

**ΑΥΤ.  
635**

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ**  
Τμήμα Αυτοματισμού



**ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ (4G)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
της σπουδάστριας  
**ΔΗΜΗΤΡΑΣ ΤΣΑΜΗ**



Επιβλέπων: **Γρηγόριος Νικολάου**

2014



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G) είναι ο διάδοχος των δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G) και παρέχουν υπερευρυζωνική πρόσβαση σε ασύρματο δίκτυο για μεγάλη ποικιλία φορητών ηλεκτρονικών συσκευών. Αυτή η υπερευρυζωνικότητα των 4G δικτύων παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης περεταίρω εφαρμογών για φορητές συσκευές όπως η IP τηλεφωνία, η φορητή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HD), η 3D τηλεόραση και οι υπηρεσίες νεφους. Ουσιαστικά, λοιπόν, είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς πως τα 4G δίκτυα ήρθαν για να προσφέρουν στους χρήστες τους όσα δε μπορούσαν να προσφέρουν οι εμπορικοί τους προκάτοχοι εξαιτίας των μειωμένων τους δυνατοτήτων. Εκτός από τις υψηλές ταχύτητες που υπόσχονται στους «ακολουθούς» τους με ταυτόχρονη μείωση των χρεώσεων αυτών, ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους είναι πως αποσκοπούν στην ανάπτυξη ενός παγκόσμιου ετερογενούς δικτύου το οποίο θα ενσωματώσει όλα τα προϋπάρχοντα δίκτυα, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα επικοινωνίας τόσο μεταξύ συσκευών διαφορετικών τεχνολογιών όσο και μεταξύ χρηστών που έχουν παραμείνει σε κάποιο από τα παλαιότερα ασύρματα δίκτυα (2G ή 3G).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των ασύρματων δικτύων 4G. Για να γίνει αυτό με αποδοτικό τρόπο θεωρείται αναγκαία μια περιληπτική ιστορική αναδρομή στα παλαιότερα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών, αναδρομή η οποία γίνεται στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Στη συνέχεια και στο Κεφάλαιο 2, ο αναγνώστης εισάγεται στα δίκτυα 4G, τα χαρακτηριστικά τους και την αρχιτεκτονική τους. Θα συζητηθούν θέματα όπως οι στόχοι που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό τους καθώς και οι απαιτήσεις που επιβλήθηκαν ώστε ο σχεδιασμός αυτός να θεωρηθεί επιτυχής, οι κινήσεις που έγιναν για την τυποποίηση του προϊόντος καθώς και τα συστατικά ενός δικτύου 4G. Συνεχίζοντας με το Κεφάλαιο 3, θα ασχοληθούμε με τις βασικές τεχνολογίες τους όπως, για παράδειγμα, τα all-IP δίκτυα και οι έξυπνες κεραιές. Το τελευταίο μας κεφάλαιο, το Κεφάλαιο 4, θα αποτελέσει μια εποπτική αναφορά στις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που παρέχονται από τα 4G δίκτυα. Αντί επιλόγου, θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια μελλοντική πρόβλεψη για την αγορά του μέλλοντος αναφορικά με τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών.

Η φοιτήτρια Δήμητρα Τσάμη διατηρεί τα πνευματικά δικαιώματα της παρούσας εργασίας.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2014

Δήμητρα Τσάμη

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 1.1 Ασύρματα Δίκτυα 1<sup>ης</sup> Γενιάς
- 1.2 Ασύρματα Δίκτυα 2<sup>ης</sup> Γενιάς
- 1.3 Ασύρματα Δίκτυα 2.5<sup>ης</sup> Γενιάς
- 1.4 Ασύρματα Δίκτυα 3<sup>ης</sup> Γενιάς
- 1.5 Απολογισμός μέχρι την 3.5G εποχή

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G)**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 2.1 Αναγκαιότητα δικτύων 4G
- 2.2 Διαχείριση ετερογενών δικτύων
- 2.3 Προκλήσεις ετερογενών δικτύων
  - 2.3.1 Κινητός Σταθμός
  - 2.3.3 Σύστημα
  - 2.3.4 Υπηρεσίες

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων 4G
- 3.2 Σχεδιαστικοί στόχοι των 4G δικτύων
- 3.3 Απαιτήσεις των 4G δικτύων
- 3.4 Αρχιτεκτονική των 4G δικτύων
- 3.5 Ασφάλεια στα 4G δίκτυα

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 4.1 Εισαγωγικά στοιχεία
- 4.2 Το πρότυπο OFDM
- 4.3 Έξυπνες κεραιές
  - 4.3.1 Έξυπνες κεραιές μεταβαλλόμενου λοβού
  - 4.3.2 Έξυπνες κεραιές δυναμικής μεταβολής φάσης
  - 4.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έξυπνων κεραιών
- 4.4 Η τεχνολογία LTE

- 4.4.1 Ο διαμοιράσμος του δικτύου μέσω του LTE
- 4.4.2 Συγκριτική του LTE με λοιπές τεχνολογίες
- 4.4.2 Παγκόσμια αποδοχή του LTE
- 4.4.3 Συχνότητες λειτουργίας του LTE
- 4.5 Η τεχνολογία WiMAX
- 4.5.1 Η αρχιτεκτονική του WiMAX
- 4.5.2 Τα επίπεδα του WiMAX

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΗ 4G ΕΠΟΧΗ**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 5.1 Βασική ορολογία
- 5.2 Υπηρεσίες δικτύων 4G
- 5.3 Ποιότητα υπηρεσιών δικτύων 4G
- 5.4 Παροχή υπηρεσιών σε αυτόματα M2M συστήματα

### **ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ - Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ 4G ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ**



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ιστορικά, για να φτάσουν οι ασύρματες επικοινωνίες στα σημερινά τεχνολογικά επίπεδα πέρασαν από πολλά διακριτά στάδια τα οποία ονομάζονται γενιές. Στο Κεφάλαιο αυτό θα δοθούν ιστορικά στοιχεία και τεχνολογικές πληροφορίες των γενεών αυτών ώστε η εισαγωγή των δικτύων 4G να προκύψει ως τεχνολογική ανάγκη αλλά και ως χρονολογική συνέχεια των εμπορικών τους προκατόχων.

#### 1.1 Ασύρματα Δίκτυα 1<sup>ης</sup> Γενιάς

Η πρώτη εμφάνιση ασύρματων δικτύων επικοινωνιών έγινε στην Ιαπωνία και τις Η.Π.Α. στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ενώ στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1980 οπότε και παρουσιάστηκε το πρώτο ασύρματο δίκτυο με κυψελωτή δομή. Μέχρι εκείνη τη στιγμή είχαν κάνει την εμφάνισή τους συγκεκριμένα συστήματα που έδιναν τη δυνατότητα τηλεπικοινωνίας σε κίνηση (υπενθυμίζεται πως μέχρι εκείνη τη στιγμή, η έννοια της ασύρματης επικοινωνίας αφορούσε σχεδόν αποκλειστικά τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, αφού ήταν μόλις το 1989 που προτάθηκε η δημιουργία του παγκόσμιου ιστού (World Wide Web) από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire – CERN), ωστόσο δεν κάλυπταν τις προδιαγραφές ενός ασύρματου δικτύου επικοινωνιών όπως αυτό ορίζεται στις μέρες μας. Ουσιαστικά αναφερόμαστε σε συστήματα τηλεφωνίας τα οποία ξεκίνησαν να εγκαθιστώνται περίτις αρχές του 1920 σε κινούμενα τραίνα για παράδειγμα. Τα δίκτυα αυτά είναι σαφές πως περιόριζαν τη δυνατότητα κινητικότητας των χρηστών τους.

Με την εισαγωγή των δικτύων 1ης γενιάς (1G) η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρά κελιά/κύτταρα/κυψέλες, σκέψη ιδιαίτερα επαναστατική για την εποχή της, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται οι ίδιες συχνότητες πολλές φορές στο ίδιο δίκτυο χωρίς την εμφάνιση μεγάλης κλίμακας φαινομένων παρεμβολής. Αυτή η διαίρεση σε κυψέλες εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα, αντιπροσωπεύοντας ουσιαστικά μέσω του σχήματός τους τα γεωγραφικά όρια μέσα στα οποία μπορούν να εξυπηρετούνται οι χρήστες. Η ακτίνα κάθε κυψέλης εξαρτάται από τη γεωγραφική τοπολογία της περιοχής που εξυπηρετείται από το σύστημα αλλά και από την πυκνότητα του πληθυσμού των χρηστών. Έτσι, μπορεί να ξεκινάει από

λιγότερο από ένα χιλιόμετρο στις πυκνοκατοικημένες περιοχές και να φτάνει μέχρι και τα 30 χιλιόμετρα στις αραιοκατοικημένες. Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας σταθμός βάσης ο οποίος αναλαμβάνει την υλοποίηση και τη δρομολόγηση των κλήσεων.

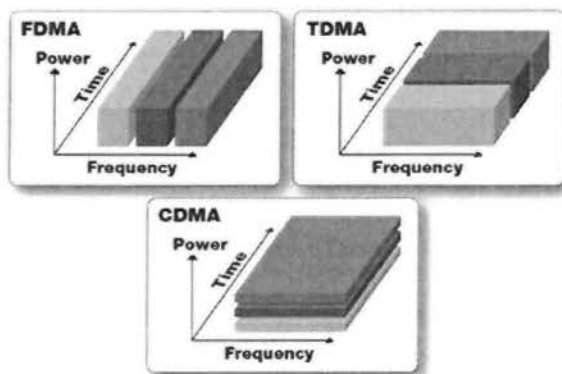
Βασικό χαρακτηριστικό των 1G δικτύων ήταν, όπως προαναφέρθηκε, το γεγονός ότι η επικοινωνία γινόταν με χρήση της ίδιας συχνότητας τόσο από τη μεριά του πομπού όσο και από τη μεριά του δέκτη. Επίσης, η κλήση τερματιζόταν όποτε ο χρήστης ξέφευγε εκτός των ορίων του κυττάρου αφού δεν υπήρχε η δυνατότητα να μεταφερθεί η κλήση σε άλλη κυψέλη (handover). Ταυτόχρονα, τα δίκτυα είχαν ελάχιστη χωρητικότητα με αποτέλεσμα ελάχιστοι χρήστες να μπορούν να συνδεθούν σε αυτά ταυτόχρονα.

Έτσι έχουμε τη γένεση δικτύων με αφενός σημαντικά αυξημένες δυνατότητες για την εποχή τους, αφετέρου ογκώδη, υψηλού κόστους και χωρίς περιθώρια βελτιώσεων τα οποία είχαν ως χαρακτηριστικό αποκλειστική μετάδοση φωνής με αναλογικές τεχνικές. Το πρώτο παγκοσμίως σύστημα τέτοιου τύπου που έκανε την εμφάνισή του ήταν το Advanced Mobile Phone Services (AMPS) ενώ ακολούθησαν τα US Digital Cellular (USDC) Standard IS-54, το σύστημα της Nippon Telephone and Telegraph Company (NTT Co), το Nordic Mobile Telephony (NMT) και το European Total Access Communication System (ETACS).

## 1.2 Ασύρματα Δίκτυα 2<sup>ης</sup> Γενιάς

Είναι σαφές πως εξαιτίας όσων συζητήθηκαν για αυτά, τα 1G δίκτυα είχαν περιορισμένη ημερομηνία ζωής. Τη θέση τους την έδωσαν στα δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) τα οποία επειδή αποτέλεσαν τη βάση ανάπτυξης των δικτύων τρίτης γενιάς (3G) υπάρχουν μέχρι και σήμερα.

Στα 1G δίκτυα ο διαχωρισμός μεταξύ των χρηστών για ταυτόχρονη πρόσβαση στο ασύρματο μέσο γινόταν με την τεχνική Frequency Division Multiple Access (FDMA) για αναλογικό σήμα. Αντίθετα, το ψηφιακό πλέον σήμα των 2G δικτύων διαχωρίζεται με Time Division Multiple Access (TDMA) ή Code Division Multiple Access (CDMA).



Εικόνα 1.1: Διαφοροποίηση μεταξύ FDMA, TDMA και CDMA.



Το δημοφιλέστερο σύστημα δεύτερης γενιάς είναι το Global System for Mobile Communication (GSM) όπου το σήμα διαχωρίζεται μέσω της TDMA τεχνικής και υποστηρίζει 8 χρονοσχισμές με εύρος ζώνης 200 KHz έκαστη. Την TDMA χρησιμοποιούν επίσης τα Interim Standard 54 (IS-54) και Interim Standard 136 (IS-136) γνωστά και ως North American Digital Cellular (NADC) και US Digital Cellular (USDC). Αρκετές ομοιότητες με το IS-136 έχει και το Pacific Digital Cellular (PDC) ενώ ένα από τα πιο γνωστά συστήματα που χρησιμοποιούν την CDMA τεχνική είναι το Interim Standard 95 Code Division Multiple Access (cdmaOne).

Όπως προαναφέρθηκε, το δημοφιλέστερο 2G σύστημα είναι το GSM το οποίο δημιουργήθηκε υπό την επίβλεψη του European Technical Standards Institute (ETSI) με σκοπό να εξυπηρετηθεί κάθε Ευρωπαίος πολίτης ανεξαρτήτως χώρας. Το GSM μετρούσε 350 εκατομμύρια χρήστες σε 140 χώρες ενώ φιλοξενούσε 400 δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών. Αναφορικά με τη ζώνη λειτουργίας του, αυτή ξεκίνησε από το ύψος των 800-900 MHz ενώ σε κάποιες χώρες στις οποίες λειτουργεί ακόμα έχει φτάσει μέχρι και τα 1.8-2.0 GHz.

Μαζί με τα 2G δίκτυα, οι χρήστες γνώρισαν και δύο από τις πιο διαδεδομένες σήμερα υπηρεσίες. Έτσι, για πρώτη φορά μπόρεσαν να έχουν μια στοιχειώδη πρόσβαση στο διαδίκτυο ενώ μπορούσαν πλέον να αποστέλουν σύντομα γραπτά μηνύματα (SMS).

### **1.3 Ασύρματα Δίκτυα 2.5<sup>ης</sup> Γενιάς**

Με τη χρήση των 2G δικτύων έγινε φανερή η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών Internet μέσω ασύρματων συνδέσεων. Έτσι, ξεκίνησε μια σειρά αναβαθμίσεων στα 2G δίκτυα, οι οποίες δημιούργησαν τα 2.5G δίκτυα με κύρια χαρακτηριστικά τη High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), τις General Packet Radio Services (GPRS) και τα Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

Η τεχνολογία HSCSD ήρθε για να αντιμετωπίσει τους πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης των GSM δικτύων οι οποίοι ήταν της τάξης των 9,6 Kbps και να τους ανεβάσει στα 14,4 Kbps. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της τεχνικής της μεταγωγής κυκλώματος που χρησιμοποιείται σύμφωνα με την οποία ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί διαδοχικές χρονοθυρίδες του GSM προτύπου. Αυτή η μετατροπή, σε συνδυασμό με μικρότερες τροποποιήσεις, όπως για παράδειγμα μια πιο χαλαρή πολιτική ελέγχου σφαλμάτων σε κάθε χρονοθυρίδα, έδινε ως αποτέλεσμα ρυθμούς έως 57,6 Kbps για χρήση τεσσάρων συνεχόμενων χρονοθυρίδων. Με τέτοιους ρυθμούς, οι οποίοι συγκρίνονται με αυτούς μιας γραμμής ISDN B-channel, έγιναν δυνατές εφαρμογές όπως το streaming αφού πλέον οι ταχύτητες μετάδοσης έχουν εξισωθεί με αυτούς των ενσύρματων modems της εποχής. Το μεγάλο πλεονέκτημα της HSCSD ήταν πως μπορούσε να λειτουργήσει στο υπάρχον GSM δίκτυο. Ωστόσο, μειονεκτούσε στο ότι οι χρονοθυρίδες δεσμεύονταν ακόμα και όταν δε χρησιμοποιούντουσαν, σπαταλώντας έτσι πολύτιμους πόρους του δικτύου.

Η τεχνολογία GPRS ήταν κατάλληλη για υπηρεσίες όπου ο χρήστης κατεβάζει από το

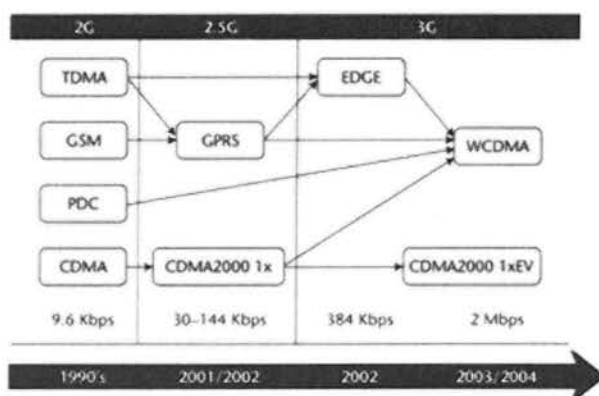
διαδίκτυο πολύ περισσότερα δεδομένα από αυτά που ανεβάζει, όπως το email και το fax, εξαιτίας της λειτουργίας της μεταγωγής πακέτου. Μέσω αυτού έγιναν εφικτές εφαρμογές όπως το www, το ftp, το email, το telnet, εφαρμογές Real Time Traffic Information (RTTI) καθώς και εφαρμογές τηλεματικής. Με το GPRS έγινε δυνατή η δέσμευση των χρονοθυρίδων μόνο όταν αυτές είναι απαραίτητες για τη μετάδοση δεδομένων. Έτσι, ενώ ο χρήστης είναι πάντα συνδεδεμένος το διαδίκτυο, η συσκευή αναζητά δικτυακούς πόρους μόνο όταν επιθυμεί τη λήψη ή αποστολή νέων δεδομένων. Επίσης, το GPRS έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες ενώ μπορεί να πετύχει ρυθμό μετάδοσης μέχρι και 171,2 Kbps αφού μπορεί να καταλάβει και τι οκτώ χρονοθυρίδες (21,4 Kbps έκαστη).

Τέλος, η τεχνολογία EDGE δεν απαιτεί αναβάθμιση μόνο του λογισμικού αναφορικά με το GSM δίκτυο αλλά επίσης και του υλισμικού του (hardware). Με το EDGE εισάγεται μια καινούρια ψηφιακή διαμόρφωση με το όνομα 8-PSK η οποία προσφέρει ρυθμό μετάδοσης μέχρι και 547,2 Kbps όταν δε χρησιμοποιείται διόρθωση λαθών και οι οκτώ χρονοθυρίδες είναι δεσμευμένες από τον ίδιο χρήστη.

## 1.4 Ασύρματα Δίκτυα 3<sup>ης</sup> Γενιάς

Τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) έφεραν με την ανάπτυξή τους σπουδαίο πλήθος εφαρμογών που μέχρι εκείνη τη στιγμή κανένα από τα προηγούμενα δίκτυα δεν είχε καταφέρει να προσφέρει. Έτσι, με τα 3G δίκτυα οι χρήστες πλοηγούνται στο διαδίκτυο με ταχύτητες επιπέδου Megabit, επικοινωνούν μέσω του Voice over Internet Protocol (VoIP), κατεβάζουν μουσικά κομμάτια και ταινίες και χρησιμοποιούν πλήθος εφαρμογών, όπως παιχνίδια αλλά ακόμη και εφαρμογές ακαδημαϊκού και επιστημονικού ενδιαφέροντος.

Τα 3G δίκτυα αναφέραμε και παραπάνω ότι βασίστηκαν στα 2G δίκτυα και αυτός είναι ο λόγος που και τα δύο συνεχίζουν και υπάρχουν. Έτσι, το CDMA εξελίχθηκε σε cdma2000 και τα GSM, IS-136 και PDC εξελίχθηκαν στο Wideband-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η εξέλιξη των δικτύων μέχρι και το επίπεδο των 3G φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

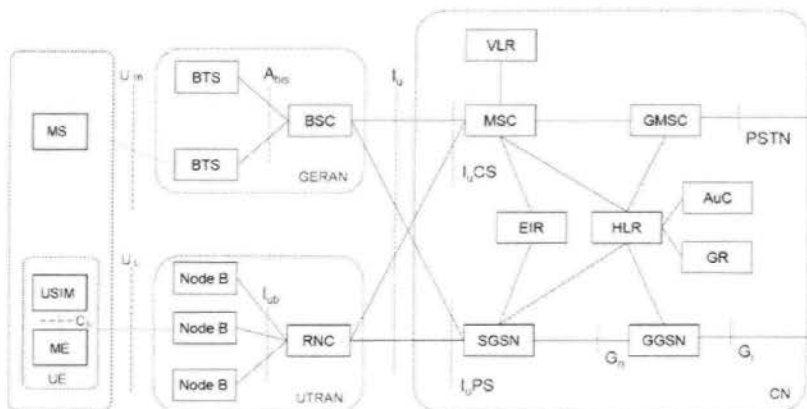


Εικόνα 1.2: Εξέλιξη των ασύρματων ψηφιακών δικτύων μέχρι και την τρίτη γενιά.

Κατά το σχεδιασμό των 3G δικτύων βασικό ρόλο έπαιξε η απαίτηση για παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών σε οποιοδήποτε γεωγραφικό τόπο και οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αυτό σαν χαρακτηριστικό είναι σαφές πως διασφαλίζει την απόλυτη ελευθερία κινητικότητας εκ μέρους του χρήστη ακόμα και αν η επιθυμητή γεωγραφική περιοχή δεν έχει κάλυψη δικτύου 3G. Έτσι, στην περίπτωση των 3G δικτύων, ο χρήστης εξυπηρετείται από οικιακά ασύρματα συστήματα, λοιπά κυψελωτά κινητά δίκτυα αλλά και δορυφορικά δίκτυα. Εκτός από τις υπηρεσίες διαδικτύου που έχουν αρχίσει να εισάγονται από τη 2G και έπειτα, πλέον παρέχονται υπηρεσίες πολυμέσων (multimedia) οι οποίες συνδυάζουν εικόνα και ήχο με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

Τα επικρατέστερα 3G δίκτυα ανά γεωγραφική περιοχή είναι το Universal mobile Telecommunications Service (UMTS) στην Ευρώπη, το CDMA2000 στη Βόρεια Αμερική και το Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) στην Κίνα.

Το UMTS είχε δημοσιευθεί από τον ETSI από το 1996 ως μια πρόταση για αναβάθμιση του GSM και ουσιαστικά αποτελούσε μια διαφοροποίηση του CDMA. Μετά από τροποποιήσεις παρουσιάστηκε υπό το όνομα WCDMA. Είναι συμβατό με τα συστήματα GSM, IS-136, PDC, GPRS και EDGE και οι ρυθμοί μετάδοσής του μπορεί να φτάσουν και να ξεπεράσουν τα 16Mchip/sec ανά χρήστη. Χρησιμοποιεί την τεχνική spread spectrum και απαιτεί ένα ελάχιστο εύρος ζώνης των 5 MHz. Η αρχιτεκτονική του είναι επέκταση του GPRS και προσφέρει καλύτερο έλεγχο στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η αρχιτεκτονική του φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 1.3: Η αρχιτεκτονική του UMTS.

Το CDMA-2000 είναι συμβατό με τα συστήματα IS-95, IS-95A και IS-95B και βασίζεται σε χρήση εύρους 1.25 MHz καναλιού ανά χρήστη.

Το TD-SCDMA είναι μια εναλλακτική 3G τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιεί τις TDMA/TDD και CDMA τεχνικές για τη μεταφορά δεδομένων υψηλού ρυθμού πάνω από GSM δίκτυα έως 384 Kbps. Διαθέτει ραδιοκάνάλι των 1.6 MHz και 5 msec frame

που διαιρείται σε 7 χρονοθυρίδες.

Τέλος, στην Ιαπωνία το επικρατέστερο 3G δίκτυο είναι το NTT Docomo, το οποίο προσφέρει το εμπορικό προϊόν FOMA, τον πρώτο πάροχο 3G που βασίζεται στο W-CDMA.

## **1.4 Ασύρματα Δίκτυα 3<sup>ης</sup> Γενιάς**

Στην 3.5<sup>η</sup> γενιά ασύρματων δικτύων (3.5G) έχει γίνει η ενσωμάτωση της τεχνολογίας High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Το HSDPA αποτελεί μια νέα τεχνολογία που αποσκοπεί στην αύξηση της χωρητικότητας του κατερχόμενου όσο ασύρματου συνδέσμου.

Το HSDPA αφορά στη μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό 5 φορές μεγαλύτερο από αυτό του UMTS και 15 φορές μεγαλύτερο από αυτό του GPRS με αποτέλεσμα ο ρυθμός να μπορεί να φτάσει και τα 14.4 Mbps. Έτσι, οι χρήστες απολαμβάνουν υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερη χωρητικότητα. Η ανάγκη για την ενσωμάτωση του HSDPA διαφάνηκε όταν αποδείχθηκε πώς οι μέγιστοι ρυθμοί που τα 3G δίκτυα μπορούσαν να πετύχουν ήταν πολύ μικροί για τις πολυμεσικές εφαρμογές που είχαν ξεκινήσει να αναπτύσσονται. Βέβαια, το HSDPA στη γενική του μορφή απαιτεί επανασχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου και αναβάθμιση στο υλισμικό που θα χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς βάσης έτσι ώστε αυτοί να λειτουργούν αποδοτικά με τόσο υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων αλλά και να υποστηρίζουν τη λειτουργία περισσότερο πολύπλοκων πρωτοκόλλων.

Ανάλογο πρωτόκολλο ισχύει και στην περίπτωση του ανερχόμενου συνδέσμου με την ονομασία High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Το HSUPA δίνει τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5.8 Mbps μέσω ενός DCH στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Το HSUPA μαζί με το HSDPA διαμορφώνουν την τεχνολογία HSPA, η οποία αποτελεί την προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Έτσι, αντί να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά Dedicated Channel (DCH) κανάλια για την αποστολή δεδομένων, χρησιμοποιείται ένα Downlink Shared Channel (DSCH) κανάλι το οποίο το μοιράζονται οι χρήστες αφού έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης και γι' αυτό το λόγο καλείται high-speed DSCH (HS-DSCH).

## **1.5 Απολογισμός μέχρι την 3.5G εποχή**

Πριν αναφερθούμε στα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G) θεωρούμε σωστό να κάνουμε έναν απολογισμό του state of art των ασύρματων δικτύων μέχρι την εμφάνιση των 4G.

Με την ολοκλήρωση της 1G εποχής, το υπάρχον ασύρματο δίκτυο έχει τη δυνατότητα να μεταδίδει μόνο φωνητικά σήματα μέσω συσκευών που λειτουργούν με αναλογικό τρόπο. Το υπόβαθρο αυτό κληρονόμησαν τα 2G δίκτυα, τα οποία πλέον μπορούν να μεταδίδουν και δεδομένα εκτός από φωνή ενώ για πρώτη φορά υπάρχουν ασφαλείς συνθήκες μετάδοσης αυτών. Η 2.5G τεχνολογία επεκτείνει τα 2G δίκτυα προσφέροντας αρκετά υψηλότερους ρυθμούς. Τέλος, η 3G εποχή μας αφήνει με ένα υπόβαθρο όπου πλέον είναι δυνατή η μετάδοση φωνής και δεδομένων αλλά και αρχείων πολυμέσων. Μέσω αυτών των δικτύων μπορούμε να επιτελούμε βιντεοκλήσεις, να περιηγούμαστε το διαδίκτυο, να χρησιμοποιούμε εφαρμογές παιχνιδιών κτλ. Έναν περιληπτικό πίνακα των παραπάνω στοιχείων βλέπουμε στον πίνακα που ακολουθεί.

Generation	Speed	Technology	Features
<b>2G</b>	9.6/14.4 kbps	TDMA, CDMA	2G capabilities are achieved by allowing multiple users on a single channel via multiplexing. 2G enabled mobile phones can be used for data along with voice communication.
<b>3G</b>	3.1 Mbps (peak) 500-700 Kbps	CDMA 2000 (1XRTT, EVDO) UMTS, EDGE	3G provides amazing internet browsing speeds. Opens the door to a whole bag of opportunities with video calling, video streaming, etc. In 3G, universal access and portability across different device types are made possible. (Telephone & PDA's)
<b>3.5G</b>	14.4 Mbps (peak) 1-3 Mbps	HSPA	3.5G supports even higher speeds and enhances higher data needs.

Εικόνα 1.4: Το state of art πριν την εμφάνιση των 4G δικτύων.

Ωστόσο, παρά τις προβλέψεις για το αντίθετο, η τρίτη γενιά δικτύων αποδείχθηκε αρκετά απογοητευτική. Παρά το σχεδιασμό για ένα παγκόσμιο πρότυπο, μόνο στις Η.Π.Α. αναπτύχθηκαν τρία διαφορετικά και ασύμβατα μεταξύ τους συστήματα. Η μετάδοση φωνής δεν επιτεύχθηκε ποτέ μέσω του IP και συνέχισε να μεταδίδεται μέσω κυκλωμάτων μεταγωγής όπως και στα 2G δίκτυα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G)

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα 4G δίκτυα είναι μια πραγματικότητα και είναι ο διάδοχος των 3G/3.5G δικτύων. Έχουν εμφανιστεί κατά την προσπάθεια να καλυφθούν τα κενά στις παρεχόμενες από τα προηγούμενα δίκτυα υπηρεσίες προσφέροντας υπερευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο σε φορητές συσκευές, τηλεφωνία IP, τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, δυνατότητα τηλεσυνδιάσκεψης καθώς και χρήση εφαρμογών νέφους. Τα 4G δίκτυα είναι το αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού.

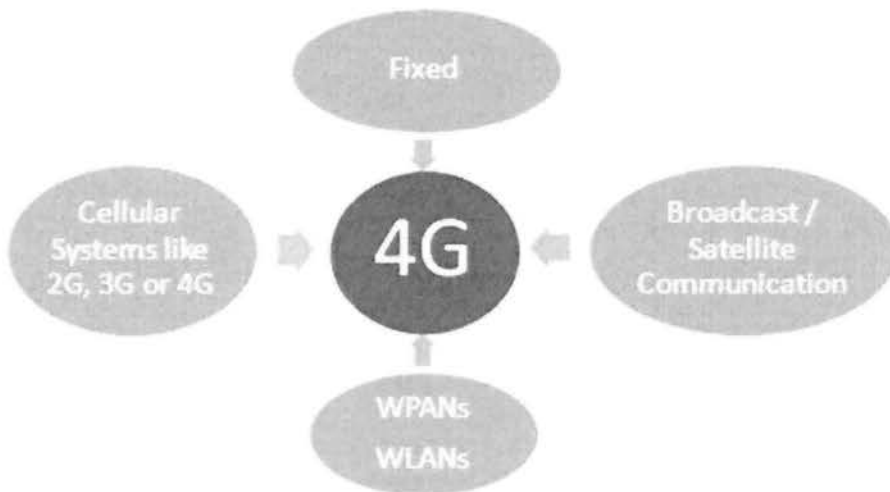
#### 2.1 Αναγκαιότητα δικτύων 4G

Αποτελεί ακλόνητη αλήθεια το γεγονός πως στη σύγχρονη εποχή η επικράτηση των ασύρματων επικοινωνιών έχει φτάσει σε επίπεδα που δεν ήταν εύκολο να τα φανταστεί κανείς μερικές δεκαετίες πριν. Εκτός από την κινητή τηλεφωνία, πλέον χρησιμοποιούνται ασύρματα δίκτυα για την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διαφόρων τύπων (PCs, laptops, tablets κ.α.), για το σχεδιασμό συστημάτων όπου απομακρυσμένες συσκευές θα επικοινωνούν μεταξύ τους (M2M επικοινωνία για παράδειγμα), για τον τηλεχειρισμό συσκευών, για αποθήκευση δεδομένων και χρήση αυτών σε εφαρμογές νέφους (cloud computing) και αλλού. Έτσι, είναι ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη για σταθερά και αξιόπιστα δίκτυα που θα παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σημάτων.

Στις μέρες μας δηλώνουμε πως βρισκόμαστε στην 3G εποχή βαίνοντας στην 4G, άποψη η οποία απέχει αρκετά από την πραγματικότητα. Αρχικά, η επίτευξη ασύρματων δικτύων είναι μια πραγματικά πολύ δύσκολη υπόθεση εξαιτίας της ιδιαίτερα ευμετάβλητης φύσης τους αλλά και των έντονων εξασθενίσεων στις οποίες υπόκεινται τα σήματα. Επίσης, λαμβάνουν χώρα πολλές ανακλάσεις, σκεδάσεις, μεταθέσεις συχνοτήτων. Συνεπώς, η ευρυζωνικότητα των 3G δικτύων ήταν πολύ δύσκολο να επιτευχθεί με την τότε υπάρχουσα τεχνολογία. Έτσι, έπρεπε να συνεχιστεί η προσπάθεια για παροχή δικτύων που θα προσφέρουν απρόσκοπτη πρόσβαση σε δεδομένα οποιουδήποτε τύπου, ανεξάρτητα από την τεχνολογική υποδομή της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Αυτή η νέα γενιά επικοινωνιών ονομάστηκε Beyond 3G (B3G) ή απλά 4<sup>th</sup> Generation (4G). Στην 4G εποχή, λοιπόν, θα είναι δυνατή η συνένωση και η απρόσκοπτη λειτουργία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας με

τα υπόλοιπα ασύρματα δίκτυα για τη μετάδοση δεδομένων. (Ως ασύρματα δίκτυα δεδομένων ορίζονται τα δίκτυα αυτά που βασίζονται στο πρωτόκολλο 802.xx (packet switched δίκτυα).) Έτσι, οι χρήστες των 4G δικτύων θα μπορούν να απολαμβάνουν τις υπηρεσίες τους με τον πιο οικονομικό τρόπο, είτε μέσω ανταγωνιστικών κυψελωτών δικτύων, είτε μέσω άλλων ασύρματων δικτύων δεδομένων.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές πως η λέξη κλειδί για τα 4G δίκτυα είναι η «ενοποίηση». Τα 4G αφορούν στην ενοποίηση τερματικών, δικτύων και εφαρμογών ώστε να ικανοποιηθούν οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των συνδρομητών. Κατά το σχεδιασμό τους προβλέφθηκε να συμπεριλαμβάνουν όλα τα συστήματα από διάφορα δίκτυα, δημόσια ή ιδιωτικά, broadband ή προσωπικών επικοινωνιών αλλά και ad-hoc δίκτυα. Έτσι παρέχουν διαλειτουργικότητα με τα δίκτυα 2G και 3G καθώς επίσης και με τα ψηφιακά ευρυζωνικά συστήματα ενώ είναι βασισμένο στο IP πρωτόκολλο, το οποίο λειτουργεί ως μηχανισμός ενοποίησης και επίσης παρέχει ασύρματο Internet. Στην εικόνα 1 φαίνονται οι ενοποιήσεις τις οποίες επιτυγχάνουν τα 4G δίκτυα.



Εικόνα 2.1: Ενοποίηση δικτύων στα πλαίσια των 4G δικτύων.

Τα 4G δίκτυα ή All-IP δίκτυα ουσιαστικά βασίζονται στη δημιουργία και εγκατάσταση μιας IP υποδομής η οποία θα λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος και backbone core network όλων των υπόλοιπων ασύρματων δικτύων, είτε πρόκειται για δίκτυα κυψελωτής τηλεφωνίας, είτε για ασύρματα δίκτυα δεδομένων. Τα 4G συστήματα είναι ουσιαστικά ένα σύνολο ετερογενών αλλά IP-based δικτύων που επιτρέπουν στο χρήστη να χρησιμοποιεί το σύστημα οπουδήποτε και οποτεδήποτε.

Οι εφαρμογές τις οποίες θα χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης είναι αυτές που παρέχονται από τα διάφορα συνενωμένα δίκτυα. Έτσι, μπορούμε να πούμε πως τα 4G δίκτυα δεν είναι μόνο τηλεπικοινωνιακού χαρακτήρα αλλά ταυτόχρονα παρέχουν και υπηρεσίες πολυμέσων και δεδομένων. Μόνη απαίτηση είναι η συσκευή να μπορεί να συνδέεται ασύρματα σε δίκτυο όπως για παράδειγμα σε GPS, σε WLAN ή σε UMTS.

## 2.2 Διαχείριση ετερογενών δικτύων

Τα 4G δίκτυα ονομάζονται ετερογενή δίκτυα εξαιτίας της προαναφερθείσας αναφοράς μας στην ενοποίηση δικτύων 2G και 3G. Τα ετερογενή αυτά δίκτυα επιτρέπουν την εισαγωγή και παροχή πρόσβασης σε πολυάριθμες υπηρεσίες με ανεμπόδιστη και συνεχή μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο. Για να επιτευχθεί, όμως, αυτή η απρόσκοπτη περιδιάβαση από το ένα δίκτυο στο άλλο, τα ετερογενή δίκτυα θα πρέπει να ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω μιας πλατφόρμας διαχείρισης.

Αρχικά, θα πρέπει να γίνει κατανοητή η ανάγκη για μια πλατφόρμα διαχείρισης των δικτύων που έχουν συνενωθεί σε ένα 4G δίκτυο. Στα 2G δίκτυα, η επιλογή του δικτύου γίνεται αυτόματα στις περισσότερες συσκευές. Έτσι, όταν ο χρήστης κινείται έξω από την κάλυψη ενός GSM δικτύου, το τερματικό αυτόματα ψάχνει και επιλέγει ένα άλλο δίκτυο, χωρίς ο χρήστης να έχει κάποια αναμειξή στη διαδικασία αυτή. Βέβαια, αν δε μείνει ικανοποιημένος, μπορεί χειροκίνητα να επιλέξει κάποιο άλλο δίκτυο. Ωστόσο, δεν έχει γνώση επί των παρεχόμενων υπηρεσιών αυτού παρά μόνο αφού το επιλέξει. Στα 3G δίκτυα τώρα, η μεταγωγή γίνεται πάντα σε GSM δίκτυο. Αυτό συμβαίνει γιατί η κάλυψη του UMTS είναι περιορισμένη με αποτέλεσμα όταν ο χρήστης απομακρύνεται από μια περιοχή κάλυψης UMTS, να μεταγεται αυτόματα σε GSM χωρίς να ενημερωθεί από τον πάροχο. Στα 4G δίκτυα, όμως, υπάρχει ελεύθερη επιλογή ανάμεσα στα δίκτυα GSM, GPRS, UMTS, WLAN και DVB-T βάσει κριτηρίων που αφορούν και στο δίκτυο αλλά και στο χρήστη και στις ανάγκες του. Έτσι, υπάρχει ανάγκη για μια πλατφόρμα διαχείρισης των δικτύων αυτών.

Η ύπαρξη της πλατφόρμας διαχείρισης δικτύων επωφελεί τόσο τους χρήστες όσο και τους παρόχους των υπηρεσιών. Οι χρήστες, αφενός, θα μπορούν να συνδέονται αυτόματα στο δίκτυο της προτίμησής τους με μια μόνο συνδρομή στην πλατφόρμα υπηρεσιών και όχι με μια ξεχωριστή για κάθε πάροχο. Λόγω της ποικιλίας παρόχων, θα μπορούν να συνδέονται και να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση αλλά και να έχουν πρόσβαση σε ποικίλες υπηρεσίες. Για να μπορούν να συνδέονται κατ'αυτόν τον τρόπο, θα δημιουργείται το προφίλ του χρήστη στην πλατφόρμα το οποίο θα φυλάσσεται με σεβασμό στα προσωπικά του στοιχεία. Οι πάροχοι των υπηρεσιών, αφετέρου, θα μπορούν να προφυλάσσουν τις τεχνολογίες και τα δίκτυα πρόσβασης από μη εξουσιοδοτημένα άτομα, να παρέχουν ένα σύνολο διεπαφών αλλά και ευαξημένων υπηρεσιών ενώ ταυτόχρονα θα μπορούν να παρέχουν συμπληρωματικές λειτουργίες όπως ο λογαριασμός του κάθε χρήστη. Αναφορικά με τους παρόχους των δικτύων, τέλος, θα επωφελούνται από έσοδα εξαιτίας των χρηστών που χρησιμοποίησαν το δίκτυό τους χωρίς να είναι συνδρομητές ενώ ταυτόχρονα θα υποχρεούνται της ελάχιστης δυνατής διαχείρισης αφού δεν υπάρχει η ανάγκη διατήρισης μητρώου συνδρομητών.

Έτσι, η πλατφόρμα διαχείρισης δικτύων ουσιαστικά δημιουργεί μια σιφά προτεραιότητας στην επιλογή των δικτύων με κριτήρια που αφορούν τόσο στο δίκτυο όσο και στο χρήστη. Τα κριτήρια αυτά είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα του δικτύου τη χρονική στιγμή εκείνη, οι υποστηριζόμενες υπηρεσίες, η ποιότητα κάθε μιας από τις υποστηριζόμενες υπηρεσίες, η δυνατότητα πρόσβασης του δικτύου από το συγκεκριμένο χρήστη και το κόστος που η σύνδεση θα επιφέρει σε αυτόν. Ωστόσο, όσο εύκολα κατανοητά γίνονται αυτά τα κριτήρια, τόσο δύσκολη είναι η συλλογή και



η επεξεργασία των δεδομένων. Η δυσκολία αυτή εκκινεί στο γεγονός πως όλες αυτές οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε διαφορετικές οντότητες, όπως το τερματικό, το δίκτυο, την πλατφόρμα υπηρεσιών και τον πάροχο υπηρεσιών. Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα χρησιμοποιεί και διαφορετική τεχνολογία οπότε τα δεδομένα αποθηκεύονται σε διαφορετικές μεταξύ τους μορφές των οποίων η ανταλλαγή δε μπορεί να γίνει εύκολα. Βέβαια, αυτές οι πληροφορίες λόγω του δυναμικού τους χαρακτήρα –οι ανάγκες των χρηστών μεταβάλλονται με το χρόνο- αλλάζουν συχνά, γεγονός που δημιουργεί ένα ακόμη πρόβλημα στη συλλογή και την επεξεργασία τους.

## **2.3 Προκλήσεις ετερογενών δικτύων**

Από τον ορισμό και μόνο ενός δικτύου ως «ετερογενές» εγείρονται ερωτήματα αναφορικά με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζει ένα τέτοιο άθροισμα δικτύων. Ταυτόχρονα, το γεγονός ότι τα 4G δίκτυα δεν είναι μόνο τηλεπικοινωνιακού χαρακτήρα αλλά παρέχουν επίσης υπηρεσίες πολυμέσων και δεδομένων δείχνει πως οι δυσκολίες αυτές δεν εντοπίζονται σε ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών αλλά διασπείρονται σε ένα μεγάλο φάσμα παρεχόμενων υπηρεσιών.

Ένα 4G σύστημα πρέπει να είναι σταθερό και να παρέχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Το μεγάλο εύρος αναγκών από τη μεριά των χρηστών μεταφράζεται σε ανάγκη παραμετροποιήσιμης φύσης των νέων υπηρεσιών αλλά και προσαρμοστικότητα αυτών στον κάθε χρήστη. Τέλος, οι υπηρεσίες θα πρέπει να είναι ενοποιημένες, δηλαδή να μπορούν να παρέχονται ταυτόχρονα από διάφορους παρόχους αλλά και ο χρήστης να μπορεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιεί εφαρμογές διαφορετικών παρόχων. Έτσι, κατά την μετάβαση από τα 3G συστήματα στα 4G έπρεπε να αντιμετωπιστούν τρεις προκλήσεις, ο κινητός σταθμός, το σύστημα και οι υπηρεσίες.

### **2.3.1 Κινητός Σταθμός**

Στην κατηγορία «κινητός σταθμός» έχουμε ομαδοποιήσει τις προκλήσεις που αφορούν στα multimode τερματικά, στην ανακάλυψη ενός ασύρματου δικτύου και στην επιλογή ενός ασύρματου συστήματος.

Για να γίνει δυνατή η χρήση των δικτύων 4G, αυτά θα πρέπει να διαθέτουν τερματικές συσκευές που θα μπορούν να μεταβάλλουν τις εσωτερικές ρυθμίσεις των εκάστοτε δικτύων. Έτσι, δε χρειαζόμαστε διαφορετικά τερματικά ή διαφορετικά εξαρτήματα πάνω σε τερματικά ανάλογα με το δίκτυο το οποίο επιθυμεί να χρησιμοποιήσει ο τελικός χρήστης. Μια από τις πιθανότερες υλοποιήσεις των multimode τερματικών είναι μέσω της προσέγγισης software radio. Στην υλοποίηση αυτή, το αναλογικό τμήμα του δέκτη αποτελείται από μια κεραία, ένα ζωνοπερατό φίλτρο και έναν ενισχυτή. Το ληφθέν αναλογικό σήμα ψηφιοποιείται μέσω ενός ADC (μετατροπέας

από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα) και επεξεργάζεται περαιτέρω από μια μονάδα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Ωστόσο, αυτή η υλοποίηση αντιμετωπίζει συγκεκριμένες δυσκολίες. Αρχικά, δεν είναι δυνατή η ύπαρξη μοναδικής κεραιάς και μοναδικού ενισχυτή για την εξυπηρέτηση του μεγάλου εύρους συχνοτήτων που περιλαμβάνει το φάσμα όλων των δικτύων που απαρτίζουν το 4G σύστημα. Λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να προσφέρει η χρησιμοποίηση πολλαπλών αναλογικών τμημάτων που θα λειτουργούν σε διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων, κάτι όμως που θα αυξήσει την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού καθώς και το φυσικό μέγεθος του τερματικού.

Ένα δεύτερο προβληματικό σημείο της υλοποίησης software radio είναι οι ταχύτητες των υπάρχοντων ADCs, οι οποίες είναι δύο και τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερες από αυτές που απαιτούνται. Τέλος, μια ακόμα παράμετρος που αυξάνει την πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων, το φυσικό τους μέγεθος και εν τέλει την κατανάλωση ισχύος είναι η ανάγκη για ενσωμάτωση παράλληλων μονάδων ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Αυτή η ενσωμάτωση απαιτείται για να είναι δυνατή η υλοποίηση διεπαφών software radio που θα λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο αλλά και για λειτουργίες όπως η μετατροπή συχνότητας, το ψηφιακό φιλτράρισμα κτλ.

Το δεύτερο σκέλος αυτού που ονομάζουμε «ψηφιακός σταθμός» είναι η ανακάλυψη και επιλογή του κατάλληλου ασύρματου συστήματος. Υπάρχει μια διαφοροποίηση της μεθοδολογίας με την οποία ανιχνεύονται τα συστήματα πριν την 4G εποχή και μετά από αυτήν. Στις GSM υποδομές, τα δίκτυα μέσω των σταθμών βάσης τους περιοδικά εκπέμπουν κατάλληλα μηνύματα ώστε να ανακαλυφθούν από τα τερματικά. Στα 4G συστήματα, όμως, λόγω του ετερογενούς τους χαρακτήρα, αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη επειδή είναι αναμενόμενη η διαφοροποίηση μεταξύ των ασύρματων τεχνολογιών και των πρωτόκολλων πρόσβασης που κάθε μια από αυτές χρησιμοποιεί.

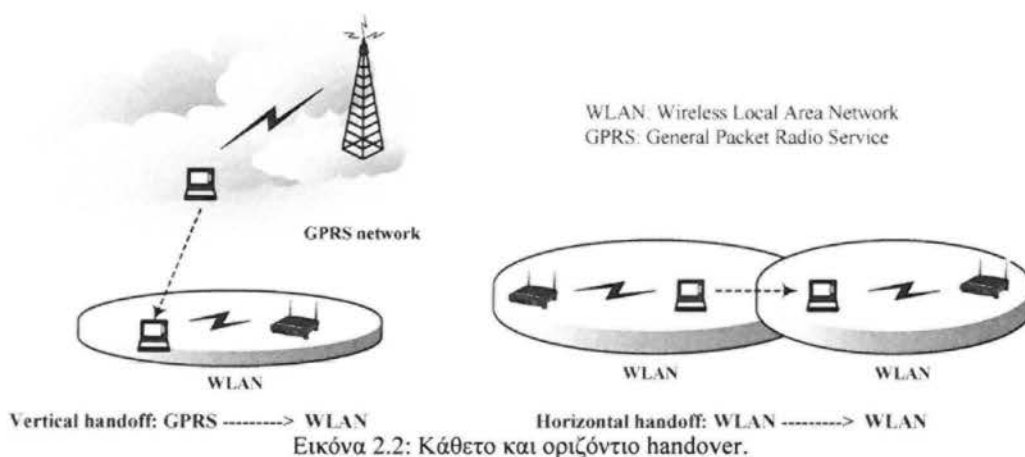
Ωστόσο, με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων ραδιοσυσκευών με ενσωματωμένο κατάλληλο λογισμικό που θα ελέγχει τη διαθεσιμότητα των δικτύων, αυτό το εμπόδιο θεωρείται εύκολα ξεπεράσιμο. Το κατάλληλο αυτό λογισμικό θα μπορεί να αντλείται από τη συσκευή στο δίκτυο με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι όταν συσκευή συνδεδεμένη σε WLAN αναζητά διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα. Μόλις η συσκευή ανακαλύψει τα διαθέσιμα δίκτυα, τότε κατεβάζει και το κατάλληλο λογισμικό ώστε να επανακαθοριστεί η διεπαφή του software radio. Το download αυτό μπορεί να γίνει μέσω ενός PC εξυπηρετητή, μιας κάρτας μνήμης, μιας έξυπνης κάρτας και άλλων δυνατών τρόπων, ο καθένας με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Το τελευταίο κομμάτι του κινητού σταθμού είναι η επιλογή του ασύρματου δικτύου, η οποία για τα συστήματα 4G έχουμε αναφέρει και προηγουμένως ότι θα μπορεί να γίνεται από τον τελικό χρήστη ανάλογα με τη σύνοδο επικοινωνίας. Από όσα έχουμε συζητήσει ήδη, είναι ευνόητο πως στα συστήματα 4G είναι δυνατή η χρήση του κατάλληλου δικτύου και της κατάλληλης υπηρεσίας που συνδυάζουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα κάθε φορά για την εκάστοτε σύνοδο ώστε να βελτιστοποιείται το αποτέλεσμα αλλά και η εμπειρία του χρήστη. Η επιλογή του δικτύου αυτού, όμως, δεν είναι τετριμμένη διαδικασία αφού η διαδεδομένη των δικτύων μεταβάλλεται από

στιγμή σε στιγμή. Επίσης, απαιτείται ένα πλήθος πληροφοριών όπως οι προτιμήσεις του χρήστη, τα κόστη των υπηρεσιών, οι ακριβείς ρυθμοί μετάδοσης και άλλες. Έτσι, απαιτείται χρήση ενός κατάλληλου αλγόριθμου ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη όλες τις παρόμοιες με τις παραπάνω πληροφορίες και θα επιλέγει το κατάλληλο ασύρματο σύστημα.

### 2.3.3 Σύστημα

Ένα από τα χαρακτηριστικά ενός 4G ασύρματου δικτύου είναι η κινητικότητα των τερματικών μεταξύ διαφόρων γεωγραφικών περιοχών αφού θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα περιαγωγής μεταξύ των δικτύων αυτών. Αναφορικά με την κινητικότητα των τερματικών, τα προς επίλυση ζητήματα είναι δύο. Αρχικά, θα πρέπει να γίνει η διαχείριση της θέσης, κατά την οποία το σύστημα ανιχνεύει και εντοπίζει μια τερματική συσκευή για τυχούσα σύνδεση. Επίσης, γίνεται η διαχείριση όλων των πληροφοριών σχετικά με όσα τερματικά εκτελούν περιαγωγή, πληροφοριών ταυτοποίησης και δυνατοτήτων QoS. Στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνει η διαχείριση των handoff για τη διατήρηση της επικοινωνίας κατά τη διενέργεια handoff. Στα 4G συστήματα υπάρχει τόσο οριζόντιο όσο και κάθετο handoff. Οριζόντιο handoff πραγματοποιείται όταν το τερματικό μετακινείται από το ένα κελί στο άλλο εκτός του ίδιου δικτύου. Αντίθετα, κάθετο handoff πραγματοποιείται όταν το τερματικό μετακινείται μεταξύ διαφορετικών δικτύων. Οι δύο αυτές μετακινήσεις φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



Αυτές οι δύο μετακινήσεις αυξάνουν τη φόρτιση του δικτύου με τον εξής τρόπο: Κάθε τερματικό διαθέτει μια IPv6 διεύθυνση (home address) κατά το πρωτόκολλο των ασύρματων συστημάτων MIPv6. Όταν το κινητό βρεθεί εκτός δικτύου, η home address παύει να ισχύει και το τερματικό αποκτά μια νέα προσωρινή διεύθυνση του δικτύου στο οποίο είναι επισκέπτης (care-of address). Η αντιστοιχία μεταξύ της home address και των care-of address ενημερώνεται μέσω ενός agent για να μπορεί να διατηρείται συνεχής επικοινωνία. Έτσι, το δίκτυο επιβαρύνεται, δημιουργώντας καθυστερήσεις στο handover και προκαλώντας απώλειες πακέτων δεδομένων. Στα 4G συστήματα που οι μετακινήσεις μεταξύ δικτύων είναι εξ'ορισμού παρούσες, οι καθυστερήσεις αυτές είναι σημαντικές αλλά καθ'όλα ανεπιθύμητες και αυτός είναι ο λόγος που το handoff μεταξύ ετερογενών δικτύων είναι αντικείμενο έντονης μελέτης.

Αναφορικά με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS), είναι ένα θέμα ιδιαίτερα δύσκολο σε ένα ασύρματο περιβάλλον όπως το 4G όπου έχουν ενοποιηθεί τόσο non IP-based όσο και IP-based δίκτυα. Αυτό έγκειται στο γεγονός πως τα non IP-based δίκτυα είναι βελτιστοποιημένα για μετάδοση φωνής και τα IP-based για μετάδοση δεδομένων ενώ τα 4G δίκτυα είναι προορισμένα να υποστηρίζουν ευαίσθητες και πολύπλοκες εφαρμογές όπως οι πολυμεσικές υπηρεσίες. Οι υπάρχοντες σχεδιασμοί για την QoS έχουν γίνει βάσει του εκάστοτε συστήματος. Για παράδειγμα, το 3G Partnership Project (3GPP) έχει αναπτύξει ιδιαίτερα κατανοητή αρχιτεκτονική GoS για τα συστήματα UMTS . Ωστόσο, αυτό δεν είναι επαρκές αφού υπάρχουν και άλλοι τύποι εμπλεκόμενων στα 4G συστήματα δίκτυα και έτσι κρίνεται σκόπιμη η έρευνα προς την κατεύθυνση πιο «οικουμενικών» GoS μοντέλων.

Βέβαια, με σημείο εκκίνησης το γεγονός ότι τα 4G δίκτυα αποσκοπούν στην ανεμπόδιση αποστολή και λήψη παντός τύπου δεδομένων εγείρεται μια συλλογιστική διαδικασία αναφορικά με το επίπεδο ασφάλειας και εμπιστευτικότητας από το οποίο ένα τέτοιο δίκτυο χαρακτηρίζεται. Και πάλι, οι δυσκολίες δημιουργούνται από τον ετερογενή χαρακτήρα του συγκεκριμένου δικτύου και τις διαφορετικές ανάγκες κάθε μιας από τις συνιστώσες του. Ζητούμενη είναι η ύπαρξη ευελιξίας μεταξύ των συστημάτων ασφαλείας, απαίτηση η οποία ανάγκασε τους προγραμματιστές να ξεκινήσουν το σχεδιασμό τους από την αρχή με αποτέλεσμα μηχανισμούς ασφαλείας όπως το Tiny SESEME. Το Tiny SESEME είναι ένας ελαφρύς, επαναρυθμιζόμενος μηχανισμός ασφαλείας, ο οποίος μπορεί να παρέχει ασφάλεια σε πολυμεσικές υπηρεσίες ή IP-based εφαρμογές των 4G δικτύων.

Τελευταίο στοιχείο που θα αναφερθεί για το σύστημα καθεαυτό είναι αυτό της ανοχής σφαλμάτων, αντικείμενο έντονης μελέτης ακόμα και στα ενσύρματα δίκτυα. Η παροχή ανοχής σφαλμάτων βελτιώνει την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα των δικτύων αλλά παρά την τόσο μεγάλη σημασία της, δεν υπάρχει σημαντική εξέλιξη στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων εξαιτίας της πολύπλοκης τοπολογίας αυτών. Ένα κυβελωτό ασύρματο δίκτυο είναι σχεδιασμένο με πολυεπίπεδη τοπολογία (συσκευή, κύτταρο, επίπεδο δικτύου κτλ) με αποτέλεσμα αν κάποιο μέρος της τοπολογίας αυτής καταρρεύσει, να είναι πιθανή η κατάρρευση όλου του συστήματος. Στα συστήματα 4G, δε, όπου υπάρχουν πολλές παρόμοιες τοπολογίες, τα συστήματα ανοχής σφαλμάτων θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν ακόμη περισσότερες παραμέτρους όπως η κινητικότητα των χρηστών, η χωρητικότητα του συστήματος, οι ρυθμοί λαθών στις συνδέσεις των διαφόρων ασύρματων δικτύων και άλλες.

### **2.3.4 Υπηρεσίες**

Στον ευρύτερο χώρο των παρεχόμενων υπηρεσιών, ένα από τα προς διευθέτηση θέματα είναι αυτό της περίπτωσης των πολλαπλών παρόχων και των τότε υφιστάμενων μοντέλων χρέωσης. Γνωρίζουμε πως στην αγορά των τηλεπικοινωνιακών προϊόντων, ο κάθε μεμονωμένος πάροχος χρησιμοποιεί έναν απλό τρόπο χρέωσης των πελατών, χρέωση η οποία αντιστοιχεί σε ένα πάγιο ποσό συνήθως με κριτήριο είτε τον όγκο των χρησιμοποιούμενων δεδομένων, είτε του χρόνου ομιλίας, είτε των παρεχόμενων υπηρεσιών κτλ. Στην περίπτωση, όμως, των 4G

συστημάτων, όπου υπάρχει τόσο η δυνατότητα πολλαπλών παρόχων όσο και μια ουσιαστικά μεγαλύτερη ποικιλία παρεχόμενων υπηρεσιών, υπάρχει και η ανάγκη για κατάρτιση τιμολογιακών πολιτικών νέας φιλοσοφίας. Αυτή η φιλοσοφία λαμβάνει υπόψη της το γεγονός πως ο κάθε χρήστης του δικτύου δεν «ανήκει» σε έναν και μόνο πάροχο αλλά δύναται να χρησιμοποιεί ένα πακέτο υπηρεσιών το οποίο είναι αποτέλεσμα συνεργασίας με πολλαπλούς παρόχους. Βέβαια, είναι εύκολα αντιληπτό πως ένα προϊόν το οποίο θα επέβαλε στο χρήστη να συναλλάσσετε οικονομικά με κάθε έναν από τους παρόχους των οποίων τις υπηρεσίες απολαμβάνει θα ήταν ιδιαίτερα απωθητικό σαν ιδέα για τον καταναλωτή. Έτσι, μια επίλυση του προβλήματος αυτού είναι η χρήση μιας υπηρεσίας διαμεσολάβησης (broker service) μέσω της οποίας οι πάροχοι συνδέουν τα τιμολόγια τους αφού πρώτα έχουν σχεδιάσει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες λογιστικές διαδικασίες.

Ένα ακόμη ζήτημα, εκτός από την κινητικότητα του τερματικού, είναι η κινητικότητα του χρήστη που αποτελεί ζήτημα στη διαχείριση της κινητικότητας εντός του δικτύου και αφορά στη κίνηση του χρήστη ενώ σχετίζεται με την παροχή προσωποποιημένων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στους χρήστες καθώς και με υπηρεσίες προσωποποιημένου λειτουργικού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, όταν ένα μήνυμα με περιεχόμενο πολυμέσων αποστέλεται σε κάποιον χρήστη του 4G δικτύου, ο χρήστης θα το λάβει σε όποιο γεωγραφικό τόπο και αν βρίσκεται, όποια και από τις συσκευές του αν χρησιμοποιεί εκείνη τη χρονική στιγμή. Το μήνυμα αυτό θα είναι δυνατό να προβληθεί στο χρήστη ανεξάρτητα από τον τύπο του τερματικού ή τον τύπο του δικτύου αποκλειστικά και μόνο χρησιμοποιώντας μια υπηρεσία προσωποποιημένου λειτουργικού περιβάλλοντος που θα επιτρέπει την παρουσίαση του πολυμεσικού υλικού.

Η πιο διαδεδομένη από τις σχετικά προτεινόμενες λύσεις είναι αυτή της χρησιμοποίησης mobile agents. Τα mobile agents είναι ειδικά τμήματα λογισμικού όπου στο κάθε ένα από αυτά έχει ανατεθεί ένα ξεχωριστό και μοναδικό αναγνωριστικό και διαμεσολαβούν μεταξύ χρήστη και διαδικτύου. Κάθε χρήστης ανήκει σε κάποιο home δίκτυο το οποίο παρέχει τα ενημερωμένα στοιχεία του, όπως για παράδειγμα την τρέχουσα θέση του, τις προτιμήσεις του και τις ισχύουσες ρυθμίσεις της τερματικής συσκευής που χρησιμοποιεί. Μόλις αυτός μετακινηθεί από το home δίκτυο σε κάποιο νέο δίκτυο και δεχθεί για παράδειγμα μια κλήση, ο mobile agent του καλούντος αιτείται από το home δίκτυο τη θέση του mobile agent της συσκευής. Το home δίκτυο επιθεωρεί το ενημερωμένο προφίλ του χρήστη και στέλνει ως απάντηση τη θέση του mobile agent της και με αυτόν επικοινωνεί απ'ευθείας ο mobile agent του καλούντος. Για κάθε μια από τις ξεχωριστές υπηρεσίες που παρέχονται χρησιμοποιείται διαφορετικός mobile agent με αποτέλεσμα την παροχή ουσιαστικά προσωποποιημένων υπηρεσιών στο χρήστη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ετερογενής χαρακτήρας των 4G δικτύων έχει καταστεί ιδιαίτερα σαφής, όπως και τα πλεονεκτήματα αλλά και οι δυσκολίες αυτού. Ο σχεδιασμός των δικτύων 4G αποσκοπεί στην υπερπήδηση των εμποδίων που δημιουργεί ο ετερογενής αυτός χαρακτήρας και την εξυπηρέτηση των βασικών στόχων αυτού του τύπου δικτύων με ταυτόχρονη βελτίωση της ρυθμαπόδοσης, της μείωσης της καθυστέρησης σε επίπεδο χρήστη, την καλύτερη αντιμετώπιση της κινητικότητας και την υποστήριξη handover.

#### 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων 4G

Γενικά, ως σκοπό ανάπτυξης των δικτύων 4G μπορούμε να ορίσουμε την υψηλής απόδοσης και χωρίς ασυνέχειες επικοινωνία. Τα γενικά χαρακτηριστικά που συνάδουν με αυτό το σκοπό είναι οι συγκριτικά υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης -100Mbps και πάνω- δεδομένων με υψηλού επιπέδου QoS και χαμηλότερο κόστος. Ταυτόχρονα, η κατανομή φάσματος είναι τέτοια που να επιτρέπονται οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί μετάδοσης πάνω σε κυψέλες μεσαίου μεγέθους. Τα δίκτυα που εξυπηρετούν τέτοιους σκοπούς αποτελούνται εξ'ολοκλήρου από κυκλώματα μεταγωγής πακέτων και όλα τα στοιχεία τους είναι ψηφιακά. Τέλος, η ιεραρχία στην αρχιτεκτονική είναι χαμηλή, με σημεία πρόσβασης και τερματικά να υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους πρόσβασης.

Με σκοπό την ανάπτυξη των ανωτέρω γενικών χαρακτηριστικών, θα πρέπει να υπάρχουν μερικά επιέρους. Αρχικά, θα πρέπει να υπάρχει κάλυψη υπηρεσιών σε οποιοδήποτε γεωγραφικό τόπο, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Έτσι, ο χρήστης δε θα είναι υποχρεωμένος να υπόκειται σε περιορισμούς που ενυπάρχουν στα ασύρματα δίκτυα. Επίσης, θα πρέπει η συνδεσιμότητα να είναι υψηλού επιπέδου έτσι ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα όχι μόνο να είναι συνεχώς συνδεδεμένος σε δίκτυο αλλά και αυτό το δίκτυο να είναι επαρκές ώστε να εξασφαλίζεται η παροχή των εκάστοτε επιθυμητών υπηρεσιών με υψηλή QoS ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις κινητικότητας του χρήστη. Αναφορικά με την προαναφερθείσα δυνατότητα του χρήστη να είναι συνεχώς συνδεδεμένος στο ετερογενές αυτό δίκτυο, αυτό που ουσιαστικά εννοείται είναι πως ο χρήστης θα μπορεί να δυνδέεται στο δίκτυο με πολύ μικρές καθυστερήσεις στην πρόσβαση για όσο χρονικό διάστημα το

εκάστοτε τερματικό που χρησιμοποιεί είναι σε λειτουργία. Η κάλυψη της προσφερόμενης υπηρεσίας κατά τα χρονικά διαστήματα αυτά εξασφαλίζεται μέσω μιας δυνατότητας του συστήματος στον πάροχο να μεγιστοποιεί τη χωρητικότητα απαγορεύοντας σε μερικούς χρήστες την πρόσβαση σε ειδικές υπηρεσίες.

Όσα χαρακτηριστικά συζητήθηκαν παραπάνω, όχι μόνο θα παρέχονται τελικά σε υψηλό επίπεδο αλλά και σε πολύ μεγαλύτερο αριθμό χρηστών απ'ότι τα δίκτυα 3G με τις υπηρεσίες να είναι προσιτές οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Όλα αυτά είναι εφικτά χάρη στην υψηλότερη επάρκεια φάσματος που επιτυγχάνεται με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών στις διεπαφές ραδιοεπικοινωνίας και τον εμπλουτισμό των τεχνικών κάλυψης. Τα 4G συστήματα αποτελούν ένα άθροισμα διαφορετικών ασύρματων διεπαφών ραδιοεπικοινωνίας όπως το WLAN, τα 3G και 2G κυψελωτά συστήματα και άλλα. Οι κυψέλες έχουν ποικιλία μεγεθών σχηματίζοντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασύρματης πρόσβασης. Για να γίνει αυτό απαιτείται μια αρχιτεκτονική βασισμένη στην αντίληψη της βέλτιστης συνδεσιμότητας. Αυτή η διαδικασία είχε ήδη ξεκινήσει από την 3G εποχή όπου τα δίκτυα λειτουργούσαν –και λειτουργούν δεδομένης της επιβίωσης τους και στη νέα εποχή- χωρίς ασυνέχειες με τα ασύρματα δίκτυα LAN παρέχοντας πρόσβαση παντού.

### **3.2 Σχεδιαστικοί στόχοι των 4G δικτύων**

Είναι γεγονός πως δε βρισκόμαστε ακόμα «βαθιά» στη 4G εποχή ενοώντας πως υπάρχουν ήδη εμπορικά προϊόντα που να αντιστοιχούν στη φιλοσοφία και την τεχνολογία των 4G δικτύων, ωστόσο το οικοδόμημα αυτό δεν είναι ακόμα στέρεο. Συνεπώς, όταν μιλάμε για το σχεδιασμό των 4G συστημάτων αναφερόμαστε τόσο σε όσες προσπάθειες έχουν ήδη γίνει αλλά και σε όσες ακολουθούν το επόμενο χρονικό διάστημα.

Έχει αναφερθεί πολλάκις πως τα 4G συστήματα είναι η απάντηση στο ερώτημα αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες που μέχρι και την 3G εποχή ήταν απρόσιτες. Αναζητούμε πλέον την πιο ευέλικτη διαλειτουργικότητα που μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών των υπάρχοντων ασύρματων δικτύων που θα προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα περιαγωγής μεταξύ δικτύων διαφορετικών προτύπων. Με την επίτευξη της διαλειτουργικότητας, επιτυγχάνεται το ενιαίο παγκόσμιο ετερογενές δίκτυο που η 4G τεχνολογία υπόσχεται.

Εκτός από τη στόχευση για διαλειτουργικότητα, οι προγραμματιστές σχεδιάζουν να λειτουργεί ένα ευρύ φάσμα επιλογών εύρους ζώνης που θα κυμαίνεται από μερικά kbps μέχρι και 100Mbps με μια συντηρητική πρόβλεψη. Το εύρος ζώνης αυτό θα πρέπει να υποστηρίζεται από από τερματικά των οποίων οι μπαταρίες θα έχουν χρόνο ζωής περί τη μία εβδομάδα, γεγονός το οποίο θα επιφέρει μείωση στο βάρος και τον όγκο των μπαταριών και κατ'επέκταση των συσκευών.

Επιπροσθέτως, απαιτείται η ύπαρξη ενός ασυνδεσμικού σταθερού δικτύου μεταγωγής

πακέτων βασισμένου στο πρωτόκολλο IP προκειμένου να διασυνδεθούν αυτά τα διάφορα ασύρματα δίκτυα. Η συγκεκριμένη διασύνδεση στοχεύεται να παρέχει ένα ετερογενές δίκτυο το οποίο θα αποτελείται από διαφορετικά –επικαλυπτόμενα– επίπεδα, τα οποία θα προσφέρουν διαφορετικές ταχύτητες πρόσβασης στους χρήστες ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση. Αυτά τα επίπεδα διαχωρίζονται στο επίπεδο διανομής, το κυψελικό επίπεδο, το επίπεδο θερμών σημείων, το προσωπικό και το σταθερό επίπεδο και κάθε ένα από αυτά θα υποστηρίζει διαφορετικές υπηρεσίες. Έτσι, το επίπεδο διανομής θα υποστηρίζει τις υπηρεσίες μεταδόσεων ψηφιακής τηλεόρασης και ραδιοφωνίας, παρέχοντας μέτριες ταχύτητες σε τοπολογίες που θα αποτελούνται από σχετικά μεγάλες κυψέλες και υποστηρίζοντας πλήρη κάλυψη και κινητικότητα σε αγροτικές περιοχές με μικρή πυκνότητα συνδρομητών. Το κυψελικό επίπεδο θα περιλαμβάνει τα κυψελικά επίπεδα δεύτερης και τρίτης γενιάς, ενσωματώνοντας κατ'αυτόν τον τρόπο όλη την προϋπάρχουσα τεχνολογία δικτύων. Οι ταχύτητες που θα παρέχονται θα είναι μέχρι και 2 Mbps στις αστικές περιοχές με μεγάλη πυκνότητα συνδρομητών, υποστηρίζοντας επίσης πλήρη κάλυψη και κινητικότητα.

Αναφορικά με τις περιοχές μικρής έκτασης όπου απαιτούνται υψηλές ταχύτητες, όπως για παράδειγμα ένα γραφείο ή ένα κτίριο, οι παρεχόμενες υπηρεσίες θα υποστηρίζονται από το hot-spot επίπεδο ή αλλιώς το επίπεδο θερμών σημείων. Αυτό το επίπεδο θα περιλαμβάνει τα συστήματα ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το IEEE 802.11 και το ασύρματο τοπικό δίκτυο υψηλής απόδοσης. Βέβαια, το επίπεδο αυτό δεν αναμένεται να παρέχει πλήρη κάλυψη, ωστόσο θα είναι δυνατή η περιαγωγή προς ένα από τα προηγούμενα επίπεδα. Ωστόσο, ο κάθε χρήστης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μπορεί να συνδέσει τις προσωπικές του συσκευές μεταξύ τους αλλά και με τις συσκευές έταιρων χρηστών. Αυτό θα επιτυγχάνεται μέσω του προσωπικού επιπέδου το οποίο θα περιλαμβάνει τις συνδέσεις πολύ μικρών αποστάσεων. Ένα τέτοιο παράδειγμα συνδέσεων είναι αυτές που παρέχει το πρότυπο Bluetooth.

Είναι ευνόητο σαφώς πως εξαιτίας των πολύ μικρών αποστάσεων που θα υποστηρίζονται, η δυνατότητα κινητικότητας θα είναι περιορισμένη. Αλλά, ισχύει και σε αυτή την περίπτωση η επίλυση του προβλήματος μέσω της δυνατότητας περιαγωγής προς ένα από τα προηγούμενα επίπεδα. Τέλος, το σταθερό επίπεδο θα περιλαμβάνει όλα τα σταθερά συστήματα πρόσβασης μέσω ασύρματων ζεύξεων τα οποία επίσης θα συμμετέχουν ως συνιστώσες του δικτύου 4G.

Το νέο αυτό δίκτυο, εκτός όλων των παραπάνω, απαιτεί και την ύπαρξη προηγμένων σταθμών βάσης οι οποίοι θα χρησιμοποιούν έξυπνες κεραιές έτσι ώστε να αυξήσουν τη χωρητικότητα του δικτύου. Επιπροσθέτως, οι νέοι αυτοί σταθμοί θα υποστηρίζουν ένα πλήθος διασυνδέσεων ώστε να παρέχουν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα τερματικών.

Τέλος, ένας από τους μεγαλύτερους στόχους των σχεδιαστών των νέων συστημάτων, η εκπλήρωση της οποίας γίνεται άμεσα αντιληπτή από τον καταναλωτή και αποτελεί σημαντικό κριτήριο για το αίσθημα ικανοποίησής του ή την απουσία αυτού είναι αυτή των υψηλότερων ταχυτήτων πρόσβασης. Έτσι, προς αυτή την κατεύθυνση σχεδιάζονται δίκτυα που αναμένεται να παρέχουν ταχύτητες μεγαλύτερες των 50 Mbps.



### 3.3 Απαιτήσεις των 4G δικτύων

Όπως και στην περίπτωση οποιουδήποτε άλλου εμπορικού προϊόντος, έτσι και κατά την κατασκευή ενός δικτύου ασύρματων επικοινωνιών που θα προωθήσει στο καταναλωτικό κοινό μια μεγάλη ποικιλία προηγμένων υπηρεσιών υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία των αναγκών των μελλοντικών καταναλωτών.

Το νέο 4G δίκτυο θα πρέπει να επιτύχει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης πληροφορίας. Μέχρι την 3G εποχή, οι επιτευχθείσες ταχύτητες δεν ξεπέρασαν τα 2Kbits/sec για περιβάλλοντα εσωτερικού χρόνου και τα 144 Kbits/sec για κινούμενα περιβάλλοντα. Αυτές οι ταχύτητες θεωρούνται μια τάξη μεγέθους μικρότερες από τις αναμενόμενες για τα 4G δίκτυα οι οποίες θα φτάσουν τα τουλάχιστον 10-20 Mbits/sec για ακίνητα περιβάλλοντα και 2 Mbits/sec για τα κινούμενα. Αυτοί οι ρυθμοί μετάδοσης δε θεωρούνται ανέφικτοι. Ένδειξη για την επιτευξιμότητα τους αποτελεί το γεγονός ότι έχουν ήδη αναπτυχθεί παγκοσμίως ασύρματα δίκτυα LAN και ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης που λειτουργούν στη ζώνη των 5 GHz με ταχύτητες μετάδοσης 20-30 Mbits/sec (MMAC στην Ιαπωνία, Hyperlan 2 στην Ευρώπη και IEEE 802.11 στην Αμερική).

Ένα τέτοιο προϊόν το οποίο θα επιτυγχάνει τόσο σπουδαίους ρυθμούς μετάδοσης αναμένεται να ενσωματώσει έναν τεράστιο αριθμό χρηστών συγκριτικά με τα προϋπάρχοντα δίκτυα. Αυτή η αύξηση των χρηστών θα οδηγήσει σε εκρηκτική αύξηση στη διακίνηση πολυμεσικών δεδομένων με αποτέλεσμα η χωρητικότητα συστημάτων όπως το 3G να θεωρείται πρακτικά αδύνατο να τους εξυπηρετήσει. Έτσι, στα 4G συστήματα πρέπει να επιτευχθεί χωρητικότητα τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G δικτύων. Ταυτόχρονα, όμως, θα πρέπει να μειωθεί δραματικά το κόστος ανά bit ώστε οι χρεώσεις να μην καθιστούν τις υπηρεσίες «απαγορευμένες».

Μία ακόμη από τις παραμέτρους που αντιλαμβάνεται εύκολα ο καταναλωτής, είναι αυτή της ποιότητας παροχής υπηρεσιών (QoS) . Είναι γνωστό πως τα ασύρματα συστήματα υποφέρουν από συμφόρηση εξαιτίας της χρήσης περιορισμένου εύρους συχνοτήτων και μεταδιδόμενης ισχύος. Έτσι, μια εξαιρετική ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών είναι αναγκαία για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών και πολύ περισσότερο όταν αναφερόμαστε σε εφαρμογές που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

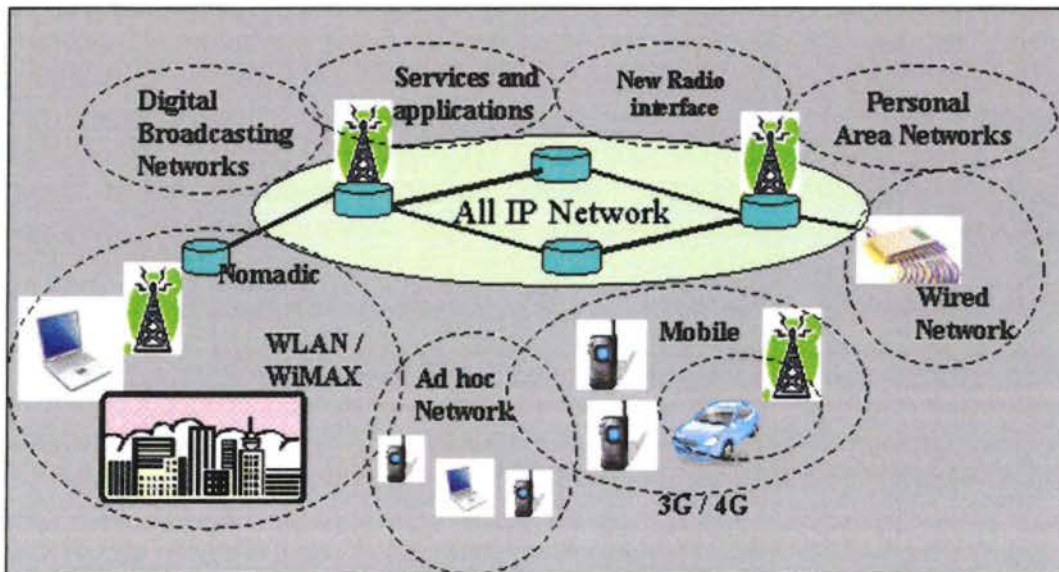
Βέβαια, είναι γνωστό πως στα ασύρματα δίκτυα οι ταχύτητες μετάδοσης και το επίπεδο του λαμβανόμενου σήματος είναι μεγέθη ανάλογα. Έτσι, με τις αυξανόμενες ταχύτητες μετάδοσης κατά μια με δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα δίκτυα αυξάνεται το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανόμενου σήματος. Ωστόσο, η αύξηση αυτή των ταχυτήτων θα έχει ως αποτέλεσμα η ακτίνα της κυψέλης να μειωθεί και η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων να υποβαθμιστεί αν δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης. Η χρήση τέτοιων συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας είναι αναγκαία για ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων.

Τέλος, εξαιτίας του χαρακτήρα του νέου συστήματος το οποίο θα ενσωματώσει πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τεχνολογία βασισμένη σε πρωτόκολλα IP ώστε να γίνει ομαλή διασύνδεση των διαφορετικών αυτών τεχνολογιών. Έτσι, ο κάθε χρήστης θα μπορεί να διαλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση ανάλογα με το χρόνο, το χώρο όπου βρίσκεται αλλά και το κόστος της παρεχόμενης υπηρεσίας.

### **3.4 Αρχιτεκτονική των 4G δικτύων**

Έχουμε αναφερθεί πολλές φορές στην ετερογενή φύση του δικτύου 4G το οποίο θα συνενώσει όλη την προϋπάρχουσα τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών (2G & 3G) με επιπρόσθετες υπηρεσίες που μέχρι τη 3G εποχή δεν ήταν δυνατό να παρασχεθούν στους καταναλωτές. Τα δίκτυα 4G, λοιπόν, θα προκύψουν ως η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων ενσωματώνοντας, όμως, τα καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά των υπάρχοντων δικτύων με αποτέλεσμα να είναι πολύ ιδιαίτερης και πολύπλοκης αρχιτεκτονικής.

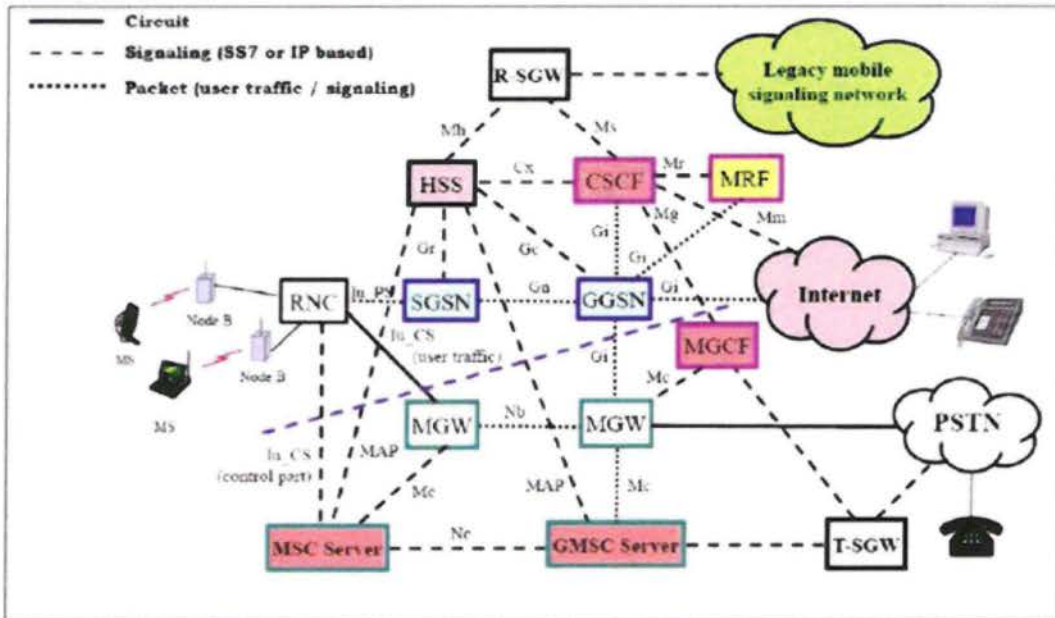
Η πιο διαδεδομένη από τις γενικές αρχιτεκτονικές για 4G συστήματα είναι αυτή όπου υπάρχει ένα κεντρικό δίκτυο, το δίκτυο-κορμός, το οποίο βασίζεται εξ'ολοκλήρου στο πρωτόκολλο IP και γύρω από αυτόν υπάρχουν ως μέρη ενός συνόλου τα επιμέρους δίκτυα, δηλαδή τα κυβελωτά δίκτυα 2G και 3G, τα διάφορα ασύρματα δίκτυα, τα WLANs, διάφορα ad-hoc δίκτυα όπως το Bluetooth και τα δίκτυα μέσω υπέρυθρων ακτίνων και άλλα. Μία τέτοια αρχιτεκτονική φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.1: Γενική αρχιτεκτονική δικτύων 4G.

Ωστόσο, επειδή δεν έχει επιτευχθεί ακόμα κάποια σχετική προτυποποίηση των 4G δικτύων έτσι ώστε να τεθούν ακριβείς προδιαγραφές για την αρχιτεκτονική τους,

έχουν προταθεί αρκετές ιδέες αναφορικά με την αρχιτεκτονική τους με αρκετές διαφορές μεταξύ τους. Η μόνη –ίσως- κοινή παράμετρος μεταξύ των προτάσεων αυτών είναι η χρήση του IP πρωτοκόλλου ως βάση. Η κυριότερη από αυτές τις προτάσεις είναι αυτή του 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) και φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.2: Η πρόταση της 3GPP.

Η πρόταση της 3GPP έχει ένα πολύ ισχυρό πλεονέκτημα, ότι υποστηρίζει τόσο circuit όσο και packet switched μετάδοση δεδομένων. Έτσι, το δίκτυο είναι συμβατό με όλες τις παλαιότερες τεχνολογίες, από την εποχή των GSM δικτύων και μετά. Στην πρόταση αυτή διακρίνουμε την ύπαρξη μερικών κομβικής σημασίας στοιχείων. Αρχικά, ο HSS (Home Subscriber Server) αποτελεί την κεντρική βάση για την αποθήκευση των πληροφοριών για το προφίλ του χρήστη καθώς και πληροφοριών αναγνώρισης (authorization) αυτού και η λειτουργία του ταυτίζεται με αυτή του HLR του GSM δικτύου. Στη συνέχεια έχουμε ένα σύνολο λειτουργιών, την CSCF (Call State Control Function). Αυτό το σύνολο περιλαμβάνει τη λειτουργία ICGW (Incoming Call Gateway) η οποία λειτουργεί ως το πρώτο σημείο εισόδου και πραγματοποιεί τη δρομολόγηση των κλήσεων και τη λειτουργία CCF (Call Control Function) η οποία είναι υπεύθυνη για την έναρξη και τη λήξη των κλήσεων, τη διαχείριση των διαφόρων call events και την εγγραφή του χρήστη στις διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές. Επίσης, περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων SPD (Serving Profile Database) η οποία αλληλεπιδρά με τον HSS για να αναζητήσει τις πληροφορίες των προφίλ των συνδρομητών και έναν Proxy CSCF (P-CSCF) ο οποίος λειτουργεί ως proxy server όταν η διεύθυνσή του ανακαλυφθεί από κάποιο τερματικό το οποίο ακολουθεί τη διαδικασία ενεργοποίησης του PDP περιβάλλοντος και ουσιαστικά αποτελεί τη είσοδο στο υποσύστημα πολυμέσων του πρωτοκόλλου IP. Τέλος, περιλαμβάνει το κυρίως λειτουργικό τμήμα του IMS, το S-CSCF (Serving CSCF), και ένα σημείο επαφής εντός του δικτύου του παρόχου για όλες τις αιτούμενες συνδέσεις προς του συνδρομητές του δικτύου αυτού, το I-CSCF (Interrogating CSCF). Το S-CSCF έχει δύο λειτουργίες. Αρχικά, διαχειρίζεται τις συνόδους ώστε να υποστηρίζονται οι διάφορες υπηρεσίες ενώ επίσης λαμβάνει τις αιτήσεις για εγγραφή

των χρηστών σε υπηρεσίες και διαθέτει τις απαιτούμενες πληροφορίες των χρηστών μέσω του HSS. Από την άλλη, το I-CSCF ουσιαστικά αποκρύπτει την τοπολογία του δικτύου από τους εξωτερικούς χρήστες. Μετά από τα περιεχόμενα των λειτουργιών CSCF έχουμε τους MGW (Media Gateway) και MGCF (Media Gateway Control Function). Ο MGW μεταφέρει την ωφέλιμη πληροφορία των πολυμέσων, ρυθμίζει το φόρτο της κίνησης και αποτελεί το τερματικό το υPSTN συνδεδεμένος με UTRAN μέσω της διεπαφής Iu. Ο MGCF είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή πρωτοκόλλων μεταξύ των παλαιότερων συστημάτων και του νέου all-IP συστήματος. Επιπροσθέτως, έχουμε τη λειτουργία MRF (Multimedia Resource Function), το υποσύστημα IMS (IP Multimedia Subsystem), τον MSC Server (Mobile Switching Center Server) και τη GMSC (Gateway MSC). Η MRF είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία της ροής των δεδομένων των πολυμέσων μέσω του αντίστοιχου επεξεργαστή MRFP (Multimedia Resource Function Processor), το υποσύστημα IMS είναι υπεύθυνο για την παροχή των πολυμεσικών υπηρεσιών και σηματοδοσίας προσπαθώντας να συμμορφωθεί με τα πρότυπα που θέτει η IETF και χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο SIP (Session Initiation Protocol), ο MSC είναι ο κεντρικός κόμβος ελέγχου στο CS domain και είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο κλήσεων και κινητικότητας των συστημάτων GSM και UMTS ενώ ο GMSC χρησιμοποιείται τόσο για την προώθηση των ενεργών κλήσεων όσο και για τα μηνύματα προς τους χρήστες. Τέλος, η πρόταση αυτή του 3GPP περιλαμβάνει δύο ακόμα στοιχεία, τη λειτουργία T-SGW (Transport Signaling Gateway Function) και τη λειτουργία R-SGW (Roaming Signaling Gateway Function). Η T-SGW είναι υπεύθυνη για τη σηματοδοσία από το PSTN/PLMN ενώ η R-SGW παρέχει επικοινωνία με το 2G/R99 MSC/VLR.

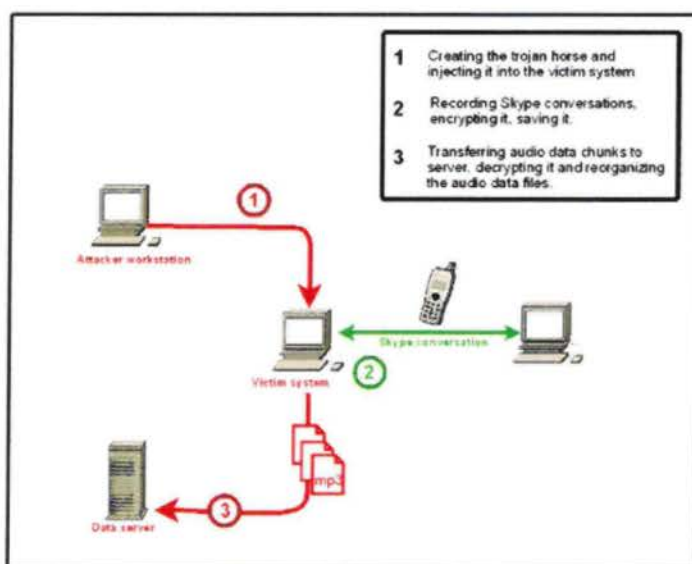
### **3.4 Ασφάλεια των 4G δικτύων**

Όπως και σε κάθε άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα, έτσι και στην επικοινωνία και κατ'επέκταση και σε κάθε εμπορικό που εξυπηρετεί αυτήν κεντρικό ρόλο παίζει η έννοια της ασφάλειας. Και ακόμη και αν το επίπεδο της ασφάλειας στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες έχει ξεπεράσει κάθε προσδοκία η οποία υπήρχε μια ή δύο δεκαετίες πριν, ακόμη υπάρχει αρκετός χώρος για βελτίωση.

Στην ψηφιακή εποχή, με τον όρο «ασφάλεια» εννοούμε την προσπάθεια προστασίας των ψηφιακών συστημάτων από κακόβουλη ή μη εξουσιοδοτημένη χρήση. Στην περίπτωση των υπολογιστικών συστημάτων καθώς και των ασύρματων επικοινωνιών, η ανάγκη για ασφάλεια έχει αυξηθεί εντυπωσιακά με την αύξηση της τεχνολογίας που επέφερε και διεύρυνση του κύκλου των δραστηριοτήτων των ανθρώπων που εκτελούνται στα πλαίσια τους. Πριν από μερικές δεκαετίες, όταν και πρωτοεισήχθησε η παράμετρος των κινητών τηλεπικοινωνιών στην καθημερινότητα του ανθρώπου, η ασφάλεια δεν αποτελούσε σημαντικό ζήτημα. Αυτό ήταν απόρροια τόσο του γεγονότος ότι την εποχή εκείνη οι τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιούνταν μόνο για τη μεταγωγή φωνής και όχι δεδομένων κατά περιπτώσεις ευαίσθητων και απόρρητων αλλά και του γεγονότος ότι οι σχεδιαστές των συστημάτων αυτών δεν είχαν καλή γνώση των κινδύνων που ελόχευε η νέα αυτή μορφή επικοινωνίας. Ωστόσο, όσο η τεχνολογία εξελισσόταν, η ανάγκη για πιο ασφαλείς συνθήκες επικοινωνίας αυξανόταν. Κατάληξη αυτής της πορείας είναι η σύγχρονη εποχή όπου κενά στην ασφάλεια των

ασύρματων δικτύων επικοινωνιών συνεπάγονται πολλαπλούς πιθανούς κινδύνους αφού πλέον αυτά χρησιμοποιούνται για τραπεζικές συναλλαγές, αποστολή ευαίσθητων προσωπικών στοιχείων, ηλεκτρονικές αγορές και άλλες παρόμοιες δραστηριότητες. Οι κίνδυνοι επιθέσεων σε ψηφιακά δεδομένα είναι αρκετοί. Μεταξύ αυτών είναι η υποκλοπή των εκάστοτε επικοινωνιών (η παρακολούθηση μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης είναι τέτοιος τύπος επίθεσης), η άρνηση υπηρεσιών, η επίθεση man-in-the-middle, η πλαστογράφηση (spoofing) και πολλές ακόμα.

Η υποκλοπή είναι μια διακοπή κάποιας προσωπικής επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Η επικοινωνία αυτή μπορεί να είναι για παράδειγμα μια τηλεφωνική κλήση, ένα γραπτό μήνυμα, μια βιντεοκλήση ή η αποστολή δεδομένων με τηλεομοιότυπο. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε σχηματικά το μηχανισμό λειτουργίας μιας τέτοιας επίθεσης κατά τη διάρκεια συνομιλίας μέσω Skype.

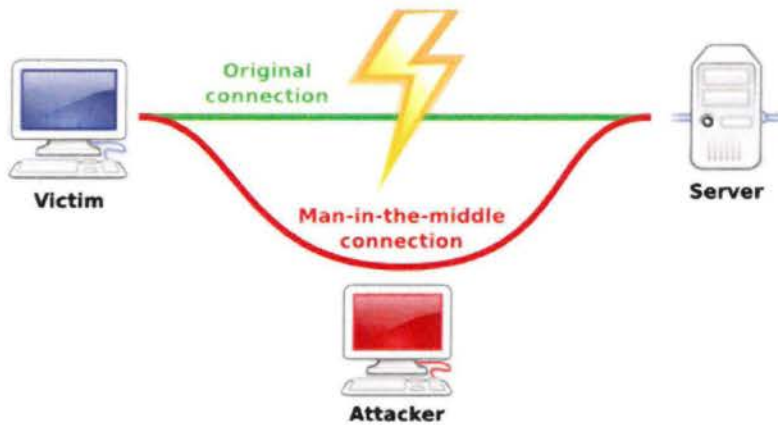


Εικόνα 3.3: Υποκλοπή συνομιλίας που λαμβάνει χώρα με χρήση του Skype.

Τα συστήματα που είναι πιο ευαίσθητα σε τέτοιου είδους επιθέσεις είναι αυτά που λειτουργούν με πρωτόκολλο VoIP και γενικότερα, οι επικοινωνίες που βασίζονται στο IP είναι πιο ευάλωτες στις υποκλοπές από αυτές που βασίζονται στο TDM. Ευάλωτα είναι ακόμη και τα συστήματα που είναι εξοπλισμένα με μηχανισμό κρυπτογράφησης.

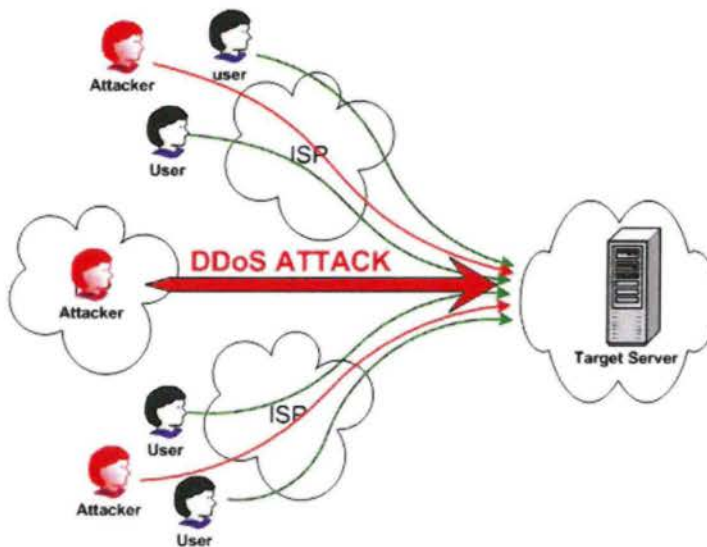
Η επίθεση man-in-the-middle είναι μια ακόμη παραβίαση ασφαλείας και ο μηχανισμός της φαίνεται στην εικόνα 4. Στην περίπτωση αυτής της επίθεσης, δύο άτομα προσπαθούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ενώ ένα τρίτο –κακόβουλο- άτομο παρεμποδίζει την επικοινωνία αυτή. Έτσι, μπορεί να ελέγχει τη ροή πληροφορίας μεταξύ των δύο αυτών μερών, παρακολουθώντας την επικοινωνία (κοινή υποκλοπή), μεταβάλλοντας μέρος αυτής, διατηρώντας κρυφό κάποιο άλλο μέρος της από τον ένα χρήστη κτλ. Ευάλωτες σε επιθέσεις man-in-the-middle είναι οι επικοινωνίες που βασίζονται στο πρωτόκολλο Diffie-Hellman και ιδίως όταν η συμφωνία ανταλλαγής κλειδιών γίνεται χωρίς επικύρωση της ταυτότητας του χρήστη. Κατά την αποσπασματική αλλοίωση της επικοινωνίας, ο επιτιθέμενος αποσπά ένα ρεύμα δεδομένων χωρίς όμως εξουσιοδοτημένη απόκριση και δύναται να αλλάζει το περιεχόμενο αυτών ώστε να ικανοποιούν κάποιο σκοπό. Αυτό συνήθως γίνεται με τη

χρήση ψευδούς διεύθυνσης IP, με αλλοίωση της διεύθυνσης MAC ώστε να μιμείται κάποιον άλλο χρήστη ή με κάποια άλλη τροποποίηση της ταυτότητάς του.



Εικόνα 3.4: Επίθεση man-in-the-middle

Επίσης επικίνδυνη είναι η επίθεση με άρνηση υπηρεσίας (ή εξυπηρέτησης) την οποία και βλέπουμε στην εικόνα 4. Στην περίπτωση των επιθέσεων αυτών ο στόχος είναι κάποιο τερματικό ή κάποια από τις παρεχόμενες υπηρεσίες και αποσκοπούν στην ανικανότητα του τερματικού αυτού ή της υπηρεσίας να δεχθούν παραπάνω συνδέσεις με αποτέλεσμα να μη μπορούν να εξυπηρετήσουν άλλους χρήστες. Βέβαια, μπορεί να μοιάζει πως μοναδικός στόχος αυτής της επίθεσης είναι οι δικτυακές υπηρεσίες. Ωστόσο, όμως, μπορεί ο στόχος να είναι ο ίδιος ο κεντρικός επεξεργαστής του τερματικού και, για παράδειγμα, να μην επιτρέπει τη σωστή κατανομή των πόρων του συστήματος.



Εικόνα 3.5: Μηχανισμός επίθεσης άρνησης υπηρεσιών.

Κατά την άρνηση υπηρεσιών, η επίθεση γίνεται με δύο τρόπους. Αρχικά, υπάρχει η μορφή της επίθεσης όπου η υπηρεσία αναγκάζεται να καταρρεύσει και να πρέπει να επανεκκινηθεί ενώ κατά τη δεύτερη μορφή της επίθεσης έχουμε αποστολή ενός

υπερβολικά μεγάλου αριθμού ψεύτικων αιτήσεων για εξυπηρέτηση με αποτέλεσμα η υπηρεσία να μη μπορεί να εξυπηρετήσει αυτούς που πραγματικά θέλουν την υπηρεσία. Αυτές οι επιθέσεις είναι που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την αχρήστευση της ηλεκτρονικής αλληλογραφίας των χρηστών, μέσω ενός μηχανισμού ο οποίος θα αποστέλλει στο χρήστη-θύμα ηλεκτρονικά μηνύματα γεμίζοντας το γραμματοκιβώτιο σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην είναι δυνατή η παραλαβή των πραγματικών ηλεκτρονικών μηνυμάτων που αναμένει.

Παραδοσιακά, η ασφάλεια των ασύρματων δικτύων αναφέρεται στους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται ώστε να προστατεύονται τα δίκτυα αυτά από εξωτερικές επιθέσεις των παραπάνω τύπων. Ωστόσο, η προσπάθεια αυτή δεν είναι αρκετή γιατί οι επιτιθέμενοι βρίσκουν πάντα τρόπο να σπάνε αυτά τα συστήματα ασφαλείας στοχεύοντας στις τρύπες που έχουν τα ισχύοντα πρωτόκολλα, τα εκάστοτε λειτουργικά συστήματα και οι χρησιμοποιούμενες εφαρμογές. Γι' αυτό το λόγο, η τεχνολογία κατευθύνεται πλέον προς την ανάπτυξη ολοκληρωμένων μηχανισμών που να αναλαμβάνουν την ασφάλεια του συνόλου του δικτύου. Βέβαια, στην περίπτωση των ετερογενών δικτύων που αποτελούνται από αρκετά επί μέρους δίκτυα για ευνόητους λόγους, η ανάπτυξη αυτού του μηχανισμού είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Η αρχιτεκτονική του σχεδιασμού της ασφάλειας των δικτύων σχεδιάζεται με γνώμονα τις παρακάτω παραμέτρους:

- **Συνεχής Διαθεσιμότητα:** Η προστασία του δικτύου και των συστατικών του από κακόβουλες ενέργειες πρέπει να ασφαλίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μη διακόπτεται η ροή της λειτουργίας του αλλά να είναι συνεχώς διαθέσιμο στους χρήστες του.
- **Διαλειτουργικότητα:** Οι μηχανισμοί ασφαλείας θα πρέπει να είναι εφαρμόσιμοι στη μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών που υποστηρίζονται από το σύνολο του 4G δικτύου έτσι ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα διαλειτουργικότητας.
- **Αποδοτικότητα κόστους:** Οι μηχανισμοί ασφαλείας θα πρέπει να έχουν το χαμηλότερο δυνατό κόστος.
- **Ποιότητα υπηρεσιών:** Όλοι οι μηχανισμοί ασφαλείας θα πρέπει να ακολουθούν πιστά τις απαιτήσεις του συστήματος αναφορικά με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η εφαρμογή ενός μηχανισμού ασφαλείας δε θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα παροχή χαμηλής ποιότητας υπηρεσιών.

Τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) ήταν τα πρώτα που εισήγαγαν τη μεταγωγή πολυμεσικών δεδομένων με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ανάπτυξη εφαρμογών όπως η τηλεδιάσκεψη, η πρόσβαση στο διαδίκτυο, η προβολή βίντεο, τα μηνύματα με πολυμεσικό περιεχόμενο και πολλές ακόμα. Με την εισαγωγή των 4G δικτύων αυτές οι εφαρμογές –αλλά και πολύ περισσότερες– έχουν τη δυνατότητα να εκτελούνται με υψηλές ταχύτητες, αφού ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι υψηλότερος μια τάξη μεγέθους συγκριτικά με τους προκατόχους τους, αλλά και χρησιμοποιώντας ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Όπως αναλύθηκε και στην παράγραφο της αρχιτεκτονικής του δικτύου αυτού, το 4G είναι χτισμένο γύρω από έναν πυρήνα IP, φιλοξενώντας υπό τη σκέπη του πολυάριθμα ετερογενή δίκτυα. Ο χρήστης κάποιας από τις παρεχόμενες υπηρεσίες του 4G δικτύου χρησιμοποιεί κάποιο από αυτά τα φιλοξενούμενα δίκτυα το

οποίο παρέχει τη δεδομένη χρονική στιγμή και στη δεδομένη γεωγραφική θέση τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Αυτή, όμως, η ευελιξία του 4G δικτύου να μετακινείται ο χρήστης από το ένα δίκτυο στο άλλο αυξάνει τις πιθανότητες να υπάρξει παραβίαση της ασφάλειας σε ένα από τα συστατικά του συστήματος με αποτέλεσμα τη απαίτηση για ασφάλεια στο 4G να είναι επιτακτική.

Οι πιθανοί κίνδυνοι που αντιμετωπίζει το 4G δίκτυο είναι το spoofing της IP διεύθυνσης, η κλοπή της ταυτότητας του χρήστη, η κλοπή υπηρεσιών, η άρνηση υπηρεσιών καθώς και επιθέσεις εισβολής. Σύμφωνα με την οδηγία X.805 για την αρχιτεκτονική μηχανισμών ασφαλείας για τηλεπικοινωνιακά συστήματα, οι κίνδυνοι που ελοχεύει η κακόβουλη δράση εναντίον ενός 4G δικτύου είναι οι εξής:

- Καταστροφή πληροφοριών και λοιπών πόρων δεδομένων
- Αλλοίωση δεδομένων
- Απώλεια δεδομένων
- Διαρροή δεδομένων
- Διακοπή παροχής υπηρεσιών

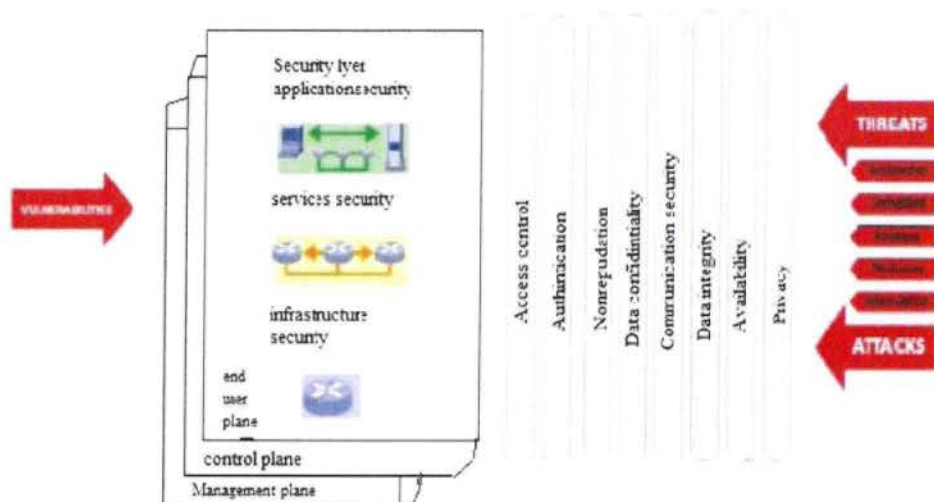
Η κατασκευή ενός 100% ασφαλούς δικτύου είναι αδύνατη εξαιτίας της προόδου της τεχνολογίας: όσο δημιουργούνται νέες εξελίξεις στο χώρο της τεχνολογίας, τόσο θα δημιουργούνται πιθανοί κίνδυνοι για τα συστήματα. Εξαιτίας της ετερογενούς φύσης του δικτύου 4G είναι αναμενόμενο πως κάθε ένας από τους παρόχους του οποίου το δίκτυο συμμετέχει στο 4G οικοδόμημα θα έχει τις δικές του απαιτήσεις αναφορικά με τα συστήματα ασφαλείας. Έτσι, ο συνολικός μηχανισμός ασφαλείας του 4G θα πρέπει να είναι ευέλικτος για να εξυπηρετεί τις απαιτήσεις όλων.

### **3.4.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος ασφαλείας των 4G δικτύων**

Το υποσύστημα πολυμέσων IP (IP Multimedia Subsystem - IMS) είναι ανεξάρτητο των επιμέρους τεχνολογιών των συμμετεχόντων δικτύων και γι' αυτό το λόγο η ασφάλεια του 4G μελετάται υπό το δικό του πρίσμα. Το 4G υποστηρίζει πολλούς λειτουργικούς ρόλους και πολλούς παρόχους υπηρεσιών. Οι διεπαφές που διαλειτουργούν είναι ευάλωτες σε επιθέσεις και για να προστατευτεί το 4G εισάγονται πύλες ασφαλείας (Security Gateways – SEGs) που καθορίζουν τα επίπεδα ασφαλείας μεταξύ των διεπαφών.

Η Ένωση Διεθνών Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union) ανέπτυξε την οδηγία X.805 βασισμένη στο μοντέλο ασφαλείας των εργαστηρίων Bell. Το X.805 λειτουργεί με προσέγγιση του κάθε στοιχείου χωριστά με αποτέλεσμα να παρέχει εν τέλει συνολική ασφάλεια στο γενικό σύστημα. Η ασφάλεια εξασφαλίζεται σε κάθε ένα από τα 8 στοιχεία χωριστά, κάθε ένα από τα οποία ονομάζεται διάσταση και κάθε ένα από τα οποία αυξάνει παραπάνω την αντίσταση του δικτύου στις επιθέσεις. Η δομή και η λειτουργία των 8 αυτών διαστάσεων φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.





Εικόνα 3.6: Δομή και λειτουργία των διαστάσεων του X.805

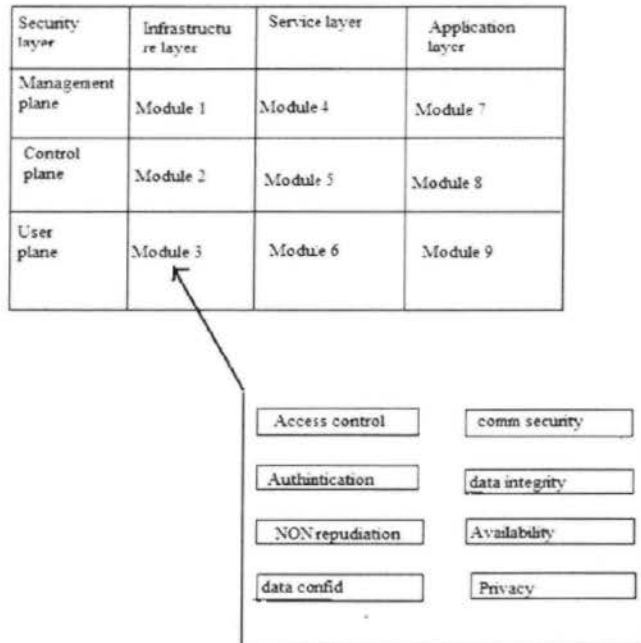
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε πως το X.805 αποτελείται από τρία επίπεδα ασφάλειας με τρία στρώματα το καθένα και οκτώ διαστάσεις ασφάλειας. Το πρώτο στρώμα είναι το επίπεδο της υποδομής του συστήματος και παρέχει την κατασκευή και τη συντήρηση του δικτύου μεταξύ των διακριτών δικτυακών και τηλεπικοινωνιακών στοιχείων. Το δεύτερο στρώμα ασφάλειας προσφέρει πρόσβαση στις υπηρεσίες και, τέλος, το τρίτο στρώμα είναι αυτό των υπηρεσιών και επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν το σύστημα από απόσταση, για παράδειγμα μέσω της υπηρεσίας VPN.

Αναφορικά με τις οκτώ διαστάσεις ασφαλείας, αυτές μπορούν να περιγραφούν συνοπτικά ως εξής:

1. Έλεγχος πρόσβασης: Επιτρέπει την πρόσβαση στους πόρους του δικτύου μόνο από εγκεκριμένους χρήστες.
2. Πιστοποίηση: Ελέγχει τις ταυτότητες των χρηστών έτσι ώστε μόνο όσοι πραγματικά επιτρέπεται να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο.
3. Μη αποκήρυξη: Αποδεικνύει την πηγή των πληροφοριών και για την ακρίβεια, εγγυάται πως τα δεδομένα έρχονται από το χρήστη που δείχνουν πως έρχονται.
4. Εμπιστευτικότητα: Εξασφαλίζει τα δεδομένα που διέρχονται μέσω του δικτύου αυτού καθώς και απαγορεύει τη διέλευση μη πιστοποιημένων δεδομένων.
5. Ασφάλεια επικοινωνίας: Μόνο πιστοποιημένοι χρήστες δύνανται να επικοινωνούν μέσω του δικτύου αυτού.
6. Ακεραιότητα δεδομένων: Προστατεύει τα δεδομένα από μη πιστοποιημένη χρήση έτσι ώστε κανένας εξωτερικός χρήστης να μη μπορεί να τα αλλοιώσει ή να διαγράψει μέρος τους. Επίσης, διατηρεί αρχείο των προσπαθειών που μη πιστοποιημένοι χρήστες έκαναν για να προσπελάσουν το σύστημα.
7. Διαθεσιμότητα: Το δίκτυο και οι πόροι του είναι στη διάθεση των πιστοποιημένων χρηστών και μόνο.
8. Προστασία προσωπικών δεδομένων: Προστασία των δεδομένων.

Τα τρία επίπεδα προστασίας περιέχουν τρία στρώματα έκαστο με 8 διαστάσεις το

κάθε στρώμα. Έτσι δημιουργούνται  $3 \times 3 \times 8 = 72$  τμήματα ελέγχου της ασφάλειας του συστήματος, το κάθε ένα από τα οποία με τη δική του λειτουργία. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε πως εφαρμόζονται οι διαστάσεις ασφαλείας σε ένα από τα στοιχεία.



Εικόνα 3.7: Στοιχεία συστήματος ασφαλείας κατά το X.805.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια τόσο πρωτοποριακή τεχνολογία όσο τα συστήματα 4G δε θα μπορούσε παρά να βασίζεται σε επιμέρους καινοτόμες ιδέες οι οποίες με τη σειρά τους ξεπερνούν σημαντικά εμπόδια προς το δρόμο για την ενοποίηση των ετερογενών δικτύων 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς υπό τη σκέπη των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς και την ταυτόχρονη εισαγωγή νέων υπηρεσιών και εφαρμογών. LTE, WiMAX, έξυπνες κεραιές και επίπεδα αυφυΐας είναι μερικές από τις έννοιες που θα μας απασχολήσουν παρακάτω.

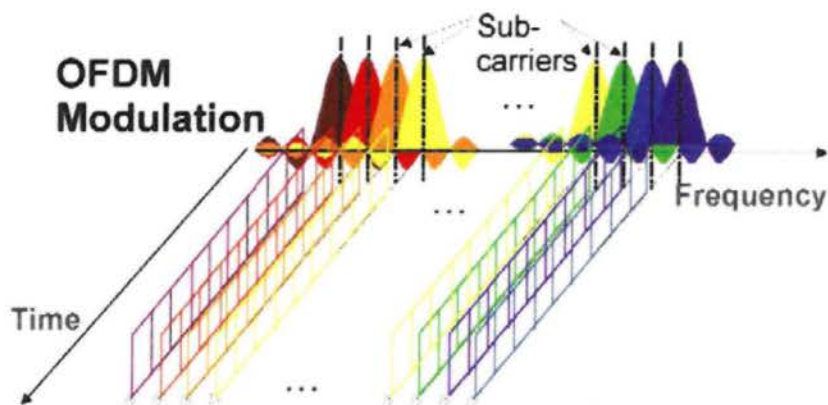
#### 4.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Τα δίκτυα 4G βασίζονται στην τεχνολογία LTE (Long Term Evolution) που τους προσφέρει θεωρητικά μια δυνατότητα να λαμβάνουν δεδομένα με ταχύτητα περίπου 100Mbits/sec, δηλαδή μιας τάξης μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή των 3G δικτύων. Επίσης, κατά την ανάπτυξη των 4G δικτύων, δε μιλάμε πια για κυψελωτά δίκτυα αφού οι κυψέλες καταργούνται και τη θέση τους παίρνουν πολλαπλοί αναμεταδότες γνωστοί με την ονομασία «έξυπνες κεραιές». Η εισαγωγή των έξυπνων κεραιών αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των διαλείψεων και της εξασθένησης του σήματος εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων των βάσεων από τους χρήστες. Επίσης, εισάγεται μια νέα τεχνολογία, η OFDM, με σκοπό να αντικαταστήσει την υβριδική τεχνολογία που συνδυάζει CDMA και IS-95 στα δίκτυα 3G, η οποία βασίζεται και αυτή στη χρήση μεθόδων πολλαπλής πρόσβασης. Η λειτουργία της OFDM είναι να αποστέλει πακέτα δεδομένων υποδιαιρώντας το κανάλι σε μια στενή ζώνη αυξάνοντας την αποδοτικότητα του δικτύου αντί να τα στέλνει απλά μέσω ενός διαύλου εντοπίζοντας τον παραλήπτη με τη βοήθεια ενός κώδικα όπως συμβαίνει στα 3G δίκτυα. Επίσης, για την επίτευξη ακόμη μεγαλύτερης εμβέλειας –στα επίπεδα μιας ολόκληρης πόλης– εισάγεται και η τεχνολογία WiMAX η οποία έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών ασύρματων συνδέσεων. Ας δούμε αυτές τις τεχνολογίες χωριστά.

## 4.2 Το πρότυπο OFDM

Το πρότυπο της ορθογωνικής πολύπλεξης διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) έρχεται να καλύψει τις απαιτήσεις της ανάπτυξης του νέου ασύρματου συστήματος που περιλαμβάνουν νέες διασυνδέσεις τερματικών με το διαδίκτυο, αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος και δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφόρων ταχυτήτων πρόσβασης.

Η βασική ιδέα πίσω από τη λειτουργία του OFDM φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.1: Φιλοσοφία του OFDM.

Βλέπουμε πως η βασική ιδέα είναι να υποδιαιρούνται οι ροές δεδομένων σε υποροές ή υποκανάλια χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης από τις αρχικές. Στη συνέχεια, οι υποροές διαμορφώνονται με χρήση ορθογώνιων μετασχηματισμών με αποτέλεσμα τα κανάλια να πλησιάζουν μεν πολύ κοντά αλλά να μην υπάρχει κίνδυνος παρεμβολής. Ουσιαστικά, λοιπόν, έχουμε μια πολύ αποδοτική χρήση του φάσματος των συχνοτήτων. Η OFDM είναι μια μορφή διαμόρφωσης σε πολλές διαδρομές (subcarriers) η οποία χωρίζει το μήνυμα σε τμήματα ενώ ταυτόχρονα και το διαθέσιμο φάσμα υποδιαιρείται σε ένα πλήθος καναλιών χαμηλού ρυθμού. Έτσι, γίνεται ταυτόχρονη μεταφορά κάθε τμήματος του μηνύματος σε ένα κανάλι χαμηλού ρυθμού. Μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντοχή της πληροφορίας στην εξασθένηση αφού αυτή, ως γνωστόν, εξαρτάται από τη συχνότητα του φέροντος κύματος. Έτσι δεν έχουμε αξιόλογα λάθη μετάδοσης στο ασύρματο μέσο. Επίσης, η επέκταση καθυστέρησης πρέπει να είναι πολύ μεγάλη για να προκληθεί σημαντικό πρόβλημα σε ένα κανάλι και συνεπώς, με το διαχωρισμό του μηνύματος σε τμήματα και την αποστολή αυτών των τμημάτων παράλληλα και με αργούς ρυθμούς θα έχουμε μικρή επέκταση της καθυστέρησης στο δέκτη, συγκριτικά πάντα με το χρόνο μετάδοσης ενός bit. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω διαδικασιών είναι μια σύνδεση μεγάλης χωρητικότητας η οποία θα είναι ανθεκτική στην πολύδρομη διάδοση. Βέβαια, αυτή η υποδιάκριση του εύρους ζώνης σε υποκανάλια λαμβάνει χώρα με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει και στην FDMA. Ωστόσο, μεταξύ των δύο τεχνικών υπάρχει η διαφοροποίηση πως η FDMA σπαταλά ένα σημαντικό τμήμα του φάσματος για τη δημιουργία διαστημάτων προστασίας μεταξύ των γειτονικών καναλιών συχνοτήτων για να διασφαλιστεί η μη παρεμβολή του ενός στο άλλο κατά τη λήψη του σήματος από το δέκτη, λειτουργεί δηλαδή μη αποδοτικά αναφορικά με τη χρήση του φάσματος.

Τέτοια σπατάλη, όμως, στο εύρος ζώνης είναι ανεπιθύμητη αφού στα μελλοντικά δίκτυα το εύρος ζώνης θα είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με τη ζήτηση και έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά προκειμένου να εξυπηρετεί περισσότερους χρήστες.

Η μετάδοση (αποστολή και λήψη) δεδομένων με τη χρήση της OFDM εαποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1. Η ροή των δεδομένων που ειθυμούμε να σταλούν ομαδοποιείται σε πακέτα συγκεκριμένου μεγέθους το οποίο καθορίζεται από τη μέθοδο διαμόρφωσης.
2. Κάθε κανάλι διαμορφώνεται με βάση τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε αυτό.
3. Το περιεχόμενο κάθε καναλιού χρησιμοποιείται ως είσοδος αντίστροφου μετασχηματισμού Fourier (IFT) έτσι ώστε η έξοδος να είναι μια αναπαράσταση του σήματος OFDM στο πεδίο του χρόνου.
4. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας (δηλαδή η έξοδος του IFT) μετατρέπεται σε αναλογική μορφή ώστε να είναι κατάλληλη για αποστολή.
5. Ο δέκτης λειτουργεί εντελώς αντίστροφα, δηλαδή ψηφιοποιεί το σήμα και εκτελεί έναν FFT για να λάβει την αναπαράσταση του σήματος στο πεδίο της συχνότητας. Έξοδος του FFT είναι τα περιεχόμενα των καναλιών, τα οποία και αποδιαμορφώνονται για να πάρουμε το πακέτο της πληροφορίας κάθε μεταφορέα και να τα συνδυάσουμε για να πάρουμε το αρχικό μήνυμα.

Τα βήματα 1-4 εκτελούνται στο επίπεδο του πομπού ενώ το 4 στο επίπεδο του δέκτη.

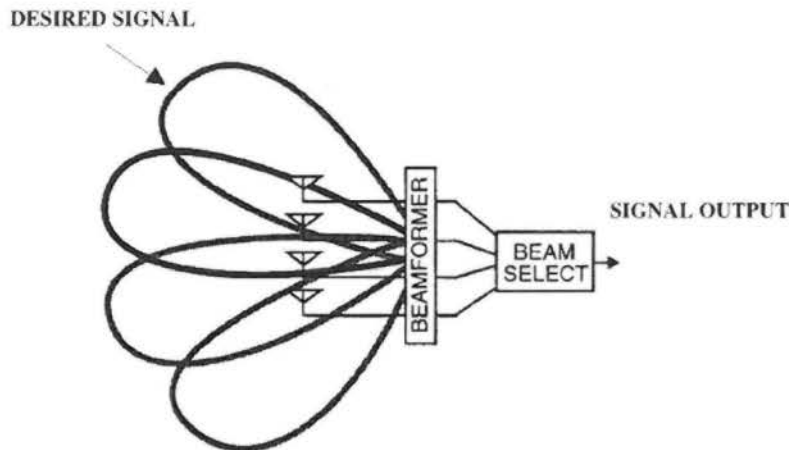
Στο πρότυπο αυτό βασίζεται η λειτουργία μερικών από τα πιο διαδεμένα πρότυπα τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, όπως το 802.11, το WLAN και το ADSL. Ο λόγος που το συναντούμε σε τόσο σημαντικά πρωτόκολλα είναι πως υπερέχει σημαντικά ατς θέματα που αφορούν στη αποδοτική χρήση του παρεχόμενου εύρους ζώνης και στην ανοχή στις παρεμβολές. Ωστόσο, μέχρι σήμερα (εννοώντας στο πέρας της 3G εποχής) δεν έχει ενσωματωθεί σε καμμία από τις τεχνολογίες κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων επειδή είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρο. Αυτό του το μειονέκτημα θα πρέπει να επιλύσουν οι σχεδιαστές των 4G δικτύου ώστε να μπορούν να το εγκαταστήσουν στα συστήματά τους.

Αφού, λοιπόν, επιτευχθεί η ενσωμάτωσή του στα δίκτυα 4G τότε θα μπορούμε να πούμε πως μέχω αυτού θα ικανοποιηθούν τρεις από τις σημαντικότερες απαιτήσεις των δικτύων αυτών αφού θα έχουμε υψηλότερη κάλυψη και χωρητικότητα σε υψηλή ποιότητα υπηρεσιών και με χαμηλό κόστος.

### **4.3 Έξυπνες κεραίες**

Αποσκοπώντας στην εκμετάλλευση της χωρικής διαφορικής λήψης (spatial diversity) και κατ'επέκταση στη βελτίωση της αποδοτικότητας εύρους ζώνης, στα νέα ασύρματα δίκτυα 4G κάνουμε χρήση των έξυπνων στοιχειοκεραιών (smart antennas).

Μια έξυπνη κεραία έχει χονδρικά την παρακάτω λειτουργία.



Εικόνα 4.2: Λειτουργία έξυπνης κεραίας.

Μια έξυπνη κεραία αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που συνδυάζονται μέσω ενός δικτύου διαμόρφωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας (beamforming network). Το δίκτυο αυτό καθορίζει τα σχετικά πλάτη και τις σχετικές φάσεις των στοιχείων και μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία RF ή τεχνολογία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος πραγματικού χρόνου ή μέσω υβριδικών λύσεων.

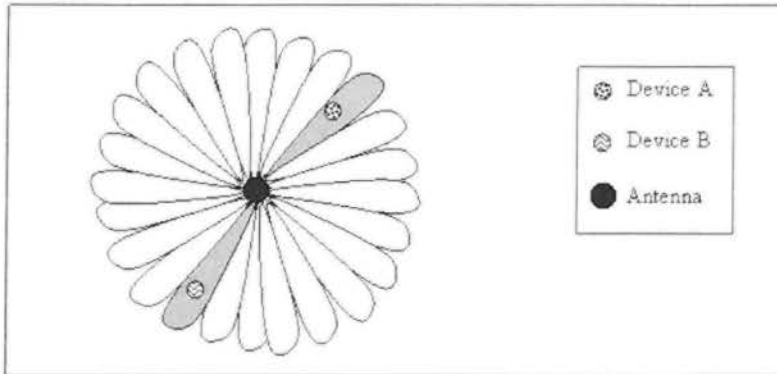
Η χρήση έξυπνων κεραιών έχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά γίνεται μικρότερη κατανάλωση της ισχύος του τερματικού, επιτυγχάνεται μεγαλύτερο βεληνεκές, μειώνεται η διασυμβολική παρεμβολή, παρέχεται υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η ολοκλήρωση στο υπάρχον κυψελωτό σύστημα γίνεται πιο εύκολη. Στην ειδικότερη περίπτωση των σταθμών βάσης, τα συστήματα έξυπνων κεραιών έχοντας την ικανότητα χωρικού διαχωρισμού των σημάτων μπορούν να υποστηρίξουν την ανάθεση πολλαπλών κινητών χρηστών που επικαλύπτονται στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας, τεχνική γνωστή και ως πολλαπλή πρόσβαση με χωρισμό χώρου (Spatial Division Multiple Access – SDMA). Έτσι αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος αλλά και η περιοχή κάλυψης κάθε κυψέλης. Και έτσι, ενώ το κόστος αυξάνεται από την εγκατάσταση των πολυάριθμων στοιχειοκεραίων, εξαιτίας της αύξησης κάλυψης κάθε κυψέλης το συνολικό κόστος μειώνεται πολλές φορές και κατά 50% χωρίς όμως να μειώνεται η ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών.

Οι έξυπνες κεραιές έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται στο περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν αλλά και να συνεργάζονται με εξελεγμένα κυκλώματα επεξεργασίας σήματος. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει μεγάλη ανάγκη για ανάπτυξη τεχνικών ολοκλήρωσης κυκλωμάτων επεξεργασίας ψηφιακού σήματος με κεραιές που λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες. Έτσι, θα μπορούμε να έχουμε μείωση του μεγέθους του τηλεπικοινωνιακού συστήματος αλλά και βελτίωση της απόδοσής του.

Οι έξυπνες κεραιές χωρίζονται σε δύο επίπεδα ευφυΐας, τα οποία περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

### 4.3.1 Έξυπνες κεραιές μεταβαλλόμενου λοβού

Η τεχνολογία του μεταβαλλόμενου λοβού (switched lobe-SL) είναι η απλούστερη υλοποίηση έξυπνων κεραιών και φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

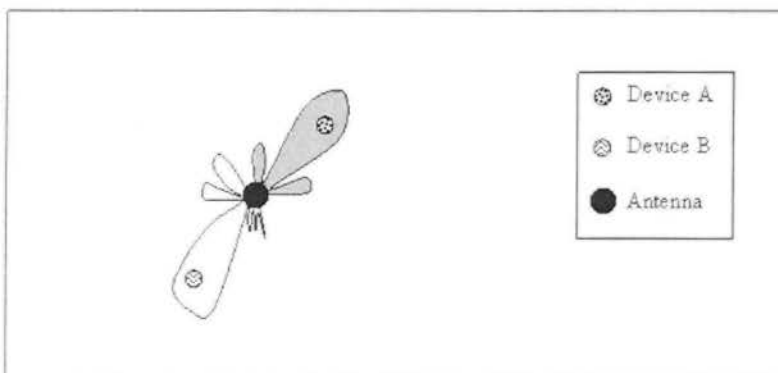


Εικόνα 4.3: Έξυπνη κεραία μεταβαλλόμενου λοβού.

Η τεχνική αυτή υλοποιείται με μια βασική λειτουργία μεταβολής ανάμεσα σε ξεχωριστές κατευθυντικές κεραιές ή σε προσχεδιασμένες δέσμες μιας στοιχειοκεραίας. Από αυτή την υλοποίηση λαμβάνουμε τη βέλτιστη απόδοση λαμβανόμενης ισχύος και υψηλότερη κατευθυντικότητα. Αυτός ο τύπος κεραιάς είναι πιο εύκολο να ενσωματωθεί σε υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα αλλά προσφέρει περιορισμένη βελτίωση.

### 4.3.2 Έξυπνες κεραιές δυναμικής μεταβολής φάσης

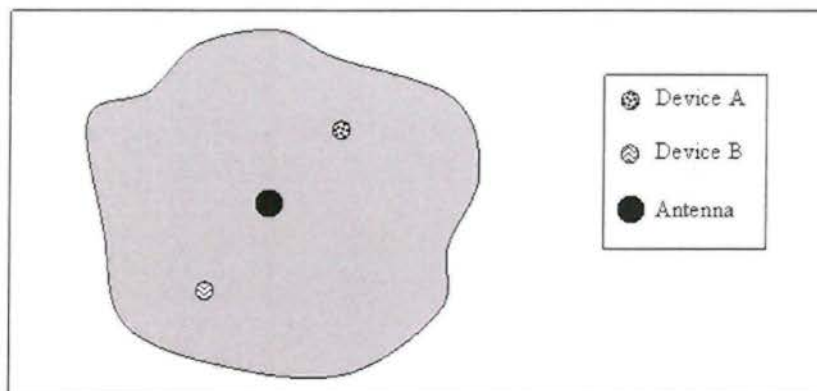
Η τεχνολογία της δυναμικής μεταβολής φάσης (Dynamically Phased Array – DPA) μπορεί να θεωρηθεί ως μια γενίκευση της αρχής του μεταβαλλόμενου λοβού και η υλοποίησή της φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.4: Έξυπνη κεραία μεταβαλλόμενου λοβού.

Η υλοποίηση αυτή χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο κατεύθυνσης άφιξης (Direction of Arrival – DoA) για το συνεχή εντοπισμό του λαμβανόμενου από το χρήστη σήματος. Αυτή η υλοποίηση προσφέρει τη μέγιστη λαμβανόμενη ισχύ.

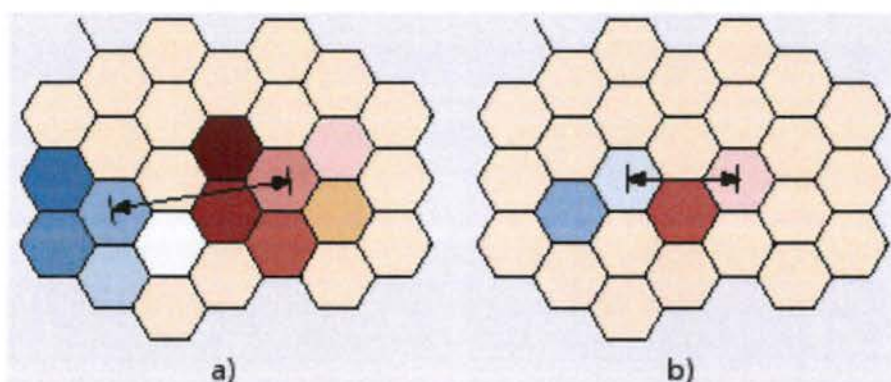
Για λόγους σύγκρισης παρατίθεται η σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας μιας συμβατικής κεραίας.



Εικόνα 4.5: Συμβατική κεραία τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

### 4.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έξυπνων κεραιών

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που τεχνολογικά επενδύουμε στις έξυπνες κεραιές. Αρχικά, υπάρχει σημαντική αύξηση της χωρητικότητας και βελτίωση κατά του θορύβου η οποία σε πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι σημαντική. Η προσαρμοστική στοιχειοκεραία έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι προσφέρει βελτίωση κατά 10 dB. επίσης, παρουσιάζουν σημαντική αύξηση του βεληνεκούς στις αραιοκατοικημένες περιοχές (π.χ. αγροτικές περιοχές) εξαιτίας της μεγαλύτερης κατευθυντικότητάς τους. Έτσι, οι σταθμοί βάσεις μπορούν να τοποθετούνται μακριά ο ένας από τον άλλο προσφέροντας όμως μεγάλη ραδιοκάλυψη. Σε συστήματα TDMA, η βελτίωση του ΣΙΡ προσφέρει τη δυνατότητα μειωμένων αποστάσεων μεταξύ των κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.



Εικόνα 4.6: Απόσταση κυψελών κατά την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας στην περίπτωση α) συμβατικής-παραδοσιακής κεραίας και β) έξυπνης κεραίας.



Επιπροσθέτως, παρέχουν πρόσβαση σε νέες υπηρεσίες. Αυτό επαφύεται στο γεγονός ότι με τη χρήση έξυπνων κεραιών το δίκτυο θα έχει πρόσβαση στη χωρική πληροφορία των χρηστών και έτσι θα είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης τους με πολύ μεγάλη ακρίβεια με αποτέλεσμα να ανοίγει η πόρτα σε εμπορικά προϊόντα που βασίζονται στη χωρική πληροφορία όπως για παράδειγμα οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Βέβαια, είναι πολύ σημαντική και η παράμετρος της ασφάλειας, αφού τα συστήματα αυτά δεν ακτινοβολούν προς όλες τις κατευθύνσεις και συνεπώς η παρεμπόδιση της επικοινωνίας μπορεί να γίνει μόνο αν κάποιος βρίσκεται στη διεύθυνση που συνδέει τις δύο επικοινωνούντες συσκευές. Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα είναι πως μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στα ήδη υπάρχοντα συστήματα αφού δεν απαιτούν την εφαρμογή κάποιου νέου προτύπου ή πρωτοκόλλου και έτσι μπορούν να επικοινωνούν με τις ήδη υπάρχουσες κεραιές και συσκευές.

Βέβαια, δεν είναι όλες οι πτυχές των έξυπνων κεραιών επιθυμητές. Ο πομποδέκτης μιας έξυπνης κεραιάς είναι πολύ πιο πολύπλοκος από αυτόν ενός παραδοσιακού σταθμού βάσης. Έτσι, η κεραιά χρειάζεται ξεχωριστές συνδέσεις με τον πομποδέκτη για κάθε ένα από τα στοιχεία καθώς και ακριβή ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, οι έξυπνες κεραιές απαιτούν βελτιωμένες λειτουργίες δικτύων, για παράδειγμα αναφορικά με τη διαχείριση του εξοπλισμού και της κινητικότητας. Έχουν συνολικό μέγεθος αρκετά μεγαλύτερο από τις παραδοσιακές με πιθανή επιβάρυνση της δημόσιας υγείας ενώ απαιτούν διαφορετικές θέσεις εγκατάστασης. Τέλος, το κόστος της αγοράς τους είναι πολύ υψηλό. Τελικά, βέβαια, αυτό αντισταθμίζεται με το κόστος του φάσματος συχνοτήτων.

#### **4.4 Η τεχνολογία LTE**

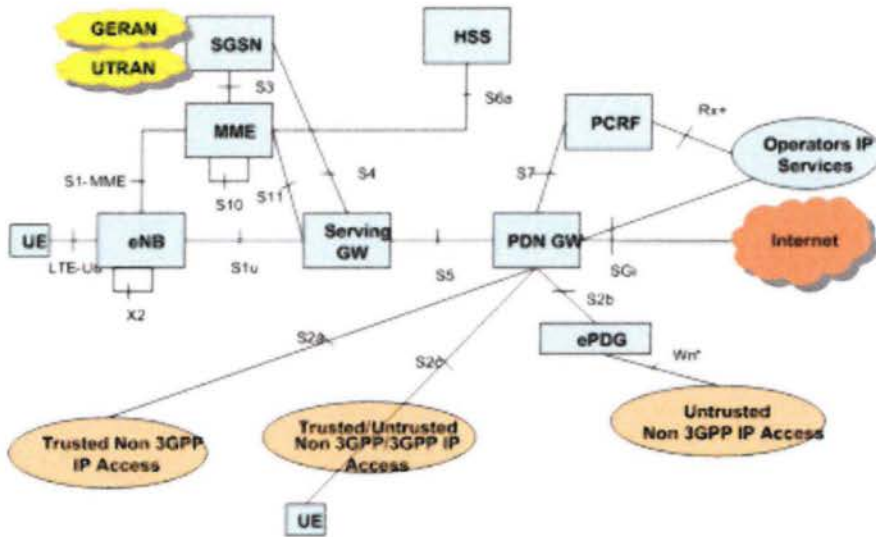
Η τεχνολογία LTE αποσκοπεί στη δημιουργία ενός συστήματος υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση και βελτιστοποιημένη μετάδοση για πακέτα δεδομένων μέσω ασύρματης διασύνδεσης. Το LTE είναι επίσης γνωστό και ως E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) ή E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Network Access).

Για να επιτευχθεί ο φιλόδοξος σχεδιασμός του, το LTE βασίζεται πάνω σε νέες τεχνικές αρχές. Έτσι, χρησιμοποιεί πολλά συστήματα πρόσβασης με μέσο μετάδοσης τον αέρα. Τα δύο κυριότερα είναι το OFDMA κατά το downlink και το SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) κατά το uplink. Επιπλέον, τα συστήματα έξυπνων κεραιών αποτελούν ουσιαστικό μέρος του LTE.

Στη γενική του μορφή, το LTE χαρακτηρίζεται από μέγιστο ρυθμό για download περί τα 326,4 Mbps για σύστημα έξυπνων κεραιών 4 επί 4 και 172,8 Mbps για σύστημα έξυπνων κεραιών 2 επί 2, για κάθε 20 MHz φάσματος. Σε αντίστοιχο εύρος φάσματος, ο μέγιστος ρυθμός για upload ανέρχεται περί τα 86,4 Mbps. Το LTE περιλαμβάνει πέντε διαφορετικές κατηγορίες τερματικών ορισμένες ως voice centric (με επίκεντρο τη φωνή) αλλά και ως data centric (με επίκεντρο τη μετάδοση δεδομένων σε υψηλούς ρυθμούς). Υπόσχεται καθυστέρηση μικρότερη από 5 msec για τα μικρά IP πακέτα και παρέχει το βέλτιστο μέγεθος κυψελών από 5 έως 30 Km με καλή απόδοση και μέχρι

τα 100 Km με ικανοποιητική απόδοση. Το LTE έχει τη δυνατότητα να συνυπάρχει με legacy δίκτυα επεκτείνοντας την κινητικότητα του χρήστη ενώ υποστηρίζει το δίκτυο MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network) που του δίνει πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως η τηλεόραση.

Η κατά το 3GPP προτεινόμενη αρχιτεκτονική του LTE είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



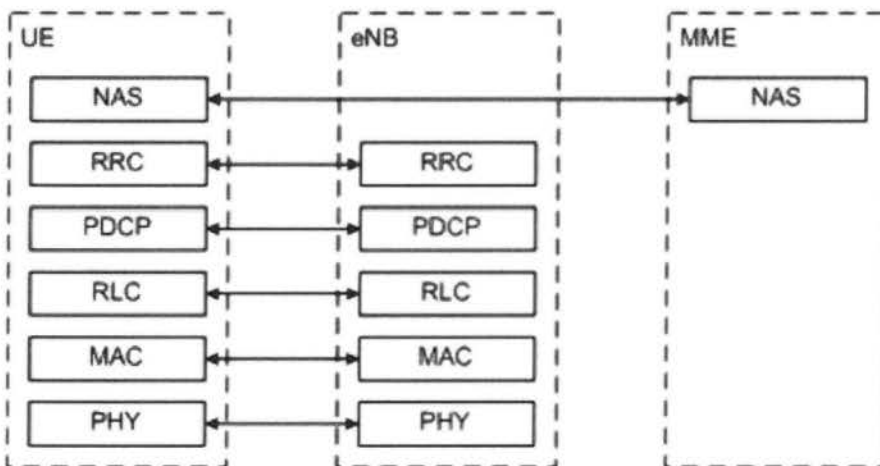
Εικόνα 4.7: Η αρχιτεκτονική του LTE όπως την προτείνει το 3GPP.

Στην αρχιτεκτονική αυτή διακρίνεται αρχικά ένα Evolved Radio Access Network (RAN), το οποίο αποτελείται από έναν κόμβο eNodeB (eNB) ο οποίος συνδέεται με το χρήστη (UE). Ο eNB περιέχει τα πρωτόκολλα Physical Layer (PHY), Medium Access Control (MAC) και Packet Data Control Protocol (PDCP) τα οποία περιέχουν τις λειτουργίες μετάδοσης και κρυπτογράφησης. Επίσης, περιλαμβάνει το πρωτόκολλο Radio Resource Control (RRC) που χρησιμοποιείται σε ελέγχους σημάτων. Η λειτουργία του eNB είναι να διαχειρίζεται τα ραδιοκύματα, να ελέγχει το εισαγόμενο σήμα, τις υπηρεσίες QoS, τις πληροφορίες κυψέλης και την κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των δεδομένων του χρήστη και τέλος να συμπιέζει και να αποσυμπιέζει τα δεδομένα που ανεβάζει ή κατεβάζει ο χρήστης. Διακρίνεται επίσης μια Serving Gateway (SGW) η οποία δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα δεδομένων του χρήστη. Όταν, όμως, ο χρήστης μετακινείται αναγκάζοντας το eNB να πραγματοποιήσει τη λειτουργία της μεταγωγής σε άλλη κυψέλη, η SGW λειτουργεί και ως γέφυρα. Ταυτόχρονα, είναι το σημείο διεπαφής ανάμεσα στο LTE και τις υπόλοιπες τεχνολογίες του 3GPP. Αναφορικά, τώρα, με τα UE που είναι σε κατάσταση αδράνειας, η SGW αναλαμβάνει τη φραγή του μονοπατιού μετάδοσης των δεδομένων που κατεβαίνουν ενώ στέλνει ειδοποίηση στο UE όταν φτάσουν δεδομένα που το αφορούν. Τέλος, η SGW εκτελεί λειτουργίες ελέγχου της κίνησης του δικτύου σε περίπτωση που αυτό απαιτηθεί. Ένα ακόμη σημείο που διακρίνουμε στην αρχιτεκτονική αυτή είναι η Mobility Management Entity (MME) που αποτελεί το κομβικό σημείο για την πρόσβαση στο δίκτυο LTE. Είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της κατάστασης των UE και για την επικύρωση του χρήστη, για τον εντοπισμό και τη σελιδοποίηση του δικτύου και για τις πιθανές αναμεταδόσεις που ίσως χρειαστούν. Το MME λειτουργεί ως τερματικό σημείο όσον αφορά την

κρυπτογράφηση και την ακεραιότητα του σήματος NAS (Non-Access Stratum) και παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες ελέγχου έτσι ώστε να μπορεί το LTE να επικοινωνεί με το 3G και το 3G δίκτυο. Τέλος, διακρίνουμε την Packet Data Network Gateway (PDN GW). Αυτή είναι υπεύθυνη για την επίτευξη σύνδεσης των UE με τα εξωτερικά δίκτυα όντας το σημείο εσόδου και εξόδου της κυκλοφορίας του δικτύου LTE. Από τις πιο σημαντικές λειτουργίες της PDN GW είναι η εκτέλεση των πολιτικών που επιβάλλει το δίκτυο, το φιλτράρισμα των ανταλασσόμενων από το χρήστη πακέτων, το φιλτράρισμα των χρεώσεων και η διασύνδεση των 3GPP τεχνολογιών με τις μη-3GPP τεχνολογίες, όπως το WiMAX το οποίο θα συζητηθεί σε επόμενη παράγραφο.

#### 4.4.1 Ο διαμοιρασμός του δικτύου μέσω του LTE

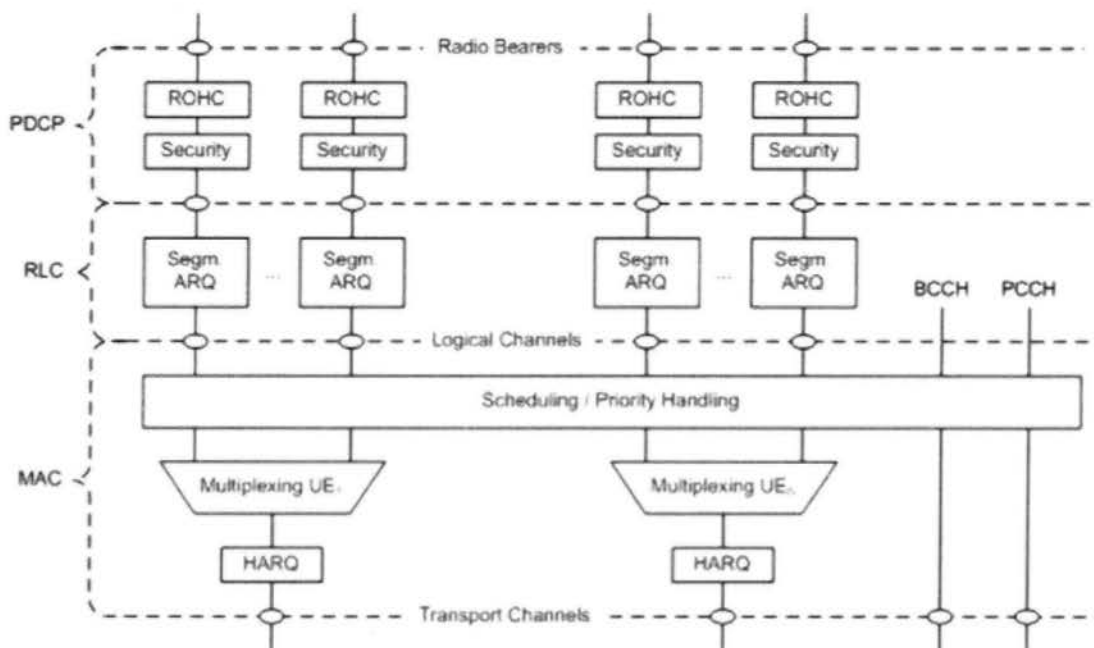
Το LTE επιτρέπει στους παρόχους να έχουν ξεχωριστά το Κεντρικό Δίκτυο (π.χ. το MME), το SGW και το PDN GW με τα eNB του LTE να διαμοιράζονται από αυτά. Έτσι είναι δυνατή η μείωση του κόστους της ιδιοκτησίας και της εκμετάλλευσης του δικτύου. Αυτός ο διαμοιρασμός ενεργοποιείται από το μηχανισμό SI-flex, ο οποίος παρέχει υποστήριξη για διαμοιρασμό δικτύου και κατανομή φορτίου κυκλοφορίας σε όλα τα κανάλια του δικτύου δημιουργώντας ομάδες από MME και SGW και επιτρέποντας σε κάθε eNB να συνδέεται με πολλά MME και SGW που βρίσκονται σε διαφορετικές ομάδες. Έτσι, όταν το UE εισέρχεται στο δίκτυο, γίνεται έρευνα για το καταλληλότερο CN που βασίζεται στην ταυτότητα του παρόχου και το UE συνδέεται με αυτό. Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα επίπεδα ελέγχου του χρήστη UE καθώς και τις στοιβές ελέγχου των πρωτοκόλλων του χρήστη.



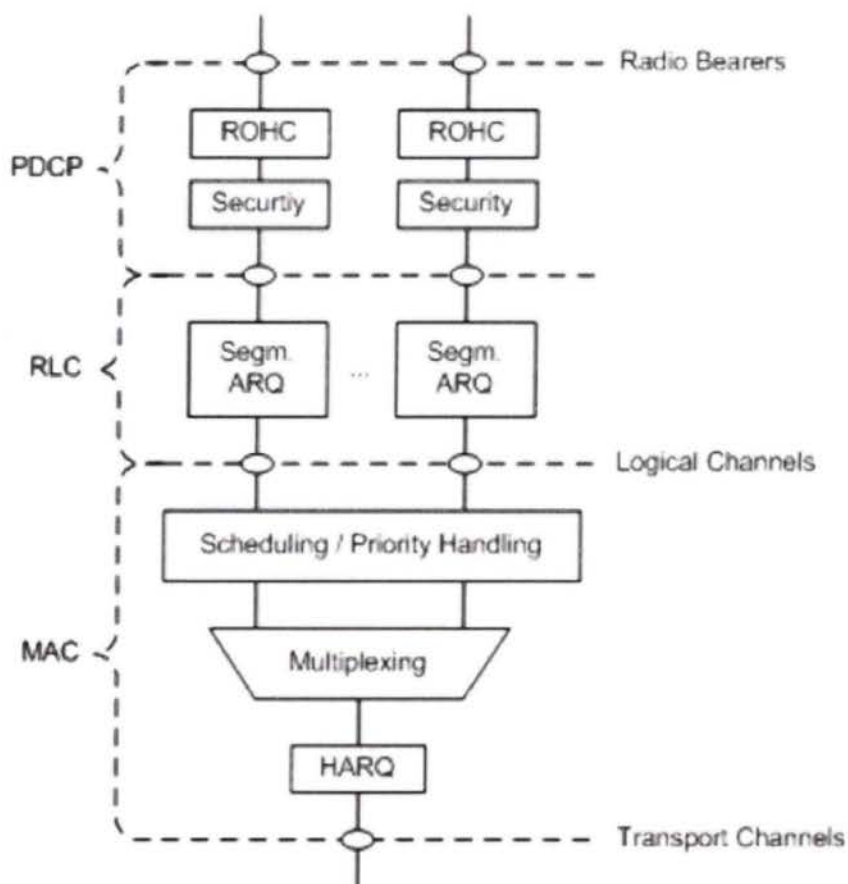
Εικόνα 4.8: Απεικόνιση των επιπέδων ελέγχου του χρήστη και των αντίστοιχων στοιβών ελέγχου των πρωτοκόλλων.

Βλέπουμε, λοιπόν, το πρωτόκολλο NAS το οποίο κινείται μεταξύ του MME και του χρήστη και χρησιμοποιείται για σκοπούς ελέγχου όπως για παράδειγμα ο έλεγχος ποιότητας. Όλα του τα μηνύματα είναι κρυπτογραφημένα και προστατεύονται μέσω των MME και των χρηστών. Το πρωτόκολλο RRC στο eNB λαμβάνει τις αποφάσεις που σχετίζονται με το handover και οι οποίες βασίζονται σε μετρήσεις γειτονικών

κυψελών που γίνονται από το χρήστη. Επίσης, εκτελεί τη μεταφορά του UE από το ένα eNB στο άλλο κατά τη διάρκεια του handover προστατεύοντας ταυτόχρονα την ακεραιότητα των μηνυμάτων του. Τέλος, είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία και τη συντήρηση των ραδιοκυμάτων που χρησιμοποιεί το δίκτυο. Το PDCP είναι υπεύθυνο για τη συμπίεση και την αποσυμπίεση των κεφαλίδων των IP πακέτων των χρηστών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Robust Header Compression (ROHC) και καθιστώντας δυνατή την πιο αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης που είναι διαθέσιμο. Αυτό το πρωτόκολλο εκτελεί επίσης την κρυπτογράφηση τόσο του δεδομένων του χρήστη, όσο και του επιπέδου ελέγχου του. Επειδή τα μηνύματα του NAS μεταφέρονται στο RRC, ουσιαστικά είναι διπλά κρυπτογραφημένα και η ακεραιότητά τους είναι κι αυτή διπλά προστατευμένη, μία φορά στο MME κι άλλη μία στο eNB. Το RLC χρησιμοποιείται για τη μορφοποίηση και τη μεταφορά της κίνησης ανάμεσα στο UE και στο eNB. Το RLC παρέχει διαφορετικούς τρόπους αξιοπιστίας για τις μεταδόσεις των δεδομένων. Επιπλέον, υπάρχουν δύο επίπεδα αναμεταδόσεων παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη αξιοπιστία τα οποία ονομάζονται Hybrid Automatic Repeat request στο στρώμα MAC και το εξωτερικό ARQ στο στρώμα RLC. Το εξωτερικό ARQ καλείται να διαχειριστεί τα σφάλματα που δε διορθώνονται από το HARQ. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι απλή χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό ανάδρασης διόρθωσης σφαλμάτων. Μια “N-διαδικασία σταμάτα-και-περίμενε” του HARQ χρησιμοποιείται και εκτελεί ασύγχρονες αναμεταδόσεις στα download των χρηστών και σύγχρονες στα upload τους. Συγχρονισμένο HARQ σημαίνει ότι οι αναμεταδόσεις των πακέτων του HARQ συμβαίνουν σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Ως εκ τούτου, δεν απαιτείται κάποια ρητή σηματοδότηση η οποία να αναφέρει στο δέκτη το χρονοδιάγραμμα της αναμετάδοσης. Το ασύγχρονο HARQ προσφέρει την ευελιξία του προγραμματισμού των αναμεταδόσεων και βασίζεται στις συνθήκες της διεπαφής του αέρα. Οι εικόνες 5 και 6 απεικονίζουν τη δομή του στρώματος 2 για τα download και τα upload αντίστοιχα. Τα στρώματα PDCP, RLC και MAC αποτελούν το στρώμα 2, το οποίο και φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.

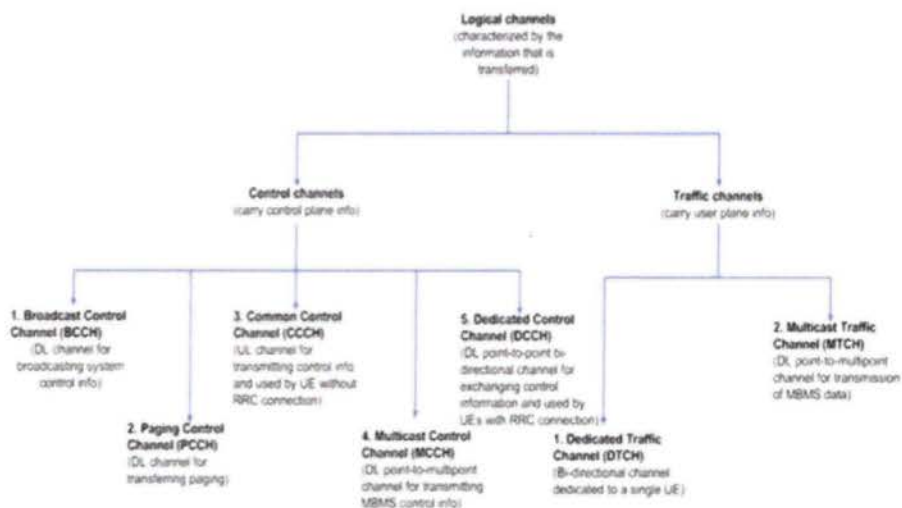


Εικόνα 4.9: Η δομή του στρώματος 2 για το download.

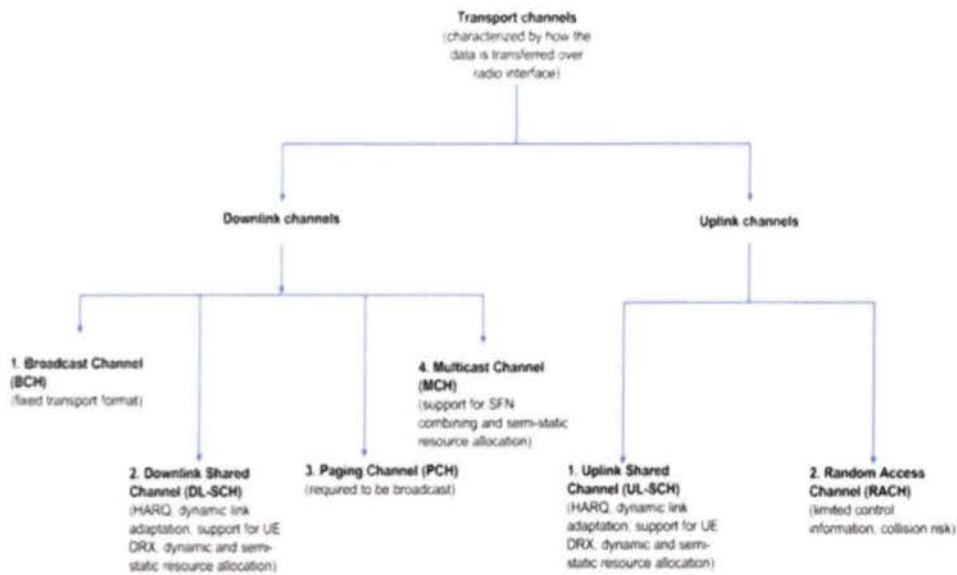


Εικόνα 4.10: Η δομή του στρώματος 2 για το upload.

Στο LTE καταβάλεται σημαντική προσπάθεια για την απλοποίηση των αριθμών και των αντιστοιχίσεων στα λογικά κανάλια, καθώς και στα κανάλια μεταφοράς. Τα διαφορετικά λογικά κανάλια και κανάλια μεταφοράς στο LTE απεικονίζονται στις εικόνες 10 και 11.

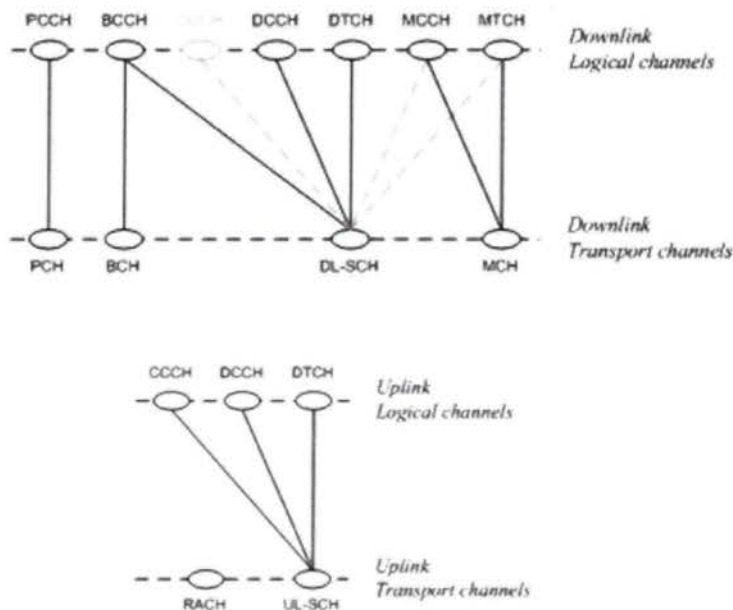


Εικόνα 10: Τα λογικά κανάλια του LTE.



Εικόνα 11: Τα κανάλια μεταφοράς του LTE.

Τα κανάλια μεταφοράς διακρίνονται από τα χαρακτηριστικά (π.χ. προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση) με τα οποία τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω του αέρα. Το MAC στρώμα εκτελεί την επικοινωνία μεταξύ των λογικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς, τους χρονοπρογραμματισμούς των διαφόρων UE και τις υπηρεσίες τους στις συνδέσεις τους για download και upload ανάλογα με τις σχετικές προτεραιότητές τους. Επίσης επιλέγει την ενδεδειγμένη μορφή μετάδοσης. Τα λογικά κανάλια χαρακτηρίζονται από τις πληροφορίες που μεταφέρουν. Η επικοινωνία τους με τα κανάλια μεταφοράς φαίνεται στην εικόνα 9.



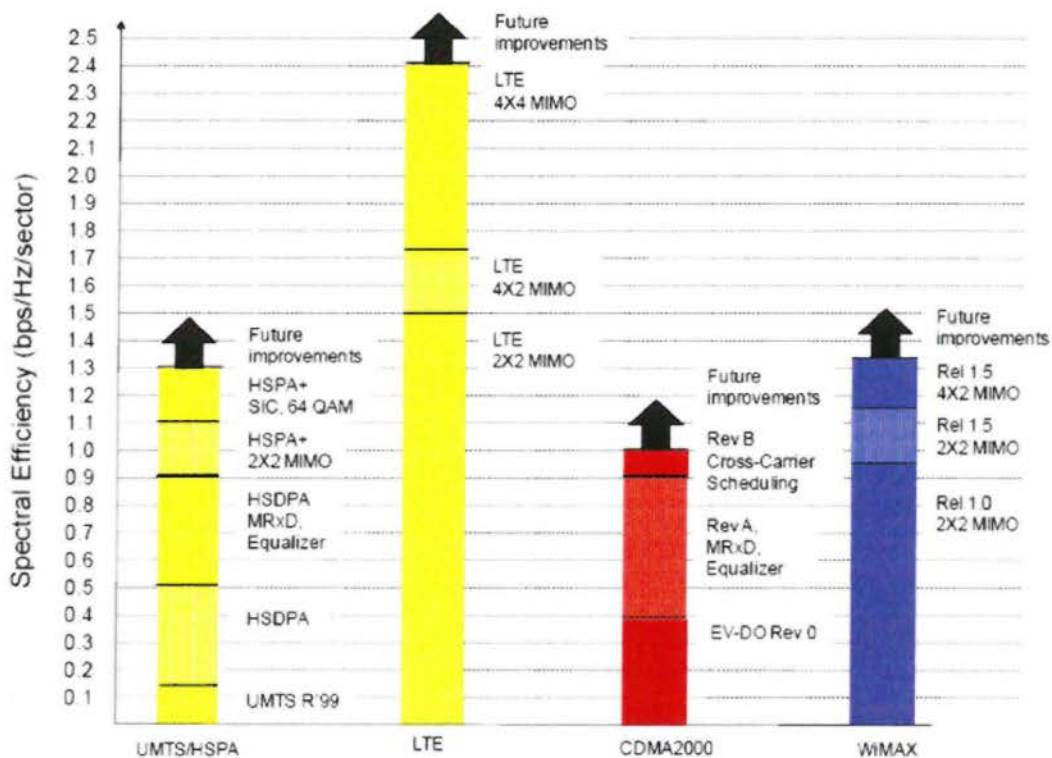
Εικόνα 4.12: Αντιστοίχιση των λογικών καναλιών με τα κανάλια μεταφοράς.

Το φυσικό στρώμα στο eNB είναι υπεύθυνο για την προστασία των δεδομένων από

τα σφάλματα του καναλιού χρησιμοποιώντας συστήματα προσαρμοστικών διαμορφώσεων και κωδικοποιήσεων “Adaptive Modulation and Coding (AMC)” που βασίζονται στις εκάστοτε συνθήκες του καναλιού. Διατηρεί επίσης το συγχρονισμό των συχνοτήτων και του χρόνου και εκτελεί RF επεξεργασίες συμπεριλαμβάνοντας τη διαμόρφωση και την αποδιαμόρφωση. Επιπλέον, επεξεργάζεται τις αναφορές των μετρήσεων από τα UE όπως το CQI και παρέχει ενδείξεις για τα ανώτερα στρώματα. Η ελάχιστη μονάδα προγραμματισμού είναι ένα μπλοκ χρονο-συχνότητας που αντιστοιχεί σε ένα υπο-πλαίσιο (1 ms) και 12 υπο-μεταφορές. Ο προγραμματισμός δε γίνεται σε ένα υποπολλαπλάσιο της υπο-μεταφοράς προκειμένου να περιοριστεί ο έλεγχος της σηματοδότησης. Η QPSK, η 16QAM και η 64QAM θα είναι οι διαμορφώσεις για τα download και τα upload στο LTE. Για το upload το 64QAM είναι προαιρετικό στα UE. Οι κεραιές στα UE αποτελούνται από δύο συστήματα λήψεως και ένα μετάδοσης και δεν είναι άλλα από τις έξυπνες κεραιές. Τα eNB με τη σειρά τους είναι εξοπλισμένα και αυτά με έξυπνες κεραιές οι οποίες αποτελούνται από δύο κεραιές μετάδοσης. Το OFDMA με έναν υπο-μεταφορέα ανά 15 KHz και το SC-FDMA έχουν επιλεγεί ως τα συστήματα μετάδοσης για το download και το upload αντίστοιχα. Το πλαίσιο μετάδοσης του καθενός είναι διάρκειας 10 ms περιέχοντας 10 υποπλαίσια ικανά να μεταφέρουν 14 σύμβολα OFDM.

#### 4.4.2 Συγκριτική του LTE με λοιπές τεχνολογίες

Στην εικόνα 13 μπορούμε να δούμε μια γραφική παράσταση των δικτύων UMTS/HSPA, LTE, CDMA2000 και WiMAX ως προς τις φασματικές τους αποδόσεις κατά το downlink.

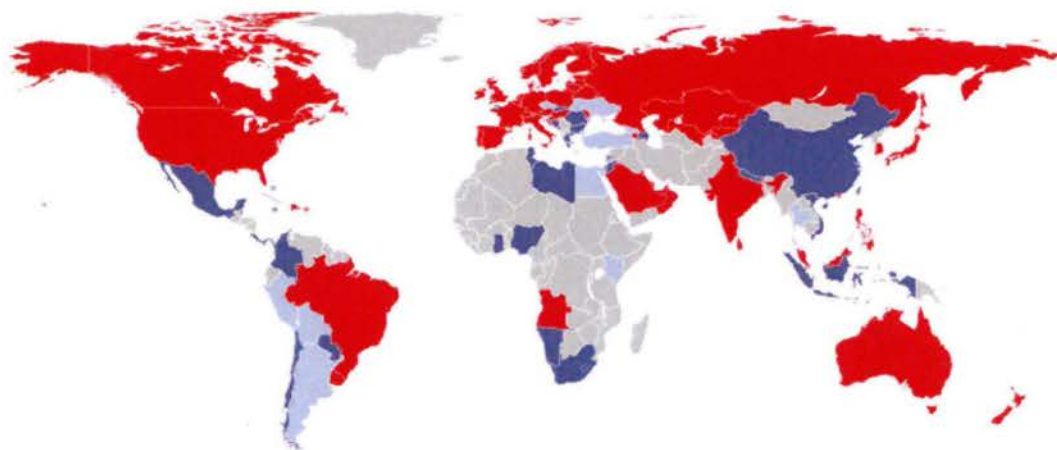


Εικόνα 4.13: Οι φασματικές αποδόσεις του LTE και λοιπών τεχνολογιών.

Η παραπάνω εικόνα δείχνει με σαφήνεια τη σχετική απόδοση του HSPA έναντι του LTE όπου το HSPA στην έκδοση 3 εφαρμόζοντας την τεχνική Mobile Receive Diversity (MRxD) αυξάνει τη φασματική απόδοση, αγγίζοντας το HSDPA (διπλό HSPA) από 0,5 bps/Hz/τομέα στο 0,9 bps/Hz/τομέα, ενώ το LTE με σύστημα έξυπνων κεραιών 2 επί 2 παρέχει 1,5 bps/Hz/τομέα. Το σύστημα έξυπνων κεραιών 2 επί 2 παρέχει στο HSPA αύξηση κατά 20% πέρα από το MRxD, αλλά μία συσκευή που υποστηρίζει 64QAM και η τεχνική Successive Interference Cancellation (SIC) μπορούν να αυξήσουν την αποδοτικότητα του HSPA έως και τα 1,3 bps/Hz/τομέα. Περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν με την έκδοση 9 του HSPA με τη λειτουργία διπλής μεταφοράς με τη χρήση συστημάτων έξυπνων κεραιών. Η αναβάθμιση σε 64QAM μπορεί να υλοποιηθεί με μια αναβάθμιση λογισμικού στους περισσότερους σταθμούς βάσης, ενώ η αναβάθμιση των συστημάτων έξυπνων κεραιών απαιτεί αλλαγή στις κεραίες, αν και η συμβολή της διαμόρφωσης 64QAM είναι μικρή, λόγω της σπανιότητας με την οποία χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στην τυπική κυψελοειδή λειτουργία του δικτύου. Οι τιμές για το LTE δείχνουν ότι τα συστήματα έξυπνων κεραιών 2 επί 2 με 1,5 bps/Hz/τομέα κινούνται προς τα 1,73 με τη χρήση του SIC. Η λειτουργία του συστήματος 4 επί 2 χρησιμοποιεί μια πιο απλή προσέγγιση μεταγωγής δέσμης η οποία τυποποιήθηκε στην έκδοση 8.

#### **4.4.2 Παγκόσμια αποδοχή του LTE**

Στην εικόνα 14 μπορούμε να δούμε τον παγκόσμιο χάρτη αποδοχής του LTE όπως αυτός δημοσιεύθηκε τον Ιούνιο του 2013.



Εικόνα 4.14: Παγκόσμια υιοθέτηση της τεχνολογίας LTE.

Το κόκκινο χρώμα δείχνει τις χώρες όπου υπάρχει εμπορικώς διακινούμενο προϊόν βασισμένο στο LTE ενώ το σκούρο μπλε δείχνει τις χώρες στις οποίες τα προϊόντα LTE είναι υπό κατασκευή. Με το γαλάζιο, τέλος, χρώμα βλέπουμε τις χώρες στις οποίες γίνονται δοκιμές αναφορικά με την υιοθέτηση ή μη της τεχνολογίας αυτής.



Ο λόγος για τον οποίο συγκεκριμένες αγορές δεν είναι έτοιμες για την υιοθέτηση του LTE είναι πως το πρότυπο του LTE υποστηρίζει μεταγωγή πακέτων, αφού η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου IP. Οι τηλεφωνικές κλήσεις που πραγματοποιούνται στα δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 αποτελούν μεταγωγή κυκλώματος. Έτσι οι πάροχοι θα πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τη λειτουργία του δικτύου κατά τη πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων. Πάνω σε αυτό το θέμα αναπτύχθηκαν τρεις εναλλακτικές επιλογές. Αρχικώς, οι μεγάλοι χρηματοδότες του εγχειρήματος του LTE, προώθησαν το VoLTE (Voice over LTE). Ωστόσο, η έλλειψη στην υποστήριξη εφαρμογών τόσο στις τερματικές συσκευές όσο και στις συσκευές του πυρήνα του δικτύου οδήγησαν ορισμένους πάροχους στη προώθηση του VoLGA (Voice over LTE Generic Access) ως μια ενδιάμεση λύση. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες αρχές στις οποίες βασίστηκε το GAN (Generi Access Network), το οποίο καθορίζει τα πρωτόκολλα μέσω των οποίων ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να πραγματοποιεί τηλεφωνικές κλήσεις χρησιμοποιώντας μια ιδιωτική σύνδεση στο Διαδίκτυο, συνήθως μέσω ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Όμως το VoLGA δεν έτυχε μεγάλης αναγνώρισης, καθώς το VoLTE υποσχόταν μεγαλύτερη ευελιξία υπηρεσιών παρ' όλο το κόστος αναβάθμισης ολόκληρων των υποδομών του δικτύου. Παρ' όλο που η βιομηχανία του LTE φαινομενικά έχει καταλήξει στο VoLTE για μελλοντική υλοποίηση, η ανάγκη για την άμεση και ομαλή πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων, οδήγησε τους παρόχους LTE στην εισαγωγή του CSFB (Circuit Switched FallBack) ως μια προσωρινή λύση. Με αυτό το μηχανισμό, οι συσκευές LTE θα διεκπεραιώνουν τη κλήση μέσω των δικτύων 2G ή 3G για όσο διαρκεί η κλήση.

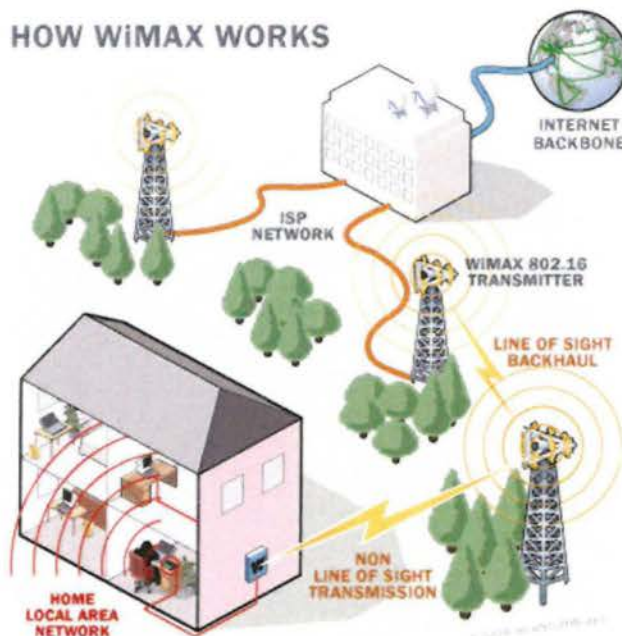
#### **4.4.3 Συχνότητες λειτουργίας του LTE**

Το LTE μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορες συχνότητες. Στη Βόρεια Αμερική, σχεδιάζονται να χρησιμοποιηθούν οι συχνότητες των 700MHz και 1.7GHz. Στην Ευρώπη οι συχνότητες των 800MHz, 1.8 και 2.6 GHz, στην Ασία οι 1.8 και 2.6 GHz και στην Αυστραλία οι συχνότητες στα 2.6 GHz. Ως εκ τούτου, οι τηλεφωνικές συσκευές σε μια χώρα μπορεί να μη λειτουργούν σε μια άλλη. Για την πραγματοποίηση παγκόσμιας περιαγωγής είναι αναγκαία μια τηλεφωνική συσκευή που να μπορεί να συντονιστεί σε πολλαπλές μάντες συχνοτήτων.

#### **4.5 Η τεχνολογία WiMAX**

Η τεχνολογία WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι μια τεχνολογία τηλεπικοινωνιών η οποία προσφέρει ασύρματη μετάδοση δεδομένων δια μέσω πολλών μεθόδων μετάδοσης όπως φορητή ή πλήρως κινητή πρόσβαση στο Internet μέσω συνδέσεων ενός προς πολλών σημείων (point to multipoint links). Η συγκεκριμένη τεχνολογία προσφέρει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων περί τα 72 Mbps χωρίς καμία ανάγκη σε καλωδιακές υποδομές. Το WiMAX ως πρότυπο βασίζεται (όπως είπαμε και προηγουμένως) στο 802.16. Συνήθως ονομάζεται και “Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση” (Broadband Wireless Access). Το WiMAX Forum

προσέδωσε το όνομα στην τεχνολογία αυτή στα μέσα του Ιουνίου του 2001 προκειμένου να υπάρξει συμβατότητα και διαλειτουργικότητα στο πρότυπο 802.16. Στην πραγματικότητα, το WiMAX βασίζεται στα πρότυπα εκείνα που καταστούν εφικτή τη δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων στα επίπεδα των καλωδιακών και των DSL γραμμών. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σχηματικά η λειτουργία του WiMAX.



Εικόνα 4.15: Λειτουργία του δικτύου WiMAX.

Το WiMAX είναι το επόμενο στάδιο ανάπτυξης των ευρυζωνικών συνδέσεων καθώς και ένας ολόκληρος ασύρματος κόσμος, επεκτείνοντας την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε νέες τοποθεσίες και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, μειώνοντας παράλληλα το κόστος της ευρυζωνικότητας. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων όπως το Wireless – Fidelity (Wi – Fi) και το Ultra – Wideband (UWB). Παρέχει μια ασύρματη εναλλακτική λύση στην ενσύρματη “ραχοκοκκαλιά” και διάφορες άλλες υλοποιήσεις οι οποίες μέχρι τώρα χρησιμοποιούσαν παραδοσιακά μεταδόσεις μέσω καλωδίων όπως τα καλωδιακά μόντεμ “Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)”, το Digital Subscriber Line technologies (DSL), τα συστήματα T-carrier και E-carrier (Tx/Ex) και τις τεχνολογίες Optical Carrier Level (OC-x).

Η γενική προσέγγιση ενός ασύρματου μητροπολιτικού δικτύου, όπως προβλέπεται από το 802.16, ξεκινά με αυτό που ονομάζεται “fixed wireless”, δηλαδή σταθερό ασύρματο. Η ραχοκοκκαλιά των σταθμών βάσης είναι συνδεδεμένη με ένα δημόσιο δίκτυο και κάθε σταθμός βάσης μεταφέρει εκατοντάδες συνδρομητές σταθερών βάσεων οι οποίοι μπορεί να είναι είτε δημόσια hotspots, είτε εταιρικά δίκτυα με τείχη προστασίας. Κατά την μετέπειτα ανάπτυξη του 802.16e, το WiMAX αναμένεται να υποστηρίξει ασύρματες μεταδόσεις υψηλών ταχυτήτων απ’ ευθείας στο κινητό τηλέφωνο του τελικού χρήστη, κάτι παρόμοιο δηλαδή με το General Packet Radio Service (GPRS) και το Radio Transmission Technology (RTT) που προσφέρονται

αυτή τη στιγμή από τους παρόχους κινητών επικοινωνιών.

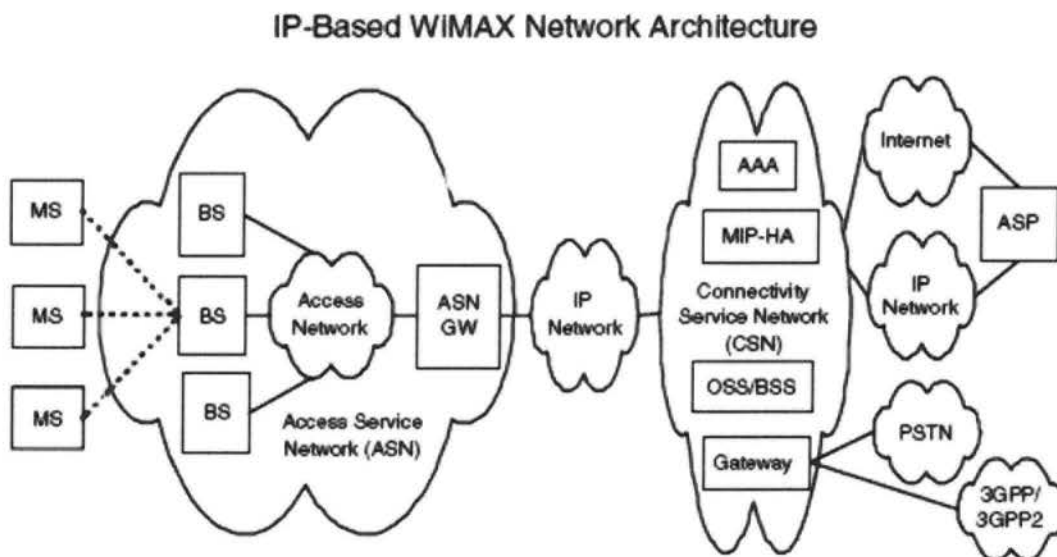
Νέοι οργανισμοί καθώς και μεμονωμένα άτομα συνεχώς υιοθετούν ευρυζωνικές συνδέσεις, ενώ εκείνοι που ήδη τις χρησιμοποιούν γίνονται εξαρτημένοι από αυτές και συνεχώς απαιτούν καλύτερες υπηρεσίες με πρόσθετα πλεονεκτήματα. Για την υποστήριξη λοιπόν αυτής της νέας ζήτησης, το WiMAX έχει αναδειχτεί ως μια πολύ εφικτή λύση, λόγω των εγγενών του -με τις ευρυζωνικές συνδέσεις- χαρακτηριστικών που υπόσχονται πολλά για το μέλλον των ασύρματων επικοινωνιών.

Υπήρξε πολύς ενθουσιασμός για το WiMAX και για το αντίκτυπο που θα έχει στην αγορά ευρυζωνικής πρόσβασης από τη στιγμή που είναι βασισμένο στην ασύρματη δικτυακή τεχνολογία

Όλη αυτή η διαφημιστική εκστρατεία έχει δημιουργήσει μεγάλες προσδοκίες και η βιομηχανία έχει ανταποκριθεί εξαιρετικά και δεσμεύτηκε να προωθήσει την ευρυζωνικότητα σε νέα επίπεδα.

#### **4.5.1 Η αρχιτεκτονική του WiMAX**

Το WiMAX έχει μια ενοποιημένη αρχιτεκτονική προκειμένου να είναι εφικτή η σύνδεση μεταξύ σταθερών και κινητών εφαρμογών που βασίζονται σε IP υπηρεσίες. Στην εικόνα 16 παρουσιάζεται η IP αρχιτεκτονική του δικτύου WiMAX. Γενικά το δίκτυο χωρίζεται σε τρία μέρη, τους κινητούς σταθμούς (MS), οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τον χρήστη για πρόσβαση στο δίκτυο, τις υπηρεσίες πρόσβασης δικτύου (ASN) που περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μία ή περισσότερες πύλες ASN που αποτελούν το σημείο πρόσβασης του δικτύου και τις υπηρεσίες συνδεσιμότητας δικτύου (CSN) οι οποίες παρέχουν την IP συνδεσιμότητα και όλες τις λειτουργίες του IP δικτύου κορμού.



Εικόνα 4.16: Αρχιτεκτονική WiMAX.

Όπως και όλες οι τεχνολογίες δικτύων, έτσι και το WiMAX έχει τα δικά του συστατικά μέρη τα οποία καθορίζουν και τον τρόπο λειτουργίας του. Περιλαμβάνει

ένα σταθμό βάσης (BS), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την παροχή πρόσβασης στους κινητούς σταθμούς, για τη διαχείριση της κίνησης σε επίπεδο κινητών σταθμών, για τη διαχείριση των πόρων της ασύρματης ζεύξης, για την επιβολή QoS, για την ταξινόμηση της κυκλοφορίας του δικτύου, για το DHCP (Dynamic Host Control Protocol), για τη διαχείριση των κλειδιών και για τη διαχείριση της κυκλοφορίας σε περιπτώσεις multicast. Περιλαμβάνει επίσης μια πύλη υπηρεσιών πρόσβασης δικτύου (ASN GW), η οποία λειτουργεί συνήθως ως το δεύτερο στρώμα, ως το σημείο συγκέντρωσης της κυκλοφορίας μέσα σε ένα ASN. Πρόσθετες λειτουργίες οι οποίες μπορεί να είναι τμήμα της πύλης ASN περιλαμβάνουν την ενδο-ASN διαχείριση της τοποθεσίας και της σελιδοποίησης, τη διαχείριση των ασύρματων πόρων και τον έλεγχο των δικαιωμάτων, την προσωρινή αποθήκευση των προφίλ των συνδρομητών και των κλειδιών κρυπτογράφησης, την εγκατάσταση και τη διαχείριση των καναλιών επικοινωνίας με τους Σταθμούς Βάσης, το QoS και την επιβολή πολιτικής, τη διαχείριση της λειτουργικότητας σε αγνώστους συνδρομητές και τη δρομολόγηση σε επιλεγμένα CSN. Το CSN που αναφέρουμε είναι η υπηρεσία συνδεσιμότητας δικτύου η οποία παρέχει συνδεσιμότητα στο Internet, στο ASP, σε άλλα δημόσια δίκτυα και σε εταιρικά δίκτυα. Το CSN ανήκει στο NSP και περιέχει servers οι οποία υποστηρίζουν αυθεντικοποίηση για τις συσκευές, τους χρήστες και συγκεκριμένες υπηρεσίες. Το CSN επίσης παρέχει τη διαχείριση της πολιτικής του QoS και της ασφαλείας για κάθε χρήστη. Το CSN είναι επίσης υπεύθυνο για τη διαχείριση των διευθύνσεων IP, για την υποστήριξη περιαγωγής μεταξύ διαφόρων NSP, για τη διαχείριση της θέσης μεταξύ των ASN.

#### **4.5.2 Τα επίπεδα του WiMAX**

Το WiMax περιγράφεται και υλοποιείται ενδομηματικά με το πρωτόκολλο IEEE 802.16 των ασύρματων δικτύων, όπως και το WiFi υλοποιείται από το πρωτόκολλο IEEE 802.11. Ωστόσο το WiMax λειτουργεί πολύ διαφορετικά από το WiFi.

Αρχικά, έχει ένα επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC layer/Data Link Layer). Στο WiFi το MAC layer (media access controller) χρησιμοποιεί ανταγωνιστική πρόσβαση, δηλαδή όλοι οι συνδρομητές που επιθυμούν να μεταφέρουν δεδομένα μέσω ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης (wireless access point ή AP) συναγωνίζονται συνεχώς για “το ποιος θα τραβήξει την προσοχή του access point”. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να γίνει αιτία ώστε ένας απομακρυσμένος χρήστης από το AP να μην μπορεί επανειλημμένα να αποκτήσει πρόσβαση, ή να διακόπτεται διαρκώς η σύνδεση του εξ αιτίας πιο κοντινών στο AP χρήστες. Έτσι μειώνεται σημαντικά η εκπομπή και η μεταφορά δεδομένων. Επομένως η σύνδεση δεν χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, και εφαρμογές που βασίζονται στην ποιότητα δεν μπορούν να εκτελεστούν σωστά. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η Voice over IP (VoIP) και η IPTV, για τις οποίες η ποιότητα της σύνδεσης είναι κύριο χαρακτηριστικό και καθορίζει, το ποσοστό των δεδομένων που μεταφέρονται και το αν η μεταφορά θα είναι επιτυχής, συνεχής και δε θα διακόπτεται. Αντίθετα το 802.16 MAC χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο για τον οποίο ο συνδρομητής «συναγωνίζεται» μια μόνο φορά (με την αρχική εγγραφή του στο δίκτυο). Από εκεί και έπειτα έχει καθοριστεί ο τρόπος σύνδεσης του από το base station πρόσβασης. Ο χρόνος

σύνδεσης με τον καιρό μπορεί να ποικίλει, είτε να μεγαλώνει είτε να μικραίνει, ωστόσο η σύνδεση θα πραγματοποιείται. Ο αλγόριθμος του πρωτοκόλλου 802.16 είναι αρκετά σταθερός ακόμα και όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και ο αριθμός των συνδεδεμένων συνδρομητών είναι πολύ μεγάλος (αντίθετα με το 802.11). Επίσης μπορεί να είναι ευρυζωνικώς πιο αποτελεσματικός. Ο αλγόριθμος επίσης επιτρέπει στον base station να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) κατανέμοντας το χρόνο που χρειάζεται να διαθέσει για τις διάφορες εφαρμογές των συνδρομητών.

Επίσης, έχει ένα φυσικό επίπεδο. Το αρχικό πρωτόκολλο του WiMax όριζε το WiMax στο εύρος των 10 με 66 GHz. Το πρωτόκολλο 802.16a αναβαθμίστηκε το 2004 σε 802.16-2004 προσθέτοντας προδιαγραφές για το εύρος 2 με 11 GHz. Το 802.16-2004 αναβαθμίστηκε στο 802.16e το 2005 και χρησιμοποιεί τύπο συχνότητας scalable orthogonal frequency-division multiple access (SOFDMA) ο οποίος συγκρούεται με την έκδοση OFDM-256 που χρησιμοποιείται από το 802.16d. Οι πιο εξελιγμένες μορφές πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένου και του 802.16e, χρησιμοποιούν Multiple Antenna Support δια μέσω του συστήματος Multiple-input multiple-output (MIMO) το οποίο παραπέμπει στη χρήση Multiple Antenna και από τον πομπό και από τον δέκτη. Αυτό μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της κάλυψης, της ατομικής εγκατάστασης, της αποτελεσματικής χρήσης και της ευρυζωνικής αποτελεσματικότητας. Το 802.16e προσθέτει την ικανότητα για κάλυψη σε περίπτωση κίνησης του χρήστη. Οικονομικό και εμπορικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στα πρωτόκολλα 802.16d και 802.16e, αφού οι χαμηλότερες συχνότητες όταν χρησιμοποιούνται σε αυτές τις παραλλαγές δεν χαρακτηρίζονται από έμφυτη εξασθένιση του σήματος και γι' αυτό διαθέτουν βελτιωμένο εύρος και ικανότητα στη διαπερατότητα κτηρίων. Ήδη σήμερα, αρκετά δίκτυα ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν για εμπορικούς σκοπούς πιστοποιημένο εξοπλισμό με WiMax, συμβατό με το υποπρωτόκολλο 802.16d.

Ακολουθεί συγκριτικός πίνακας μεταξύ των ασύρματων τεχνολογιών.

Standard	Family	Primary Use	Radio Tech	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Notes
802.16e	WiMAX	Mobile Internet	MIMO-SOFDMA	70	70	Quoted speeds only achievable at very short ranges, more practically 10 Mbps at 10 km.
HIPERMAN	HIPERMAN	Mobile Internet	OFDM	56.9	56.9	
WiBro	WiBro	Mobile Internet	OFDMA	50	50	Mobile range (900 m)
iBurst	iBurst 802.20	Mobile Internet	HC-SDMA	64	64	3-12 km
UMTS W-CDMA HSDPA+HSUPA	UMTS/3GSM	Mobile phone	CDMA/FDD	.384 14.4	.384 5.76	HSDPA widely deployed. Typical downlink rates today 1-2Mbps, ~200kbps uplink; future downlink up to 28.8Mbps.
UMTS-TDD	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/TDD	16	16	Reported speeds according to IPWireless using 16QAM modulation similar to HSDPA+HSUPA
LTE UMS	UMTS/4GSM	General 4G	OFDMA/MIMO/SC-FDMA (HSOPA)	>100	>50	Still in development
1xRTT	CDMA2000	Mobile phone	CDMA	0.144	0.144	Obsoleted by EV-DO
EV-DO 1x Rev. 0 EV-DO 1x Rev.A EV-DO Rev.B	CDMA2000	Mobile Internet	CDMA/FDD	2.45 3.1 4.9xN	0.15 1.8 1.8xN	Rev B note: N is the number of 1.25 MHz chunks of spectrum used. Not yet deployed.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΧΙΩΝ ΣΤΗ 4G ΕΠΟΧΗ**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα 4G δίκτυα είναι –πλέον- ξεκάθαρο πως δεν προορίζονται μόνο για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών μεταγωγής φωνής αλλά για μια γενικότερη και ουσιαστικότερη επικοινωνία μέσω της μεταφοράς κάθε είδους δεδομένων εξυπηρετώντας τις ποικίλες ανάγκες που απορρέουν από τη σύνθετη σύγχρονη δραστηριότητα. Η υπερευρυζωνική αυτή επικοινωνία θα γίνεται σε πολύ υψηλές ταχύτητες με τον τρόπο που συζητήθηκε στις προηγούμενες ενότητες μέσω υπηρεσιών που θα συζητηθούν ακολούθως.

#### **5.1 Βασική ορολογία**

Με τον όρο «υπηρεσία» ονομάζουμε κάθε λειτουργία η οποία προσφέρεται από κάποιον πάροχο προς κάποιο χρήστη.

Με τον όρο «εφαρμογή» ονομάζουμε κάθε προϊόν που αποτελεί αποτέλεσμα προγραμματιστικής διαδικασίας (λογισμικό – software) το οποίο εκμεταλλεύεται ή αξιοποιεί τις υπηρεσίες που παρέχει το δίκτυο.

#### **5.2 Υπηρεσίες δικτύων 4G**

Τα δίκτυα 4G βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να μπορούμε ακόμα να προσδιορίσουμε πλήρως το εύρος των υπηρεσιών που θα δύνανται να παρέχουν στους χρήστες τους. Είναι, όμως, ήδη σαφές πως οι υπηρεσίες αυτές θα ταξινομούνται σε μια από τις τέσσερις κλάσεις υπηρεσιών που υφίστανται ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετούν.

Η πρώτη κατηγορία είναι αυτή των υπηρεσιών πληροφοριών που θα βασίζονται στην περιοχή ή το συνδρομητή (Localized/Personalized Information). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει υπηρεσίες οι οποίες θα παρέχουν στους χρήστες γενικές πληροφορίες, νέα, οικονομικές ειδήσεις, διαδικτυακό εμπόριο καθώς και ταξιδιωτικές υπηρεσίες. Ταυτόχρονα, μέσω αυτών ο χρήστης θα μπορεί να δημιουργήσει το δικό του προσωπικό προφίλ το οποίο θα είναι σταθερό και διαθέσιμο ακόμη και όταν ο

χρήστης χρησιμοποιεί κάποιο άλλο δίκτυο εκτός από αυτό του παρόχου του (υπηρεσία περιαγωγής - roaming). Η πιο διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια παό τις υπηρεσίες που περιλαμβάνονται στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι αυτή του κινητού εμπορίου (M-commerce), μια μετεξέλιξη του ηλεκτρονικού εμπορίου στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων και των κινητών συσκευών. Μελλοντική εξέλιξη του M-commerce είναι το Intelligent shopping μέσω του οποίου θα παρέχονται στους χρήστες πληροφορίες που αφορούν τις αγορές του με ευφυή και αυτόματο τρόπο. Για παράδειγμα, ο χρήστης θα είναι δυνατόν αν ενημερώνεται για τιμές, διαθεσιμότητες προϊόντων και άλλες συναφείς πληροφορίες ανάλογα με τις αγοραστικές του συνήθειες. Επίσης, θα μπορεί να έχει αυτόματη επισκόπηση εμπορευμάτων και τιμών αμέσως μόλις μπει σε ένα κατάστημα χρησιμοποιώντας απλά τη συνδεδεμένη σε 4G δίκτυο συσκευή του.

Ακολουθεί η κατηγορία των υπηρεσιών επικοινωνιών (Comunications) η οποία περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους επικοινωνίας που σήμερα θεωρούνται από παραδοσιακές μέχρι και τετριμμένες, όπως για παράδειγμα την υπηρεσία γραπτών μηνυμάτων (SMS), των μηνυμάτων πολυμέσων (MMS), του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, της τηλεδιάσκεψης, του τηλεομοιοτύπου κτλ. Στην κατηγορία αυτή αναμένεται μελλοντικά μεγάλη βελτίωση αναφορικά με την ταχύτητα και την αξιοπιστία τους. Στη συνέχεια, αναφορικά με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών, αυτή η οποία είναι η πιο αναμενόμενη από όλες είναι η εφαρμογή Tele-presence η οποία συνίσταται από επικοινωνία με τη συμμετοχή όλων των δυνατών αισθήσεων δημιουργώντας στο χρήστη την ψευδαίσθηση της φυσικής παρουσίας σε συγκεκριμένο χώρο. Αυτή η εφαρμογή χρησιμοποιεί υπηρεσίες πραγματικού χρόνου συνδυασμένες με τεχνικές εικονικής πραγματικότητας που θα παρέχει τη δυνατότητα διενέργειας εικονικών meetings όπου νώ η επικοινωνία θα λάμβάνει χώρα μεταξύ ανθρώπων σε διαφορετικούς χώρους, αυτοί θα λαμβάνουν την αίσθηση ότι βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Στην εικόνα 1 φαίνεται μια τέτοια αίθουσα συσκέψεων, η οποία είναι εξοπλισμένη με σύστημα Telepresence και στην εικόνα 2 βλέπουμε την ίδια αίθουσα κατά τη διενέργεια της εικονικής συνάντησης.



Εικόνα 5.1: Αίθουσα για διενέργεια σύσκεψης μέσω υπηρεσίας Telepresence.





Εικόνα 5.2: Η αίθουσα της εικόνας 5.1 κατά τη διενέργεια της σύσκεψης με χρήση της υπηρεσίας Telepresence.

Οι υπηρεσίες επικοινωνιών περιλαμβάνουν επίσης και την επικοινωνία μεταξύ μηχανών (M2M communications), οι οποίες μπορούν να επικοινωνούν είτε για λόγους συντήρησης, είτε για λόγους πρόσθετης νοημοσύνης και λειτουργικότητας.

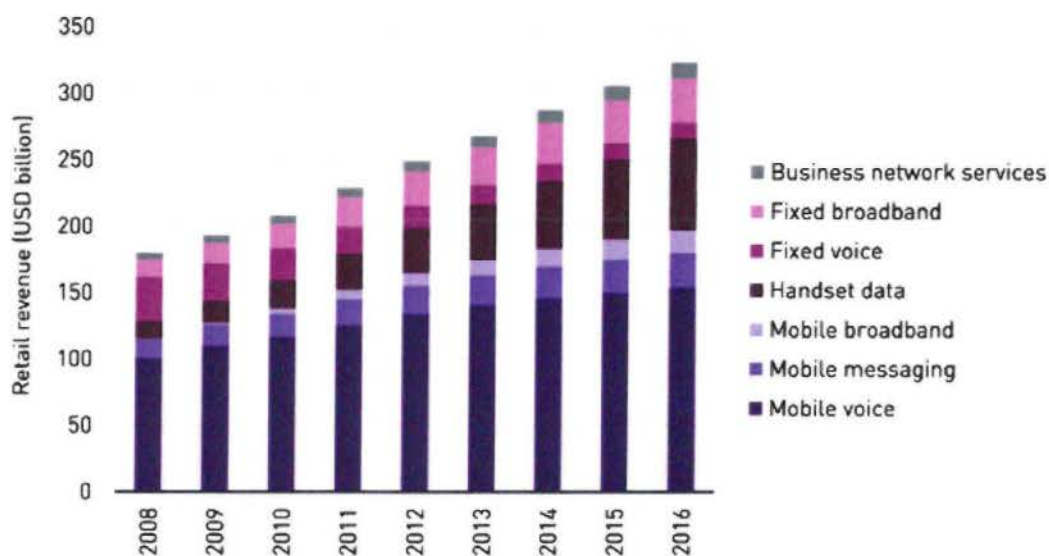
Η τρίτη κατηγορία είναι αυτή των υπηρεσιών οργάνωσης (Organization) οι οποίες δεν περιλαμβάνουν κάτι περισσότερο από εφαρμογές ψηφιακού προσωπικού βοηθού, διαχείρισης εργασιών, προσωπικού χρόνου και επαγγελματικών υποχρεώσεων, τήρηση προσωπικού ημερολογίου, βιβλίου διευθύνσεων και τηλεφώνων και γενικότερα εφαρμογές διαχείρισης οποιουδήποτε τύπου προσωπικής πληροφορίας.

Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τις υπηρεσίες ψυχαγωγίας (entertainment) οι οποίες απασχολούν ιδιαίτερα τα προγραμματιστικά τμήματα των παρόχων εταιριών αφού αποτελούν τα κυριότερα εμπορικά προϊόντα που επιφέρουν άμεση απόσβεση του επενδυμένου κεφαλαίου. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν υπηρεσίες με ροή ήχου, εικόνας και βίντεο, chat και παιχνίδια. Είναι ουσιαστικά αυτή που απαιτεί τη δυνατότητα για στιγμιαία πρόσβαση σε μεγάλο όγκο δεδομένων και οι υπηρεσίες που εντάσσονται στην κλάση αυτή είναι επιρρεπείς σε καθυστερήσεις. Επίσης, η κλάση αυτή απαιτεί τους υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

Στην εικόνα 3 φαίνονται τα πραγματικά στοιχεία αλλά και η πρόβλεψη για τα επόμενα χρόνια αναφορικά με την εμπορική κίνηση των διαφόρων υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού.

Πέρα από την κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών σε αυτές τις τέσσερις μεγάλες κλάσεις, υπάρχουν μερικές μικρότερες κλάσεις οι οποίες λόγω των ιδιαίτερων και μοναδικών χαρακτηριστικών τους είναι διακριτές. Έτσι, υπάρχει η κατηγορία των υπηρεσιών που βασίζονται στη γεωγραφική θέση (Location-based services/Push and pull services). Εδώ βρίσκουμε υπηρεσίες οι οποίες βασίζονται στην ικανότητα του

δικτύου να εντοπίζει τους συνδρομητές. Η ικανότητα αυτή είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη στα 4G δίκτυα λόγω της δυνατότητας λήψης χωρικής πληροφορίας του χρήστη από τη μεριά του δικτύου. Έτσι, αυτός μπορεί να εντοπιστεί είτε βρίσκεται σε ανοιχτό είτε βρίσκεται σε κλειστό χώρο. Επίσης, οι υπηρεσίες νομάζονται push & pull αφού οι χρήστες μπορούν αντίστοιχα να δέχονται την προώθηση πληροφοριών από το δίκτυο ή να αιτούνται τη λήψη τους. Σε αυτές τις υπηρεσίες βασίζονται οι εφαρμογές έκτακτης ανάγκης, όπου για παράδειγμα άτομο το οποίο βρίσκεται σε κίνδυνο αλλά δε μπορεί για κάποιο λόγο να επικοινωνήσει και να αναφέρει τη θέση του μπορεί να λάβει βοήθεια αν χρησιμοποιήσει τη συσκευή του έτσι ώστε να στείλει αυτή την πληροφορία αυτόματα. Οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης θα μπορούσαν να αποτελούν μια επιμέρους υποκλάση με τη συμμετοχή σε αυτή και των υπηρεσιών τηλεϊατρικής όπου το ιατρικό προσωπικό θα μπορεί να έχει πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία ασθενών που βρίσκονται σε απόσταση και να μεταδίδουν πληροφορίες σε απομακρυσμένα νοσοκομεία με σκοπό την καλύτερη διευθέτηση των προβλημάτων υγείας των ασθενών.



Εικόνα 5.3: Εμπορική κίνηση τηλεπικοινωνιακών προϊόντων στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού.

Μια ακόμη από αυτές τις υποκλάσεις είναι αυτή της ασφάλειας. Η ασφάλεια θα αποτελέσει τον αιχμή του δόρατος της νέας αυτής τεχνολογίας αφού η ακεραιότητα των δεδομένων όταν αυτά αφορούν τραπεζικούς λογαριασμούς, ηλεκτρονικές συναλλαγές, θέματα υγείας και άλλα τόσο ευαίσθητα ζητήματα απαιτεί την ανάπτυξη υπηρεσιών ασφαλείας που θα εξασφαλίζουν τη διαφύλαξη παντός είδους προσωπικών δεδομένων.

### 5.3 Ποιότητα υπηρεσιών δικτύων 4G

Στη γλώσσα των τηλεπικοινωνιών, ο όρος «ποιότητα υπηρεσιών» αναφέρεται στη διαφύλαξη των πόρων του συστήματος μέσω ενός μηχανισμού ελέγχου. Έτσι, τα

δεδομένα μπορούν να έχουν μια συνεχή και ανεμπόδιστη ροή προς τον προορισμό τους, με ικανοποιητικό ρυθμό και χωρίς καθυστερήσεις. Έτσι, αυτή η καλή ροή δεδομένων γίνεται αντιληπτή και από το χρήστη ο οποίος έχει το συναίσθημα ότι απολαμβάνει ποιοτικές υπηρεσίες. Η ποιότητα υπηρεσιών, όπως ορίστηκε, είναι ιδιαίτερα σημαντική στις περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως για παράδειγμα σε αυτές που βασίζονται στο πρωτόκολλο VoIP, στα παιχνίδια μέσω διαδικτύου, την προβολή βίντεο και τηλεόρασης και άλλες. Για να γίνει η ποιότητα υπηρεσιών πραγματικότητα, τα δίκτυα δίνουν τη δυνατότητα στους διαχειριστές τους να κατανέμουν σωστά και αποδοτικά τους πόρους τους.

Τα 4G δίκτυα ακολουθούν το δόγμα ABC – Always Best Connected. Λόγω του ετερογενούς τους χαρακτήρα, τα 4G ουσιαστικά παρέχουν μια πλατφόρμα διαχείρισης των διαφόρων τεχνολογιών. Παροχή ποιοτικών υπηρεσιών στο 4G συνεπάγεται την επίλυση πολλών ζητημάτων σε διαφορετικές μεταξύ τους τεχνολογίες και συνεπώς αυτή δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση. Εξαιτίας της πιθανής πετακίνησης του χρήστη από δίκτυο σε δίκτυο κατά τη διάρκεια μιας κλήσης ή του «τρεξίματος» μιας εφαρμογής, η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τον πάροχο της υπηρεσίας τη συγκεκριμένη στιγμή.

Στα 4G δίκτυα, οι χρήστες δε θα απολαμβάνουν μόνο τις υπηρεσίες του παρόχου με τον οποίο έχουν συνάψει συμφωνία αλλά και όλες τις υπηρεσίες όλων των δικτύων και παρόχων που αποτελούν κομμάτι του 4G οικοδομήματος. Έτσι, τα 4G δίκτυα υποστηρίζουν παγκόσμια περιαγωγή σε διάφορα ασύρματα και κινητά δίκτυα προσφέροντας πρόσβαση σε ποικίλες υπηρεσίες, βελτιωμένη κάλυψη και πιο αξιόπιστη πρόσβαση ακόμη και σε περίπτωση βλάβης ενός ή περισσότερων δικτύων.

Η μεγαλύτερη πρόκληση –μετά ίσως την απαίτηση για ασφάλεια- είναι η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε ένα τέτοιο δίκτυο. Αυτό είναι δύσκολο επίτευγμα γιατί δε μιλάμε πια για ενιαίες συνθήκες αλλά για μεταβλητούς ρυθμούς μετάδοσης, μεταβλητά χαρακτηριστικά καναλιών, μεταβλητή κατανομή εύρους ζώνης και γενικότερα απώλεια σταθερών συνθηκών λειτουργίας.

Αναφορικά με την QoS των υπηρεσιών του ετερογενούς αυτού δικτύου, ορίζονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα. Έτσι έχουμε QoS σε επίπεδο πακέτου η οποία αφορά στη μεταβλητότητα καθυστέρησης (jitter), τη ρυθμοαπόδοση (throughput) και το ποσοστό λαθών, QoS σε επίπεδο συναλλαγής η οποία αφορά στο χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί μια συναλλαγή και στο ποσοστό απολεσθέντων πακέτων, QoS σε επίπεδο κυκλώματος που περιλαμβάνει την απόρριψη καινούριων ή ήδη υπάρχοντων κλήσεων και εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του δικτύου να εγκαταστήσει και να διατηρήσει το κύκλωμα σε όλη την έκτασή του και έχουμε, τέλος, QoS σε επίπεδο χρήστη που εξαρτάται από την κινητικότητα του χρήστη και το είδος της εφαρμογής.

Στην περίπτωση των 4G δικτύων είναι σχεδόν απόλυτα σίγουρο πως η επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών από άκρη σε άκρη θα περιλαμβάνει περισσότερα του ενός ασύρματα δίκτυα. Η ποιότητα υπηρεσιών, όμως, εν είναι κοινή για κάθε ένα από αυτά τα δίκτυα. Έτσι, η ποιότητα που αισθάνεται ότι απολαμβάνει ο χρήστης ταυτίζεται με την ελάχιστη υποστηριζόμενη των δικτύων αυτών. Κάθε ασύρματο δίκτυο θα μπορούσε να επικοινωνεί την QoS που υποστηρίζει ώστε να γίνεται αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων του. Η ανταλλαγή αυτών των παραμέτρων

θα μπορούσε να γίνεται μέσω των mobile agents που συζητήθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζει την QoS στα 4G δίκτυα είναι η καθυστέρηση των διαπομπών. Οι διαπομπές απαιτούν ανταλλαγές μηνυμάτων, πολλαπλές προσβάσεις σε βασείς δεδομένων και διαπραγματεύσεις και έτσι κατά τη διενέργεια μιας από αυτές ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί σημαντική μείωση της QoS. Η καθυστέρηση διαπομπών και η μεταβλητότητα της QoS μπορούν να μειωθούν με τη χρήση προσαρμοστικών με τη θέση εφαρμογών.

Υπάρχουν συγκεκριμένα πρωτόκολλα τα οποία έχουν σχεδιαστεί ώστε να ικανοποιούν μι ανεμπόδιστη επικοινωνία μεταξύ χρηστών σε κίνηση με σκοπό την όσο το δυνατόν μικρότερη απώλεια δεδομένων. Τα πρωτόκολλα κινητικότητας είναι τα Mobile IPv6, Hierarchical MIPv6, Fast MIPv6 και μερικά ακόμα τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών. Αυτό που προτείνεται εμπορικά είναι ένας συνδυασμός του πρωτοκόλλου Seamless Mobile IPv6 (SMIPv6) και του πρωτοκόλλου Session Imitation Protocol (SIP).

Όταν ένας χρήστης αλλάζει δίκτυο, λαμβάνουν χώρα δύο διαφορετικών ειδών απώλειες. Η πρώτη είναι απώλεια τμήματος των δεδομένων και είναι αποτέλεσμα του μη ντετερμινιστικού τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το handoff. Η δεύτερη είναι απώλεια των δεδομένων των ακρών και λαμβάνει χώρα μεταξύ των Mobility Anchor Point (MAP) και του MN. Για να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι απώλειες χρησιμοποιούνται διάφορες προσεγγίσεις. Αναφορικά με τη δεύτερη μέθοδο απώλειας δεδομένων, προσπαθούμε να πλησιάσουμε το MN όσο πιο κοντά μπορούμε με το MAP.

Το πρωτόκολλο SIP χρησιμοποιείται για τη διαχείριση διαφορετικών οντοτήτων σε ένα σύστημα όπως ενός τερματικού και μια ζυθηρεσίας. Καθιστά δυνατή την κινητικότητα και διατηρεί τις μεταγωγές πολυμεσικών δεδομένων πραγματικού χρόνου. Το SIP είναι ένα πρωτόκολλο εφαρμογών και γι' αυτό μπορεί να συνεργαστεί τόσο με το IPv4 όσο και με το IPv6. Επίσης συνεργάζεται και με πρωτόκολλα άλλου τύπου όπως για παράδειγμα το Real Time Transport Protocol (RTP).

Υπάρχουν αρκετές στρατηγικές που προτείνονται για την επίτευξη παροχής ποιοτικών υπηρεσιών οι οποίες κάθε φορά εξαρτώνται από το σχεδιαστή του δικτύου. Μια από αυτές είναι ο συνδυασμός των SMIP και SIP, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

## **5.4 Παροχή υπηρεσιών δικτύων 4G στις M2M επικοινωνίες**

Ένα από τα τεχνολογικά πεδία της επιστήμης του Μηχανικού του Αυτοματισμού στο οποίο τα ασύρματα δίκτυα απολαμβάνουν μεγάλης αποδοχής είναι αυτό των machine-to-machine (M2M) επικοινωνιών.

Με τον όρο M2M επικοινωνία ορίζουμε κάθε είδος ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών, μηχανών και τερματικών με αυτόματο τρόπο. Για να επιτευχθεί μια τέτοια

επικοινωνία, θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη υποδομή από άποψης υλισμικού αλλά και το σωστό λογισμικό. Σκοπός της M2M επικοινωνίας είναι η αυτόματη λήψη δεδομένων μέσω συσκευών, δεδομένα τα οποία είτε αποτελούν πληροφορία η οποία αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων ή χρησιμοποιούνται ως παράμετροι για το χειρισμό άλλων συσκευών. Έτσι, για παράδειγμα, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας μπορεί να βρίσκεται σε ένα εξωτερικό χώρο και απλά να καταγράφει τις εξωτερικές θερμοκρασίες μιας γεωγραφικής θέσης για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα της ημέρας αποθηκεύοντάς τα σε μια βάση δεδομένων ή μπορεί να βρίσκεται στο εσωτερικό ενός θερμοστάτη συλλέγοντας την πληροφορία και ανάλογα με τη θερμοκρασία που ανιχνεύει να καθιστά το θερμοστάτη ενεργό ή να τον απενεργοποιεί ανοίγοντας και κλείνοντας αντίστοιχα το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού του σπιτιού.

Στην περίπτωση των M2M επικοινωνιών, ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού αποτελεί το δίαυλο μέσω του οποίου τα συστήματα συσκευών, μηχανών και τερματικών επικοινωνούν μεταξύ τους. Επίσης, στη σύγχρονη εποχή είναι δυνατός ο χειρισμός των M2M συστημάτων από μεγάλη απόσταση, μέσω εφαρμογών εγκατεστημένων σε smartphones και tablets. Οι συσκευές, όμως, αυτές λειτουργούν κατά κύριο λόγο χρησιμοποιώντας κάποιο ασύρματο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Έτσι, είναι σαφές ότι για να υπάρχει ανεμπόδιστη M2M επικοινωνία με συνεχή ροή δεδομένων η οποία να παραμένει αμετάβλητη ως συνάρτηση της κινητικότητας των χρηστών, θα πρέπει να υπάρχει ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών το οποίο να ενοποιεί όλα τα υφιστάμενα δίκτυα και να παρέχει ένα ενιαίο πλάσιο λειτουργίας αυτών. Από όσα έχουν συζητηθεί στο προηγούμενο μέρος της εργασίας, αυτό το ενιαίο δίκτυο επικοινωνιών είναι το 4G δίκτυο.

Το δίκτυο LTE είναι αυτό το οποίο έχει κατακλύσει το χώρο των ασύρματων επικοινωνιών. Βάσει δεδομένων της Παγκόσμιας Ένωσης Προμηθευτών Κινητής Τεχνολογίας (Global Mobile Suppliers Association – GSA), από τον Ιανουάριο του 2012 49 πάροχοι παγκοσμίως διέθεσαν στην αγορά προϊόντα LTE και 285 ακόμα είχαν ήδη ξεκινήσει την κατασκευή παρόμοιου προϊόντος ή είχαν ήδη υπογράψει σχετική συμφωνία. Σύμφωνα με σχετικές εκτιμήσεις, η πρόβλεψη για την πορεία του LTE ήταν να υπάρχουν περισσότερα από 119 εμπορικά προϊόντα σε περισσότερες από 50 χώρες, αριθμοί οι οποίοι ξεπεράστηκαν αφού η εγκαθίδρυση του LTE στον κόσμο των ασύρματων επικοινωνιών ήρθε πιο γρήγορα από το αναμενόμενο. Βέβαια, η εισαγωγή αυτού του δικτύου στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών δεν ήταν «αναίμακτη» αφού έπρεπε να ξεπεράσει όλες τις αμφιβολίες που είχαν εκφραστεί ανάλογα με τη λειτουργία του υπό συγκεκριμένες συνθήκες (ένα παράδειγμα υπήρξαν οι περιοχές μεγάλης πληθυσμιακής πυκνότητας), ωστόσο το LTE κατάφερε να αποτελεί πλέον μια σταθερή παράμετρο των ασύρματων επικοινωνιακών δικτύων.

Ήταν επόμενο, συνεπώς, κάποια στιγμή οι δύο μεγαλύτερες τεχνολογικές τάσεις των επικοινωνιών στις μέρες μας να συναντηθούν. Από τη μια υπάρχουν τα LTE επικοινωνιακά δίκτυα τα οποία προσφέρουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας και από την άλλη υπάρχει ένα μεγάλο εύρος τεχνολογικών εφαρμογών που αφορά στην επικοινωνία συσκευών μεταξύ τους και το οποίο έχει πραγματική ανάγκη από αυτό το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Έτσι, ενώ το LTE έχει καταφέρει να «ξεκλειδώσει» έναν ολοκαίνουριο κόσμο ασύρματων υπηρεσιών, οι επικοινωνίες M2M έρχονται για να

χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες αυτές για την επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ οποιονδήποτε συσκευών, αλλάζοντας άρδην το πρόσωπο της σύγχρονης βιομηχανίας. Οπότε, αφού αυτές οι δύο τεχνολογίες έχουν καταφέρει μέχρι σήμερα δύο αξιοσημείωτες αλλά χωριστές πορείες, ήρθε πλέον το πλήρωμα του χρόνου ώστε οι τροχιές τους να συναντηθούν επωφελώντας τη λειτουργία των συσκευών και την ποιότητα και το εύρος των παρεχόμενων υπηρεσιών. Βέβαια, υπάρχουν M2M εφαρμογές οι οποίες δεν απαιτούν τις τόσο υψηλές ταχύτητες που παρέχει το LTE. Ωστόσο, υπάρχει η έντονη πεποίθηση πως το LTE μόνο ευεργετικ'όλογο μπορεί να παίξει ακόμα και στην περίπτωση αυτών των υπηρεσιών εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν προσφέρει απλά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων αλλά και μεγαλύτερο εύρος ζώνης, μεγαλύτερη σταθερότητα και υψηλότερο επίπεδο υπηρεσιών. Έτσι, θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να μελετήσουμε την προσπάθεια σύμπλευσης M2M επικοινωνιών και LTE δικτύων.

#### **5.4.1 Αναγκαιότητα χρήσης του LTE στις M2M επικοινωνίες**

Πριν μελετήσουμε τους λόγους για τους οποίους προτείνουμε την εισαγωγή των LTE δικτύων στις εφαρμογές αυτοματων M2M συστημάτων θα πρέπει να διακρίνουμε τις εφαρμογές αυτές σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη από αυτές είναι η κατηγορία όπου έχουμε πραγματικά μεγάλη ανάγκη από τις υψηλές επιδόσεις των δικτύων LTE και η δεύτερη είναι αυτή όπου οι ανάγκες για συνδεσιμότητα και δικτυακή υποστήριξη είναι πιο συντηρητικές. Περιληπτικά, για αυτές τις δύο κατηγορίες, μπορούμε να πούμε ότι:

- M2M εφαρμογές υψηλών επιδόσεων: Σε αυτή την κατηγορία υπάρχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών με κύριους αντιπροσώπους τις εφαρμογές που απαιτούν τη διαχείριση κυρίως βίντεο. Αυτή η κατηγορία επωφελείται αμέσως από τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων οι οποίοι είναι μέχρι και 2 τάξεις μεγέθους υψηλότεροι από αυτούς των δικτύων 2G. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι τα συστήματα παρακολούθησης εγκαταστάσεων και αυτά που μεταδίδουν εικόνα σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, στην συγκεκριμένη περίπτωση τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιούν την εικόνα ως είσοδο σε κάποια υπολογιστική διαδικασία. Παράδειγμα είναι η εφαρμογή που χρησιμοποιεί τη μετάδοση εικόνας για να τρέξει έναν αλγόριθμο αναγνώρισης της ηλικίας και του φύλου του ατόμου και να παρέχει σε αυτό τη διαφήμιση κάποιου προϊόντος το οποίο θεωρείται καταλληλότερο για την ηλικία του και τα ενδιαφέροντα του. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα του LTE σε αυτή την περίπτωση ξεπερνούν τα στενά όρια των απλά υψηλών ταχυτήτων. Το LTE προσφέρει 10 φορές μικρότερο χρόνο αποστολής δεδομένων μεταξύ πομπού και δέκτη απ'ότι τα 2G και 3G δίκτυα προσφέροντας ευνοήτη αναβάθμιση στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Για παράδειγμα, υπάρχουν εφαρμογές M2M όπου η απόκριση του συστήματος είναι υψηλής σημασίας (π.χ. στα συστήματα που ελέγχουν συναγερμούς σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στα συστήματα ρύθμισης της οδικής κυκλοφορίας και αλλού). Στην περίπτωση αυτών των εφαρμογών, το LTE παρέχει υπηρεσίες που τα υπόλοιπα –προϋπάρχοντα– δίκτυα δε μπορούσαν. Είναι αναμενόμενο πως όσο εξελίσσεται η τεχνολογία

LTE και κατ'επέκταση των δικτύων 4G, τόσο θα αυξάνεται το εύρος αυτών των υψηλής επίδοσης εφαρμογών.

- M2M εφαρμογές χαμηλών ταχυτήτων: Πολλές από τις εφαρμογές της σύγχρονης M2M τεχνολογίας δεν απαιτούν τις υψηλές επιδόσεις του LTE. Και επειδή το κόστος εγκατάστασης και χρήσης ενός συστήματος LTE είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των δικτύων 3G και 4G είναι δύσκολο να πεισθεί ο έμπορος της υπηρεσίας ή ο μηχανικός του αυτοματισμού να συνδέσει την εφαρμογή αυτή με ένα τέτοιο δίκτυο. Ωστόσο, σε βάθος χρόνου αποδεικνύεται ότι υπάρχουν πολύ καλοί εμπορικοί λόγοι για τους οποίους είναι σωστό να χρησιμοποιηθεί το LTE ακόμη και στην περίπτωση αυτών των εφαρμογών. Αυτοί οι λόγοι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

---

## ΛΟΓΟΙ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ LTE ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ M2M

---

### Μακροβιότητα

Σημαντικό προνόμιο όσον αφορά συστήματα τα οποία επθυμούμε να έχουν διάρκεια στο χρόνο. Υπάρχουν συστήματα τα οποία έχουν ελάχιστο χρόνο ζωής τα 10 χρόνια, παράδειγμα αποτελούν τα βιομηχανικά M2M συστήματα. Και ενώ αυτά τα συστήματα θα λειτουργούσαν άριστα υπό τις συνθήκες ενός 2G δικτύου, η τεχνολογία έχει αρχίσει να απομακρύνεται από αυτά με αποτέλεσμα να μην είναι βέβαιο πως θα βρίσκονται στο προσκήνιο των ασύρματων επικοινωνιών τα επόμενα 10 χρόνια. Είναι δύσκολο να γίνει κάποια ακριβής πρόβλεψη αναφορικά με τις τάσεις χρήσης των εκάστοτε δικτύων οπότε είναι πιο ασφαλές να προτιμούμε –πλέον– δίκτυα τα οποία γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι δε θα έχουν εξαφανιστεί στο χρονικό διάστημα που μας αφορά.

### Πιθανά χαμηλότερα κόστη

Το LTE προσφέρει πιθανή μείωση του μακροπρόθεσμου κόστους ενός M2M συστήματος. Αυτό αρχικά απορρέει αρχικά από την παραπάνω τονισθεία μακροβιότητα του LTE κατά την οποία υπάρχει μια σημαντική βεβαιότητα πως δε θα χρειαστεί να γίνει αναβάθμιση του ασύρματου δικτύου που χρησιμοποιείται μέσα στη χρονική διάρκεια που αναμένεται να λειτουργήσει ένα M2M σύστημα. Επίσης, η LTE τεχνολογία ως IP-based χρησιμοποιεί έναν απλό IP πυρήνα με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η εγκατάστασή του, η λειτουργία του και η συντήρησή του. Έχει ευέλικτο φάσμα που μπορεί και περιλαμβάνει μεγάλο εύρος ζωνών. Τέλος, έχει μεγάλη χωρητικότητα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επιφέρουν

---

---

μείωση στο κατά κεφαλή κόστος, στο λειτουργικό κόστος και κατ'επέκταση στο κόστος που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής.

#### **Επεκτασιμότητα**

Είναι εξαιρετικά επεκτάσιμο, σε αντίθεση βέβαια με τα 2G και 3G. Επειδή γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου IPv6 για την απόδοση IP διευθύνσεων, αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού τα παγκόσμια αποθέματα σε IP διευθύνσεις μειώνονται ραγδαία. Μέσω του IPv6 είναι δυνατή η επέκταση αυτών των διευθύνσεων, κάνοντας το όραμα του “Internet of Things” να μοιάζει εφικτό.

#### **Υψηλότερες επιδόσεις**

Ιδανική λύση για υψηλής απόδοσης εφαρμογές.

---

Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση οποιασδήποτε άλλης τεχνολογικής εξέλιξης η οποία χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα για να εγκαθιδρυθεί στην κοινή συνείδηση, εμφανίζεται κάποια αδράνεια στην ενσωμάτωση του LTE στο χώρο των M2M επικοινωνιών. Η αδράνεια αυτή οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι πως η κάλυψη του δικτύου LTE αναφορικά με τη γεωμετρία έχει σημαντική διακύμανση, είδαμε άλλωστε και ανάλογο χάρτη σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό είναι, φυσικά, αναμενόμενο αφού αποτελεί νέα τεχνολογία και παρά το γεγονός ότι εξελίσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς, δεν είναι ακόμα πανταχού παρούσα όπως είναι για παράδειγμα τα δίκτυα δεύτερης και τρίτης γενιάς. Επίσης αυτή η δυναμική των LTE δικτύων στην εποχή μας δε μπορεί να δείξει το που θα ισορροπήσει η κάλυψη των δικτύων τόσο γεωγραφικά όσο και από άποψη έντασης με αποτέλεσμα να μη γνωρίζει ο σχεδιαστής ενός συστήματος αν το M2M σύστημα του θα έχει LTE κάλυψη στο μέρος που θα εγκατασταθεί και τι επιπέδου θα είναι αυτή. Ο δεύτερος λόγος που η αφομοίωση της LTE τεχνολογίας γίνεται με αργούς ρυθμούς είναι τα κόστη που τη συνοδεύουν. Αυτά είναι σημαντικά στην περίπτωση των εφαρμογών που δεν απαιτούν δίκτυα υψηλών αποδόσεων αφού επιβαρύνονται ουσιαστικά με ένα κόστος εξοπλισμού τον οποίο όμως δεν έχουν απόλυτη ανάγκη. Τα κόστη αυτά είναι υψηλά αυτή τη στιγμή για τον ίδιο λόγο, για το γεγονός ότι το οικοδόμημα του LTE είναι νεοσύστατο με αποτέλεσμα η αντίστοιχη τεχνολογία να χαρακτηρίζεται ως αιχμής και να είναι ακριβή. Έτσι, πολλοί από τους σχεδιαστές εφαρμογών έχουν την πεποίθηση πως το LTE είναι κάτι που δεν αρμόζει στις δικές τους ανάγκες και το απορρίπτουν.

Αναμένεται πως τα εμπόδια αναφορικά με την αποδοχή του LTE στα συστήματα αυτόματης επικοινωνίας μεταξύ μηχανών θα ξεπεραστούν με το πέρασμα του χρόνου. Για παράδειγμα, τα κόστη είναι δεδομένο πως θα μειωθούν, όπως συμβαίνει και με όλες τις τεχνολογίες. Επίσης, η το αίτημα για πλήρη κάλυψη θα ικανοποιηθεί τουλάχιστον για τις περιοχές που υπάρχει σημαντική ανθρώπινη δραστηριότητα. Μι Τρίτη λύση είναι η χρήση του LTE σε αμηλότερες ζώνες συχνότητας, για παράδειγμα στα 700 MHz. Στην περίπτωση αυτή τα LTE δίκτυα μπορεί να αποδειχθούν καλύτερα για χρήση συστημάτων αυτοματισμού εσωτερικού χώρου σε σύγκριση για παράδειγμα με το υψίσυχο 3G δίκτυο.



Ωστόσο, γίνονται σημαντικές προσπάθειες από τους διαχειριστές των δικτύων, έτσι ώστε τα LTE δίκτυα να γίνουν πιο πειθήνια στις εφαρμογές M2M επικοινωνίας κάθε είδους. Ας δούμε μερικές από αυτές τις προσπάθειες:

- Μείωση του συνοδεύοντος κόστους: Το πιο πιθανό είναι πως το LTE είναι ένα πολύ πολυπλοκότερο σύστημα τόσο σε σχέση με το 2G όσο και σε σχέση με το 3G και αυτή η κατάσταση θα παραμείνει για πάντα έτσι. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα αυτή είναι που ανεβάζει τα κόστη της τεχνολογίας αυτής και γι' αυτόν τον τρόπο οι σχεδιαστές των συστημάτων προσπαθούν να εξομαλύνουν τις διαφορές αυτές. Ένας τρόπος που χρησιμοποιείται από πολλές εταιρίες προς αυτή την κατεύθυνση είναι η χρήση στοιχείων τεχνολογίας τα οποία να μπορούν να επιτρέπουν στα modem και τις κεραίες να χρησιμοποιούν περισσότερες κι πιο ευρείες ζώνες συχνοτήτων με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η διαχείριση των σύγχρονων δικτύων LTE. Ιδανικά, με αυτόν τον τρόπο γίνεται προσπάθεια εκμηδενισμού των πολλαπλών φίλτρων που έχουν ανάγκη και συνεπώς να μειώνεται και το κόστος της συσκευής. Πρέπει βέβαια κανείς να αναγνωρίσει πως το κόστος των υλικών είναι ένα μόνο μέρος του συνολικού κόστους ενός συστήματος M2M, το οποίο σύμφωνα με μελέτες είναι μόνο της τάξης 5-15%. Αυτό που αυξάνει σε τόσο μεγάλο ποσοστό το κόστος του υλικού είναι τα λειτουργικά κόστη καθώς και τα κόστη συντήρησης. Οι πρωτοπόροι από του παρόχους LTE καταβάλουν σημαντικές προσπάθειες έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος αυτό κατασκευάζοντας προϊόντα τα οποία να είναι οικονομικά στην ανάπτυξη, τη χρήση και τη συντήρηση. Ένα παράδειγμα είναι αυτό όπου κατασκευάζονται λειτουργικά συστήματα που αποσκοπούν στην απλοποίηση της διαδικασίας ανάπτυξης εφαρμογών M2M παρέχοντας όλες τις πιθανές υπηρεσίες ασύρματης σύνδεσης, υποστήριξη του πρωτοκόλλου TCP/IP και το απαραίτητο υλισμικό για εφαρμογές M2M χωρίς να χρειάζεται επιπλέον επεξεργαστής. Ένα από αυτά τα προϊόντα είναι το Open AT της Sierra Wireless.



Εικόνα 5.4: Το Open AT της Sierra Wireless.

- Βελτίωση του LTE έτσι ώστε να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες στα πλαίσια των M2M εφαρμογών. Αυτή η προσπάθεια αφορά τις εφαρμογές που δεν

απαιτούν υψηλές επιδόσεις και έχει την απαρχή της στη συνειδητοποίηση πως αυτού του τύπου οι εφαρμογές είναι πολύ μεγάλο μέρος της εμπορικής κίνησης των M2M εφαρμογών αλλά παρ'όλα αυτά το LTE δεν είναι το κατάλληλο δίκτυο για την εξυπηρέτησή τους. Αυτή τη στιγμή βρίσκονται υπό κατασκευή συγκεκριμένες συσκευές μικρού κόστους οι οποίες θα λειτουργούν σε ρυθμούς χαμηλότερους από 1 Mbps και θα χρησιμοποιούν ένα μόνο μικρό μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Θα καταναλώνουν πολύ λίγη ενέργεια κατά τη μετάδοση δεδομένων και το υλισμικό τους θα είναι αρκετά οικονομικό. μόλις οι συσκευές αυτές γίνουν πραγματικότητα, τότε οι σχεδιαστές M2M συστημάτων θα μπορούν να αναπτύξουν εφαρμογές χαμηλών αναγκών οι οποίες θα μπορούν να επωφελούνται από το LTE δίκτυο με λιγότερα κομμάτια υλισμικού, μικρότερη πολυπλοκότητα και χαμηλότερο κόστος χωρίς όμως να γίνονται εκπτώσεις στην κάλυψη του δικτύου.

- Βελτίωση της αποδοτικότητας και της επίδοσης του δικτύου. Είναι γεγονός ότι μεγάλο ποσοστό των ενδιαφερόμενων γύρω από τα LTE δίκτυα ανησυχεί για τα προβλήματα συμφόρησης τα οποία θα εμφανίζονται όταν πολύ μεγάλος αριθμός συσκευών θα προσπαθεί ταυτόχρονα να συνδεθεί στο δίκτυο αυτό. Μπορεί στην περίπτωση των τριτοκλάσων οικιακών M2M εφαρμογών αυτή η ανησυχία να μην είναι ιδιαίτερης σημασίας. Ωστόσο, στην περίπτωση των βιομηχανικών ή και των ενεργειακών M2M συστημάτων όπου μεγάλος αριθμός συσκευών σε μια πολύ μικρή γεωγραφική περιοχή συνδέεται ταυτόχρονα στο ίδιο δίκτυο, το πρόβλημα γίνεται μεγάλο. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η δημιουργία ενός προτύπου το οποίο θα ταξινομεί τις συσκευές ανάλογα με την προτεραιότητα που έχουν κατά τη σύνδεσή τους στο δίκτυο και να εμποδίζει αυτές που είναι μικρότερης προτεραιότητας να προσπαθούν συνεχώς να συνδεθούν σε αυτό όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Επίσης, είναι υπό κατασκευή ενός συστήματος το οποίο σε δεδομένες χρονικές στιγμές ή ανάλογα με την εργασία που βρίσκεται υπό εξέλιξη θα απαγορεύει σε κάθε συσκευή μικρής προτεραιότητας να βρίσκεται συνδεδεμένη στο δίκτυο. Μια ακόμη αποφυγή αυτής της συμφόρησης είναι μέσω της απαγόρευσης σύνδεσης σε τερματικά που χρησιμοποιούν την υπηρεσία περιαγωγής. Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, πως όλες αυτές οι εξελίξεις θα μπορούσαν αν εφαρμοστούν στα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών οποιασδήποτε τεχνολογίας. Ωστόσο, είναι πιο πιθανό να εμφανιστούν στα LTE και τα 4G γιατί σε αυτά έχουν επενδυθεί τεράστια ποσά για την έρευνα και τη βελτίωσή τους.
- Ενεργειακή αποδοτικότητα: Οι εταιρίες που αναπτύσσουν LTE προϊόντα προσπαθούν να βελτιώσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα των M2M συστημάτων. Σε κανονική ασύρματη λειτουργία υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας των λειτουργιών λήψης, αφού είναι αποδεκτό για μια M2M συσκευή να χρειάζεται ακόμη και αρκετά λεπτά για να συνδεθεί στο δίκτυο μετά από κλήση του από το σύστημα.

Κλείνοντας, μπορούμε να πούμε πως είναι κοινά αποδεκτό πως οι συσκευές ή τα συστήματα που συνδέονται σε δίκτυο υπόσχονται να φέρουν επανάσταση στο χώρο της ασύρματης τεχνολογίας είτε αυτή αφορά εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων είτε χαμηλών.

## **ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ**

### **Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ 4G ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Στην ελληνική αγορά, οι δύο πάροχοι που προσφέρουν 4G προϊόντα είναι η Cosmote και η Vodafone.

Η Cosmote παρουσίασε πρώτη φορά το 4G δίκτυό της τον Οκτώβριο του 2012 μετά από δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες. Το δίκτυο αυτό είναι τύπου 4G/LTE και μελετήθηκε από την εταιρία από το 2010 μέχρι τις 15 Οκτωβρίου του 2012, οπότε και δόθηκε στην αγορά. Βασική προϋπόθεση για την εκμετάλλευση του εμπορικού προϊόντος αυτού υπήρξε η κατοχή 4G smartphone ή η προμήθεια του ειδικού 4G USB στικ της εταιρίας ενώ για περιορισμένο χρονικό διάστημα το δίκτυο ήταν ελεύθερο από χρεώσεις. Το 4G δίκτυο της Cosmote στήθηκε πάνω στο 2G και το 3G και εξυπηρετείται από τους ίδιους σταθμούς βάσης και τις ίδιες κεραίες. Ο εξοπλισμός που προστέθηκε αφορά στο λεκανοπέδιο της Αττικής και την πόλη της Θεσσαλονίκης ενώ η εταιρία υποσχέθηκε βελτιώσεις και στην υπόλοιπη περιφέρεια. Μέσα σε λίγους μήνες από την εμπορική διάθεση του προϊόντος, η Cosmote πέτυχε πληθυσμιακή κάλυψη μεγαλύτερη του 80% στην Αθήνα και του 90% στη Θεσσαλονίκη, με την υπηρεσία Cosmote 4G να είναι διαθέσιμη σε 40 μεγάλες πόλεις της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας.



Εικόνα Ε.1: Η κάλυψη του Cosmote 4G, όπως τη δημοσιεύει η εταιρεία.

Την ίδια στιγμή, η εταιρία δηλώνει ότι οι μέσες ταχύτητες του 4G δικτύου της είναι έως και 4 φορές υψηλότερες από τις αντίστοιχες 3G, οι οποίες –όπως δηλώνει η Cosmote- είναι της τάξης των 8Mbps.

Στην αντίπερα όχθη, η Vodafone είχε ανακοινώσει από τα τέλη του 2012 μια μέθοδο πρόσβασης στο Internet μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας τέταρτης γενιάς χωρίς όμως να προωθήσει στην αγορά κάποιο συγκεκριμένο εμπορικό προϊόν 4G. Αυτό έγινε τον Οκτώβρη του 2013 οπότε και ανακοίνωσε το Vodafone 4G/LTE το οποίο – όπως άλλωστε και η Cosmote- διατέθηκε αρχικά στην αγορά χωρίς επιπλέον χρεώσεις. Η κάλυψη του δικτύου της περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης καθώς και μεγάλες πόλεις όπως η Λαμία, η Πάτρα, η Τρίπολη και άλλες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Νικητόπουλος Δ., Παρακολούθηση επίδοσης ασύρματων ετερογενών δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς – Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2010
2. Μπομποτής Α., Προσομείωση και εκτίμηση απόδοσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας 4<sup>ης</sup> γενιάς – Πτυχιακή Εργασία, Λάρισα 2011
3. Τεντζέρης Μ., Ασύρματα συστήματα 3<sup>ης</sup> (3G) και 4<sup>ης</sup> (4G) γενιάς: Προκλήσεις του μέλλοντος, 2001
4. Glisic S., Advanced Wireless Networks: Cognitive, Cooperative and Opportunistic 4G Technology, 2nd Edition, Wiley 2009
5. Sauter M., 3G, 4G and Beyond: Bringing Networks, Devices and the Web Together, Wiley 2013
6. Dahlman E., Parkvall S. & Skold J., 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, 2013
7. [www.cosmote.gr](http://www.cosmote.gr)
8. [www.vodafone.gr](http://www.vodafone.gr)