



Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

**" Σχεδιασμός δικτύου Broadband Access  
σε δίκτυα 3G/4G Κινητής Τηλεφωνίας "**

Επιβλέποντες: Ασαρίδης Ηλίας

Σπουδαστής: Μουμουτζής Γεώργιος

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

# Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	4
Abstract .....	6
ETHERNET .....	7
1.-CARRIER ETHERNET .....	11
1.1.- Χρήσεις Του CARRIER ETHERNET .....	13
1.2-Carrier Ethernet Mobile .....	14
1.3-Τεχνολογίες πρόσβασης Carrier Ethernet Mobile .....	15
1.4-Τεχνολογίες Μεταφοράς Carrier Ethernet .....	16
1.5-M/W Ethernet Backhauling.....	21
1.5.1-Τα οφέλη της μικροκυματικής backhaul σύνδεσης.....	23
1.5.2-Τα μειονεκτήματα της backhaul μικροκυματικής.....	24
1.6-Ενσύρματες Ευρυζωνικές Τεχνολογίες .....	24
1.6.1-Τεχνολογια SHDSL.....	26
1.6.2-Τεχνολογία VDSL .....	27
1.6.3-Τεχνολογία VDSL2 .....	29
1.6.4-Μηχανήματα και Συγκρίσεις τεχνολογιών SHDSL-VDSL/VDSL2 .....	30
2.-Σχεδιασμός δικτύου κινητής τηλεφωνίας και η εξέλιξή του .....	34
2.1-ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ .....	34
2.1.1-ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ IMTS.....	35
(IMPROVED MOBILE TELEPHONE SERVICE).....	35
2.2.-Ανάλυση δικτύων 3.5G και 4G.....	41
2.3.-3GPP - Long Term Evolution.....	46
2.4.-Περιγραφή της Αρχιτεκτονικής του συστήματος .....	52
2.5.-LTE Advanced .....	54
2.6.-Λειτουργία 3G-UMTS Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας.....	56
2.7.-Λειτουργία 4G-LTE Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας.....	58
3.-Εργαλεία Μέτρησης Ποιότητας Υπηρεσιών .....	59
3.1.-Εισαγωγή.....	59
3.2. QVoice Symphony .....	60
3.3. NEMO Analyze .....	64
3.4. Network Analysis NITRO (NAN).....	65
3.5. TEMS Investigation .....	66
3.6. XCAL.....	68
3.7. LTE Base Station Emulator - LTE BSE (AWT 700A).....	69

3.7.1. Χαρακτηριστικά.....	69
3.7.2. Σύνθεση Δοκιμής.....	70
3.8. LTE Air Interface Protocol Analyzer – LTE Air Sniffer .....	71
3.8.1. Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα .....	71
3.9. RF Parametric Tester – Versatile Subscriber Station Tester (VST) .....	72
3.9.1. Η Χρήση του VST .....	72
3.9.2. Βασικά Χαρακτηριστικά .....	73
3.10. LTE Test Tool.....	73
3.10.1. Βασικά Χαρακτηριστικά .....	73
4.-Μετρήσεις Χωρητικότητας Δικτύου .....	76

## Εισαγωγή

Σε μια εποχή όπου σημειώνεται ραγδαία εξέλιξη και ανάπτυξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και ειδικότερα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας και των υπηρεσιών που αυτά υποστηρίζουν, οι χρήστες απαιτούν μια συνεχώς αυξανόμενη αλλά και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών και εξυπηρέτησης. Η μετάβαση από υπηρεσίες απλής φωνητικής επικοινωνίας, σε πολύπλοκες υπηρεσίες ανταλλαγής δεδομένων οδήγησαν τους παρόχους να στρέψουν το ενδιαφέρον τους όχι μόνο στην εξέλιξη, αναβάθμιση και ανάπτυξη των δικτύων τους αλλά και στην συνεχή παρακολούθηση του. Για το λόγο αυτό, συστήματα παρακολούθησης της συμπεριφοράς αλλά και της κίνησης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας έχουν κάνει αισθητή την παρουσία τους τα τελευταία χρόνια κερδίζοντας ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον της βιομηχανίας κινητής τηλεφωνίας. Ως κύριος στόχος των συστημάτων αυτών είναι η καταγραφή της ποιότητας υπηρεσιών που λαμβάνει ο χρήστης – πελάτης της εταιρείας. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται από τους διαχειριστές των δικτύων αλλά και τους παρόχους υπηρεσιών για τη βελτίωση της ποιότητας εμπειρίας των πελατών τους. Έτσι η ανάγκη για ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης δικτύων κινητής τηλεφωνίας γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων ήταν η εμφάνιση έξυπνων συσκευών κινητής τηλεφωνίας,

γνωστών και ως smart phones και ειδικότερα καινοτόμων λειτουργικών συστημάτων όπως το Android .

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής αναλύεται η λειτουργία ενός δικτύου 3G, 4G και γίνεται επεξήγηση της λειτουργίας του δικτύου μιας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας.

## Abstract

In an era where there is rapid growth and development in telecommunications and especially mobile telephony networks and services they support, users require an ever increasing and guaranteed quality of products and services. The transition from simple voice services, to complex data exchange services led providers to focus their interest not only in evolving, upgrading and developing their networks but also to continuous monitoring. In the frame of network maintenance, systems that monitor the behavior and traffic of mobile networks have made their presence felt in recent years winning more and more interest in mobile phone industry. The primary goal of these systems is set to recording quality of services received by the user - customer of the mobile phone company. The results are used by network operators and service providers to improve the customer's quality of experience. Thus the need to develop monitoring systems of mobile networks is increasing.

An important factor for the development of such systems was the emergence of intelligent mobile devices known as smart phones and especially innovative operating systems such as Android. As part of this project analyzes the performance of a network 3G, 4G and becomes an explanation of the network a mobile phone company.

## ETHERNET

Το Ethernet αναπτύχθηκε ως ένα ανοικτό δίκτυο πρόσβασης και πανταχού συνδεσιμότητας, για τη διασύνδεση υπολογιστών σε μια ενιαία οργάνωση. Οι προτεραιότητές του ήταν χαμηλό κόστος, ευκολία σύνδεσης και αποσύνδεσης στο και από το δίκτυο, δίκαιη κατανομή του μέγιστου εύρους ζώνης μεταξύ όλων των χρηστών και αυτόματη ανακάλυψη των πόρων του δικτύου. Η απλότητα των πρωτοκόλλων του, η στενή σχέση του με το TCP/IP μοντέλο αναφοράς, η προσαρμοστικότητά του στις νέες, βασισμένες στο πρωτόκολλο IP, τεχνολογίες και η τυποποίηση των υπηρεσιών του Ethernet, που καθιστά δυνατή την ανάπτυξή του από διάφορους προμηθευτές, αύξησαν τη δημοτικότητά του στην επιχειρησιακή αγορά. Αυτή η δημοτικότητα έχει προκαλέσει σημαντική πρόοδο και έχει μειώσει το κόστος των βασικών τεχνολογικών τομέων σε πολύ χαμηλά επίπεδα, γεγονός που έκανε το Ethernet να επικρατήσει, ακόμα κι αν δεν υπερέχει τεχνικά ή σε ταχύτητα. Στο χώρο των «**carrier**» υπηρεσιών, δηλαδή των υπηρεσιών μεταφοράς πληροφοριών που εξυπηρετούν ένα ευρύ φάσμα πελατών μέσω μιας κοινής πλατφόρμας, οι πάροχοι μητροπολιτικών (Metropolitan Area Networks, MANs) και ευρείας περιοχής (WAN) δικτύων αντιμετωπίζουν τρεις βασικές ανάγκες:

- Να παρέχουν στους πελάτες τους υπηρεσίες Ethernet
- Να χρησιμοποιούν τη χωρητικότητα και τα οικονομικά πλεονεκτήματα των τεχνολογιών Ethernet στα δίκτυά τους
- Να αντικαταστήσουν τις μη-Ethernet τεχνολογίες με αντίστοιχες ανταγωνιστικές Ethernet, που έχουν επαρκή χωρητικότητα για αποθήκευση, δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας και βίντεο υψηλής ευκρίνειας και εγγυώνται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά (ασφάλεια μεταφοράς, χαμηλό latency) για την υποστήριξη αυτών των υπηρεσιών.

Οι ιδιωτικές carrier υπηρεσίες πρέπει επίσης να προσφέρουν υψηλή ασφάλεια από υποκλοπές ή διαρροή πληροφορίας μεταξύ των πελατών, να αποτρέπουν τις βλάβες του δικτύου ή της υπηρεσίας ενός πελάτη να επηρεάζουν άλλους, να ελέγχουν την πρόσβαση των πελατών στις υπηρεσίες, ώστε ο καθένας να διαθέτει ό,τι έχει πληρώσει και τίποτα παραπάνω, να πιστοποιούν ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service, QoS) και να παρέχουν εγγυημένο επίπεδο υπηρεσιών (Service Level Agreement, SLA). Στα παραδοσιακά carrier δίκτυα, η προσφερόμενη υπηρεσία ήταν πολύ στενά συνδεδεμένη με την αντίστοιχη υποδομή. Αντίθετα, το Ethernet φαίνεται να προσφέρει μια παγκόσμια βάση, πάνω στην οποία μπορεί να οικοδομηθεί μια υποδομή μεταφορών, καθώς προσφέρει όλο



και περισσότερες τυποποιημένες υπηρεσίες, πάνω στις οποίες αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες. Συνεπώς, το Ethernet γίνεται πολυπλοκότερο, για να μεταμορφώσει αυτό που κάποτε ήταν μια τεχνολογία για δίκτυα υπολογιστών, σε μια τεχνολογία που θα ταιριάζει απόλυτα στις ανάγκες των παρόχων, το επονομαζόμενο Carrier Grade Ethernet. Η μετάλλαξη του Ethernet από μία πιο «πρόχειρη», σε μια πιο εύρωστη, κλιμακώσιμη και αξιόπιστη τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων, επιτυγχάνεται μέσω μιας σειράς προτύπων που επεκτείνουν της δυνατότητές της. Τα περισσότερα από τα πρότυπα του Ethernet εμπίπτουν στο IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), αν και επιπλέον πρότυπα μπορούν να καλύψουν ειδικές απαιτήσεις πέρα από τις αρμοδιότητες του IEEE. Το IETF (Internet Engineering Task Force), για παράδειγμα, αφορά βασισμένα στην τεχνολογία IP πρωτόκολλα διαχείρισης και πρωτοκόλλα που αφορούν επίπεδα υψηλότερα του επιπέδου 2 του μοντέλου OSI (επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων – Datalink Layer – Layer 2). Επίσης, η διαμόρφωση του Carrier Grade Ethernet εξαρτάται από την ITU (International Telecommunications Union) και το MEF (Metro Ethernet Forum). Οι υπηρεσίες Carrier Ethernet είναι ιδιωτικές και συνδέουν προκαθορισμένους σταθμούς. Για το λόγο αυτό, πρέπει να είναι πλήρως διαφανείς και να αποτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ διακομιστών (servers) και πελατών (clients). Η σημαντικότερη καινοτομία του Carrier Ethernet

είναι η απλότητα της υλοποίησης και η μείωση του κόστους, σε σύγκριση με τις συμβατικές WAN υπηρεσίες. Το Carrier Ethernet υποστηρίζεται σε πλήθος WAN μηχανισμών μεταφοράς δεδομένων, όπως οι DWDM, MPLS και SDH. Ο χειρισμός της μεταφοράς δεδομένων, τον οποίο προσφέρει, είναι επίσης «κλειδί» για τη μέτρηση της απόδοσης και τη γρήγορη διάγνωση προβλημάτων της υπηρεσίας.

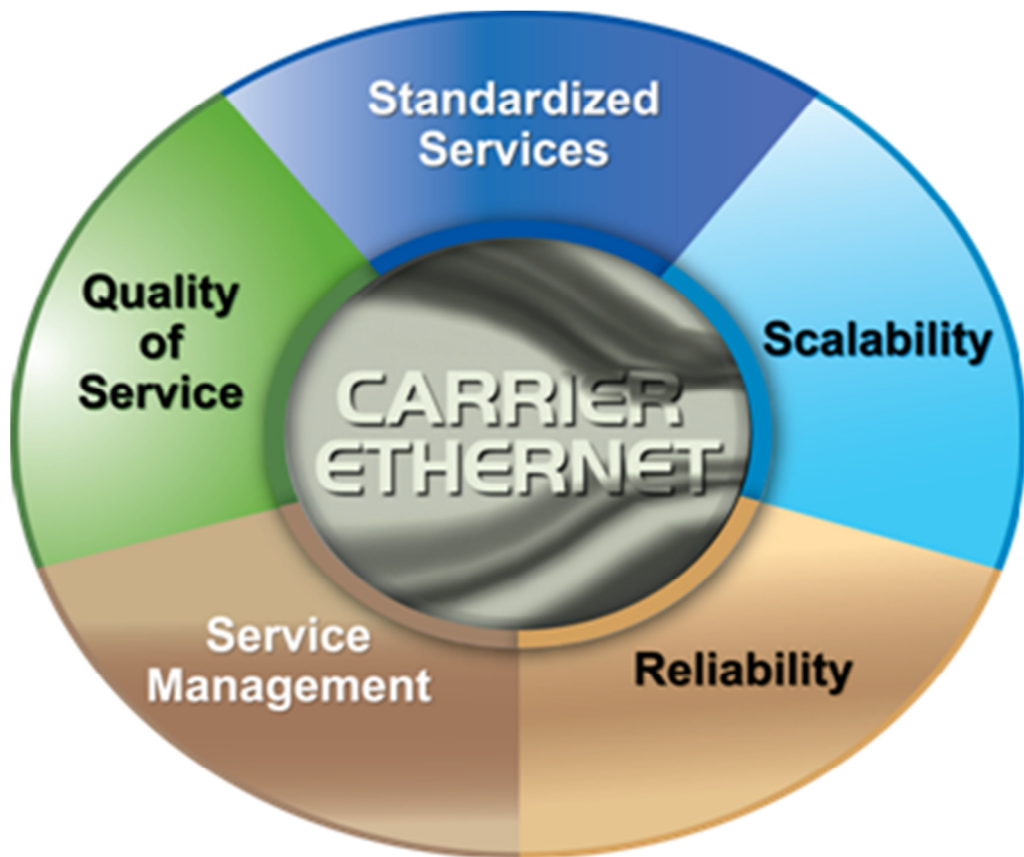
## 1.-CARRIER ETHERNET

Το Carrier Grade Ethernet, ή Carrier Ethernet, είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησης του Ethernet σε διαφορετικές τεχνολογίες μεταφοράς δεδομένων, που ξεπερνά τα όρια των πανεπιστημιακών, εταιρικών ή μητροπολιτικών δικτύων και μπορεί να επεκταθεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Υπό την έννοια αυτή, ορίζεται το Metro Ethernet Network (MEN), ως ένα δίκτυο Ethernet που ξεπερνά την κλασσική έννοια του MAN και επεκτείνεται σε παγκόσμια δίκτυα και δίκτυα πρόσβασης.

Το Carrier Ethernet χρησιμοποιεί μια υπηρεσία backhauling, η οποία υλοποιείτε όχι μόνο στα παραδοσιακά Ethernet δίκτυα, αλλά και μέσω άλλων τεχνολογιών και αποτελείται από πέντε χαρακτηριστικά

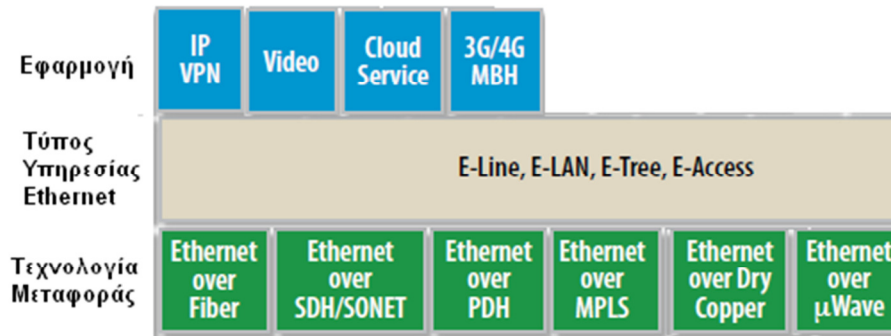
- **Κλιμακωσιμότητα** : επιτρέπει την σύνδεση δεδομένων μεταξύ οποιουδήποτε αριθμού τοποθεσιών του τελικού χρήστη σε οποιαδήποτε απόσταση, είτε πρόκειται για το μετρό, περιφερειακό, εθνικό ή διεθνές χρησιμοποιώντας Carrier Ethernet.
- **Τυποποιημένες υπηρεσίες** : επιτρέπουν στους τελικούς χρήστες και παρόχους υπηρεσιών να συντονιστούν, προκειμένου να επιτευχθεί η συνδεσιμότητα δεδομένων με βάση τη τεχνολογία Carrier Ethernet μεταξύ πολλαπλών θέσεων τελικού χρήστη, όπως απαιτείται από τις οργανώσεις σε όλο τον κόσμο.

- **Ποιότητα υπηρεσιών** : επιτρέπει τη χρήση ενός ενιαίου δικτύου για την εκτέλεση πολλαπλών υπηρεσιών σε πολλαπλούς τελικούς χρήστες που χρησιμοποιούν μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις εύρους ζώνης.
- **Αξιοπιστία** : επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να υπάρχει αξιοπιστία μέσω του Carrier Ethernet για την αποστολή των κρίσιμων εφαρμογών τους.
- **Διαχείριση υπηρεσιών** : επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να μπορούν να παρέμβουν στη συντήρηση και την αντιμετώπιση των προβλημάτων στις υπηρεσίες συνδεσιμότητας των δεδομένων με βάση του Carrier Ethernet εγκαίρως και οικονομικά



## 1.1.- Χρήσεις Του CARRIER ETHERNET

Στην εικόνα και στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των διαφορετικών ρόλων του Carrier Ethernet στο δίκτυο.



Χρήσεις του Carrier Ethernet (Carrier Ethernet Essentials, Fujitsu Network Communications Inc., 2010)

Εφαρμογή	Περιγραφή
<b>3G/4G cell site mobile backhaul</b>	Διασύνδεση κινητών σταθμών βάσης 3G/4G με τους ελεγκτές βάσης, στο κέντρο μεταγωγής
<b>Ethernet access to IP services (Ethernet πρόσβαση σε IP υπηρεσίες)</b>	Αφιερωμένη πρόσβαση στο Internet, πρόσβαση σε IP VPNs και cloud υπηρεσίες, IP video μέσω DSLAM, GePON ή CMTS συλλέκτη

Ethernet και εφαρμογές

## 1.2-Carrier Ethernet Mobile

Η αύξηση της χρήσης των κινητών τηλεφώνων αλλά αντίστοιχα και των χρηστών κινητής τηλεφωνίας έφερε στο προσκήνιο την ανάγκη για ανάπτυξη υπηρεσιών και εφαρμογών, οι οποίες θα ξεπερνούσαν τα όρια των υπηρεσιών ομιλίας και θα εμπλούτιζαν τα δίκτυα με υπηρεσίες βίντεο, περιήγησης στο διαδίκτυο αλλά και υπηρεσίες αποστολής και λήψης δεδομένων γενικότερα. Για το λόγο αυτό τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησαν να υποδέχονται νέες τεχνολογίες για την υποστήριξη του συνεχώς αυξανόμενου φορτίου αλλά και απαιτήσεων. Η μετάβαση ανάμεσα σε διαφορετικού τύπου τεχνολογίες χαρακτηρίστηκε ως γενιά. Έτσι ενώ ξεκινήσαμε από δίκτυα που χρησιμοποιούσαν τεχνολογίες πρώτης γενιάς, κυρίως αναλογικά συστήματα (1G), μεταφερθήκαμε σταδιακά σε δίκτυα τεχνολογιών δεύτερης (2G), τρίτης (3G) και εν τέλει τέταρτης γενιάς (4G).

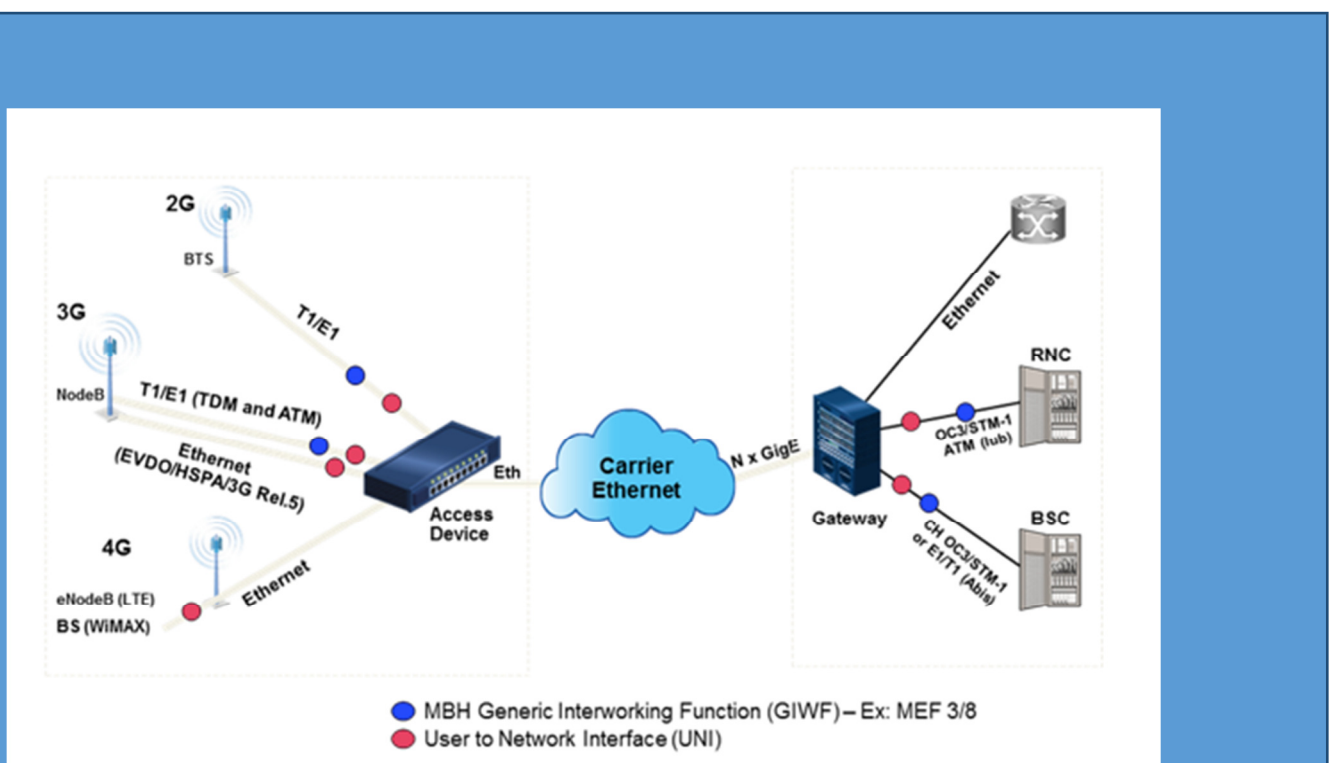
Η ανάπτυξη και εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας έδωσε πρόσφορο έδαφος, όπως είπαμε, για τη δημιουργία υπηρεσιών με μεγαλύτερο φόρτο για το δίκτυο αλλά και με μεγαλύτερες απαιτήσεις από αυτό. Σαν αποτέλεσμα οι χρήστες των υπηρεσιών αυτών απαιτούσαν ολοένα και μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης αλλά και πιο ολοκληρωμένη εξυπηρέτηση από τις εταιρείες. Οι συνθήκες αυτές εισήγαγαν το μέγεθος της

ποιότητας υπηρεσίας ή αλλιώς της QoS στα κυψελωτά αλλά και γενικά στα ασύρματα δίκτυα.

### 1.3-Τεχνολογίες πρόσβασης Carrier Ethernet Mobile

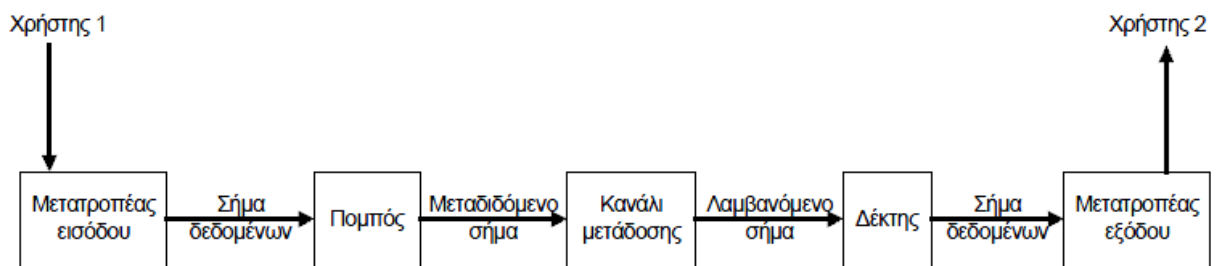
Για το Carrier Ethernet Mobile, υπάρχει μια ποικιλία τεχνολογιών πρόσβασης, ανάλογα με τον τύπο που εκπέμπουν οι σταθμοί βάσης 2G και 3G οι οποίες μπορεί να έχουν διασυνδέσεις TDM ή PDH ή ETHERNET για το 3G (είτε E1/T1 ή συνδεδεμένα T1s/E1s) και για το 4G οι σταθμοί βάσης LTE έχουν διασυνδέσεις Ethernet. Η σύνδεση γίνεται είτε με οπτική ίνα η οποία μπορούσε να είναι η ιδανική επιλογή, αλλά επειδή οπτικές ίνες δεν είναι διαθέσιμες σε όλες τις περιοχές είτε θα χρησιμοποιήσουν Point-to-Point προς έναν κόμβο συγκέντρωσης.

Οι επιλογές που συνοψίζονται στο παρακάτω σχήμα



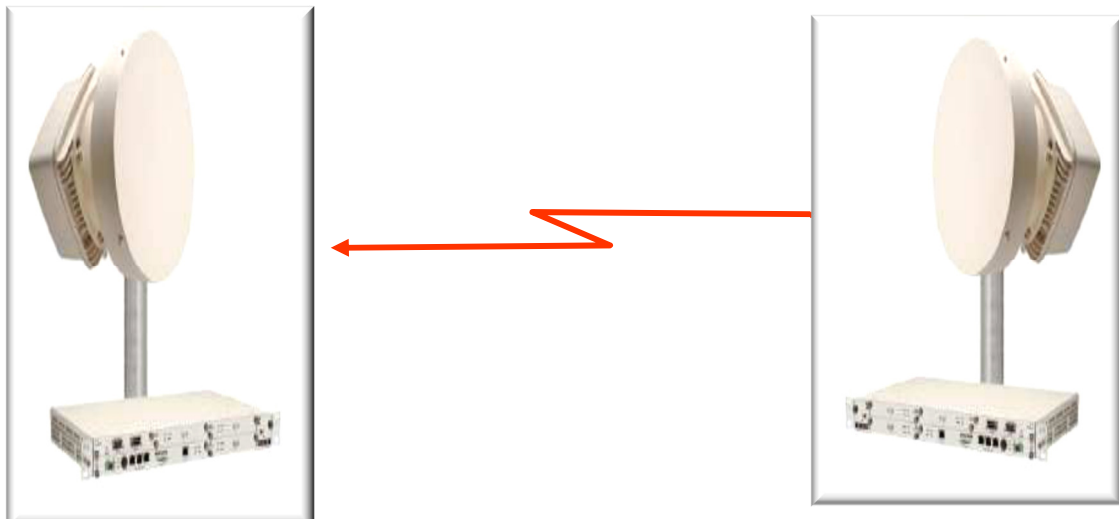
## 1.4-Τεχνολογίες Μεταφοράς Carrier Ethernet

Σκοπός των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων είναι η μεταβίβαση πληροφοριών από ένα σημείο του χώρου που ονομάζεται πομπός σε ένα άλλο σημείο του χώρου που ονομάζεται δέκτης, με τη βοήθεια ενός μέσου διάδοσης. Η δομή ενός τυπικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα :



Η μετάδοση της πληροφορίας μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα παρακάτω είδη υποδομών:

- ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

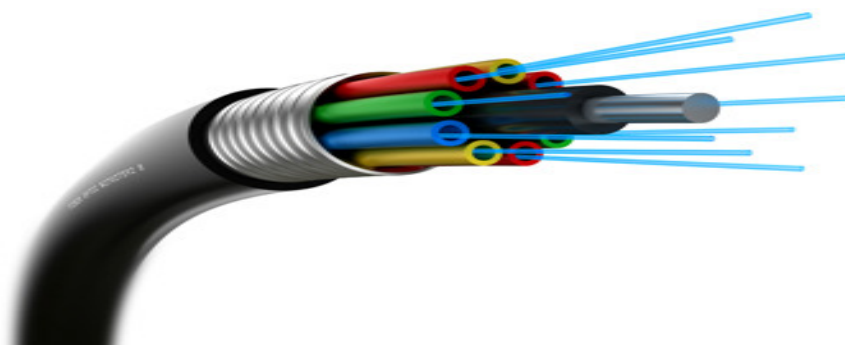
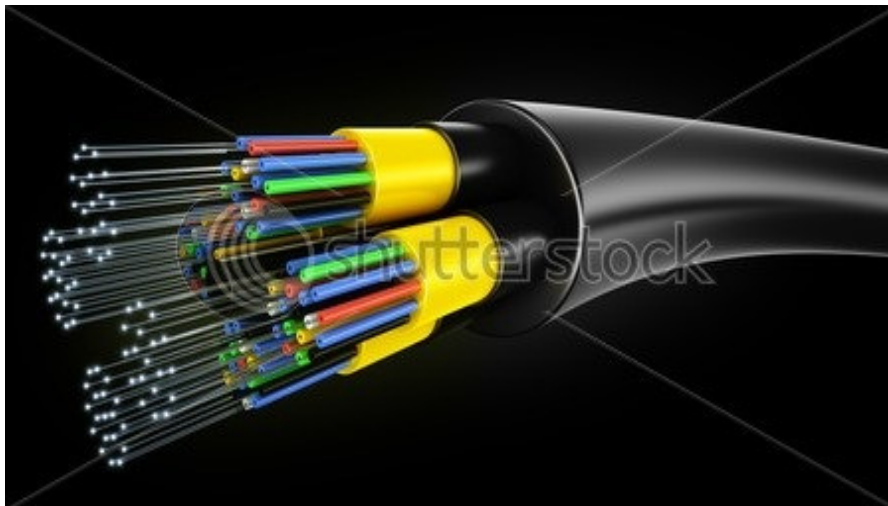




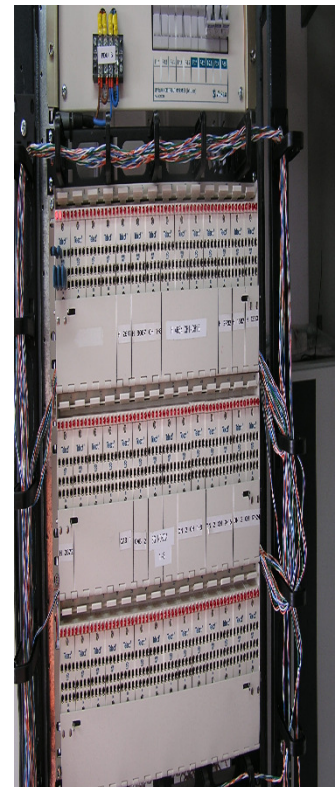
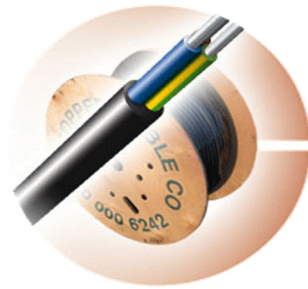
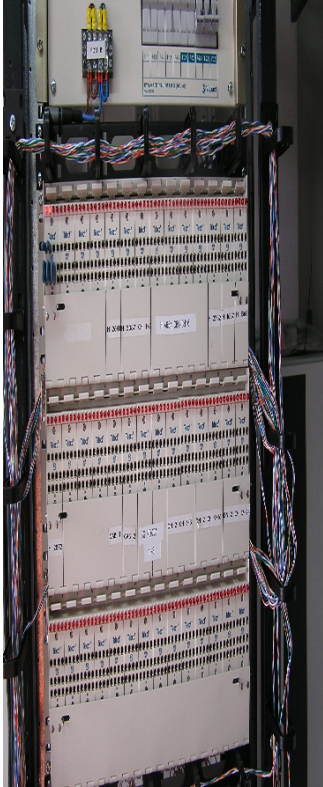




- ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ



- ΧΑΛΚΟΣ



Ανάλογα με τον όγκο της πληροφορίας που μεταδίδεται, χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχες υποδομές μετάδοσης:

- M/W ζεύξεις μικρής χωρητικότητας για μετάδοση πληροφορίας που ανήκει στο access δίκτυο
- M/W ζεύξεις μεσαίας και υψηλής χωρητικότητας για μετάδοση πληροφορίας που ανήκει στο core δίκτυο
- Χρήση δικτύων οπτικών ινών για μετάδοση πληροφορίας που ανήκει στο core δίκτυο
- Χρήση δικτύων μετάδοσης βασισμένα σε υποδομές χαλκού για μετάδοση πληροφορίας που ανήκει κυρίως στο access δίκτυο

### 1.5-M/W Ethernet Backhauling

Η έκρηξη των ευρυζωνικών εφαρμογών αύξησε τις απαιτήσεις των καταναλωτών για πρόσβαση σε multimedia περιεχόμενο, περισσότερη φορητότητα και προσωποποιημένες υπηρεσίες. Οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς έχουν συνειδητοποιήσει τις αυξανόμενες ανάγκες για μεγαλύτερη χωρητικότητα στο δίκτυο λόγω των αυξανόμενων αναγκών πρόσβασης στο δίκτυο ή καναλιού επιστροφής (backhaul) αλλά και IP λύσεων. Αυτές οι ανάγκες επιβάλλουν

νέες επενδύσεις για επέκταση και αναβάθμιση των δικτύων. Απαιτείται αποτελεσματικός εκσυγχρονισμός, προσφορά νέων κερδοφόρων υπηρεσιών καθώς και γρήγορη απόσβεση της επένδυσης (ROI). Οι μικροκυματικές backhaul συνδέσεις σήμερα είναι αναγκαίες διότι ο συνδρομητής κινητής έχει την ανάγκη για καλύτερη κάλυψη και πρέπει ο πάροχος να είναι σε θέση να προσφέρει την ίδια εμπειρία μέσα από ένα 3G ή 4G δίκτυο με την ίδια απόδοση τόσο εντός και εκτός της πόλης. Δεδομένου ότι το κόστος λειτουργίας και εγκατάστασης των οπτικών ινών είναι αρκετά υψηλό και η ταχύτητα του χαλκού δεν αρκεί, οι μικροκυματικές ζεύξεις, αποτελούν μια πολύ οικονομική λύση στα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα και ειδικά στο τελευταίο μίλι σύνδεσης στο χρήστη. Έτσι η ασύρματη σύνδεση backhaul αναφέρεται στη χρήση της υψηλής απόδοσης ασύρματης σημειακής πρόσβασης (επίσης γνωστή ως Point-to-Point) συγκρίσιμης με την οπτική ώστε να επεκταθεί η σύνδεση μεταξύ δύο τοποθεσιών, για παράδειγμα δύο σταθμών βάσης (Cell Towers) αντί να χρησιμοποιηθεί μια δαπανηρή ενσύρματη σύνδεση. Σε ζήτηση παρατηρούνται και οι λύσεις πολυσημειακής ασύρματης σύνδεσης (για κοντινές αποστάσεις, που συνδέονται άμεσα με την αναμενόμενη ανάπτυξη των μικρών κελιών (small cells), που αναμένεται να υποστηρίξουν τα macrocells με πρόσθετη χωρητικότητα. Οι πολυσημειακές συνδέσεις αναμένεται να

επιφέρουν οικονομικότερες λύσεις τόσο σε CAPEX όσο και OPEX λόγω της χρήσης λιγότερου εξοπλισμού ανά cell site.

#### 1.5.1-Τα οφέλη της μικροκυματικής backhaul σύνδεσης

1. **Ταχεία ανάπτυξη:** Η ασύρματη σύνδεση εξαλείφει τα φυσικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι ενσύρματες λύσεις, καθιστώντας πολύ ευκολότερη την ανάπτυξη ασύρματων ευρυζωνικών.
2. **Ευέλικτη ανάπτυξη,** μπορεί να αναπτυχθεί οπουδήποτε, δύσκολα εδάφη, απομακρυσμένες περιοχές, κ.λπ.
3. **Μειωμένο κόστος,** εξαλείφει τις υψηλές δαπάνες που συνδέονται με τις ενσύρματες αναπτύξεις, συμπεριλαμβανομένου του κόστους των υλικών, το κόστος των ορυγμάτων, που ασχολούνται με μεγάλα κτίρια, κλπ.
4. **Υψηλές επιδόσεις,** με τα ασύρματα έχουμε όλα τα πλεονεκτήματα της ασύρματης χωρίς να θυσιάζει καμία απόδοση, ακόμα και της τάξης Gbps σε υψηλές συχνότητες **60-80GHz**, ενώ σε μεσαίες συχνότητες υπάρχει δυνατότητα του multichanneling για υποστήριξη παρόμοιας χωρητικότητας.

### 1.5.2-Τα μειονεκτήματα της backhaul μικροκυματικής

Στα μειονεκτήματα της μικροκυματικής θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε την ανάγκη για καλύτερο σχεδιασμό της κατανομής του φάσματος (frequency planning), το ετήσιο κόστος άδειας φάσματος (που είναι αρκετά υψηλό για την απόκτησή του), την αύξηση των παρεμβολών μεταξύ των cell sites σε πυκνοκατοικημένες περιοχές αλλά και η ανάγκη για ακόμα μικρότερες κεραιές σε σχέση με τις σημερινές στην περίπτωση υποστήριξης των ανερχόμενων μικρών κελιών (small cells). Τα τελευταία πρόκειται να υποστηρίξουν τους συνδρομητές κινητής στο τελευταίο μίλι για την καλύτερη και αποδοτικότερη λήψη των υπηρεσιών κινητής κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

### 1.6-Ενσύρματες Ευρυζωνικές Τεχνολογίες

Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο σήμερα μπορεί να φθάσει τα 10Gbps, και μεταφέρουν το σήμα σε αρκετά μεγάλη απόσταση χωρίς σημαντικές απώλειες λόγω εξασθένησης. Επιπλέον, περιορίζουν τον αριθμό των ενδιάμεσων ενισχύσεων που απαιτούνται για να διασχίσει το σήμα μια μεγάλη απόσταση, και έχουν σημαντική ανοχή στον



θόρυβο. Για την υλοποίηση οπτικών δικτύων ακολουθείται η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων: κύριου δικτύου, δικτύου διανομής και δικτύου πρόσβασης. Το κύριο δίκτυο περιλαμβάνει το δίκτυο υποδομών και οπτικών καλωδίων για τη διασύνδεση μεταξύ των κυρίων κόμβων για κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης αλλά πλέον αραιοκατοικημένης περιοχής ή μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Το δίκτυο διανομής αποτελεί το πυκνότερο δίκτυο για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων διανομής ή και μεταξύ κόμβων διανομής και κύριων κόμβων. Ένας κόμβος διανομής συνιστά το σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του κατ'εξοχήν μητροπολιτικού δικτύου (δικτύου διανομής) για συγκέντρωση των επικοινωνιακών αναγκών μιας γεωγραφικής περιοχής. Το δίκτυο πρόσβασης αποτελεί το δίκτυο σύνδεσης των κόμβων πρόσβασης με το δίκτυο διανομής. Ο κόμβος πρόσβασης ουσιαστικά συνιστά το σημείο διασύνδεσης μεμονωμένων κτιριακών εγκαταστάσεων ή συγκροτημάτων προς το δίκτυο πρόσβασης. Οι τεχνολογίες οπτικών ινών δημιουργούν μια οικογένεια αρχιτεκτονικών που ονομάζεται FTTx, όπου το 'x' παριστάνει τις διάφορες επιλογές όσον αφορά τον αριθμό των συνδρομητών που μοιράζονται το τελευταίο τμήμα της καλωδίωσης.

### 1.6.1-Τεχνολογία SHDSL

Είναι μια μορφή ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής ( DSL ) , μια τεχνολογία επικοινωνιών που επιτρέπει την ταχύτερη μετάδοση δεδομένων μέσω τηλεφωνικών γραμμών χαλκού από ό, τι μπορεί να παρέχει ένα συμβατικό μόντεμ . Με την SHDSL τεχνολογία αυξήθηκαν οι ταχύτητες των δεδομένων και είναι πολύ δημοφιλής η χρήση του στις επιχειρήσεις οι οποίες κατέχουν ένα ιδιωτικό τηλεφωνικό κέντρο ( PBX ) , εικονικό ιδιωτικό δίκτυο ( VPN ) , web hosting και άλλες υπηρεσίες δεδομένων. Οι ταχύτητες επηρεάζονται ανάλογα με τις συνθήκες βρόχου και το θόρυβο ( περισσότερο θόρυβο ή υψηλότερο ποσοστό μειωμένης εμβέλειας ) και μπορεί να είναι μέχρι 3.000 μέτρα . Το ωφέλιμο φορτίο SHDSL μπορεί να είναι είτε « καθαρό κανάλι » ( αδόμητη ) , T1 ή E1 ( πλήρη ή κλασματική ρυθμό ) , πολλαπλά κύτταρα ISDN Basic Rate Interface ( BRI ) Τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς ( ATM ) ή πακέτα Ethernet . Η Hybrid λειτουργία επιτρέπει ένα μίγμα των δύο σε χωριστά ρεύματα ( π.χ. E1 και Ethernet) για να μοιράζονται το εύρος ζώνης SHDSL .

### 1.6.2-Τεχνολογία VDSL

Η τεχνολογία VDSL είναι επέκταση της ADSL και έχει προτυποποιηθεί ως ITUG.993.1. Σε αντίθεση με την ADSL, η VDSL έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει τόσο με συμμετρικό όσο και με ασύμμετρο τρόπο, χρησιμοποιώντας είτε μια απλή τηλεφωνική γραμμή είτε μια ISDN γραμμή, μεταδίδοντας δεδομένα με υψηλές ταχύτητες σε μικρές αποστάσεις. Ο ασύμμετρος τρόπος λειτουργίας του VDSL απευθύνεται κυρίως στους οικιακούς χρήστες, δίνοντας τους την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες ευρείας ζώνης μετάδοσης. Η συνύπαρξη τηλεφωνικών και VDSL σημάτων στο ίδιο καλώδιο πραγματοποιείται με τον διαχωρισμό των συχνοτήτων μετάδοσης με την χρήση ενός εξωτερικού splitter. Η VDSL τεχνολογία μοιάζει αρκετά με την ADSL, παρότι η VDSL διαχειρίζεται ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και επομένως η υλοποίηση του θα είναι πολύ πιο δύσκολη. Για την υλοποίηση του VDSL έχουν προταθεί τέσσερις διαφορετικοί κώδικες γραμμής που είναι:

- **CAP**: Αποτελεί μια διαφορετική μορφή της QAM διαμόρφωσης γραμμής.
- **DMT**: Είναι μια διαμόρφωση που χρησιμοποιεί ένα σύστημα με πολλαπλούς φορείς και διακριτό μετασχηματισμό Fourier για να δημιουργήσει και να αποδιαμορφώσει τους φορείς στην συχνότητα.

- **DWMT**: Είναι μια τεχνική διαμόρφωσης με πολλαπλούς φορείς που χρησιμοποιείται ώστε να αξιοποιηθεί το σύνολο των δυνατοτήτων των χάλκινων καλωδίων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η προσφορά υπηρεσιών ευρείας ζώνης και προς τις δύο κατευθύνσεις.
- **SDMT**: Είναι μια τεχνική διαμόρφωσης που συνδυάζει δύο διαφορετικές τεχνικές μετάδοσης δεδομένων, την DMT για την μετάδοση και την τεχνική χρονικής απόπλεξης (TDD) για τον προγραμματισμό του ανοδικού και καθοδικού ρυθμού μετάδοσης.

### 1.6.3-Τεχνολογία VDSL2

Το VDSL2 είναι το νεότερο μέλος της οικογένειας των DSL τεχνολογιών και είναι σχεδιασμένο για Triple Play υπηρεσίες (φωνή, video, δεδομένα, υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση – HDTV και διαδραστικά παιχνίδια). Το VDSL2 (πρότυπο G.993.2 της ITU-T) επιτρέπει την σταδιακή και ευέλικτη αναβάθμιση της υπάρχουσας Xdsl υποδομής. Αποτελεί βελτίωση στο πρότυπο G.993.1 (VDSL) στο ότι επιτρέπει τη μετάδοση συμμετρικών και ασύμμετρων ρυθμών (Full-Duplex) μέχρι 200 Mbit/s σε συνεστραμμένα ζεύγη χρησιμοποιώντας συχνότητες μέχρι 30 MHz. Το VDSL2 γρήγορα εκφυλίζεται από το θεωρητικό maximum των 250 Mbit/s στα 100 Mbit/s για απόσταση 0,5 km και στα 50 Mbit/s για απόσταση 1 km, αλλά από εκεί και πέρα η μείωση είναι σημαντικά αργότερη όσο αυξάνει η απόσταση, και συνεχίζει να υπερισχύει του VDSL. Από τα 1,6 km η απόδοσή του είναι ισότιμη με το ADSL2+.

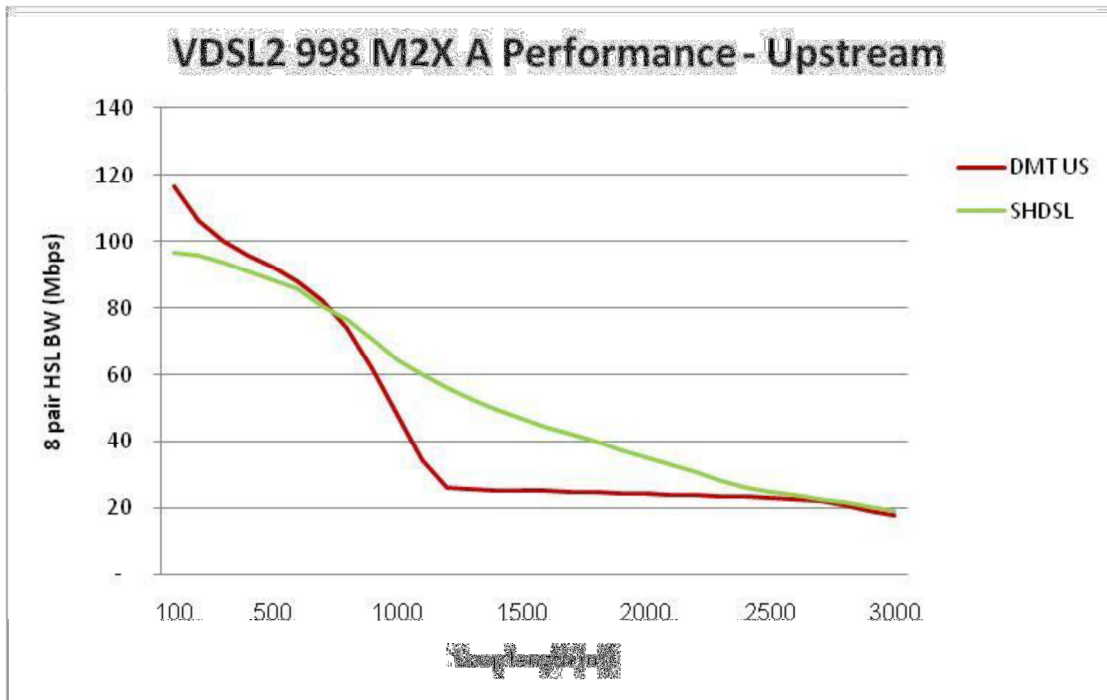
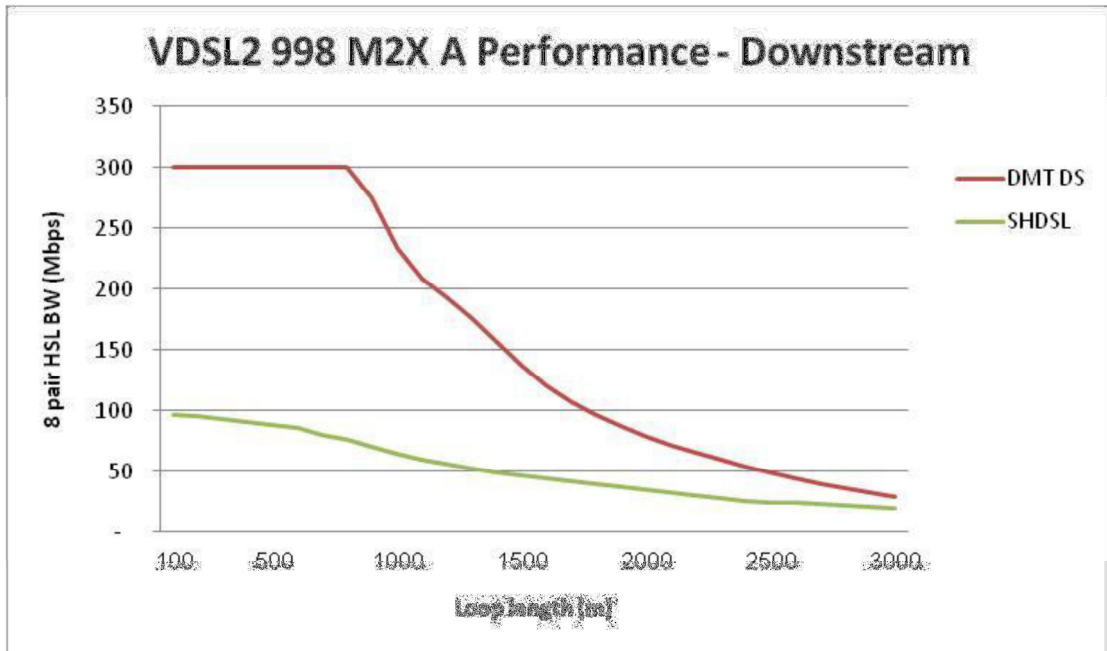
## 1.6.4-Μηχανήματα και Συγκρίσεις τεχνολογιών SHDSL-VDSL/VDSL2



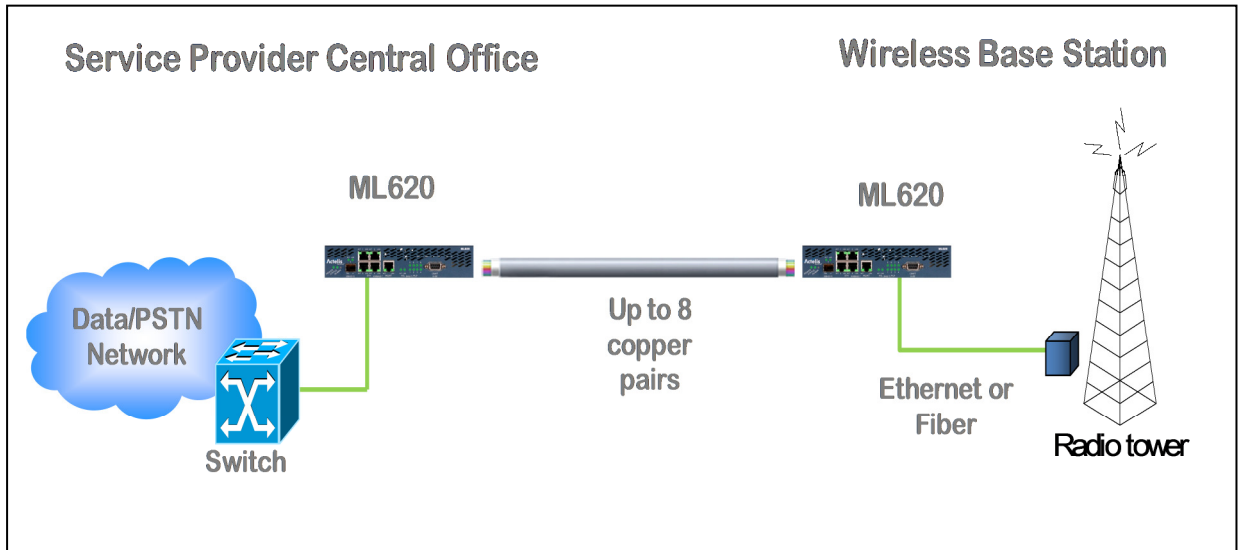
Modem της εταιρίας Actelis



Τύποι modem



Παρουσίαση επιδόσεων vdsl2



Backhauling δίκτυο με ενσυρματη τεχνολογία μέσω modem

S.no	Distances	SNR	Max bandwidth per Pairs			Bandwidth with DRB		% benefit with DRB		
			2	4	8	4	8	4	8	
1	500 m	6	23.5	45.3	88.4	45.7	88.4	0.9	0.0	Not recommended up to .75 Km
2	750 m	6	20.1	40.2	79.6	43.6	81.1	8.5	1.9	
3	1000 m	6	18.7	34.2	64.4	36.4	71.6	6.4	11.2	
4	1 Km	6	15.9	29.6	54.5	33.2	63.9	12.2	17.2	Moderate benefit up 1.75 Km
5	1.5 Km	6	13.6	26	46.8	30.2	57.8	16.2	23.5	
6	1.75 Km	6	12.1	22.8	41	27.5	53.4	20.6	30.2	
7	2 Km	6	10.9	19.6	35.3	24.9	49.3	27.0	39.7	
8	2.25 Km	6	9.5	16.8	29.5	22.4	45.2	33.3	53.2	DRB Recomanded
9	2.5 Km	6	8.4	14.5	24.9	20	40.7	37.9	63.5	
10	2.75 Km	6	7.5	12.7	22.1	17.7	37.2	39.4	68.3	
11	3 Km	6	6.7	11	19.3	16.3	32.8	48.2	69.9	
12	3.25 Km	6	5.9	9.4	16.5	14.8	30.5	57.4	84.8	
13	3.75 Km	6	4.6	7.1	12.4	11.8	24.2	66.2	95.2	
14	4 Km	6	4	6.2	10.7	10.2	21.1	64.5	97.2	
15	4.25 Km	6	3.4	5.3	9.1	8.7	18.1	64.2	98.9	
16	4.75 Km	6	2.5	4	6.7	5.9	11.8	47.5	76.1	
17	5 Km	6	2.2	3.5	5.7	5.3	10.9	51.4	91.2	

Note -

- 1 DRB stands for Dynamic Rate Boost and it is a license based feature.
- 2 DRB allows CPE to cancel cross talk (CO always manage it) to boost Bandwidth/reach
- 3 DRB is not much effective on 2 pairs, so we will not recommend DRB on 2 Pairs

Απόδοση δικτύου η οποία εξαρτάται από την απόσταση και τις γραμμές που διαθέτουμε για τον σταθμό βάσης.



2	OTE		AREA	DISTANCE MEASURED BY MODEMS (km)	C.Ps	ACTELIS THROUGHPUT	BW / pair (mbps)
3							
4	ARIADNI_TK	6450	KRITI	0,60	6	63,000	10,50
5	KIFISIA	0054	ATH	0,73	4	34,000	8,50
6	PIREAS	0033	ATH	0,79	3	24,000	8,00
7	PIREAS	0033	ATH	0,91	3	16,743	5,58
8	ATHINAS	00080	ATH	0,95	7	42,000	6,00
9	ACHARNES	0046	ATH	1,52	4	16,803	4,20
10	KIFISIA	0054	ATH	1,80	4	11,000	2,75
11	N.IONIA	0060	ATH	1,90	4	11,000	2,75
12	DAFNI	0002	ATH	0,85	3	25,000	8,33
13	EGALEO	0005	ATH	1,90	3	9,000	3,00
14	AMPELOKIPI	0077	ATH	0,67	3	23,000	7,67
15	AMPELOKIPI	0077	ATH	1,00	3	19,000	6,33
16	AMPELOKIPI	0077	ATH	0,60	4	32,000	8,00
17	AMPELOKIPI	0077	ATH	0,85	3	28,000	9,33
18	ALEXANDRA	0072	ATH	0,98	4	29,300	7,33
19	ALEXANDRA	0072	ATH	0,91	4	27,500	6,88
20	AMPELOKIPI	0077	ATH	1,04	4	18,000	4,50
21	PELOPAS	5008	PAT	1,19	3	10,750	3,58
22	ILISSOS	0078	ATH	1,13	4	22,200	5,55
23	ILISSOS	0078	ATH	1,13	4	26,87	6,72
24	ILISSOS	0078	ATH	0,88	4	30,45	7,61
25	AMPELOKIPI	0077	ATH	0,79	4	33,06	8,27
26	HORIKO_MD	2955	ATH	1,03	3	27,30	9,10
27	HORIKO_MD	2955	ATH	0,66	3	32,21	10,74
28	MOUSON	2664	ATH	2,38	3	8,43	2,81
29	MOUSON	2664	ATH	2,59	3	5,46	1,82
30	PIREAS	0033	ATH	1,13	3	19,11	6,37
31	PIREAS	0033	ATH	0,71	3	25,60	8,53
32	KALAMARIA	1112	THE	2,20	4	10,70	2,68
33	PATISSION	0068	ATH	0,94	3	24,14	8,05
34	ILISSOS	0078	ATH	1,50	4	22,60	5,65
35	ILISSOS	0078	ATH	1,68	4	11,77	2,94
36	N.IRAKLIO	0059	ATH	1,34	4	18,38	4,60
37	SERRES_A	3093	THE	0,37	4	33,90	8,48
38	XANTHI	3156	THE	0,55	3	14,56	4,85

## 2.-Σχεδιασμός δικτύου κινητής τηλεφωνίας και η εξέλιξή του

### 2.1-ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

- ▶ 1940: Την δεκαετία αυτή έγινε η πρώτη εμφάνιση των κινητών ραδιοεπικοινωνιών
- ▶ 1962: Παρουσίαση συστήματος κινητής τηλεφωνίας IMTS (IMPROVED MOBILE TELEPHONE SERVICE)
- ▶ 1978: Παρουσίαση & Ανάπτυξη Δικτύου AMPS (ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM)
- ▶ 1980: Εμφάνιση Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών τύπου NMT 450 (NORDIC MOBILE TELEPHONY)
- ▶ 1982-1987: Εμφάνιση Δικτύων GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION)
- ▶ 2000-: Ανάπτυξη Δικτύων GSM / GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)
- ▶ 2001 - : Ανάπτυξη Δικτύων UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM)
- ▶ Σήμερα: Ανάπτυξη Δικτύων 4G (4th GENERATION TELECOMMUNICATION SYSTEM-LTE)

### 2.1.1-ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ IMTS (IMPROVED MOBILE TELEPHONE SERVICE)

Πρόκειται πρακτικά για το 0g σύστημα κινητής τηλεφωνίας το οποίο εμφανίστηκε το 1964 και η ισχύς του ήταν τουλάχιστον 600 mw, οι σταθμοί βάσης του imts εν γένει κάλυπταν 60-70 χιλιόμετρα σε διάμετρο. Το χαρακτηριστικό της τηλεφωνίας IMTS ήταν ότι στο συγκεκριμένο σύστημα σε ορισμένες περιοχές η επικοινωνία ήταν μονοφορή (δεν μπορούσε να υποστηρίξει και ομιλία και ακρόαση ταυτόχρονα) γι' αυτό και υπήρχε ένα κουμπί (push-to-talk switch in the handset) με το οποίο μιλάγες, μια ακούγες (κατι σαν τα walkie talkie)



Μετά δημιουργήθηκε η πρώτη γενιά η οποία χρησιμοποιούταν από αρκετές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας ήταν η αναλογική και χαμηλή ποιότητα μετάδοσης της φωνής στην οποία υπήρχαν πολλά προβλήματα σύνδεσης, επίσης ήταν ογκώδης και είχε βαριές συσκευές, με χαμηλό επίπεδο ασφάλειας και έλλειψη ποικίλων υπηρεσιών. Ποιο συγκεκριμένα υπήρξαν οι εξής τεχνολογίες:

- Το **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) ήταν μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από τα εργαστήρια της Bell το 1978. Μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε λίγο αργότερα το **NAMPS** (Narrowband AMPS), το οποίο ενσωμάτωνε κάποια ψηφιακή τεχνολογία προκειμένου να επιτρέψει στο σύστημα να αυξήσει τη χωρητικότητά του έως και 3 φορές περισσότερες κλήσεις από το αρχικό AMPS. Το **NAMPS** μπορεί να έκανε κάποια χρήση ψηφιακής τεχνολογίας, αλλά κατά βάση ήταν αναλογικό.
- Το **TACS** (Total Access Communication System) ήταν μια αντίστοιχη τεχνολογία του AMPS που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του '80.

Λειτουργούσε σε συχνότητες των 900MHz υποστήριζε και διάφορες υπηρεσίες, όπως πληροφορίες χρέωσης.

- Το **NMT450** ήταν ένα από τα πρώτα κυψελοειδή δίκτυα και εντοπίζονταν στη Γερμανία, Πορτογαλία και Νότιο Αφρική. Είναι η πρώτη τεχνολογία που υποστήριζε να μεταφέρεται το σήμα από τη μια κυψέλη στην άλλη χωρίς να διακόπτεται (handover). Επί πλέον ήταν το πρώτο σύστημα που επέτρεπε την αποστολή σύντομων γραπτών μηνυμάτων πάνω από το κανάλι σηματοδοσίας.

Στην συνέχεια ακολούθησαν οι τεχνολογίες:

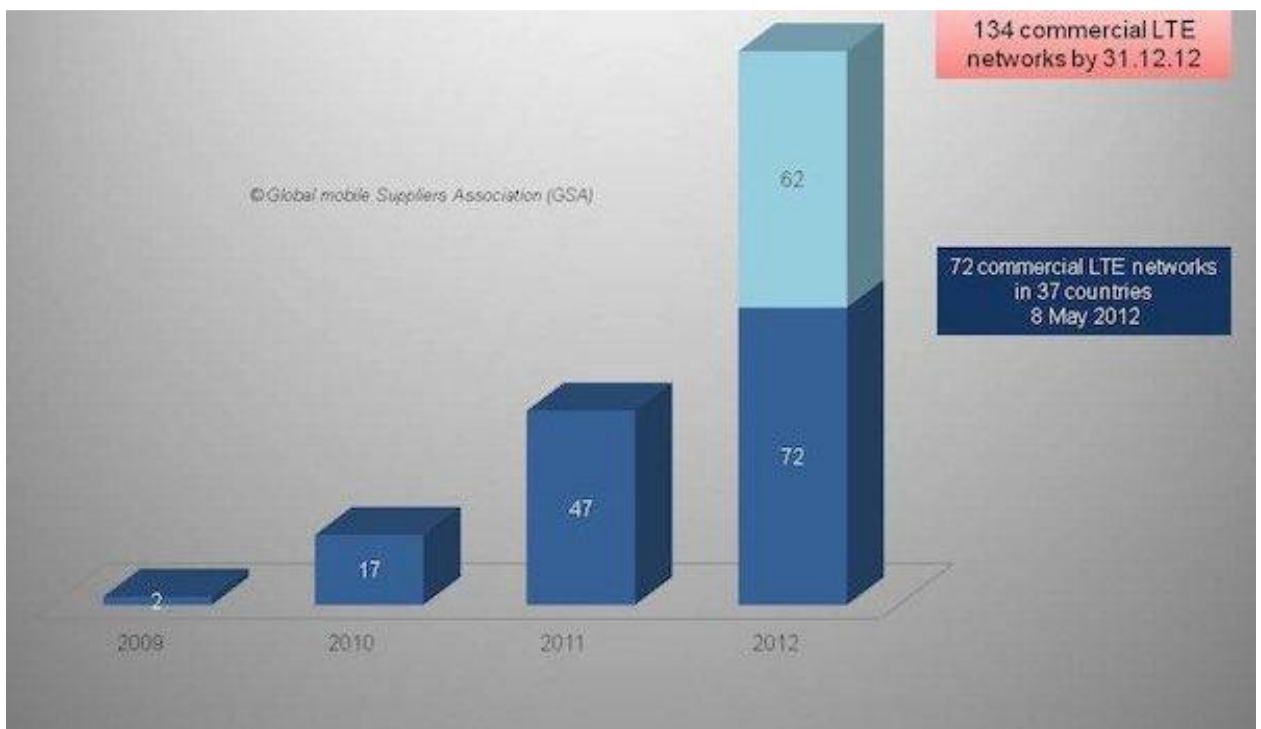
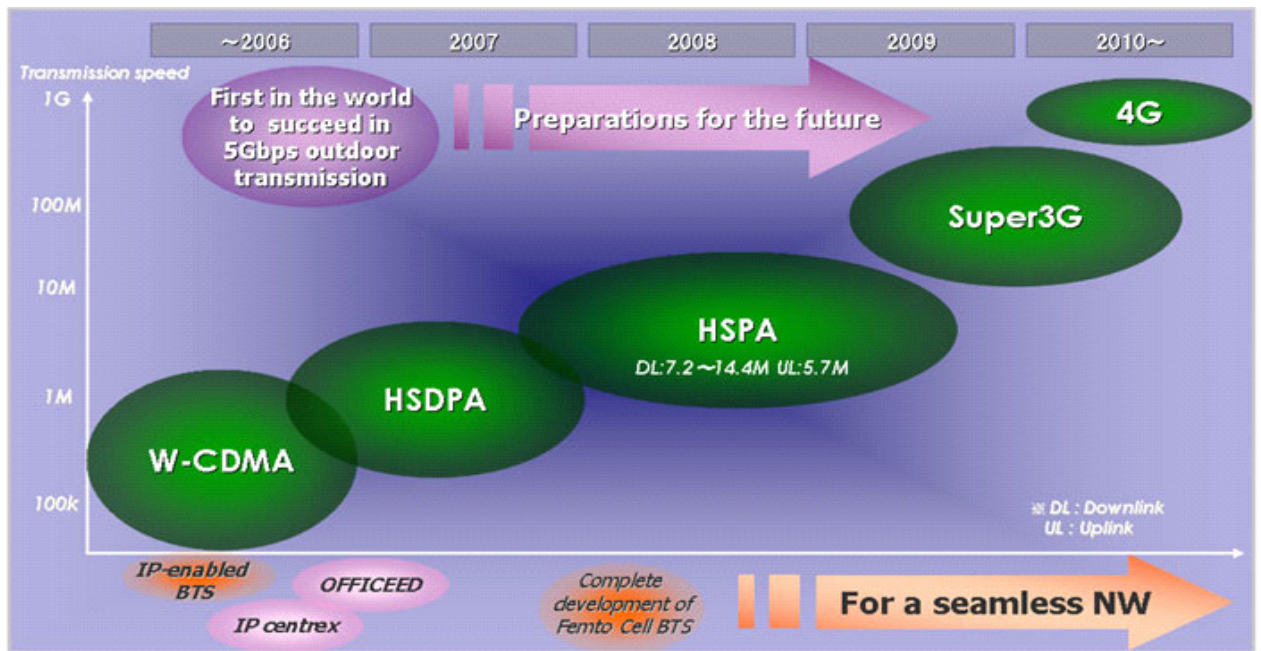
- GSM/GPRS (2G/2.5G) στην οποία τα χαρακτηριστικά τους ήταν:
  - Μετάδοση Φωνής
  - Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες από 56 έως 114 kbps (GPRS)
  - Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες έως 236 kbps (EDGE)

- UMTS (3G) VIDEO STREAMING στην οποία τα χαρακτηριστικά τους ήταν:
  - Μετάδοση Φωνής
  - Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες έως 384 kbps
  - UMTS / HSDPA (3.5G) Μεγάλες ταχύτητες DOWNLING πακέτων
  - Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες (downlink) 1.8, 3.6, 7.2 & 14.4 Mbps
  
- UMTS / HSUPA (3.5G) HIGH SPEED UPLINK PACKET ACCESS στην οποία το χαρακτηριστικό της ήταν:
  - Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες (uplink) έως 5.76 Mbps
  
- UMTS / HSPA+ (3.5G) HIGH SPEED PACKET ACCESS στην οποία τα χαρακτηριστικά της είναι:
  - Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες έως 28 Mbps & 11.5 Mbps (downlink & uplink) με 2x2MIMO κεραιών και 16 QAM

- Μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες 42 Mbps & 23 Mbps (downlink & uplink) με 2x2MIMO κεραιών και 64 QAM

Όπου σήμερα δημιουργήθηκε και η 4<sup>η</sup> γενιά με τα εξής χαρακτηριστικά :

- Μεταδοση φωνής-δεδομένων και multimedia (HDTV, DVB) με χρήση τεχνολογίας IP
- Οι ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν φτάνουν τα 5Gbps download (για κινούμενους χρήστες με  $V < 10$  km/h)
- Ταχύτητες λειτουργίας 300 Mbps uplink & 75 Mbps downlink για κάθε 20mhz φάσμα
- LTE Commercial available σε 37 χώρες στον κόσμο.



Εξέλιξη 4G Δικτύου



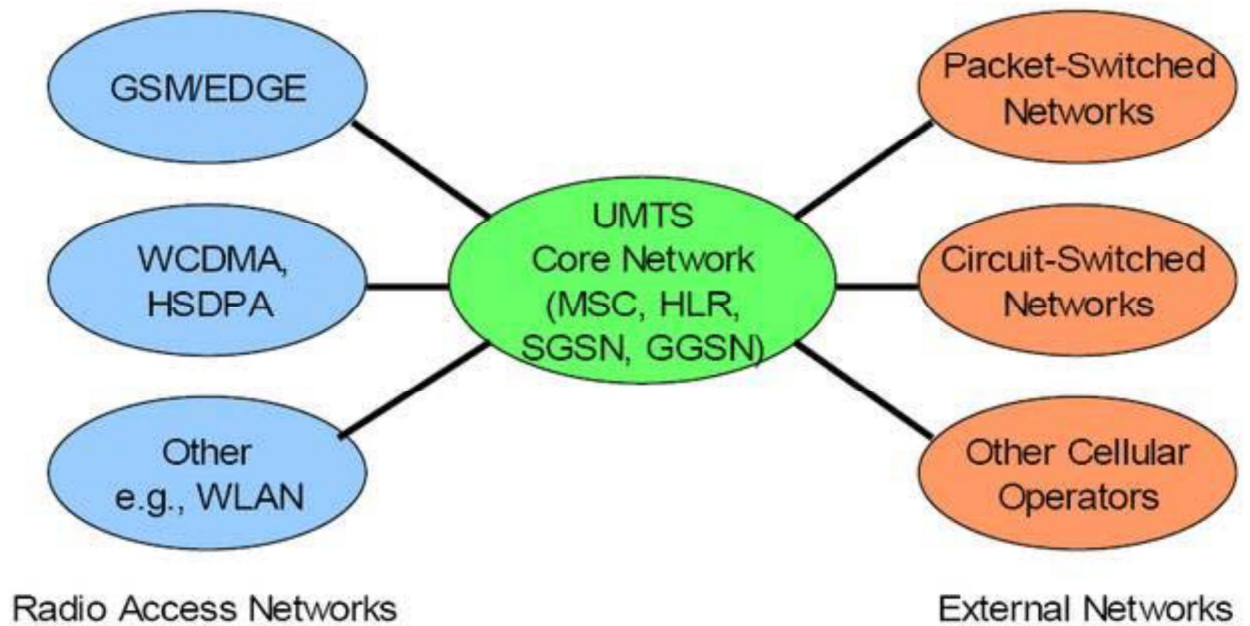
## 2.2.-Ανάλυση δικτύων 3.5G και 4G.

Οι διαχειριστές κυψελωτών δικτύων βίωσαν μια εκρηκτική ανάπτυξη στην χρήση των ευρυζωνικών δικτύων. Η αναλογία του φορτίου κίνησης ανά συνδρομητή έχει αρχίσει να αυξάνεται μέρα με την μέρα, ειδικότερα μετά την είσοδο των νέας γενιάς κινητών στην αγορά (smart phones). Επιπλέον οι υπηρεσίες που παρέχονται ακολουθούν ένα διαφορετικό μοτίβο και από ανεξάρτητες και μονομερείς έχουν γίνει πολυμερείς και αντίστοιχα εξαρτώμενες από άλλες υπηρεσίες. Βασικό παράδειγμα πολυμερών υπηρεσιών είναι η multimedia telephony καθώς και η mobile-TV ενώ το real time multimedia gaming κερδίζει συνεχώς έδαφος. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις λειτουργίας, όπως για παράδειγμα αυξημένο ρυθμό μετάδοσης bit αλλά και μειωμένη καθυστέρηση πακέτων. Για τον λόγο αυτό η τεχνολογική κοινότητα στράφηκε στην εξέλιξη των ήδη υπαρχόντων δικτύων αλλά και στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία τεχνολογιών δικτύων που ανήκουν στα λεγόμενα 3.5G και 4G. Οι τεχνολογίες 3.5G έχουν κυρίως βασιστεί στις υποδομές των δικτύων τρίτης γενιάς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρωτόκολλο HSPA (High Speed Packet Access) το οποίο στηριζόμενο στις υποδομές του δικτύου UMTS δίνει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών.

Οι τεχνολογίες τέταρτης γενιάς (4G) όπως είναι οι IEEE 802.16e/m και Third Generation Partnership Project (3GPP) – Long Term Evolution (LTE) έχουν σχεδιαστεί με καθαρά διαφορετικό μοντέλο για την παροχή QoS με σκοπό την υποστήριξη όχι μόνο των ήδη υπαρχουσών εφαρμογών και απαιτήσεων αλλά και των επερχόμενων εφαρμογών διαδικτύου και των απαιτήσεων τους. Η ποιότητα υπηρεσιών είναι ένα καθοριστικό στοιχείο για τις αναπτυσσόμενες εφαρμογές διαδικτύου αφού αποτελεί κλειδί ανάμεσα στην ικανοποίηση των πελατών αλλά και στην εξοικονόμηση πόρων δικτύου.

## **High Speed Packet Access**

Πρόκειται για τον συνδυασμό δύο πρωτοκόλλων κινητής τηλεφωνίας του High Speed Downlink Packet Access και του High Speed Uplink Packet Access τα οποία επεκτείνουν και βελτιώνουν την απόδοση των πρωτοκόλλων WCDMA χρησιμοποιώντας τον πυρήνα του δικτύου UMTS. Πολλές φορές το εν λόγω πρωτόκολλο αναφέρεται και ως τεχνολογία 3.5G αφού ουσιαστικά αναβαθμίζει τις υπηρεσίες τρίτης γενιάς παρέχοντας στους χρήστες αυξημένες ταχύτητες λήψης πληροφοριών. Σε πρώτη φάση η ταχύτητα λήψης των πληροφοριών με την χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι έως και τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν που παρέχουν τα δίκτυα 3G - και πλέον μπορεί να συγκριθεί με αυτή μιας σχετικά γρήγορης σταθερής «γραμμής» ADSL. Τα πρωτόκολλα αυτά μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης για κινήσεις στο τμήμα downlink με μέγιστη τιμή 14Mbps και 5.76Mbps στις κινήσεις τμήματος uplink. Επιπλέον έχει μειωθεί η καθυστέρηση και παρέχεται περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα στο downlink και περισσότερο από δύο φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα στο uplink σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη που επιτυγχάνουμε με τα πρωτόκολλα WCDMA.



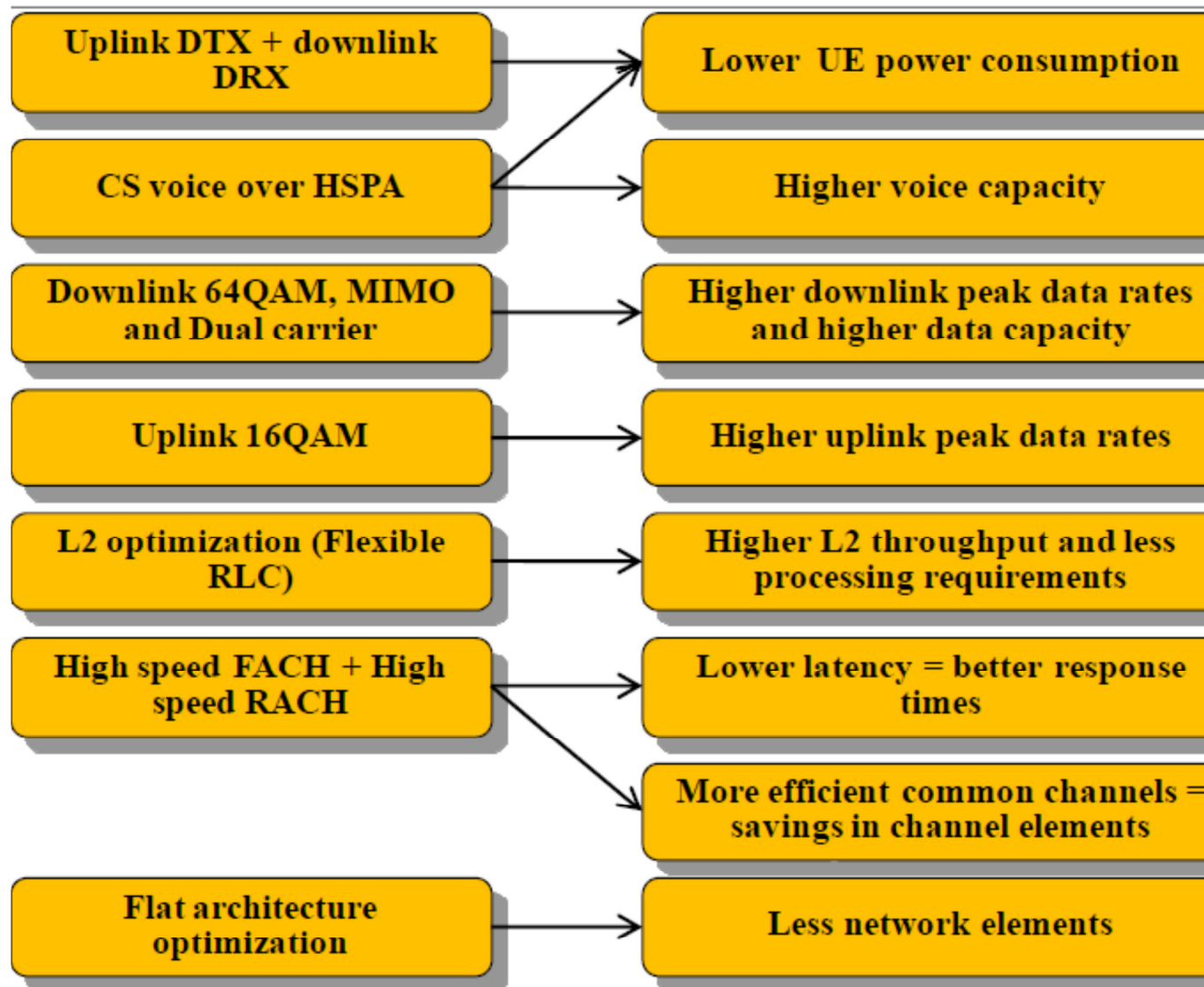
### High Speed Downlink Packet Access

Αναλυτικότερα το HSDPA ή αλλιώς High Speed Downlink Packet Access είναι η τεχνολογία που αναβαθμίζει τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας WCDMA. Για την επίτευξη αυτών των ταχυτήτων το HSDPA εισάγει ένα High Speed Downlink Shared Channel στα δίκτυα WCDMA, που λειτουργεί διαφορετικά από τα υπάρχοντα κανάλια. Το κανάλι HS-DSCH εισάγει την χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης των μεταδιδόμενων πληροφοριών (Adaptive Modulation and Coding, AMC), τον γρήγορο χρονοπρογραμματισμό στον σταθμό βάσης καθώς και τις ταχύτερες επανεκπομπές των πληροφοριών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η σημαντική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων καθώς και η βελτιστοποίηση της διεκπεραίωσης των μεταδόσεων.

## **High Speed Uplink Packet Access**

Είναι η τεχνολογία που επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων από το τερματικό στον σταθμό βάσης σε ταχύτητες που θεωρητικά φτάνουν τα 5.76Mbps. Πρακτικά το HSUPA επιτρέπει στον τελικό χρήστη να στέλνει δεδομένα με υψηλές ταχύτητες. Αναφέρεται συχνά και ως τεχνολογία 3.75G. Η χρήση του καθιστά δυνατή την πρόσβαση σε συμμετρικές εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως είναι οι υπηρεσίες Voice over IP και interactive multimedia, παρέχοντας.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωτικά οι λειτουργίες του HSPA καθώς και τα οφέλη που έχει ο χρήστης όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει.



Συγκεντρωτική παράθεση των Λειτουργιών του HSPA και των Οφελών του.

### 2.3.-3GPP - Long Term Evolution

3GPP Long Term Evolution είναι το όνομα που δόθηκε σε ένα νέο επίπεδο τεχνολογιών που αναπτύχθηκε από την 3GPP για να ανταπεξέλθει στην συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση διέλευσης της αγοράς. Το LTE είναι η εξέλιξη των συστημάτων δεύτερης και τρίτης γενιάς, ενώ ταυτόχρονα είναι και το επόμενο βήμα για την επίτευξη και παροχή ασύρματων ρυθμών μεταφοράς δεδομένων παραπλήσιων με αυτούς που συναντάμε

στα ενσύρματα μέσα. Οι κύριοι στόχοι που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό του ήταν

- Η υποστήριξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης, οι οποίοι έχουν μέγιστη τιμή για το Downlink 100Mbps και για το Uplink 50Mbps.
- Εξοικονόμηση του εύρους ζώνης, για το λόγο αυτό οι ρυθμοί αυτοί υλοποιούνται μέσα σε εύρος ζώνης 20MHz.
- Υποστηριζόμενη mobility μέχρι και 350km/h.
- Ευελιξία φάσματος με συνύπαρξη των ήδη υπαρχουσών τεχνολογιών αλλά και μειωμένη πολυπλοκότητα και κόστος.

Για την επίτευξη των στόχων αυτών ήταν αναγκαίο να γίνει ένας συνδυασμός μιας νέας αρχιτεκτονικής συστήματος μαζί με μια ενδυναμωμένη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι λειτουργιών μέσα σε ένα κυψελωτό σύστημα. Βασισμένοι σε αυτούς μπορούμε να χωρίσουμε το δίκτυο σε δύο βασικά μέρη.

- Τμήμα Ασύρματης Πρόσβασης στο δίκτυο.
- Τμήμα Πυρήνα του δικτύου.

**Το Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης για τα LTE ονομάζεται E-UTRAN (Evolved UMTS Radio Access Network) και αναμένεται να βελτιώσει τους ρυθμούς διέλευσης των τελικών χρηστών, την χωρητικότητα των τομέων κυψελών αλλά και να μειώσει την καθυστέρηση που αντιλαμβάνεται ένας χρήστης.**

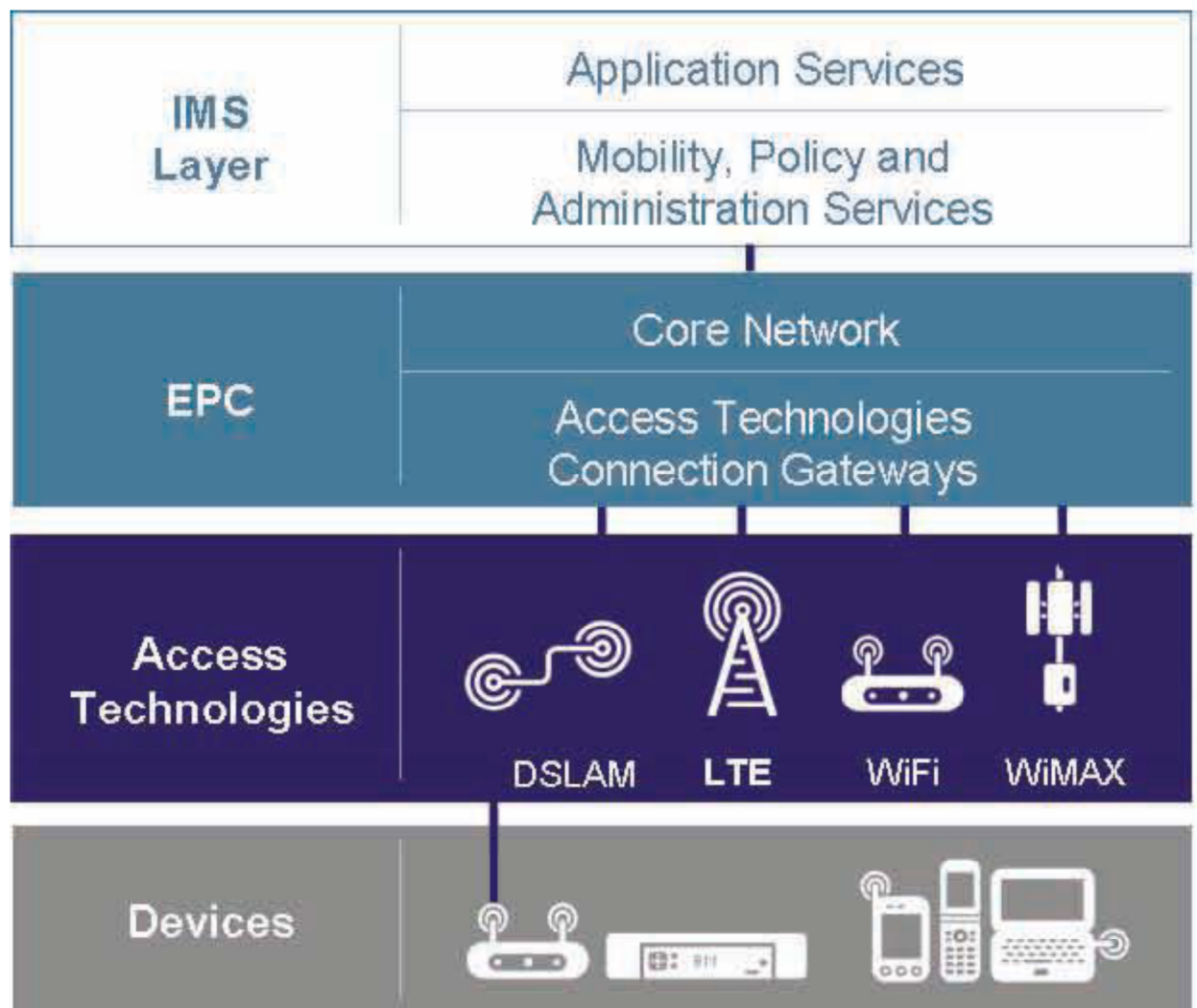
Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι πως όλες οι υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένου και των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, υποστηρίζονται πλέον με την χρήση πρωτοκόλλων IP. Η κίνηση για υπηρεσίες ομιλίας θα υποστηρίζεται πλέον αποκλειστικά ως Voice over IP (VoIP) δίνοντας την δυνατότητα για μεγαλύτερη κλιμάκωση των υπηρεσιών πολυμέσων. Η προσέγγιση αυτή επιτυγχάνει αυξημένη φασματική απόδοση, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε αυξημένη χωρητικότητα δικτύου.

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά του E-UTRAN είναι:

- Downlink OFDM 100Mbps (20MHz φάσμα)
- Uplink SC-FDMA 50 Mbps (20MHz φάσμα)
- Χρησιμοποιούνται τεχνολογίες βασισμένες στην OFDM με αποτέλεσμα να υπάρχει διάσπαση των δεδομένων σε πολλά φέροντα σήματα, γεγονός που παρέχει ανοσία στην εξασθένηση και οδηγεί στην αύξηση της αξιοπιστίας παράδοσης.
- Καθυστέρηση Τελικού Χρήστη μικρότερη από 10ms
- Ευέλικτο και Κλιμακούμενο Εύρος Ζώνης
- Επιλογή φάσματος συχνότητας για υποστήριξη προγενέστερων τεχνολογιών ίσως διαφορετικών και από χώρα σε χώρα.
- Θα υποστηρίζεται η κίνηση ακόμη και σε ταχύτητες που φτάνουν τα 500kmph.
- Η κάλυψη θα επεκτείνεται από 5 – 100 km με κλιμάκωση μετά τα 30km



- Η χωρητικότητα για υπηρεσίες τηλεφωνίας που θα δώσει το VoIP θα είναι περίπου τριπλάσια από αυτή που μας δίνει το UMTS.
- Ποιότητα Υπηρεσίας απ' άκρο σ' άκρο το οποίο θα διαχωρίζει την προτεραιότητα για την κάθε κλάση υπηρεσίας.



Δομή και αρχιτεκτονική των LTE από το τερματικό έως το επίπεδο υπηρεσιών

Ο **Πυρήνας Δικτύου** είναι πρακτικά η σταδιακή εξέλιξη των πυρήνων που συναντήσαμε και στα δίκτυα τρίτης γενιάς. Στην προκειμένη περίπτωση καλύπτει μόνο το τμήμα μεταγωγής πακέτων και για το λόγο αυτό έχει το όνομα Evolved Packet

Core. Πρόκειται για έναν πυρήνα δικτύου υψηλής απόδοσης και χωρητικότητας, ο οποίος χρησιμοποιεί τεχνολογίες καθολικού IP. Έχει τη δυνατότητα να παρέχει ανεπτυγμένες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου αλλά και υψηλών απαιτήσεων multimedia υπηρεσίες με αποτέλεσμα την ενδυνάμωση της ποιότητας υπηρεσιών που λαμβάνει ο χρήστης. Με την χρήση του υπάρχει βελτίωση στην απόδοση του δικτύου καθώς γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα στον έλεγχο και στην διαχείριση των δεδομένων. Οι βασικές αλλαγές που έφερε η χρήση του EPC και τα δίκτυα LTE στις επικοινωνίες είναι:

- Λήξη υπηρεσιών ομιλίας με μεταγωγή κυκλώματος. Ο νέος τρόπος μεταφοράς πληροφορίας φωνής γίνεται με την χρήση τεχνολογιών VoIP. Ο EPC αντιμετωπίζει την φωνή σαν μία από τις πολλές εφαρμογές που βασίζονται στο IP.

- Αυξημένη Ασύρματη Ευρυζωνικότητα. Το LTE πρέπει να πετύχει την ποιότητα υπηρεσιών που παρέχουν τα ενσύρματα δίκτυα. Αυτό διαφέρει από την παροχή υπηρεσιών βέλτιστης προσπάθειας αλλά και χαμηλής ταχύτητας περιήγηση στο διαδίκτυο. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν ήδη ικανοποιήσει τις απαιτήσεις τους από προγενέστερα δίκτυα. Για το λόγο αυτό το LTE στρέφεται στην υποστήριξη πιο απαιτητικών υπηρεσιών.

- Η Ποιότητα Υπηρεσίας απ' άκρο σ' άκρο είναι πλέον απαραίτητη. Το LTE παρέχει υψηλή διαχείριση και ενδυνάμωση της ποιότητας υπηρεσίας απ' άκρο σ' άκρο με

σκοπό την παράδοση υψηλού περιεχομένου και χαμηλής καθυστέρησης υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Υπάρχει η μετάβαση από τις τέσσερις κλάσεις υπηρεσιών που ορίστηκαν για τα δίκτυα τρίτης γενιάς (Conversational, Interactive, Streaming, Background) σε εννέα διαφορετικά προφίλ ποιότητας υπηρεσίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη κλιμάκωση των χρηστών, των υπηρεσιών και των συνόδων μεταφοράς δεδομένων.

- Παγκόσμια προσέγγιση. Το LTE είναι πλέον πλήρως αναγνωρισμένο από την ITU και αναγνωρίζει όλες τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο παρέχοντας έτσι δυνατότητες περιαγωγής παρόμοιες με αυτές που παρέχουν τα δίκτυα GSM και UMTS. Εξ αιτίας της συμβατότητας που θα έχουν οι συσκευές LTE με τα προγενέστερα δίκτυα οι συνδρομητές θα μπορούν να απολαύσουν συνεχή επικοινωνία ανεξαρτήτως της χώρας στην οποία βρίσκονται.
- Μικρότερο Κόστος ανά bit. Ο συνδυασμός της αυξημένης αποδοτικότητας και ευελιξίας του φάσματος που επιτυγχάνεται από ένα δίκτυο LTE με την προστιθέμενη χωρητικότητα είναι πιθανό να προκαλέσει μείωση του κόστους για την μεταδιδόμενη πληροφορία. Για παράδειγμα κάθε E-UTRAN κυψέλη θα μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και 4 φορές μεγαλύτερο φορτίο σε σχέση με μια κυψέλη που χρησιμοποιεί HSxPA. Ο συνδυασμός της αυξημένης χωρητικότητας, με την βελτιωμένη κάλυψη που θα προκύψει από την χρήση ζωνών

χαμηλότερων συχνοτήτων, αλλά και την χρήση εξελιγμένων κεραιών δίνει στα δίκτυα LTE την δυνατότητα να μειώσουν κατά πολύ το κόστος μεταδιδόμενου bit.

- Μειωμένη Καθυστέρηση. Επιπρόσθετα με την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης και διέλευσης, τα LTE δίκτυα αναμένεται να παρέχουν βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες με την μείωση της καθυστέρησης για την μετάδοση των πακέτων πληροφορίας. Εφαρμογές πραγματικού χρόνου αλλά και υπηρεσίες αλληλεπίδρασης όπως είναι το online gaming και το VoIP θα παρέχουν υψηλότερης ποιότητας εμπειρία για τους τελικούς χρήστες έχοντας μειωμένη καθυστέρηση μετάδοσης.

#### 2.4.-Περιγραφή της Αρχιτεκτονικής του συστήματος **Evolved Radio Access Network (RAN)**

Το Evolved – RAN στα LTE αποτελείται από έναν κόμβο, τον κόμβο eNodeB. Ο κόμβος eNB φιλοξενεί πρωτόκολλα Φυσικού στρώματος, στρώματος MAC, Radio Link Control πρωτόκολλα και Packet Data Control Protocol. Επίσης παρέχει Radio Resource Control λειτουργίες οι οποίες εντάσσονται στο πεδίο ελέγχου. Εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης ασύρματων πόρων, ελέγχου εισόδου, χρονοπρογραμματισμού, βελτίωσης ποιότητας υπηρεσίας, μετάδοσης πληροφοριών κυψέλης, κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης

πληροφοριών στο επίπεδο των χρηστών καθώς και συμπίεση και από-συμπίεση επικεφαλίδων κατά το download – upload.

### **Serving Gateway (SGW)**

Η SGW δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα χρηστών, ενώ λειτουργεί ως μεσολαβητής ανάμεσα στο πεδίο των χρηστών και στον eNodeB για τις εσωτερικές διαπομπές αλλά και ανάμεσα στο LTE και στα προγενέστερα δίκτυα για τις διαπομπές που μπορεί να συμβούν με την κίνηση του τερματικού. Όταν το τερματικό μπει σε κατάσταση αναμονής τότε η SGW τερματίζει την μεταφορά δεδομένων. Διαχειρίζεται και αποθηκεύει καταγραφές για τον χρήστη, οι οποίες περιέχουν παραμέτρους για τις υπηρεσίες μεταφοράς IP και πληροφορίες εσωτερικής δρομολόγησης. Επίσης διενεργεί μια αντιγραφή της κίνησης του χρήστη για την περίπτωση που υπάρξει κάποια παρεμβολή σφάλματος.

### **Mobility Management Entity (MME)**

Η MME είναι το ο κώμβος κλειδί για την πρόσβαση σε ένα δίκτυο LTE. Είναι υπεύθυνη για τον εντοπισμό τερματικών που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής και για την διαδικασία επαναμετάδοσης. Περιλαμβάνεται στην διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της μεταφοράς και είναι υπεύθυνη για την επιλογή της SGW από τον τερματικό εξοπλισμό κατά την αρχική προσέγγιση. Επίσης, στο τμήμα αυτό γίνεται και η εξακρίβωση των στοιχείων του χρήστη. Ελέγχει την πιστοποίηση ενός χρήστη για την χρήση μιας

υπηρεσίας ενώ ενδυναμώνει τους περιορισμούς περιαγωγής. Η λανθασμένη παρεμβολή σηματοδοσίας είναι επίσης ένα γεγονός το οποίο διαχειρίζεται από την MME. Είναι επίσης αρμοδιότητά της η διατήρηση της επικοινωνίας κατά τη μετάβαση από το LTE δίκτυο σε κάποιο από τα δίκτυα δεύτερης ή τρίτης γενιάς τα οποία λειτουργούν παράλληλα.

### **Packet Data Network Gateway (PDN GW)**

Δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης στον χρήστη με εξωτερικά δίκτυα για την μεταφορά δεδομένων λειτουργώντας ως η πύλη εισόδου ή εξόδου (αντίστοιχα για την κάθε κίνηση) για τον χρήστη. Ο τερματικός εξοπλισμός ενός χρήστη μπορεί να έχει ταυτόχρονη σύνδεση με περισσότερες της μίας PDN GW, λόγω της σύνδεσής του με πολλαπλά PDNs. Η PDN GW εκτελεί εφαρμογή της πολιτικής κίνησης του παρόχου για κάθε χρήστη αλλά και φιλτράρισμα των πακέτων. Επίσης λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος ανάμεσα σε δίκτυα 3GPP και σε δίκτυα non-3GPP όπως είναι τα δίκτυα WiMAX, EvDO κτλ.

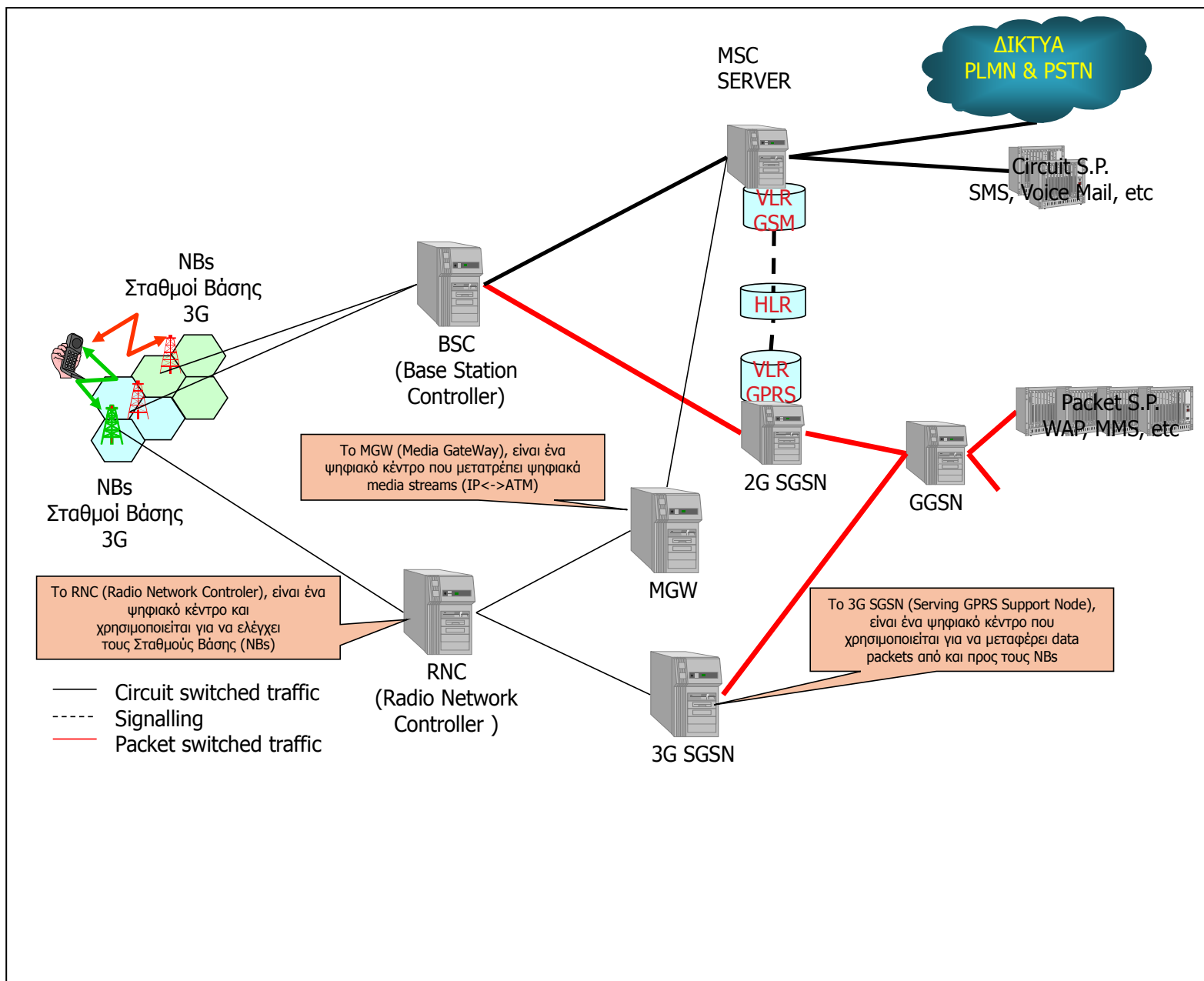
### **2.5.-LTE Advanced**

Αν και τα δίκτυα LTE επιτυγχάνουν την επίτευξη υψηλής ποιότητας υπηρεσιών παρέχοντας την δυνατότητα για ανάπτυξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης πληροφοριών δεν είναι δίκτυα τέταρτης γενιάς καθαρά σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχει θεσπίσει η ITU-R. Η κατάταξή τους ίσως ήταν ανάμεσα στην

γενιά 3.9G και στην γενιά 4G. Παρ' όλα αυτά έχει εδώ και καιρό δημιουργηθεί και ελεγχθεί η εξέλιξη των δικτύων LTE η οποία και έχει το όνομα LTE Advanced . Κύριος στόχος της νέας αυτής εξελιγμένης έκδοσης των LTE είναι η περαιτέρω βελτίωση της LTE ασύρματης πρόσβασης. Όπως γίνεται αντιληπτό τα δίκτυα LTE advanced χρησιμοποιούν βασικές δομές και τεχνολογίες των δικτύων LTE αλλά ταυτόχρονα τις συνδυάζουν με καινοτόμες τεχνικές για την βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας. Οι βασικές απαιτήσεις της ITU-R για τα δίκτυα LTE Advanced είναι οι εξής:

- Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης για την κίνηση downlink 1Gbps, και για την κίνηση uplink 500Mbps.
- Εύρος Ζώνης Μετάδοσης μεγαλύτερο από περίπου 70MHz στην κίνηση downlink και 40MHz στην κίνηση uplink.
- Καθυστέρηση από ανενεργή κατάσταση σε κατάσταση πλήρους σύνδεσης μικρότερη των 5ms.
- Ρυθμός διέλευσης ακραίου χρήστη δύο φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στα LTE.
- Μέσος ρυθμός διέλευσης χρήστη σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερος από αυτόν των LTE δικτύων.
- Χωρητικότητα (Απόδοση Φάσματος) τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή των LTE.
- Μέγιστη αποδοτικότητα φάσματος για την κίνηση downlink 30bps/Hz και για την κίνηση uplink 15bps/Hz.
- Η φορητότητα παραμένει στα ίδια επίπεδα με τα LTE.

## 2.6.-Λειτουργία 3G-UMTS Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας



Δομή ενός 3G Δικτύου

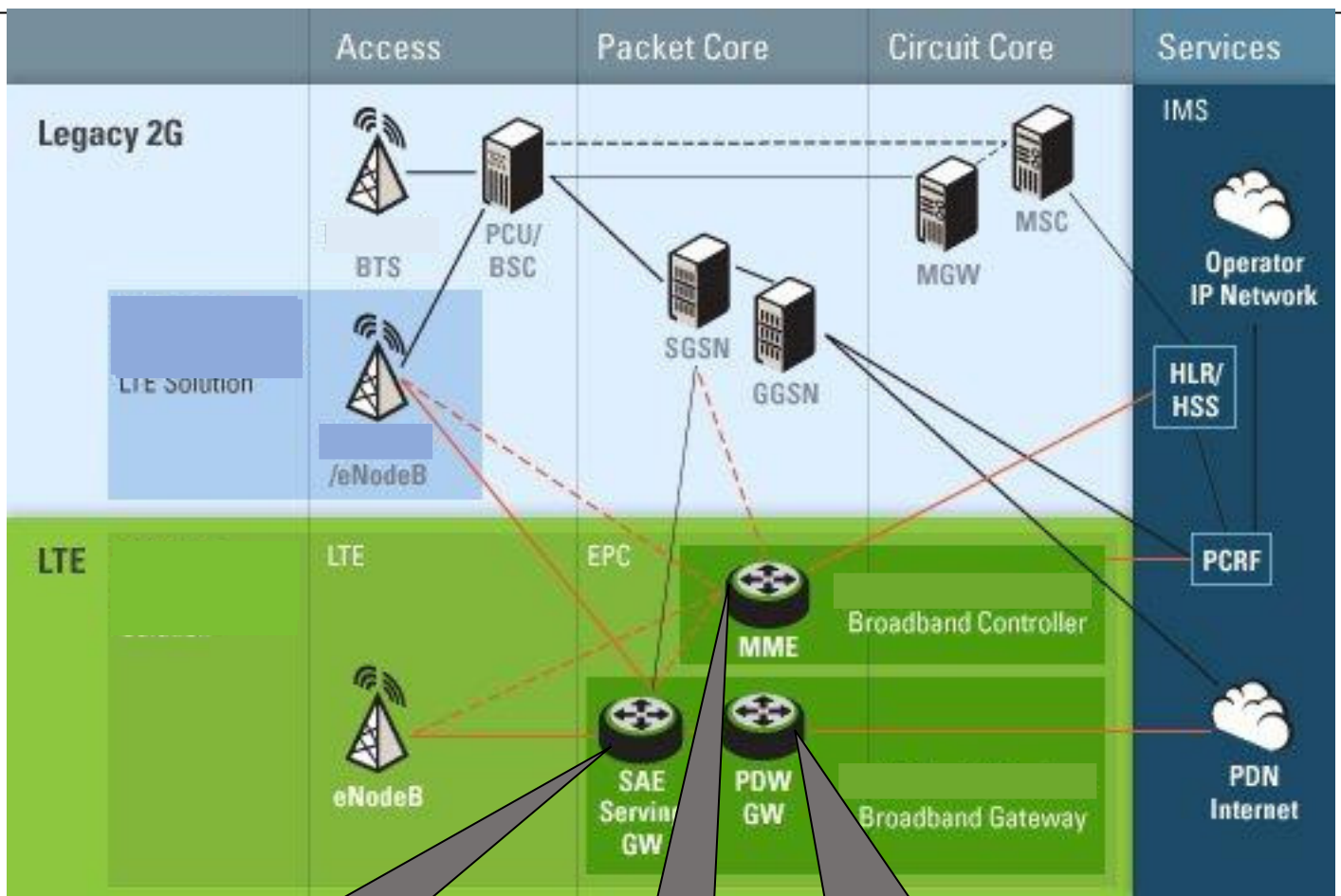


Αρχικά ξεκίνησε μέσω της τεχνολογίας ενός 2G δικτύου ο οποίος αποτελείται από ένα σταθμό βάσης ο οποίος είναι υπεύθυνος ώστε να συλλέξει την φωνή απο το κινητό τηλέφωνο και να την στείλει στο BSC . Το BSC(BASE STATION CONTROLLER) είναι ο Controller του 2G και κάθε BSC αποτελείται απο μια ομάδα σταθμών βάσης.

Μια ομάδα σταθμών βάσης αποτελείται 50 ,60 μέχρι 100 σταθμούς και συνδέονται με ένα BSC. Το BSC συνδέεται με την σειρά του με ένα MSC(MOBILE SWITCH CENTER).Το MSC αποτελείται από μια ομάδα BSC η οποία συνήθως αποτελείται το πολύ απο 10 BSC.Το MSC παίρνει την κίνηση από το BSC και διαβάζει τον αριθμό για να δρομολογήσει την κίνηση και να την στείλει στο αντίστοιχο MSC.Τα MSC επικοινωνούν με τα διπλανά τους MSC μέσω intermissive γραμμών και προσπαθούν να βρουν τον αριθμό.Το κάθε MSC ελέγχει εάν ο αριθμός υπάρχει σε κάποιο BSC από τα δικά του.Επίσης κάθε BSC είναι ενημερωμένο από τους σταθμούς βάσης διότι τα κινητά κάθε 5 δευτερόλεπτα ενημερώνουν τους σταθμούς ότι υπάρχουν εκεί. Μπορεί το BSC να υπάρχει στο ίδιο το MSC οπότε να μην χρειαστεί η όλη διαδικασία.Η διαφορά στη τεχνολογία του 3G είναι ότι οι σταθμοί βάσης απο BTS εξελίχθηκαν σε NBs δηλαδή απέκτησε μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ για μεγαλύτερες ταχύτητες, το BSC αντικαταστάθηκε απο σε μια νεα τεχνολογία που ονομάζεται RNC(RADIO NETWORK CONTROLLER) το οποίο έχει περισσότερες λειτουργίες και μεγαλυτερη επεξεργαστική ισχύ και το MSC αντικαταστάθηκε με το MGW. Η αρχιτεκτονική της τεχνολογίας 2G παρέμεινε ίδια η διαφορά είναι ότι το RNC έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί κατευθείαν με το διπλανό του RNC μέσω τη τεχνολογίας IUR χωρίς να στείλει την κίνηση στο MGW, οπότε το MGW να γλιτώνει φόρτο εργασίας και μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερες ταχύτητες για τις ανάγκες του και

λόγω μικρότερης διαδικασίας εύρεσης αριθμού διότι πλέον υπάρχει απευθείας επικοινωνία μέσω των RNC μειώνεται το latency στο 40% οπότε έχουμε μεγαλύτερη ταχύτητα και επειδή το MGW πλέον γλιτώνει ισχύ απο την διαδικασία εξυπηρετεί τα πακέτα download πολύ πιο γρήγορα.

## 2.7.-Λειτουργία 4G-LTE Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας



Το SGW (Serving GateWay), δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα του χρήστη, όπως επίσης αποτελεί και το μεσολαβητή κατά τα handovers

Το PDW (PDN GateWay) αποτελεί το connection point μεταξύ του χρήστη και των εξωτερικών packet δικτύων

Το MME (Mobility Management Entity), είναι υπεύθυνο για να κάνει tracking, paging όπως και retransmission

Στην εικόνα φαίνεται η δομή ενός 4G Δικτύου

Η τεχνολογία του 4G πλέον σπάει την ιεραρχία των τριών τμημάτων (σταθμός-controller-κέντρο). Ο σταθμός βάσης NBs αναβαθμίζεται σε eNodeB το οποίο αναλαμβάνει μερικές από τις λειτουργίες του CONTROLLER οπότε πλέον δεν υπάρχει controller και τις άλλες μισές λειτουργίες του αναλαμβάνει το MME (MOBILITY MANAGEMENT ENTITY). Οπότε πλέον οι σταθμοί βάσης μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας μέσω των διπλανών σταθμών βάσης που περιέχει τον αριθμό μέσω μιας διεπαφής 6,2 οπότε μειώνεται η διαδικασία εύρεσης του περίπου στο 50% και μειώνεται το latency στο 0% διότι δεν υπάρχει καθόλου επεξεργασία στο κέντρο και οι ταχύτητες αυξάνονται ακόμα περισσότερο.

### 3.-Εργαλεία Μέτρησης Ποιότητας Υπηρεσιών

#### 3.1.-Εισαγωγή

Η ποιότητα υπηρεσίας είναι απαραίτητο να ελέγχεται τόσο από την πλευρά του πελάτη όσο και από την πλευρά του παρόχου. Επιπλέον είναι απαραίτητο ο πάροχος των υπηρεσιών να μπορεί να ελέγξει και να δοκιμάσει το δίκτυο του για να έχει τη δυνατότητα να προβλέψει τη συμπεριφορά του σε πιθανά προβλήματα. Για τον λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί συστήματα αλλά και σουίτες προγραμμάτων τα οποία παρακολουθούν, καταγράφουν και ελέγχουν το δίκτυο αλλά και τις υπηρεσίες που δέχεται/παρέχει ένας πελάτης/φορέας. Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να αναφέρουμε κάποια από αυτά και να περιγράψουμε τη λειτουργία τους καθώς και τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα.

### 3.2. QVoice Symphony

Η σουίτα προγραμμάτων TEMS Symphony περιλαμβάνει λύσεις για δοκιμές που αφορούν την συγκριτική μέτρηση επιδόσεων του δικτύου [40]. Περιλαμβάνει εργαλεία όπως είναι το QVoice Symphony καθώς και το QVoice Presentation. Για να μπορέσουν να προσελκύσουν και να κρατήσουν ικανοποιημένους πελάτες, οι διαχειριστές θα πρέπει να μάχονται με την υπ αριθμόν ένα αιτία δυσαρέσκειας των πελατών τους που είναι η κακή ποιότητα υπηρεσιών που προκαλείται είτε από ανεπαρκείς υπηρεσίες και εφαρμογές είτε από αδύναμη απόδοση του δικτύου. Η σουίτα TEMS δίνει μια ενδοσκοπική αντίληψη της ποιότητας υπηρεσιών που αντιλαμβάνεται ένας πελάτης τόσο για υπηρεσίες ομιλίας και αποστολής μηνυμάτων μέσω IP όσο και για υπηρεσίες βίντεο από τον διαχειριστή. Οι πληροφορίες αυτές είναι κρίσιμες για την βελτίωση των δικτύων, για την αλλαγή τους αλλά και για επενδύσεις που με τη σειρά τους θα βελτιώσουν την ικανοποίηση των πελατών. Το QVoice Symphony είναι μια συγκριτική λύση για την μέτρηση απόδοσης της ποιότητας υπηρεσίας για διαχειριστές κυψελωτών δικτύων. Παρέχει δοκιμές αλλά και ελέγχους τόσο για υπηρεσίες ομιλίας όσο και για υπηρεσίες δεδομένων και βίντεο, που όπως είναι γνωστό απευθύνονται σε μια μεγάλη μερίδα κινητών τηλεφώνων αλλά και τερματικών. Συνήθως το QVoice Symphony συνοδεύεται και από το QVoice Presentation για να έχει ο χρήστης του μια εικονική απεικόνιση τόσο του δικτύου όσο και των μετρήσεων αλλά και στατιστικών. Για να μπορούν να διεξαχθούν οι δοκιμές αλλά και οι έλεγχοι στο δίκτυο χρειάζεται εξοπλισμός ειδικών χαρακτηριστικών όπως είναι ο εξοπλισμός που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες

a) QVoice Symphony



b) QVoice Companion



Απεικονίζονται τα QVoice Symphony και QVoice Presentation

### **Βασικά Χαρακτηριστικά**

- Μεγάλο εύρος από πλήρως αυτοματοποιημένες, προγραμματισμένες εκ των προτέρων και κοινές δοκιμές για τον έλεγχο υπηρεσιών ομιλίας, δεδομένων, μηνυμάτων καθώς και βίντεο.
- Υποστήριξη πολλών τερματικών τηλεφώνων και καρτών αποθήκευσης δεδομένων
- Αυτόματος προγραμματισμός επίγειων μονάδων
- Υποστήριξη Υποδοχέων Σάρωσης
- Απεικόνιση δεδομένων πραγματικού χρόνου καθορισμένη από το χρήστη
- Προαιρετική επιλογή απομακρυσμένου GUI
- Αντικατάσταση εντοπισμού (Προχωρημένη Λειτουργία) – βασικός έλεγχος υπηρεσιών ομιλίας και δεδομένων με οποιοδήποτε κινητό τερματικό και κάρτα αποθήκευσης.
- Απλή διαμόρφωση και εγκατάσταση με 5 επίπεδα προστασίας με χρήση κωδικού.
- Αυτόματος εντοπισμός αποτυχίας ο οποίος περιλαμβάνει αυτόματο τερματισμό της ενέργειας καθώς και κυκλική εναλλαγή των προτύπων κλήσης.
- Αυτόματος εντοπισμός των συνδεδεμένων κινητών τερματικών και των καρτών αποθήκευσης δεδομένων
- Υποστήριξη σάρωσης για LTE

Οι μετρήσεις του προγράμματος QVoice Symphony είναι δυνατό να γίνουν σε όλες τις γενιές κυψελωτών δικτύων (2G,2.5G,3G & 4G). Κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες.

### **Απεικόνιση Συνδρομητή**

Το QVoice Symphony συλλέγει μετρήσεις ποιότητας υπηρεσίας συμπεριλαμβανομένου και ποιότητας πραγματικής ομιλίας και

βίντεο, ρυθμούς απόρριψης κλήσεων και ρυθμούς χαμένων κλήσεων, SMS/MMS/Email ρυθμούς επιτυχίας και χρόνους παράδοσης, FTP/HTTP/UDP ρυθμούς διέλευσης και άλλες παραμέτρους για δεδομένα IP

### **Απεικόνιση Μηχανικού**

Απεικονίζει λεπτομερείς πληροφορίες για τον δίαυλο όπως είναι η δύναμη του σήματος, η ποιότητα του σήματος, οι παρεμβολές, οι γειτονικές κυψέλες, μηνύματα επιπέδου 3 κα. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να δώσουν σε έναν μηχανικό την απάντηση για την χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών σε ένα σημείο του δικτύου.

### **Μετρήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας.**

Οι παράμετροι για τον έλεγχο και την δοκιμή υπηρεσιών ομιλίας καθορίζονται από τον χρήστη και μπορούν να είναι MOC,MTC,MOC/MTC ή mobile – mobile. Η κατεύθυνση του σήματος ομιλίας μπορεί να είναι uplink, downlink ή half-duplex. Η διάρκεια κλήσης, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για την επανάκληση, οι παύσεις καθώς και άλλα κριτήρια μπορούν να προγραμματιστούν εκ των προτέρων.

Σημαντικά δεδομένα για την μέτρηση της ποιότητας υπηρεσίας φωνής είναι:

- **Προσβασιμότητα Υπηρεσίας (Service Accessibility)** - Το ποσοστό των προσπαθειών κλήσεων που αποτυγχάνουν.
- **Χρόνος Εγκατάστασης Κλήσης (Call Setup Time)** – Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι να αρχίσει να χτυπάει το τηλέφωνο
- **Retainability** – Η συχνότητα που δεν διακόπτονται οι χρήστες από αποτυχημένες κλήσεις
- **Ποιότητα Φωνής (Voice Quality)** – Η τιμή που πετυχαίνει η ποιότητα φωνής σαν στατιστικό στοιχείο πάνω σε μια μεγάλη ομάδα χρηστών. (MOS)

Οι δοκιμές δεδομένων κινητών ελέγχουν την απόδοση του δικτύου με βασικό κριτήριο τη μεταφορά δεδομένων και μηνυμάτων. Υπάρχουν σουίτες και πρωτόκολλα δοκιμών διαθέσιμα για HTTP,FTP,UDP,WAP,SMS/MMS,PING και email.

Τα βασικά χαρακτηριστικά εδώ είναι:

- Προσβασιμότητα Υπηρεσίας
- Χρόνος Εγκατάστασης
- Διάρκεια Συνόδου
- Μέσος Ρυθμός Δεδομένων
- Ποσοστό Χαμένων Δεδομένων

Τεχνικά Χαρακτηριστικά για την Συλλογή Δεδομένων

- Βέλτιστος αλγόριθμος για δοκιμή ομιλίας, βίντεο και ήχου βασισμένο σε βιομηχανικά κριτήρια και κανόνες της ITU.
- Οι τιμές MOS Ομιλίας απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια των δοκιμών.
- Απεικόνιση της ποιότητας υπηρεσίας που βιώνει ο συνδρομητής τόσο για το uplink όσο και για το downlink
- Προσομοίωση της συμπεριφοράς του συνδρομητή
- Μετρήσεις για διαφορετικού είδους διεπαφές:

GSM,GPRS,EDGE,WCDMA,CDMA-1X

- Υποστήριξη τελευταίων τεχνολογιών  
HSDPA/HSUPA,WiMAX(4G),CDMA,EV-DO

Το QVoice Symphony μπορεί να υποστηρίξει μια μεγάλη γκάμα κινητών τερματικών για όλες τις δοκιμές. Οι συσκευές αυτές μπορούν να καλύψουν ζώνες πολλών συχνοτήτων για GSM,GPRS,EDGE,WCDMA,CDMA-1X και EV-DO,LTE.

Επίσης υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό από κάρτες δεδομένων και USB modems για την δοκιμή IP υπηρεσιών όπως είναι οι σαρωτές λήψης για κάλυψη RF και ανάλυση παρεμβολών σε multi-band και συχνότητες για τις διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

### **QVoice Presentation**

Αποτελεί το εργαλείο που αναλύσει και επεξεργάζεται τα δεδομένα ενώ έχει τη δυνατότητα για την παραγωγή αναφορών πάνω στα μετρούμενα ζητήματα. Τα δεδομένα των μετρήσεων μπορούν να συλλεχθούν με ευέλικτους τρόπους, όπως τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από διαφορετικά μέρη και τα οποία ενώνονται και συγχρονίζονται για να μελετηθούν ομαδοποιημένα. Με την χρήση του QVoice Presentation

υπάρχει αυτοματοποιημένη ταξινόμηση και ανάλυση των προβληματικών κλήσεων αλλά μπορούν να εφαρμοστούν και διεργασίες δεδομένων χωρίς την παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού.

Παρέχει πληροφορίες ακριβείς και λεπτομερείς σε μεγάλο βαθμό που όμως είναι εύκολα κατανοητές λόγω του τρόπου με τον οποίο αυτές απεικονίζονται. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον τρόπο απεικόνισης όπως αναφέραμε ανάμεσα σε απεικόνιση συνδρομητή ή απεικόνιση μηχανικού.

### 3.3. NEMO Analyze

Πρόκειται για ένα παντοδύναμο και ευπροσάρμοστο εργαλείο τελευταίας τεχνολογίας για την συγκριτική μέτρηση της απόδοσης, την επίλυση προβλημάτων αλλά και την στατιστική αναφορά δεδομένων. Το σύστημα αποτελείται από ένα επίπεδο στο οποίο και βασίζεται η επικοινωνία client/server καθώς και η υποστήριξη μιας βάσης δεδομένων η οποία και έχει σχεδιαστεί ειδικά για υψηλές αποδόσεις και μέτα-επεξεργασία δεδομένων καθώς και δοκιμαστικών ελέγχων .

Ο αναλυτής NEMO προσφέρει ένα ολοκληρωμένο σετ από ειδικούς τεχνολογικούς δείκτες απόδοσης για τις τελευταίες ασύρματες τεχνολογίες αλλά και παρουσίαση ήδη γνωστών δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη απεικόνιση των πληροφοριών. Παρέχει υποστήριξη για το μοντέλο CSV(Character Separated Value) το οποίο δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων ASCII στην βάση δεδομένων. Αυτό έχει ως συνέπεια την ικανότητα συνεργασίας προγραμμάτων όπως είναι το Wireshark/Etheral καθώς και μετρητών δικτύου με το αναλυτή NEMO και στην συνέχεια την ολοκληρωμένη επεξεργασία των πακέτων και των δεδομένων που έχει καταγράψει το καθένα.

Οι εκδόσεις τον NEMO είναι τέσσερις και είναι οι εξής:

- Nemo Analyze Lite – Παρέχει λύσεις περιορισμένες στην στατιστική αναφορά των δεδομένων δοκιμών.
- Nemo Analyze Standard – Παρέχει λύσεις για τις περισσότερες κοινές εργασίας επεξεργασίας και στατιστικών αναφορών.



- Nemo Analyze Professional – Είναι μια έκδοση για προχωρημένους με συγκεκριμένο KPI και εξελιγμένες ιδιότητες αναφοράς και ανάλυσης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του Nemo Analyze είναι τα εξής:

- Ολοκληρωμένη λειτουργία πάνω σε ένα και μόνο φορητό υπολογιστή
- Ακριβής και πλήρως μορφοποιούμενη απεικόνιση, με χρονικό συγχρονισμό και ενσωματωμένα δεδομένα εργασιών τα οποία σε συνδυασμό με τα πολλά διαφορετικά είδη απεικόνισης (διαφορετικά χρώματα, γραμμές κτλ) χαρτογραφούν και απεικονίζουν πλήρως ένα δίκτυο.
- Υποστήριξη όλων των κυρίαρχων τεχνολογιών δικτύου όπως είναι GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, CDMA ONE, CDMA 2000, TDMA, DVB-H, UMA, HSPA+, TD-SDMA, WiMAX, LTE.
- Πλήρης αυτοματισμός καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας από το upload των αποτελεσμάτων των δοκιμαστικών ελέγχων μέχρι την εξαγωγή αναφορών πάνω σε αυτά.

### 3.4. Network Analysis NITRO (NAN)

Είναι ένα γραφικό εργαλείο για την καταγραφή και την ανάλυση της δικτυακής κίνησης από και προς τον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη. Το NAN απεικονίζει τα στατιστικά των πακέτων σε δενδρική απεικόνιση, απεικόνιση πίνακα και σε απεικόνιση διαγραμμάτων. Στα πακέτα μπορούν να εφαρμοστούν φίλτρα δενδρικής απεικόνισης με όρους network interface, local address, remote address.

Η απεικόνιση πίνακα δείχνει πακέτα απ' όλους τους κόμβους της τοπολογίας. Η απεικόνιση διαγραμμάτων δείχνει την δράση των πρωτοκόλλων για ένα κόμβο της τοπολογίας σε σχέση με τον χρόνο. Το NAN μπορεί να εγκατασταθεί τόσο σε μηχανήματα που έχουν λειτουργικό πρόγραμμα Windows όσο και σε μηχανήματα με λειτουργικό πρόγραμμα βασισμένο σε UNIX όπως είναι το Linux.

Οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά που περιέχει και υποστηρίζει το NAN είναι:

- ARP/UDP/TCP/ICMP πακέτα
- Υποστήριξη όλων των πρωτοκόλλων επιπέδων εφαρμογής
- Δενδρική Ιεράρχηση των φίλτρων πακέτων
- Ανάλυση τόσο με χρήση πινάκων όσο και με χρήση διαγραμμάτων
- Δυνατότητα Παύσης της καταγραφής ή της ανάλυσης
- Δυνατότητα Αντιγραφής και Επικόλλησης των δεδομένων από την απεικόνιση του πίνακα σε άλλα εργαλεία.

### 3.5. TEMS Investigation

Είναι ένα εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων, την αναγνώριση και την βέλτιστη λειτουργία ασύρματων δικτύων. Αποτελεί την βασική λύση για την συντήρηση αλλά και την εξέλιξη ασύρματων δικτύων. Έχει σχεδιαστεί για χρήση εντός οχήματος, εντός κτηρίων και για πεζή χρήση. Με την χρήση του TEMS Investigation οι διαχειριστές μπορούν να επιτύχουν βελτιωμένη ποιότητα ομιλίας, αυξημένη προσβασιμότητα, περισσότερες επιτυχημένες προσπάθειες κλήσεων και καλύτερη απόδοση υπηρεσιών. Υποστηρίζει τύπους δικτύων όπως GSM, GPRS, EDGE, WCDMA και HSDPA. Η απεικόνιση των μετρήσεων γίνεται σε έναν χάρτη πραγματικού χρόνου. Παράλληλα ένας γεννήτορας αναφορών κάνει δυνατή την εξακρίβωση της τοποθεσίας και της κάλυψης της κυψέλης. Η χρηστικότητα του χάρτη στο TEMS Investigation παρέχει βασικά στατιστικά για την κατανομή του σήματος στην μετρούμενη περιοχή. Το εργαλείο ανάλυσης μονοπατιών επιτρέπει στον χρήστη την εργασία με πολλαπλά αρχεία καταγραφών όταν οι εργασίες που διενεργούνται είναι πλήρως βασισμένες στην στατιστική συμπεριφορά. Αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο για τους διαχειριστές αφού δίνει την δυνατότητα για συλλεχθούν, να αναλυθούν και να επαναεπεξεργαστούν δεδομένα δικτύου σε καθημερινή βάση. Επιτρέπει την συνεχή καταγραφή του δικτύου καθώς και την επίλυση προβλημάτων εκτός από τον εντοπισμό τους. Η δυνατότητα του να μπορεί να λειτουργήσει με διαφορετικό τρόπο το κάνει ιδανικό για δίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογίες WCDMA/HSPA, CDMA και GPS/GPRS/EDGE. Η

πολύ-λειτουργικότητα του δίνει στον χειριστή την δυνατότητα να:

- Αναγνωρίζει και να βελτιώσει την εσωτερική στο σύστημα παράδοση αλλά και την επανεπιλογή κυψέλης.
- Λειτουργήσει με Συμπιεσμένη Συμπεριφορά
- Αναγνωρίζει και να συγκρίνει τόσο κάλυψη όσο και απόδοση ανάμεσα σε δίκτυα
- Αναγνωρίζει WCDMA/HSPA και GSM προσβασιμότητα.

Εν συντομία και ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά του:

- Υποστήριξη GSM,GPRD,EDGE,WCDMA,HSUPA και HSDPA
- Υποστήριξη τερματικών Sony Ericsson, Nokia, Motorola, Qualcomm και Qualcomm chipset based terminals
- Υποστήριξη σαρωτών και σάρωσης
- Μετρήσεις Ποιότητας Ήχου
- Δυνατότητες για επεξεργασία και ενισχυμένη λειτουργία αναφοράς
- Δυνατότητα για λήψη μετρήσεων μέσα σε κτήρια
- Χάρτης πραγματικού χρόνου
- Δοκιμή ποιότητας Video Streaming
- Δυνατότητες ανίχνευσης πρωτοκόλλων IP
- Σηματοδοσία



Εικόνα 34. Στιγμιότυπο από καταγραφή του οργάνου TEMS Investigation

### 3.6. XCAL

Παρέχει και αυτό δυνατότητες για δοκιμαστικά σενάρια καθώς και για επεξεργασία των καταγεγραμμένων δεδομένων. Έχει ειδικά υποπρογράμματα για την επίλυση σφαλμάτων, την καταγραφή και την συντήρηση του δικτύου. Το XCAL δίνει μια καλύτερη αντίληψη της QoS/QoE και εγγυάται μια συνεχή υποστήριξη για δίκτυα που βασίζονται σε τεχνολογίες είναι GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, CDMA ONE, CDMA 2000, TDMA, DVB-H, UMA, HSPA+, TD-SDMA, WiMAX, LTE..Είναι ενημερωμένο και υποστηρίζει πλήρως όλα τα διεθνή κριτήρια .

Αναλόγως με το επίπεδο δικτύου το XCAL δίνει διαφορετικές πληροφορίες με αποτέλεσμα να γίνεται πιο ολοκληρωμένη ανάλυση και παρακολούθηση του δικτύου.

- Πληροφορίες για το Level 1. i) Downlink/Uplink παράμετροι σχετιζόμενες με την κάλυψη (RSSI, UE/CPE ενέργεια μετάδοσης, CINR για το downlink κτλ) για κάθε τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης (RAT-Radio Access Technology)  
ii) Πληροφορίες κυψελών που εξυπηρετούν το κάθε RAT

- Πληροφορίες για το Level 2 i) BLER (FER), ARQ (HARQ) για το κάθε RAT  
ii) Διαχείριση πόρων και χρονοπρογραμματισμός πληροφοριών για κάθε RAT

- iii) Σηματοδοσία φυσικού στρώματος για κάθε RAT

- Πληροφορίες για το Level 3 i) Σηματοδοσία επιπέδου 3 για το κάθε RAT

- NAS Layer Πληροφορίες

- i) Πληροφορίες ανώτερων επιπέδων πρωτοκόλλων

- Πληροφορίες Εφαρμογών TCP/IP

i) Καταγραφή και αποκρυπτογράφηση πακέτων TCP/IP ii) KPI επιπέδου εφαρμογής (Διέλευση, QoS δικτύου, Ποιότητα Ομιλίας, Ποιότητα βίντεο κτλ)

### 3.7. LTE Base Station Emulator - LTE BSE (AWT 700A)

Το AWT 700A (Advanced Wireless Tester) μπορεί να αποδώσει ένα προσομοιωμένο αλλά παρ'όλα αυτά πραγματικού χρόνου περιβάλλον σταθμού βάσης για δοκιμές LTE τερματικών και διαφόρων άλλων δοκιμών όπως είναι και η eNB emulation. Η LTE BSE σουίτα εργαλείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ'όλη τη διάρκεια σχεδιασμού ενός LTE από τα αρχικά στάδια του R&D διαμέσω της ολοκλήρωσης, της εξακρίβωσης, της διαμόρφωσης και της διαλειτουργικότητας μέχρι την εκκίνηση δοκιμών του διαχειριστή. Είναι αρκετά εύκολο στην χρήση και περιλαμβάνει αδιάκοπη κάλυψη δοκιμών, έτσι είναι ιδανικό εργαλείο είτε ο χρήστης θέλει να κάνει ανάπτυξη πρωτοκόλλων είτε θέλει να κάνει δοκιμές εφαρμογών. Τα βασικά χαρακτηριστικά του εργαλείου αυτού φαίνονται παρακάτω:

#### 3.7.1. Χαρακτηριστικά

- Προσομοίωση πραγματικού χρόνου Ραδιοφωνικής Πρόσβασης δικτύου LTE.
- Ενσωματωμένος παραγωγός σήματος και αναλυτής σήματος.
- Δοκιμή L1(PHY) σε L1(PHY).
- Δοκιμή Πρωτοκόλλου L2/L3 σε L2/L3.
- Δοκιμή εφαρμογής E2E με ενσωματωμένο είτε EPC είτε EPCe.
- Ασφάλεια της ολοκλήρωσης, επαλήθευση, διαλειτουργία, συμμόρφωση του συστήματος LTE μέσα από ποικίλες λειτουργικές δοκιμές ανάπτυξης.



- Βάση δεδομένων για σύστημα Δοκιμής Πρωτοκόλλου Συμμόρφωσης και σύστημα Δοκιμής Ραδιοφωνικής Συμμόρφωσης.

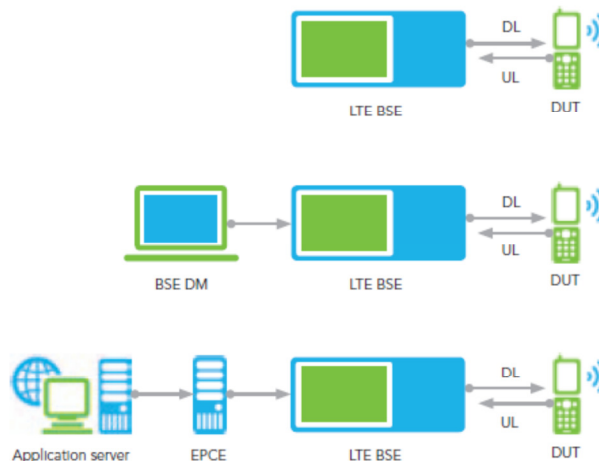
### 3.7.2. Σύνθεση Δοκιμής

#### Βασική σύνθεση

- Αυτόνομη δοκιμή Πρωτοκόλλου/ RF

#### Αυτονομία

- Αποθηκεύει και αναλύει το μήνυμα σηματοδότησης και δεδομένα που φορτώνονται από το



τα

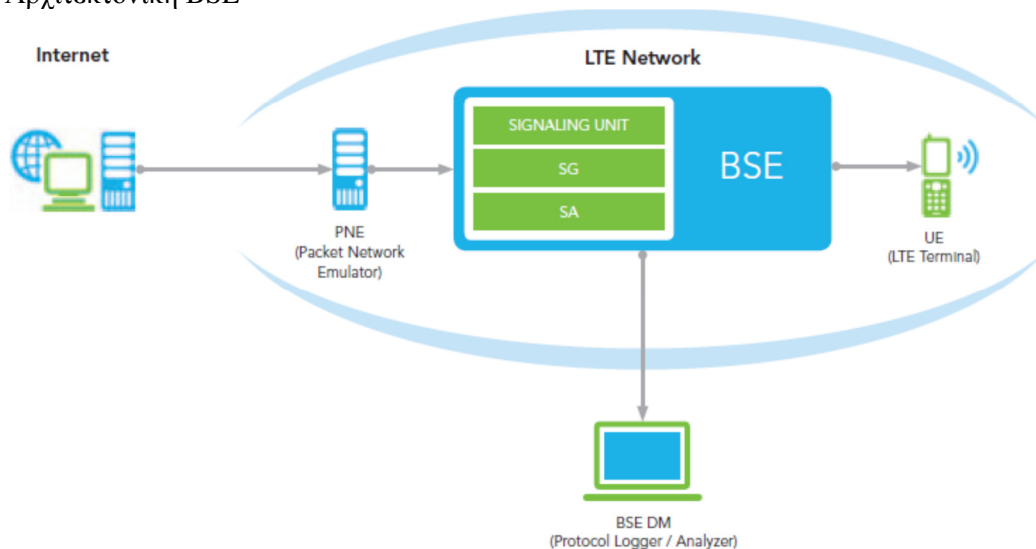
#### λογισμικό(Διαγνωστικού ελεγκτή εκπομπών) BSE DM

#### Δοκιμή E2E

- Παρουσιάζει τη δοκιμή E2E από το UE στο διακομιστή της εφαρμογής

Σχεδιάγραμμα διάταξης για κάθε μια από τις δοκιμές.

Αρχιτεκτονική BSE



### 3.8. LTE Air Interface Protocol Analyzer – LTE Air Sniffer

Ο LTE Air Sniffer είναι ένας αναλυτής πρωτοκόλλου over-the-air UMTS-LTE . Αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για την ανάπτυξη και επαλήθευση air interface πρωτοκόλλων και της εκτίμησης της επίδοσής της [14]. Λόγω της ευέλικτης αρχιτεκτονικής του μπορεί να προσφέρει εύρωστη παρακολούθηση σήματος LTE RF, παρακολούθηση μηνυμάτων πρωτοκόλλου L1/L2/L3/IP, εφαρμογές μετέπειτα ανάλυσης του ληφθέντος σήματος αλλά και των πακέτων που ανήκουν στα πρωτόκολλα που ήδη αναφέραμε. Έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει τόσο με τρόπο πραγματικού χρόνου όσο και με τρόπο μετέπειτα ανάλυσης. Κάποια βασικά χαρακτηριστικά του εν λόγω εργαλείου φαίνονται ονομαστικά στην συνέχεια.

#### 3.8.1. Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα

- Ενσωματωμένο χαρακτηριστικό μη συνδεδεμένης ανάλυσης
- Τα μηνύματα πρωτοκόλλου καταγραφής ιστορικού σε sub-frame χρόνο ενώνονται στο μέγεθος για το σκληρό δίσκο για χαρακτηριστικά ανάλυσης πρωτοκόλλου και φτάνουν μέχρι 4GB, 16GB ή 6T για διανυσματική ανάλυση του σήματος
- Επίπεδα L1/ L2/ L3/ NAS για πλήρη αποκωδικοποίηση μηνυμάτων
- Σύλληψη και ανάλυση σημάτων LTE DL/ UL RF και μηνυμάτων IP L1/ L2/ L3 μέσω κεραίας ή καλωδίου RF
- Σύστημα ανεξαρτήτου πώλησης UE και eNB
- Αποκωδικοποίηση πραγματικού χρόνου και έκθεση των LTE L1/ L2/ L3 και πληροφοριών RF, όπως RSSI, CINR, EVM κλπ
- Διασταυρωμένη ανάλυση σε πραγματικό χρόνο πολλαπλών επιπέδων LTE RF και L1/ L2/ L3/ IP και ποικίλων



χαρακτηριστικών σύλληψης όπως συνθήκες RF, L1/ L2/ L3 συμβάντα μηνυμάτων κλπ

- Επεξεργασία με διασταυρωμένη ανάλυση δεδομένων, που προέρχονται από την ανάλυση πρωτοκόλλου αλλά και από τα χαρακτηριστικά ανάλυσης σήματος. Αυτό μας επιτρέπει τη συγχρονισμένη και ολοκληρωμένη ανάλυση σε περίπλοκα θέματα και προβλήματα πάνω σε πολλαπλά επίπεδα των LTE RF και L1/ L2/ L3/ IP
- Φιλική προς το χρήστη εγκατάσταση της οθόνης και της εικόνας μηνυμάτων
- Εύκολο για χρήση και ρύθμιση.

### 3.9. RF Parametric Tester – Versatile Subscriber Station Tester (VST)

Ιδανικό εργαλείο για τη βαθμονόμηση του RF και την επαλήθευση κινητών συσκευών και μονάδων μέτρησης, παρέχει ένα γρήγορο αναλυτή σήματος (SA) και παραγωγό σήματος (SG) και υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων (90MHz - 6GHz) [14].

#### 3.9.1. Η Χρήση του VST

- Εκτελεί παραμετρικές δοκιμές για κινητά Tx και εφαρμογές RF
- Πραγματοποιεί γρήγορη και εύκολη βαθμονόμηση. Επίσης αυτοματοποιεί τις δοκιμές, συμπεριλαμβανομένου και βαθμονόμηση του συνόλου του κυκλώματος
- Εκτελεί λειτουργίες SA και SG
- Βελτιώνει την κατασκευαστική δυνατότητα μέσω αποτελεσματικών δοκιμών και ταχύτερης βαθμονόμησης
- Επεξεργάζεται δοκιμές εξορθολογισμού και μειώνει το OPEX, μέσα από την ταυτόχρονη μέτρηση του DL και του UL



### 3.9.2. Βασικά Χαρακτηριστικά

- Πολλαπλές τεχνολογίες

(Wi-Fi, WiMAX, LTE)

- Ένα μεγάλο φάσμα εύρους ζώνης

(μέχρι 6GHz)

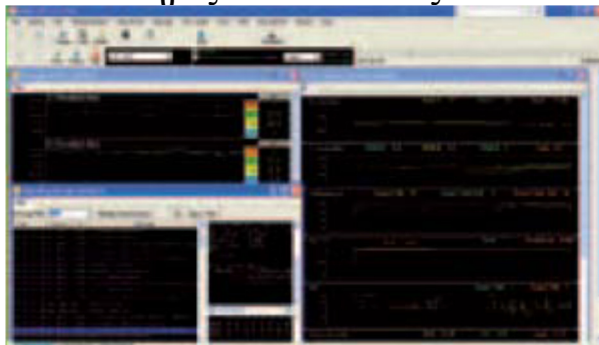
- Λειτουργία μετάδοσης και λήψης RF/PHY



### 3.10. LTE Test Tool

#### 3.10.1. Βασικά Χαρακτηριστικά

- Εύκολο στη γνώση και στη ρύθμιση
- Υποστηρίζει ποικίλες συσκευές χρόνου LTE- αυθεντικά UE's και σκάνερ
- Υποστηρίζει ποικίλα σενάρια δοκιμών LTE - FTP, Ping, UDP, VoIP, VOD, κλπ
- Υποστηρίζει μετρητές LTE - PHY, HARQ, Scheduling, RRM, MAC, RRC, NAS
- Υποστηρίζει εκτελέσεις KPI δικτύου LTE



Αναλόγως με το επίπεδο δικτύου το XCAL δίνει διαφορετικές πληροφορίες .

- Πληροφορίες για το Layer 1

Πληροφορίες κυψέλης, καναλιού, CQI, κυψέλη υπηρεσιών RSPQ, UE Tx δύναμη, πληροφορίες RACH, τάξη ανίχνευσης PDSCH BLER, PBCH BLER, PDCCH, παροχή UL/DL, θέση DownLink - UpLink Ack/Nack, throughput PDSCH/ PUSCH PHY

- Πληροφορίες για τα Layer 2,3

Πληροφορίες PDCP (pdu, throughput, διαμόρφωση, ασφάλεια), πληροφορίες RLC (κατάσταση, throughput) , πληροφορίες MAC(pdu, throughput, πληροφορίες HARQ Ack/Nack, BLER, TA) , μηνύματα RRC, πληροφορίες γειτονικής κυψέλης.

### Handheld XCAL

Το XCAL – Mobile είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει τη δοκιμή των QoS και QoE στις τεχνολογίες GSM/UMTS. Υποστηρίζει εκτενής εφαρμογή και παρέχει μέτρηση δικτύου σε πραγματικό χρόνο και δυνατότητα οπτικοποίησης σε απλά κινητά τηλέφωνα ( Nokia N95, N96, N97 κλπ). Όλα τα χαρακτηριστικά ελέγχονται χρησιμοποιώντας τα τυπικά χειροκίνητα κουμπιά, έτσι ώστε να μπορεί να τα χρησιμοποιήσει ο καθένας.



Διαφορετικά στιγμιότυπα από την εκτέλεση του Handheld XCAL σε τεματικό.

## **. Βασικά Χαρακτηριστικά**

Γενικά

- Κατανοητή αυτόματη κλήση
- Δοκιμή διαμορφώσιμη από το χρήστη
- Κλήση scripting
- Φόρτωση δεδομένων FTP
- Εσωτερική τροποποίηση
- Χαρτογράφηση πραγματικού χρόνου
- Ενεργή και παθητική καταγραφή

## **Βασικές Πληροφορίες**

- Ισχυρές πληροφορίες( όσον αφορά το σύστημα, το δίαυλο, τον τομέα κλπ)
- Κατάσταση μνήμης
- CI, LAC, MCC, MNC
- Πληροφορίες θέσης και GPS
- Ρύθμιση αυτόματης κλήσης
- Διαχείριση αρχείων
- Φόρτωση FTP στο διακομιστή
- Μέτρηση σε εσωτερικό χώρο
- Κατάσταση αρχείου καταγραφής ιστορικού

## **XCAP**

Αποτελεί μια ισχυρή ρυθμιζόμενη πλατφόρμα ανάλυσης που επιτρέπει την απόκτηση, ανάλυση και αναφορά των δεδομένων που συγκεντρώνονται σε XCAL [19]. Υποστηρίζει όλα τα ασύρματα πρότυπα και μεγάλα πρότυπα δεδομένων τρίτης ομάδας.

## **Βασικά Χαρακτηριστικά**

- Λειτουργία εισαγωγής/ εξαγωγής δεδομένων – Δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από τύπο αρχείου CSV για την μετεπεξεργασία αποκτηθέντων δεδομένων , εκτός από τη σειρά των XCAL. Επίσης κάθε δεδομένο μπορεί να εξαχθεί σε Excel, CSV, MIF, Google Map ή σε μορφή κειμένου.
- Λειτουργία επανάληψης – Επαναλαμβάνει τα δεδομένα σε γράφους, χάρτες, πίνακες και παράθυρα μηνυμάτων με τον ίδιο τρόπο όπως και η ίδια καταγραφή ιστορικού.

- Λειτουργία συγχρονισμού πολλαπλών παραθύρων – Στην περίπτωση που υπάρχουν πολλά παράθυρα ανοιχτά και μια ομάδα δεδομένων εκτελείται σε ένα από αυτά, τα υπόλοιπα εκθέτουν την ίδια χρονική ζώνη, που διευκολύνει την πολυδιάστατη μετεπεξεργασία δεδομένων
- Λειτουργία γειτονικής λίστας μετεπεξεργασίας( CDMA2000, WCDMA, WiMAX, LTE) – Αυτή η λειτουργία δίνει τη δυνατότητα της μετεπεξεργασίας ελλιπών και ολοκληρωμένων για Γειτονική λίστα καταγραμμένων συστημάτων, συγκρίνοντας τα δεδομένα μεταξύ scanner και ακουστικού
- Φιλτράρισμα δεδομένων – Αποσπά δεδομένα που ικανοποιούν τις προδιαγεγραμμένες συνθήκες
- Λειτουργία μετεπεξεργασίας της μόλυνσης του πλοηγού ( CDMA2000, WCDMA, WiMAX, LTE) – Απομακρύνει τις περιοχές με ιό.

#### 4.-Μετρήσεις Χωρητικότητας Δικτύου

Μετά από πολλές διαδικασίες και μετρήσεις σχεδιάστηκε ένας κώδικας στον οποίο μπορούμε να προσεγγίσουμε το capacity και στις παρακάτω εικόνες φαίνονται παραδείγματα από κόμβους .

A/A_NO	Ετικέτες γραμμής Node Technology End_point (BSC/RNC/GW) Connected Sites	Πλήθος από END POIN	2G	3G	4G	CAPACITY IN MBI
1	XXXX_SITE1	10	10	10	0	176

A/A_NO	Ετικέτες γραμμής Node Technology End_point (BSC/RNC/GW) Connected Sites	Πλήθος από END POIN	2G	3G	4G	CAPCITY IN MBI
1	xxxx_SITE2	12	12	12	4	299,2

A/A_NO	Ετικέτες γραμμής Node Technology End_point (BSC/RNC/GW) Connected Sites	Πλήθος από END POIN	2G	3G	4G	CAPCITY IN MBI
1	xxxx_SITE3	2	2	2	1	183

A/A_NO	Ετικέτες γραμμής Node Technology End_point (BSC/RNC/GW) Connected Sites	Πλήθος από END POIN	2G	3G	4G	CAPCITY IN MBI
1	xxxx_SITE4	20	20	20	3	400,4

CAP.	2G/3G/4G	0	1	2	3	4	5	6	7	8
183mbps	366mbps									
500mbps										
2G/3G										
0		0	183	183	183	194	198	238	277	317
1		21,6	183	183	183	194	216	255	295	334
2		43,2	183	183	189	194	233	273	312	352
3		64,8	183	183	189	211	251	290	330	370
4		86,4	183	183,6	189	229	268	308	348	387
5		108	183	183,6	207	246	286	326	365	387
6		129,6	183	184,8	224	264	304	343	383	387
7		151,2	183	202,4	242	282	321	361	400	400
8		172,8	183	220	260	299	339	378	400	400
9		172,8	198	237,6	277	317	356	396	400	400
10		176	216	255,2	295	334	374	396	400	400
11		193,6	233	272,8	312	352	392	396	400	400