου. Γενικός στόχος του SAE είναι η εξέλιξη των δικτύων πυρήνα πακέτων, όπως ορίζονται από το 3GPP, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια IP-βασισμένη αρχιτεκτονική η οποία να παρέχει υποστήριξη σε πολλαπλές ασύρματες προσβάσεις διασφαλίζοντας τη κινητικότητα μεταξύ διαφορετικών ασύρματων προτύπων.

Η ασύρματη πρόσβαση, το δίκτυο πυρήνα και τα τερματικά που αποτελούν το συνολικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας καλύπτονται από το Εξελιγμένο Σύστημα Πακέτων το οποίο αναφέρεται επίσης και ως EPS (Evolved Packet System). Κύριο χαρακτηριστικό του EPS είναι το γεγονός ότι παρέχει υποστήριξη και για άλλα υψηλής ταχύτητας RANS που δεν βασίζονται σε 3GPP πρότυπα, όπως για παράδειγμα τα WLAN και WiMAX .

Η πρόσφατη ανάπτυξη του LTE για την αντιμετώπιση τόσο του αυξανόμενου όγκου των δεδομένων όσο και της ολοένα και μεγαλύτερης πολυπλοκότητας των σύγχρονων δικτύων έχει τονίσει την ανάγκη και αξία της αυτο-οργάνωσης του δικτύου γεγονός το οποίο θα οδηγήσει στη μείωση των λειτουργικών εξόδων, OPEX (Operating Expense), τόσο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης όσο και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Το 3GPP ξεκίνησε τις εργασίες για την τυποποίηση της αυτο-βελτιστοποίησης και της αυτο-οργάνωσης των δυνατοτήτων για την LTE, στα Releases 8 και 9 εισάγοντας την έννοια των Αυτό-οργανόμενων Δικτύων τα γνωστά SONs (Self Organising Networks). Οι δυνατότητες αυτο-βελτιστοποίησης στο δίκτυο τέλος θα οδηγήσουν σε υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών του τελικού χρήστη QoE (Quality of Experience) και σε συνολική βελτίωση της απόδοσης του δικτύου.

3.2 Η ανάγκη για παγκόσμια πρότυπα

Στον ραγδαία εξελισσόμενο κόσμο της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών μείζονος σημασίας θέμα αποτελεί η εξέλιξη των προτύπων κυρίως όταν μιλάμε για θέματα που αφορούν τη σύγκλιση υπηρεσιών IT (Internet Technologies) και κινητής τηλεφωνίας. Κατά συνέπεια μεγάλο είναι το ενδιαφέρον για τη διαδικασία τυποποίησης των LTE και SAE, γιατί υπάρχει σημαντικό εμπορικό όφελος από αυτό.

Δύο είναι οι πλέον βασικοί λόγοι για την ανάγκη ύπαρξης παγκόσμιων προτύπων:

- Πρώτα απ 'όλα, διασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα σε ένα πραγματικά παγκόσμιο, λειτουργικό περιβάλλον πολλών προμηθευτών. Οι πάροχοι επιθυμούν να διασφαλίσουν ότι είναι σε θέση να αγοράσουν δικτυακό εξοπλισμό από διάφορους προμηθευτές, εξασφαλίζοντας τον ανταγωνισμό, αποτρέποντας έτσι τις εξαρτήσεις από συγκεκριμένους προμηθευτές. Για να καταστεί αυτό δυνατό οι κόμβοι από διάφορους προμηθευτές πρέπει να μπορούν να συνδέονται ο ένας με τον άλλο και αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό ενός συνόλου «περιγραφών διεπαφής», μέσω του οποίου οι διάφοροι κόμβοι σε ένα δίκτυο να είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους.
- Δεύτερον, η δημιουργία ενός παγκόσμιου προτύπου εξασφαλίζει ότι θα υπάρξει μια συγκεκριμένη αγορά για τα προϊόντα που για παράδειγμα αναπτύσσει ένας προμηθευτής εξοπλισμού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος της παραγωγής για ένα προϊόν, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής. Ουσιαστικά, με την αύξηση του όγκου ένας προμηθευτής θα μπορεί να είναι σε θέση να παράγει το τελικό προϊόν σε φθηνότερο κόστος. Οι προμηθευτές μπορούν στη συνέχεια να πετύχουν κερδοφορία σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών, γεγονός που οδηγεί τελικά σε μια πιο αποδοτική λύση για τους παρόχους αλλά και τους τελικούς χρήστες.

Τα παγκόσμια πρότυπα είναι επομένως ένας θεμέλιος λίθος για την ύπαρξη φθηνών, αξιόπιστων δικτύων επικοινωνιών γεγονός που αποτελεί και έναν από τους στόχους του EPC.

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί φορείς τυποποίησης που συμμετείχαν άμεσα στις διαδικασίες τυποποίησης για τη μελέτη του SAE. Οι φορείς αυτοί περιλαμβάνουν τον 3GPP, ο οποίος είναι ο πρωτοπόρος οργανισμός που διοργανώνει τη μελέτη, τον 3GPP2[26] (Third Generation Partnership Project 2), το IETF[26] (Internet Engineering Task Force) και την OMA[26] (Open Mobile Alliance).

3.3 Forums τα οποία εμπλέκονται στην ανάπτυξη Ασύρματων Τεχνολογιών Πρόσβασης

Με τα χρόνια, πολλά διαφορετικά πρότυπα κινητών τηλεπικοινωνιών έχουν δημιουργηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα πιο συχνά αναγνωρίσιμα από αυτά είναι τα GSM, CDMA και WCDMA / HSPA. Οι GSM / WCDMA / HSPA και CDMA ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης ορίστηκαν σε διαφορετικούς φορείς τυποποίησης και είχαν, επίσης, διαφορετικά δίκτυα πυρήνα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους.

α. 3GPP Ασύρματες Τεχνολογίες Πρόσβασης

Το GSM αναπτύχθηκε αρχικά στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων ETSI [27] (European Telecommunication Standards Institute), το οποία κάλυπτε τόσο το RAN όσο και το δίκτυο πυρήνα για παροχή τηλεφωνίας μεταγωγής κυκλώματος. Τα κύρια συστατικά του βασικού δικτύου του GSM ήταν το MSC (Mobile Switching Centre) και το HLR (Home Location Register).

Με τον καιρό, η ανάγκη στήριξης της IP κίνησης εντοπίστηκε εντός του κλάδου κινητής τηλεφωνίας και το GPRS σύστημα δημιουργήθηκε ως ένα πρόσθετο στο υπάρχον σύστημα GSM. Με την ανάπτυξη του GPRS, η έννοια του δικτύου πυρήνα με βάση τα πακέτα μεταγωγής χρειαζόταν να συμπεριληφθεί στις προδιαγραφές. Το υπάρχον ασύρματο δίκτυο GSM εξελίχθηκε, ενώ δύο νέες λογικές οντότητες του δικτύου εισήχθησαν στο δίκτυο πυρήνα - το SGSN (serving GPRS Support Node)[3] και το GGSN (Gate GPRS Support Node)[28].

Κατά τη μετάβαση από το Geran[29] (GSM EDGE Radio Access Network) στο UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), μια πρωτοβουλία ξεκίνησε να χειρίζεται την τυποποίηση των ασύρματων και των κεντρικών δικτυακών τεχνολογιών σε ένα παγκόσμιο φόρουμ, εκτός του ETSI, το οποίο ήταν αποκλειστικά για τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Η πρωτοβουλία αυτή έγινε γνωστή ως 3GPP και πήρε το

πρωτοβουλία για την τυποποίηση του δικτύου πυρήνα για UTRAN / WCDMA, συμπληρωματικά με την ασύρματη πρόσβαση UTRAN. Το 3GPP αργότερα έλαβε επίσης την πρωτοβουλία για τη δημιουργία των λεπτομερειών του IMS[5]. Το IMS είναι η συντομογραφία του IP Multimedia Subsystem, και στοχεύει στην υποστήριξη του δικτύου για IP-based υπηρεσίες πολυμέσων.

β. 3GPP2 Ασύρματες Τεχνολογίες Πρόσβασης

Στη Βόρεια Αμερική και ην Ασία ένα άλλο σύνολο προτύπων ασύρματης τεχνολογίας πρόσβασης αναπτύχθηκε. Αυτό αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του οργανισμού τυποποίησης που ονομάζεται 3GPP2 ο οποίος ανέπτυξε την ασύρματη πρόσβαση στις τεχνολογίες cdma2000@, παρέχοντας HRPD (High Rate Packet Data) υπηρεσίες. Το cdma2000@ είναι μια εξέλιξη από τα παλαιότερη IS-9 CDMA τεχνολογία, αυξάνοντας την ικανότητα και την υποστήριξη υψηλότερων ταχυτήτων δεδομένων. Οι κύριες οντότητες του πυρήνα πακέτων σε αυτό το σύστημα είναι γνωστές ως PDSN (Packet Data Serving Node) και HA (Home Agent), όπου οι ιδέες της κινητικότητας που βασίζονται στο τερματικό, από την IETF, χρησιμοποιούνται, σε συνδυασμό με τους μηχανισμούς που ανέπτυξε το 3GPP2.

γ. Άλλα forums τα οποία εμπλέκονται στις Ασύρματες Τεχνολογίες Πρόσβασης

Το WiMAX Forum[30] έμμεσα συμμετείχε στην ανάπτυξη του SAE, μέσω των εταιρειών και συμμετεχόντων που έλαβαν μέρος και στα δύο φόρουμ (WiMAX και στην ομάδα εργασίας 3GPP).

3.4 Η ανάγκη για δίκτυα νέας γενιάς

Τα σημερινά 3G και 3.5G δίκτυα χαρακτηρίζονται από τη γενική τάση για ολοένα αυξανόμενο εύρος ζώνης μετάδοσης. Ως εκ τούτου αποφασίστηκε το 2005 από τον 3GPP οργανισμό τυποποίησης να αρχίσουν οι εργασίες για τον σχεδιασμό ενός ασύρματου δικτύου επόμενης γενιάς που θα βασίζεται σε μεταγωγή πακέτων μετάδοσης δεδομένων. Οι εργασίες επικεντρώθηκαν σε δύο τομείς: α) Ο LTE τομέας επικεντρώνεται στο σχεδιασμό ενός νέου ασύρματου δικτύου και της αρχιτεκτονικής

της ασύρματης διεπαφής διασύνδεσης, ενώ β) ο SAE τομέας επικεντρώνεται στο σχεδιασμό μιας νέας υποδομής δικτύου πυρήνα. Οι δυο αυτοί τομείς συνδυάστηκαν σε ένα ενιαίο πρόγραμμα εργασίας γνωστό ως EPS.

Για το νέο δίκτυο τέθηκαν οι ακόλουθοι στόχοι σχεδιασμού:

- Μείωση του χρόνου για τις αλλαγές της κατάστασης της τάξης των 100ms. Στα δίκτυα HSPA σήμερα, ο χρόνος που χρειάζεται ένα κινητό τερματικό για να συνδεθεί με το δίκτυο και να αρχίσει η επικοινωνία είναι αρκετά μεγάλος. Αυτό έχει αρνητικό αντίκτυπο στη χρηστικότητα, καθώς ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί αυτή την καθυστέρηση κατά την πρόσβαση σε μια υπηρεσία στο διαδίκτυο μετά από μια περίοδο αδράνειας.
- Μείωση χρόνου αναμονής του χρήστη. Ένα άλλο μειονέκτημα των σημερινών δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι η πολύ μεγαλύτερη καθυστέρηση μετάδοσης σε σύγκριση με τα σταθερά δίκτυα. Στα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας (π.χ. DSL) ο χρόνος αναμονής είναι της τάξης των 15 ms σήμερα, ενώ τα δίκτυα HSPA έχουν μια καθυστέρηση περίπου 50 ms. Για το LTE, αποφασίστηκε ότι η καθυστέρηση στην ασύρματη διεπαφή πρέπει να είναι της τάξης των 5 ms για να ισοδυναμεί με αυτή των σταθερών δικτύων.
- Κλιμακούμενο εύρος ζώνης. Τα δίκτυα HSPA περιορίζονται επί του παρόντος σε ένα εύρος ζώνης των 5MHz. Για ορισμένες εφαρμογές, ένα τέτοιο εύρος ζώνης είναι πολύ μεγάλο και έτσι αποφασίστηκε ότι η αυτό θα πρέπει να προσαρμόζεται αυτόματα.
- Αύξηση Απόδοσης. Για το νέο σύστημα, η μέγιστη απόδοση κάτω από ιδανικές συνθήκες των 100 Mbit / s θα πρέπει να επιτευχθεί.

3.5 Η Μακροχρόνια Εξέλιξη, LTE (Long Term Evolution)

Για να ανταπεξέλθει στην ανάγκη για νέα δίκτυα αυξημένου εύρους ζώνης η 3GPP, άρχισε να πραγματοποιεί εργασίες σχετικά με την επόμενη γενιά RANs μέσω της LTE μελέτης το αποτέλεσμα της οποίας ήταν οι προδιαγραφές του E-UTRAN (Evolved UTRAN). Οι εργασίες για την LTE ξεκίνησαν στα τέλη του 2004 και αρχές του 2005 με τον καθορισμό ενός συνόλου στόχων για την επακόλουθη εργασία

καθορισμού προδιαγραφών. Οι στόχοι αυτοί μπορούν να βρεθούν στην 3GPP τεχνική έκθεση 25.913 [31]. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

- Downlink και uplink ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, τουλάχιστον 100 και 50 Mbits / s αντίστοιχα, υποθέτοντας ότι χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα 20 MHz
- Ο χρόνος που χρειάζεται για να αλλάξει μια συσκευή του χρήστη από την κατάσταση αδράνειας σε ενεργή κατάσταση δεν πρέπει να είναι πάνω από 100 ms.
- Η λανθάνουσα κατάσταση (καθυστέρηση) των δεδομένων του χρήστη δεν πρέπει να είναι πάνω από 5 ms στο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης.
- Μεγαλύτερη ελαστικότητα της χρήσης του φάσματος, τόσο στις νέες όσο και στις προ-υπάρχουσες ομάδες συχνοτήτων
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής από το LTE σε GSM ή WCDMA max της τάξης των 300 ή 500 ms για μη πραγματικό χρόνο και πραγματικό χρόνο αντίστοιχα.
- Υποστήριξη τόσο για FDD[32] (Frequency Division Duplex) όσο και για TDD[33] (Time Division Duplex) συστήματα πολυπλεξίας με την ίδια ασύρματη τεχνολογία ελέγχου πρόσβασης (το FDD σημαίνει μετάδοση και λήψη σε διαφορετικές συχνότητες, ενώ το TDD χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα αλλά με μετάδοση και υποδοχή οι οποίες χωρίζονται στο πεδίο του χρόνου).
- Υποστήριξη για ένα ευρύ φάσμα εύρους ζώνης καναλιού, που κυμαίνονται από 1,4 MHz έως 20 MHz.

Για την αντιμετώπιση αυτών των στόχων, ο σχεδιασμός του LTE συστήματος καλύπτει τόσο την ασύρματη διεπαφή όσο και την αρχιτεκτονική του ασύρματου δικτύου. Οι εφαρμογές του LTE, όπως ορίζονται στο 3GPP Rel-8 συναντούν και σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνουν τις απαιτήσεις αυτές χάρις στη προσεκτική επιλογή των τεχνολογιών συμπεριλαμβανομένων της χρήσης προηγμένων μηχανισμών σηματοδότησης.

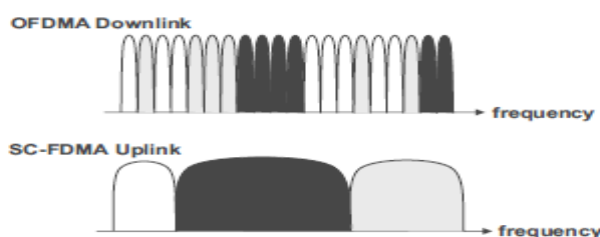
3.5.1 Τεχνολογίες για την LTE

Παρακάτω περιγράφουμε τρεις βασικές τεχνολογίες που έχουν διαμορφώσει το σχεδιασμό της ασύρματης διεπαφής LTE: α) τη τεχνολογία πολλαπλών φερόντων, β) τη τεχνολογία πολλαπλών κεραιών, και γ) την εφαρμογή της μεταγωγής πακέτων στην ασύρματη διεπαφή.

α. Η τεχνολογία πολλαπλών φερόντων

Η υιοθέτηση μιας προσέγγισης πολλαπλών φερόντων για πολλαπλή πρόσβαση στην τεχνολογία LTE ήταν η πρώτη επιλογή. Για την κάτω ζεύξη (down link) -τη σύνδεση δηλαδή από το σταθμό βάσης μέχρι τη συσκευή του χρήστη- η επικρατέστερη τεχνολογία ήταν η OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) [34]. Η βασική ιδέα του OFDMA είναι ότι το συνολικό διαθέσιμο φάσμα καναλιών (π.χ., 10 MHz) υποδιαιρείται σε έναν αριθμό από κανάλια των 15kHz, το καθένα από τα οποία μεταφέρει ένα υπο-φέρον. Η διαθέσιμη χωρητικότητα (η χρήση δηλαδή των υπο-φερώντων) μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας ταυτόχρονα. Το OFDMA έχει επίσης το πλεονέκτημα να είναι πολύ ισχυρό κατά της εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών (multipath fading).

Στην άνω (uplink) σύνδεση (τη σύνδεση δηλαδή από τη συσκευή του χρήστη μέχρι το σταθμό βάσης) η επικρατέστερη τεχνολογία είναι η SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) [35]. Στη περίπτωση αυτή ένα ελαφρώς διαφορετικό σύστημα πολυπλεξίας έχει αναπτυχθεί για την τεχνολογία LTE . Σε αντίθεση με το LTE downlink, η uplink μετάδοση βασίζεται σε ένα μόνο φέρον. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού είναι μια η χαμηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας και, συνεπώς, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των τερματικών συσκευών.



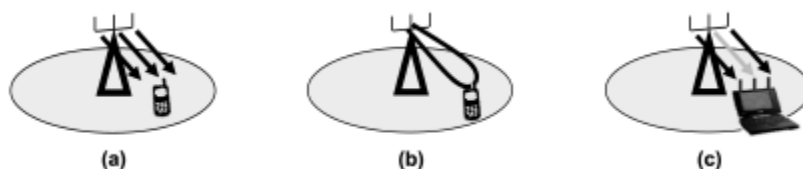
Εικόνα 3-1: Παρουσίαση του πεδίου συχνότητων των LTE τεχνολογιών πολλαπλής πρόσβασης

[36]

β. Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραίων

Με τη χρήση πολλαπλών κεραιών αυξάνεται γραμμικά η θεωρητική φασματική απόδοση, σε κατάλληλα πάντα περιβάλλοντα ασύρματης διάδοσης. Η τεχνολογία πολλαπλών κεραιών εισάγει μια μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών, χωρίς ωστόσο όλες τους να εκπληρώνουν εύκολα τα θεωρητικά χαρακτηριστικά τους. Οι πολλαπλές κεραιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλους τρόπους και κυρίως βασίζονται σε τρεις θεμελιώδεις αρχές, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-2:

- Αύξηση της διαφορετικότητας. Χρήση της χώρο-ποικιλότητας που παρέχεται από τις πολλαπλές κεραιές για να βελτιώσει την αξιοπιστία της μετάδοσης κατά την εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών.
- Κέρδος σειράς. Συγκέντρωση της ενέργειας σε μία ή περισσότερες συγκεκριμένες κατευθύνσεις μέσω προ-κωδικοποίησης (precoding) ή με διαμόρφωση σε δέσμη. Αυτό επιτρέπει επίσης σε πολλούς χρήστες που βρίσκονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα.
- Κέρδος χωρικής πολυπλεξίας. Η μετάδοση πολλαπλών ροών σήματος σε έναν μόνο χρήστη σε πολλαπλά χωρικά επίπεδα που δημιουργούνται από συνδυασμούς των διαθέσιμων κεραιών



Εικόνα 3-2: Τρία βασικά οφέλη πολλαπλών κεραιών: (α) Κέρδος διαφορετικότητας (β) Κέρδος σειράς (γ) Κέρδος χωρικής πολυπλεξίας[37]

γ. Η εφαρμογή της μεταγωγής πακέτων στην ασύρματη διεπαφή

Η LTE έχει σχεδιαστεί ως ένα σύστημα πολλαπλών υπηρεσιών με βάση τη μεταγωγή πακέτων χωρίς καμιά εξάρτηση από πρωτόκολλα κυκλωμάτων μεταγωγής τα οποία επικρατούσαν μέχρι τότε. Στο LTE, αυτή η φιλοσοφία εφαρμόζεται σε όλα τα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλων.

Η ιδέα της γρήγορης μετάδοσης πακέτων πάνω από την ασύρματη διεπαφή δικτύου είχε ήδη ξεκινήσει από το HSDPA, το οποίο επέτρεπε τη μετάδοση μικρών

πακέτων. Αυτό απαιτούσε μια από κοινού βελτιστοποίηση τόσο της φυσικής διαμόρφωσης παραμέτρων του φυσικού στρώματος όσο και της διαχείρισης των πόρων οι οποίες πραγματοποιούνται από τα πρωτόκολλα επιπέδου σύνδεσης, σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες μετάδοσης. Αυτή η πτυχή του HSDPA περιλαμβάνει τη στενή σύνδεση μεταξύ των δύο κατώτερων στρωμάτων της στοίβας πρωτοκόλλων – δηλαδή του MAC στρώματος και του φυσικού στρώματος PHY. Στο HSDPA, αυτή η σύζευξη περιλαμβάνει ήδη χαρακτηριστικά, όπως τη γρήγορη ανάδραση της κατάστασης του καναλιού, τη δυναμική προσαρμογή συνδέσμου, τον προγραμματισμό αξιοποίησης της ποικιλομορφίας πολλών χρηστών, και τη γρήγορη αναμετάδοση πρωτοκόλλων.

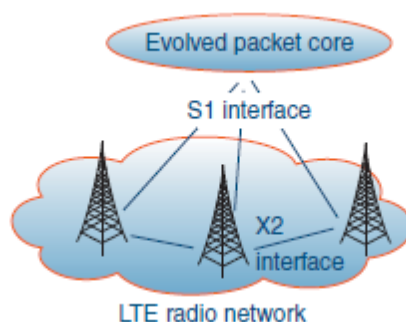
Στην LTE, προκειμένου να βελτιωθεί ο χρόνος της λανθάνουσας κατάστασης του δικτύου, η διάρκεια του πακέτου μειώθηκε περαιτέρω από τα 2 ms που χρησιμοποιούνται στο HSDPA σε μόλις 1 ms. Αυτό το σύντομο χρονικό διάστημα μετάδοσης, σε συνδυασμό με τις νέες διαστάσεις του χώρου και της συχνότητας, επέκτεινε περαιτέρω το πεδίο των τεχνικών πολλαπλής διαστρωμάτωσης μεταξύ των στρωμάτων MAC και των φυσικών στρωμάτων (PHY) για να συμπεριλάβουν τις ακόλουθες τεχνικές στο LTE:

- Τον προσαρμοστικό προγραμματισμό τόσο της συχνότητας όσο και των χωρικών διαστάσεων
- Τη προσαρμογή της διαμόρφωσης MIMO, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των χωρικών στρωμάτων τα οποία μεταδίδονται ταυτόχρονα
- Τη συνδυαστική προσαρμογή της διαμόρφωσης και του ρυθμού μετάδοσης του κώδικα, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των μεταδιδόμενων κωδικών λέξεων
- Τους διαφορετικούς τρόπους γρήγορης αναφοράς την κατάσταση των καναλιών.

Αυτά τα διαφορετικά επίπεδα βελτιστοποίησης συνδυάζονται με πολύ εξελιγμένα συστήματα ελέγχου σηματοδότησης, τα οποία αποδείχτηκαν ως μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις για τη μετατροπή της έννοιας του LTE σε ένα πραγματικό λειτουργικό σύστημα.

3.5.2 Διασύνδεση σταθμών βάσης LTE με το EPC

Το ασύρματο δίκτυο LTE συνδέεται με το EPC, μέσω της διεπαφής S1[38], το οποίο είναι μια πολύ σημαντική διεπαφή στην EPS αρχιτεκτονική (Σχήμα 3-3). Οι σταθμοί βάσης LTE προαιρετικά επίσης διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω της διεπαφής X2[39]. Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, όπως για παράδειγμα, για την παράδοση μεταξύ των σταθμών βάσης ή των κυψελών.



Εικόνα 3-3: Το LTE και η απλοποιημένη επαφή στο EPC[40]

Η διεπαφή S1 χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Η S1-MME μεταφέρει μηνύματα σηματοδότησης μεταξύ του σταθμού βάσης και του MME.
- Η S1-U μεταφέρει δεδομένα του χρήστη μεταξύ του σταθμού βάσης και του serving GW.

3.6 Η Εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής Συστήματος (SAE)

Η Εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής Συστήματος, SAE (System Architecture Evolution)[41] είναι το όνομα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε από την 3GPP ομάδα η οποία είναι υπεύθυνη για την εξέλιξη του δικτύου πυρήνα, και η οποία πιο συχνά αναφέρεται ως EPC. Το αποτέλεσμα της 3GPP SAE μελέτης είναι ένα σύνολο προδιαγραφών που καθορίζει την εξέλιξη του δικτύου πυρήνα πακέτων για τα GSM / GPRS και WCDMA / HSPA σε μια πλήρως-IP αρχιτεκτονική. Η μελέτη της SAE είναι στενά συνδεδεμένη με τη μελέτη LTE η οποία καλύπτει την εξέλιξη του

ασύρματου δικτύου και έχει αναπτυχθεί έτσι ώστε να είναι πλήρως συμβατή με την LTE .

3.6.1 Λόγοι για την ανάπτυξη της SAE

Τα υπάρχοντα δίκτυα πυρήνα πακέτων είχαν αναπτυχθεί για να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες αγορές και απαιτήσεις του χρήστη. Με την εξέλιξη προς νέα ασύρματα δίκτυα, καθώς και την ανάγκη για την παροχή νέου τύπου υπηρεσιών νέες απαιτήσεις προέκυψαν.

Οι λόγοι για τους οποίους αναπτύχθηκαν τα δίκτυα LTE SAE είναι οι εξής:

- Στήριξη για μη 3GPP δίκτυα πρόσβασης
- Υποστήριξη των διαπομπών μεταξύ 3GPP και μη 3GPP προσβάσεων
- Προτίμηση μηχανισμών κινητικότητας με βάση το δίκτυο.
- Κοινό πλαίσιο ασφάλειας
- Κοινή διαχείριση χρηστών και πλαισίου ελέγχου ταυτοποίησης.
- Κοινή πολιτική και υποστήριξη χρεώσεων
- Κοινό πλαίσιο για την On και Off line χρέωση.
- Παροχή βελτιστοποιημένης διαπομπής από και προς την υπάρχουσα ασύρματη πρόσβαση των δικτύων πακέτων πυρήνα: του Geran του 3GPP, του UTRAN και του HSPA
- Κοινό εξελεγμένο πακέτα πυρήνα για την πρόσβαση στο Common IMS και τις εφαρμογές του.
- Κοινές λειτουργίες και διαχείριση των τερματικών σταθμών.

Πρόσθετες απαιτήσεις που προσδιορίζονται από την εφαρμογή και τη χρήση των 3GPP πακέτων πυρήνα σχετίζονται με:

- Τη βελτίωση της απόδοσης του υφιστάμενου συστήματος
- Την εξασφάλιση υψηλής απόδοσης διαπομπών πακέτων μεταξύ των 3GPP προσβάσεων
- Σαφής διαχωρισμός του ελέγχου και της χρήσης (user plane) λειτουργίας

- Η δυνατότητα να έχουμε μια ενιαία οντότητα στο επίπεδο χρήστη κατά τη διάρκεια της κατάστασης λειτουργίας μη περιαγωγής .
- Εύκολη μετάβαση(migration) σε EPS
- Διαχειρίσιμες επιπτώσεις για τις αναβαθμίσεις των υποδομών περιαγωγής, γεγονός που συνεπάγεται τη δυνατότητα σταδιακής μετάβασης από τα υπάρχοντα δίκτυα και τη δυνατότητα υποστήριξης εισερχόμενων / εξερχόμενων χρηστών από το LTE και προς τα υπάρχοντα 3GPP δίκτυα που ανήκουν σε φορείς που δεν έχουν αναβαθμιστεί σε EPS.

3.6.2 Βασικά χαρακτηριστικά SAE

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής SAE είναι τα ακόλουθα:

- Ένας κοινός κόμβος gateway για όλες τις τεχνολογίες.
- Μια βελτιστοποιημένη αρχιτεκτονική σε επίπεδο χρήστη με μόνο δύο τύπους κόμβων.
- Ένα all- IP σύστημα με IP-βασιζόμενα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε όλες τις διασυνδέσεις.
- Ένας διαχωρισμός στο επίπεδο ελέγχου / χρήστη μεταξύ των MME (Mobility Management Entity), και της πύλης.
- Ένας λειτουργικός διαχωρισμός στα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης / στο δίκτυο πυρήνα παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται σε δίκτυα WCDMA / HSPA.
- Ενσωμάτωση των μη-3GPP τεχνολογιών πρόσβασης (π.χ. cdma2000, WiMAX, κτλ) χρησιμοποιώντας mobile-IP με βάση τόσο τον πελάτη όσο και το δίκτυο.

3.6.3 Πλεονεκτήματα από την ανάπτυξη της SAE

Το Σύστημα Εξέλιξης Αρχιτεκτονικής SAE προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες και συστήματα που χρησιμοποιούνται για τα κυψελοειδή δίκτυα πυρήνα.

Μερικά από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι:

- **Βελτιωμένη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων:** Η 3G LTE προσφέρει data downloads με ρυθμούς της τάξης των 100 Mbps. Έχοντας ως επίκεντρο του συστήματος τις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες, είναι απαραίτητο για το δίκτυο να είναι σε θέση να χειριστεί πολύ υψηλά επίπεδα δεδομένων. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι αναγκαίο να υιοθετηθεί μια αρχιτεκτονική συστήματος που είναι ικανή να ανταπεξέλθει σε πολύ υψηλότερα επίπεδα μεταφοράς δεδομένων.
- **All-IP αρχιτεκτονική:** Όταν η 3G τηλεπικοινωνίες αναπτύχθηκαν αρχικά, η φωνή μεταφερόταν ως δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος. Από τότε υπήρξε μια μετακίνηση του ενδιαφέροντος προς τα IP δεδομένα. Κατά συνέπεια το νεοεισερχόμενο SAE, έχει υιοθετήσει μια all-IP αρχιτεκτονική.
- **Μείωση χρόνου αναμονής:** Με αυξημένα τα επίπεδα της αλληλεπίδρασης που απαιτούνται, η SAE εξελίχτηκε έτσι ώστε να είναι σε θέση να εξασφαλίζει ότι τα επίπεδα της καθυστέρησης θα μειωθούν γύρω στο 10 ms.
- **Μειωμένα λειτουργικά κόστη (operational expenditure-OPEX) και κεφαλαιακά κόστη(capital expenditure- CAPEX):** Ένα βασικό στοιχείο για κάθε επιχείρηση είναι να μειωθεί το κόστος. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να μειώνονται τόσο οι κεφαλαιακές δαπάνες ,CAPEX (Capital Expenses) όσο και οι λειτουργικές δαπάνες ,OPEX (Operational Expenses).

3.7 Το Δίκτυο Πυρήνα

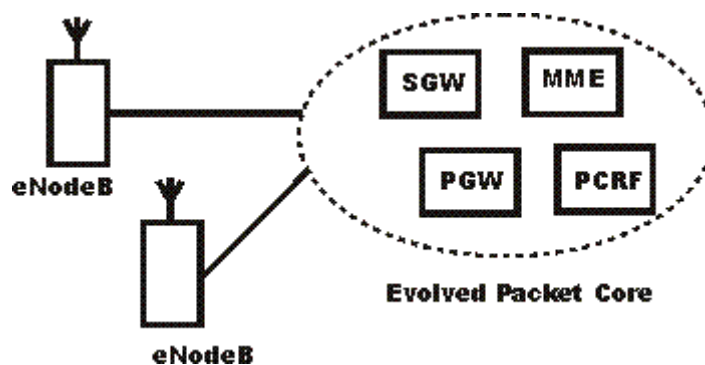
Σε αντίθεση με τον προκάτοχό του, το EPC [42] υποστηρίζει πολλαπλές τεχνολογίες πρόσβασης και παρέχει κινητικότητα μεταξύ τους, έτσι ώστε οι τελικοί χρήστες να είναι σε θέση να μετακινηθούν, για παράδειγμα μεταξύ LTE, WLAN και άλλων 3GPP και μη-3GPP τεχνολογιών πρόσβασης. Η αρχιτεκτονική, σε σύγκριση με εκείνη που χρησιμοποιείται για 2G/3G δίκτυα πυρήνα είναι σχεδιασμένη για αποτελεσματική διαχείριση ωφέλιμου φορτίου. Εκτός από τις παροχές αυτές, το EPC παρέχει ενημερώσεις για όλα τα τμήματα του δικτύου πυρήνα πακέτων των 2G/3G δικτύων, όπως για παράδειγμα για την ασφάλεια, για τη συνδεσιμότητα διαχείρισης και ούτω καθεξής. Εν ολίγοις, το SAE έχει ετοιμάσει το δίκτυο πυρήνα για την επανάσταση των κινητών ευρυζωνικών επικοινωνιών, μέσω των προδιαγραφών του EPC.

Το Core Network (CN) (EPC καλείται στο SAE) είναι υπεύθυνο για τον συνολικό έλεγχο του UE (User Equipment) μέσω των κομιστών (bearers). Οι κύριοι κόμβοι του EPC είναι οι εξής:

- Η PDN πύλη (P-GW)[19] ,(PDN Gateway)
- Η Πύλη Εξυπηρέτησης Serving Gateway (S-GW)[42], (Serving Gateway)
- Η Οντότητα Διαχείρισης Κινητικότητας, MME (Mobility Management Entity)[42]

Εκτός από αυτούς τους κόμβους, το EPC περιλαμβάνει επίσης και άλλους κόμβους και λειτουργίες, όπως ο Διακομιστής Τοπικού Συνδρομητή, HSS[42] (Home Subscriber Server) και η Λειτουργία Πολιτικής Ελέγχου και Κανόνων Χρέωσης, PCRF[42] (Policy Control and Charging Rules Function). Δεδομένου ότι το EPS παρέχει μόνο ένα μονοπάτι κομιστή (bearer path) ενός συγκεκριμένου QoS, ο έλεγχος των εφαρμογών πολυμέσων, όπως το VoIP, παρέχονται από το IMS (IP Multimedia Subsystem), το οποίο είναι θεωρείται ότι βρίσκεται εκτός του EPS.

Οι κόμβοι του Core Network όπως φαίνονται και στο ακόλουθο σχήμα είναι οι εξής:



Εικόνα 3-4: Κόμβοι του Core Network [46]

- Ο PCRF. Είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της πολιτικής κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς και για τον έλεγχο των λειτουργιών χρέωσης στη Λειτουργία Επιβολής της Πολιτικής Ελέγχου, PCEF (Policy Control Enforcement Function) η οποία βρίσκεται στη P-GW. Ο PCRF παρέχει την άδεια για QoS (Quality of Service) που αποφασίζει για το πώς μια συγκεκριμένη ροή δεδομένων θα αντιμετωπιστεί στο PCEF και εξασφαλίζει ότι αυτή είναι σύμφωνη με την συνδρομή του προφίλ του χρήστη.

- Η PDN πύλη, PGW: Η LTE SAE πύλη PDN παρέχει συνδεσιμότητα για τον U.E. σε εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων, πληρώνοντας τη λειτουργία της εισόδου και της εξόδου για δεδομένα του UE . Ο UE μπορεί να έχει σύνδεση με περισσότερα από ένα PGW για την πρόσβαση σε πολλαπλές PDNs.
- Η πύλη εξυπηρέτησης SGW: Η πύλη εξυπηρέτησης, είναι ένα στοιχείο δεδομένων μέσα στο SAE LTE. Ο κύριος σκοπός του είναι η διαχείριση της κινητικότητας στο επίπεδο χρήστη και λειτουργεί επίσης ως κύριο σύνορο μεταξύ του RAN και του δικτύου πυρήνα. Η SGW διατηρεί επίσης τις διαδρομές μεταξύ των δεδομένων πακέτων μεταξύ των eNodeBs[42] και των πυλών PDN. Με τον τρόπο αυτό η SGW δημιουργεί μια διεπαφή για το δίκτυο των πακέτων δεδομένων στο E-UTRAN. Επίσης, όταν οι UEs μετακινούνται σε περιοχές που εξυπηρετούνται από διαφορετικούς eNodeBs, η SGW χρησιμεύει ως σημείο αναφοράς εξασφαλίζοντας ότι η διαδρομή των δεδομένων θα διατηρηθεί.
- Ο MME. Ο MME είναι ο κόμβος ελέγχου που επεξεργάζεται τη σηματοδότηση μεταξύ του UE και του CN. Τα πρωτόκολλα που τρέχουν μεταξύ του UE και του CN είναι γνωστά ως Πρωτόκολλα Διαστρωμάτωσης μη-Πρόσβασης, NAS[43] (Non-Access Stratum). Οι κύριες λειτουργίες που υποστηρίζονται από τον MME ταξινομούνται ως εξής:

α) Λειτουργίες που σχετίζονται με τη διαχείριση κομιστή(bearer). Αυτές περιλαμβάνουν τη δημιουργία, τη διατήρηση και την απελευθέρωση των κομιστών, και ελέγχονται από το στρώμα διαχείρισης συνόδου στο πρωτόκολλο NAS.

β) Λειτουργίες που σχετίζονται με τη διαχείριση της σύνδεσης Αυτές περιλαμβάνουν τη δημιουργία της σύνδεσης και την παροχή ασφάλειας μεταξύ του δικτύου και του UE, και ελέγχονται από το στρώμα διαχείρισης σύνδεσης ή κινητικότητας του NAS πρωτόκολλου.

3.8 Εξελιγμένο Σύστημα Πακέτων (EPS)

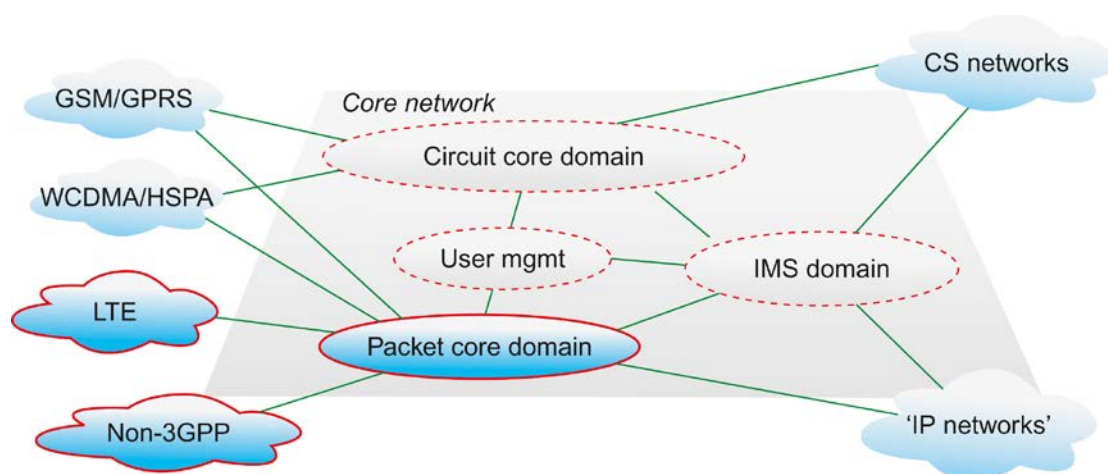
3.8.1 Παρουσίαση Αρχιτεκτονικής του(EPS)

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει την Αρχιτεκτονική EPS[44], αρχικά παρουσιάζοντας μια υψηλού επιπέδου προοπτική του πλήρους συστήματος, όπως ορίζεται κατά την εργασία του SAE.

Υπάρχουν διάφορα τμήματα στο EPS, το καθένα απ' τα οποία αποτελεί μια ομάδα από λογικούς κόμβους που αλληλεπιδρούν έτσι ώστε να παράσχουν ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών στο δίκτυο.

Ένα δίκτυο στο οποίο εφαρμόζονται οι προδιαγραφές του 3GPP παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-5.

Στα αριστερά του διαγράμματος υπάρχουν τέσσερα σύννεφα που αντιπροσωπεύουν τους διαφορετικούς τομείς του RAN που μπορούν να συνδεθούν με το EPC, συμπεριλαμβανομένων των δεύτερης και τρίτης γενεάς κινητών δικτύων πρόσβασης, όπως ορίζονται από το 3GPP, ευρύτερα γνωστά ως GSM και WCDMA αντίστοιχα. Το LTE είναι φυσικά η πιο πρόσφατη τεχνολογία κινητής ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης όπως ορίζεται από το 3GPP. Τέλος, υπάρχει το πεδίο που ονομάζεται «μη 3GPP δίκτυα πρόσβασης». Αυτό υποδηλώνει οποιαδήποτε δίκτυο πρόσβασης πακέτων δεδομένων το οποίο δεν καθορίζεται από τις 3GPP διαδικασίες τυποποίησης οι προδιαγραφές του οποίου καθορίζονται από άλλα φόρουμ τυποποίησης, όπως το 3GPP2, το IEEE ή το Broadband Forum.



Εικόνα 3-5: Τμήματα Αρχιτεκτονικής 3GPP[26]

Το δίκτυο πυρήνα χωρίζεται σε πολλούς τομείς (Circuit Core, Packet Core και IMS), όπως φαίνεται παραπάνω. Όπως είναι επίσης εμφανές, αυτοί οι τομείς συνδέονται μεταξύ τους με έναν αριθμό σαφώς καθορισμένων διεπαφών. Η διαχείριση χρηστών τομέα παρέχει συντονισμένη ενημέρωση των συνδρομητών και υποστηρίζει τη περιαγωγή και τη κινητικότητα μεταξύ και εντός των διαφόρων τομέων.

Ο τομέας Circuit Core αποτελείται από κόμβους και λειτουργίες που παρέχουν υποστήριξη για το κύκλωμα μεταγωγής υπηρεσιών μέσω GSM και WCDMA.

Αντίστοιχα, ο τομέας πυρήνα πακέτου, PC (Packet Core) αποτελείται από κόμβους και λειτουργίες που παρέχουν υποστήριξη για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (κυρίως IP συνδεσιμότητα) πάνω από το GSM, το WCDMA και το HSPA. Επιπλέον, ο τομέας PC παρέχει υποστήριξη για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων μέσω LTE και μη 3GPP δικτύων πρόσβασης τα οποία σε γενικές γραμμές δεν έχουν καμία σχέση με τον Circuit Core. Τέλος παρέχει λειτουργίες για τη διαχείριση και την εκτέλεση των υπηρεσιών.

Ο τομέας IMS αποτελείται από κόμβους και λειτουργίες που παρέχουν υποστήριξη για συνεδρίες πολυμέσων οι οποίες βασίζονται στο Πρωτόκολλο Εκκίνησης Συνεδρίας ,SIP[45] (Session Initiation Protocol) και χρησιμοποιεί την IP συνδεσιμότητα που παρέχεται από τις λειτουργίες στο τομέα Packet Core.

Στη μέση όλων αυτών, υπάρχει επίσης ένας τομέας διαχείρισης των χρηστών (user management), όπου βρίσκεται ο χειρισμός των δεδομένων που σχετίζονται με τους συνδρομητές οι οποίοι χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες άλλων τομέων. Επισήμως, στις 3GPP προδιαγραφές, δεν αποτελεί έναν ξεχωριστό τομέα. Αντί αυτού, υπάρχουν λειτουργίες διαχείρισης των χρηστών στους τομείς Circuit Core, Packet Core και IMS που αλληλεπιδρούν με τις βάσεις δεδομένων συνδρομητή που ορίζονται από το 3GPP.

4. Διαχείριση Δικτύου

4.1 Εισαγωγή

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ο τομέας των δικτύων παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη. Καθώς οι εταιρείες αντιλήφθηκαν τα οφέλη και τα κέρδη που δημιουργούνται από τις δικτυακές τεχνολογίες, άρχισαν να προσθέτουν νέα δίκτυα και να επεκτείνουν τα ήδη υπάρχοντα με ταχύτατους ρυθμούς. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την επέκταση του δικτύου επηρεάζουν τόσο την διαχείριση της καθημερινής λειτουργίας του όσο και τον στρατηγικό σχεδιασμό για τη μελλοντική ανάπτυξή του.

Οι ανάγκες σε προσωπικό μόνο και μόνο για τη διαχείριση, τη συντήρηση και τον έλεγχο μεγάλων, ετερογενών δικτύων (που μπορεί να έχουν έκταση ενός μεγάλου κτιριακού συγκροτήματος ή ενός Πανεπιστημίου) άρχισαν να γίνονται ιδιαίτερα μεγάλες. Επιπλέον είχε αυξηθεί σημαντικά η πιθανότητα να συμβεί κάποιο λάθος και έτσι ολόκληρο το δίκτυο ή ένα μέρος του να τεθεί εκτός λειτουργίας ή να μειωθεί η αξιοπιστία και η απόδοση του. Τέλος τα δίκτυα άρχισαν να μεταφέρουν ποικίλες υπηρεσίες που απαιτούσαν διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης και οι οποίες μπορεί να εμπλέκουν διαφορετικούς οργανισμούς διαχείρισης [47]. Οι παράγοντες αυτοί αύξησαν το κόστος της διαχείρισής του, καθιστώντας το, το πρωταρχικό μέλημα πολλών εταιρειών, παρόχων, προμηθευτών εξοπλισμού και οργανισμών τυποποίησης.

Μια αυξανόμενη ανάγκη προέκυψε λοιπόν για την αυτοματοποιημένη διαχείρισή τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα τεχνολογιών και υπηρεσιών. Έτσι αναπτύχθηκαν τα ανάλογα πρωτόκολλα και βάσεις διαχείρισης πληροφοριών καθώς και το αντίστοιχο λογισμικό για να είναι εφικτή η διαχείριση των δικτύων. Με τον όρο «Διαχείριση Δικτύου» εννοούμε τη διαδικασία του αυτόματου (ή όσο το δυνατόν αυτοματοποιημένου) ελέγχου ενός οποιουδήποτε δικτύου υπολογιστών ώστε το κόστος συντήρησης του να είναι κατά το δυνατόν μικρότερο και η απόδοση του η καλύτερη δυνατή. Γενικά, οι βασικοί σκοποί της διαχείρισης του δικτύου είναι οι εξής:

- Η διατήρηση της ικανοποιητικής και αξιόπιστης λειτουργίας ακόμη και κάτω από συνθήκες υπερφόρτωσης ή βλάβης, καθώς επίσης και κάτω από αλλαγές της διαμόρφωσης του δικτύου (εισαγωγή νέων συσκευών ή υπηρεσιών) καθώς και

- Η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, η οποία σχετίζεται με την ποιότητα και την ποσότητα των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες.

Οι περισσότερες αρχιτεκτονικές διαχείρισης δικτύων χρησιμοποιούν την ίδια βασική δομή η οποία αποτελείται από το Σύστημα Διαχείρισης των Δικτύων (Network Management System, NMS) ή το Σύστημα Λειτουργίας (Operation Systems , OS) και τα Στοιχεία εκείνα των Δικτύων (Network Elements , NE) τα οποία θέλουμε να διαχειριστούμε. Πολύ γνωστά πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύου περιλαμβάνουν το Απλό Πρωτόκολλο Διαχείρισης Δικτύου, SNMP (Simple Network Management Protocol)[48] το Πρωτόκολλο RMON (Remote Monitoring)[49] και το Κοινό Πρωτόκολλο Πληροφοριών Διαχείρισης, CMIP (Common Management Information Protocol)[50]. Η διαχείριση του δικτύου περιλαμβάνει τις λειτουργίες της Εφαρμογής (Operations), της Διοίκησης (Administration), της Συντήρησης (Maintenance) και της Τροφοδοσίας (Provisioning) γνωστές και ως (OAM & P) λειτουργίες οι οποίες απαιτούνται για την παροχή, τη παρακολούθηση, την ερμηνεία, και τον έλεγχο του δικτύου και των υπηρεσιών που παρέχει. Το πρότυπο OSI χωρίζει τη διαχείριση του δικτύου σε πέντε κύριες κατηγορίες: τη διαχείριση των σφαλμάτων, τη διαχείριση της διαμόρφωσης , τη διαχείριση της ασφάλειας, τη διαχείριση των επιδόσεων, και τη λογιστική διαχείριση.

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα και το μέγεθος των δικτύων έκανε επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης κατάλληλων εργαλείων (π.χ. πράκτορες, γλώσσες πολιτικής, ενεργά δίκτυα) για την απαλλαγή της διαχείρισης του δικτύου από τον ανθρώπινο παράγοντα. Πολλές έρευνες έχουν γίνει κατά καιρούς για την εύρεση τρόπων αυτό-διοίκησής τους όπως για παράδειγμα τα Γνωστικά Δίκτυα, τα Αυτόματα Συστήματα Διαχείρισης Δικτύων, (ANMSs) και πιο πρόσφατα λόγω της ανάπτυξης της LTE τα αυτό-οργανώμενα δίκτυα (SONs). Ωστόσο αν και θεωρητικά η αυτονομία αποτελεί μονόδρομο για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας των δικτύων οι έρευνες πάνω στο αντικείμενο είναι ακόμα σε «νηπιακό» στάδιο και πολλές προκλήσεις μένουν να αντιμετωπιστούν.

4.2 Εξελίξεις στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών και διαχείριση δικτύου

Στο δυναμικό περιβάλλον των τηλεπικοινωνιών σήμερα, αλλαγές συμβαίνουν σε πολλά μέτωπα. Οι υπηρεσίες και τεχνολογίες δικτύων προχωρούν γρήγορα, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών εντείνεται, και οι απαιτήσεις των πελατών για πρόσβαση στο δίκτυο και εξατομίκευση των υπηρεσιών αυξάνονται. Οι εξελίξεις στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών οι οποίες κατέστησαν απαραίτητη την εξέλιξη των υπαρχόντων αρχιτεκτονικών διαχείρισης δικτύων[51] είναι οι ακόλουθες:

- **Η εξέλιξη των Υπηρεσιών** : Οι τελικοί χρήστες του δικτύου απαιτούν ολοένα και πιο «σύνθετες» υπηρεσίες με ιδιαίτερες απαιτήσεις για υψηλό εύρος ζώνης και μεγάλες ταχύτητες υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων των επικοινωνιών φωνής, fax και Διαδικτύου, οποτεδήποτε και οπουδήποτε με αδιάλειπτη περιαγωγή σε παγκόσμια κλίμακα. Χαρακτηριστικό των νέων αυτών υπηρεσιών είναι η ολοένα ταχύτερη ανάπτυξή τους.
- **Η εξέλιξη της τεχνολογίας**: η τεχνολογία δικτύου αποτελεί αντικείμενο ριζικής αναδιάρθρωσης με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Για την κάλυψη των νέων αναγκών απαραίτητη ήταν η εξέλιξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, και των τεχνολογιών μεταγωγής πακέτου, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη μεταφορά όλων των «νέων» υπηρεσιών. Η εξέλιξη της δικτυακής τεχνολογίας εκμεταλλεύεται τις πρόσφατες εξελίξεις στη Τεχνολογία Κατανεμημένων Συστημάτων (Distributed Systems Technology-DST)[51], την τεχνολογία internet και τα συστήματα υπηρεσιών με γνώμονα τη βάση δεδομένων και τα Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης (Radio Access Networks-RANs).
- **Οι απαιτήσεις των πελατών**: Οι πελάτες πιέζουν για αυξανόμενο εύρος ζώνης-και παροχή εξελιγμένων υπηρεσιών. Επιπλέον οι υπηρεσίες δεδομένων παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια οι οποίες σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και την εξάπλωση των «έξυπνων συσκευών» νέας γενιάς βάζουν σε δεύτερη πολλές φορές μοίρα τις υπηρεσίες φωνής.
- **Η ανταγωνιστικότητα**: Ο μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των φορέων παροχής υπηρεσιών είναι συνεχώς αυξανόμενος και οδηγεί στη κλιμάκωση των πιέσεων. Οι μεν πιέσεις των πελατών αναγκάζουν πολλούς παρόχους να

βρουν τρόπους για μείωση του κόστους και παροχή καλύτερων υπηρεσιών ενώ η ανάγκη για αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση των πόρων οδηγεί στον εξορθολογισμό της εφαρμογής των νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών έτσι ώστε να δημιουργηθούν νέες ευκαιρίες παραγωγής εσόδων.

4.3 Προκλήσεις διαχείρισης λόγω της εξέλιξης των τηλεπικοινωνιών

Τα σημερινά δίκτυα χαρακτηρίζονται από τη σύγκλιση συγκεκριμένων υπηρεσιών σε συγκεκριμένους πόρους δικτύου η οποία εμφανίζεται ως μια επικάλυψη πολλών διαφορετικών στρωμάτων-δομών (overlays). Αυτή η αλληλοεπικάλυψη των διαφόρων δομών σχετίζεται με τα επιχειρησιακά χαρακτηριστικά παλαιότερων τεχνολογιών.

Επιπλέον, τα συγκεκριμένα στοιχεία προμηθευτών έχουν τα δικά τους διαφορετικά χαρακτηριστικά OAM & P και η διαχείριση του δικτύου δημιουργεί πολλούς διοικητικούς τομείς με χαμηλή διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Το σύνολο όλων αυτών των ανεξάρτητων χαρακτηριστικών έχει συμβάλει σε ένα δικτυακό περιβάλλον διαχείρισης που είναι ανεπαρκές, σύνθετο και δαπανηρό για διαχείριση.

Οι παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης του δικτύου ασχολούνται με ένα ευρύ φάσμα διαδικασιών όπως για παράδειγμα, τον εντοπισμό σφαλμάτων, την παρακολούθηση της απόδοσης, την ασφάλεια, τη λογιστική, και άλλες λειτουργίες διαχείρισης οι οποίες βασίζονται σε μια "master-slave" σχέση μεταξύ της διαχείρισης και των λειτουργιών των συστημάτων. Αυτή η σχέση master-slave δημιουργεί λειτουργικές ανεπάρκειες με μια σειρά από τρόπους. Για παράδειγμα, υπάρχει ελάχιστη κοινή χρήση των λογικών πόρων, όπως π.χ. τα δεδομένα (data), επειδή τα στοιχεία του δικτύου και τα λειτουργικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί ανεξάρτητα.

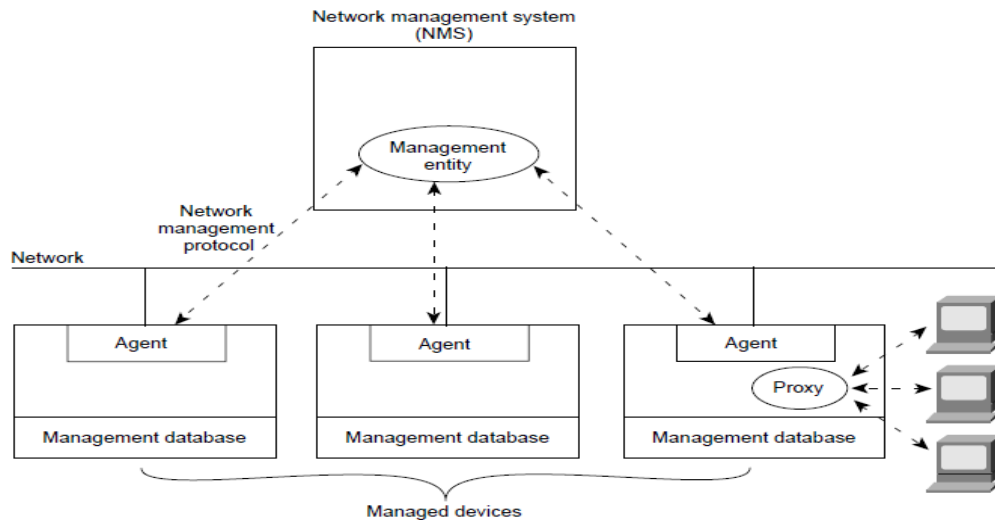
Επιπλέον, ο εξοπλισμός του κάθε προμηθευτή έχει μοναδική διαμόρφωση (configuration) καθώς και συγκεκριμένες απαιτήσεις επιδόσεων. Κατά συνέπεια τα Συστήματα Διαχείρισης Δικτύων, NMS (Network Management Systems) πρέπει να χαρακτηρίζουν κάθε στοιχείο του δικτύου και τις διασυνδέσεις του προμηθευτή σε ατομική βάση, προσθέτοντας σημαντικό χρόνο και πολυπλοκότητα όσον αφορά την εισαγωγή νέων υπηρεσιών ή τεχνολογιών. Για παράδειγμα, τα NMSs ήταν γενικά κατασκευασμένα έτσι ώστε να βελτιστοποιούν την απόδοση των ομάδων εργασίας σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και για μια συγκεκριμένη έκδοση της τεχνολογίας: Αυτό το είδος της εξέλιξης θεωρήθηκε ως ανεξάρτητη διαδικασία δεν

δημιουργήθηκε κανένα είδος τυποποίησης από κανένα οργανισμό και λίγη προσοχή δόθηκε στη διασυνεργασία του συστήματος. Πολλά αντίγραφα από δεδομένα, ενσωματώθηκαν σε όλο το δίκτυο, δημιουργώντας ένα σημαντικό πρόβλημα συγχρονισμού δεδομένων. Ως αποτέλεσμα, γίνεται όλο και πιο δύσκολο για τον πάροχο υπηρεσιών, ως σύνολο, να εξελίξει τις υπηρεσίες, τις τεχνολογίες δικτύων, καθώς και τις διαδικασίες διαχείρισης του δικτύου με ένα οικονομικά αποδοτικό και ανταγωνιστικό τρόπο σε απάντηση των γρήγορων αλλαγών που συντελούνται στο χώρο των τηλεπικοινωνιών.

4.4 Αρχιτεκτονική Διαχείρισης Δικτύου

Η αρχιτεκτονική που προτείνεται και χρησιμοποιείται σήμερα για την διαχείριση τηλεπικοινωνιακών δικτύων και δικτύων υπολογιστών αποτελείται από το Σύστημα Διαχείρισης των Δικτύων, NMS (Network Management System,) από το Σύστημα Διαχείρισης Στοιχείου, EMS (Element Management System) και τα στοιχεία εκείνα των δικτύων (Network Elements ,NE) τα οποία θέλουμε να διαχειριστούμε .Τέτοια NEs σ' ένα δίκτυο είναι κυρίως μηχανήματα αποθήκευσης ή επεξεργασίας πληροφοριών , όπως hosts (workstation,terminal servers κ.α.),καθώς και μηχανήματα διασύνδεσης δικτύων ,όπως routers ,bridges ,repeaters κ.α. στα οποία τρέχουν διαδικασίες διαχείρισης που ονομάζονται (agents) και είναι υπεύθυνες για την εκτέλεση των συναρτήσεων που καλούν τα συστήματα διαχείρισης. Για την μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ των διαχειριστικών συστημάτων και των διαχειριζόμενων στοιχείων χρησιμοποιούνται κατάλληλα πρωτόκολλα μεταφοράς της πληροφορίας που αφορούν την διαχείριση. Τα πρωτόκολλα αυτά καθορίζουν με σαφήνεια τον τρόπο επικοινωνίας, τη μορφή και την σημασία των μηνυμάτων που θα ανταλλαχθούν, όπως επίσης και τον τρόπο ορισμού και περιγραφής των στοιχείων που θέλουμε να διαχειριστούμε . Από τα γνωστότερα πρωτόκολλα είναι το SNMP (Simple Network Management Protocol), το οποίο συμπληρώνεται με τις προδιαγραφές για την δομή της πληροφορίας που αφορά τη διαχείριση (Structure of Management Information, SMI) και τη βάση διαχείρισης πληροφορίας (Management Information Base ,MIB) καθώς και τα RMON (Remote Monitoring) και CMIP (Common Management Information Protocol).

Στην εικόνα 4-1 ακολουθεί ένα τυπικό παράδειγμα της αρχιτεκτονικής διαχείρισης των δικτύων.



Εικόνα 4-1:Αρχιτεκτονική Διαχείρισης του Δικτύου[3]

4.5 Σύστημα Διαχείρισης Δικτύων και Σύστημα Διαχείρισης Στοιχείου

Στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, οι όροι EMS Element Management System και NMS Network Management System χρησιμοποιούνται πολύ συχνά με τρόπο συγκεχυμένο. Αλλά, αυτές οι δύο ορολογίες διαφέρουν στο πραγματικό νόημά τους όπως φαίνεται και από τα παρακάτω χαρακτηριστικά τους:

4.5.1 Element Management System (EMS)

- Ένα EMS διαχειρίζεται ένα ή περισσότερα ίδιου τύπου στοιχεία του δικτύου, NE (Network Elements).
- Χρησιμοποιώντας ένα EMS ένας χρήστης μπορεί να διαχειριστεί όλα τα χαρακτηριστικά του κάθε NE ξεχωριστά, αλλά όχι την επικοινωνία μεταξύ των NEs. Η επικοινωνία μεταξύ των NEs είναι διαχειρίσιμη από το σύστημα διαχείρισης δικτύου, NMS (Network Management System).
- Μία ή περισσότερες διεπαφές διαχείρισης εκτίθενται από τα NEs τα οποία το EMS χρησιμοποιεί για να επικοινωνήσει μαζί τους καθώς και για τη διαχείρισή τους. Αυτές οι διεπαφές διαχείρισης χρησιμοποιούν μια ποικιλία από πρωτόκολλα όπως τα SNMP, XML[52], και CORBA[53].

4.5.2 Network Management System (NMS)

- Το NMS είναι ένας συνδυασμός hardware και λογισμικού που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και τη διαχείριση ενός δικτύου ή πολλαπλά δίκτυα.
- Η διαχείριση του δικτύου αναφέρεται στη διατήρηση και διαχείριση των δικτύων υπολογιστών μεγάλης κλίμακας στο ανώτατο επίπεδο. Η διαχείριση δικτύου είναι η εκτέλεση του συνόλου των λειτουργιών που απαιτούνται για τον έλεγχο, τον προγραμματισμό, την κατανομή, την ανάπτυξη, το συντονισμό και την παρακολούθηση των πόρων του δικτύου. Συμπεριλαμβάνουν ακόμα την εκτέλεση λειτουργιών όπως η διαχείριση ασφαλιμάτων, η διαχείριση της διαμόρφωσης, η λογιστική διαχείριση, η διαχείριση της απόδοσης, η διαχείριση της ασφάλειας και η διαχείριση του εύρους ζώνης.
- Ένας μεγάλος αριθμός πρωτοκόλλων υπάρχουν για τη στήριξη του δικτύου και τη διαχείριση των δικτυακών συσκευών. Κοινά πρωτόκολλα είναι τα SNMP, TL1 και JMX [54] κλπ.

Το EMS μπορεί να βρίσκεται σε ένα μέρος του δικτύου και να διαχειρίζεται τον κόμβο ή τους κόμβους σε ένα άλλο μέρος του ίδιου δικτύου (ή ενός διαφορετικού δικτύου) ή μπορεί να βρίσκεται μέσα στη διαχειριζόμενη συσκευή και να επεκτείνει την διεπαφή διαχείρισης προς τον έξω κόσμο.

Το NMS μπορεί να βρίσκεται εντός ή εκτός του δικτύου (αλλά πρέπει να μπορεί να είναι σε επαφή με αυτό) παρακολουθώντας όλους τους κόμβους του δικτύου ή τους περισσότερους από αυτούς καθώς και τις συνδέσεις μεταξύ τους.

Έτσι, η κύρια διαφορά μεταξύ του EMS και του NMS είναι η ικανότητα του NMS να κατανοεί την αλληλεξάρτηση μεταξύ των συσκευών του δικτύου. Ένα EMS δεν κατανοεί τις συνδέσεις επικοινωνίας ή τις σχέσεις μεταξύ των συσκευών. Ξέρει μόνο τις περιπλοκές της μία μόνο συσκευής, αν και μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλές συσκευές παρόμοιου τύπου, αντιμετωπίζει όλους τους κόμβους σε αυτή την ομάδα ως ανεξάρτητες συσκευές μην μπορώντας να αναγνωρίσει τον τρόπο που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ή το τι σημαίνουν ο ένας για τον άλλο.

Μια άλλη λειτουργία του NMS που το διαφοροποιεί από τα EMS είναι η ικανότητά του να παρακολουθεί τις δια-συνδέσεις μεταξύ των συσκευών, ή τους συνδετικούς κρίκους σε ολόκληρο το δίκτυο ή τη δυνατότητα να αναφέρει τα λάθη

που συμβαίνουν σε διάφορους κόμβους του δικτύου και επίσης να προβλέπει πώς αυτά τα σφάλματα διαταράσσουν τους δεσμούς επικοινωνίας στο δίκτυο προκαλώντας τη μη λειτουργία ή τη δυσλειτουργία του συνόλου του δικτύου.

4.6 Γενικό Μοντέλο και οντότητες Διαχείρισης/ Standards

Ειδικότερα ένα σύστημα διαχείρισης αποτελείται από:

- Το διαχειριστή (manager) που είναι ένα πρόγραμμα (λογισμικό) που εκτελείται σε κάποιο μηχάνημα του δικτύου και το οποίο χρησιμοποιεί ο υπεύθυνος διαχειριστής του δικτύου (network administrator) για να στείλει εντολές διαχείρισης. Οι εντολές διαχείρισης μπορούν για παράδειγμα να αλλάζουν ρυθμίσεις σε μια δικτυακή συσκευή ή ακόμα και να ελέγχουν την κατάσταση λειτουργίας ενός τμήματος του δικτύου από μακριά.
- Τα διαχειριζόμενα στοιχεία δικτύου (Network Elements - NE) τα οποία είναι δικτυακές συσκευές που συναντάμε σε ένα τοπικό δίκτυο όπως γέφυρες, δρομολογητές, modems, επαναλήπτες κλπ. Πολλές από αυτές τις συσκευές έχουν δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης. Για παράδειγμα ένας δρομολογητής μπορεί να μας επιτρέψει να αλλάζουμε τις ρυθμίσεις του (π.χ. πίνακας δρομολόγησης) από κάποιο μηχάνημα του δικτύου χρησιμοποιώντας ιστοσελίδες.
- Τους αντιπροσώπους (Agents) που είναι επίσης προγράμματα (λογισμικό) τα οποία βρίσκονται εγκατεστημένα σε κάθε διαχειριζόμενο στοιχείο δικτύου με σκοπό να καταστήσουν δυνατή την επικοινωνία του με τον διαχειριστή.
- Την βάση πληροφοριών διαχείρισης (Management Information Base - MIB) η οποία είναι μια βάση δεδομένων που μοιράζονται μεταξύ τους οι διαχειριστές και αντιπρόσωποι και η οποία περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα διαχειριζόμενα στοιχεία δικτύου (NE). Η βάση πληροφοριών διαχείρισης περιέχει επίσης πληροφορίες που καθορίζουν και την δομή του περιεχομένου της διαχειριζόμενης πληροφορίας.
- Τα Πρωτόκολλα Διαχείρισης Δικτύου (Network Management Protocols - NMP) με την βοήθεια των οποίων γίνεται η διαχείριση των NE καθώς και η επικοινωνία μεταξύ του διαχειριστή και των agents. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ευρύτατα για τη διαχείριση σε TCP/IP δίκτυα είναι το SNMP. Για δίκτυα τα οποία βασίζονται στο μοντέλο OSI έχει αναπτυχθεί το

Πρωτόκολλο Διαχείρισης Πληροφορίας (CMIP). Πιο εξελιγμένες εκδόσεις του SNMP αποτελούν η SNMPv2 και η SNMPv3.

4.7 Διαχείριση με Πληρεξούσιους Αντιπροσώπους (Proxy Agents)

Ωστόσο εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι δεν μπορούμε να εκτελέσουμε προγράμματα agents σε όλες τις δικτυακές συσκευές. Εφ' όσον ο αντιπρόσωπος είναι ένα πρόγραμμα για να εκτελεστεί χρειάζεται η αντίστοιχη συσκευή που απευθύνεται να έχει δυνατότητες επεξεργασίας (επεξεργαστή, μνήμη...). Υπάρχουν δικτυακές συσκευές που έχουν τέτοιες δυνατότητες και άρα μπορούν να εκτελέσουν πρόγραμμα agent. Για παράδειγμα όπως έχουμε εξηγήσει, οι δρομολογητές είναι στην πραγματικότητα υπολογιστές, άρα έχουν δυνατότητα εκτέλεσης προγραμμάτων διαχείρισης. Υπάρχουν όμως συσκευές όπως τα hubs, οι γέφυρες και τα modems που δεν έχουν ικανότητα επεξεργασίας και άρα δεν μπορούν να εκτελέσουν πρόγραμμα agent. Για να διαχειριστούμε στοιχεία δικτύου στα οποία δεν μπορούμε να εκτελέσουμε agents, χρησιμοποιούμε τους λεγόμενους πληρεξούσιους αντιπροσώπους (proxy agents). Ένας πληρεξούσιος αντιπρόσωπος δέχεται τις εντολές από ένα διαχειριστή χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο διαχείρισης που είναι κατανοητό από αυτόν, αναλαμβάνει όμως να επικοινωνήσει με τη διαχειριζόμενη συσκευή και να εκτελέσει τις κατάλληλες εντολές διαχείρισης χρησιμοποιώντας το απλούστερο ενδεχομένως πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί η συσκευή αυτή.

4.8 Πρωτόκολλα Διαχείρισης ανά οργανισμό

Στη συνέχεια παρατίθενται τα σημαντικότερα πρωτόκολλα Διαχείρισης Δικτύων ανά οργανισμό τυποποίησης:

- OSI: CMIP και CMIS.
- IAB: SNMP, SNMPv2, RMON
- IEEE: CMOL
- Το SNMP επικράτησε κυρίως λόγω της απλότητας στην υλοποίηση και την διαχείριση.
 - 1988: SNMPv1.
 - 1993: SNMPv2 (updated to 1996).
 - 1998: SNMPv3

4.9 Γενικά Χαρακτηριστικά ενός Συστήματος Διαχείρισης Δικτύων

Λαμβάνοντας υπόψη τις λειτουργίες που ένα διαχειριστικό σύστημα απαιτείται να υποστηρίζει, τα κυριότερα γενικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος διαχείρισης δικτύου είναι τα ακόλουθα:

- Η γρήγορη ανάπτυξη νέων υπηρεσιών τόσο στο δίκτυο όσο και στο περιβάλλον του συστήματος διαχείρισης δικτύου και η προώθηση της όσο το δυνατόν ταχύτερης ενεργοποίησης της υπηρεσίας.
- Η αποτελεσματική διαχείριση και διανομή των δεδομένων σε όλο το δίκτυο. Η διαχείριση των δεδομένων αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο κόστους για τους παρόχους λόγω του όγκου, του πλεονασμού, και της δυσκολίας στη διασφάλιση της ακρίβειας κατά τη συνολική λειτουργία ενός δικτύου. Ως εκ τούτου, μια εξελικτική αρχιτεκτονική θα πρέπει να επιτρέπει τη διανομή των δεδομένων σε όλα τα στρώματα του περιβάλλοντος διαχείρισης του δικτύου και να υποστηρίζει την επεξεργασία τους από «έξυπνα» στοιχεία του δικτύου.
- Η κατάργηση των Φυσικών Δικτύων Επικάλυψης (physical overlay networks) που απαιτείται σήμερα για την εφαρμογή της υπηρεσίας και των συναφών συστημάτων διαχείρισης. Με δεδομένη την πολυπλοκότητα και την ταχεία ανάπτυξη των υπηρεσιών, ένα πιο ευέλικτο περιβάλλον εργασιών πρέπει να εγκατασταθεί. Ένα καταναμημένο περιβάλλον λειτουργιών το οποίο θα χρησιμοποιεί σωστά τις δυνατότητες όλων των στοιχείων, θα αφαιρεί την υπάρχουσα κυκλοφοριακή συμφόρηση κατά τη δια-λειτουργικότητα που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των δικτύων επικάλυψης.
- Η μείωση του κόστους εργασιών,
- Η ενίσχυση της ευελιξίας του OAM & P τομέα
- Το σύστημα πρέπει να παρέχει ένα γραφικό σύστημα παρουσίασης της τοπολογίας του δικτύου. Είναι προτιμότερο η παρουσίαση να γίνεται με ιεραρχικό τρόπο και να υπάρχουν λογικές συνδέσεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων της ιεραρχίας. Για παράδειγμα, σε ένα επίπεδο παρουσιάζονται μόνο τα LANs και οι συνδέσεις μεταξύ τους, ενώ σε

κατώτερο επίπεδο παρουσιάζονται τα τμήματα (segments) του κάθε LAN, στο επόμενο επίπεδο οι κόμβοι των segments κ.ο.κ.

- Το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τις συνδέσεις μεταξύ των επιπέδων και το πως αυτές συσχετίζονται με την απόδοση και την λειτουργία ολόκληρου του δικτύου. Η ενοποιημένη εικόνα του διαχειριζόμενου δικτύου διατηρείται από το σύστημα, ενώ ο χρήστης μπορεί να επικεντρώνει την προσοχή του σε ορισμένα επίπεδα της ιεραρχίας.
- Το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να συλλέγει όλες τις πληροφορίες από τους διαχειριζόμενους κόμβους, με όσο είναι δυνατόν μεγαλύτερη διαφάνεια και ιδανικά μέσω ενός μόνο πρωτοκόλλου διαχείρισης. Βέβαια, σε ετερογενή περιβάλλοντα το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί διαφορετικά πρωτόκολλα διαχείρισης και/ή proxy agents.
- Η επεκτασιμότητα (expandability) και η δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικές ανάγκες διαχείρισης (customization) είναι δύο ακόμη σημαντικά χαρακτηριστικά - απαιτήσεις. Δεν υπάρχει σύστημα που να καλύπτει τις ανάγκες διαχείρισης κάθε δυνατού δικτύου. Έτσι το σύστημα πρέπει να επιτρέπει την εύκολη προσθήκη νέων δυνατοτήτων και εργαλείων διαχείρισης ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής.
- Μια ακόμη βασική λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης είναι η δυνατότητα ανίχνευσης και αναφοράς λαθών και προβλημάτων στο δίκτυο. Καθώς το διαχειριζόμενο δίκτυο επεκτείνεται, μια τέτοια υπηρεσία γίνεται όλο και περισσότερο πολύτιμη έστω και αν η διαχείριση λαθών δεν υποστηρίζεται.
- Το σύστημα πρέπει να παρέχει ένα αποδοτικό τρόπο φύλαξης του όγκο πληροφοριών που χρειάζεται για την διαχείριση, ιδιαίτερα όταν τα διαχειριζόμενα δίκτυα είναι μεγάλα. Συχνά ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων, DBMS (Data Base Management System) είναι απαραίτητο καθώς εφαρμογές που configuration και accounting management είναι αδύνατον να λειτουργήσουν αποδοτικά χωρίς αυτό.

4.10 Πρωτόκολλα Διαχείρισης Δικτύων

Τα πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύου καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι διαχειριστές (managers) επικοινωνούν με τους πράκτορες (agents) για να γίνει η διαχείριση των διαχειριζόμενων στοιχείων δικτύου (Network Elements). Συγκεκριμένα, τα πρωτόκολλα αυτά καθορίζουν:

- Τον ακριβή τρόπο επικοινωνίας διαχειριστή – αντιπροσώπου.
- Τη μορφή και την σημασία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται.

Στο πρωτόκολλο TCP/IP χρησιμοποιούμε ένα συνδυασμό των παρακάτω για μια απλή και αποτελεσματική διαχείριση:

- Το πρωτόκολλο απλής διαχείρισης δικτύου SNMP (Simple Network Management Protocol).
- Την δομή πληροφοριών διαχείρισης (SMI, Structure of Management Information).
- Την βάση πληροφοριών διαχείρισης (MIB, Management Information Base).

Γενικά ωστόσο, σε δίκτυα που χρησιμοποιούν την αρχιτεκτονική OSI (π.χ. μεγάλα ετερογενή δίκτυα) χρησιμοποιούμε τα παρακάτω:

- Το πρωτόκολλο κοινής διαχείρισης πληροφοριών CMIP (Common Management Information Protocol).
- Την υπηρεσία κοινής διαχείρισης πληροφοριακών στοιχείων (CMISE, Common Management Information Service Element)[55].

4.10.1 Το πρωτόκολλο SNMP

Το Απλό Πρωτόκολλο Διαχείρισης Δικτύου (SNMP) είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των πόρων του δικτύου. Η τυποποίηση αυτή δίνει στους διαχειριστές του δικτύου τη δυνατότητα να παρακολουθούν την απόδοση του δικτύου.

Πριν από το SNMP τα λογισμικά διαχείρισης δικτύου έπρεπε να βρίσκονται εγκατεστημένα στις συσκευές του δικτύου, ώστε να έχουν πρόσβαση στις διαδικασίες διαμόρφωσης των δεδομένων και αντιμετώπισης των προβλημάτων. Το SNMP

σχεδιάστηκε για να διευκολύνει αυτή τη διαδικασία μειώνοντας την πολυπλοκότητα της διαχείρισης του δικτύου. Οι προδιαγραφές για αυτό το πρωτόκολλο μπορεί να βρεθούν στο Request For Comments 1157 (RFC 1157).[48]

Το SNMP αναπτύχθηκε για την αντιμετώπιση τη διαχείρισης των αναδυόμενων δικτύων TCP / IP. Το Internet Engineering Task Force (IETF) ασχολήθηκε με τη δημιουργία ενός προτύπου με το οποίο οι συσκευές LAN δικτύωσης όπως κόμβοι, γέφυρες και δρομολογητές θα μπορούσαν να παρακολουθούνται. Το SNMP επιτρέπει διαφορετικά προϊόντα του δικτύου να είναι διαχειρίσιμα από την ίδια εφαρμογή διαχείρισης θέτοντας ένα πρότυπο στο οποίο διαφορετικοί προμηθευτές εξοπλισμού δικτύου μπορούν να επικοινωνήσουν ο ένας με τον άλλο.

Υπάρχουν τρεις εκδόσεις του SNMP: η SNMP έκδοση 1 (SNMPv1), η SNMP έκδοση 2 (SNMPv2) και η SNMP έκδοση 3 (SNMPv3). Η SNMPv1 (RFC 1157)[48] ήταν εύκολα εφαρμόσιμη, αλλά είχε πολλά προβλήματα ασφάλειας. Η SNMPv2 (RFC 1902)[56] προσέφερε ενισχυμένη ασφάλεια και λειτουργικότητα, αλλά παρουσίαζε ακόμα κάποια σημαντικά προβλήματα στο τομέα της ασφάλειας και κρυπτογράφησης. Η έκδοση SNMPv3, η οποία σχεδιάστηκε για να είναι συμβατή με τις δύο πρώτες εκδόσεις, αντιμετωπίζει αυτά τα προβλήματα με τον έλεγχο της πρόσβασης, τον έλεγχο της ταυτότητας, και με το απόρρητο των πληροφοριών διαχείρισης. Η έκδοση SNMPv3 πρόσφατα κυκλοφόρησε και μπορούν να βρεθούν στο RFC σχέδια 2271-2275 και 3410-3415[57]

4.10.1.1 Δομικά Στοιχεία SNMP

Το SNMP αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: τη Δομή της Διαχείρισης Πληροφοριών SMI (Structure of Management Information), τη Βάση Διαχείρισης Πληροφοριών MIB (Management Information Base), και τους SNMP πράκτορες.

- **Η Δομή της Διαχείρισης Πληροφοριών (SMI)**

Η SMI καθορίζει τους τύπους δεδομένων που επιτρέπονται στη MIB. Συνήθως τα MIB αντικείμενα έχουν έξι χαρακτηριστικά. Ένα αντικείμενο μπορεί να έχει ένα όνομα, ένα αναγνωριστικό αντικειμένου, ένα πεδίο σύνταξης, ένα πεδίο πρόσβασης, ένα πεδίο το κατάστασης (status), και μια περιγραφή κειμένου. Ο τρόπος

με τον οποίο τα διαχειρίσιμα αντικείμενα περιέχονται στην MIB καθορίζεται στην RFC 1155[58]

- **Η Βάση Διαχείρισης Πληροφοριών , MIB**

Η MIB είναι μια συλλογή πληροφοριών του δικτύου. Αυτές οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων των διαχειριζόμενων αντικειμένων που μπορούν να προσπελαστούν με τη χρήση πρωτόκολλων διαχείρισης δικτύου όπως το SNMP. Τα διαχειριζόμενα αντικείμενα που περιέχονται στο MIB ορίζεται στο RFC 1156[59].

- **Οι SNMP πράκτορες**

Όλες οι συσκευές δικτύου που είναι διαχειρίσιμες από το SNMP πρέπει να εξοπλιστούν με έναν αντιπρόσωπο ο οποίος να εφαρμόζεται σε όλα τα σχετικά MIB αντικείμενα. Στο πρωτόκολλο SNMP που χρησιμοποιείται στο TCP/IP κάθε αντιπρόσωπος διαθέτει μια σειρά από μεταβλητές των οποίων οι τιμές μπορεί να αλλάζουν. Ο αντιπρόσωπος πρέπει να είναι σε θέση να παρουσιάσει αυτές τις τιμές σε κάποιο διαχειριστή που θα τις ζητήσει.

Οι μεταβλητές μπορεί να είναι απεικονίσεις διάφορων αντικειμένων (διευθύνσεις, μετρητές κ.α.) Καθεμία από αυτές τις απεικονίσεις μπορεί να μην δίνει πλήρη εικόνα της κατάστασης του αντικειμένου που αναφέρεται, αφού ένα πολύπλοκο αντικείμενο μπορεί να έχει περισσότερες από μια απεικονίσεις και κάθε μία να αναφέρεται σε μια διαφορετική ιδιότητα ή στοιχείο του. Σε κάθε περίπτωση, οι απεικονίσεις αυτές συγκεντρώνονται σύμφωνα με το SNMP και αποθηκεύονται σε ένα πίνακα. Το σύνολο τώρα όλων αυτών των μεταβλητών αποτελεί τελικά την βάση πληροφοριών διαχείρισης (MIB).

Ο κάθε πράκτορας κρατάει πληροφορίες που αναφέρονται μόνο σε ένα υποσύνολο της βάσης πληροφοριών διαχείρισης (MIB View, απεικόνιση της βάσης) και οι πληροφορίες αυτές είναι ανάλογες με τα πρωτόκολλα (IP, TCP, UDP) που χρησιμοποιούνται στο μηχανήμα που εκτελείται. Κάθε διαχειριστής διαθέτει διαφορετικό τρόπο πρόσβασης για κάθε απεικόνιση της MIB. Κάποιοι διαχειριστές έχουν δικαιώματα μόνο ανάγνωσης ενώ άλλοι έχουν δυνατότητα μεταβολής (εγγραφής) στη βάση. Προφανώς οι διαχειριστές που έχουν δυνατότητα εγγραφής

μπορούν με τον τρόπο αυτό να μεταβάλλουν τις ρυθμίσεις του δικτύου. Με το σύστημα αυτό των δικαιωμάτων, υλοποιείται ένα μοντέλο ασφαλείας.

4.10.2 Το πρωτόκολλο CMIP

Το CMIP είναι ένα πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου βασισμένο στο OSI μοντέλο, το οποίο υποστηρίζει ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εφαρμογών διαχείρισης δικτύου και των αντίστοιχων πρακτόρων. Σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το SNMP.

Το CMIP καθορίζει πως οι πληροφορίες διαχείρισης ανταλλάσσονται μεταξύ εφαρμογών διαχείρισης και αντίστοιχων αντιπροσώπων. Είναι ένα πρωτόκολλο προσανατολισμένο προς σύνδεση (connection oriented) και έχει ένα ενσωματωμένο σύστημα ασφαλείας το οποίο υποστηρίζει έλεγχο πρόσβασης, εξουσιοδότηση και ημερολόγιο ασφαλείας. Οι πληροφορίες διαχείρισης ανταλλάσσονται μεταξύ των εφαρμογών διαχείρισης και των αντίστοιχων πρακτόρων μέσω των διαχειριζόμενων αντικειμένων. Τα διαχειριζόμενα αντικείμενα είναι χαρακτηριστικά μιας διαχειριζόμενης συσκευής και μπορούν να παρακολουθούνται, τροποποιούνται και να ελέγχονται και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση διάφορων εργασιών.

Το CMIP δεν καθορίζει τη λειτουργικότητα της εφαρμογής διαχείρισης δικτύου, απλά ορίζει το μηχανισμό ανταλλαγής πληροφοριών και όχι το πώς θα χρησιμοποιηθούν ή θα μεταφραστούν.

Τα πλεονεκτήματα του CMIP σε σχέση με το SNMP είναι:

- Οι μεταβλητές του CMIP δεν συσχετίζονται απλά τις πληροφορίες αλλά χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση λειτουργιών. Αυτό είναι αδύνατο με το SNMP.
- Το CMIP είναι πιο ασφαλές σύστημα, εφόσον έχει ενσωματωμένη ασφάλεια.
- Το CMIP προσφέρει μεγάλες δυνατότητες που επιτρέπουν στις εφαρμογές διαχείρισης να εκτελούν ταυτόχρονα πάνω από μία εργασίες.
- Το CMIP αναφέρει με καλύτερο τρόπο τα προβλήματα που παρουσιάζονται στο δίκτυο

4.10.3 Σύγκριση πρωτοκόλλων

SNMP

Πλεονεκτήματα

- Είναι ευρέως δοκιμασμένο,
- Είναι απλό,
- Έχει χαμηλό κόστος υλοποίησης,
- Βγήκε πρώτο χρονικά στην αγορά

Μειονεκτήματα

- Είναι connectionless, άρα όχι τόσο αξιόπιστο όσο το connection oriented CMIP.
- Οι πληροφορίες SNMP δεν φιλτράρονται. Ο Διαχειριστής παίρνει όλες τις πληροφορίες για να επιλέξει αυτήν που τον ενδιαφέρει.
- Η δειγματοληψία που χρησιμοποιεί καταλαμβάνει πολύτιμο εύρος ζώνης του δικτύου, ιδίως όταν αυτό γίνεται μέσω δικτύου ευρείας ζώνης WAN όπου οι ταχύτητες είναι χαμηλές.

CMIP

Πλεονεκτήματα

- Είναι πολύ ισχυρότερο,
- Είναι πρότυπο του ISO, που σημαίνει ότι είναι σχεδιασμένο για ανοικτά συστήματα και όχι μόνο για περιπτώσεις όπως του internet.
- Είναι connection oriented και κατά συνέπεια αξιόπιστο
- Το CMIP εξετάζει (φιλτράρει) το κατά πόσον θα σταλεί μία πληροφορία από τον Agent στον Manager και δεν τις στέλνει όλες ανεξαιρέτως.

Μειονεκτήματα

- Βγήκε αργότερα στην αγορά
- Δεν έχει μεγάλη εγκατεστημένη βάση

- Απαιτεί για κάθε πράκτορα περί τα 400 Kbytes μνήμη σε αντίθεση με το SNMP που απαιτεί μόλις 10.

4.11 OAM&P Λειτουργίες Διαχείρισης Δικτύου

Η διαχείριση του δικτύου είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα σήμερα στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών. Περιλαμβάνει τις λειτουργίες της Εφαρμογής (Operations), της Διοίκησης (Administration), της Συντήρησης (Maintenance) και της Τροφοδοσίας (Provisioning) γνωστές και ως (OAM & P) λειτουργίες οι οποίες απαιτούνται για την παροχή, τη παρακολούθηση, την ερμηνεία, και τον έλεγχο του δικτύου και των υπηρεσιών που παρέχει. Αν και ο όρος OAM&P, προέρχεται από την ενσύρματη τηλεφωνία, έχει επεκταθεί σε άλλους τομείς των τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης για παράδειγμα της καλωδιακής τηλεόρασης και της κινητής τηλεφωνίας.

- **Επιχειρησιακές Διαδικασίες (Operations)**

Είναι οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται κατά την καθημερινή λειτουργία του δικτύου. Είναι οι καθημερινές οργανωτικές διαδικασίες όπως για παράδειγμα: η παράδοση (handover), η κλιμάκωση (escalation), η διαχείριση σημαντικών ζητημάτων, η υποστήριξη των διαδικασιών ή οι τακτικές ενημερώσεις (updates). Στην ομάδα των επιχειρηματικών διαδικασιών συμπεριλαμβάνονται: καθημερινές λίστες ελέγχου, η απάντηση κλήσεων καθώς και διαδικασίες ανοίγματος βλαβών (tickets), η διαχείριση εγγράφων τεχνικών προδιαγραφών των κατασκευαστών εξοπλισμού καθώς και εγχειριδίων χρήσεως.

- **Διαδικασίες Διοίκησης (Administration)**

Αυτές είναι διαδικασίες υποστήριξης οι οποίες είναι απαραίτητες για τις καθημερινές λειτουργίες. Μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν πράγματα όπως οι κοινοί κωδικοί πρόσβασης (passwords) για τη πρόσβαση στον εξοπλισμό και τα εργαλεία πρόσβασης, μορφές οργάνωσης και κατανομής χρόνου, χρόνος για συναντήσεις και θέματα ημερήσιας διάταξης καθώς και εκθέσεις εξυπηρέτησης πελατών.

- **Διαδικασίες Συντήρησης (Maintenance)**

Είναι εργασίες οι οποίες αν δεν πραγματοποιηθούν θα επηρεάσουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες ή τη λειτουργία του συστήματος. Αυτές αφορούν τις προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης από τη πλευρά του παρόχου, τη καθορισμένη διαμόρφωση παραμέτρων του εξοπλισμού του δικτύου, ως αποτέλεσμα της πολιτικής ή του σχεδιασμού, τους ελέγχους ρουτίνας του εξοπλισμού, τις αλλαγές στο hardware και τις αναβαθμίσεις στο λογισμικό / firmware . Οι εργασίες συντήρησης μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν την άρση των διοικητικών προνομίων ως πολιτική ασφαλείας.

- **Διαδικασίες τροφοδότησης(Provisiosning)**

Οι διαδικασίες τροφοδότησης περιλαμβάνουν τον τρόπο με τον οποίο οδηγοί και κατάλογοι ελέγχου ενημερώνονται για πρώτη φορά με όλες τις παραμέτρους του εξοπλισμού, μιας νέας υπηρεσίας, ή ενός νέου κυκλώματος τα οποία εισέρχονται για πρώτη φορά σε επιχειρησιακή λειτουργία.

4.11.1 Απαιτήσεις κατά την εφαρμογή των oam&p λειτουργιών διαχείρισης

Κατά την εφαρμογή της OAM &P αρχιτεκτονικής, οι ακόλουθες απαιτήσεις: θα πρέπει να πληρούνται:

- οι επικοινωνίες θα πρέπει να πραγματοποιούνται μεταξύ των συστημάτων διαχείρισης του δικτύου και των ευφών στοιχείων του δικτύου
- οι υπηρεσίες θα πρέπει να διαχειρίζονται με τη μεγαλύτερη δυνατή ανεξαρτησία από τους πόρους στους οποίους εφαρμόζονται και
- το λειτουργικό λογισμικό εφαρμογών θα ενσωματώνεται στα Έξυπνα Στοιχεία του Δικτύου, INEs (Intelligent Network Element)

4.12 Κατηγορίες Διαχείρισης Δικτύου

Η επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων διαχείρισης δικτύου και των στοιχείων δικτύου καθορίζεται μέσω ενός μοντέλου αναφοράς Ανοικτού Συστήματος Διασύνδεσης Open System Interconnection (OSI), συμβατό με το Δίκτυο Διαχείρισης Τηλεπικοινωνιών- Telecommunications Management Network (TMN) το οποίο έχει

καθιερωθεί από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών-Τηλεπικοινωνιών (ITU-T formerly CCITT)[60]. Το μοντέλο αναφοράς περιγράφει μια αρχιτεκτονική επικοινωνιών, στην οποία βασικά πρωτόκολλα, που περιέχουν μια σαφή περιγραφή των δεδομένων και των δομών τους, μπορούν να τοποθετηθούν ή να οριστούν.

Από την πλευρά της διαχείρισης του δικτύου, πέντε είναι οι κυριότερες λειτουργικές περιοχές, καθεμιά από τις οποίες αντιπροσωπεύει ένα σύνολο δραστηριοτήτων που εκτελούνται από το επιχειρησιακό προσωπικό ή τους πελάτες. Οι λειτουργίες διαχωρίζονται από τις τεχνολογίες με τον καθορισμό γενικών OAM & P λειτουργιών που βασίζονται στο πρότυπο Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων, OSI (Open Systems Interconnection) και οι οποίες είναι κοινές σε πολλές τεχνολογίες και υπηρεσίες.

Το πρότυπο OSI χωρίζει τη διαχείριση του δικτύου σε πέντε κύριες κατηγορίες: τη διαχείριση των σφαλμάτων, τη διαχείριση της διαμόρφωσης, τη διαχείριση της ασφάλειας, τη διαχείριση των επιδόσεων, και τη λογιστική διαχείριση [61]. Πιο αναλυτικά:

- **Η Διαχείριση της Διαμόρφωσης (Configuration management)** περιλαμβάνει την τροφοδότηση (Provisioning) των πόρων και την Παροχή (Provisioning) υπηρεσιών (εκχώρηση υπηρεσιών και λειτουργιών σε τελικούς χρήστες). Η διαχείριση διαμόρφωσης προσδιορίζει, ασκεί έλεγχο, συλλέγει στοιχεία (data) από, και παρέχει στοιχεία (data) στο δίκτυο για την προετοιμασία της αρχικοποίησης, της εκκίνησης και τον τερματισμό των υπηρεσιών
- **Η Διαχείριση Σφαλμάτων (Fault management)** περιλαμβάνει τα συστήματα διαχείρισης προβλημάτων, τα οποία φροντίζουν για διορθωτικές ενέργειες στην παροχή των υπηρεσιών, την αποκατάσταση των βλαβών, και τη προληπτική συντήρηση, η οποία παρέχει δυνατότητες για αυτο-αποκατάσταση. Η διαχείριση προβλημάτων ενεργοποιεί συναγερμούς (alarms) σε υπηρεσίες και πόρους, πραγματοποιεί δοκιμές, εκτελεί διαγνώσεις για την απομόνωση των σφαλμάτων, εκκινεί την υπηρεσία αποκατάστασης υπηρεσιών, και εκτελεί δραστηριότητες που είναι απαραίτητες για την επισκευή του διαγνωσθέντος σφάλματος. Τέλος εκτελεί εργασίες συντήρησης

ρουτίνας σε τακτική βάση και ενεργοποιεί δοκιμές για την ανίχνευση ή τη διόρθωση προβλημάτων πριν αυτά δημιουργηθούν.

- **Η Διαχείριση των Επιδόσεων (Performance management)** ασχολείται με διαδικασίες που εξασφαλίζουν την πιο αποτελεσματική χρήση των πόρων δικτύου και την ικανότητά τους να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του χρήστη του δικτύου. Αξιολογεί την συμπεριφορά των πόρων του δικτύου και ταυτόχρονα διασφαλίζει την μέγιστη απόδοση των υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και βίντεο.
- **Η Λογιστική Διαχείριση (Accounting management)** επεξεργάζεται και διαχειρίζεται τα αρχεία χρήσης πόρων και υπηρεσιών και δημιουργεί αναφορές χρέωσης των πελατών για όλες τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Καθορίζει τα τέλη και προσδιορίζει το κόστος για τη χρήση υπηρεσιών και πόρων στο δίκτυο.
- **Η Διαχείριση Ασφάλειας (Security management)** ελέγχει την πρόσβαση και προστατεύει τόσο το δίκτυο όσο και τα συστήματα διαχείρισης δικτύου από την εκ προθέσεως ή τυχαία κατάχρηση, τη μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, και την απώλεια της επικοινωνίας. Η ευελιξία θα πρέπει να είναι ενσωματωμένη σε μηχανισμούς ασφαλείας για τη «φιλοξενία» μεγάλου εύρους προνομίων ελέγχου και έρευνας που προκύπτουν από την ποικιλία των τρόπων πρόσβασης των επιχειρησιακών συστημάτων, των ομάδων παροχής υπηρεσιών, και των πελατών οι οποίοι πρέπει να είναι διοικητικά ανεξάρτητοι.

Εκτός από τις πέντε αυτές κύριες κατηγορίες διαχείρισης, αξίζει να αναφερθούν και οι παρακάτω[62]:

- Διαχείριση Απάτης (**Fraud Management**)
- Διαχείριση Περιαγωγής (**Roaming Management**)
- Διαχείριση Συνδρομής (**Subscription Management**)
- Διαχείριση QoS (**QoS Management**)
- Διαχείριση του εξοπλισμού χρήστη (**User Equipment Management**)
- Διαχείριση Λογισμικού (**Software Management**)

- **Διαχείριση Απάτης (Fraud Management)**

Η Διαχείριση των καταστάσεων Απάτης περιλαμβάνει όλες εκείνες τις δραστηριότητες που έχουν σχεδιαστεί για την ανίχνευση και την πρόληψη της απάτης στον τομέα των κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Σημειώστε ότι το θεμελιώδες χαρακτηριστικό αυτού του δικτύου –η κινητικότητα- καθιστά την πρόληψη της απάτης πολύ δύσκολη. Ένας δόλιος πελάτης δεν μπορεί πάντα να εντοπιστεί τόσο εύκολα όσο στα σταθερά δίκτυα καθώς οι υπηρεσίες του δικτύου κινητής τηλεφωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οπουδήποτε εντός της περιοχής κάλυψης. Η πρόληψη της απάτης έχει ως στόχο την αποτροπή της από το να συμβεί ενώ η ανίχνευσή της πραγματοποιείται ενώ αυτή έχει ήδη λάβει χώρα.

Η Διαχείριση της απάτης περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Την ταξινόμηση των πελατών ανάλογα με τα επίπεδα του κινδύνου απάτης
- Την αναθεώρηση των επιπέδων κινδύνου απάτης
- Τον εντοπισμό των μορφών απάτης
- Την λήψη των κατάλληλων μέτρων για την αναστολή της παροχής υπηρεσιών

- **Διαχείριση Περιαγωγής (Roaming Management)**

Η περιαγωγή είναι μια διαδικασία με την οποία ένας συνδρομητής κινητής τηλεφωνίας μπορεί να χρησιμοποιεί τους πόρους ενός δικτύου διαφορετικού από το δικό του. Αυτό εξυπηρετεί τους χρήστες, καθώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα κινητά τους τηλέφωνα έξω από την περιοχή κάλυψης του δικτύου τους. Η διαχείριση της περιαγωγής χειρίζεται θέματα που σχετίζονται με τις συμβάσεις περιαγωγής μεταξύ των παρόχων. Η συμφωνία περιαγωγής είναι μια σύμβαση μεταξύ του παρόχου του δικτύου του πελάτη και του δικτύου του οποίου θα χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες όταν ο πελάτης δε θα βρίσκεται πλέον στο δικό του.

- **Διαχείριση Συνδρομής (Subscription Management)**

Στα πρώτα κυψελοειδή συστήματα η μόνη παρεχόμενη υπηρεσία ήταν η φωνή, και δεν υπήρχε διαφορά στη κατηγοριοποίηση μεταξύ των χρηστών σχετικά με το είδος των υπηρεσιών που τους προσφέρονταν. Ωστόσο, στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οι συνδρομές των χρηστών παρουσιάζουν μεγάλη

εξατομίκευση. Το δίκτυο πρέπει να έχει πρόσβαση στα δεδομένα εγγραφής του χρήστη, και να αποφασίζει τι είδους υπηρεσίες μπορεί να παρέχονται σε αυτόν. Η Διαχείριση Εγγραφής είναι μια διαδικασία που διατηρεί τα στοιχεία εγγραφής χρήστη στον Τοπικό Διακομιστή Συνδρομητή ,HSS (Home Subscriber Server).

- **Διαχείριση QoS (QoS Management)**

Η Διαχείριση QoS σε δίκτυα 3G αποτελείται κυρίως από δύο λειτουργικές περιοχές: τη παροχή πολιτικής QoS και την παρακολούθηση QoS. Η παροχή πολιτικής QoS είναι η διαδικασία της ρύθμισης και της διατήρησης επιλεγμένων στοιχείων του δικτύου με QoS πολιτικές που έχουν δημιουργηθεί με βάση την εγγραφή του πελάτη και την παρατηρούμενη απόδοση του δικτύου. Στα δίκτυα 3G, πολλαπλά δίκτυα πρέπει να διασυνδεθούν έτσι ώστε να παρέχεται μια από άκρη σε άκρη QoS που απαιτείται από τις τελικές εφαρμογές χρήστη. Επιπλέον, υπάρχουν πολλές κατηγορίες στοιχείων του δικτύου από πολλούς προμηθευτές δικτυακής υποδομής, καθεμιά από τις οποίες απαιτεί ρύθμιση κατά τρόπο συνεπή προς την εκπλήρωση των QoS στόχων του δικτύου . Η παρακολούθηση του QoS είναι η διαδικασία της συλλογής στατιστικών στοιχείων απόδοσης QoS και συναγερωμών. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να δημιουργήσετε εκθέσεις ανάλυσης για την πραγματοποίηση αλλαγών ή για της αναβαθμίσεις του δικτύου.

- **Διαχείριση του εξοπλισμού χρήστη (User Equipment Management)**

Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό που επιτρέπει σε έναν διαχειριστή του δικτύου να ενεργοποιήσει και να απενεργοποιήσει τον εντοπισμό ενός συγκεκριμένου συνδρομητή εντός του δικτύου. Μόλις ενεργοποιηθεί, η δραστηριότητα ανίχνευσης δίνει αναφορά στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου. Αυτή η δυνατότητα ονομάζεται διαχείριση του εξοπλισμού χρήστη (πιθανώς επειδή η ανίχνευση του χρήστη έχει μια κακή χροιά). Η διεπαφή ενεργοποίησης / απενεργοποίησης και αναφοράς για τη διαχείριση της ανίχνευσης είναι σε διαδικασία τυποποίησης.

- **Διαχείριση Λογισμικού (Software Management)**

Το Λογισμικό Διαχείρισης μπορεί να διαιρεθεί σε δύο διαδικασίες: τη κύρια διαδικασία διαχείρισης λογισμικού και τη διαδικασία διαχείρισης λαθών λογισμικού . Η βασική διαχείριση λογισμικού χειρίζεται τη διαχείριση των νέων εκδόσεων

λογισμικού και τον κώδικα διόρθωσης. Η διαδικασία του λογισμικού διαχείρισης σφαλμάτων τότε φροντίζει την παρακολούθηση του δικτύου και χειρίζεται τα σφάλματα που προκλήθηκαν από προβλήματα στην εγκατάσταση του λογισμικού. Η βασική διαδικασία του λογισμικού διαχείρισης μπορεί να περιέχει τα ακόλουθα στάδια:

- Παράδοση του λογισμικού από τον πωλητή
- Προώθηση του λογισμικού σε στοιχεία του δικτύου ή στους διαχειριστές των στοιχείων
- Επικύρωση του λογισμικού για να εξασφαλιστεί ότι δεν είναι κατεστραμμένο
- Ενεργοποίηση του λογισμικού σε μια εκτελέσιμη κατάσταση
- Επικύρωση του λογισμικού για να βεβαιωθούμε ότι λειτουργεί σωστά
- Αποδοχή ή απόρριψη του λογισμικού με βάση το αποτέλεσμα του προηγούμενου σταδίου
- Επιστροφή στην προηγούμενη έκδοση του λογισμικού, εάν το νέο λογισμικό απορρίπτεται.

4.13 Λοιπές λειτουργίες διαχείρισης δικτύου

Υπάρχουν επίσης πολλές σημαντικές λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου οι οποίες επί του παρόντος δεν καλύπτονται από τα πρότυπα (standards). Μερικές από αυτές είναι:

- **Ο σχεδιασμός (Planning)** περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών που επιτρέπουν την έγκαιρη εγκατάσταση των πόρων για τον καθορισμό, και την ανάπτυξη, δικτυακών υπηρεσιών, καθώς επίσης και για την αντιμετώπιση των προβλέψεων του παρόχου και των απαιτήσεων του τελικού χρήστη.
- **Τα σχέδια διαχείρισης εργατικού δυναμικού (Workforce management)** ασχολούνται με τον σχεδιασμό και τον έλεγχο των δραστηριοτήτων του επιχειρησιακού προσωπικού. Ασχολείται με όλο το φόρτο εργασίας, το προσωπικό, και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση του δικτύου. Αυτό περιλαμβάνει την επισκευή, την εγκατάσταση και τοποθέτηση καλωδιώσεων, καθώς και με τους τεχνικούς τόσο των κεντρικών γραφείων όσο και των εξωτερικών χώρων.

- **Η Διαχείριση υλικών (Material management)** ασχολείται με την προμήθεια, τον έλεγχο, και την αποθήκευση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση και την επισκευή του δικτύου. Η απόκτηση υλικών περιλαμβάνει την αναζήτηση, την επιλογή και δέσμευση των προμηθειών και του εξοπλισμού από πιστοποιημένους προμηθευτές. Ο έλεγχος υλικών παρακολουθεί και ενημερώνει τον κατάλογο για να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα του υλικού, όταν και όπου απαιτείται. Η διανομή υλικών περιλαμβάνει το χειρισμό του εξοπλισμού από τους προμηθευτές και το επιχειρησιακό προσωπικό, καθώς και την κατάλληλη και έγκαιρη παράδοση στον τελικό προορισμό.

4.14 Παράδειγμα διαχειριστικού συστήματος

4.14.1 Διαχειριστικό σύστημα CNMS (Cerberus Management Network System)

Η τεχνολογία των δικτύων υπολογιστών επιτρέπει σήμερα την επικοινωνία μεγάλου αριθμού χρηστών μεταξύ τους, ανεξάρτητα από την απόσταση που τους χωρίζει. Η τάση για γρήγορη ανάπτυξη και διασύνδεση πολλών υποδικτύων μεταξύ τους τονίζει την ανάγκη διαχείρισης πολύπλοκων και μεγάλων δικτύων. Για την συνεχή αλλά και συνεπή λειτουργία των δικτύων αυτών χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη των πιθανών εστιών δυσλειτουργιών και η αποτροπή τους. Το λογισμικό διαχείρισης δικτύων διευκολύνει τη συνεχή αυτή παρακολούθηση συλλέγοντας αδιάκοπα και παρουσιάζοντας με οργανωμένο τρόπο στο διαχειριστή στοιχεία σχετικά με την κατάσταση του δικτύου, έτσι ώστε να διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων και η επέμβαση. Τα περισσότερα από τα συστήματα διαχείρισης δικτύων που υπάρχουν σήμερα απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ και λειτουργούν σε σταθμούς εργασίας υψηλών προδιαγραφών με αποτέλεσμα, το κόστος εξοπλισμού για τη διαχείριση ενός δικτύου να είναι αρκετά υψηλό και πολλές φορές απαγορευτικό.

Η πειραματική πλατφόρμα διαχείρισης δικτύων Cerberus Network Management System (CNMS)[63], που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ μεταφέρει την τεχνογνωσία διαχείρισης δικτύων από το χώρο του Unix στο περιβάλλον του DOS και των Windows. Η υλοποίησή της έγινε για δίκτυα TCP/IP με πρωτόκολλο διαχείρισης το SNMP (Simple Network Management Protocol). Το πρωτόκολλο

αυτό, μαζί με τις αναφορές στη Δομή της Διαχειριστικής Πληροφορίας (Structure of Management Information - SMI), και τη Βάση Διαχειριστικών Πληροφοριών (Management Information Base - MIB) ορίζει ένα απλό και λειτουργικό τρόπο διαχείρισης δικτύων TCP/IP. Κατά τη σχεδίαση της πλατφόρμας έγινε προσπάθεια ώστε, με ελάχιστες μετατροπές, να είναι μεταφέρσιμες και σε άλλα πρωτόκολλα όπως το CMIP (Common Management Information Protocol) το οποίο αποτελεί μαζί με τη γενικότερη OSI (Open Systems Interconnection) φιλοσοφία για την διαχείριση δικτύων, μια μακροπρόθεσμη λύση για το πρόβλημα της διαχείρισης μεγάλων ετερογενών δικτύων.

4.14.2 Η δομή του διαχειριστικού συστήματος CNMS

Το CNMS αποτελείται από δύο βασικά τμήματα. Τον Εξυπηρετητή Διαχείρισης Δικτύου (Network Management Server-NMS) και τις Εφαρμογές-Πελάτες Διαχείρισης Δικτύου (Network Management Client Applications-NMCAs). Όπως φαίνεται και από τα ονόματα των βασικών τμημάτων έχει ακολουθηθεί το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server). Οι εφαρμογές επικοινωνούν με τον εξυπηρετητή και ζητούν από αυτόν τις πληροφορίες που χρειάζονται. Οι βασικές λειτουργίες του σταθμού διαχείρισης βρίσκονται στον εξυπηρετητή διαχείρισης NMS. Το λογισμικό αυτό παρακολουθεί το δίκτυο διατηρώντας συνεχή επικοινωνία με τους agents των διαφόρων κόμβων και καταγράφει, με βάση τις απαντήσεις που λαμβάνει, την τοπολογία του δικτύου, την κατάσταση των κόμβων που το απαρτίζουν, τα μηνύματα που ειδοποιούν για αλλαγές της κατάστασης του δικτύου κλπ. Η βασικότερη λειτουργία είναι η παρακολούθηση. Για το σκοπό αυτό καθ' όλη τη διάρκεια της εκτέλεσής του, ο εξυπηρετητής ενημερώνει τα εξής αρχεία:

- α) Βάση τοπολογίας, δηλαδή ένα αρχείο που περιγράφει την τοπολογική κατάσταση του δικτύου. Π.χ. ποιοι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο υποδίκτυο, ποιος κόμβος δρομολογεί πακέτα από το ένα δίκτυο στο άλλο κλπ.
- β) Αντίγραφα των MIB όλων των κόμβων του δικτύου. Τα αντίγραφα ενημερώνονται περιοδικά. Ο λόγος της ύπαρξής τους είναι η αποκατάστασή τους στον αρχικό κόμβο σε περίπτωση βλάβης.
- γ) Αρχεία ημερολογίων σε τρεις κατηγορίες: Τα ημερολόγια συναγεμίων, τα ημερολόγια γεγονότων και το ημερολόγιο αλλαγών της βάσης τοπολογίας. Οι

συναγερμοί είναι ειδοποιήσεις που μπορεί να ζητήσει μια εφαρμογή όταν η τιμή κάποιας μεταβλητής ή μεγέθους ξεπεράσει κάποιο κατώφλι. Τα γεγονότα ειδοποιούν για αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου. Οι συναγερμοί και τα γεγονότα εξηγούνται παρακάτω αναλυτικότερα.

5. Αυτόνομη Διαχείριση-Οργάνωση Δικτύων

5.1 Εισαγωγή

Αυτό που αποτελεί ζητούμενο για τα σημερινά δίκτυα των οποίων η πολυπλοκότητά συνεχώς αυξάνεται με την εισαγωγή νέων υπηρεσιών είναι η αυτόνομη οργάνωσή τους. Η οργάνωση αυτή θα βοηθήσει στη καλύτερη διαχείριση του δικτύου και αποτελεί στις μέρες μας ένα μεγάλο στοίχημα του κλάδου των επικοινωνιών.

Πολλές έρευνες και προτάσεις έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς για την αντιμετώπιση των πολλαπλών προβλημάτων διαχείρισης μέσω της αυτόματης οργάνωσής τους. Μια από τις πρώτες προσεγγίσεις στο θέμα πραγματοποιήθηκε το 2001 από την IBM[64] με την εισαγωγή του όρου αυτόνομη υπολογιστική, AC (Autonomic Computing), και ο οποίος αναφέρεται σε υπολογιστικές οντότητες που είναι σε θέση να εκτελέσουν εργασίες αυτόνομα προκειμένου να ανταποκριθούν σε μια ομάδα προκαθορισμένων υψηλού επιπέδου στόχων που υπαγορεύονται από τους δημιουργούς ή τους διαχειριστές τους.

Προς την ίδια κατεύθυνση κινούνται και οι έρευνες που έχουν γίνει πάνω στα γνωστικά δίκτυα. Τα γνωστικά δίκτυα είναι το σημαντικότερο βήμα προς την κατεύθυνση για την αποτελεσματική και αυτόνομη διαχείριση των δικτύων επικοινωνίας[65,66]. Τα γνωστικά δίκτυα πρέπει να μπορούν να αισθάνονται τη τρέχουσα πραγματικότητα, να σχεδιάζουν για το μέλλον, να λαμβάνουν αποφάσεις και να ενεργούν αναλόγως. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα γνωστικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να σκέφτονται, να μαθαίνουν και να θυμούνται [67].

Με βάση τις γενικές αρχές που προκύπτουν από τη μελέτη τόσο της αυτόνομης υπολογιστικής όσο και των γνωστικών δικτύων πολλές προτάσεις αρχιτεκτονικής αυτόνομης διαχείρισης έχουν προκύψει κατά καιρούς. Οι προτάσεις αυτές έχουν αναπτυχθεί τόσο από ευρωπαϊκούς όσο και από παγκόσμιους φορείς τυποποίησης καθώς και από μεμονωμένους ερευνητές.. Η πλειοψηφία των επιλεγμένων αρχιτεκτονικών έχουν κυρίως αναπτυχθεί σε ευρωπαϊκά ερευνητικά έργα ενώ παρουσιάζονται και μερικές μεμονωμένες ερευνητικές πρωτοβουλίες.

Στη συνέχεια θα γίνει μια προσπάθεια να εκτελεστεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση των αρχιτεκτονικών και για να έχουμε μια ολοκληρωμένη σύγκρισή τους μέσω ενός συνόλου κριτηρίων που ορίσαμε. Κύριος στόχος είναι να διευκρινιστεί το

πεδίο της έρευνας και ο βαθμός στον οποίο έχουν εφαρμοστεί σε κάθε μια από αυτές. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα κριτήρια αυτά δεν μπορεί να θεωρηθούν ως εξαντλητικά. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι έχουμε να κάνουμε με έναν πολύ δυναμικό και αναδυόμενο τομέα όπως είναι αυτός της αυτονομίας των δικτύων.

5.2 Αυτόνομη Πληροφορική

Μια από τις πρώτες προσεγγίσεις προς την αυτόνομη διαχείριση των δικτύων έγινε με την αυτόνομη υπολογιστική, AC (Autonomic Computing) που εισήχθη από την IBM το 2001[68]. Αναφέρεται σε υπολογιστικές οντότητες που είναι σε θέση να εκτελέσουν εργασίες αυτόνομα προκειμένου να ανταποκριθούν σε μια ομάδα προκαθορισμένων υψηλού επιπέδου στόχων που υπαγορεύονται από τους δημιουργούς ή τους διαχειριστές τους. Μια οντότητα με αυτόνομες υπολογιστικές δυνατότητες θεωρείται αυτή η οποία συνεχώς παρακολουθεί τη δική της κατάσταση και προσαρμόζει τις δραστηριότητές της ως απάντηση στα εσωτερικά ή εξωτερικά ερεθίσματα. Τελικά, μία αυτόνομη οντότητα θα είναι σε θέση να προβεί σε ανεξάρτητες επιλογές για να τροποποιήσει τις δραστηριότητές της προκειμένου να ανταποκριθεί σε ορισμένους στόχους.

Η έννοια της αυτονομίας είναι μια γενική έννοια που μπορεί να εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς. Όταν εφαρμόζεται στη διαχείριση του δικτύου το αποτέλεσμα είναι ένα αυτόνομο σύστημα διαχείρισης δικτύου, ANMS (Autonomic Network Management System) . Πιο συγκεκριμένα, ένα NMS θεωρείται ως αυτόνομο αν εκτελεί πράξεις διαχείρισης κατά τρόπο που να ικανοποιούν τα αυτο-CHOP (Configuration, Healing, Optimization, Protection) χαρακτηριστικά, δηλαδή, την αυτο-διαμόρφωση, την αυτο-θεραπεία, την αυτό-βελτιστοποίηση και την αυτο-προστασία, σύμφωνα με τους ορισμούς που ακολουθούν.

- **Η Αυτό-διαμόρφωση των παραμέτρων (Self-Configuration)**

Η αυτο-διαμόρφωση των παραμέτρων ορίζεται ως η διαδικασία όπου οι πρόσφατα εγκατεστημένοι κόμβοι ρυθμίζονται με αυτόματες διαδικασίες για να πάρουν τις απαραίτητες βασικές ρυθμίσεις για τη λειτουργία του συστήματος [69]. Κατά την εγκατάσταση ενός νέου σταθμού βάσης, διαφορετικές παράμετροι θα πρέπει να ρυθμιστούν και οι λειτουργίες πρέπει να εκτελούνται ως εξής:

- Εγκατάσταση λογισμικού και hardware
 - Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς (διευθύνσεις IP, ρύθμιση παραμέτρων QoS και των διασυνδέσεων, κλπ.)
 - Έλεγχος ταυτότητας
 - Αυτόματη Εύρεση Γειτονικής Κυψέλης (Automatic Neighbour Discovery – AND).
 - Διαμόρφωση ασύρματων παραμέτρων (παράδοσης-handover, επιλογή-επανεπιλογής, ρυθμίσεις ισχύος, κλπ.)
 - Απομακρυσμένη δοκιμή
 - Οι αρχικές ρυθμίσεις των παραμέτρων μπορούν αργότερα να βελτιωθούν κατά τη διαδικασία της αυτό-βελτιστοποίησης.
- **Η Αυτό-Αποκατάσταση (Self-Healing)**

Μόλις η αιτία ενός προβλήματος έχει προσδιοριστεί, η διαδικασία της αυτο-ίασης μπορεί να εφαρμοστεί. Αν η αιτία σφάλματος συνοδεύεται από έναν υψηλό βαθμό πιθανότητας, μια δράση διόρθωσης μπορεί να ξεκινήσει και να ενημερωθεί ο φορέας διαχείρισης. Αν ο βαθμός πιθανότητας δεν είναι πολύ υψηλός τότε η αιτία του σφάλματος προτείνεται στο φορέα διαχείρισης και εκτελείται μόνο μετά τη λήψη μιας επικύρωσης.

- **Η Αυτο-Βελτιστοποίηση (Self-Optimization)**

Στις τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών, η αυτό-βελτιστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία οι ρυθμίσεις του συστήματος αυτόνομα και αδιάκοπα προσαρμόζονται στα δεδομένα της κίνησης και το περιβάλλον του δικτύου όσον αφορά την τοπολογία, τη διάδοση και τις παρεμβολές. Η αυτό-βελτιστοποίηση αποτελεί έναν από τους πυλώνες των ANMSs και κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι δεν περιλαμβάνει η ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη παρέμβαση.

Η αυτό-βελτιστοποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξισορρόπηση της κυκλοφορίας μεταξύ των σταθμών βάσης μιας δεδομένης Ασύρματης Ραδιο-

Τεχνολογίας, RAT (Radio Access Technology) [70], ή μεταξύ των σταθμών βάσης σε ένα ετερογενές δίκτυο [71]. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί:

- Με την αυτό-ρυθμιζόμενη παράδοση ή με τη επιλογή παραμέτρων, και μπορεί συχνά να επιφέρει σημαντικά κέρδη χωρητικότητας.
- Μια δεύτερη προσέγγιση για την εξισορρόπηση φορτίου είναι η Δυναμική Κατανομή του Φάσματος (Dynamic Spectrum Allocation-DS Allocation). Η ιδέα της Δυναμικής Κατανομής Φάσματος είναι ο διαμοιρασμός του εύρους ζώνης συχνοτήτων μεταξύ διαφορετικών RANS. Όταν ένα RAN χρειάζεται επιπλέον πόρους φάσματος, η διαδικασία DS-Κατανομής μπορεί να ανακατανείμει τους πόρους αυτούς σε τοπικό επίπεδο από ένα λιγότερο φορτωμένο RAN σε ένα λιγότερο. Η DS-Κατανομή απαιτεί αρχικά μια αξιολόγηση των απαιτούμενων πόρων του ραδιοφάσματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας. Τότε μια κατάλληλη κατανομή φάσματος γίνεται έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η φασματική αποδοτικότητα.
- Μια τρίτη προσέγγιση για τη διανομή των πόρων μεταξύ των διαφόρων RANS είναι η Δυναμική Πρόσβαση Φάσματος Dynamic Spectrum Access (DS-Access). Η τεχνολογία που επιτρέπει την Dynamic Spectrum Access είναι η Γνωστική Ασύρματη Τεχνολογία- Cognitive Radio technology . Ως Γνωστική Ασύρματη Τεχνολογία ορίζουμε τη τεχνολογία η οποία να είναι σε θέση να αλλάξει τις παραμέτρους του πομπού με βάση την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του.

- **Η Αυτό-Προστασία (Self- Protection)**

Η ασφάλεια στα RANS αφορά το σύνολο των δράσεων προστασίας, όπως τη πρόσβαση στον έλεγχο, τον έλεγχο της γνησιότητας και τη κρυπτογράφηση των υπηρεσιών. Το σύστημα ασφαλείας παρακολουθεί τα συναφή με την ασφάλεια θέματα και έχει την ικανότητα να αυτό-διαμορφώνεται για την αποτελεσματική ανταπόκριση στο δυναμικό περιβάλλον ασφαλείας. Το σύστημα αυτο-προστασίας μπορεί να τροποποιήσει το κρυπτογραφικό επίπεδο, να αλλάξει τη δύναμη του συστήματος ελέγχου της ταυτότητας ή να εγκαταστήσει patches στο σύστημα για να ανταπεξέλθει σε νέες επιθέσεις εναντίον του συστήματος, και ούτω καθεξής.

5.2.1 Λειτουργίες M.A.P.E.

Βασικό συστατικό της αυτόνομης υπολογιστικής είναι ένας αυτόνομος διαχειριστής(manager) που διαχειρίζεται ένα ή περισσότερα στοιχεία. Ο διαχειριστής είναι επιφορτισμένος με τέσσερις βασικές λειτουργίες: την παρακολούθηση των φορέων διαχείρισης (monitoring), την ανάλυση των επιδόσεων τους (analyzing), τον προγραμματισμό (planning) και την εκτέλεση (execution) μιας σειράς κατάλληλων μέτρων διαχείρισης. Αυτές οι λειτουργίες αναφέρονται ως βρόχος MAPE ή γνωστικός βρόχος όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου. Κεντρικό ρόλο σε αυτό το βρόχο είναι μια βάση γνώσεων που διατηρεί τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τις διαχειρίσιμες οντότητες και τις πράξεις διαχείρισης.

5.2.2 Δικτυακή Βάση Γνώσεων

Ένας βασικός παράγοντας για την επίτευξη της αυτόνομης διαχείρισης είναι η ικανότητα να δημιουργηθεί ένα ακριβές μοντέλο του διαχειριζόμενου συστήματος . Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται μέσω της οικοδόμησης μιας βάσης γνώσης του συστήματος, (KBS) Knowledge Base System, με ενσωματωμένους μηχανισμούς συλλογιστικής [72]. Το πρώτο βήμα για την οικοδόμηση οποιασδήποτε KBS περιλαμβάνει τις προδιαγραφές των γνώσεων που πρέπει να παρέχονται από το σύστημα. Το δεύτερο βήμα είναι η επιλογή ενός κατάλληλου μοντέλου για κάθε τύπο του γνωστικού πεδίου. Μόλις ένα μοντέλο επιλεγεί, το τρίτο βήμα στοχεύει στην ανάπτυξη μεθόδων για τη ανακάλυψη της γνώσης, για την απόκτησή της και την επεξεργασία της.

5.2.2.1 Διαφορετικά είδη γνώσεων της Δικτυακής Βάσης

Η KBS μπορεί να αντιπροσωπεύει δύο διαφορετικές μορφές γνώσης όσον αφορά το διαχειριζόμενο σύστημα, οι οποίες είναι γνωστές ως γνώση τομέα και γνώση ελέγχου. Το πρώτο είδος γνώσης παρέχει μια άποψη του διαχειρίσιμου τομέα ενώ το δεύτερο είδος αντιπροσωπεύει τους τρόπους για να διαχειριστούμε και να ελέγξουμε το διαμορφωμένο σύστημα. Η γνώση τομέα μπορεί να ταξινομηθεί περαιτέρω σε μια γνώση δομής και μια γνώση συμπεριφοράς. Η γνώση δομής αναφέρεται σε γνώσεις σχετικά με το είδος των αντικειμένων του μοντελοποιημένου

πεδίου, τις ιδιότητές τους και τις σχέσεις μεταξύ τους. Η γνώση συμπεριφοράς περιγράφει πρότυπα συμπεριφοράς των διαφορετικών στοιχείων στο σύνολο της μοντελοποιημένης περιοχής.

5.3 Γνωστικά Δίκτυα

Προχωρώντας ένα βήμα παραπάνω στα πλαίσια της αυτονομίας των δικτύων εισάγουμε την έννοια των γνωστικών δικτύων (Cognitive Networks). Για να χαρακτηρίζεται «γνωστικό», ένα ασύρματο δίκτυο πρέπει να έχει αυτο-επίγνωση. Ο όρος αυτο-επίγνωση σημαίνει ότι θα πρέπει να έχει γνώση για τον εαυτό του, τα περιεχόμενά του, για τα δομικά στοιχεία του, τις διασύνδεσής τους, για το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και αλληλεπιδρά ,ενώ θα πρέπει να είναι σε θέση να μοιραστεί αυτή τη γνώση.

Τα γνωστικά δίκτυα διατηρούν τις αυτό-chor ιδιότητες ενώ παράλληλα έχουν και την ικανότητα να «μαθαίνουν» από το περιβάλλον τους και φαίνεται να αποτελούν το μόνο τρόπο για την επίτευξη του σημείου όπου ένα δίκτυο μπορεί να αυτορυθμιστεί, να καταλάβει τον εαυτό του και να αυτό-επισκευαστεί .

Βασικά συστατικά ενός γνωστικού δικτύου, CN (Cognitive Network) είναι ο βρόχος γνώσης ή γνωστικός βρόχος (cognition loop), η αναπαράσταση της γνώσης (knowledge representation) καθώς και ο έξυπνος πράκτορας (intelligent agent), τα οποία και αναλύονται παρακάτω:

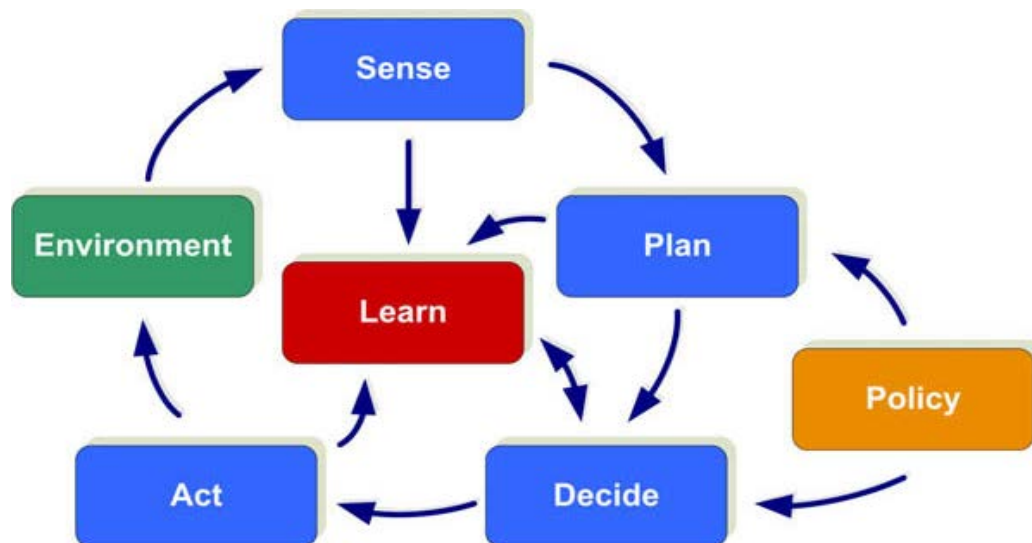
5.3.1 Γνωστικός Βρόχος

Όλα τα συστήματα που είναι σε θέση να προσαρμόζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με τις αλλαγές στο περιβάλλον τους βασίζονται στις πληροφορίες ανάδρασης. Τα γνωστικά δίκτυα δεν αποτελούν εξαίρεση σε αυτό, και χρησιμοποιούν ένα κύκλωμα ελέγχου, που ονομάζεται γνωστικός βρόχος ή βρόχος ανάδρασης. Ο βρόχος που ασχολείται με ένα γνωστικό δίκτυο θα πρέπει να βασίζεται στην ιδέα της Παρατήρησης (Monitoring) –Ανάλυσης (Analyzing)- Σχεδιασμού (Planning) – Εκτέλεσης (Execution) η οποία εμπλουτίζεται με την εκμάθηση και επίτευξη των στόχων για την επίτευξη της γνώσης και να έχει επίσης τη δυνατότητα επικοινωνίας με άλλους βρόχους σε ένα καταναμημένο περιβάλλον.

Ο γνωστικός βρόχος , αισθάνεται το περιβάλλον, σχεδιάζει ενέργειες, σύμφωνα με τα εισαγόμενα στοιχεία από τους αισθητήρες και τις πολιτικές του

δικτύου, και αποφασίζει ποιο σενάριο ταιριάζει καλύτερα για την επίτευξη των σκοπών του χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό λογικής, ενώ τέλος, λειτουργεί με το επιλεγμένο σενάριο. Το σύστημα μαθαίνει από το παρελθόν (καταστάσεις, σχέδια, αποφάσεις, δράσεις) και χρησιμοποιεί αυτή τη γνώση για τη βελτίωση των αποφάσεων στο μέλλον.

Ένας γνωστικός βρόχος αναφοράς, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα. 5-1, αποτελείται από έξι καταστάσεις (την αίσθηση, το σχέδιο, την απόφαση, την ενεργεία, τη μάθηση και την πολιτική). Το δίκτυο με αυτο-επίγνωση θα χρησιμοποιεί αισθητήρες για να αισθανθεί το περιβάλλον (Αίσθηση). Οι παρατηρήσεις που θα λαμβάνονται από τους αισθητήρες θα χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για τον προγραμματισμό (Σχέδιο), αλλά χορηγούνται επίσης σε μια οντότητα εκμάθησης η οποία θα είναι σε θέση να μαθαίνει και να θυμάται χρήσιμες παρατηρήσεις (Μάθηση), η οποία μπορεί να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων στο μέλλον. Η μονάδα σχεδιασμού καθορίζει πιθανές ενέργειες, δηλαδή στρατηγικές που πρέπει να ακολουθούνται με βάση τις παρατηρήσεις και τις πολιτικές και οι οποίες αποθηκεύονται στη μονάδα της πολιτικής (policy module) (Πολιτική). Η ενότητα της απόφασης αποφασίζει σχετικά με τις ενέργειες που πρέπει να ληφθούν με βάση τις πιθανές κινήσεις (Ενέργειες) και (Διδάγματα) εμπειρίας. Τέλος, οι ενεργοποιητές (Πράξη) είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση των κατάλληλων αλλαγών (reconfigurations). Η ενότητα της μάθησης είναι η καλύτερη, υπό την έννοια ότι μπορεί να μάθει από διάφορες πηγές: από τα δεδομένα του αισθητήρα, από τις στρατηγικές, από τις αποφάσεις και από τους ενεργοποιητές, και μπορεί να συσχετίσει και να συμπεράνει από αυτή τη γνώση.



Εικόνα 5-1 Γνωστικός Βρόχος[88]

5.3.2 Αναπαράσταση γνώσης

Για να χαρακτηρίζεται «γνωστικό», ένα ασύρματο δίκτυο πρέπει να έχει αυτο-επίγνωση. Ο όρος αυτο-επίγνωση σημαίνει ότι θα πρέπει να έχει γνώση για τον εαυτό του, τα περιεχόμενά του, για τα δομικά στοιχεία του, τις διασύνδεσής τους, για το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και αλληλεπιδρά ,ενώ θα πρέπει να είναι σε θέση να μοιραστεί αυτή τη γνώση.

Τα γνωστικά δίκτυα φαίνεται να είναι ο μόνος τρόπος για την επίτευξη του σημείου όπου ένα δίκτυο μπορεί να αυτορυθμιστεί, να καταλάβει τον εαυτό του και να αυτό-επισκευαστεί[65]. Η γνώση μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω των πινάκων, των Boolean (λογικών) κυκλωμάτων, των νευρωνικών δικτύων και των τεχνητών γλωσσών. Ανάλογα με τις διαφορετικές απαιτήσεις που έχουμε για την αναπαράσταση της γνώσης, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες:

- **Η αναπαράσταση γνώσης για τη διαχείριση**

Δύο είναι οι τύποι δομημένων αναπαραστάσεων γνώσης για τη διαχείριση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων: οι οντολογικές και οι Bayesian αναπαραστάσεις του δικτύου. Μια οντολογική αναπαράσταση είναι μια αναπαράσταση δομημένης γνώσης, η οποία χρησιμοποιεί έννοιες όπως ο χρόνος, οι δράσεις και διάφορα φυσικά αντικείμενα. Η οντολογία χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση συγκεκριμένων πεδίων καθώς και των γνώσεων για τα Bayesian δίκτυα. Αυτή η εννοιολογική γνώση επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα και την ενοποίηση των δεδομένων, αλλά επίσης επιτρέπει και την αιτιολόγηση μέσω συμπεράσματος.

- **Αναπαράσταση γνώσης για ποιότητα υπηρεσιών QoS (Quality of Service)**

Για την αναπαράσταση γνώσης των διαφόρων πτυχών του QoS, ήμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε δύο τομείς εφαρμογής. Πρώτα είναι η οριζόντια ενημέρωση παραμέτρων (provisioning) QoS η οποία ασχολείται με την εύρεση, το ταίριασμα, την παροχή και την παρακολούθηση QoS βασιζόμενων υπηρεσιών μεταξύ δύο μερών [73]. Η δεύτερη είναι η κάθετη ενημέρωση παραμέτρων (provisioning) QoS .

Για την αναπαράσταση γνώσης για QoS χρησιμοποιούνται επίσης νευρωνικά δίκτυα πολλαπλών επιπέδων (MNN)[74] για την μοντελοποίηση και εκτίμηση των προτιμήσεων των χρηστών όσον αφορά τις ασύρματες υπηρεσίες. Τα MNN

ενημερώνονται με δεδομένα από τα σχόλια των χρηστών για να οικοδομήσουν ένα μοντέλο με τις προτιμήσεις τους από παλιότερες παροχές ασύρματων υπηρεσιών. Με βάση αυτό το μοντέλο, ένας πράκτορας (agent) είναι σε θέση να εκτιμήσει την ικανοποίηση που απολαμβάνει ένας χρήστης σε σχέση με μια νέα υπηρεσία που δεν είχε ξανά χρησιμοποιηθεί.

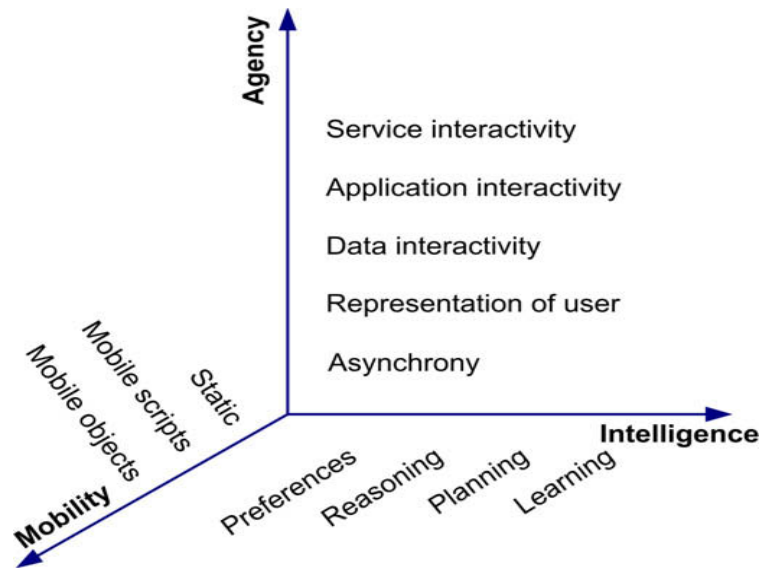
- **Αναπαράσταση γνώσης για θέματα ασφάλειας**

Η εργασία στο [75] επικεντρώνεται στην έννοια της ασφάλειας και δοκιμάζει την ιεράρχηση των τύπων περιεχομένου και ροής σε ένα δίκτυο. Χρησιμοποιεί σημασιολογική τεχνολογία που επιτρέπει άκρως εξειδικευμένες υπηρεσίες δικτύωσης. Ένα πακέτο που αποστέλλεται μέσω του δικτύου έχει μια σημασιολογική ετικέτα OWL η οποία χρησιμοποιείται από τα σημεία λήψης αποφάσεων που συναντούνται στη πορεία για την αιτιολόγηση και για τη πραγματοποίηση του συνόλου των εργασιών προς εκτέλεση. Αυτή η προσέγγιση, στην οποία η γνώση κωδικοποιείται σε πακέτα, επιτρέπει στον πυρήνα να γνωρίζει ποια δεδομένα μεταφέρει και ποιος είναι ο σκοπός αυτών των δεδομένων.

5.3.3 Έξυπνοι Πράκτορες

Εξαιρετικής σημασίας για την ανάπτυξη ενός CN είναι ο ευφυής πράκτορας, IA (Intelligent Agent). Πρόκειται για μια οντότητα που αντιλαμβάνεται το περιβάλλον μέσω αισθητήρων και δρα επί του περιβάλλοντος αυτού μέσω ενεργοποιητών. Μεταξύ των διαφορετικών ομαδοποιήσεων των πρακτόρων, θα θεωρήσουμε ως σημείο αναφοράς αυτή που καθιερώθηκε από την IBM, που χρησιμοποιεί τρεις διαστάσεις για να περιγράψει τους πράκτορες (Σχήμα. 2). Η πρώτη διάσταση είναι ο Οργανισμός (Agency), η οποία καθορίζει το βαθμό της αυτονομίας και της δικαιοδοσίας που έχει ανατεθεί στον πράκτορα. Η δεύτερη διάσταση είναι η νοημοσύνη (Intelligence), η οποία περιγράφει το βαθμό της λογικής και της συμπεριφοράς της εκμάθησης. Τέλος, η τρίτη διάσταση είναι η κινητικότητα (Mobility), η οποία καθορίζει το βαθμό στον οποίο οι πράκτορες “ταξιδεύουν” μέσα στο δίκτυο.

Τα δίκτυα του μέλλοντος θα κάνουν χρήση των πρακτόρων για να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους σε σχέση με όλους τους τρεις άξονες στο Σχήμα 5-2. Στην περίπτωση των CNs, η κυριότερη βελτίωση επιτυγχάνεται σε σχέση με τον άξονα της Νοημοσύνης.



Σχήμα 5-2 Τρισδιάστατη Αναπαράσταση Πρακτόρων (Agents)[88]

5.4 Κριτήρια για την ανάλυση των Αυτόνομων Αρχιτεκτονικών Διαχείρισης του Δικτύου

Σύμφωνα με τη μελέτη “Towards Autonomic Network Management: an Analysis of Current and Future Research Directions” των Nancy Samaan and Ahmed Karmouch, για να εκτελεστεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση των αρχιτεκτονικών και για να έχουμε μια εκτεταμένη σύγκρισή τους ορίσαμε ένα σύνολο κριτηρίων. Κύριος στόχος είναι να διευκρινιστεί το πεδίο της έρευνας και ο βαθμός στον οποίο έχουν εφαρμοστεί σε κάθε μια από αυτές. Τα κριτήρια αυτά δεν μπορεί να θεωρηθούν ως εξαντλητικά. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι έχουμε να κάνουμε με έναν πολύ δυναμικό και αναδυόμενο τομέα όπως είναι αυτός της αυτονομίας των δικτύων. Ωστόσο, η ανάλυση θα επιτρέψει στους ερευνητές να εντοπίζουν γρήγορα τις αρχιτεκτονικές που ανταποκρίνονται στα κριτήρια που ψάχνουν. Τα θεωρούμενα κριτήρια είναι τα ακόλουθα:

- **Ο βαθμός δραστηριότητας (Degree of Activity)**

Ένα αυτόνομο σύστημα μπορεί να ικανοποιήσει τις αυτο-CHOP ιδιότητες μέσω μιας αντιδραστικής ή μιας προληπτικής συμπεριφοράς. Ένα αντιδραστικό αυτόνομο σύστημα επιχειρεί να προσδιορίσει σημαντικά γεγονότα ή προβλήματα που είχαν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των επιδόσεων και στη συνέχεια βρίσκει την κατάλληλη λύση αφού το πρόβλημα

έχει ήδη εντοπιστεί. Από την άλλη πλευρά, η προληπτική αυτονομία [76], προωθεί τη χρήση προληπτικών μέτρων για τη διατήρηση της απόδοσης του συστήματος με βάση την ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης. Οι αρχιτεκτονικές που διερευνούμε παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα προσαρμογής. Η πλειοψηφία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αντιδραστική. Τέσσερις αρχιτεκτονικές οι (ANA, Αυτο-NET, E3, CSMTN) πηγαίνουν ένα βήμα παραπέρα, ενσωματώνοντας δυνατότητες μάθησης, προκειμένου να αλλάξουν τη συμπεριφορά τους προληπτικά.

- **Βαθμός προσαρμοστικότητας (Degree of Adaptability)**

Παρόμοια με όλες τις αρχιτεκτονικές λογισμικού, ένα αυτόνομο σύστημα μπορεί να είναι κλειστά-προσαρμοστικό, ανοικτά προσαρμοστικό ή υβριδικό. Όπως συζητήθηκε νωρίτερα, η κλειστή προσαρμοστικότητα αναφέρεται στην αδυναμία να μαθαίνει νέες συμπεριφορές, ενώ η ανοικτή προσαρμοστικότητα επιτρέπει στο αυτόνομο σύστημα να εξελίξει τις λειτουργίες του είτε μέσω των αλληλεπιδράσεων των στοιχείων του ή μέσω της αποκτηθείσας εμπειρίας [77].

- **Ο Βαθμός νοημοσύνης (Degree of intelligence)**

Στα δυναμικά περιβάλλοντα ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει να εμφανίζει κάποιου είδους νοημοσύνη στην εκτέλεση των MAPE λειτουργιών. Στο πλαίσιο αυτό, η νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα να μαθαίνει (π.χ., από τις εμπειρίες του παρελθόντος), προκειμένου να ενισχύσει τις επιλογές του. Η πλέον ενδεδειγμένη λύση είναι να περιοριστεί η νοημοσύνη σε έναν κεντρικό αυτόνομο διαχειριστή [78] που ελέγχει όλα τα άλλα στοιχεία του συστήματος.

- **Βαθμός αυτοεπίγνωσης (Degree of Awareness)**

Ένας ορισμένος βαθμός προσωπικής και περιβαλλοντικής-επίγνωσης είναι απαραίτητος κατά την εκτέλεση οποιασδήποτε αυτόνομης λειτουργίας. Όπως προαναφέρθηκε, η αυτογνωσία πραγματοποιείται μέσω μιας αποτελεσματικής KBS. Μια KBS μπορεί να διατηρήσει ένα μικρό σύνολο λειτουργικών παραμέτρων και μπορεί να επεκταθεί και στην ικανότητα της ακριβούς περιγραφής της συνολικής κατάστασης του συστήματος και της συμπεριφοράς του.

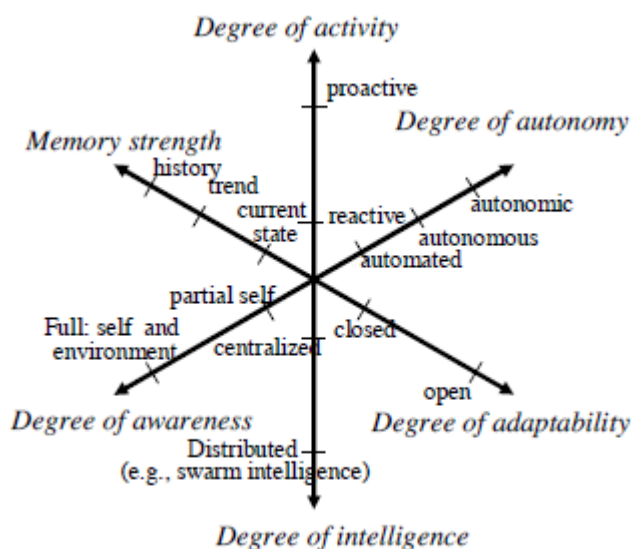
- **Δύναμη της Μνήμης(Memory Strength)**

Το κριτήριο αυτό αφορά την ικανότητα του συστήματος να θυμάται παλιότερες συμπεριφορές, ή προβλήματα και τις λύσεις τους και να τα χρησιμοποιήσει για να λάβει αποφάσεις διοίκησης. Σε μερικά αυτόνομα συστήματα, η γνώση της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος είναι επαρκής για την εκτέλεση των αυτο-CHOP λειτουργιών, ενώ, σε πολύ δυναμικά περιβάλλοντα, η γνώση της συμπεριφοράς και του ιστορικού από παρελθούσες δράσεις μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά το σύστημα απόδοσης. Αυτή η γνώση συνήθως αποθηκεύεται ως μια συμπεριφορά ή ως έλεγχος της δομής των NKBS. Ωστόσο, στην πλειοψηφία τους οι διασυνδέσεις δεν περιγράφονται ρητά. Νέα μοντέλα πληροφορίας είχαν καθοριστεί σε διαφορετικά επίπεδα (π.χ. FOCAL, E3, Cascadas, GANA), βασιζόμενα στα ήδη υφιστάμενα ή τυποποιημένα, ενώ οι οντολογίες (FOCAL, AutoI, Αυτο-NET) είχαν εισαχθεί για την ανταλλαγή γνώσεων, ως αποτέλεσμα της κοινής αναγνώρισης της ανάγκης για σημασιολογικά πλουσιότερα μοντέλα πληροφοριών.

- **Βαθμός αυτονομίας**

Το κριτήριο επικεντρώνεται στους αυτορυθμιζόμενους κλειστούς βρόχους ελέγχου τους οποίους ένα αυτόνομο σύστημα εξ ορισμού χρησιμοποιεί για να εκτελέσει τις εργασίες του. Το κριτήριο κάνει μια διάκριση μεταξύ ενός ενιαίου κλειστού βρόχου ελέγχου, πολλαπλών κλειστών βρόχων ελέγχου και επίσης συντονιζόμενων πολλαπλών βρόχων ελέγχου. Σε γενικές γραμμές, όλες οι εξεταζόμενες προσπάθειες που εξετάστηκαν ενσωματώνουν την έννοια των πολλαπλών βρόχων ελέγχου τόσο στις μελέτες όσο και στα αποτελέσματά τους. Προφανώς, όταν ασχολείται με μια τέτοια κατάσταση, η αυτόνομη συμπεριφορά αυτών των πολλαπλών βρόχων ελέγχου θα μπορούσε να θεωρηθεί ως σοβαρή απειλή για τη σταθερότητα του δικτύου, εάν δεν συντονίζεται. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των στοιχείων σε ένα δίκτυο που μπορεί να ελέγχει ή να επηρεάζει τη συμπεριφορά του συστήματος, τόσο πιο δύσκολο είναι να κατανοήσουμε και να προβλέψουμε πώς θα αλληλεπιδρούν.

Το Σχήμα 5-3 απεικονίζει έξι άξονες που εκπροσωπούν τα διάφορα κριτήρια ενός αυτόνομου συστήματος, δηλαδή το βαθμό δραστηριότητας, το βαθμό προσαρμοστικότητας, το βαθμό της νοημοσύνης, το βαθμό επίγνωσης, τη δυνατότητα της μνήμης και το βαθμό αυτονομίας.



Εικόνα 5-3:Κριτήρια για Αυτόνομη Διαχείριση Δικτύου [89]

Η αποτελεσματικότητα ενός ANMS μπορεί να μετρηθεί με την κατάταξη που παρουσιάζεται στο σχήμα 5-3. Όσο πιο ψηλά βρίσκεται η τιμή ενός κριτηρίου σε έναν άξονα τόσο πιο προηγμένο είναι. Για παράδειγμα, ένα ανοιχτά προσαρμοστικό ANMS με μια υψηλού βαθμού κατανεμημένη νοημοσύνη αναμένεται να λειτουργήσει καλύτερα σε πολύ δυναμικά περιβάλλοντα όπου απαιτούνται νέες συμπεριφορές μάθησης για να αντιμετωπιστούν οι αλλαγές στο περιβάλλον. Ομοίως, όσο περισσότερο το σύστημα έχει αυτοεπίγνωση και επίγνωση του περιβάλλοντός του τόσο πιο ακριβείς είναι οι αποφάσεις του για τη διαχείριση των διαφόρων καταστάσεων.

Επιπλέον των προαναφερθέντων κριτηρίων σημαντικά είναι και τα ακόλουθα:

- **Το επίπεδο της διανομής:** Αφορά τη κατανομή των διαχειριστών για τη διαχείριση των λειτουργιών στη κάθε αρχιτεκτονική (δηλαδή τον μηχανισμό διαδικασίας λήψης αποφάσεων και τις σχετικές πληροφορίες), έτσι ώστε να χαρακτηρίζονται ως κεντροκοιμημένες, ημι-κατανεμημένες ή πλήρως

κατανεμημένες. Με την εξαίρεση του NESTOR, που χρησιμοποιεί μια κεντρικοποιημένη προσέγγιση για τη διαχείριση των λειτουργιών, οι υπόλοιπες παρουσιαζόμενες αρχιτεκτονικές είναι είτε πλήρως κατανεμημένες ή ημι-κατανεμημένες. Η τελευταία έννοια σημαίνει ότι ορισμένες, συνήθως υψηλού επιπέδου λειτουργίες διαχείρισης, εξακολουθούν να κρατούνται έξω από την πλειοψηφία των δικτυακών συσκευών (π.χ. εφαρμόζονται μόνο σε καθορισμένους διακομιστές).

- **Οι αυτο-x λειτουργίες:** Διάφοροι τύποι αυτο-x λειτουργιών έγιναν στόχος στο πλαίσιο των πρωτοβουλιών που μελετήθηκαν. Οι τρεις πιο στοχευμένες αυτο-x λειτουργίες ήταν η αυτο-ρύθμιση, η αυτό-βελτίωση -με ιδιαίτερη έμφαση στη διαχείριση των πόρων και η αυτο-ίαση για την ανίχνευση και διάγνωση βλαβών / ανωμαλιών. Επιπλέον, είναι επίσης ευρέως αποδεκτό ότι η αυτονομία αυξάνεται με τον αριθμό των αυτο-x λειτουργιών. Οπότε υπάρχει περιθώριο για την ολοκλήρωση των διαφόρων αυτο-x προς μια πλήρως αυτόνομη λύση, αν και η ταυτόχρονη λειτουργία τους δημιουργεί σημαντικά προβλήματα όσον αφορά τη σταθερότητα του δικτύου.
- **Η ενσωμάτωση:** Σχετίζεται με την τοποθέτηση των λειτουργιών αυτό-χ ελέγχου και των λειτουργιών διαχείρισης στο εσωτερικό των κόμβων του δικτύου. Αντί για την παραδοσιακή εξωτερική διαχείριση των συστημάτων διαχείρισης η πλειονότητα των αρχιτεκτονικών εκθέτουν κάποιες δυνατότητες ενσωμάτωσης για να καταστεί δυνατή η διαχείριση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτή ήταν η βασική κινητήρια δύναμη. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις η στοχευμένη τεχνολογία αυτή καθεαυτή διευκόλυνε την ενσωμάτωση π.χ. με την αξιοποίηση της επαναρύθμισης των παραμέτρων των τερματικών σταθμών και / ή των κόμβων του δικτύου, όπως στο E3 project.

5.5 Ανάλυση αρχιτεκτονικών αυτόνομης διαχείρισης

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα σύνολο από αρχιτεκτονικές δικτύων που έχουν αναπτυχθεί τόσο από ευρωπαϊκούς όσο και από παγκόσμιους φορείς τυποποίησης καθώς και από μεμονωμένους ερευνητές. Η πλειοψηφία των επιλεγμένων αρχιτεκτονικών / πλαισίων έχουν κυρίως αναπτυχθεί σε ευρωπαϊκά ερευνητικά έργα.

Για λόγους πληρότητας παρουσιάζονται επίσης μερικές μεμονωμένες ερευνητικές πρωτοβουλίες και / ή αποκλειστικές λύσεις στην ανάλυσή μας.

5.6 Αρχιτεκτονική 4D

Η «4D»[79] αρχιτεκτονική πήρε την ονομασία της από τα 4 επίπεδα που την αποτελούν και είναι τα εξής: η Απόφαση (Decision), η Διάδοση (Dissemination) , η Ανακάλυψη (Discovery) και τα Δεδομένα (Data). Στα πλαίσια ορισμού της 4D όπως αναφέρεται και στην έκθεση των Albert Greenberg, Gisli Hjalmtysson, David A. Maltz, Andy Myers, Jennifer Rexford, Geoffrey Xie, Hong Yan, Jibin Zhan, and Hui Zhang παρατίθενται τρεις βασικές αρχές σχεδιασμού, που θα πρέπει να βασίζονται τη νέα αρχιτεκτονική και αυτές είναι οι ακόλουθες:

- **Στόχοι Επιπέδου Δικτύου:** Κάθε δίκτυο θα πρέπει να ρυθμίζει τις επιδόσεις του μέσω κάποιων συγκεκριμένων προδιαγραφών και απαιτήσεων. Η λειτουργία ενός ισχυρού δικτύου δεδομένων εξαρτάται από την ικανοποίηση των στόχων αυτών για τις επιδόσεις, την αξιοπιστία και την πολιτική που μπορεί (και πρέπει) να εκφράζονται ξεχωριστά από τα στοιχεία του δικτύου. Για παράδειγμα, ένας στόχος της μηχανικής της κυκλοφορίας θα μπορούσε να αναφέρεται ως “η διατήρηση όλων των Links σε επίπεδα χρήσης κάτω του 70%”.
- **Η ολική θέαση του δικτύου:** Η ιδέα της ολικής θέασης ενός δικτύου έχει ως στόχο να δημιουργήσει μια ολική εικόνα της κατάστασης του κάθε στοιχείου του. Η έγκαιρη, ακριβής, και ολοκληρωτική θέαση της τοπολογίας του καθώς και της υπάρχουσας κυκλοφορίας, είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία ενός ισχυρού δικτύου. Η ολική θέαση του δικτύου πρέπει να αντικατοπτρίζει με ακρίβεια την τρέχουσα κατάσταση του επιπέδου των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών σχετικά με κάθε συσκευή, συμπεριλαμβανομένου του ονόματος του, των περιορισμών των πόρων, και των φυσικών ιδιοτήτων.
- **Άμεσος Έλεγχος:** Άμεσος έλεγχος σημαίνει ότι το σύστημα ελέγχου και διαχείρισης θα πρέπει να έχει τόσο την ικανότητα και την αποκλειστική

ευθύνη για τον καθορισμό όλων των καταστάσεων στο επίπεδο των δεδομένων και να είναι ικανό να κατευθύνει την προώθηση των πακέτων.

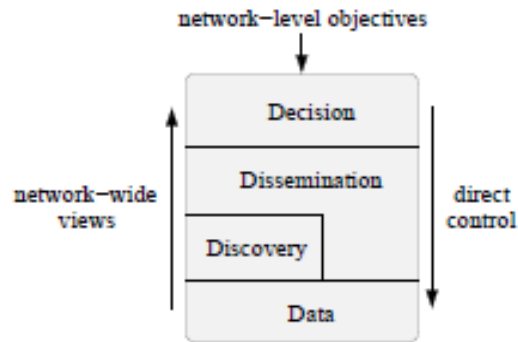
5.6.1 Δομή 4D Αρχιτεκτονικής Δικτύου

Στην αρχιτεκτονική 4D όλες οι αποφάσεις ελέγχου και διοίκησης γίνονται με ένα κεντρικοποιημένο τρόπο από τους διακομιστές (servers) που έχουν τον πλήρη έλεγχο των στοιχείων του δικτύου. Μόνο οι δρομολογητές (routers) και οι διακόπτες (switches) έχουν τη δυνατότητα να τρέξουν πρωτόκολλα ανακάλυψης του δικτύου και να αποδεχτούν τις οδηγίες που ελέγχουν τη συμπεριφορά του επιπέδου των δεδομένων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσκευών δικτύου που ρυθμίζουν τις παραμέτρους αυτόματα. Η αρχιτεκτονική μας περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα στοιχεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-4:

- **Το Επίπεδο Απόφασης :** Το επίπεδο απόφασης παίρνει όλες τις αποφάσεις για τον έλεγχο του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου της προσβασιμότητας (access control), την εξισορρόπηση φορτίου, τον έλεγχο πρόσβασης, ασφάλειας, και τη διαμόρφωση του λειτουργικού περιβάλλοντος. Το επίπεδο απόφασης λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο από άκρο σε άκρο της αρχιτεκτονικής του δικτύου, και χρησιμοποιεί αλγόριθμους για να μετατρέψει στόχους επιπέδου δικτύου (όπως για παράδειγμα την εξισορρόπηση φορτίων του δικτύου και απαιτήσεις βιωσιμότητας του) σε μια κατάσταση χειρισμού πακέτων η οποία πρέπει να ρυθμίσει τις παραμέτρους της στο επίπεδο των δεδομένων (data plane). Το επίπεδο απόφασης αποτελείται από πολλούς διακομιστές που ονομάζονται στοιχεία απόφασης τα οποία συνδέονται απευθείας στο δίκτυο.
- **Το Επίπεδο Διάδοσης:** Το επίπεδο διάδοσης παρέχει ένα ισχυρό και αποτελεσματικό υπόστρωμα επικοινωνίας που συνδέει δρομολογητές και διακόπτες με στοιχεία απόφασης (διακομιστές) . Ενώ οι πληροφορίες ελέγχου μπορούν να διέρχονται από το ίδιο σύνολο των φυσικών δεσμών με τα πακέτα δεδομένων, τα μονοπάτια διάδοσης διατηρούνται χωριστά από τα μονοπάτια δεδομένων, ώστε να μπορούν να λειτουργούν χωρίς να απαιτείται η διαμόρφωση των παραμέτρων ή η επιτυχής δημιουργία μονοπατιών στο επίπεδο των δεδομένων. Αντίθετα, όσον αφορά τα δίκτυα σήμερα, τα

δεδομένα διαχείρισης και ελέγχου μεταφέρονται από τα μονοπάτια δεδομένων και πρέπει να καθοριστούν από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης προηγουμένως. Το επίπεδο διάδοσης μεταφέρει πληροφορίες διαχείρισης που δημιουργούνται από το επίπεδο απόφασης και μεταφέρονται στο επίπεδο δεδομένων.

- **Το Επίπεδο Ανακάλυψης:** Το επίπεδο ανακάλυψης είναι υπεύθυνο για την ανακάλυψη των φυσικών συστατικών στοιχείων του δικτύου και τη δημιουργία λογικών αναγνωριστικών στοιχείων τα οποία θα τα εκπροσωπούν. Το επίπεδο ανακάλυψης ορίζει το πεδίο εφαρμογής των αναγνωριστικών, και πραγματοποιεί την αυτόματη ανακάλυψη και τη διαχείριση των σχέσεων μεταξύ τους. Αυτό περιλαμβάνει την ανακάλυψη σε επίπεδο δομικών στοιχείων (π.χ., τι είδους διεπαφές υπάρχουν σε ένα router), την γειτονική ανακάλυψη (π.χ. με τι άλλους δρομολογητές αυτή η διασύνδεση συνδέεται), και την ανακάλυψη χαρακτηριστικών συνδέσμου χαμηλότερου επιπέδου (π.χ., ποια είναι η ικανότητα της διασύνδεσης). Το επίπεδο της απόφασης χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που έμαθε από το επίπεδο της ανακάλυψης για τη δημιουργία μιας ολικής εικόνας του δικτύου.
- **Το Επίπεδο Δεδομένων:** Το επίπεδο των δεδομένων χειρίζεται μεμονωμένα πακέτα που προέρχονται από την κατάσταση εξόδου του επιπέδου απόφασης. Αυτή η κατάσταση περιλαμβάνει τον πίνακα προώθησης, τα φίλτρα πακέτων, τον προγραμματισμό σύνδεσης βαρών, και παραμέτρους της ουράς διαχείρισης, καθώς και σήραγγες και χαρτογραφήσεις μετάφρασης δικτυακών διευθύνσεων. Η λογική του επιπέδου των δεδομένων μπορεί επίσης να πραγματοποιεί τη συλλογή μετρήσεων για λογαριασμό του επιπέδου ανακάλυψης. Η λογική του επιπέδου απόφασης λειτουργεί από άκρη σε άκρη του δικτύου, με τη βοήθεια του επιπέδου ανακάλυψης για τη συλλογή των δεδομένων των μετρήσεων, για την κάλυψη των δικτυακών στόχων. Το επίπεδο απόφασης επίσης έχει άμεσο έλεγχο της λειτουργίας του επιπέδου δεδομένων.



Εικόνα 5-4: Αρχιτεκτονική Δικτύου 4D [79]

5.7 Αρχιτεκτονική ANA

Το Αυτόνομο Δίκτυο Αρχιτεκτονικής ,ANA[80](Autonomic Network Architecture) συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του (IST) Information Society Technology δίνοντας προτεραιότητα σε μελλοντικές και αναδυόμενες τεχνολογίες Future and Emerging Technologies (FET).

Η ANA στοχεύει στη διερεύνηση νέων τρόπων οργάνωσης και χρήσης των δικτύων πέρα από την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία του Διαδικτύου. Απώτερος στόχος είναι να σχεδιάσει και να αναπτύξει μία νέα αρχιτεκτονική δικτύου που να διαθέτει τις ιδιότητες του αυτόνομου δικτύου. Η αρχιτεκτονική εισάγει τα αυτο-χ χαρακτηριστικά της αυτόνομης δικτύωσης, όπως η αυτο-ρύθμιση, η αυτό-βελτιστοποίηση, η αυτό-παρακολούθηση, η αυτο-διαχείριση, η αυτο-ίαση και η αυτοπροστασία. Η αρχιτεκτονική καθορίζει τις ατομικές λειτουργίες και οντότητες που συνθέτουν το δίκτυο και καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ των διαφόρων δομικών στοιχείων.

5.7.1 Δομή της αρχιτεκτονικής ANA

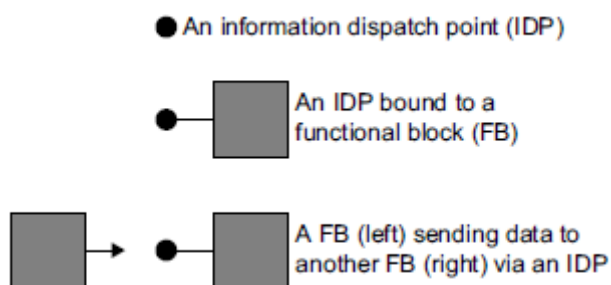
Αυτή η ενότητα εισάγει τα βασικά στοιχεία του ANA: το λειτουργικό μπλοκ, FB (functional block), το σημείο αποστολής πληροφοριών, IDP (information dispatch point), το διαμέρισμα (compartment) , και το κανάλι πληροφοριών (IC) information channel.

5.7.2 Βασικές Έννοιες Αρχιτεκτονικής ANA

- **Το λειτουργικό μπλοκ**

Στην ANA, οποιαδήποτε οντότητα πρωτοκόλλου που παράγει, επεξεργάζεται και διαβιβάζει πληροφορίες θεωρείται ως λειτουργικό μπλοκ (FB). Για παράδειγμα, μια στοίβα IP, μια ενότητα TCP, αλλά και μια λειτουργία κρυπτογράφησης ή μια μονάδα ελέγχου δικτύου μπορεί να θεωρηθούν ως λειτουργικά μπλοκ.

Το γεγονός ότι ένα FB μπορεί να εκπροσωπεί όλο το φάσμα από μια ατομική λειτουργία επεξεργασίας ως και μια ολόκληρη στοίβα δικτύου κάνει αυτή την ιδιότητα πολύ χρήσιμη. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι επιτρέπει την αλληλεπίδραση με άλλες οντότητες. Όπως φαίνεται στο σχήμα.5-5, ένα λειτουργικό μπλοκ (FB) αντιπροσωπεύεται από ένα γκρι σκιασμένο τετράγωνο.



Εικόνα 5-5 Λειτουργικό μπλοκ και Σημείο Αποστολής Πληροφοριών [80]

- **Σημείο Αποστολής Πληροφοριών**

Η βασική έννοια που εισάγεται στην ANA αρχιτεκτονική είναι το Σημείο Αποστολής Πληροφοριών, IDP (information dispatch point). Βασικά μέσα σε ένα κόμβο ANA, ένα λειτουργικό μπλοκ (FB) είναι πάντα προσβάσιμο μέσω ενός ή πολλών IDPs τα οποία είναι συνδεδεμένα με αυτό. Ωστόσο, η δέσμευση ενός IDP, είναι δυναμική και μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Οι συνδέσεις μεταξύ των IDPs και των FBs είναι αποθηκευμένες στον πίνακα προώθησης πυρήνα του κόμβου ANA όπου κάθε IDP αναγνωρίζεται από έναν κόμβο-τοπική ετικέτα. Όπως αναλύεται στη συνέχεια, κάθε IDP υποστηρίζει, επίσης, κάποιες δυναμικές πληροφορίες, όπως το FB με το οποίο είναι συνημμένο.

Το πλεονέκτημα των IDPs είναι διπλό: πρώτον, ενεργούν ως άξονες επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων FBs τα οποία λειτουργούν μέσα σε ένα κόμβο ANA και, δεύτερον, παρέχουν την απαιτούμενη ευελιξία που επιτρέπει την εκ νέου οργάνωση των διαδρομών επικοινωνίας.

Όπως φαίνεται στο σχήμα. 5-5 ένα σημείο αποστολής πληροφοριών (IDP) αντιπροσωπεύεται από μια μαύρη κουκκίδα. Όταν ένα IDP είναι δεσμευμένο σε ένα FB, η δέσμευση αντιπροσωπεύεται από μια γραμμή που συνδέει το IDP στο FB. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που αποστέλλονται, ή οποιαδήποτε δράση, που εφαρμόζεται στο IDP ουσιαστικά λαμβάνεται από το λειτουργικό μπλοκ στο οποίο είναι συνδεδεμένη. Όλες οι αλληλεπιδράσεις πάντα αντιμετωπίζονται μέσω ενός IDP. Στο Σχήμα. 5-5 η δράση της αποστολής ή της αλληλεπίδρασης με ένα IDP φαίνεται ως ένα βέλος.

- **Η έννοια του διαμερίσματος (Compartment)**

Η έννοια του «διαμερίσματος»(compartment), είναι μία από τις θεμελιώδεις έννοιες της ANA και δίνει τη δυνατότητα της "ενσωμάτωσης", των σημερινών δικτύων στα ήδη υπάρχοντα. Τα διαμερίσματα προσφέρουν τη δυνατότητα συνύπαρξης και των δύο τεχνολογιών δικτύου τόσο των παλιών όσο και των νέων. Για να υπάρχει συμβατότητα και διασυνεργασία επομένως με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα αποτελεί βασική προϋπόθεση για οποιαδήποτε νέα αρχιτεκτονική του δικτύου. Η έννοια του διαμερίσματος επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει τη διασυνεργασία μεταξύ ετερογενών διαμερισμάτων.

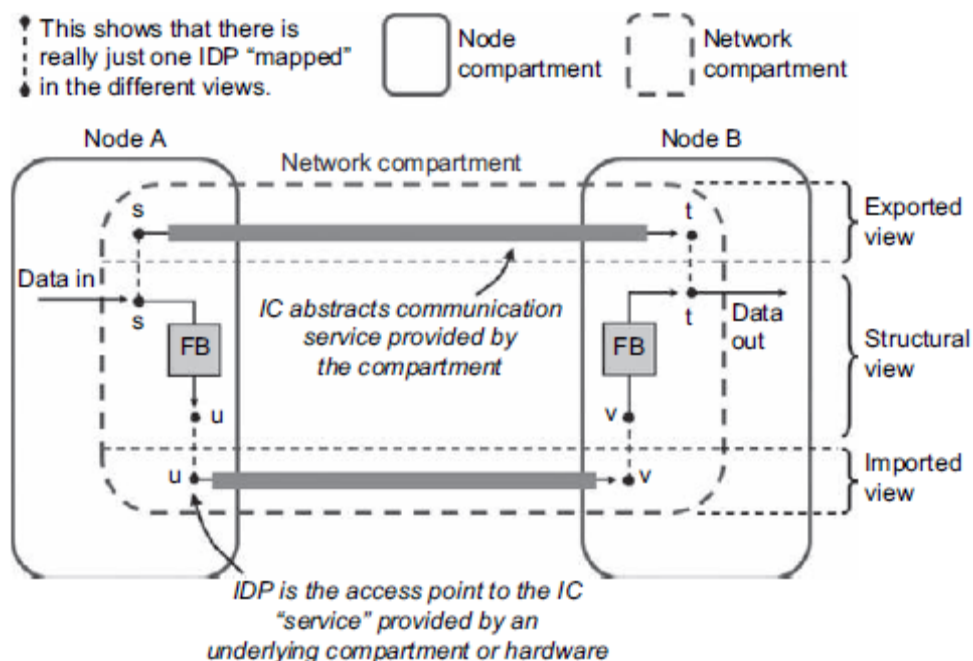
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η έννοια του διαμερίσματος δεν εμπλέκει αναγκαστικά πολλαπλούς κόμβους: Ένα διαμέρισμα μπορεί να περιλαμβάνει μόνο ένα ενιαίο κόμβο, για να παρέχει επικοινωνίες τοπικών κόμβων μεταξύ των οντοτήτων λογισμικού. Ως εκ τούτου θα κάνουμε τη διάκριση μεταξύ του δικτυακού διαμερίσματος, όταν πρόκειται για πολλαπλούς κόμβους, ενώ θα αναφερόμαστε στο διαμέρισμα κόμβο για να περιγράψουμε ένα συγκεκριμένο κατασκευάσμα της ANA αρχιτεκτονικής επιτρέποντας την πρόσβαση σε οντότητες λογισμικού τοπικών κόμβων.

Τα όρια του διαμερίσματος μπορεί να ορίζονται από έναν ορισμένο τύπο τεχνολογίας δικτύου ή με βάση ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο, αλλά και με βάση έναν τομέα πολιτικής. Η ANA προβλέπει ότι πολλά διαμερίσματα συνυπάρχουν και ότι τα διαμερίσματα είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν σε διάφορα επίπεδα.

Η πολυπλοκότητα και οι λεπτομέρειες της εσωτερικής λειτουργίας του εξαρτώνται από ίδιο το διαμέρισμα. Δηλαδή, τα διαμερίσματα είναι ελεύθερα να επιλέξουν εσωτερικά τους τύπους της αντιμετώπισης, της ονοματοδοσίας, της

δρομολόγησης, των μηχανισμών δικτύωσης, των πρωτόκολλων κλπ. Για παράδειγμα, στην ANA, τα τυπικά διαμερίσματα του δικτύου είναι: τμήμα μιας σύνδεσης Ethernet, το κοινό το δημόσιο IPv4 Διαδίκτυο, ένα ιδιωτικό IPv4 υποδίκτυο, τα DNS, peer-to-peer συστήματα όπως το Skype, και τα κατακευματισμένα δίκτυα προσωρινής αποθήκευσης ιστοσελίδων όπως το Akamai.

Συνήθως, οι οντότητες επικοινωνίας στο εσωτερικό ενός διαμερίσματος αντιπροσωπεύονται στην αρχιτεκτονική ANA μέσω λειτουργικών τμημάτων, FBs (functional blocks). Τα FBs μπορεί επίσης να θεωρηθούν ως στοιχεία επεξεργασίας ή λειτουργιών που φιλοξενούνται από έναν κόμβο ANA και αποτελούν την "στοίβα διαμερισμάτων".



Εικόνα 5-6. Η έννοια του Διαμερίσματος (Compartment) [80]

- **Το κανάλι πληροφοριών**

Συνήθως σε κάθε «διαμέρισμα» του δικτύου, ένα κατακευματισμένο σύνολο λειτουργικών τμημάτων (FBs) συνεργάζεται για την παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας με άλλα διαμερίσματα και εφαρμογές. Όποια και αν είναι η φύση των υπηρεσιών επικοινωνίας, αυτή έχει αντληθεί από ένα κανάλι πληροφόρησης, IC (information channel), το οποίο είναι προσβάσιμο μέσω ενός IDP.

Τα Κανάλια Πληροφοριών (ICs) μπορεί να έχουν ή φυσικό ή λογικό-εικονικό χαρακτήρα. Παραδείγματα φυσικών IC μπορεί είναι ένα καλώδιο, ένα ασύρματο μέσο ή η μνήμη. Μια λογική (ή εικονική) IC μπορεί να αντιπροσωπεύει μια αλυσίδα επεξεργασίας στοιχείων ή άλλων ICs. Η έννοια του IC περιλαμβάνει διάφορους τύπους καναλιών επικοινωνίας, που κυμαίνονται από σημείο σε σημείο συνδέσεις ή συνδέσεις πολλαπλών διαδρομών.

5.8 Αρχιτεκτονική CASCADAS

5.8.1 Τεχνική προσέγγιση της αρχιτεκτονικής

Το πρόγραμμα CASCADAS (Component-ware for Autonomic Situation-aware Communications, and Dynamically Adaptable Services) ξεκίνησε τη 1^η Ιανουαρίου του 2006 και χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή επιτροπή. Η τεχνική προσέγγιση του αρχιτεκτονικού μοντέλου CASCADAS[81] βασίζεται σε τέσσερις βασικές επιστημονικές αρχές:

- **Την κατάσταση αυτοεπίγνωσης**, είναι η δυνατότητα ανίχνευσης του περιβάλλοντος καθώς και η ικανότητα των ανάλογων αντιδράσεων του αρχιτεκτονικού μοντέλου στις αλλαγές αυτές. Χαρακτηριστικό της δυνατότητας αυτής είναι ότι προχωρεί σε τεχνικές για την οργάνωση του ποσού των κατανεμημένων πληροφοριών σε κατάλληλα, κατανεμημένα «δίκτυα γνώσης» γεγονός που υποστηρίζει την εύκολη διαμόρφωση των παραμέτρων του συστήματος. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στις υπηρεσίες να προσαρμόζονται αυτόνομα τη λογική τους. Στο αρχιτεκτονικό μοντέλο, αυτή η δυνατότητα παρέχεται μέσω μιας ειδικής υπηρεσίας η οποία επιτρέπει στα συστατικά στοιχεία του συστήματος την απόκτηση πληροφοριών επίγνωσης κατάστασης. Εσωτερικά, οι πληροφορίες διατίθενται από ένα δίκτυο γνώσης, KN (Knowledge Network), το οποίο είναι υπεύθυνο για το συσχετισμό μικρών κομματιών πληροφοριών αυτοεπίγνωσης.
- **Σημασιολογική Αυτο-οργάνωση**: Στο CASCADAS, η σημασιολογική αυτο-οργάνωση επιτρέπει στα ACEs (Autonomic Communication Elements) να προσδιορίζουν και να τεκμηριώνουν τοπικά σύνολα κανόνων μέσω των

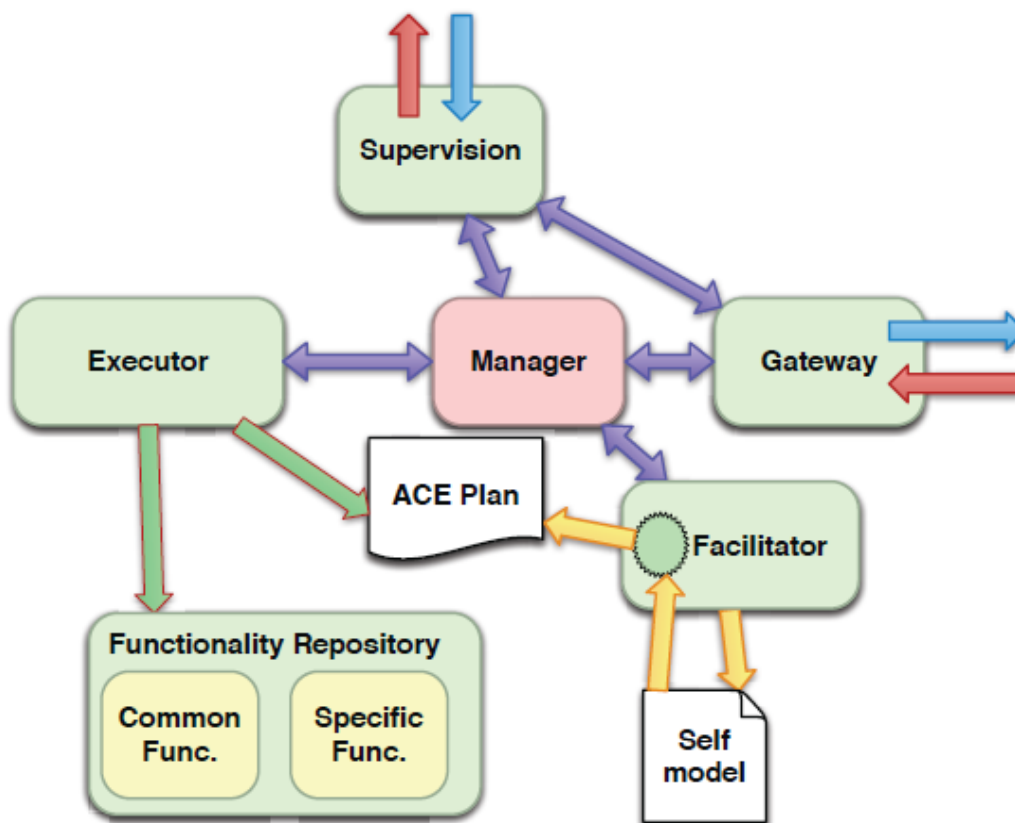
οποίων μπορούν να ομαδοποιούν και να σχηματίζουν πιο εξελιγμένες υπηρεσίες. Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνικές ομαδοποίησης, διαφοροποίησης, του συγχρονισμού και τεχνικές που αποσκοπούν στην ενίσχυση της οργανωτικής αυτονομίας. Με τον τρόπο αυτό, η επιθυμητή συλλογική συμπεριφορά μπορεί να προωθηθεί σε ομάδες από ACEs

- **Αυτο-ομοιότητα:** Για να υλοποιήσουμε την αρχιτεκτονική και να την κάνουμε διαχειρίσιμη, η επικοινωνιακή υποδομή και οι υπηρεσίες πρέπει να είναι πλήρως επεκτάσιμες. Μία πολλά υποσχόμενη επιλογή είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων της αυτο-ομοιότητας, με βάση την οποία επιμέρους συστατικά αυτο-οργανώνονται και αυτο-συγκεντρώνονται, έτσι ώστε να αναπαράγουν σχεδόν πανομοιότυπες δομές σε πολλαπλές κλίμακες. Η αυτο-ομοιότητα μπορεί πράγματι να αποτελέσει τον καταλύτη και για τη δημιουργία σύνθετων υπηρεσιών επικοινωνίας, και για τη διάρθρωση των τεράστιων και πολύπλευρων δικτύων γνώσης.
- **Αυτόνομη επίγνωση των στοιχείων:** Όλες οι παραπάνω αρχές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ένα μοντέλο "αυτόνομου στοιχείου", έτσι ώστε να παρέχετε τόσο ένα γενικό μοντέλο όσο και ένα ισχυρό πλαίσιο για τη δημιουργία αυτόνομων, αυτο-οργανωμένων, σημασιολογικών υπηρεσιών. Το στοιχείο αυτό του μοντέλου θα προμηθεύει τους βασικούς μηχανισμούς και τις διεπαφές για την υποστήριξη αυτο-ομοιότητας, αυτο-οργάνωσης και αυτοεπίγνωσης. Ως εκ τούτου, τα αυτόνομα στοιχεία της υπηρεσίας μας θα πρέπει να θεωρούνται ως ευρισκόμενα σε ένα δίκτυο γνώσης, εφοδιασμένο με μηχανισμούς για την αυτο-συγκέντρωση και σύνθεση, και να έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προωθηθεί η εμφάνιση του υψηλού επιπέδου συνόλων που παρουσιάζουν αυτο-ομοιότητα ανεξαρτήτως κλίμακας.

5.8.2 Το αυτόνομο στοιχείο επικοινωνίας, ACE

Το Αυτόνομο στοιχείο επικοινωνίας, ACE (Autonomic Communication Element) αποτελεί τον πυρήνα της αρχιτεκτονικής CASCADAS. Κομβικής σημασίας στο ACE είναι η έννοια του «οργάνου» το οποίο αποτελεί εσωτερικό στοιχείο του ACE. Συγκεκριμένα, τα όργανα είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν με άλλα όργανα, στο

πλαίσιο της λειτουργίας των ACEs. Κάθε όργανο είναι υπεύθυνο για ένα συγκεκριμένο είδος καθηκόντων, και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους επιτρέπει τη συγκρότηση ενός ACE ως αυτόνομου στοιχείου. Στο, Σχήμα 5-7 απεικονίζεται η συγκρότηση του ACE από ένα σύνολο οργάνων με σαφώς καθορισμένα καθήκοντα που οδηγεί σε ένα καλά δομημένο αρχιτεκτονικό μοντέλο.



Εικόνα 5-7 Το λειτουργικό μοντέλο ACE [81]

Το όργανο Πύλη (Gateway) είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση με τον εξωτερικό κόσμο. Για το σκοπό αυτό, δύο διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας χρησιμοποιούνται: ένα πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση χρησιμοποιείται για την αρχική ανακάλυψη των υπηρεσιών, με την υποστήριξη του REconfigurable Dispatching System (REDS). Από την άλλη πλευρά, ένα πρωτόκολλο σύνδεσης χρησιμοποιείται για όλες τις άλλες επικοινωνίες.

Ο Διαχειριστής (Manager) είναι υπεύθυνο για το χειρισμό της εσωτερικής επικοινωνίας μεταξύ των οργάνων και είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του κύκλου ζωής των ACEs.

Ο Συντονιστής (Facilitator) είναι το όργανο που παρέχει στο ACE δυνατότητες για αυτόνομη προσαρμογή της συμπεριφοράς του στις όποιες αλλαγές εντοπίζονται. Η προσαρμογή επιτυγχάνεται μέσω της τροποποίησης των υφισταμένων δυνατοτήτων όσο και με τη προσθήκη νέων.

Ο Εκτελεστής (Executor) καθορίζει την εξέλιξη του ACE. Ο κύριος ρόλος του είναι να εξασφαλίσει ότι κάθε απόφαση που λαμβάνεται από το Συντονιστή έχει τεθεί σε εφαρμογή με αποτελεσματικό τρόπο, εξασφαλίζοντας ότι οι συνθήκες επαληθεύονται, οι ενέργειες εκτελούνται και τα κατάλληλα μηνύματα ανταλλάσσονται. Η εκτέλεση των σχεδίων μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση συγκεκριμένων δυνατοτήτων που παρέχονται από το ACE. Στο βαθμό αυτό, ο Εκτελεστής (executor) ζητάει από το όργανο του Λειτουργικού Αποθετηρίου (Functionality Repository) την απόκτηση τους. Ο σκοπός αυτού του Αποθετηρίου είναι η αποθήκευση των δυνατοτήτων των ACEs. Το αποθετήριο χωρίζεται σε Κοινά λειτουργικό (δηλαδή είναι διαθέσιμο σε κάθε ACE) και Ειδικά Λειτουργικό (το οποίο είναι διαθέσιμο σε μερικά ACEs).

Εκτός από τα όργανα που περιγράφονται πιο πάνω, το πρωτότυπο μοντέλο έχει επεκταθεί προς την παροχή χαρακτηριστικών αυτο-ίασης μέσω ενός ειδικού οργάνου με στόχο την αλληλεπίδραση με τη βοήθεια ενός ευρέως διαδεδομένου πλαισίου εποπτείας. Η ενεργοποίηση αυτού του οργάνου, με το όνομα Επίβλεψη (Supervision), καθορίζει τη φύση του ACE, και προκαλεί δραστηριότητες παρακολούθησης σε συγκεκριμένα σημεία του ACE που αποσκοπούν στην εξακρίβωση της δικιάς του επιχειρησιακής κατάστασης.

5.9 Αρχιτεκτονική CONMan

Το CONMan[82], (*Complexity Oblivious Network Management*), είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου στην οποία η διεπαφή διαχείρισης των πρωτοκόλλων επιπέδου δεδομένων περιλαμβάνει ελάχιστες πληροφορίες πρωτοκόλλου. Αυτό περιορίζει τη λειτουργική πολυπλοκότητα των πρωτοκόλλων για την εφαρμογή τους και επιτρέπει στο επίπεδο διεπαφής του CONMan που δημιουργήθηκε από μερικά πρωτόκολλα και ένα εργαλείο διαχείρισης να μπορεί να επιτύχει υψηλού επιπέδου διαμόρφωση στόχων που βασίζονται στη παρούσα διεπαφή.

Παρακάτω παρουσιάζουμε τη δικτυακή αρχιτεκτονική του CONMan η οποία ακολουθεί τις 2 παρακάτω αρχές.

- **Λειτουργικά ανεξάρτητο, επίπεδο αυτοδιαχείρισης** . Το επίπεδο διαχείρισης θα πρέπει να είναι επιχειρησιακά ανεξάρτητα από το επίπεδο των δεδομένων και θα πρέπει να είναι σε θέση για λειτουργία χωρίς προ-ρυθμίσεις. Αυτό θα επιτρέψει ένα επίπεδο διαχείρισης που μπορεί να διαμορφώνει ένα δίκτυο από το μηδέν. Επίσης, η ικανότητα να διαχειρίζεται τις συσκευές εφόσον έχουν φυσική σύνδεση έχει επιπτώσεις σε όλες τις πτυχές της διαχείριση του δικτύου.
- **Ένα ενιαίο, απλό interface διαχείρισης για όλα τα πρωτόκολλα επιπέδου δεδομένων.** Η πολυπλοκότητα λειτουργίας των πρωτοκόλλων πρέπει να περιορίζεται κατά την εφαρμογή τους και οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη διαχείριση τους πρέπει να εκφραστούν μέσω μιας απλής διεπαφής διαχείρισης. Αυτό θέτει την ευθύνη για τη λεπτομερή κατανόηση της λειτουργίας του πρωτοκόλλου στον εφαρμογέα πρωτοκόλλου με παράλληλη μείωση της επιβάρυνσης για τις εφαρμογές διαχείρισης.

5.9.1 Δομή Αρχιτεκτονικής CONMan

Όπως αναφέρεται στη μελέτη των Hitesh Ballani και Paul Francis “CONMan: A Step Towards Network Manageability” η αρχιτεκτονική αποτελείται από συσκευές (δρομολογητές, διακόπτες, ξενοιστές(hosts), κ.λπ.) και έναν ή περισσότερους διαχειριστές δικτύου (NMs). Ένας NM είναι μια οντότητα λογισμικού που βρίσκεται σε μία από τις συσκευές του δικτύου και διαχειρίζεται το σύνολο ή μέρος αυτού. Κάθε συσκευή έχει ένα μοναδικό, ανεξάρτητο αναγνωριστικό (συσκευή-id) που μπορεί να μεταφέρει κρυπτογραφημένες έννοιες. Κάθε συσκευή διαθέτει επίσης έναν εσωτερικό πράκτορα διαχείρισης, MA (management agent) που είναι υπεύθυνος για τη συμμετοχή της συσκευής στο επίπεδο της διαχείρισης. Κάθε ενότητα (module) πρωτόκολλου έχει ένα όνομα καθώς και ένα αναγνωριστικό που είναι μοναδικό στο εσωτερικό της συσκευής. Παραδείγματα ονομάτων ενοτήτων (modules) είναι τα εξής "IPv4", "RFC791".

Το CONMan επιτυγχάνει την πρώτη αρχή χρησιμοποιώντας τα επίπεδα ανακάλυψης και διάδοσης της 4D αρχιτεκτονικής. Όλες οι συσκευές και οι NMs στέλνουν πλαίσια διαχείρισης στους άμεσα συνδεδεμένους γείτονες πάνω από τη φυσική σύνδεση. Πέρα από αυτό, κάθε NM περιοδικά στέλνει στο δίκτυο beacon

frames τα οποία συγκεντρώνουν τα αναγνωριστικά των συσκευών και παρέχουν σε κάθε συσκευή μια διαδρομή προς το σωστό NM. Αυτό επιτρέπει στις συσκευές να αποστέλλουν πλαίσια στο NM. Με τη σειρά του, ο NM μπορεί τώρα να βρει το δρόμο πίσω σε αυτές τις συσκευές και ως εκ τούτου, αυτό να αποτελέσει κανάλι διαχείρισης του NM. Σημειώστε ότι το κανάλι διαχείρισης δεν απαιτεί καμία προ-ρύθμιση και είναι εντελώς ανεξάρτητο από τα μονοπάτια επιπέδου των δεδομένων στο δίκτυο.

Όπως προαναφέρθηκε, ένα δεδομένο δίκτυο μπορεί να έχει περισσότερους από έναν NM. Επίσης, η βασική έννοια της διαχείρισης ενός καναλιού όπως παρουσιάζεται πιο πάνω απαιτεί διάφορες επεκτάσεις, έτσι ώστε να επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ των NMs τα οποία ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα.

Για να ικανοποιήσουν τη δεύτερη αρχή, οι Ενότητες πρωτόκολλου αυτο-περιγράφουν τους εαυτούς τους χρησιμοποιώντας μια γενική έννοια - αυτή είναι η Έννοια της Ενότητας (Module Abstraction). Η κινητήρια ιδέα πίσω από έννοια είναι να προσδιοριστούν τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία σχεδόν όλα τα πρωτόκολλα διαθέτουν. Κατά συνέπεια, μοντελοποιούμε κάθε πρωτόκολλο Ενότητας ως ένα κόμβο με συνδέσεις με άλλους κόμβους, με ορισμένες γενικές δυνατότητες μεταγωγής, με ορισμένες γενικές δυνατότητες φιλτραρίσματος, με ορισμένα χαρακτηριστικά απόδοσης και ασφάλειας, καθώς και με ορισμένες εξαρτήσεις. Αυτή η έννοια καθορίζει το τι είναι ικανό το πρωτόκολλο να κάνει και από τι εξαρτάται. Τέλος, όλα τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν μια γενική έννοια διαχωρίζουν τα δεδομένα και το επίπεδο διαχείρισης, έτσι ώστε να μπορούν να εξελιχθούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Ως εκ τούτου, η έννοια της Ενότητας είναι πολύ μεγάλης σημασίας για την αρχιτεκτονική μας.

Μαζί, το κανάλι της διαχείρισης και η έννοια της ενότητας επιτρέπουν στο NM τη διαχείριση του δικτύου βασιζόμενο σε υψηλού επιπέδου πολιτικές και στόχους με ένα δομημένο τρόπο. Κάθε συσκευή χρησιμοποιεί το κανάλι της διαχείρισης για να ενημερώνει το NM για τη συνδεσιμότητα του με όλες τις μονάδες που περιέχει. Αυτό δίνει στο NM την πραγματική εικόνα του δικτύου ενώ η έννοια της Ενότητας επιτρέπει στο NM να καταλάβει ακριβώς πώς τα πακέτα κινούνται στο δίκτυο.

Έχοντας τη πραγματική εικόνα του δικτύου και τους στόχους και πολιτικές υψηλού επιπέδου που πρέπει να πληρούνται, ο NM χτίζει ένα γράφημα Ενότητων σε

διάφορες συσκευές που να την ικανοποιούν. Αυτό το γράφημα συλλαμβάνει το πώς κάθε Ενότητα πρέπει να λειτουργεί και ως εκ τούτου, πώς κάθε Ενότητα θα πρέπει να ρυθμιστεί. Ο NM ρυθμίζει στη συνέχεια τις Ενότητες ανάλογα με το κανάλι της διαχείρισης. Έτσι, ο NM μπορεί να ρυθμίσει ολόκληρο το δίκτυο από το μηδέν με ελάχιστη απαίτηση για ειδικές γνώσεις πρωτοκόλλου.

5.9.2 Είδη και χαρακτηριστικά της Ενότητας (Module)

Υπάρχουν δύο είδη Ενοτήτων: η Ενότητα στο επίπεδο δεδομένων και η Ενότητα στο επίπεδο ελέγχου. Παραδείγματα Ενοτήτων στο επίπεδο δεδομένων περιλαμβάνουν τα TCP1, IP, Ethernet, ενώ τα παραδείγματα των Ενοτήτων στο επίπεδο ελέγχου περιλαμβάνουν αλγόριθμους δρομολόγησης και αλγόριθμους διαπραγμάτευσης όπως τον IKE, τον LCP, NCPs, τα IPSec και τα PPP's.

Οι Ενότητες δεδομένων συνδέονται μεταξύ τους για τη μεταφορά πακέτων δεδομένων. Αυτές οι συνδέσεις ονομάζονται σωλήνες(pipes). Οι Ενότητες ελέγχου συνδέονται με τις Ενότητες δεδομένων με τη χρήση σωλήνων για τη μεταφορά υπηρεσιών. Οι Ενότητες Δεδομένων μπορεί να απαιτούν τη χρήση μιας Ενότητας ελέγχου, κάτι που δημιουργεί εξαρτήσεις. Για παράδειγμα στο σχήμα 5-8 η ενότητα IPsec έχει μια σύνδεση με το IP και έχει μια σύνδεση με το IKE ο οποίο με τη σειρά του έχει μια σύνδεση με το UDP. Το σύνολο των σωληνώσεων, των ενοτήτων και των συνδέσεων-εξαρτήσεων περιγράφει στο σύνολο του τη λειτουργία του δικτύου.

Παρακάτω θα κάνουμε μια παρουσίαση των εννοιών του σωλήνα και των διαφόρων συνιστωσών της Ενότητας.

1)Οι Σωλήνες(pipes) : Οι σωλήνες συνδέουν τις Ενότητες με άλλες Ενότητες στην ίδια συσκευή. Αυτές οι σωληνώσεις είναι από σημείο-σε-σημείο, μόνο.

2)Το Όνομα Ενότητας: Το όνομα της ενότητας περιγράφεται ως <A,X,y> και αποτελείται από το όνομα του πρωτοκόλλου A, την ονομασία της συσκευής-id , την ενότητα-id y. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα ονόματα πρωτοκόλλων "IPv4", "RFC791" κ.α.

3) Ο διακόπτης(switch): Οι διακόπτες πραγματοποιούν την ικανότητα των ενοτήτων να περάσουν τα πακέτα μεταξύ των σωλήνων. Ένας διακόπτης μπορεί να είναι unicast ή multicast και μπορεί να έχει ένα μικρό αριθμό βασικών διαμορφώσεων.

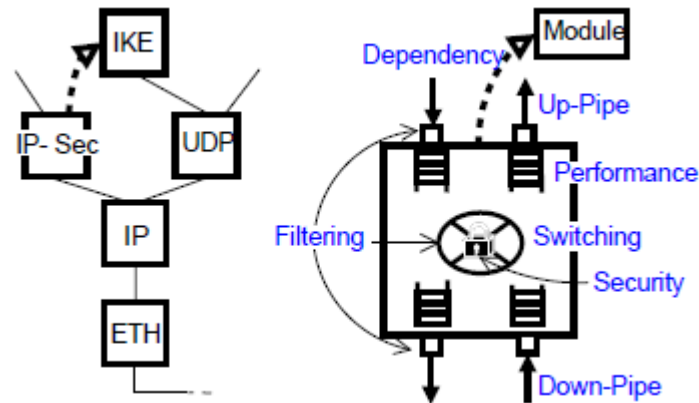
4) Τα Φίλτρα: Είναι συνήθη για τις Ενότητες, όπως για το πρωτόκολλο Ethernet ή IP για να φιλτράρουν, συχνά βασιζόμενα στον εξονυχιστικό έλεγχο των πακέτων δεδομένων. Οι προδιαγραφές του φίλτρου περιλαμβάνουν την ταξινόμηση με βάση το ποιο φιλτράρισμα μπορεί να γίνει. Για παράδειγμα, η Ενότητα μπορεί να είναι σε θέση να φιλτράρει πακέτα από συγκεκριμένες IP, TCP και HTTP ενότητες ή ακόμη και ειδικούς σωλήνες από αυτές τις Ενότητες.

5) Η Αναφορά Απόδοσης: Οι Ενότητες μπορεί να υποβάλουν έκθεση σχετικά με την απόδοση της συνδεσιμότητας τους σε καθεμιά από τις ομότιμες Ενότητες. Στη προκειμένη περίπτωση, η απόδοση ελέγχεται με βάση έξι χαρακτηριστικά - τη καθυστέρηση, το jitter, το εύρος ζώνης, το ρυθμό απωλειών, το ποσοστό σφαλμάτων και την παραγγελία

6) Οι επιδόσεις απωλειών: Τα περισσότερα πρωτόκολλα, ως μέρος της λειτουργίας τους, μπορούν να προσφέρουν επιδόσεις απωλειών. Για παράδειγμα, πολλά Πρωτόκολλα MAC στρώματος προσφέρουν προαιρετικές διορθώσεις σφάλματος οι οποίες αντιπροσωπεύουν μια απώλεια μεταξύ ρυθμού σφάλματος, αφενός, και εύρος ζώνης και καθυστέρησης από την άλλη.

7) Επιβολή Απόδοσης: Η ικανοποίηση των απαιτήσεων απόδοσης των εφαρμογών με τη χρήση των δυνατοτήτων εφαρμογής απόδοσης των συσκευών είναι ένα σημαντικό μέρος της διαχείρισης του δικτύου.

8) Η Ασφάλεια: Η Ενότητα μπορεί να έχει τα μέσα για να διασφαλίσει την ακεραιότητα, την αυθεντικότητα και την εμπιστευτικότητα (ή κάποιο συνδυασμό από τα 3) της επικοινωνίας της.



Εικόνα 5-8 Στα αριστερά: Γράφος που περιγράφει τη λειτουργία Συσκευής ή Δικτύου, στα δεξιά τα βασικά συστατικά της έννοιας της ενότητας (Module Abstraction) [82]

5.10 Η Ε3 Αρχιτεκτονική

Η ενότητα αυτή παρέχει μια περιγραφή του μοντέλου πληροφοριών Ε3[83] τη καθώς και τη λειτουργική αρχιτεκτονική του. Το μοντέλο πληροφοριών δίνει κάποια εικόνα για τις νέες έννοιες που εισάγονται σε ένα γνωστικό και αυτο-χ περιβάλλον δικτύου. Επίσης, παρουσιάζει μερικές από τις πληροφορίες που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τις λειτουργικές οντότητες.

5.10.1 Το Ε3 πληροφοριακό μοντέλο

Όπως αναφέρεται και στη μελέτη των Klaus Nolte, Alexandros Kaloxylos, Kostas Tsagkaris, Thomas Rosowski, Makis Stamatelatos, Aristi Galani, Eckard Bogenfeld, Panagis Magdalinos, Jens Tiemann, Jens Gebert, Paul Arnold, Dirk von Hugo, Nancy Alonistioti, Panagiotis Demestichas and Wolfgang Koenig “The E3 architecture: enabling future cellular networks with cognitive and self-x capabilities” το Ε3 είναι ένα μοντέλο που περιλαμβάνει τις ιδιότητες και τις λειτουργίες των διαφόρων οντοτήτων του δικτύου καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους. Είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε συγκεκριμένη εφαρμογή, πρωτόκολλο ή πλατφόρμα . Όπως αναφέρεται από το IETF μπορεί να οριστεί με βάση μια επίσημη γλώσσα. Περισσότερο συγκεκριμένα, διαγράμματα κλάσεων της Ενοποιημένης Γλώσσας μοντέλου, UML(Unified Model Language) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό ενός πληροφοριακού μοντέλου για να αντιπροσωπεύουν τις εμπλεκόμενες οντότητες και τις σχέσεις που έχουν οριστεί μεταξύ τους με ένα συγκεκριμένο γραφικό τρόπο.

5.10.2 Λειτουργική αρχιτεκτονική

Η λειτουργική αρχιτεκτονική του E3 αποτελείται από μια σειρά διαφορετικών λειτουργικών τμημάτων. Όπως προαναφέρθηκε, ξεκινήσαμε με τον καθορισμό ενός μεγάλου αριθμού περιπτώσεων χρήσης που συνέλαβαν τις βασικές έννοιες του επανασχεδιασμού καθώς και των αυτόνομων και γνωστικών ικανοτήτων. Στη συνέχεια, οι βασικές λειτουργίες που συνάγονται από τις περιπτώσεις χρήσης έχουν εντοπιστεί και ομαδοποιούνται ανάλογα με την ομοιότητα τους, με αποτέλεσμα τον ορισμό των λειτουργικών τμημάτων. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η χρήση των πληροφοριών του μοντέλου έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη. Τέλος, οι διασυνδέσεις μεταξύ των λειτουργικών τμημάτων έχουν εντοπισθεί και σχετικά μηνύματα έχουν καθοριστεί. Το Σχήμα 5-9 παρουσιάζει την λειτουργική αρχιτεκτονική για την περίπτωση ενός μόνο διαχειριστή. Το σχήμα παρουσιάζει τα λειτουργικά τμήματα του τερματικού σταθμού και την πλευρά του δικτύου.

Από την πλευρά του δικτύου, η δυναμική διαχείριση του ραδιοφάσματος, DSM (Dynamic Spectrum Management) παρέχει τα μέση και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος για τα διαφορετικά ασύρματα συστήματα. Η DSM παρέχει γνώσεις σχετικά με τις πολιτικές για την εκχώρηση των συχνοτήτων, οι οποίες πρέπει να περιλαμβάνουν το κανονιστικό πλαίσιο για τη χρήση φάσματος.

Ο Σχεδιασμός και η Διαχείριση της Δυναμικής αυτο-οργάνωσης του Δικτύου , DSNPM (Dynamic Self-organizing Network Planning and Management), παρέχει μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αποφάσεις για τις δράσεις αναδιαμόρφωσης ενός τμήματος του δικτύου, εξετάζοντας ορισμένες πληροφορίες εισόδου. Το DSNPM, για παράδειγμα, αποφασίζει για τη βέλτιστη διαμόρφωση ενός ευέλικτου σταθμού βάσης, FBS (Flexible Base Station). Τέτοιες αποφάσεις αναδιαμόρφωσης δίνονται στη συνέχεια στη μονάδα ελέγχου αναδιαμόρφωσης, RCM (Reconfiguration Control Module), η οποία στη συνέχεια είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση των αναδιαμορφώσεων των παραμέτρων.

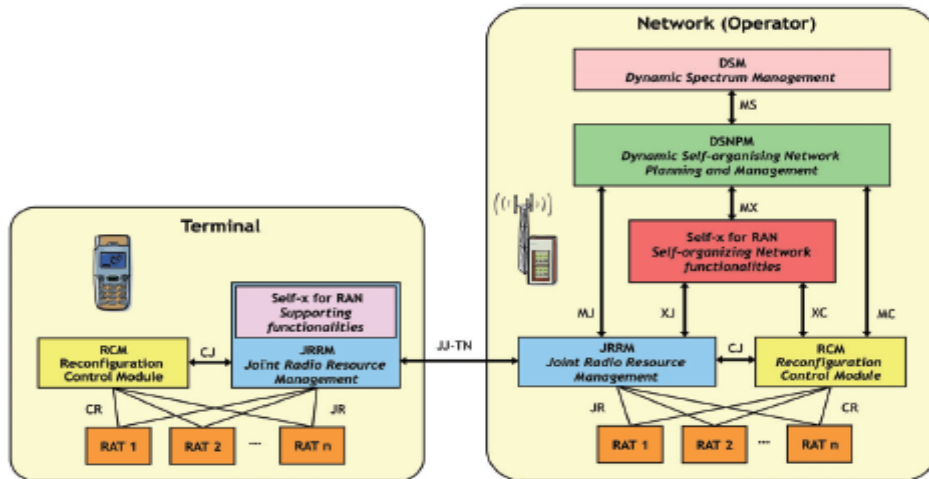
Η κοινή διαχείριση των ραδιο-πόρων ,JRRM (Joint radio resource management) εκτελεί την κοινή διαχείριση των ραδιο-πόρων που θα μπορούσαν να ανήκουν σε ετερογενή RATs. Επιλέγει την καλύτερη ραδιο-πρόσβαση για ένα συγκεκριμένο χρήστη με βάση το απαιτούμενο QoS, τις συνθήκες ασύρματης διάδοσης, τις συνθήκες του δικτύου πρόσβασης, τις προτιμήσεις των χρηστών και τις

πολιτικές του δικτύου. Η JRRM παρέχει επίσης πληροφορίες γειτονιάς για την αποτελεσματική ανακάλυψη της καλύτερης διαθέσιμης πρόσβασης.

Οι αυτο-x λειτουργίες για RANS επιτρέπουν την αυτοματοποίηση των επιχειρησιακών λειτουργιών του δικτύου. Στοχεύουν τις αυτό-οργανόμενες λειτουργικές δυνατότητες για τα RAN, κυρίως παρέχοντας βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες αποφάσεις. Αυτό το λειτουργικό τμήμα συνεργάζεται με το DSNPM, με την JRRM και με την RCM. Από την πλευρά του τερματικού σταθμού το δομικό στοιχείο χρησιμοποιείται κυρίως για την υποστήριξη των αυτο-x λειτουργιών των στοιχείων του δικτύου. Για να εξασφαλίσει την απλότητα στην αρχιτεκτονική μας, αποφασίσαμε ότι η επικοινωνία του με τον ομόλογό του φορέα από την πλευρά του δικτύου θα πρέπει να γίνει μέσω JRRM, αποφεύγοντας έτσι τον υπερβολικό και περιττό αριθμό των διασυνδέσεων μεταξύ του τερματικού και της πλευράς του δικτύου.

Το RCM είναι κυρίως υπεύθυνο για την εκτέλεση της αναδιαμόρφωσης ενός τερματικού σταθμού ή ενός σταθμού βάσης, ακολουθώντας τις οδηγίες που παρέχονται από τα άλλα δομικά στοιχεία, συνήθως τα DSNPM, τις αυτο-x λειτουργίες για RAN και JRRM. Απαιτείται σε αναδιαρθρωμένους τερματικούς σταθμούς, τους σταθμούς βάσης και προαιρετικά άλλα αναδιαρθρώσιμα στοιχεία του δικτύου, προκειμένου να επιβάλει και να υλοποιήσει την προσαρμογή τους στο τρέχον πλαίσιο.

Όλα αυτά τα λειτουργικά τμήματα ακολουθούν ένα γνωστικό βρόχο όπου ένα στοιχείο του συστήματος συνεχώς παρακολουθεί μια σειρά από μεταβλητές που σχετίζονται με το δίκτυο τις τερματικές συνθήκες και τις επιδόσεις. Αν συμβεί ένα γεγονός (π.χ. δεν υπάρχουν πλέον διαθέσιμοι πόροι για έναν BS, μια νέα ραδιο-τεχνολογία πρόσβασης ανιχνεύεται από ένα κινητό τερματικό, κλπ.), τότε το στοιχείο αξιολογεί τα δεδομένα που συλλέγονται και λαμβάνει μια απόφαση για να εκτελέσει τα κατάλληλα μέτρα. Στη συνέχεια, η δράση αυτή πραγματοποιείται και τα αποτελέσματα από μια τέτοια λειτουργία καταγράφονται και αξιολογούνται, προκειμένου να βελτιστοποιήσουν τυχόν μελλοντικές αποφάσεις.



Εικόνα 5-9. Λειτουργική αρχιτεκτονική Ε3 μοντέλου [83]

5.11 Η αρχιτεκτονική FOCALÉ

Η αρχιτεκτονική FOCALÉ[84] (Foundation – Observation – Comparison – Action – Learn – rEason) βασίζεται στην παρατήρηση ότι οι επιχειρησιακοί στόχοι, οι απαιτήσεις των χρηστών, και το περιβαλλοντικό πλαίσιο όλα αλλάζουν δυναμικά. Ως εκ τούτου, ένας ενιαίος βρόχος ελέγχου της διαχείρισης είναι ανεπαρκής. Χρειαζόμαστε επομένως να προσαρμόσουμε τη συμπεριφορά του βρόχου ελέγχου, έτσι ώστε να μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά το δίκτυο για να αντιδρά κατάλληλα σε οποιοσδήποτε υποτιθέμενες αλλαγές.

Ο βρόχος ελέγχου χρησιμοποιείται όταν δεν διαπιστώνονται ανωμαλίες (δηλαδή, όταν είτε η τρέχουσα κατάσταση είναι ίδια με την πραγματική κατάσταση, ή όταν η κατάσταση του διαχειριζόμενου στοιχείου κινείται προς την κατεύθυνση του επιδιωκόμενου στόχο της). Ένας βρόχος ελέγχου ρύθμισης (adjustment control loop) χρησιμοποιείται όταν μια ή περισσότερες ενέργειες αναδιαμόρφωσης των παραμέτρων πρέπει να εκτελούνται, ή νέες πολιτικές πρέπει να κωδικοποιηθούν και να αναπτυχθούν.

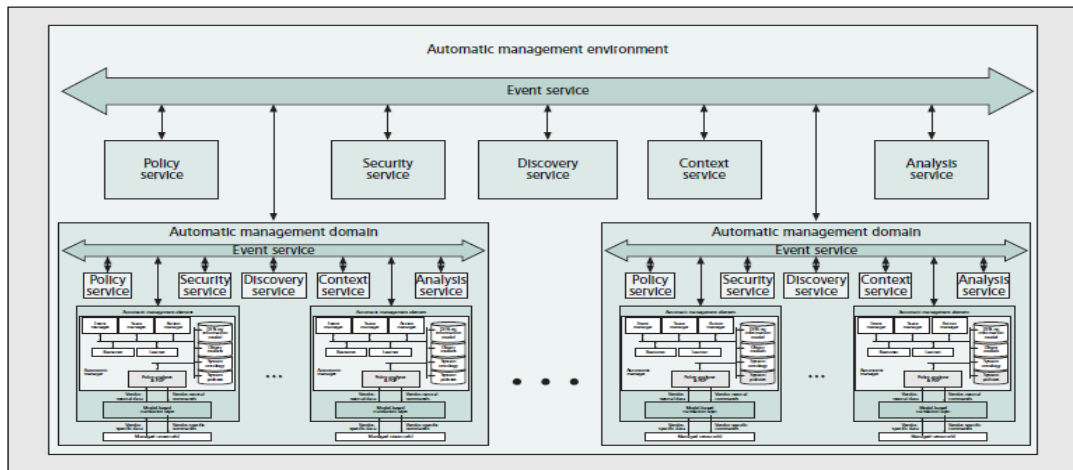
Φυσικά, δεν είναι λογικό να υποθέσουμε ότι μια και μόνο οντότητα μπορεί να διατηρήσει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την υλοποίηση των βρόχων ελέγχου του FOCALÉ για δίκτυα μεγάλης κλίμακας που περιέχουν μεγάλο αριθμό ετερογενών συσκευών. Ως εκ τούτου, το FOCALÉ πρέπει να είναι μια κατακεκολλημένη αρχιτεκτονική, στο βαθμό που ακόμη και μεμονωμένες συσκευές του δικτύου μπορούν να περιλαμβάνουν αυτόνομο λογισμικό διαχείρισης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η συντήρηση και η προσαρμογή των βρόχων ελέγχου. Για το σκοπό

αυτό, το FOCALÉ υποθέτει ότι οποιαδήποτε διαχείριση των πόρων μπορεί να συνδέεται με ένα Αυτόνομο Στοιχείο Διαχείρισης AME (Autonomic Management Element), διασυνδέοντας τη λειτουργικότητα του διαχειρίσιμου πόρου με τη λειτουργικότητα ενός Αυτόνομου Διαχειριστή, AM (Autonomic Manager) χρησιμοποιώντας ένα Στρώμα Μοντελοποιημένης Μετάφρασης MBTL (Modelbased Translation Layer). Όπως δείχνει η Εικ. 5-10, τα AMEs μπορούν να τροποποιηθούν έτσι ώστε να σχηματίσουν αρχικά έναν ενιαίο αυτόνομο τομέα διαχείρισης, AMD (Autonomic Management Domain) και στη συνέχεια ένα αυτόνομο περιβάλλον διαχείρισης.

Η αυτόνομη αρχιτεκτονική διαχείρισης περιλαμβάνει δύο κύρια λειτουργικά συστατικά: τον Αυτόνομο Διαχειριστή AM και το Στρώμα Μετάφρασης με Βάση το μοντέλο MBTL.

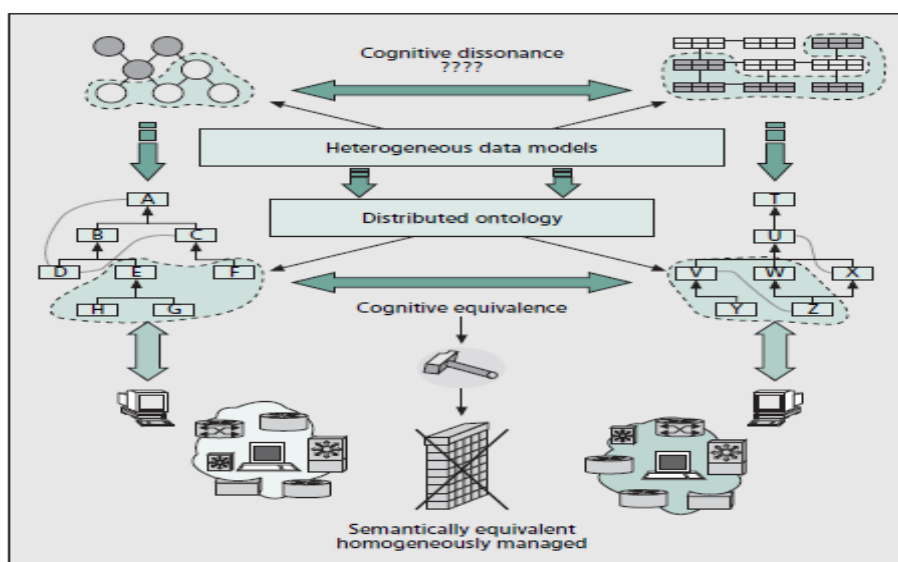
Ο AM είναι ανεξάρτητος από τις λειτουργίες του προμηθευτή της διαχείρισης ο οποίος διευκολύνει την ευκολότερη επικοινωνία μεταξύ των AMEs για το συντονισμό της λήψης αποφάσεων διαχείρισης. Κάθε AM πραγματοποιεί την αυτόνομη λειτουργία διαχείρισης, μέσω ενός διαχειριστή γεγονότων, ενός διαχειριστή κατάστασης, ενός διαχειριστή δράσης, ενός αιτιολογητή (reasoner), ενός «μαθητή» και ενός σημείου απόφασης πολιτικής, PDP (policy decision point). Όλα αυτά τα δευτερεύοντα στοιχεία μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να έχουν πρόσβαση στο μοντέλο πληροφοριών DEN-ng, ένα μοντέλο αντικειμένου που αντικατοπτρίζει την τρέχουσα κατάσταση των διαχειριζόμενων πόρων των AME's, η οντολογία του συστήματος, και το σύνολο των πολιτικών που έχουν αναπτυχθεί διέπουν τη διαχείριση των πόρων των AMEs.

Σε αντίθεση με τον AM, το MBTL πρέπει να έχει σε βάθος γνώση των διαχειρίσιμων πόρων για να μπορέσει να μεταφράσει τα ανά προμηθευτή συγκεκριμένα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από την διαχείριση των πόρων σε DEN-ng ουδέτερα δεδομένα για να περάσει στον αναλυτή της πολιτικής / PDP. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο DEN-ng μπορεί εύκολα να επεκταθεί με μοντέλα πληροφοριών και δεδομένων συγκεκριμένων προμηθευτών (π.χ., που αφορούν νέες κυκλοφορίες του περιβάλλοντος γραμμής εντολών (CLI)).



Εικόνα 5-10. Λειτουργική Αρχιτεκτονική Περιβάλλοντος Αυτόνομου Διαχειριστή FOCALE [84]

Η βάση της προσέγγισης MBTL απεικονίζεται στο σχήμα 5-11, το οποίο δείχνει ένα τυπικό δικτυακό σενάριο, στο οποίο διαφορετικές συσκευές με διαφορετικά μοντέλα δεδομένων διαχείρισης χρησιμοποιούν διαφορετικά εργαλεία. Αυτό δημιουργεί γνωστική ασυμφωνία μεταξύ των στοιχείων στα δύο μοντέλων δεδομένων. Επειδή δεν υπάρχει κοινό λεξιλόγιο με καθιερωμένες έννοιες που να καθορίζει δεδομένα και τις σχέσεις τους, είναι αδύνατο να συγκριθούν άμεσα δεδομένα από διαφορετικές πηγές, το οποίο με τη σειρά του σημαίνει ότι είναι αδύνατο να δούμε αν τα δεδομένα αυτά σχετίζονται μεταξύ τους.



Εικόνα 5-11. Μια προσέγγιση του MBTL[84]

5.12 Αρχιτεκτονική GANA

Η Αρχιτεκτονική του Γενικού Αυτόνομου Δικτύου, GANA (Generic Autonomic Network Architecture) [85], ορίζει τις θεμελιώδεις αρχές και κατευθυντήριες γραμμές που πρέπει να ακολουθούνται για την υλοποίηση του οράματος του αυτο-διαχειριζόμενου μελλοντικού Ίντερνετ. Σε αντίθεση με οποιαδήποτε άλλη από τις πιο γνωστές σήμερα προσεγγίσεις, όπως τις 4D, ANA, CONMan, FOCAL, η GANA εισάγει τα Αυτόνομα Εξαρτήματα Διαχείρισης (Autonomic Manager Components) για διαφορετικά επίπεδα λειτουργικότητας, τα οποία έχουν σχεδιαστεί ακολουθώντας την αρχή των Ιεραρχικών (Hierarchical), Ομοτιμών (Peering) και Αδερφικών (Sibling) σχέσεων μεταξύ τους μέσα σε ένα κόμβο / συσκευή ή δίκτυο. Επιπλέον, τα συστατικά αυτά είναι σε θέση να εκτελέσουν αυτόνομο έλεγχο για τη διαχείριση των συνδεδεμένων οντοτήτων τους, καθώς και συνεργασία μεταξύ τους προς την αυτο-διαχείριση των χαρακτηριστικών του δικτύου.

Καμία από τις προσεγγίσεις του σήμερα, όπως αυτές που προαναφέρθηκαν, δεν προτείνει ένα μοντέλο αναφοράς που να ορίζει και να κάνει διάκριση μεταξύ διαφορετικών Αυτόνομων Στοιχείων / Διαχειριστών και των συναφών Οντοτήτων Διαχείρισης μέσα στις αρχιτεκτονικές κόμβους / συσκευής και των δικτυακών αρχιτεκτονικών. Μεταξύ των στόχων της GANA είναι να αντιμετωπίσει τα ακόλουθα προβλήματα και θέματα:

- (1) Της πολυπλοκότητας, ορίζοντας κάποιες ιδέες για αυτόνομη λειτουργικότητα διαχείρισης σε τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα, όπως περιγράφονται αργότερα
- (2) Πώς μπορεί να διασφαλίσει ότι οι αποφάσεις-για τις αυτόνομες διαδικασίες μέσα σε μια συσκευή κόμβο / η το δίκτυο ως σύνολο, δεν δημιουργούν συγκρούσεις μεταξύ τους
- (3) Πώς να ενσωματώσει τις αρχές σχεδιασμού που επιτρέπουν "τη διαδικτυακή διαχείριση» και να καθορίσουν τα όρια και τους περιορισμούς για την εσωτερική διαχείριση δικτύου
- (4) Πώς να δεσμεύουν το είδος των προοπτικών που προσφέρονται στους τελικούς χρήστες ή διαχειριστές των αυτό- διαχειριζόμενων δικτύων, όπως οι διασυνδέσεις που έχουν ως στόχο να επιτρέψουν στους ανθρώπους να καθορίζουν στόχους που διέπουν τη λειτουργία του αυτόνομου δικτύου υπό τον έλεγχο του διοικητικού τομέα.

5.12.1 Δομή αρχιτεκτονικής GANA

Στη GANA, τα τέσσερα επίπεδα αρχιτεκτονικής για τα οποία τα Στοιχεία Λήψης Αποφάσεων, DMEs (Decision Making Elements), οι Διαχειριζόμενες Οντότητες, ME (Managed Entities) και οι Βρόχοι Ελέγχου μπορούν να σχεδιαστούν, περιγράφονται στη συνέχεια (μετά από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση):

Επίπεδο-1: Η αυτο-διαχείριση θεμάτων μπορεί να σχετίζεται με κάποια εφαρμογή ενός δικτυακού πρωτοκόλλου. Αυτό το επίπεδο είναι το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας της GANA και συνδέεται με την χρήση βρόχων ελέγχου, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5-12.

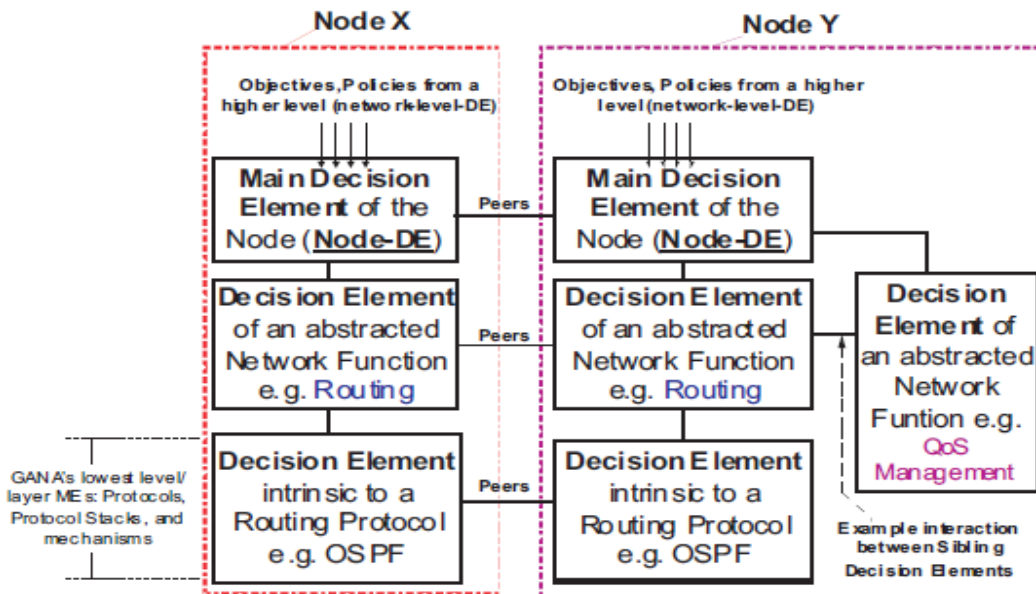
Επίπεδο-2: Οι έννοιες του Βρόχου Ελέγχου, των Οντοτήτων Λήψης Αποφάσεων, καθώς και τα σχετικά θέματα αυτο-διαχείρισης μπορεί να συσχετισθούν με ένα υψηλότερο επίπεδο λειτουργίας από ένα ενιαίο πρωτόκολλο (βλ. Σχήμα 5-12). Αυτό σημαίνει ότι οι πτυχές της αυτονομίας και αυτοδιαχείρισης μπορεί να αντιμετωπιστούν στο επίπεδο των "λειτουργιών του δικτύου", όπως η δρομολόγηση, η προώθηση, η διαχείριση της κινητικότητας, η διαχείριση του QoS, κλπ. Σε ένα τέτοιο επίπεδο, αυτό που διαχειρίζεται από ένα Στοιχείο Λήψης Αποφάσεων, DME (Decision Making Element) είναι μια ομάδα πρωτοκόλλων και μηχανισμών που είναι συλλογικά συνδεδεμένα και τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως ένα μπλοκ λειτουργιών, και θεωρούνται ότι ανήκουν στις δικτυακές λειτουργίες π.χ. όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και οι μηχανισμοί ενός κόμβου διαχειρίζονται από ένα Στοιχείο Λήψης Αποφάσεων DME (Διαχείριση Δρομολόγησης DE-Routing Management DE) η οποία έχει ανατεθεί και έχει σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται μόνο αυτά τα πρωτόκολλα και τους μηχανισμούς. Αυτό το επίπεδο, μας επιτρέπει να μιλήσουμε για αυτονομία των ιδιοτήτων αυτο-διαχείρισης σε αυτό το συγκεκριμένο επίπεδο λειτουργίας του δικτύου π.χ. αυτόνομη δρομολόγηση, αυτόνομη προώθηση, αυτόνομη διαχείριση QoS, αυτόνομη διαχείριση της κινητικότητας, στον κόμβο.

Επίπεδο-3: Σε υψηλότερο επίπεδο αυτόνομης δικτυακής λειτουργικότητας από το επίπεδο του "Δικτυακών Λειτουργιών" ενός κόμβου ή δικτύου, οι έννοιες του Βρόχου Ελέγχου, των Στοιχείων Λήψης Αποφάσεων, των Διαχειριζόμενων Οντοτήτων, καθώς και τα σχετικά θέματα αυτο-διαχείρισης μπορεί να συνδέονται με ένα σύστημα

στο σύνολό τους. Το σχήμα 5-12 παρουσιάζει ότι, σε αυτό το επίπεδο των ιδιοτήτων αυτο-διαχείρισης, στο χαμηλότερο επίπεδο Στοιχείων-Λήψης Αποφάσεων το οποίο λειτουργεί στο επίπεδο των λειτουργιών δικτύωσης γίνονται οι Αυτοματοποιημένες Διαχειριζόμενες Εργασίες του κύριου Στοιχείου Λήψης Αποφάσεων (DME) του συστήματος..

Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι σε μια αδερφική «sibling» οι οντότητες που δημιουργούνται ή διαχειρίζονται από το ίδιο ανώτερο επίπεδο Στοιχείων Λήψης Αποφάσεων (DME / DE). Αυτό σημαίνει ότι οι οντότητες που έχουν μια «αδερφική» σχέση μπορεί να δημιουργήσουν σχέσεις ανταλλαγής «κίνησης» στο πλαίσιο του αυτόνομου κόμβου ή με άλλες οντότητες που φιλοξενούνται από άλλους κόμβους στο δίκτυο, σύμφωνα με το πρωτόκολλο που καθορίζεται για τις ανάγκες τους έτσι ώστε να επικοινωνούν με άλλες DEs.

Επίπεδο-4: Το επόμενο επίπεδο της αυτο-διαχείρισης μετά το "επίπεδο κόμβου", είναι το "επίπεδο δικτύου". Στο επίπεδο αυτό μπορεί να υπάρχει ένα λογικό κεντρικοποιημένο Στοιχείο Λήψης Αποφάσεων, DME ή ένα απομονωμένο επίπεδο λήψης απόφασης , όπως αυτό που προτείνεται στην αρχιτεκτονική δικτύου 4D που ξέρει τους στόχους, ή τις πολιτικές που πρέπει να εφαρμόζονται από το σύνολο του δικτύου. Οι στόχοι ή οι πολιτικές μπορούν πραγματικά να απαιτήσουν από τα κύρια DMEs των κόμβων του δικτύου να καλύπτονται από το κεντρικοποιημένο DME . Αυτό μπορεί να συμβεί, προκειμένου το κεντρικοποιημένο DME να επηρεάσει ή να επιβάλει στα DMEs των κόμβων να λάβουν ορισμένες αποφάσεις ακολουθώντας συγκεκριμένες δικτυακές πολιτικές που μπορεί με τη σειρά τους να έχουν επίδραση στις επαγωγικές αλλαγές απόφασης στα χαμηλότερου επιπέδου DMEs μεμονωμένων κόμβων.



Εικόνα 5-12. Παραδείγματα Σχέσεων Ιεραρχίας, Σχέσεων Ανταλλαγής Κίνησης (Peering), Σχέσεων Αδελφότητας (Sibling) και διασυνδέσεων DE στην αρχιτεκτονική GANA [85]

5.13 Αρχιτεκτονική NESTOR

Το NESTOR[86] (Network Self Management and Organization) αποτελεί μια εξελικτική προσέγγιση που εισάγει μια αρχιτεκτονική για την αυτοματοποίηση των ρυθμίσεων, χρησιμοποιώντας σενάρια πολιτικής που έχουν πρόσβαση και διαχειρίζονται τα αντίστοιχα στοιχεία του δικτύου μέσω ενός Διακομιστή Πόρων Καταλόγου, RDS (Resource Directory Server). Συνδυάζει διάφορες τεχνικές από μοντελοποίηση αντικειμένων, συστήματα περιορισμού, ενεργές βάσεις δεδομένων και κατακεκομημένων συστημάτων.

5.13.1 Δομή Αρχιτεκτονικής NESTOR και Λειτουργίες

Η συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος NESTOR απεικονίζεται στο σχήμα. 5-13 όπως αναφέρεται στην εργασία των Yechiam Yemini, Member, IEEE, Alexander V. Konstantinou, and Danilo Florissi, NESTOR: An Architecture for Network Self-Management and Organization

Στο ανώτερο στρώμα, το Στρώμα Διαχειριστή (Manager Layer), οι Διαχειριστές εκτελούν τη διαμόρφωση του δικτύου με την πρόσβαση και το χειρισμό των δεδομένων σε ένα ενιαίο δικτυακό μοντέλο. Ένας διαχειριστής συστημάτων ή

ένας πράκτορας λογισμικού μπορεί να παίξουν το ρόλο του Διαχειριστή. Οι διαχειριστές συστημάτων μπορούν να έχουν πρόσβαση στο αποθετήριο διαδραστικά μέσω ενός εργαλείου διεπαφής, ή μπορούν να εκτελέσουν ειδικά προσαρμοσμένα προγράμματα για μια συγκεκριμένη εργασία. Οι διαχειριστές του NESTOR έχουν πρόσβαση στο αποθετήριο χρησιμοποιώντας το Directory Access Protocol (DAP), μια απομακρυσμένη διεπαφή που επιτρέπει στους Διαχειριστές, να την εκτελούν είτε τοπικά είτε εξ αποστάσεως.

Η Ενιαία Στρώση Διαμόρφωσης Αποθετηρίου (Unified Configuration Repository Layer) είναι υπεύθυνη για την υποστήριξη των προηγμένων λειτουργιών του μοντέλου. Ο Διακομιστής Καταλόγου Πόρων, RDS (Resource Directory Server) διατηρεί μια αποθήκη αντικειμένων. Αυτά τα αντικείμενα αντιπροσωπεύουν τη ρύθμιση των παραμέτρων στα δικτυακά στοιχεία καθώς και τις μετα-πληροφορίες που παρέχονται ή συνάγονται από πολλαπλές πηγές. Για παράδειγμα, ένα αντικείμενο όπως ένας ξενιστής δικτύου (host) μπορεί να περιέχει πληροφορίες, όπως η διαμόρφωση των διασυνδέσεων του δικτύου, οι μετα-πληροφορίες, όπως η ιδιοκτησία των ξενιστών, καθώς και αξίες όπως είναι το όνομα του ξενιστή, οι οποίες αναπαράγονται σε διάφορα αποθετήρια.

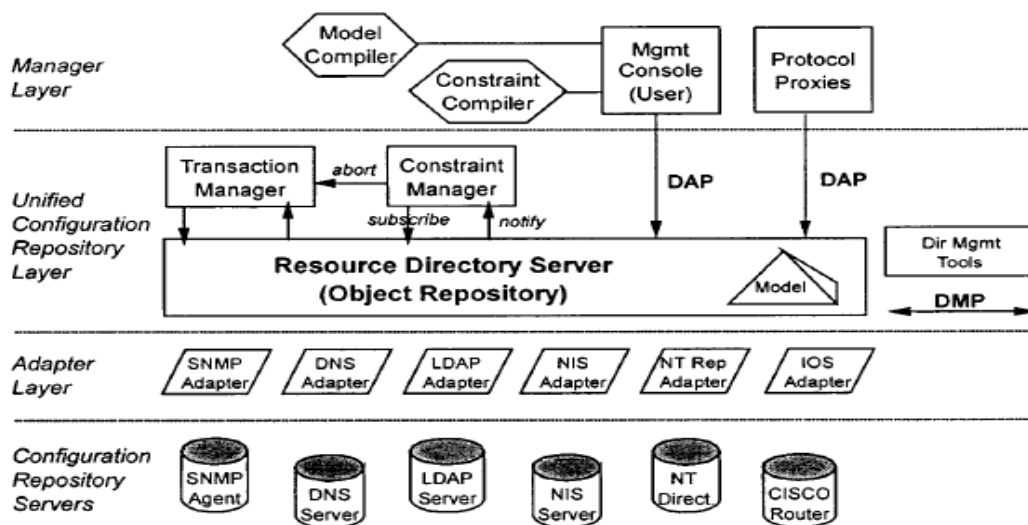
Το RDS αποθηκεύει και επιβάλλει δηλωτικές εκφράσεις στις τιμές των αντικειμένων του αποθετηρίου. Αλλαγές στην αρχική διαμόρφωση των στοιχείων του δικτύου, μπορεί να οδηγήσουν σε παραβίαση των εν λόγω περιορισμών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το RDS χρησιμοποιεί σενάρια πολιτικής για να καθοδηγήσουν τόσο τη διάδοση των αλλαγών της διαμόρφωσης μεταξύ σχετικών πόρων όσο και για την εξακρίβωση ότι οι αλλαγές αυτές πληρούν τους αντίστοιχους περιορισμούς. Τα σενάρια πολιτικής είναι διαχειριστές προγραμμάτων που τα επικαλούνται κατά τη παραβίαση περιορισμών.

Η διεπαφή DAP παρέχει λειτουργίες για τη δημιουργία, τη δέσμευση και στη ματαίωση των συναλλαγών, καθώς και εργασίες για τη δημιουργία, την ενημέρωση και διαγραφή αντικειμένων.

Το NESTOR χρησιμοποιεί πληρεξούσια πρωτόκολλα για τη διασύνδεση με τα δυναμικά πρωτόκολλα διάρθρωσης. Οι υπάρχοντες διακομιστές διαμόρφωση, όπως οι διακομιστές Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), αντικαθίσταται από πληρεξούσια πρωτόκολλα NESTOR. Οι πελάτες(clients) που συνδέονται στον πληρεξούσιο διακομιστή (proxy server) συνεχίζουν να λαμβάνουν την ίδια υπηρεσία με τη διαφορά ότι οι αλλαγές πραγματοποιούνται μέσω του αποθετηρίου NESTOR.

Ο Κατάλογος Πρωτόκολλου Διαχείρισης, DMP (Directory Management Protocol) χρησιμοποιείται μεταξύ των Διακομιστών Καταλόγου των Πόρων (Resource Directory Servers) του NESTOR για τη διανομή και την αναπαραγωγή, των αντικειμένων των πόρων. Η διανομή των υπηρεσιών του NESTOR είναι σημαντική για πολλούς λόγους. Πρώτον, υπάρχει τελικά ένα όριο στον αριθμό των διαμορφωμένων αντικείμενων που μπορεί να αποθηκευτούν και να διατηρηθούν σε ένα εξυπηρετητή. Δεύτερον, η ευρεία γεωγραφική διασπορά ορισμένων δικτύων απαιτεί διανομή για την έγκαιρη ανταπόκριση. Τέλος, επειδή η κατανομή των διοικητικών τομέων και η διανομή των υπηρεσιών μπορεί να μην είναι τεχνικά απαραίτητη σε διαφορετικές περιπτώσεις.

Το στρώμα Προσαρμογέα Πρωτόκολλου (The Adapter Layer Protocol) απλοποιεί την υλοποίηση των αντικειμένων στο αποθετήριο. Οι προσαρμογείς είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση πληροφοριών, προς τα εμπρός και προς τα πίσω, μεταξύ του κέντρου απόθεσης RDS και των διαχειριζόμενων στοιχείων. Η χρήση των προσαρμογέων πρωτοκόλλου χωρίζει το έργο της χαρτογράφησης των χαρακτηριστικών των ενοποιημένων μοντέλων με τα χαρακτηριστικά των πραγματικών στοιχείων, από τα πρωτόκολλα που πραγματοποιούν τη χαρτογράφηση. Το NESTOR υποστηρίζει προσαρμογείς από τα ακόλουθα βασικά πρωτόκολλα: SNMP, DNS, DHCP, LDAP, NAK / NAK, 1 NDS, 2 και Windows NT Ενεργός Directory.3



Εικόνα 5-13: Αρχιτεκτονική NESTOR [86]

5.14 Το πρότυπο IEEE P1900.4

Το IEEE P1900 [87] είναι μια νέα σειρά προτύπων που αναπτύχθηκε από την IEEE. Καθιερώθηκε το 2005 από την IEEE Communications Society και από την IEEE Electromagnetic Compatibility Society. Στόχος της είναι η ανάπτυξη προτύπων που αφορούν νέες τεχνολογίες και τεχνικές που αναπτύσσονται για τα δίκτυα ασύρματης μετάδοσης νέας γενιάς και για την προηγμένη διαχείριση του ραδιοφάσματος.

Το πεδίο εφαρμογής του IEEE P1900.4 προτύπου είναι ραδιο-συστήματα που δημιουργούν ένα σύνθετο δίκτυο πρόσβασης, το οποίο αποτελείται από πολλαπλά-Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης (RAN), τα οποία χρησιμοποιούν Διαφορετικές Τεχνολογίες Πρόσβασης (RAT). Οι συσκευές τελικού χρήστη είναι τερματικά τα οποία υποστηρίζουν διαφορετικές RATs, με δυνατότητες σύνδεσης πολλαπλής μετάδοσης, τα οποία διαθέτουν γνωστικές ικανότητες ασύρματης σύνδεσης, όπως η ικανότητα ευέλικτης λειτουργίας σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων. Το σύνθετο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης υποτίθεται ότι πρέπει να λειτουργεί είτε από έναν μόνο ή από περισσότερους διαχειριστές. Μέσα σε αυτό το πεδίο εφαρμογής, το πρότυπο παρέχει κοινά μέσα για να βελτιωθεί η συνολική συνθετική του ικανότητα και η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσω κατανεμημένης βελτιστοποίησης της χρήσης του ραδιοφάσματος και των ραδιο-πόρων. Βασικά, η βελτιστοποίηση βασίζεται σε μια συνεργατική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του σύνθετου δικτύου και των τερματικών σταθμών. Για το σκοπό αυτό, δύο οντότητες χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν αυτή τη συνεργασία: Ο Διαχειριστής Αναδιαμόρφωσης του Δικτύου, NRM (Network Reconfiguration manager) και ο Τερματικός Διαχειριστής Αναδιαμόρφωσης, TRM(Terminal Reconfiguration manager), ενώ η επικοινωνία μεταξύ NRM και TRM εξασφαλίζεται μέσω ενός λογικού καναλιού επικοινωνίας, του Ασύρματου Καταλύτη ,RE (Radio Enabler).

5.14.1 Απαιτήσεις Συστήματος

- **Επίγνωση του Περιεχομένου**

Πρέπει να υπάρχουν φορείς τόσο από τη πλευρά του δικτύου όσο και από τη πλευρά του τερματικού σταθμού υπεύθυνοι για τη συλλογή πληροφοριών πλαισίου. Η οντότητα συλλογής πληροφοριών πλαισίου από την πλευρά του δικτύου πρέπει να συλλέγει RAN σχετικές πληροφορίες πλαισίου, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν στόχους βελτιστοποίησης RAN ραδιο-πόρων, ειδικές μετρήσεις, δυνατότητες μεταφοράς και άλλες RAN πληροφορίες πλαισίου. Ο NRM θα πρέπει να είναι σε θέση να αποκτήσει σχετικές με το RAN πληροφορίες πλαισίου από την οντότητα συλλογής πληροφοριών η οποία μπορεί να λειτουργεί με ένα κατακευματισμένο τρόπο. Η οντότητα πληροφοριών πλαισίου από την πλευρά του τερματικού συλλέγει πληροφορίες σχετικά με το πλαίσιο, οι οποίες αποτελούνται από: τις προτιμήσεις του χρήστη, τα απαιτούμενα επίπεδα QoS, τις ικανότητες του τερματικού, τις μετρήσεις που σχετίζονται με το τερματικό, τις πληροφορίες Γεω-τοποθεσίας και από άλλες πληροφορίες πλαισίου που προέρχονται από τερματικά. Ο TRM θα πρέπει να είναι σε θέση να αποκτήσει πληροφορίες πλαισίου από την οντότητα συλλογής πληροφοριών από την πλευρά του τερματικού σταθμού.

Οι NRM και TRM ανταλλάσσουν πληροφορίες πλαισίου. Ο NRM μπορεί να στείλει αυτές τις πληροφορίες πλαισίου στον TRM περιοδικά σε απάντηση του αιτήματος από τον NRM. Ο TRM μπορεί να στείλει αυτές τις πληροφορίες πλαισίου στον NRM. Ομοίως, ο TRM μπορεί να στείλει τις πληροφορίες πλαισίου στον NRM περιοδικά σε απάντηση να τις ζητήσει από τον NRM σε περίπτωση κάποιου συμβάντος.

- **Η Λήψη Αποφάσεων**

Η λήψη αποφάσεων σε αυτό το πρότυπο βασίζεται στο πλαίσιο διαχείρισης με βάση τη πολιτική. Πρέπει να υπάρχει μια οντότητα στη πλευρά του δικτύου υπεύθυνη για τη δημιουργία πολιτικών εκχώρησης ραδιοφάσματος. Ο NRM θα πρέπει να είναι σε θέση να λάβει τις πολιτικές εκχώρησης του ραδιοφάσματος από αυτήν την οντότητα. Οι πολιτικές εκχώρησης ραδιοφάσματος μπορεί να εκφράζουν τις ανάγκες του χρήστη και τις δυνατότητες που σχετίζονται με την Εκχώρηση Απευθείας Συχνότητας (Direct Sequence). Ο NRM θα πρέπει να συμμορφώνει τις αποφάσεις ανάθεσης DS σύμφωνα με τις πολιτικές εκχώρησης ραδιοφάσματος και θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες σύμφωνα με τις αποφάσεις DS Ανάθεσης στην πλευρά του δικτύου εντός του ελέγχου του διαχειριστή του δικτύου, η οποία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία των πολιτικών εκχώρησης ραδιοφάσματος.

- **Η αναδιαμόρφωση παραμέτρων**

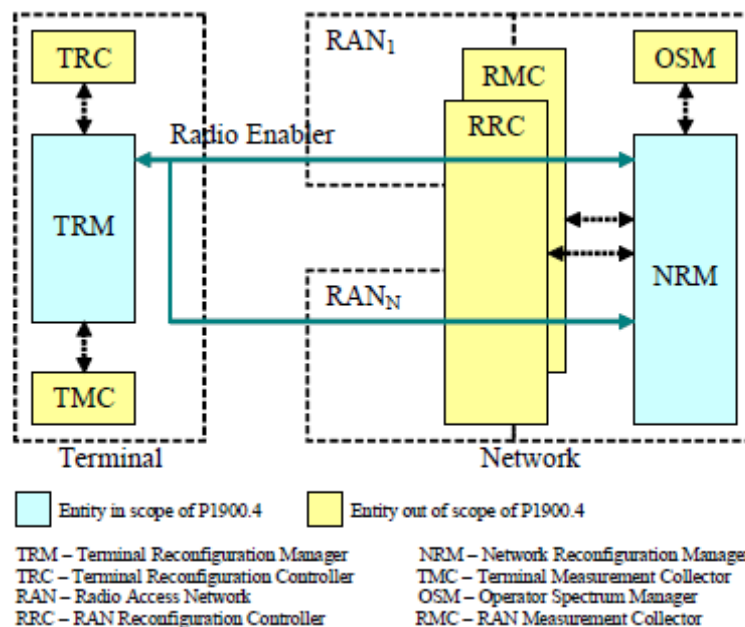
Πρέπει να υπάρχουν οντότητες στην πλευρά του δικτύου και την πλευρά του τερματικού σταθμού υπεύθυνες για την αναδιαμόρφωση παραμέτρων. Οι NRMs θα πρέπει να αποστέλλουν αιτήσεις στις οντότητες αναδιαμόρφωσης παραμέτρων από την πλευρά του δικτύου. Ακολουθώντας τις ληφθέντες αιτήσεις αναδιαμόρφωσης, οι οντότητες αναδιαμόρφωσης από την πλευρά του δικτύου θα ζητούν τον έλεγχο και την αναδιαμόρφωση των RANS. Οι TRMs θα αποστέλλουν αιτήσεις αναδιαμόρφωσης στις οντότητες αναδιαμόρφωσης από την πλευρά του τερματικού σταθμού. Ακολουθώντας τις λαμβανόμενες αιτήσεις αναδιαμόρφωσης, οι υπεύθυνες οντότητες από τη πλευρά του τερματικού θα ζητούν τον έλεγχο και την αναδιαμόρφωση του τερματικού.

5.14.2 Η αρχιτεκτονική του Συστήματος

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος που περιγράψαμε πριν, το σχήμα 5-14 δείχνει την τρέχουσα αρχιτεκτονική του συστήματος P1900.4 όπως προτείνεται και στην εργασία των Soodesh Buljore, Vincent Merat, Hiroshi Harada, Stanislav Filin, Paul Houze, Kostas Tsagkaris, Vladimir Ivanov, Klaus Nolte, Tim Farnham, Oliver Holland “IEEE P1900.4 System Overview on Architecture and Enablers for Optimised Radio and Spectrum resource usage”. Ο κύριος στόχος είναι ο καθορισμός του συνολικού σχεδιασμού του συστήματος P1900.4, καθώς και η σχέση μεταξύ των διαφόρων δομικών στοιχείων και των αντίστοιχων διεπαφών που σχετίζονται με τη λειτουργική αρχιτεκτονική.

Ως εκ τούτου, προσδιορίζονται οι ακόλουθες οντότητες. Ο NRM είναι ο φορέας που διαχειρίζεται το Σύνθετο Ασύρματο Δίκτυο και τις τερματικές συσκευές για τη κατανομημένη δικτυακή τερματική βελτιστοποίηση του ραδιο-φάσματος και των ραδιο-πόρων. Ο TRM είναι η οντότητα που διαχειρίζεται τον τερματικό σταθμό για τη κατανομημένη δικτυακή τερματική βελτιστοποίηση του ραδιο-φάσματος και των ραδιο-πόρων. Αυτό γίνεται στο πλαίσιο που ορίζεται από τον NRM σύμφωνα με τις προτιμήσεις του χρήστη, τις διαθέσιμες πληροφορίες πλαισίου και τους περιορισμούς χρήσης των ραδιο-πόρων.

Ο Ελεγκτής Αναδιαμόρφωσης RAN, RRC (RAN Reconfiguration Controller) είναι η οντότητα που δίνει τη δυνατότητα στον NRM επαναδιαμόρφωσης των RANS. Ο Συλλέκτης Μετρήσεων RAN ,RMC (RAN Measurement Collector), είναι η οντότητα που παρέχει σχετικά με το RAN αποτελέσματα μετρήσεων στο NRM. Ο Τερματικός Συλλέκτης Μετρήσεων ,TMC (Terminal Measurement Collector) είναι η οντότητα που συλλέγει αποτελέσματα μετρήσεων που σχετίζονται με το τερματικό και τα παρέχει στον TRM. Ο RE είναι το λογικό κανάλι επικοινωνίας μεταξύ NRM και TRM. Ο RE μπορεί να αντιστοιχιστεί σε ένα ή περισσότερα RANS τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων και / ή σε ένα ή περισσότερα πρόσφατα ορισμένα, RANS.



Εικόνα 5-14 Αρχιτεκτονική συστήματος [87]

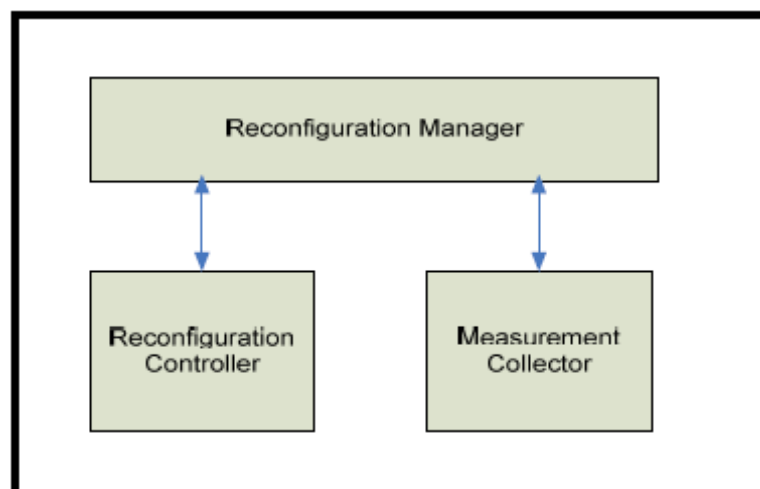
Οι διασυνδέσεις ορίζονται μεταξύ των NRM και TRM, NRM και RRC, NRM και RMC, TRM και TMC, και TRM και TRC. Ο πίνακας I παρουσιάζει τον τύπο των πληροφοριών που πρέπει να ανταλλάσσονται δια μέσω κάθε μιας από αυτές τις διασυνδέσεις.

Interface between NRM and TRM	
From NRM to TRM	<ul style="list-style-type: none"> • Radio Resource Selection policies • RAN related context information
From TRM to NRM	<ul style="list-style-type: none"> • user's preferences • context information 1
Interface between NRM and RRC	
From NRM to RRC	<ul style="list-style-type: none"> • RAN reconfiguration requests
From RRC and NRM	<ul style="list-style-type: none"> • RAN configuration status information
Interface between NRM and RMC	
From NRM to RMC	<ul style="list-style-type: none"> • RANs-related measurement requests
From RMC to NRM	<ul style="list-style-type: none"> • RANs-related measurement results
Interface between TRM and TMC	
From TRM to TMC	<ul style="list-style-type: none"> • terminal-related measurement requests
From TMC to TRM	<ul style="list-style-type: none"> • terminal-related measurement results
Interface between TRM and TRC	
From TRM to TRC	<ul style="list-style-type: none"> • terminal reconfiguration requests
From TRC to TRM	<ul style="list-style-type: none"> • terminal reconfiguration responses

Πίνακας 2. Ανταλλαγή Πληροφοριών μέσω Διεπαφών [87]

5.14.3 Μοντέλο Αναφοράς

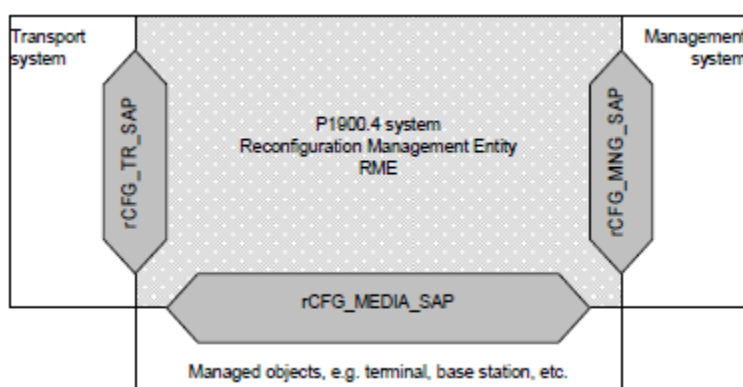
Το IEEE 1900.4 σύστημα περιλαμβάνει τον Διαχειριστή Αναδιαμόρφωσης (Reconfiguration Manager), τον Ελεγκτή Αναδιαμόρφωσης (Reconfiguration Controller), και τον Συλλέκτη Μετρήσεων (Measurement Collector) (βλ. Σχήμα. 5-15). Όλα μαζί αποτελούν τον Διαχειριστικό Φορέα Αναδιαμόρφωσης, RME (Reconfiguration Management Entity), ως ένα ολοκληρωμένο αντικείμενο διαχείρισης.



Εικόνα 5-15. Το IEEE 1900.4 σύστημα [87]

Από την πλευρά του τερματικού, ο Διαχειριστής Αναδιαμόρφωσης αντιστοιχεί σε έναν TRM, ο Ελεγκτής Αναδιαμόρφωσης αντιστοιχεί σε ένα TRC, και ο Συλλέκτης Μετρήσεων, αντιστοιχεί σε έναν TMC. Από την πλευρά του δικτύου, ο Διαχειριστής Αναδιαμόρφωσης αντιστοιχεί σε έναν NRM, ο ελεγκτής Αναδιαμόρφωσης αντιστοιχεί σε έναν RRC, και ο Συλλέκτης μετρήσεων αντιστοιχεί σε έναν RMC.

Το IEEE 1900,4 σύστημα μοντελοποιείται ως μια Οντότητα Διαχείρισης Εφαρμογών του Συστήματος, SMAE (System Management Application Entity). Ο RME, όπως και η SMAE, βρίσκονται στο επίπεδο εφαρμογής και έχουν πρόσβαση σε κάθε στρώμα του μοντέλου αναφοράς OSI της RME όπως φαίνεται στο σχήμα. 5-16.



Εικόνα 5-16. Το 1900.4 Μοντέλο Αναφοράς [87]

5.15 Αρχιτεκτονική SON

Η ιδέα του αυτό-οργανόμενου δικτύου, SON (Self-Organizing Network) αποτελεί μια πρωτοβουλία του 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και της ομάδας NGMN (Next Generation Mobile Networks). Βάση του αποτελεί η συλλογιστική ότι τα μελλοντικά Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης, RANs (Radio Access Networks) θα πρέπει να προγραμματίζονται, να ρυθμίζουν τις παραμέτρους τους, να είναι πιο εύκολα στη διαχείρισή τους, να βελτιώνονται πιο αποτελεσματικά και να αυτό-θεραπεύονται καλύτερα σε σύγκριση με το παρελθόν.

Το SON έχει κωδικοποιηθεί από την έκδοση 8 (Release 8) της 3GPP σε μια σειρά από πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων των 36,902 [90]. Η πρώτη τεχνολογία που κάνει χρήση των χαρακτηριστικών SON είναι η μακροπρόθεσμη εξέλιξη, LTE(Long Term Evolution) του UMTS. Η LTE υποστηρίζει SON χαρακτηριστικά

όπως η ανίχνευση Αυτόματης Συσχέτισης Γείτονα, ANR(Automatic Neighbor Relation), η οποίο αποτελεί το ορόσημο για τη Rel.8 της 3GPP LTE.

Όπως κάθε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, έτσι και το σύστημα LTE (Long Term Evolution) πρέπει να είναι εύκολα διαχειρίσιμο. Από τη στιγμή που το LTE είναι μια εξέλιξη του UMTS, η διαχείριση θα πρέπει επίσης να προκύπτει και να εξελίσσεται από αυτό. Το ζητούμενο στη περίπτωση αυτή είναι η απλοποίησή του. Λύση στις παραπάνω προκλήσεις αποτελεί το SON το οποίο θεωρείται ως ένα πολύ καλό εργαλείο των παρόχων για την εύκολη, οικονομική και γρήγορη οργάνωση του δικτύου.

5.15.1 Λόγοι ανάπτυξης του SON

Οι κυριότεροι λόγοι για την ανάπτυξη του SON είναι οι εξής:

- Η ραγδαία αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων νέας γενιάς η οποία έχει οδηγήσει στην αύξηση του αριθμού και της πολυπλοκότητας της δομής των δικτυακών παραμέτρων.
- Η ταχύτατη ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων η οποία έχει οδηγήσει σε παράλληλες λειτουργίες τις υποδομές των 2G,3G και EPC δικτύων.
- Ο ταχύτατα αυξανόμενος αριθμός των σταθμών βάσης (ειδικά των e-NodeBs) οι οποίοι πρέπει να ρυθμίζονται και να διαχειρίζονται με τη μικρότερο δυνατή ανθρώπινη επέμβαση. Το SON στοχεύει στην αυτόματη ρύθμιση των παραμέτρων του δικτύου έτσι ώστε η ανθρώπινη παρέμβαση, η οποία είναι επιρρεπής σε σφάλματα, να μειωθεί και η λειτουργικότητα του δικτύου να αυξηθεί.

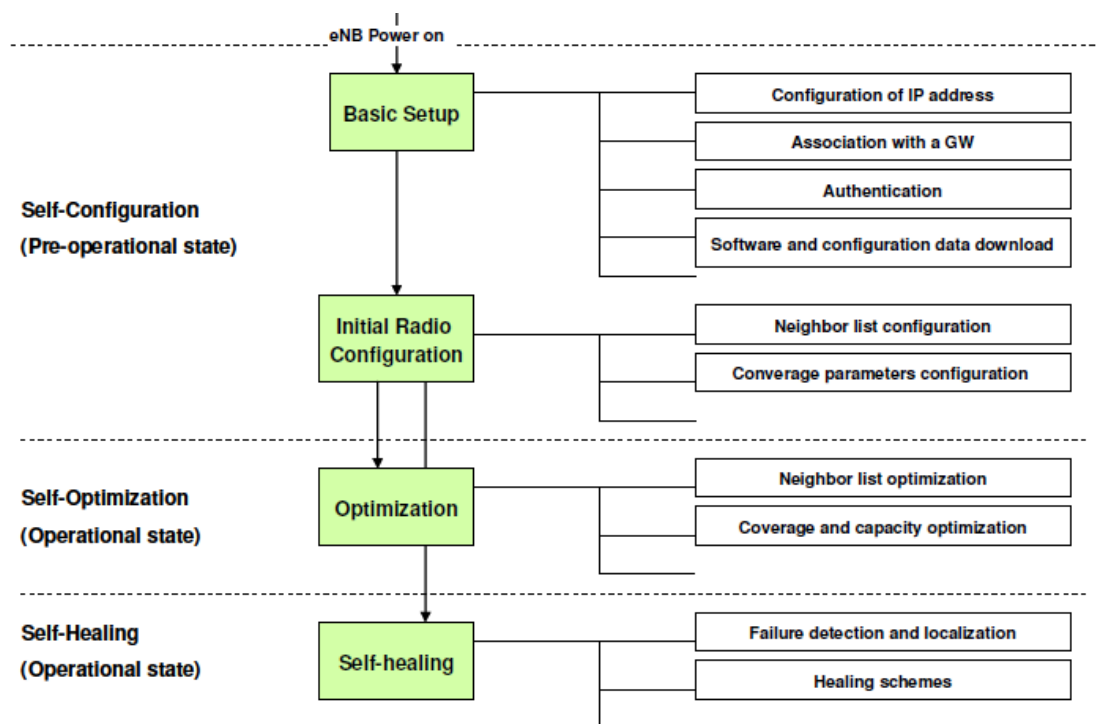
5.15.2 Βασικές Λειτουργίες του SON

Η εφαρμογή των λειτουργιών του SON μπορεί να ανακουφίσει σημαντικά τη πολυπλοκότητα του δικτύου και να επιταχύνει τις λειτουργικές διαδικασίες. Το SON στοχεύει στη βελτίωση τόσο της διαχείρισης του δικτύου όσο και στη βελτιστοποίησή του. Η έρευνα για το SON είναι σε εξέλιξη εδώ και αρκετά χρόνια και η ανάπτυξη νέων προτύπων, όπως το 3GPP LTE έχει δώσει μια νέα ώθηση στις ερευνητικές δραστηριότητες γύρω από αυτό. Οι σημαντικότερες λειτουργίες του SON

δεν είναι διαφορετικές από αυτές των υπολοίπων ANMSs και συνοπτικά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η αυτο-διαμόρφωση παραμέτρων (Self-Configuration)
- Η αυτο-βελτιστοποίηση (Self-Optimization)
- Η αυτο-διάγνωση (Self-Diagnosis)
- Η αυτο-αποκατάσταση (Self-Healing)
- Η αυτο-προστασία (Self-Protection)

Μερικές από τις σημαντικότερες λειτουργίες του SON παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-17.



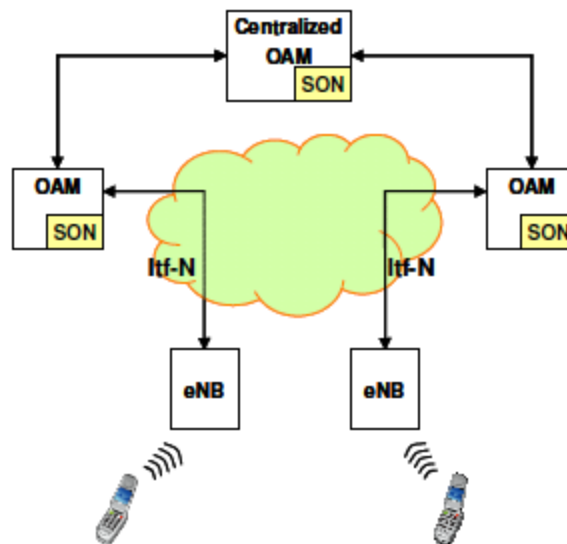
Εικόνα 5-17: Το πλαίσιο λειτουργίας του SON[91]

5.15.3 Αρχιτεκτονικές SON

Ανάλογα με τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται, το SON μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: Κεντροποιημένο SON, Κατανεμημένο SON και Υβριδικό SON.

5.15.3.1 Κεντροποιημένο SON (Centralized SON)

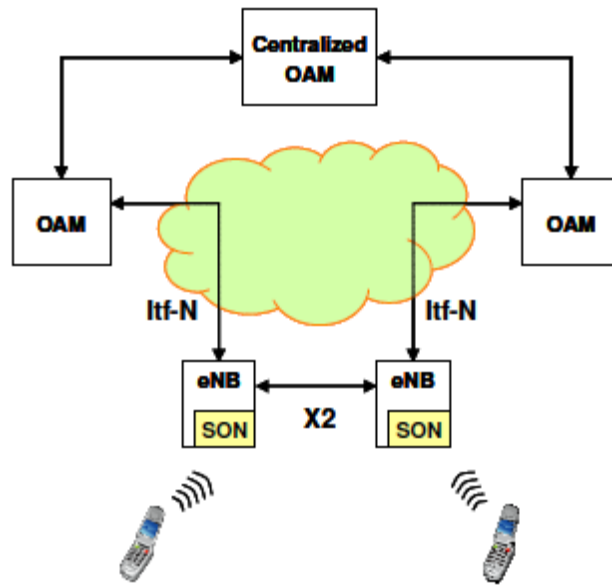
Στο σύστημα αρχιτεκτονικής Κεντρικοποιημένο SON (Centralized Son) οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης εκτελούνται στο σύστημα OAM (Operation and Maintenance). Σε τέτοιες λύσεις η λειτουργικότητα του SON βρίσκεται σε μικρό αριθμό τοποθεσιών στα υψηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής. Το Σχήμα 5-18 παρουσιάζει μια απεικόνιση του Κεντρικοποιημένου SON.



Εικόνα 5-18: Κεντρικοποιημένο SON[91]

5.15.3.2 Κατανεμημένο SON (Distributed SON)

Στο κατανεμημένο SON οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης εκτελούνται στους eNodeBs. Στη περίπτωση αυτή η λειτουργικότητα του SON βρίσκεται σε πολλές τοποθεσίες στα χαμηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής. Το Σχήμα 5-19 παρουσιάζει ένα παράδειγμα κατανεμημένης αρχιτεκτονικής.

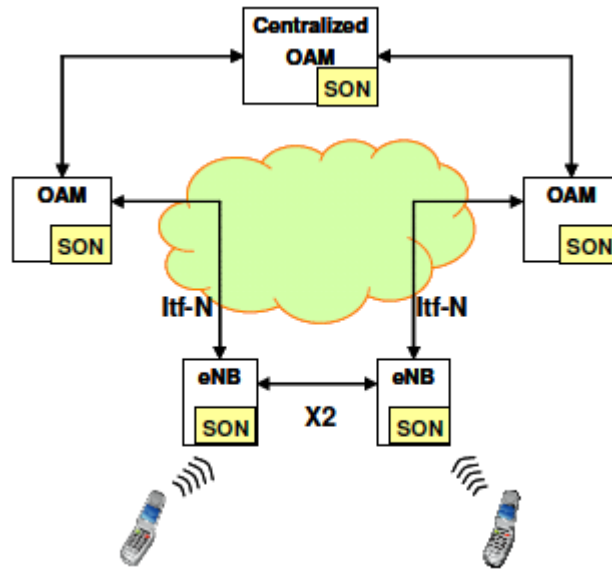


Εικόνα 5-19:Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική[91]

5.15.3.3 Υβριδικό SON (Hybrid SON)

Στο Υβριδικό SON, μέρος των αλγορίθμων βελτιστοποίησης εκτελείται στο σύστημα OAM, ενώ άλλοι εκτελούνται στους eNodeBs. Το σχήμα 5-20 δείχνει ένα παράδειγμα της τεχνολογίας Υβριδικού SON.

Στο Υβριδικό SON, απλά και γρήγορα σχήματα βελτιστοποίησης εφαρμόζονται στους eNodeBs ενώ τα πολύπλοκα σχήματα βελτιστοποίησης εφαρμόζονται στο σύστημα OAM γεγονός το οποίο το καθιστά πολύ ευέλικτο στην υποστήριξη διαφορετικών ειδών περιπτώσεων βελτιστοποίησης. Υποστηρίζει, επίσης, τη βελτιστοποίηση μεταξύ διαφορετικών προμηθευτών μέσω της διεπαφής X2, ενώ ως μειονέκτημα μπορούν να θεωρηθούν οι μεγάλες απαιτήσεις στη προσπάθεια ανάπτυξής του.



Εικόνα 5-20: Υβριδική Αρχιτεκτονική[91][71]

5.15.4 Εφαρμογή του SON σε RANs

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται μερικές από τις λειτουργίες του SON για διαφορετικά πρότυπα και RAN τεχνολογίες. Αρχικά έγιναν προσπάθειες να εφαρμογή του SON σε δίκτυα GSM RAN στη συνέχεια με την ανάπτυξη του UMTS το ενδιαφέρον για SON αυξήθηκε σημαντικά, αλλά ουδέποτε συμπεριλήφθηκε στο πρότυπο. Όταν οι μελέτες του UMTS για τη Long-Term Evolution (LTE) ξεκίνησαν από την 3rd Generation Partnership Project (3GPP), ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών ήταν αρκετά ώριμος για την εφαρμογή των εννοιών SON. Η δραστηριότητα SON στο 3GPP υποστηρίζεται τόσο από τους προμηθευτές όσο και τους παρόχους, και οδηγεί στην ένταξη της στην Έκδοση 8 (Release 8) του 3GPP πρότυπου του LTE [92]. Παράλληλα με τις 3GPP, οι SON έννοιες και εφαρμογές αναπτύσσονται σε άλλα πρότυπα, όπως το πρότυπο IEEE 1900.

5.15.5 Το SON στο UMTS

Για τη ρύθμιση των διαφορετικών RRM και συστημικών παραμέτρων στα UMTS δίκτυα έχουν γίνει πολλές δημοσιεύσεις, οι σημαντικότερες αφορούν α) τις ήπιες παράμετροι HO[93], β) το στόχο της κάτω σύνδεσης φορτίου και της μέγιστης εκπεμπόμενη ισχύς [94], γ) τη πιλοτική εκπεμπόμενη ισχύς[95] και δ) την άνω ζεύξη (UL) και τη κάτω ζεύξη (DL) Eb / No για την κυκλοφορία πακέτων [96].

5.15.6 Το SON στο LTE

Το 3GPP έχει καθορίσει φιλόδοξες απαιτήσεις επιδόσεων για το Long-Term Evolution (LTE) του συστήματος UMTS όσον αφορά τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τη φασματική απόδοση και την ευελιξία του ραδιοφάσματος [97]. Οι φιλόδοξες απαιτήσεις απόδοσης και η ανάγκη να μειωθεί η πολυπλοκότητα της διαχείρισης του δικτύου οδήγησαν στην εισαγωγή των λειτουργιών SON στο πρότυπο. Χαρακτηριστικά αναφέρονται κάποιοι από τους λόγους:

- Η βελτιστοποίηση της ικανότητας κάλυψης
- Η εξοικονόμηση ενέργειας
- Η μείωση των παρεμβολών
- Η αυτόματη ρύθμιση παραμέτρων της φυσικής ταυτότητας των κυττάρων
- Η βελτιστοποίηση της ευρωστίας της Κινητικότητας
- Η βελτιστοποίηση της εξισορρόπησης της Κινητικότητας του φορτίου

Αρκετές μελέτες σχετικά με την Automatic Neighbour Cell Relation List (ANRL) έχουν πραγματοποιηθεί [98], και αυτό το χαρακτηριστικό έχει συμπεριληφθεί στο πρότυπο LTE. Η μείωση των παρεμβολών μέσω του συντονισμού της διακυψελικής παρεμβολής (Inter-Cell Interference Coordination-ICIC) έχει ιδιαίτερη σημασία στα OFDMA δίκτυα [99]. Διαφορετικά ICIC σχήματα έχουν προταθεί για τη μείωση των παρεμβολών όπως για παράδειγμα με την έξυπνη κατανομή πόρων συχνοτήτων και με τον έλεγχο των μεταδόσεων των εκπεμπόμενων επιπέδων ισχύος πάνω από ορισμένες συχνότητες.

5.15.7 Το SON στο IEEE 1900 Πρότυπο

Το πρότυπο IEEE 1900 δημιουργήθηκε το 2005 με στόχο την ανάπτυξη προτύπων που υποστηρίζουν τις νέες τεχνολογίες και τεχνικές για την επόμενη γενιά προηγμένης διαχείρισης του ραδιοφάσματος [100]. Ένας σημαντικός στόχος του πρότυπου είναι να βελτιωθεί η χρήση του φάσματος: η διαχείριση των παρεμβολών και η εισαγωγή μηχανισμών Dynamic Spectrum Access (DS-Access) and Dynamic Spectrum Allocation (DS-Allocation). Το πρότυπο ασχολείται επίσης με το συντονισμό ασύρματων τεχνολογιών και περιλαμβάνει όλα τα κύρια χαρακτηριστικά

της διαχείρισης του δικτύου καθώς και την ανταλλαγή πληροφοριών. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η χρήση της έννοιας της Γνωστικής Ασύρματης Τεχνολογίας Cognitive Radio (CR) [101] στο πλαίσιο του DS-Access.

Η Γνωστική Ασύρματη Τεχνολογία είναι ένα έξυπνο σύστημα ασύρματης επικοινωνίας που αναγνωρίζει τον περιβάλλοντα χώρο και χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία της από κατασκευής κατανόησης για να μαθαίνει από το περιβάλλον και να προσαρμόζει τις εσωτερικές του καταστάσεις σε στατιστικές διακυμάνσεις στα εισερχόμενα ερεθίσματα ραδιοσυχνοτήτων κάνοντας αντίστοιχες αλλαγές σε ορισμένες παραμέτρους λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο, με δύο πρωταρχικούς στόχους κατά νου:

- Τις εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες όποτε και όπου χρειάζεται,
- Την αποτελεσματική χρήση του ραδιοφάσματος

Το **IEEE 1900 Πρότυπο** περιλαμβάνει έξι Ομάδες Εργασίας (OE), οι οποίες σήμερα αναπτύσσουν την οικογένεια των προτύπων [102]:

- **IEEE 1900.1:** Είναι η OE η οποία ασχολείται με την ορολογία και τις έννοιες για την επόμενη γενιά ασύρματων συστημάτων και τη διαχείριση του ραδιοφάσματος
- **IEEE 1900.2:** Είναι η OE η οποία ασχολείται με τις αναπτυσσόμενες πρακτικές με στόχο την αντιμετώπιση των παρεμβολών.
- **IEEE 1900.3:** Είναι η OE η οποία ασχολείται με τη συνιστώμενη πρακτική για την αξιολόγηση της συμμόρφωση των Software Defined Radio (SDR) Software Modules.
- **IEEE 1900.4:** Είναι η OE η οποία ασχολείται με την αρχιτεκτονική που επιτρέπει στις δικτυακές συσκευές τη κατανεμημένη λήψη αποφάσεων για τη βέλτιστη χρήση των πόρων σε ετερογενή δίκτυα ασύρματης πρόσβασης.
- **IEEE 1900.5:** Είναι η OE η οποία ασχολείται με τη Πολιτική της Αρχιτεκτονικής για τη διαχείριση των Γνωστικών Ασύρματων Τεχνολογιών για εφαρμογές δυναμικής πρόσβασης στο ραδιοφάσμα.

- **IEEE 1900.6:** Είναι η ΟΕ η οποία ασχολείται με τις διασυνδέσεις του φάσματος ανίχνευσης και με τις δομές δεδομένων για τη δυναμική πρόσβαση στο φάσμα και άλλων προηγμένων ραδιοεπικοινωνίας συστημάτων.

Οι έννοιες που αναπτύσσονται στην IEEE 1900.4 στο πλαίσιο του SON παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Το πρότυπο στοχεύει στην κατανομή των καθηκόντων RRM μεταξύ του δικτύου και των κινητών τηλεφώνων σε ένα ετερογενές RAN πλαίσιο. Μια στρατηγική με βάση τη πολιτική RRM προτείνεται, στην οποία το δίκτυο στέλνει στο κινητό μια πολιτική με τη μορφή κανόνων και περιορισμών. Τα κινητά τηλέφωνα στη συνέχεια αυτόνομα λαμβάνουν τις αποφάσεις RRM που μεγιστοποιούν τη χρησιμότητά τους με ταυτόχρονη τήρηση της λαμβανόμενης πολιτικής.

5.16 Σύγκριση Αρχιτεκτονικών Αυτόνομης Διαχείρισης Δικτύων

Ο Πίνακας 3 παρέχει μια λεπτομερή σύγκριση των προαναφερθέντων αρχιτεκτονικών σε σχέση πάντα με τα προαναφερθέντα κριτήρια.

Κριτήρια	4D	ANA	CASCAD AS	CONMan	E3	FOCALE	GANΑ	NESTOR	1900.4	SON
Βαθμός Δραστηριότητας	-	Προληπτική Συμπεριφορά	Αντιδραστική Συμπεριφορά	-	Προληπτική Συμπεριφορά	Αντιδραστική Συμπεριφορά	Αντιδραστική Συμπεριφορά	-	-	Αντιδραστική Συμπεριφορά
Βαθμός Προσαρμοστικότητας	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Κλειστά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό	Ανοικτά Προσαρμοστικό
Βαθμός Νοημοσύνης	-	Εξαρτάται από το μηχανισμό host στο διαμερίσματα	-	-	Παρουσιάζει Βαθμό Νοημοσύνης	Παρουσιάζει Βαθμό Νοημοσύνης	Παρουσιάζει Βαθμό Νοημοσύνης	Παρουσιάζει Βαθμό Νοημοσύνης	-	Παρουσιάζει Βαθμό Νοημοσύνης
Βαθμός αυτοεπίγνωσης	Η αυτοεπίγνωση παρουσιάζεται στο επίπεδο δεδομένων	Η αυτοεπίγνωση διανέμεται σε στοιχεία του διαμερίσματος	Η αυτοεπίγνωση παρουσιάζεται στο στοιχείο ACE	Δεν υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης	Υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης	Υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης	Υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης	Υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης	Υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης	Υποστηρίζει τη δυνατότητα αυτοεπίγνωσης
Δύναμη της Μνήμης	Δεν υπάρχει μνήμη προηγούμενης	Δεν υπάρχει μνήμη προηγούμενης	Δεν υπάρχει μνήμη προηγούμενης	Δεν υπάρχει μνήμη προηγούμενης	Υπάρχει μνήμη προηγούμενης συμπεριφο	Υπάρχει μνήμη προηγούμενης συμπεριφο	Υπάρχει μνήμη προηγούμενης συμπεριφο	Υπάρχει μνήμη προηγούμενης συμπεριφο	Δεν υπάρχει μνήμη προηγούμενης	Υπάρχει μνήμη προηγούμενης συμπερι

	συμπεριφοράς	συμπεριφοράς	συμπεριφοράς	συμπεριφοράς	οράς	οράς	οράς	οράς	συμπεριφοράς	φοράς
Βαθμός Αυτονομίας	Δεν παρουσιάζει συμπεριφορά αυτονομίας	Η αυτονομία εξαρτάται από τη λειτουργικότητα	Δεν παρουσιάζει συμπεριφορά αυτονομίας	Δεν παρουσιάζει συμπεριφορά αυτονομίας	Παρουσιάζει αυτόνομη συμπεριφορά	Παρουσιάζει αυτόνομη συμπεριφορά	Παρουσιάζει αυτόνομη συμπεριφορά	Παρουσιάζει αυτόνομη συμπεριφορά	Δεν παρουσιάζει συμπεριφορά αυτονομίας	Παρουσιάζει αυτόνομη συμπεριφορά
Επίπεδο Διανομής	Κεντρικοποιημένη Αρχιτεκτονική	Πλήρως Κατανεμημένη αρχιτεκτονική	Ημικατανεμημένη Αρχιτεκτονική	Ημικατανεμημένη Αρχιτεκτονική	Πλήρως Κατανεμημένη αρχιτεκτονική	Πλήρως Κατανεμημένη αρχιτεκτονική	Πλήρως Κατανεμημένη αρχιτεκτονική	Κεντρικοποιημένη Αρχιτεκτονική	Πλήρως Κατανεμημένη αρχιτεκτονική	Πλήρως Κατανεμημένη αρχιτεκτονική
Αυτο-χ Λειτουργίες	Δεν υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Δεν υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Δεν υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Δεν υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες	Υποστηρίζει Αυτό-χ Λειτουργίες
Ενσωμάτωση	-	Παρουσιάζεται ενσωμάτωση στους κόμβους	Παρουσιάζεται ενσωμάτωση στους κόμβους (ACE)	-	Δεν παρουσιάζεται ενσωμάτωση στους κόμβους	Παρουσιάζεται ενσωμάτωση στους κόμβους	Παρουσιάζεται ενσωμάτωση στους κόμβους	-	-	Παρουσιάζεται ενσωμάτωση στους κόμβους

Πίνακας 3: Σύγκριση Αρχιτεκτονικών Αυτόνομης Διαχείρισης Δικτύων

5.17 Συμπεράσματα

Δυστυχώς, αν και, θεωρητικά, η αυτονομία φαίνεται να παρέχει την απόλυτη λύση για τη διαχείριση πολύπλοκων δικτύων, σε γενικές γραμμές, οι ερευνητικές προσπάθειες βρίσκονται ακόμα σε νηπιακό στάδιο και εξακολουθούν να πρέπει να αντιμετωπίσουν πολλές προκλήσεις πριν υλοποιηθούν ως μια επιτυχημένη λύση.

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η διασπορά των ερευνών σε αυτόν τον τομέα και η έλλειψη σαφούς διατύπωσης για τις απαιτήσεις των κύριων δομικών στοιχείων των αυτόνομων δικτύων. Τα δίκτυα αυτά δεν αποτελούν ρητά μια νέα εναλλακτική λύση για τη διαχείριση των επικοινωνιών αλλά είναι μάλλον μια έννοια η οποία παρουσιάζει μια ενοποίηση των πρόσφατων εξελίξεων και τάσεων σε διάφορους τομείς των ερευνών.

Παρά τις πολυάριθμες προσπάθειες στον τομέα της αυτονομίας, ακόμη δεν υπάρχει κάποια οριστική συμφωνία ούτε για την αρχιτεκτονική του αυτόνομου δικτύου ούτε για την αυτόνομη διαχείριση του δικτύου, ούτε υπάρχει κάποια ιδιαίτερη συμφωνία στο πεδίο της γνώσης. Η τυποποίηση σε αυτό το κρίσιμο ζήτημα δεν έχει αρχίσει ουσιαστικά παρά τις αρκετές πρωτοβουλίες με αρμόδιους οργανισμούς όπως το πρότυπο IEEE και ETSI.

Αυτό μπορεί να εξηγηθεί κυρίως από το γεγονός ότι η έννοια του αυτόνομης διαχείρισης έχει οδηγήσει στην εισαγωγή θεμελιωδών αλλαγών στον τρόπο που τα δίκτυα θα κατασκευάζονται και θα ελέγχονται. Ως εκ τούτου η διεθνής κοινότητα δεν έχει φτάσει ακόμη σε συμφωνία σχετικά με το επίπεδο της αυτόνομης διαχείρισης και τον καθορισμό της συμπεριφοράς των αυτόνομων στοιχείων.

Προβλέπεται ότι κάποιες λύσεις θα προέλθουν από τη βιομηχανία, όπως αυτές οι οποίες άρχισαν από την IBM σε αυτόνομη υπολογιστική και εφόσον η εμπειρία είναι θετική ίσως να εφαρμοστεί σε μικρή κλίμακα πριν αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε κάθε περίπτωση, η τυποποίηση δεν επηρεάζει όλες τις πτυχές της αυτόνομης δικτύωσης ή της διαχείρισης του δικτύου, αλλά πιθανώς μόνο την αρχιτεκτονική και τη δομή του σχεδίου της γνώσης.

References

- [1] Martin Sauter, “Beyond 3G Bringing Networks Terminals and the Web Together. LTE WiMAX 4G Devices and the Mobile Web 2.0”, pages 88-97

- [2] Ian Poole, “Cellular communications Explained from Basics to 3G “,pages7-12, pages 79-81, pages 155-158, Newnes

- [3] Vijay Garg, “Wireless Communications and Networking”, June 2007, Morgan Kaufman,pages 181-184

- [4] Hakima Chaouchi, Maryline Laurent-Maknavicious, “Wireless and Mobile Network Security Basics”, Wiley, ISTE

- [5] IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, pages 51-53,page 469, page 487,page 533

- [6] Vijay Garg, “Wireless Communications and Networking”, June 2007, Morgan Kaufman,pages 317-321

- [7] James F. Kurose, Keith W.Ross, “Computer Networking_A Top-Down Approach” ,Fifth Edition-2009, pages 475-481

- [8] IEEE 802.15 2009 ‘Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)

- [9] The WiMAX Forum (2008) The homepage of the WiMAX forum, <http://www.wimaxforum.org>.

- [10] James F. Kurose, Keith W.Ross, “Computer Networking_A Top-Down Approach” ,Fifth Edition-2009, pages 243-245

[11] Ramjee Prasard, Fernando Velez, “WiMAX Networks-Techno Economic Vision and Challenges”, pages 64-77

[12] 3GPP TS 02.17: "Subscriber Identity Modules (SIM); Functional characteristics".

[13] Ian Poole, “Cellular communications Explained from Basics to 3G “, Newnes

[14] ITU-T Recommendation I.112: I.112 Integrated services digital network (isdn), general structure, vocabulary of terms for isdns

[15] Walke, B., Mobile Radio Networks, New York: Wiley, 1999, pp. 459–582.

[16] Juha Korhonen, “Introduction to 3G Mobile Communications” Second Edition, pages 1-5

[17] Ian Poole, “Cellular communications Explained from Basics to 3G “, pages 113-115

[18] The International Telecommunication Union (2003) Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000, ITU-R M.1645.

[19] Ian Poole, “Cellular communications Explained from Basics to 3G “, page 100

[20] 3GPP TS 25.401 V6.7.0 (2005-09) ,3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN overall description (Release 6)

[21] 3GPP Technical Specification 36.101, ‘User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (Release 8)’, www.3gpp.org.

[22] Christopher Cox, “Essentials of UMTS”, The Cambridge Wireless Essentials Series

[23] Juha Korhonen, "Introduction to 3G Mobile Communications" Second Edition, pages 203-204

[24] Christopher Cox, "Essentials of UMTS", The Cambridge Wireless Essentials Series, pages 99-116

[25] 3GPP TR 25.876 "Multiple Input Multiple Output (MIMO) antennae in UTRA"

[26] Magnus Olsson, Shabnam Sultana, Stefan Rommer, Lars Frid, Caterine Muligan, "SAE and the Evolved Packet Core .Driving the Mobile Broadband Revolution", pages 413-418

[27] <http://www.etsi.org/WebSite/homepage.aspx>

[28] 3GPP TS 29.018 V3.11.0 (2003-09) Technical Specification 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network; General Packet Radio Service (GPRS); Serving GPRS Support Node (SGSN) - Visitors Location Register (VLR) Gs interface layer 3 specification (Release 1999)

[29] 3GPP TR 45.912 "Feasibility study for evolved GSM/EDGE Radio Access Network (GERAN)"

[30] <http://www.wimaxforum.org/>

[31] 3GPP TR 25.913, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E UTRAN) (Release 8)

[32] 3GPP TS 25.212: "Multiplexing and channel coding (FDD)".

[33] 3GPP TS 25.222, "Multiplexing and channel coding (TDD)"

[34] Pietrzyk, S., "OFDMA for Broadband Wireless Access", Artech House, Boston, 2006

[35] Motorola, 'R1-050971: Single Carrier Uplink Options for E-UTRA' www.3gpp.org, 3GPP TSG RAN WG1, meeting 42, London, UK, August 2005.

[36][37] Stefan Sesia, Isaam Toufic, Matthew Baker, "LTE The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice 2009", Wiley

[38] [36.410] 3GPP TS 36.410 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 layer 1 general aspects and principles

[39] [36.420] 3GPP TS 36.420 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 general aspects and principles

[40] Magnus Olsson, Shabnam Sultana, Stefan Rommer, Lars Frid, Caterine Muligan, "SAE and the Evolved Packet Core .Driving the Mobile Broadband Revolution"

[41] Beming, P., Frid, L., Hall, G., Malm, P., Noren, T., Olsson, M., Rune, G., "LTE-SAE architecture and performance" October, 2007Ericsson Review 3.

[42] Magnus Olsson, Shabnam Sultana, Stefan Rommer, Lars Frid, Caterine Muligan "SAE and the Evolved Packet Core .Driving the Mobile Broadband Revolution", pages 227-240

[43] [24.301] 3GPP TS 24.301 Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3

[44] Magnus Olsson, Shabnam Sultana, Stefan Rommer, Lars Frid, Caterine Muligan, "SAE and the Evolved Packet Core .Driving the Mobile Broadband Revolution", pages 25-29

[45] 3GPP Technical Specification 24.229 "IP multimedia call control protocol based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3

(Release 8)

[46] <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/sae-system-architecture-evolution-network.php>

[47] E. Aidarous, D. A. Proudfoot, and X. N. Dam, "Service Management in Intelligent Networks," IEEE Network Magazine, vol. 4, no.1, January 1990

[48] IETF Request for Comments 1157 (<http://www.ietf.org/rfc/rfc1157.txt>)

[49] Stallings, W. "SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2", Fourth Edition. Addison- Wesley, 1999.

[50] Mani Subramanian, "Network Management - Principles and Practice", 2000

[51] D. A. Proudfoot, S. E. Aidarous, and M. Kelly, "Network Management in an Evolving Network," ITD - Europa Telecom, Budapest, October 1992

[52] Harold, E. R., and Means, S. 'XML in a Nutshell' O'Reilly, 2002.

[53] Hittersdorf, M. *CORBA/IIOP Clearly Explained*. AP Professional, 2000.

[54] <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/javamanagement-140525.html>

[55] Black, Uyles (1995). Aaron Bittner, "Network Management Standards: SNMP, CMIP, TMN, MIBs, and Object Libraries". New York: McGraw-Hill,

[56] IETF Request for Comments 1902 (<http://www.ietf.org/rfc/rfc1902.txt>)

[57] IETF Request for Comments 2271-2275 & 3410-3415

(<http://www.ietf.org/rfc/rfc2271.txt>)

<http://www.ietf.org/rfc/rfc2275.txt>)

<http://www.ietf.org/rfc/rfc3410.txt>)

<http://www.ietf.org/rfc/rfc3415.txt>)

[58] IETF Request for Comments 1155 (<http://www.ietf.org/rfc/rfc1155.txt>)

- [59] IETF Request for Comments 1156 (<http://www.ietf.org/rfc/rfc1156.txt>)
- [60] CCITT, "Generic Network Information Model," M.3100, 1992.
- [61] Farel, Abeck, Bryskin, Evans, Filfils, Hegering, McCobe, Morrow, Nadeau, Neumar, Ramaswami, Sivarajan, Strassner, Vijayannanda, "Network Management, Know it all", Morgan Kauffman
- [62] Juha Korhonen, "Introduction to 3G Mobile Communications", second edition
- [63]] <http://www.netmode.ntua.gr/papers/papers/cerberus.pdf>
- [64] J. Kephart and D. Chess, "The Vision of Autonomic Computing", *IEEE Computer*, vol. 36, n. 1, pp. 41–50, Jan. 2003.
- [65] D.D. Clark, C. Partridge, J.C. Ramming, J.T. Wroclawski, "A knowledge plane for the internet, in: Proceedings of the SIGCOMM 2003, Karlsruhe, Germany, August 25–29, 2003.
- [66] Q. Mahmoud, "Cognitive Networks – Towards Self-Aware Networks", John Wiley and Sons, 2007, ISBN 9780470061961.
- [67] R.W. Thomas, "Cognitive Networks, Ph.D. Dissertation", Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, VA, June 15, 2007.
- [68] J. Kephart and D. Chess, "The Vision of Autonomic Computing", *IEEE Computer*, vol. 36, n. 1, pp. 41–50, Jan. 2003.
- [69] 3GPP TS 36.300, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Overall description," Stage 2 (Release8), March 2008.
- [70] P. Magnusson and J. Oom, "An Architecture for self-tuning cellular systems," Proc. of the 2001 IEEE/IFIP Inter. Symp. on Integrated Network Management, pp. 231–245, 2001.

[71] R. Nasri, A. Samhat, and Z. Altman, “A new approach of UMTS-WLAN load balancing; algorithm and its dynamic optimization,” 1st IEEE WoWMoM Workshop on Autonomic Wireless Access 2007 (IWAS07), Helsinki, Finland, June 2007.

[72] Mark A. Musen, “Automated generation of model-based knowledgeacquisition tools”, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco,CA, USA, 1989.

[73] C. Zhou, L.-T. Chia, B.-S. Lee, “Semantics in service discovery and QoS measurement”, IEEE IT Professional Magazine 7 (2) (2005) 29–34.

[74] G. Lee, P. Faratin, S. Bauer, J. Wroclawski, “A user-guided cognitive agent for network selection in pervasive computing environments, in: Proceedings of the Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications”, Orlando, FL, USA, March14–17, 2004, p. 219.

[75] S.B. Kodeswaran, O. Ratsimor, A. Joshi, F. Perich, “Utilizing semantic tags for policy based networking, in: Proceedings of the IEEE Globecom”, Washington, DC, USA, November 26–30, 2007, pp.1954–1958.

[76] P. Magnusson and J. Oom, “An Architecture for self-tuning cellular systems,” Proc. of the 2001 IEEE/IFIP Inter. Symp. on Integrated Network Management, pp. 231–245, 2001.

[77] P. Mahonen, M. Petrova, J. Riihijarvi, M. Wellens, “Cognitive wireless networks: your network just became a teenager, in: Proceedings of the INFOCOM” 2006, Barcelona, Spain, April 23–29, 2006.

[78] Y. Yemini, A.V. Konstantinou and D. Florissi, “NESTOR: an architecture for network self-management and organization”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, n. 5, pp. 758–766, 2000.

[79] A. Greenberg, G. Hjalmtysson, D.A. Maltz, A. Myers, J. Rexford, G. Xie, H. Yan, J. Zhan, and H. Zhang, “A clean slate 4D approach to network control and

management,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 35, no. 5, pp. 41-54, October 2005

[80] Schuetz, S. Zimmermann, K. Nunzi, G. Schmid, S. Brunner, M. , “Autonomic and Decentralized Management of Wireless Access Networks”, Vol. 4, no. 2, Page(s): 96 – 106, 2007

[81] A. Manzalini, F. Zambonelli, “Towards Autonomic and Situation-Aware Communication Services: the CASCADAS Vision”. Proceedings of the IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications (DIS’06) , pp. 383-388, 2006.

[82] H. Ballani and P. Francis, “CONMan: a step towards network manageability,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 37, no. 4, pp. 205-216, October 2007

[83] K.Nolte, A.Kaloxylas, et al., “The E3 architecture: Enabling future cellular networks with cognitive and self-x capabilities”, To appear in the International Journal of Network Management, 2010

[84] .Jennings, B., Van der Meer, S., Balasubramaniam, et al. “Towards Autonomic Management of Communications Networks”, IEEE Communications Magazine 45(10), pp. 112–121, 2007.

[85] R. Chaparadza, S. Papavassiliou, T. Kastrinogiannis, M. Vigoureux, “Creating a viable Evolution Path towards Self-Managing Future Internet via a Standardizable Reference Model for Autonomic Network Engineering”. FIA Prague 2009 Conference, published in the FI Book produced by FIA, 2009.

[86] Y. Yemini, A. Konstantinou, D. Florissi, “NESTOR: an architecture for network self-management and organization,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, 2000, pp. 758-766

[87] Soodesh Buljore¹, Vincent Merat¹, Hiroshi Harada², Stanislav Filin², Paul Houze³, Kostas Tsagkaris⁴, Vladimir Ivanov⁵, Klaus Nolte⁶, Tim Farnham⁷, Oliver Holland⁸ “IEEE P1900.4 System Overview on Architecture and Enablers for Optimised Radio and Spectrum resource usage”.

[88] C. Fortuna and M. Mohorcic, “Trends in the development of communication networks: Cognitive networks”, [Computer Networks Volume 53, Issue 9](#), 25 June 2009, Pages 1354-1376

[89] Nancy Samaan and Ahmed Karmouch, “Towards Autonomic Network Management: an Analysis of Current and Future Research Directions”

[90] <http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-info/36902.htm>

[91] http://www.nomor.de/uploads/gc/TQ/gcTQfDWApo9osPfQwQoBzw/SelfOrganisingNetworksInLTE_2008-05.pdf

[92] 3GPP TS 36.300, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Overall description,” Stage 2 (Release 8), March 2008.

[93] Z. Altman, H. Dubreil, R. Nasri, O. Ben Amor, J.M. Picard, V. Diascorn, and M. Clerc, “Auto-tuning of RRM parameters in UMTS networks,” Chapter 16 in Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation: Theory and Practice, Eds. M. Nawrocki, M. Dohler, and H. Aghvami, Wiley, Hoboken, NJ, 2006.

[94] A. H. Roglund and K. Valkealahti, “Quality-based tuning of cell downlink load target and link power maxima in WCDMA,” 56th IEEE Vehicular Technology Conference 2002-Fall, September 24–28, 2002.

[95] K. Valkealahti, A. H. Roglund, J. Parkkinen, and A. Flanagan, “WCDMA common pilot power control with cost function minimization,” 56th IEEE Vehicular Technology Conference 2002– Fall, September 24–28, 2002.

[96] G. Dobson, A. Sanchez-Macian, “Towards unified QoS/SLA ontologies”,

in: Proceedings of the IEEE Services Computing Workshops, Chicago, USA, September 18–22, 2006, pp. 169–174.

[97] 3GPP TR 25.913, V7.1.0, “Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN),” (Release 7), September 2005.

[98] 3GPP TSG RAN WG3, R3-071494, “Automatic neighbour cell configuration,” August 2007.

[99] IST Winner II project, “Interference avoidance concept”, Deliverable D4.7.2, June 2007

[100] IEEE Standards Coordinating Committee 41 (Dynamic Spectrum Access Networks), IEEE SA, <http://www.ieeep1900.org>.

[101] S. Haykin, “Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications,” *IEEE JSAC*, February 2005

[102] IEEE Standards Coordinating Committee 41 (Dynamic Spectrum Access Networks), IEEE SA, <http://www.ieeep1900.org>.