



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**  
*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*  
**ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ**  
**ΔΙΚΤΥΩΝ**

---

*ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ*  
*ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ*  
*1G-5G*

---

**ΣΠΑΝΟΥΔΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ**

**5894**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2017**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	I
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 ΠΡΙΝ ΤΑ ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΚΕΛΙΑ .....	7
1.2 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΚΕΛΙΑ .....	9
1.2.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ.....	11
1.2.2 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	11
1.3 ΔΙΚΤΥΟ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: 0G.....	14
2.1 ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΦΩΝΟ .....	15
2.1.1 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	15
2.1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ.....	15
2.1.3 ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΚΛΗΣΗ .....	16
2.2 MTS.....	17
2.3 IMTS.....	17
2.3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ .....	18
2.3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ .....	18

2.4	ALTAI.....	19
2.5	ARP .....	19
2.6	ARM .....	20
2.7	B-NETZ.....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: 1G.....</b>		<b>23</b>
3.1	ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ .....	24
3.2	NMT .....	25
3.2.1	ΙΣΤΟΡΙΑ .....	25
3.2.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	26
3.2.3	ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	26
3.2.4	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	27
3.3	AMPS.....	27
3.3.1	ΙΣΤΟΡΙΑ .....	27
3.3.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	28
3.4	NTT .....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: 2G.....</b>		<b>30</b>
4.1	2.5G (GPRS) .....	32
4.2	2.75G (EDGE).....	33
4.3	ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΗΜΑ .....	33
4.3.1	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΑ .....	34

<b>4.4 GSM.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4.1 ΙΣΤΟΡΙΑ .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.2 ΜΟΝΑΔΑ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ .....</b>	<b>37</b>
<b>4.5 GPRS .....</b>	<b>37</b>
<b>4.5.1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5.2 ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5.3 ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ .....</b>	<b>38</b>
<b>4.6 EDGE.....</b>	<b>39</b>
<b>4.6.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>39</b>
<b>4.7 SMS .....</b>	<b>39</b>
<b>4.8 MMS .....</b>	<b>40</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: 3G.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 UMTS.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 3.5G (HSPA) .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2.2 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ (HSDPA) .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.3 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ (HSUPA).....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2.5 ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (HSPA +).....</b>	<b>49</b>
<b>5.3 3.75G (E-HSPA) .....</b>	<b>49</b>

<b>5.4 CDMA</b> .....	<b>50</b>
5.4.1 ΙΣΤΟΡΙΑ .....	50
5.4.2 ΧΡΗΣΕΙΣ.....	51
<b>5.5 CDMA2000</b> .....	<b>51</b>
<b>5.6 3GPP</b> .....	<b>52</b>
5.6.1 ΙΣΤΟΡΙΑ .....	52
<b>5.7 3GPP2</b> .....	<b>53</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: 4G</b> .....	<b>54</b>
<b>6.1 LTE</b> .....	<b>62</b>
6.1.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....	62
6.1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ .....	63
6.1.3 LTE-TDD ΚΑΙ LTE-FDD .....	64
6.1.3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΟΥ LTE-TDD .....	64
6.1.4 LTE DIRECT .....	65
6.1.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	65
<b>6.2 LTE ADVANCED</b> .....	<b>66</b>
6.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	66
6.2.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	67
6.2.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ .....	67
<b>6.3 LTE ADVANCED PRO</b> .....	<b>67</b>
<b>6.4 MIMO</b> .....	<b>68</b>
6.4.1 ΙΣΤΟΡΙΑ .....	68

6.4.1.1 ΠΡΟΩΡΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	68
6.4.1.2 ΕΦΕΥΡΕΣΗ.....	69
6.4.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ .....	69
6.4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ.....	70
6.4.4 ΜΙΜΟ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ (MU-MIMO).....	70
6.4.5 ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΤΙΚΟ ΜΙΜΟ (CO-MIMO).....	70
6.5 WIMAX.....	71
6.5.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ WIMAX.....	7ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
6.5.2 ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ INTERNET .....	71
6.5.3 MOBILE WIMAX.....	71
6.5.4 TRIPLE-PLAY.....	72
6.6 IMT ADVANCED.....	72
6.6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ .....	72
6.6.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ .....	72
6.6.3 ΥΠΟΨΗΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	73
6.6.3.1 LTE ADVANCED .....	73
6.6.3.2 WIMAX RELEASE 2 .....	73
6.7 OFDMA.....	73
6.7.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	74
6.7.1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ OFDM.....	74
6.7.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ OFDMA.....	74
6.7.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ OFDMA .....	74
6.7.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	75
6.8 IEEE .....	75
6.8.1 ΙΣΤΟΡΙΑ .....	76

<b>6.9 IP.....</b>	<b>76</b>
<b>6.10 IPv6 .....</b>	<b>76</b>
<b>6.10.1 ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ.....</b>	<b>77</b>
<b>6.10.1.1 IPv4.....</b>	<b>77</b>
<b>6.10.1.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ IPv4.....</b>	<b>77</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: 5G.....</b>	<b>79</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: 6G.....</b>	<b>84</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>87</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>93</b>



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

---

## 1.1 Πριν Τα Κυψελωτά Κελιά

Τα κινητά ραδιοτηλεφωνικά συστήματα ήταν ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα που προηγήθηκαν της σύγχρονης κυψελοειδούς κινητής τηλεφωνικής τεχνολογίας. Δεδομένου ότι ήταν οι προκάτοχοι της πρώτης γενιάς κυψελοειδών τηλεφώνων, τα συστήματα αυτά αναφέρονται μερικές φορές αναδρομικά ως συστήματα προ-κυτταρικής (ή μερικές φορές μηδενικής παραγωγής, δηλαδή, 0G). Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα προ-κυψελοειδή συστήματα περιλάμβαναν το Push to Talk (PTT ή χειροκίνητο: είναι μια μέθοδος για να υπάρχει συνομιλία μεταξύ γραμμών αμφίδρομης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένου του αμφίδρομου ραδιοφώνου, χρησιμοποιώντας ένα στιγμιαίο κουμπί για τη μετάβαση από τη λειτουργία φωνητικής λήψης στον τρόπο μετάδοσης), το κινητό τηλεφωνικό σύστημα (MTS), την βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (IMTS) και τα συστήματα προηγμένων κινητών τηλεφωνικών συστημάτων (AMTS). Αυτά τα πρώιμα συστήματα κινητής τηλεφωνίας μπορούν να διακριθούν από τα παλαιότερα κλειστά συστήματα ραδιοτηλεφώνων, δεδομένου ότι ήταν διαθέσιμα ως εμπορική υπηρεσία που ανήκε στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής με τους δικούς τους τηλεφωνικούς αριθμούς και όχι ως τμήμα κλειστού δικτύου, ή το σύστημα αποστολής ταξί.

Αυτά τα κινητά τηλέφωνα ήταν συνήθως τοποθετημένα σε αυτοκίνητα ή φορτηγά, αν και τα μοντέλα χαρτοκιβωτίων έγιναν επίσης. Συνήθως, ο πομποδέκτης (πομπός-δέκτης) τοποθετήθηκε στον κορμό του οχήματος και προσαρτήθηκε στο "κεφάλι" (dial, οθόνη και φορητό ακουστικό) τοποθετημένο κοντά στο κάθισμα του οδηγού.

Πωλούνταν μέσω των εταιρειών τηλεφωνικών συνδιαλέξεων (Wireline Common Carriers), των RCCs (ραδιοφωνικοί μεταφορείς) και των αμφίδρομων ραδιοφωνικών αντιπροσώπων.

Κάνοντας μία ιστορική αναδρομή στην πρώτη φορά που προτάθηκαν σαν ιδέα τα εξαγωνικά κελιά για κινητά τηλέφωνα τον Δεκέμβριο του 1947 από τους Douglas H. Ring και W. Rae Young, μηχανικούς στη Bell Labs. Η Bell Labs (πρώην AT & T Bell

Laboratories, Bell Telephone Laboratories και Bell Labs) είναι μια αμερικανική εταιρεία έρευνας και τεχνολογίας που ανήκει στην φινλανδική εταιρεία Nokia. Σε αυτό το στάδιο, η τεχνολογία για την υλοποίηση αυτών των ιδεών δεν υπήρχε, αλλά ούτε είχαν καταφέρει να φτάσουν στις απαραίτητες συχνότητες. Αφού πέρασαν δύο δεκαετίες οι Richard H. Frenkiel, Joel S. Engel και Philip T. Porter, της Bell Labs επίσης, διατύπωσαν τις πρώτες προτάσεις με ένα πολύ πιο λεπτομερές σχέδιο συστήματος. Τότε, ο Porter πρότεινε για πρώτη φορά να χρησιμοποιηθούν οι πύργοι των κυψελών στις υπάρχουσες και γνωστές κατευθυντήριες κεραίες με σκοπό να μειωθούν οι παρεμβολές και να αυξηθεί η επαναχρησιμοποίηση των καναλιών. Ο Porter επίσης εφηύρε τη μέθοδο dial-then-send που χρησιμοποιείται από όλα τα κινητά τηλέφωνα για να μειωθεί η σπατάλη χρόνου του καναλιού.

Σε όλα αυτά τα πρώτα παραδείγματα, ένα κινητό τηλέφωνο έπρεπε να παραμείνει εντός της περιοχής κάλυψης που εξυπηρετείται από έναν σταθμό βάσης κατά τη διάρκεια της τηλεφωνικής κλήσης, δηλαδή δεν υπήρχε συνέχεια στην υπηρεσία καθώς τα τηλέφωνα μετακινούνταν ανάμεσα σε κελιά. Οι έννοιες της επαναχρησιμοποίησης και της μεταβίβασης της συχνότητας, καθώς και μια σειρά από άλλες έννοιες που αποτέλεσαν τη βάση της σύγχρονης τεχνολογίας κινητών τηλεφώνων, περιεγράφηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1960, σε έγγραφα των Frenkiel και Porter. Το 1970, ο Amos E. Joel, Jr., ένας μηχανικός της Bell Labs, εφηύρε ένα τρικύλινδρο κύκλωμα κορμού για να βοηθήσει στη διαδικασία μεταβίβασης κλήσεων από το ένα κελί στο άλλο.

Ένα σχέδιο μεταγωγής κυψελοειδούς τηλεφώνου περιεγράφηκε από τους Fluhr και Nussbaum το 1973 και ένα σύστημα σηματοδότησης κυψελωτού τηλεφώνου περιεγράφηκε το 1977 από τον Hachenburg et al.

Πριν από το 1973, η κινητή τηλεφωνία περιοριζόταν σε τηλέφωνα εγκατεστημένα σε αυτοκίνητα και άλλα οχήματα. Η Motorola ήταν η πρώτη εταιρεία που παρήγαγε φορητό κινητό τηλέφωνο. Στις 3 Απριλίου 1973, ο Martin Cooper, ερευνητής και εκτελεστικό μέλος της Motorola, πραγματοποίησε την πρώτη κλήση μέσω κινητού τηλεφώνου από φορητό εξοπλισμό συνδρομητών, καλώντας τον Dr. Joel S. Engel του Bell Labs, τον ανταγωνιστή του. Το πρωτότυπο φορητό τηλέφωνο που χρησιμοποίησε ο Dr. Cooper ζύγιζε 1,1 κιλά και ήταν 23 εκατοστά σε μήκος, 13 εκατοστά σε βάθος και 4,45 εκατοστά σε πλάτος. Το πρωτότυπο προσέφερε χρόνο ομιλίας μόλις 30 λεπτών και χρειαζόντουσαν 10 ώρες για να φορτιστεί ξανά πλήρως.

## 1.2 Κυψελωτά Κελιά

Ας προχωρήσουμε τώρα στη λεπτομερή ανάλυση των κυψελωδών δικτύων. Ένα κυψελοειδές δίκτυο (ή κινητό δίκτυο) είναι ένα δίκτυο επικοινωνιών του οποίου ο τελευταίος σύνδεσμος είναι ασύρματος. Το δίκτυο διανέμεται πάνω σε χερσαίες περιοχές που ονομάζονται κελιά. Το καθένα από αυτά εξυπηρετείται από τουλάχιστον έναν πομποδέκτη σταθερής τοποθεσίας, αλλά πιο συχνά από τρεις θέσεις κυψέλης ή σταθμούς βάσης πομποδέκτη. Αυτοί οι σταθμοί βάσης παρέχουν στο κελί την κάλυψη δικτύου που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση φωνής, δεδομένων και άλλων. Ένα κελί χρησιμοποιεί συνήθως διαφορετικό σύνολο συχνοτήτων από τα γειτονικά κύτταρα για να αποφεύγει τις παρεμβολές και να παρέχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών σε κάθε κελί.

Όταν ενωθούν τα κελιά αυτά παρέχουν ραδιοφωνική κάλυψη σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Αυτό επιτρέπει σε πολλούς φορητούς πομποδέκτες (π.χ. κινητά τηλέφωνα, ταμπλέτες και φορητούς υπολογιστές που διαθέτουν κινητά ευρυζωνικά μόντεμ, τηλεειδοποιητές κ.λπ.) να επικοινωνούν μεταξύ τους και με σταθερούς πομποδέκτες και τηλέφωνα οπουδήποτε στο δίκτυο μέσω σταθμών βάσης. Ορισμένοι πομποδέκτες κινούνται μέσω περισσότερων από ένα κελιών κατά τη διάρκεια της μετάδοσης

Τα κυψελοειδή δίκτυα προσφέρουν μια σειρά επιθυμητών χαρακτηριστικών:

- ~ Περισσότερη χωρητικότητα από έναν μεγάλο μεταδότη, καθώς η ίδια συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλαπλούς συνδέσμους εφόσον βρίσκονται σε διαφορετικά κελιά
- ~ Οι κινητές συσκευές χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια από ό, τι με έναν πομπό ή δορυφόρο, καθώς οι πύργοι των κυψελών είναι πιο κοντά
- ~ Μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης από έναν ενιαίο επίγειο πομπό, δεδομένου ότι επιπλέον κυλινδρικοί πύργοι μπορούν να προστεθούν επ'αόριστον και δεν περιορίζονται από τον ορίζοντα

Οι μεγάλοι πάροχοι τηλεπικοινωνιών έχουν αναπτύξει κυψελωτά δίκτυα φωνής και δεδομένων στο μεγαλύτερο μέρος της κατοικημένης γης. Αυτό επιτρέπει τη σύνδεση των κινητών τηλεφώνων και των υπολογιστών με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο και το δημόσιο διαδίκτυο. Τα ιδιωτικά κυψελοειδή δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έρευνα ή από μεγάλους οργανισμούς και στόλους, όπως τα δημόσια ασφάλειας ή μία εταιρεία ταξί.

Σε ένα κυψελοειδές ραδιοσύστημα, μια χερσαία περιοχή που θα τροφοδοτείται με ραδιοφωνική υπηρεσία χωρίζεται σε κελιά (κυψέλες) με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους και των δυνατοτήτων λήψης σήματος. Η περιοχή αυτή μπορεί να αποτελείται από εξαγωνικά, τετράγωνα, κυκλικά ή από άλλα κανονικά σχήματα. Αν είναι εξαγωνικά τότε θεωρούνται συμβατικά. Κάθε μία από αυτές τις κυψέλες έχει εκχωρηθεί με πολλαπλές συχνότητες ( $f_1 - f_6$ ) οι οποίες διαθέτουν αντίστοιχους ραδιοφωνικούς σταθμούς βάσης. Η ομάδα συχνοτήτων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλα κελιά με την προϋπόθεση ότι οι ίδιες συχνότητες δεν επαναχρησιμοποιούνται γειτονικά κελιά, καθώς αυτό θα προκαλούσε παρεμβολή από το ίδιο κανάλι.

Η αυξημένη χωρητικότητα σε ένα κυψελοειδές δίκτυο, σε σύγκριση με ένα δίκτυο με ένα μόνο πομπό, προέρχεται από το σύστημα μεταγωγής κινητών επικοινωνιών που ανέπτυξε ο Amos Joel της Bell Labs, το οποίο επέτρεψε σε πολλούς καλούντες της ίδιας περιοχής να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα μεταβιβάζουν τις κλήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της ίδιας συχνότητας στον πλησιέστερο διαθέσιμο κυψελοειδή πύργο που έχει διαθέσιμη για χρήση αυτή τη συχνότητα και από το γεγονός ότι η ίδια ραδιοσυχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διαφορετική περιοχή για μια εντελώς διαφορετική μετάδοση. Αν υπάρχει ένας απλός πομπός, μόνο μία μετάδοση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε δεδομένη συχνότητα. Δυστυχώς, υπάρχει αναπόφευκτα κάποιο επίπεδο παρεμβολής στο σήμα από τα άλλα κελιά που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι, σε ένα τυπικό σύστημα FDMA (Frequency division multiple access), πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα κυτταρικό διάκενο μεταξύ των κελιών που επαναχρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.

Το πρώτο εμπορικά αυτοματοποιημένο κυψελοειδές δίκτυο, η γενιά 1G, ξεκίνησε στην Ιαπωνία από το Nippon Telegraph and Telephone (NTT) το 1979, αρχικά στην μητροπολιτική περιοχή του Τόκιο. Μέσα σε πέντε χρόνια, το δίκτυο NTT επεκτάθηκε για να καλύψει ολόκληρο τον πληθυσμό της Ιαπωνίας και έγινε το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο 1G.

### **1.2.1 Κωδικοποίηση σήματος κυψέλης**

Για τη διάκριση σημάτων από διαφορετικούς πομπούς αναπτύχθηκαν η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA), η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA), η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA) και η ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (OFDMA). Με το TDMA, τα χρονικά διαστήματα μετάδοσης και λήψης που χρησιμοποιούνται από τους διαφορετικούς χρήστες σε κάθε κελί είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Με το FDMA, οι συχνότητες μετάδοσης και λήψης που χρησιμοποιούνται από τους διαφορετικούς χρήστες σε κάθε κύτταρο είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Η αρχή του CDMA είναι πιο πολύπλοκη, αλλά επιτυγχάνει το ίδιο αποτέλεσμα. Οι κατανεμημένοι πομποδέκτες μπορούν να επιλέξουν ένα κύτταρο και να το ακούσουν.

Άλλες διαθέσιμες μέθοδοι πολυπλεξίας, όπως η πολλαπλή πρόσβαση με διαχωρισμό πόλωσης (PDMA), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαχωρίσουν σήματα από ένα κύτταρο στο επόμενο, καθώς τα αποτελέσματα και των δύο ποικίλουν ανάλογα με τη θέση κάτι το οποίο θα καθιστούσε πρακτικά αδύνατο το διαχωρισμό σήματος. Το TDMA χρησιμοποιείται σε συνδυασμό είτε με το FDMA είτε με το CDMA σε πολλά συστήματα για να δώσει πολλαπλά κανάλια μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός μόνο κελιού.

### **1.2.2 Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας**

Το βασικό χαρακτηριστικό ενός κυψελοειδούς δικτύου είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων για την αύξηση της κάλυψης και της χωρητικότητας. Όπως έχει περιγραφεί και παραπάνω, τα γειτονικά κελιά πρέπει να χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες, ωστόσο δεν υπάρχει το ίδιο πρόβλημα ανάμεσα σε δύο κελιά αρκετά μακριά, υπό την προϋπόθεση ότι ο εξοπλισμός του ιστού (διαδικτύου) και των χρηστών του κυψελοειδούς δικτύου δεν μεταδίδεται με υπερβολική ισχύ.

Τα στοιχεία που καθορίζουν την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας είναι η απόσταση επαναχρησιμοποίησης και ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης. Η απόσταση επαναχρησιμοποίησης  $D$  υπολογίζεται ως  $D = R \sqrt{3N}$ , όπου  $R$  είναι η ακτίνα του κελιού και  $N$  είναι ο αριθμός των κελιών ανά συστάδα. Τα κελιά μπορεί να κυμαίνονται σε ακτίνα από 1 έως 30 χιλιόμετρα (0,62 έως 18,64 μίλια). Τα όρια των

κελιών μπορούν επίσης να αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ γειτονικών κελιών και τα μεγάλα κελιά μπορούν να χωριστούν σε μικρότερα.

Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι ο ρυθμός με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια συχνότητα στο δίκτυο. Είναι  $1 / K$ , όπου  $K$  είναι ο αριθμός των κυττάρων που δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις ίδιες συχνότητες για μετάδοση. Οι κοινές τιμές για τον συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι  $1/3$ ,  $1/4$ ,  $1/7$ ,  $1/9$  και  $1/12$  (ή 3, 4, 7, 9 και 12 ανάλογα με τη σημείωση).

Τα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα χρησιμοποιούν μια ευρύτερη ζώνη συχνοτήτων για να επιτύχουν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης με το FDMA, αλλά αυτό αντισταθμίζεται από την ικανότητα χρήσης ενός συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνότητας 1, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας ένα μοτίβο επαναχρησιμοποίησης  $1/1$ . Με άλλα λόγια, οι γειτονικές τοποθεσίες σταθμών βάσης χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες και οι διαφορετικοί σταθμοί βάσης και οι χρήστες διαχωρίζονται με κωδικούς και όχι με συχνότητες.

### **1.3 Δίκτυο Κινητής Τηλεφωνίας**

#### *Αρχιτεκτονική δικτύου GSM*

Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα κυψελοειδούς δικτύου είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (κινητό τηλέφωνο). Ένα κινητό τηλέφωνο είναι ένα φορητό τηλέφωνο το οποίο λαμβάνει ή πραγματοποιεί κλήσεις μέσω ενός σημείου κελιού (σταθμός βάσης) ή μεταδίδοντας σε πύργο. Τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά σημάτων προς και από το κινητό τηλέφωνο.

Τα σύγχρονα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν κελιά επειδή οι ραδιοσυχνότητες είναι περιορισμένοι κοινόχρηστοι πόροι. Τα κελιά αλλάζουν συχνότητα υπό τον έλεγχο του υπολογιστή και χρησιμοποιούν πομπούς χαμηλής ισχύος έτσι ώστε ο συνήθως περιορισμένος αριθμός ραδιοσυχνοτήτων να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα από πολλούς καλούντες με λιγότερες παρεμβολές.

Ένα κυψελοειδές δίκτυο χρησιμοποιείται από τον φορέα εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας για την επίτευξη τόσο της κάλυψης όσο και της χωρητικότητας των συνδρομητών τους. Οι μεγάλες γεωγραφικές περιοχές χωρίζονται σε μικρότερα κελιά ώστε να αποφεύγεται η απώλεια σήματος και να υποστηρίζεται ένας μεγάλος αριθμός ενεργών τηλεφώνων σε αυτήν την περιοχή. Όλες οι θέσεις κελιών συνδέονται με

τηλεφωνικά κέντρα (ή διακόπτες), τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο.

Δεδομένου ότι σχεδόν όλα τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν κυψελοειδή τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων των GSM, CDMA και AMPS (αναλογική), ο όρος "cell phone" σε ορισμένες περιοχές, κυρίως στις ΗΠΑ, χρησιμοποιείται εναλλακτικά με το "mobile phone". Ωστόσο, τα δορυφορικά τηλέφωνα είναι κινητά τηλέφωνα που δεν επικοινωνούν απευθείας με έναν κυψελοειδή πύργο, αλλά μπορούν να το κάνουν με έμμεσο τρόπο μέσω ενός δορυφόρου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:0G

---

---

Τα κινητά ραδιοτηλεφωνικά συστήματα ήταν ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα που προηγήθηκαν της σύγχρονης κυψελοειδούς κινητής τηλεφωνικής τεχνολογίας. Δεδομένου ότι ήταν οι προκάτοχοι της πρώτης γενιάς κυψελοειδών τηλεφώνων, τα συστήματα αυτά αναφέρονται μερικές φορές αναδρομικά ως συστήματα προ-κυτταρικής (ή μερικές φορές μηδενικής παραγωγής), δηλαδή 0G. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνταν σε προ-κυψελοειδή συστήματα περιλάμβαναν το σύστημα Push to Talk (PTT ή χειροκίνητο), το κινητό τηλεφωνικό σύστημα (MTS), το βελτιωμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας (IMTS) και τα συστήματα προηγμένων συστημάτων κινητού τηλεφώνου (AMTS). Αυτά τα πρώιμα συστήματα κινητής τηλεφωνίας μπορούν να διακριθούν από τα παλαιότερα κλειστά συστήματα ραδιοτηλεφώνων, δεδομένου ότι ήταν διαθέσιμα ως εμπορική υπηρεσία, που ανήκε στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής και είχαν τους δικούς τους αριθμούς τηλεφώνου, και όχι ως τμήμα κλειστού δικτύου. Πωλούνταν μέσω εταιρειών τηλεφωνικών συνδιαλέξεων (Wireline Common Carriers), RCCs (ραδιοφωνικοί μεταφορείς) και αμφίδρομων ραδιοφωνικών αντιπροσώπων.

Τα πρώτα παραδείγματα αυτής της τεχνολογίας ήταν τα εξής:

- ~ Η Motorola σε συνδυασμό με το σύστημα Bell χρησιμοποίησαν την πρώτη εμπορική κινητή τηλεφωνική υπηρεσία κινητού τηλεφωνικού συστήματος (MTS) στις ΗΠΑ το 1946 ως υπηρεσία της εταιρείας καλωδιακής τηλεφωνίας.
- ~ Το A-Netz ξεκίνησε το 1952 στη Δυτική Γερμανία ως το πρώτο δημόσιο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της χώρας.
- ~ Το σύστημα 1 κυκλοφόρησε το 1959 στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Post Office South Lancashire Radiophone Service, που καλύπτει τη Νότια Lancashire και λειτουργεί από τηλεφωνικό κέντρο στο Μάντσεστερ, αναφέρεται ως το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της χώρας. Ωστόσο, για πολλές δεκαετίες, ήταν χειροκίνητο (χρειάζόταν να συνδεθεί μέσω χειριστή) και με πολύ μικρή κάλυψη.
- ~ Το πρώτο αυτόματο σύστημα ήταν το IMTS Bell System που κυκλοφόρησε το 1964 και προσέφερε αυτόματη κλήση από και προς το κινητό.
- ~ Το σύστημα κινητής τηλεφωνίας Altai που ξεκίνησε σαν πειραματική υπηρεσία το 1963 στη Σοβιετική Ένωση και άρχισε να λειτουργεί πλήρως το 1965, ήταν το πρώτο αυτόματο σύστημα κινητής τηλεφωνίας στην Ευρώπη.



- ~ Η Televerket άνοιξε το πρώτο χειροκίνητο σύστημα κινητής τηλεφωνίας στη Νορβηγία το 1966. Η Νορβηγία ήταν αργότερα η πρώτη χώρα στην Ευρώπη που απέκτησε αυτόματο σύστημα κινητής τηλεφωνίας.
- ~ Το Autoradioruhelin (ARP) ξεκίνησε το 1971 στη Φινλανδία ως το πρώτο δημόσιο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της χώρας.
- ~ Το Automated Municipal Radiotelephone (AMR) ξεκίνησε το 1978 και άρχισε να λειτουργεί πλήρως το 1983, στην Τσεχοσλοβακία ως το πρώτο αναλογικό κινητό ραδιόφωνο σε ολόκληρο το ανατολικό μπλοκ.
- ~ Το B-Netz ξεκίνησε το 1972 στη Δυτική Γερμανία ως το δεύτερο δημόσιο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της χώρας (αλλά το πρώτο που δεν απαιτούσε από ανθρώπινους φορείς να συνδέουν κλήσεις).

## **2.1 Ραδιοτηλέφωνο**

Ένα ραδιοτηλέφωνο είναι ένα σύστημα επικοινωνίας στο οποίο η μετάδοση της ομιλίας γίνεται μέσω του ραδιοφώνου. Τα συστήματα ραδιοτηλεφώνων δεν συνδέονται αναγκαστικά με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο χερσαίας γραμμής. Ως ραδιοτηλεφωνία νοείται η μετάδοση ήχου μέσω ραδιοφώνου, σε αντίθεση με τη ραδιοτηλεγραφία (μετάδοση τηλεγραφικών σημάτων) ή τη μετάδοση βίντεο. Στο σημείο όπου ένα αμφίδρομο ραδιοσύστημα είναι διατεταγμένο για να μιλάει και να ακούει σε έναν κινητό σταθμό και όπου μπορεί να διασυνδεθεί με το δημόσιο τηλεφωνικό σύστημα μεταγωγής, το σύστημα μπορεί να παρέχει υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας.

### **2.1.1 Τρόποι λειτουργίας**

Ένα τυπικό σταθερό τηλέφωνο επιτρέπει στους δυο χρήστες να μιλούν και να ακούν ταυτόχρονα όταν υπάρχουν αποτελεσματικά δύο ανοικτά κανάλια μεταξύ των δύο τελικών χρηστών του συστήματος. Σε ένα σύστημα ραδιοτηλεφώνων, γνωστό ως μία πλήρης αμφίδρομη διεργασία, απαιτεί ένα ραδιοσύστημα να μεταδίδει και να λαμβάνει ταυτόχρονα σε δύο χωριστά κανάλια, τα οποία απορρίπτουν τόσο το εύρος ζώνης όσο και παρουσιάζουν ορισμένες τεχνικές προκλήσεις. Είναι ωστόσο η πιο άνετη μέθοδος φωνητικής επικοινωνίας για τους χρήστες, η οποία χρησιμοποιήθηκε στο IMTS.

### **2.1.2 Χαρακτηριστικά**

Τα ραδιοτηλέφωνα μπορεί να λειτουργούν σε οποιαδήποτε συχνότητα όπου τους παρέχεται άδεια, αν και τυπικά χρησιμοποιούνται σε διάφορες ζώνες μεταξύ 60 και 900 MHz. Μπορούν να χρησιμοποιούν απλά συστήματα διαμόρφωσης όπως AM ή

FM, ή πιο σύνθετες τεχνικές όπως η ψηφιακή κωδικοποίηση και το φάσμα διάδοσης. Οι όροι χορήγησης αδειών για μια συγκεκριμένη ζώνη συνήθως καθορίζουν τον τύπο διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Οι δέκτες ραδιοτηλεφώνων είναι συνήθως σχεδιασμένοι με πολύ υψηλό επίπεδο και με διπλή μετατροπή. Ομοίως, οι πομποί είναι προσεκτικά σχεδιασμένοι για να αποφεύγουν ανεπιθύμητες παρεμβολές και διαθέτουν εξόδους ισχύος μερικών δεκάδων milliwatts έως και 50 watts για μια κινητή μονάδα, ή μερικών εκατοντάδων watts για έναν σταθμό βάσης. Πολλαπλά κανάλια μπορούν να παρέχονται συχνά χρησιμοποιώντας μια συσκευή σύνθεσης συχνοτήτων. Οι δέκτες διαθέτουν συνήθως ένα κύκλωμα squelch για να διακόπτουν την έξοδο ήχου από το δέκτη όταν δεν υπάρχει καμία μετάδοση για να ακουστεί. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τους δέκτες ραδιοφωνικής μετάδοσης.

### ***2.1.3 Απόρρητο και επιλεκτική κλήση***

Συχνά, σε ένα μικρό δίκτυο, υπάρχουν πολλές κινητές μονάδες και ένας βασικός σταθμός βάσης. Για να κατευθυνθούν τα μηνύματα στους σωστούς παραλήπτες και να αποφευχθεί η άσχετη επισκεψιμότητα, λόγω του ότι το δίκτυο απασχολείται και από άλλες μονάδες, έχουν σχεδιαστεί διάφορα μέσα για τη δημιουργία συστημάτων διευθυνσιοδότησης. Το πιο ασταθές και παλαιότερο από αυτά ονομάζεται CTCSS ή Σύστημα Squelch, το οποίο ελέγχεται από συνεχές ήχο. Αυτό συνίσταται στην υπέρθεση ενός ακριβούς τόνου πολύ χαμηλής συχνότητας στο ηχητικό σήμα. Μόνο ο δέκτης συντονισμένος σε αυτόν τον συγκεκριμένο τόνο είναι σε θέση να λάβει το σήμα. Αυτός ο δέκτης απενεργοποιεί τον ήχο όταν ο ήχος δεν είναι παρών ή έχει διαφορετική συχνότητα. Ένα πιο συχνά χρησιμοποιούμενο σύστημα ονομάζεται Selective Calling ή Selcall. Αυτό χρησιμοποιεί επίσης ήχους, αλλά δεν περιορίζονται σε δευτερεύοντες ήχους και αποστέλλονται με μια σύντομη συχνότητα. Ο δέκτης θα προγραμματιστεί να ανταποκρίνεται μόνο σε ένα μοναδικό σύνολο τόνων με μια ακριβή ακολουθία και μόνο τότε θα ανοίγει τα κυκλώματα ήχου για συνομιλία ανοιχτού καναλιού με τον σταθμό βάσης. Το σύστημα αυτό είναι πολύ πιο ευέλικτο από το CTCSS, καθώς σχετικά λίγοι τόνοι αποφέρουν μεγαλύτερο αριθμό διευθύνσεων.

## 2.2 MTS

Η υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (Mobile Telephone Service-MTS) ήταν ένα προ-κυψελοειδές ραδιοσύστημα VHF που συνδέθηκε με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (PSTN). Το MTS ήταν το ισοδύναμο ραδιοτηλέφωνο της τηλεφωνικής υπηρεσίας εδάφους. Η υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας ήταν ένα από τα πρώτα πρότυπα κινητής τηλεφωνίας. Υποστηρίχθηκε η ύπαρξη χειριστή και στις δύο κατευθύνσεις, πράγμα που σημαίνει ότι αν κάποιος κλήθηκε από μια γραμμή εδάφους η κλήση θα οδηγούνταν σε έναν φορέα κινητής τηλεφωνίας, ο οποίος θα τον δρομολογούσε στο τηλέφωνο αυτού. Ομοίως, για να πραγματοποιηθεί μια εξερχόμενη κλήση, έπρεπε να περάσει από τον φορέα κινητής τηλεφωνίας, ο οποίος θα ζητούσε τον αριθμό κινητού τηλεφώνου και τον αριθμό που θα καλούσε και τότε θα πραγματοποιούσε την κλήση. Η υπηρεσία αυτή ξεκίνησε με το σύστημα Bell και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο Σεντ Λούις στις 17 Ιουνίου 1946. Ο αρχικός εξοπλισμός ζύγιζε 80 κιλά (36 κιλά) και υπήρχαν αρχικά μόνο 3 κανάλια για όλους τους χρήστες της μητροπολιτικής περιοχής. Αργότερα προστέθηκαν περισσότερες άδειες, αυξάνοντας το σύνολο σε 32 κανάλια σε 3 ζώνες (συχνότητες IMTS). Αυτή η υπηρεσία χρησιμοποιήθηκε στη δεκαετία του 1980 σε μεγάλες μερίδες της Βόρειας Αμερικής. Στις 2 Οκτωβρίου 1946, ο εξοπλισμός επικοινωνίας της Motorola πραγματοποίησε τις πρώτες κλήσεις προς τη νέα υπηρεσία ραδιοτηλεφωνικών αυτοκινήτων του Illinois Bell Phone Company στο Σικάγο. Λόγω του μικρού αριθμού διαθέσιμων ραδιοσυχνοτήτων, η υπηρεσία έφτασε γρήγορα στη μέγιστη χωρητικότητά της.

Το MTS αντικαταστάθηκε από την βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (IMTS), η οποία εισήχθη το 1964.

## 2.3 IMTS

Η Βελτιωμένη Υπηρεσία Κινητής Τηλεφωνίας (Improved Mobile Telephone Service-IMTS) ήταν ένα προ-κυψελοειδές ραδιοσύστημα VHF / UHF που συνδεόταν με το PSTN. Το IMTS ήταν το ισοδύναμο της ραδιοτηλεφωνίας με την τηλεφωνική υπηρεσία εδάφους. Εισήχθη το 1964 ως αντικατάσταση της υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας ή MTS και βελτιώθηκε στα περισσότερα συστήματα MTS, προσφέροντας τη δυνατότητα απευθείας κλήσης και όχι τη σύνδεση μέσω ζωντανού φορέα εκμετάλλευσης.

### **2.3.1 Τεχνικές πληροφορίες**

Το πρωτότυπο Bell System των Η.Π.Α. και των Καναδών κινητών τηλεφώνων περιλαμβάνει τρεις ζώνες συχνοτήτων: VHF Low (35-44 MHz, 9 κανάλια), VHF High (152-158 MHz, 11 κανάλια στις ΗΠΑ, 13 κανάλια στον Καναδά) και UHF 454-460 MHz, 12 κανάλια). Τα εναλλακτικά ονόματα ήταν "Low Band", "High band" και "UHF". Εκτός από τα κανάλια του συστήματος Bell (καλωδιακά κατεστημένα), άλλα 7 κανάλια VHF και 12 κανάλια UHF παραχωρήθηκαν σε μη-καλωδιακές εταιρείες με την ονομασία «RCCs» (Radio Common Carriers). Αυτά τα κανάλια RCC ήταν δίπλα στις συχνότητες του συστήματος Bell.

Ένας δεδομένος πάροχος θα μπορούσε να προσφέρει υπηρεσία σε μία, δύο ή και στις τρεις ζώνες συχνοτήτων, αν και το IMTS δεν προσφέρθηκε ποτέ σε χαμηλή ζώνη (μόνο το MTS). Αυτοί οι πάροχοι ήταν επιρρεπείς στη συμφόρηση του δικτύου και σε παρεμβολές, δεδομένου του ότι ένας ραδιοφωνικός σταθμός που ήταν πιο κοντά στο τερματικό θα "έπαιρνε" μερικές φορές το κανάλι εξαιτίας του ισχυρότερου σήματος του. Τα κυψελοειδή δίκτυα αντιμετώπισαν αυτό το πρόβλημα μειώνοντας την περιοχή που καλύπτεται από έναν πύργο (ένα κελί) και αυξάνοντας τον αριθμό των κελιών. Το μειονέκτημα αυτού είναι ότι περισσότεροι πύργοι απαιτούνται για να καλύψουν μια συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι, τα συστήματα IMTS και MTS εξακολουθούν να υπάρχουν σε ορισμένες απομακρυσμένες περιοχές, καθώς μπορεί να είναι ο μόνος εφικτός τρόπος κάλυψης μιας μεγάλης αραιοκατοικημένης περιοχής.

Η βασική λειτουργία του IMTS ήταν πολύ προηγμένη για την εποχή του, δεδομένου ότι τα ολοκληρωμένα κυκλώματα δεν ήταν κοινώς διαθέσιμα. Το πιο συνηθισμένο τηλέφωνο IMTS, η σειρά Motorola TLD-1100, χρησιμοποιούσε δύο πίνακες κυκλωμάτων περίπου τεσσάρων τετραγώνων για να εκτελέσει τη διαδικασία σάρωσης καναλιών και ψηφιακής αποκωδικοποίησης και όλη η λογική γινόταν με διακριτά τρανζίστορ.

### **2.3.2 Περιορισμοί**

Η τεχνολογία IMTS περιόρισε σημαντικά τον συνολικό αριθμό των συνδρομητών. Στη δεκαετία του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980, πριν από την εισαγωγή κινητών τηλεφώνων, υπήρχαν "λίστες αναμονής" έως και 3 ετών για όσους επιθυμούσαν να έχουν κινητή τηλεφωνική υπηρεσία. Αυτοί οι δυνητικοί συνδρομητές περίμεναν άλλους συνδρομητές να αποσυνδέσουν τη συνδρομή τους προκειμένου να

αποκτήσουν αριθμό κινητού τηλεφώνου και υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας. Αυτοί οι περιορισμοί οδήγησαν σε πωλήσεις και παραγωγή μικρών ποσοτήτων τηλεφώνων IMTS και συνεπώς οι κινητές μονάδες ήταν πολύ ακριβές (\$2000 έως \$4000). Η διαθεσιμότητα των καναλιών ήταν σπάνια, επομένως ο χρόνος ομιλίας ήταν αρκετά ακριβός (\$0,70-1,20 ανά λεπτό). Επίσης, δεδομένου ότι υπήρχαν τόσο λίγα κανάλια, ήταν σύνηθες για τα τηλέφωνα να "κάνουν ουρά" για να χρησιμοποιούν ένα κανάλι και οι κατασκευαστές IMTS ανταγωνίζονταν για την ταχύτητα με την οποία οι μονάδες θα εκμεταλλευτούν ένα διαθέσιμο κανάλι. Το όριο αριθμού πελατών στις MTS και IMTS ήταν ο οδηγός για τις επενδύσεις σε κυψελοειδή δίκτυα. Η αύξηση της προσιτότητας της δορυφορικής υπηρεσίας και οι κυβερνητικές επενδύσεις στην κυτταρική επέκταση επέτρεψαν την κατάργηση των MTS και IMTS.

## **2.4 Altai**

Το σύστημα κινητής τηλεφωνίας Altai είναι μία προκυτταρική υπηρεσία ραδιοτηλεφώνων 0G που πρωτοεμφανίστηκε στη Σοβιετική Ένωση το 1963 και έγινε διαθέσιμη στις περισσότερες μεγάλες πόλεις μέχρι το 1965. Πρόκειται για ένα πλήρως αυτοματοποιημένο δίκτυο UHF / VHF που επιτρέπει σε έναν κινητό κόμβο να συνδέεται με σταθερά τηλέφωνα και αρχικά σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει κυβερνητικούς αξιωματούχους και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Από τότε βέβαια έχει εξαπλωθεί σε γενική χρήση και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ορισμένα σημεία όπου τα πλεονεκτήματα του υπερτερούν των πλεονεκτημάτων των συμβατικών κυψελοειδών δικτύων. Οι εργασίες για το σύστημα αυτόματης αμφίδρομης κινητής επικοινωνίας ξεκίνησαν το 1958 στο Voronezh Research Institute of Communications (VNIIS). Από τεχνικής απόψεως, το Altai ήταν ένα αρκετά συνηθισμένο ραδιόφωνο UHF / VHF, αλλά ήταν εξοπλισμένο με τα αυτόματα κυκλώματα μεταγωγής σε κινητούς και στατικούς κόμβους που επέτρεπαν στο κινητό άκρο του συνδέσμου να παράγει και να μεταδίδει σήματα κλήσης και να συνδέει το στατικό τέλος στο PSTN.

## **2.5 ARP**

Ένα από τα πρώτα επιτυχημένα δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ήταν το δίκτυο ARP στη Φινλανδία, το οποίο ξεκίνησε το 1971. Το ARP ορισμένες φορές θεωρείται ως το κυψελωτό δίκτυο μηδενικής γενιάς (0G), όντας λίγο ανώτερο των προηγούμενων ιδιόκτητων και περιορισμένης κάλυψης δικτύων. Η ARP

(Autoradiopuhelin) ήταν το πρώτο δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που λειτουργούσε εμπορικά στη Φινλανδία. Η τεχνολογία θεωρείται μηδενικής γενιάς (0G), αφού παρόλο που είχε κελιά, η κίνηση μεταξύ τους δεν ήταν αδιάλειπτη. Το δίκτυο προτάθηκε το 1968, ξεκίνησε το 1971 και έφθασε το 100% γεωγραφικής κάλυψης το 1978 με 140 σταθμούς βάσης. Το δίκτυο ARP έκλεισε στα τέλη του 2000 μαζί με το NMT-900. Το ARP ήταν μια επιτυχία και έφτασε σε μεγάλη δημοτικότητα (10.800 χρήστες το 1977, με κορυφή τους 35.560 το 1986), αλλά η υπηρεσία τελικά έγινε υπερβολικά συνωστισμένη και αντικαταστάθηκε σταδιακά από την πιο σύγχρονη τεχνολογία NMT. Ωστόσο, το ARP ήταν το μοναδικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με κάλυψη 100% για κάποιο χρονικό διάστημα, ενώ παρέμεινε δημοφιλές σε πολλές ειδικές ομάδες χρηστών. Το ARP λειτούργησε σε συχνότητα 150 MHz (80 κανάλια σε ζώνη 147,9 - 154,875 MHz). Η ισχύς μετάδοσης κυμαίνεται από 1 watt έως 5 watts. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά μόνο ημιαμφίδρομη μετάδοση, πράγμα που σημαίνει ότι η λήψη και η μετάδοση φωνής δεν θα μπορούσε να συμβεί ταυτόχρονα. Όντας αναλογικό, το δίκτυο δεν ήταν κρυπτογραφημένο και οι κλήσεις μπορούσαν να ακουστούν με σαρωτές. Ξεκίνησε αρχικά ως χειροκίνητη υπηρεσία, αλλά αυτοματοποιήθηκε πλήρως το 1990. Ωστόσο, μέχρι τότε ο αριθμός των συνδρομητών μειώθηκε σε 980 χρήστες. Στο ARP οι κλήσεις αποσυνδέονταν όταν το τηλέφωνο μετακινούνταν σε μια νέα περιοχή κελιών. Το μέγεθος των κελιών ήταν περίπου 30 χλμ. Τα πρώτα κινητά τερματικά ARP ήταν εξαιρετικά μεγάλα για εκείνο το χρονικό διάστημα και μπορούσαν να τοποθετηθούν μόνο σε αμαξοστοιχίες αυτοκινήτων, με ένα ακουστικό κοντά στο κάθισμα του οδηγού. Το ARP ήταν επίσης δαπανηρό. Στη δεκαετία του 1990, τα handhelds εισήχθησαν στο ARP αλλά ποτέ δεν έγιναν δημοφιλή, καθώς πιο σύγχρονος εξοπλισμός ήταν ήδη διαθέσιμος σε άλλα συστήματα όπως το NMT.

## **2.6 ARM**

Το πρώτο αναλογικό κινητό ραδιόφωνο στην Τσεχοσλοβακία (και σε ολόκληρο το ανατολικό μπλοκ) ήταν η AMR (Automated Municipal Radiotelephone-μερικές φορές η AMRAD). Το σύστημα αναπτύχθηκε από την εταιρεία Tesla στην Pardubice. Από το 1978 δοκιμαζόταν σε πειραματικό στάδιο και το 1983 μετατράπηκε σε πλήρη λειτουργία. Την εποχή εκείνη χρησιμοποιήθηκε κυρίως για επικοινωνία μεταξύ απομακρυσμένων εργαζομένων (συνήθως στην τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία). Μετά το 1989 επετράπη η εμπορική του χρήση και το δίκτυο παρέμεινε μέχρι το 1999, όταν

και σταμάτησε. Το δίκτυο άνηκε και λειτουργούσε από την κρατική τηλεπικοινωνιακή εταιρεία SPT Telecom.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

- ~ Το πλήρες δίκτυο είχε 63 σταθμούς βάσης και χωρητικότητα 9.999 χρηστών (4 αριθμοί χρησιμοποιούνταν για την αναγνώριση).
- ~ Η προσέγγιση του σταθμού βάσης ήταν 15-25 χλμ. Τα ραδιόφωνα ήταν επίσης σε θέση να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους.
- ~ Χρησιμοποιήθηκαν τρεις ζώνες συχνοτήτων: 162/167 MHz για το πειραματικό δίκτυο, 161/165 MHz για το δίκτυο χώρας και 152/157 MHz για τα τοπικά δίκτυα.
- ~ Χρησιμοποιήθηκε σταθερό μηνιαίο τίμημα πληρωμής, 1000 czk μηνιαίως το 1990, επειδή το σύστημα δεν μπορούσε να καταγράψει λεπτομέρειες κλήσης.
- ~ Ο έλεγχος ταυτότητας των χρηστών προστέθηκε μόλις το 1993.
- ~ Δεν υπήρχε κρυπτογράφηση της μετάδοσης και ήταν δυνατή η ακρόαση της κίνησης σε οποιοδήποτε συντονισμένο δέκτη (ως πρότυπο ραδιόφωνο).
- ~ Οι μοναδικές παρεχόμενες υπηρεσίες ήταν εισερχόμενες και εξερχόμενες φωνητικές κλήσεις εντός της χώρας.

Το AMP δίκτυο ακολουθήθηκε από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας βασισμένο στο πρότυπο NMT (450 MHz, στις 12 Σεπτεμβρίου 1991, από την Eurotel) και στην υπηρεσία ραδιοσυσκευής (RDS) το 1992. Το 1996 ξεκίνησε το πρώτο δίκτυο με βάση το πρότυπο GSM στην Τσεχική Δημοκρατία.

## 2.7 B-Netz

Το B-Netz ήταν ένα αναλογικό, εμπορικό κινητό ραδιοτηλεφωνικό δίκτυο το οποίο εκμεταλλευόταν η Deutsche Bundespost στη Γερμανία (αρχικά μόνο στη Δυτική Γερμανία) από το 1972 έως το 1994. Το σύστημα εφαρμόστηκε επίσης στις γειτονικές χώρες Αυστρία, Ολλανδία και Λουξεμβούργο. Το B αναφέρεται στο γεγονός ότι ήταν το δεύτερο δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της χώρας, ακολουθώντας την A-Netz. Σε αντίθεση με τον προκάτοχό του, χαρακτηριζόταν από τη δυνατότητα της άμεσης κλήσης (έτσι ώστε οι χειριστές να μην υποχρεούνται να συνδέουν τις κλήσεις). Το σχέδιο συχνοτήτων περιελάμβανε αρχικά μόνο 38 κανάλια (με μία κλήση δυνατή ανά κανάλι συχνότητας), αλλά αναβαθμίστηκε για να ενσωματώσει τις συχνότητες A-Netz όταν το δίκτυο αυτό αποχώρησε το 1980. Το αναβαθμισμένο δίκτυο είχε 78 κανάλια και μερικές φορές αναφέρεται ως B2-Netz. Ένας σημαντικός περιορισμός του συστήματος ήταν ότι, προκειμένου να φτάσει κάποιο συνδρομητή, αυτός έπρεπε να γνωρίζει τη θέση του, δεδομένου ότι το

ακουστικό θα αντιλαμβανόταν τον τοπικό κωδικό περιοχής του σταθμού βάσης που τον εξυπηρετούσε. Η μεταβίβαση δεν ήταν όμως δυνατή και οι κλήσεις τερματίζονταν όταν τα κελιά άλλαζαν. Η περιαγωγή ήταν δυνατή μεταξύ των χωρών εφαρμογής. Το 1986, το δίκτυο είχε 158 σταθμούς βάσης και περίπου 27.000 συνδρομητές στη Γερμανία και 1.770 στην Αυστρία. Στα τέλη του 1988, υπήρχαν 1.078 συμμετέχοντες μόνο στο Δυτικό Βερολίνο. Το δίκτυο υπερφορτώθηκε υπερβολικά και η εξεύρεση διαθέσιμου καναλιού αποδεικνυόταν πολύ δύσκολη. Η σύνδεση μεταξύ σταθμού βάσης και ακουστικού δεν ήταν κρυπτογραφημένη, οπότε η παρακολούθηση ήταν εύκολη και κοινή. Σε σπάνιες περιπτώσεις, πρόσθετοι μηχανισμοί προστίθενταν και από τους δύο συμμετέχοντες για την κρυπτογράφηση συνομιλιών. Η B-Netz τελικά αντικαταστάθηκε από την τεχνικά ανώτερη C-Netz, η οποία τέθηκε σε λειτουργία την 1η Μαΐου 1985.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: 1G

---

---

Το 1G αναφέρεται στην πρώτη γενιά ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας (κινητές τηλεπικοινωνίες). Αυτά είναι τα αναλογικά πρότυπα τηλεπικοινωνιών που εισήχθησαν τη δεκαετία του 1980 και συνεχίστηκαν μέχρι να αντικατασταθούν από τις 2G ψηφιακές τηλεπικοινωνίες. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο κινητών κυψελοειδών συστημάτων (1G και 2G) είναι ότι τα ραδιοσήματα που χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα 1G είναι αναλογικά, ενώ τα δίκτυα 2G είναι ψηφιακά.

Παρόλο που και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους ραδιοσυχνοτήτων με το υπόλοιπο τηλεφωνικό σύστημα, η ίδια η φωνή κατά τη διάρκεια μιας κλήσης κωδικοποιείται σε ψηφιακά σήματα στο 2G, ενώ η 1G διαμορφώνεται μόνο σε υψηλότερες συχνότητες (150 MHz και άνω). Τα εγγενή πλεονεκτήματα της ψηφιακής τεχνολογίας σε σχέση με την αναλογική σήμαιναν ότι τα δίκτυα 2G θα τα αντικαθιστούσαν σχεδόν παντού.

Ένα τέτοιο πρότυπο είναι το Nordic Mobile Phone (NMT), το οποίο χρησιμοποιείται στις σκανδιναβικές χώρες, την Ελβετία, τις Κάτω Χώρες, την Ανατολική Ευρώπη και τη Ρωσία. Μεταξύ άλλων περιλαμβάνονται το Advanced Mobile Phone System (AMPS) που χρησιμοποιείται στη Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία, το TACS στο Ηνωμένο Βασίλειο, το C-450 στη Δυτική Γερμανία, την Πορτογαλία και τη Νότια Αφρική, το Radiocom 2000 στη Γαλλία, Ισπανία και το RTMI στην Ιταλία. Στην Ιαπωνία υπήρχαν πολλά συστήματα. Τα τρία πρότυπα TZ-801, TZ-802 και TZ-803 αναπτύχθηκαν από την NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation), ενώ ένα ανταγωνιστικό σύστημα που λειτουργούσε η Daini Denden Planning, Inc. χρησιμοποιούσε το Σύστημα Ιαπωνικής Ολικής Πρόσβασης (JTACS).

Το πρώτο εμπορικά αυτοματοποιημένο κυψελοειδές δίκτυο (1G) ξεκίνησε στην Ιαπωνία από τη Nippon Telegraph and Telephone (NTT) το 1979, στη μητροπολιτική περιοχή του Τόκιο. Μέσα σε πέντε χρόνια, το δίκτυο NTT επεκτάθηκε για να καλύψει ολόκληρο τον πληθυσμό της Ιαπωνίας και έγινε το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο 1G. Το 1981, το σύστημα NMT ξεκίνησε ταυτόχρονα στη Δανία, τη Φινλανδία, τη

Νορβηγία και τη Σουηδία. Το NMT ήταν το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με διεθνή περιαγωγή. Το 1983, το πρώτο δίκτυο 1G που ξεκίνησε στις ΗΠΑ ήταν το Ameritech με έδρα το Σικάγο χρησιμοποιώντας το κινητό τηλέφωνο Motorola DynaTAC. Στη συνέχεια ακολούθησαν αρκετές χώρες στις αρχές της δεκαετίας του 1980, συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, του Μεξικού και του Καναδά.

### **3.1 Αναλογικό Σήμα**

Ένα αναλογικό σήμα είναι οποιοδήποτε συνεχές σήμα για το οποίο το χρονικό μεταβαλλόμενο χαρακτηριστικό του σήματος είναι μια αναπαράσταση κάποιας άλλης χρονικά μεταβαλλόμενης ποσότητας, δηλαδή ανάλογης με ένα άλλο χρονικά μεταβαλλόμενο σήμα. Διαφέρει από ένα ψηφιακό σήμα, στο οποίο η συνεχής ποσότητα είναι μια αναπαράσταση μιας ακολουθίας διακριτών τιμών που μπορεί να πάρει μόνο μία τιμή από ένα πεπερασμένο αριθμό τιμών. Ο όρος αναλογικό σήμα συνήθως αναφέρεται σε ηλεκτρικά σήματα. Ωστόσο, τα μηχανικά, πνευματικά, υδραυλικά, ανθρώπινα λόγια και άλλα συστήματα μπορούν επίσης να μεταβιβάζουν ή να θεωρούνται αναλογικά σήματα. Ένα αναλογικό σήμα χρησιμοποιεί κάποια ιδιότητα του μέσου για τη μετάδοση των πληροφοριών του σήματος. Για παράδειγμα, σε ένα ηλεκτρικό σήμα, η τάση, το ρεύμα ή η συχνότητα του σήματος μπορεί να μεταβάλλεται για να αντιπροσωπεύει τις πληροφορίες. Οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να μεταφερθεί από ένα αναλογικό σήμα. Ένα αναλογικό σήμα έχει μια θεωρητικά άπειρη ανάλυση. Στην πράξη, ένα αναλογικό σήμα υπόκειται σε ηλεκτρονικό θόρυβο και παραμόρφωση που εισάγεται από τα κανάλια επικοινωνίας και τις λειτουργίες επεξεργασίας σήματος, τα οποία μπορούν βαθμιαία να υποβαθμίσουν τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR). Αντίθετα, τα ψηφιακά σήματα έχουν μια πεπερασμένη ανάλυση. Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακή μορφή εισάγει ένα σταθερό θόρυβο χαμηλού επιπέδου που ονομάζεται θόρυβος κβαντισμού στο σήμα που καθορίζει το noise floor, αλλά όταν βρεθεί σε ψηφιακή μορφή το σήμα μπορεί να επεξεργαστεί ή να μεταδοθεί χωρίς να εισάγει επιπλέον θόρυβο ή παραμόρφωση. Σε αναλογικά συστήματα, είναι δύσκολο να εντοπιστεί τότε συμβαίνει αυτή η υποβάθμιση. Ωστόσο, σε ψηφιακά συστήματα, η υποβάθμιση δεν μπορεί μόνο να ανιχνευθεί αλλά και να διορθωθεί.

## Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Το κύριο μειονέκτημα των αναλογικών σημάτων είναι ότι οποιοδήποτε σύστημα έχει θόρυβο, δηλαδή ανεπιθύμητη μεταβολή. Καθώς το σήμα αντιγράφεται και αντιγραφεί ή μεταδίδεται σε μεγάλες αποστάσεις ή επεξεργάζεται ηλεκτρονικά, ο αναπόφευκτος θόρυβος που εισάγεται από κάθε βήμα στη διαδρομή του σήματος είναι πρόσθετος, υποβαθμίζοντας προοδευτικά τον λόγο σήματος προς θόρυβο, μέχρις ότου σε ακραίες περιπτώσεις το σήμα να υπερκαλυφθεί. Αυτό ονομάζεται απώλεια γενιάς. Αυτή η υποβάθμιση είναι αδύνατο να ανακτηθεί, καθώς δεν υπάρχει κανένας σίγουρος τρόπος για να γίνει διάκριση του θορύβου από το σήμα. Ενισχύοντας το σήμα για την ανάκτηση εξασθενημένων τμημάτων του, ενισχύεται επίσης και ο θόρυβος (παραμόρφωση / παρεμβολή). Τα ψηφιακά σήματα μπορούν συχνά να μεταδίδονται, να αποθηκεύονται και να επεξεργάζονται χωρίς να εισάγουν θόρυβο. Ηλεκτρικά, ο αναλογικός θόρυβος μπορεί να μειωθεί με θωράκιση, καλές συνδέσεις και αρκετούς τύπους καλωδίων.

### 3.2 NMT

Η NMT (Nordic Mobile Telephony) είναι το πρώτο πλήρως αυτόματο σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Καθορίστηκε από τις σκανδιναβικές τηλεπικοινωνιακές διοικήσεις (PTT) και άνοιξε ως υπηρεσία την 1η Οκτωβρίου 1981 ως απάντηση στην αυξανόμενη συμφόρηση και τις μεγάλες απαιτήσεις των χειροκίνητων δικτύων κινητής τηλεφωνίας: ARP (150 MHz) στη Φινλανδία, MTD (450 MHz) στις Δανίας, και OLT στη Νορβηγία. Το NMT βασίζεται στην αναλογική τεχνολογία (1G) και υπάρχουν δύο παραλλαγές: NMT-450 και NMT-900. Οι αριθμοί υποδεικνύουν τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται. Το NMT-900 εισήχθη το 1986 και μεταφέρει περισσότερα κανάλια από το παλαιότερο δίκτυο NMT-450. Οι προδιαγραφές NMT ήταν ελεύθερες και ανοιχτές, επιτρέποντας σε πολλές εταιρείες να παράγουν υλικό NMT και να ωθούν τις τιμές κάτω. Τα αρχικά τηλέφωνα NMT σχεδιάστηκαν για να τοποθετούνται στον κορμό ενός αυτοκινήτου. Οι φορητές εκδόσεις υπήρχαν, αν και ήταν ακόμα ογκώδεις, και με τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας να εξακολουθεί να είναι ένα μεγάλο πρόβλημα.

#### 3.2.1 Ιστορία

Το δίκτυο NMT χρησιμοποιείται κυρίως στις σκανδιναβικές χώρες, τις χώρες της Βαλτικής, την Ελβετία, τις Κάτω Χώρες, την Ουγγαρία, την Πολωνία, τη Βουλγαρία,

τη Ρουμανία, την Τσεχία, τη Σλοβακία, τη Σλοβενία, τη Σερβία, την Τουρκία, την Κροατία, τη Βοσνία και τη Ρωσία. Η εισαγωγή ψηφιακών κινητών δικτύων, όπως το GSM, μείωσε τη δημοτικότητα του NMT και οι σκανδιναβικές χώρες ανέστειλαν τα δίκτυα NMT. Το δίκτυο NMT (450 MHz) έχει όμως ένα μεγάλο πλεονέκτημα έναντι του GSM που είναι το εύρος. Αυτό το πλεονέκτημα είναι πολύτιμο σε μεγάλες αλλά αραιοκατοικημένες χώρες.

### **3.2.2 Τεχνολογία**

Τα μεγέθη κυψελών σε ένα δίκτυο NMT κυμαίνονται από 2 χλμ. έως 30 χλμ. Σε μικρότερη εμβέλεια, το δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους καλούντες ταυτόχρονα. Η NMT χρησιμοποίησε πλήρη αμφίδρομη μετάδοση, επιτρέποντας την ταυτόχρονη λήψη και μετάδοση φωνής. Οι εκδόσεις τηλεφώνου του NMT με κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιούσαν ισχύ μετάδοσης μέχρι 15 watt (NMT-450) και 6 watt (NMT-900). Η NMT είχε από την αρχή αυτόματη εναλλαγή και παράδοση της κλήσης ενσωματωμένη στο πρότυπο, πράγμα που δεν συνέβαινε με τις περισσότερες προηγούμενες τηλεφωνικές υπηρεσίες, όπως το φινλανδικό ARP. Επιπλέον, το πρότυπο NMT καθόριζε την τιμολόγηση καθώς και την εθνική και διεθνή περιαγωγή.

### **3.2.3 Ασφάλεια**

Ένα μειονέκτημα της αρχικής προδιαγραφής NMT είναι ότι η φωνητική κίνηση δεν ήταν κρυπτογραφημένη, επομένως ήταν δυνατή η ακρόαση κλήσεων χρησιμοποιώντας π.χ. ένα σαρωτή. Ως αποτέλεσμα, ορισμένοι σαρωτές είχαν μπλοκάρει τις ζώνες NMT, ώστε να μην έχουν πρόσβαση. Οι μεταγενέστερες εκδόσεις των προδιαγραφών NMT καθόριζαν την προαιρετική αναλογική κρυπτογράφηση η οποία βασιζόταν σε αναστροφή συχνότητας ήχου δύο ζωνών. Αν τόσο ο σταθμός βάσης όσο και ο κινητός σταθμός υποστηρίζουν κρυπτογράφηση, θα μπορούσαν να συμφωνήσουν στη χρήση της κατά την πραγματοποίηση τηλεφωνικής κλήσης. Επίσης, εάν δύο χρήστες είχαν κινητούς (τηλεφωνικούς) σταθμούς που υποστήριζαν κρυπτογράφηση, θα μπορούσε να ενεργοποιηθεί κατά τη διάρκεια της συνομιλίας ακόμα κι αν οι σταθμοί βάσης δεν την υποστήριζαν. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ήχος θα είναι κωδικοποιημένος σε όλη τη διαδρομή μεταξύ των 2 κινητών σταθμών. Ενώ η μέθοδος κρυπτογράφησης δεν ήταν εξίσου ισχυρή με την κρυπτογράφηση των σημερινών ψηφιακών τηλεφώνων, όπως το GSM ή το CDMA, απέτρεψε την περιστασιακή ακρόαση με σαρωτές.

### ***3.2.4 Μεταφορά δεδομένων***

Το NMT υποστηρίζει επίσης μια απλή αλλά ισχυρή λειτουργία μεταφοράς δεδομένων που ονομάζεται DMS (υπηρεσία δεδομένων και μηνυμάτων) ή NMT-Text, η οποία χρησιμοποιούσε το κανάλι σηματοδότησης του δικτύου για μεταφορά δεδομένων. Με τη χρήση DMS, ήταν δυνατή και η ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου μεταξύ δύο συσκευών NMT πριν από την έναρξη της υπηρεσίας SMS στο GSM, αλλά αυτή η δυνατότητα δεν ήταν ποτέ διαθέσιμη στο εμπόριο εκτός από τα ρωσικά, πολωνικά και βουλγαρικά δίκτυα NMT. Μια άλλη μέθοδος μεταφοράς δεδομένων ονομάστηκε NMT Mobidigi, όμως απαιτούσε εξωτερικό εξοπλισμό.

## **3.3 AMPS**

Το προηγμένο σύστημα κινητού τηλεφώνου (AMPS) είναι ένα αναλογικό πρότυπο συστήματος κινητού τηλεφώνου που αναπτύχθηκε από την Bell Labs και εισήχθη επίσημα στην Αμερική στις 13 Οκτωβρίου 1983. Ήταν το κύριο αναλογικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας στη Βόρεια Αμερική (και σε άλλες τοπικές τοποθεσίες) στη δεκαετία του 1980 και στη δεκαετία του 2000. Από τις 18 Φεβρουαρίου 2008, οι φορείς στις Ηνωμένες Πολιτείες δεν ήταν πλέον υποχρεωμένοι να υποστηρίζουν AMPS, και εταιρείες όπως η AT & T και η Verizon διέκοψαν μόνιμα την υπηρεσία αυτή.

### ***3.3.1 Ιστορία***

Οι πρώτες προσπάθειες κυτταρικού δικτύου ξεκίνησαν από την Bell Labs και με έρευνα που διεξήχθη στη Motorola. Το 1960, ο John F. Mitchell, ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός που είχε αποφοιτήσει από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Ιλινόις, έγινε ο μηχανικός της Motorola για τα προϊόντα κινητής τηλεφωνίας. Ο Mitchell επέβλεψε την ανάπτυξη και την εμπορία του πρώτου τηλεειδοποιητή με τη χρήση τρανζίστορ. Η Motorola παρήγαγε καιρό κινητά τηλέφωνα για αυτοκίνητα, αλλά αυτά τα μεγάλα και βαριά μοντέλα καταλάωναν υπερβολική ισχύ για να επιτραπεί η χρήση τους χωρίς να λειτουργεί ο κινητήρας του αυτοκινήτου. Η ομάδα του Μίτσελ, η οποία περιελάμβανε τον Dr. Martin Cooper, ανέπτυξε φορητή κυψελοειδής τηλεφωνία και ο Mitchell ήταν από τους υπαλλήλους της Motorola που χορηγήθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το έργο αυτό το 1973. Ενώ η Motorola ανέπτυξε ένα κινητό τηλέφωνο, από το 1968-1983 η Bell Labs επεξεργάστηκε ένα σύστημα που ονομάζεται Advanced Mobile Phone System (AMPS), το οποίο έγινε το πρώτο

πρότυπο κυψελοειδούς δικτύου στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το πρώτο σύστημα εγκαταστάθηκε με επιτυχία στο Σικάγο, Ιλλινόις, το 1979. Η Motorola και άλλοι σχεδίασαν έχτισαν τα κινητά τηλέφωνα για αυτό και άλλα κυψελοειδή συστήματα. Ο Martin Cooper, πρώην γενικός διευθυντής του τμήματος συστημάτων στη Motorola, οδήγησε μια ομάδα που παρήγαγε το DynaTAC8000x, το πρώτο δηλαδή εμπορικά διαθέσιμο κινητό τηλέφωνο που ήταν αρκετά μικρό για να μεταφερθεί εύκολα και έκανε το πρώτο τηλεφώνημα από αυτό. Αργότερα παρουσίασε το λεγόμενο τηλέφωνο σε τσάντα. Το 1992 το πρώτο smartphone, που ονομαζόταν IBM Simon, χρησιμοποιούσε AMPS. Μια εκλεπτυσμένη έκδοση του προϊόντος διατέθηκε στους καταναλωτές το 1994 από την BellSouth με το όνομα Simon Personal Communicator. Ο Simon ήταν η πρώτη συσκευή που μπορεί να χαρακτηριστεί σωστά ως "smartphone", παρόλο που ο όρος αυτός δεν είχε ακόμα δημιουργηθεί.

### **3.3.2 Τεχνολογία**

Η AMPS είναι μια κυψελωτή τεχνολογία πρώτης γενιάς που χρησιμοποιεί ξεχωριστές συχνότητες ή "κανάλια" για κάθε συζήτηση (πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA)). Κατά συνέπεια, χρειάστηκε σημαντικό εύρος ζώνης για μεγάλο αριθμό χρηστών. Σε γενικές γραμμές, η AMPS ήταν παρόμοια με την παλαιότερη βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας 0G, αλλά χρησιμοποιούσε σημαντικά περισσότερη υπολογιστική ισχύ για να επιλέξει συχνότητες, να παραδώσει συνομιλίες σε γραμμές PSTN και να χειριστεί τη χρέωση και τη ρύθμιση των κλήσεων. Αυτό που πραγματικά χωρίζει την AMPS από τα παλαιότερα συστήματα είναι η λειτουργία "back end". Στην AMPS, τα κέντρα κυψέλης μπορούσαν να εκχωρήσουν ευέλικτα κανάλια στα φορητά ακουστικά με βάση την ισχύ του σήματος, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση της ίδιας συχνότητας σε διάφορες τοποθεσίες χωρίς παρεμβολές. Αυτό επέτρεψε τη στήριξη μεγαλύτερου αριθμού τηλεφώνων σε μια γεωγραφική περιοχή. Οι πρωτοπόροι της AMPS δημιούργησαν τον όρο "κυτταρικό" λόγω της χρήσης μικρών εξαγωνικών "κυττάρων" μέσα σε ένα σύστημα. Η AMPS υπέφερε από πολλές αδυναμίες σε σύγκριση με τις σημερινές ψηφιακές τεχνολογίες. Ως αναλογικό πρότυπο, ήταν ευαίσθητο σε θόρυβο και δεν υπήρχε καμία προστασία από την "υποκλοπή" χρησιμοποιώντας ένα σαρωτή. Η κυψελωτή υπηρεσία AMPS λειτουργεί στη ζώνη κυψελών 850 MHz. Κάθε κανάλι διπλής όψης αποτελείται από 2 συχνότητες. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιούσε διαφορετικό υποσύνολο από αυτά τα κανάλια από ό, τι οι γείτονες για να αποφύγει την

παρεμβολή. Αυτό μείωσε σημαντικά τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών σε κάθε τοποθεσία σε συστήματα πραγματικού κόσμου. Κάθε κανάλι AMPS είχε ένα εύρος ζώνης μίας διαδρομής 30 kHz, για ένα σύνολο 60 kHz για κάθε διπλό κανάλι.

### **3.4 NTT**

Η εταιρεία Nippon Telegraph and Telephone Corporation, κοινώς γνωστή ως NTT, είναι ιαπωνική εταιρεία τηλεπικοινωνιών με έδρα το Τόκιο της Ιαπωνίας. Η NTT είναι η τέταρτη μεγαλύτερη εταιρεία τηλεπικοινωνιών στον κόσμο από την άποψη των εσόδων. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1952 ως μονοπωλιακή κρατική εταιρεία και ιδιωτικοποιήθηκε το 1985 για να ενθαρρύνει τον ανταγωνισμό στην αγορά τηλεπικοινωνιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: 2G

---

---

Το 2G αντιπροσωπεύει την κυτταρική τεχνολογία δεύτερης γενιάς. Τα δεύτερης γενιάς (2G) κυψελοειδή δίκτυα κυκλοφόρησαν στο εμπόριο με το πρότυπο GSM στη Φινλανδία από την Radiolinja το 1991. Τα τρία βασικά οφέλη των δικτύων 2G έναντι των προκατόχων τους ήταν ότι: οι τηλεφωνικές συνομιλίες κρυπτογραφούνταν ψηφιακά, τα συστήματα 2G είχαν σημαντικά πιο αποτελεσματικό φάσμα, επιτρέποντας πολύ μεγαλύτερα επίπεδα ασύρματης διείσδυσης, και επίσης ότι το 2G εισήγαγε υπηρεσίες δεδομένων για κινητά, ξεκινώντας με μηνύματα SMS. Οι τεχνολογίες 2G επέτρεψαν στα διάφορα δίκτυα να παρέχουν υπηρεσίες όπως μηνύματα κειμένου, εικονομηνύματα και μηνύματα MMS (μηνύματα πολυμέσων). Όλα τα μηνύματα κειμένου που αποστέλλονται μέσω 2G είναι ψηφιακά κρυπτογραφημένα, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ο προοριζόμενος δέκτης να μπορεί να τα λάβει και να τα διαβάσει.

Μετά το λανσάρισμα του 2G, τα προηγούμενα συστήματα κινητών ασύρματων δικτύων 1G αναθεωρήθηκαν αναδρομικά. Ενώ τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 1G είναι αναλογικά, τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 2G είναι ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους ραδιοφώνου (που ακούν τις συσκευές) με το υπόλοιπο κινητό σύστημα. Το 2G έχει αντικατασταθεί από νεότερες τεχνολογίες όπως 2.5G, 2.75G, 3G και 4G. Ωστόσο, τα δίκτυα 2G εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στα περισσότερα μέρη του κόσμου.

Με τη γενική υπηρεσία ραδιοσυχνοτήτων Packet Radio (GPRS), η 2G προσφέρει μια θεωρητική μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς 50 kbit / s (40 kbit / s στην πράξη). Με την EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) υπάρχει μια θεωρητική μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς 1 Mbit / s (500 kbit / s στην πράξη).

Οι τεχνολογίες 2G μπορούν να χωριστούν σε πρότυπα χρονικής διαίρεσης πολλαπλής πρόσβασης (TDMA) και πρότυπα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (CDMA), ανάλογα με τον τύπο πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται.



Τα βασικά πρότυπα 2G είναι:

- ~ GSM (βασισμένο σε TDMA), αρχικά από την Ευρώπη, αλλά χρησιμοποιείται στον μεγαλύτερο μέρος του κόσμου εκτός της Βόρειας Αμερικής.
- ~ Το PDC είναι επίσης γνωστό ως JDC (Japanese Digital Cellular) (βασισμένο σε TDMA) και χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην Ιαπωνία
- ~ iDEN (βασισμένο σε TDMA), ιδιόκτητο δίκτυο που χρησιμοποιείται από τη Nextel στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Telus Mobility στον Καναδά
- ~ IS-136 ή αλλιώς η ψηφιακή AMPS ή η D-AMPS (βασισμένη στο TDMA) ήταν κάποτε διαδεδομένη στην Αμερική, αλλά οι περισσότεροι έχουν μετακινηθεί στο GSM.

Οι υπηρεσίες 2G αναφέρονται συχνά ως Υπηρεσία Προσωπικών Επικοινωνιών ή PCS.

### Ιστορική Εξέλιξη

Στη δεκαετία του 1990, προέκυψαν τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς. Δύο συστήματα ανταγωνίστηκαν για την υπεροχή στην παγκόσμια αγορά: το ευρωπαϊκό πρότυπο GSM και οι ΗΠΑ ανέπτυξαν το πρότυπο CDMA. Αυτές διέφεραν από την προηγούμενη γενιά, χρησιμοποιώντας ψηφιακή αντί για αναλογική μετάδοση, καθώς και γρήγορη σηματοδότηση μεταξύ τηλεφώνου και δικτύου. Η αύξηση της χρήσης κινητών τηλεφώνων ως αποτέλεσμα της 2G ήταν εκρηκτική. Αυτή η εποχή επίσης σηματοδότησε την έλευση των πρώτων προπληρωμένων κινητών τηλεφώνων. Το 1991 ξεκίνησε το πρώτο δίκτυο GSM (Radiolinja) στη Φινλανδία. Το 1993, εισήχθη η IBM Simon. Αυτό ήταν ίσως το πρώτο smartphone στον κόσμο. Ήταν ένα κινητό τηλέφωνο, ένας τηλεειδοποιητής, μια συσκευή φαξ και ένα PDA, όλα σε ένα. Περιελάμβανε ημερολόγιο, βιβλίο διευθύνσεων, ρολόι, αριθμομηχανή, σημειωματάριο, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και οθόνη αφής με πληκτρολόγιο QWERTY. Το IBM Simon είχε μια γραφίδα η οποία χρησιμοποιούνταν για να αγγίζετε η οθόνη αφής. Παρουσιάστηκε η δυνατότητα πρόβλεψης πληκτρολόγησης, η οποία θα μπορούσε να μαντέψει τους επόμενους χαρακτήρες καθώς ο χρήστης πληκτρολογούσε.

Η δεύτερη γενιά εισήγαγε μια νέα παραλλαγή επικοινωνίας που ονομάζεται SMS ή μηνύματα κειμένου. Αρχικά ήταν διαθέσιμο μόνο σε δίκτυα GSM, αλλά επεκτάθηκε τελικά σε όλα τα ψηφιακά δίκτυα. Το πρώτο μήνυμα SMS που δημιουργήθηκε από το μηχάνημα απεστάλη στο Ηνωμένο Βασίλειο στις 3 Δεκεμβρίου 1992 και ακολούθησε το 1993 το πρώτο SMS σε άτομο που στάλθηκε στη Φινλανδία. Η έλευση των

προπληρωμένων υπηρεσιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 σύντομα έκανε τα SMS τη βασικότερη μέθοδο επικοινωνίας. Η 2G εισήγαγε επίσης την ικανότητα πρόσβασης σε περιεχόμενα πολυμέσων στα κινητά τηλέφωνα. Το 1998 το πρώτο περιεχόμενο που μεταφορτώθηκε στα κινητά τηλέφωνα ήταν ο ήχος κλήσης που ξεκίνησε η ραδιοφωνική ραδιοφωνία της Φινλανδίας. Η διαφήμιση στο κινητό τηλέφωνο εμφανίστηκε για πρώτη φορά στη Φινλανδία όταν κυκλοφόρησε το 2000 μια δωρεάν υπηρεσία καθημερινής ειδησεογραφίας SMS, η οποία χρηματοδοτούνταν από τη διαφήμιση.

Προσωπικά Handy-phone System κινητά και μόντεμ χρησιμοποιήθηκαν στην Ιαπωνία γύρω στο 1997-2003.

Η πρώτη πλήρης υπηρεσία διαδικτύου στα κινητά τηλέφωνα εισήχθη από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία το 1999.

Τα δίκτυα 2G χτίστηκαν κυρίως για φωνητικές υπηρεσίες και αργή διαβίβαση δεδομένων, αλλά θεωρούνται από το ευρύ κοινό πως είναι υπηρεσίες 2.5G ή 2.75G επειδή είναι αρκετές φορές πιο αργές από τις σημερινές 3G υπηρεσίες.

#### **4.1 2.5G (GPRS)**

Το 2.5G χρησιμοποιείται για την περιγραφή 2G-συστημάτων που έχουν υλοποιήσει έναν τομέα μεταγωγής πακέτων επιπρόσθετα στον τομέα μεταγωγής κυκλώματος. Δεν παρέχει απαραίτητως ταχύτερη εξυπηρέτηση, διότι η ομαδοποίηση χρονικών μηνυμάτων χρησιμοποιείται επίσης για υπηρεσίες δεδομένων μεταγωγής κυκλωμάτων (HSCSD). Το πρώτο σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των δικτύων GSM προς 3G συνέβη με την εισαγωγή της υπηρεσίας General Packet Radio Service (GPRS). Τα δίκτυα CDMA2000 εξελίχθηκαν εξίσου με την εισαγωγή του 2.5G. Η προσέγγισή της επικεντρώθηκε στη χρήση πακέτων δεδομένων. Μέχρι αυτή τη χρονική στιγμή όλα τα κυκλώματα είχαν αφιερωθεί σε ένα δεδομένο χρήστη σε μια προσέγγιση γνωστή ως κύκλωμα μεταγωγής, δηλαδή εκεί που ένα πλήρες κύκλωμα αλλάζει για ένα δεδομένο χρήστη. Αυτό δεν ήταν αποτελεσματικό όταν σε ένα κανάλι μεταφέρονταν μόνο δεδομένα για ένα μικρό ποσοστό του χρόνου. Η νέα προσέγγιση μεταγωγής πακέτων δρομολόγησε μεμονωμένα πακέτα δεδομένων από τον πομπό προς τον δέκτη επιτρέποντας στο ίδιο κύκλωμα να χρησιμοποιείται από διαφορετικούς χρήστες. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση των

κυκλωμάτων και τη μέτρηση των φορτίων σύμφωνα με τα δεδομένα που μεταφέρονται.

## **4.2 2.75G (EDGE)**

Τα δίκτυα GPRS εξελίχθηκαν σε δίκτυα EDGE με την εισαγωγή της κωδικοποίησης 8PSK. Ενώ ο ρυθμός συμβόλων παρέμεινε ο ίδιος στα 270.833 δείγματα ανά δευτερόλεπτο, κάθε σύμβολο φέρει τρία ψηφία αντί για ένα. Τα βελτιωμένα ποσοστά δεδομένων για το GSM Evolution (EDGE), το ενισχυμένο GPRS (EGPRS) ή το IMT-Single Carrier (IMT-SC) είναι μια τεχνολογία ψηφιακού κινητού τηλεφώνου που επιτρέπει συμβατότητα προς τα πίσω. Το EDGE αναπτύχθηκε σε δίκτυα GSM ξεκινώντας το 2003 από την AT & T. Το EDGE είναι τυποποιημένο από το 3GPP ως τμήμα της οικογένειας GSM και είναι μια αναβάθμιση που προσφέρει δυνητικά τριπλάσια αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων GSM / GPRS. Η ψηφιακή υπηρεσία 2G παρείχε πολύ χρήσιμα χαρακτηριστικά, όπως αναγνωριστικό καλούντος, προώθηση κλήσεων και σύντομα μηνύματα.

## **4.3 Ψηφιακό Σήμα**

Οι ψηφιακές επικοινωνίες είναι η μεταφορά δεδομένων (ψηφιακή ροή δυαδικών ψηφίων ή ψηφιοποιημένο αναλογικό σήμα) μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας από σημείο σε σημείο ή από σημείο σε πολλαπλό σημείο. Παραδείγματα τέτοιων καναλιών είναι τα σύρματα χαλκού, οι οπτικές ίνες και τα κανάλια ασύρματης επικοινωνίας. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύονται ως ηλεκτρομαγνητικό σήμα, όπως ηλεκτρική τάση, ακτινοβολία, μικροκύματα ή υπέρυθρο σήμα.

Η αναλογική μετάδοση είναι μια μέθοδος μετάδοσης πληροφοριών φωνής, δεδομένων, εικόνας, σήματος ή εικόνας χρησιμοποιώντας ένα συνεχές σήμα το οποίο ποικίλλει σε πλάτος, φάση ή κάποια άλλη ιδιότητα ανάλογα με εκείνο μιας μεταβλητής. Τα μηνύματα είτε αντιπροσωπεύονται από μια ακολουθία παλμών μέσω ενός κώδικα γραμμής (μετάδοση βασικής ζώνης), είτε μέσω μιας περιορισμένης σειράς συνεχώς μεταβαλλόμενων μορφών κυμάτων (μετάδοση περιαγωγής), χρησιμοποιώντας μια μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης. Η διαμόρφωση passband και η αντίστοιχη αποδιαμόρφωση (επίσης γνωστή ως ανίχνευση) πραγματοποιείται με εξοπλισμό μόντεμ. Σύμφωνα με τον πιο συνηθισμένο ορισμό του ψηφιακού σήματος, τόσο τα σήματα βασικής ζώνης όσο και τα πεπερασμένα σήματα που

αντιπροσωπεύουν ρεύματα δυαδικών ψηφίων θεωρούνται ως ψηφιακή μετάδοση, ενώ ένας εναλλακτικός ορισμός θεωρεί μόνο το σήμα βασικής ζώνης ως ψηφιακή και passband μετάδοση ψηφιακών δεδομένων ως μορφή ψηφιακού -αναλογικού μετατροπέα.

Τα δεδομένα που μεταδίδονται μπορεί να είναι ψηφιακά μηνύματα που προέρχονται από μια πηγή δεδομένων, για παράδειγμα έναν υπολογιστή ή ένα πληκτρολόγιο. Μπορεί επίσης να είναι ένα αναλογικό σήμα, όπως μια τηλεφωνική κλήση ή ένα σήμα βίντεο, ψηφιοποιημένο σε ροή δυαδικών ψηφίων, για παράδειγμα με χρήση διαμόρφωσης παλμικού κώδικα (PCM) ή πιο προηγμένων συστημάτων κωδικοποίησης πηγής (μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό και συμπίεση δεδομένων). Αυτή η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση πηγής διεξάγεται με εξοπλισμό κωδικοποιητή.

#### ***4.3.1 Εφαρμογές και ιστορία***

Τα δεδομένα (κυρίως τα πληροφοριακά) αποστέλλονταν μέσω μη ηλεκτρονικών (π.χ. οπτικών, ακουστικών, μηχανικών) μέσων από τη στιγμή εμφάνισης της επικοινωνίας. Δεδομένα αναλογικού σήματος στέλλονταν ηλεκτρονικά από τη στιγμή της εμφάνισης του τηλεφώνου. Ωστόσο, οι πρώτες εφαρμογές ηλεκτρομαγνητικής μετάδοσης δεδομένων στη σύγχρονη εποχή ήταν η τηλεγραφία (1809) και οι τηλέτυποι (1906), τα οποία ήταν ψηφιακά σήματα. Η βασική θεωρητική εργασία στη μετάδοση δεδομένων και στη θεωρία των πληροφοριών, από τον Harry Nyquist, τον Ralph Hartley, τον Claude Shannon και άλλους κατά τις αρχές του 20ού αιώνα, έγινε με αυτές τις εφαρμογές.

Στα τηλεφωνικά δίκτυα, η ψηφιακή επικοινωνία χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πολλών τηλεφωνημάτων μέσω του ίδιου καλωδίου χαλκού ή καλωδίου ινών, μέσω της διαμόρφωσης κωδικοποίησης παλμών (PCM), δηλαδή της δειγματοληψίας και της ψηφιοποίησης, σε συνδυασμό με την πολυπλεξία Time Division Multiplication (TDM) (1962). Τα τηλεφωνικά κέντρα έχουν γίνει ψηφιακά και λογισμικά ελεγχόμενα, διευκολύνοντας πολλές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Το πρώτο τηλεφωνικό κέντρο παρουσιάστηκε το 1976. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ήταν δυνατή η ψηφιακή επικοινωνία με τον τελικό χρήστη χρησιμοποιώντας υπηρεσίες ISDN (Integrated Services Digital Network). Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, οι τεχνικές ευρυζωνικής πρόσβασης, όπως το ADSL, τα καλωδιακά

μόντεμ, το FTTB και το fiber-to-the-home (FTTH), έχουν γίνει ευρέως διαδεδομένα σε μικρά γραφεία και σπίτια. Η τρέχουσα τάση είναι να αντικατασταθούν οι παραδοσιακές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες μέσω επικοινωνίας μέσω πακέτων όπως η IP τηλεφωνία και η IPTV.

Η μετάδοση αναλογικών σημάτων επιτρέπει ψηφιακά μεγαλύτερη δυνατότητα επεξεργασίας σημάτων. Η δυνατότητα επεξεργασίας ενός σήματος επικοινωνίας σημαίνει ότι τα σφάλματα που προκαλούνται από τυχαίες διαδικασίες μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν. Τα ψηφιακά σήματα μπορούν επίσης να υποβληθούν σε δειγματοληψία αντί να παρακολουθούνται συνεχώς. Η πολυπλεξία πολλαπλών ψηφιακών σημάτων είναι πολύ απλούστερη στην πολυπλεξία απ' αυτή των αναλογικών σημάτων. Λόγω όλων αυτών των πλεονεκτημάτων οι ψηφιακές επικοινωνίες έχουν αυξηθεί γρήγορα.

Η ψηφιακή επανάσταση έχει επίσης οδηγήσει σε πολλές εφαρμογές ψηφιακών τηλεπικοινωνιών στις οποίες εφαρμόζονται οι αρχές της μετάδοσης δεδομένων. Παραδείγματα 2G είναι η κινητή τηλεφωνία, η τηλεδιάσκεψη, η ψηφιακή τηλεόραση (1998) και το ψηφιακό ραδιόφωνο (1999).

#### **4.4 GSM**

Το GSM είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) για να περιγράψει τα πρωτόκολλα για ψηφιακά κυψελοειδή δίκτυα δεύτερης γενιάς που χρησιμοποιούνται από κινητές συσκευές όπως τα tablet που αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά στη Φινλανδία το Δεκέμβριο του 1991. Από το 2014, έχει γίνει το παγκόσμιο πρότυπο για τις κινητές επικοινωνίες - με μερίδιο αγοράς άνω του 90%, που λειτουργεί σε περισσότερες από 219 χώρες. Τα δίκτυα 2G αναπτύχθηκαν ως αντικαταστάτης των αναλογικών κυψελοειδών δικτύων πρώτης γενιάς (1G) και το πρότυπο GSM αρχικά περιγράφηκε ως ψηφιακό δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων βελτιστοποιημένο για φωνητική τηλεφωνία πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας. Αυτό επεκτάθηκε με την πάροδο του χρόνου ώστε να περιλαμβάνει επικοινωνίες δεδομένων, πρώτα με μεταφορά μέσω κυκλώματος, κατόπιν μεταφορά πακέτων δεδομένων μέσω GPRS (General Packet Radio Services) και EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution ή EGPRS). Στη συνέχεια, το 3GPP ανέπτυξε πρότυπα UMTS τρίτης γενιάς (3G), ακολουθούμενα από πρότυπα LTE Advanced της τέταρτης γενιάς (4G), τα οποία δεν αποτελούν μέρος του

προτύπου GSM ETSI. Το "GSM" είναι εμπορικό σήμα που ανήκει στην Ένωση GSM. Μπορεί επίσης να αναφέρεται στον πιο συνηθισμένο κωδικοποιητή φωνής που χρησιμοποιείται, τον Full Rate.

#### ***4.4.1 Ιστορία***

Το 1983, άρχισαν οι εργασίες για την ανάπτυξη ενός ευρωπαϊκού προτύπου για τις ψηφιακές τηλεπικοινωνίες κυψελοειδούς φωνής, όταν η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT) ίδρυσε την επιτροπή Groupe Spécial Mobile. Το 1992, πραγματοποιήθηκε η αποστολή της πρώτης υπηρεσίας σύντομων μηνυμάτων (SMS ή "μήνυμα κειμένου"), ενώ η Vodafone UK και η Telecom Finland υπέγραψαν την πρώτη διεθνή συμφωνία περιαγωγής. Επίσης, το έτος 1993, η Telecom Australia έγινε ο πρώτος φορέας εκμετάλλευσης δικτύου για την ανάπτυξη δικτύου GSM εκτός Ευρώπης και το πρώτο πρακτικό φορητό κινητό τηλέφωνο GSM έγινε διαθέσιμο. Το 1995 δρομολογήθηκαν εμπορικές υπηρεσίες φαξ, δεδομένων και SMS, το πρώτο GSM δίκτυο των 1900 MHz άρχισε να λειτουργεί στις Ηνωμένες Πολιτείες και οι συνδρομητές GSM παγκοσμίως υπερέβησαν τα 10 εκατομμύρια. Την ίδια χρονιά δημιουργήθηκε η Ένωση GSM. Οι προπληρωμένες κάρτες SIM GSM ξεκίνησαν το 1996. Το 2000 ξεκίνησαν οι πρώτες εμπορικές υπηρεσίες GPRS και έγιναν διαθέσιμα προς πώληση τα πρώτα κινητά τηλέφωνα συμβατά με GPRS. Το 2001 ξεκίνησε το πρώτο δίκτυο UMTS (W-CDMA), μια τεχνολογία 3G που δεν αποτελεί μέρος του GSM. Το 2002, εισήχθη η πρώτη υπηρεσία μηνυμάτων πολυμέσων (MMS). Οι υπηρεσίες EDGE άρχισαν να λειτουργούν για πρώτη φορά σε δίκτυο το 2003. Το 2005 τέθηκε και σε λειτουργία το πρώτο δίκτυο με δυνατότητα HSDPA. Το πρώτο δίκτυο HSUPA που ξεκίνησε το 2007 (HSPA) και οι εκδόσεις ανερχόμενης ζεύξης και κατερχόμενης ζεύξης είναι τεχνολογίες 3G, οι οποίες δεν αποτελούν μέρος του GSM.

Το GSM είναι ένα πρότυπο δεύτερης γενιάς (2G) που χρησιμοποιεί κοινόχρηστο φάσμα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA), το οποίο εκδίδεται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI). Το πρότυπο GSM δεν περιλαμβάνει την τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης (CDMA) του συστήματος καθολικής πρόσβασης για κινητά τηλέφωνα (UMTS) 3G και τα πρότυπα τεχνολογίας πολλαπλής προσπέλασης πολλαπλών προσπελάσεων (OFDMA) 4G LTE που εκδίδονται από το 3GPP.

Το GSM, για πρώτη φορά, καθόρισε ένα κοινό πρότυπο για την Ευρώπη για ασύρματα δίκτυα. Το GSM χρησιμοποιεί τη γενική υπηρεσία ραδιοσυχνοτήτων (GPRS) για τη μετάδοση δεδομένων όπως την περιήγηση στον ιστό. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κρυπτογραφίες GPRS διακόπηκαν δημόσια το 2011.

#### **4.4.2 Μονάδα ταυτότητας συνδρομητή (SIM)**

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του GSM είναι η Μονάδα Ταυτότητας συνδρομητή, κοινώς γνωστή ως κάρτα SIM. Η κάρτα SIM είναι μια αποσπώμενη έξυπνη κάρτα που περιέχει τις πληροφορίες συνδρομής και τον τηλεφωνικό κατάλογο του χρήστη. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να διατηρεί τις πληροφορίες του μετά την αλλαγή των φορητών ακουστικών. Εναλλακτικά, ο χρήστης μπορεί επίσης να αλλάξει τους χειριστές διατηρώντας το ακουστικό αλλά αλλάζοντας την κάρτα SIM. Μερικοί χειριστές θα το μπλοκάρουν αυτό επιτρέποντας στο τηλέφωνο να χρησιμοποιεί μόνο μία SIM ή μόνο μία κάρτα SIM που εκδίδεται από αυτούς. Αυτή η πρακτική είναι γνωστή ως κλειδώμα SIM.

### **4.5 GPRS**

Η υπηρεσία γενικού πακέτου ραδιοσυχνοτήτων (GPRS) είναι μια υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας προσανατολισμένη στα πακέτα του παγκόσμιου συστήματος κινητών επικοινωνιών (GSM) των κυψελοειδών επικοινωνιών 2G και 3G. Το GPRS οριστικοποιήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) ως απάντηση στις προηγούμενες κυτταρικές τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων CDPD και i-mode.

Η GPRS είναι μια υπηρεσία η οποία πραγματεύεται από μεταβλητή απόδοση και λανθάνοντα χρόνο που εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών που μοιράζονται την υπηρεσία ταυτόχρονα, σε αντίθεση με την εναλλαγή κυκλωμάτων, όπου μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) είναι εγγυημένη κατά τη σύνδεση. Η 2G κυτταρική τεχνολογία σε συνδυασμό με την GPRS μερικές φορές περιγράφεται ως 2.5G, δηλαδή μια τεχνολογία μεταξύ της δεύτερης (2G) και τρίτης (3G) γενιάς κινητής τηλεφωνίας, η οποία παρέχει μεταφορά δεδομένων μέτριας ταχύτητας, χρησιμοποιώντας αχρησιμοποίητα κανάλια πολλαπλής προσπέλασης (TDMA), για παράδειγμα, στο σύστημα GSM.

#### **4.5.1 Τεχνική επισκόπηση**

Το βασικό δίκτυο GPRS επιτρέπει στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G και WCDMA να μεταφέρουν πακέτα IP σε εξωτερικά δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο. Το σύστημα GPRS αποτελεί ενσωματωμένο τμήμα του υποσυστήματος μεταγωγής δικτύου GSM.

#### **4.5.2 Προσφερόμενες υπηρεσίες**

Το GPRS επεκτείνει τις δυνατότητες δεδομένων του πακετομεταγωγού GSM και κάνει τις ακόλουθες υπηρεσίες δυνατές:

- ~ Μηνύματα SMS και εκπομπή
- ~ Πάντα πρόσβαση στο διαδίκτυο
- ~ Υπηρεσία μηνυμάτων πολυμέσων (MMS)
- ~ Push-to-talk μέσω κυψελοειδούς (PoC)
- ~ Instant messaging
- ~ Εφαρμογές Διαδικτύου για έξυπνες συσκευές μέσω πρωτοκόλλου ασύρματων εφαρμογών (WAP)
- ~ Υπηρεσία από σημείο σε σημείο (P2P): διασύνδεση με το Διαδίκτυο (IP)
- ~ Υπηρεσία από σημείο σε πολλαπλό σημείο (P2M)

#### **4.5.3 Υποστηριζόμενα πρωτόκολλα**

- ~ Το GPRS υποστηρίζει τα ακόλουθα πρωτόκολλα:
- ~ Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP). Στην πράξη, τα ενσωματωμένα προγράμματα περιήγησης για κινητά χρησιμοποιούν το IPv4, δεδομένου ότι το IPv6 δεν ήταν ακόμα δημοφιλές.
- ~ Πρωτόκολλο από σημείο σε σημείο (PPP). Σε αυτή τη λειτουργία, το PPP συχνά δεν υποστηρίζεται από τον φορέα κινητής τηλεφωνίας, αλλά εάν το κινητό χρησιμοποιείται ως μόντεμ στον συνδεδεμένο υπολογιστή, το PPP χρησιμοποιείται για τη σήραγγα IP στο τηλέφωνο. Αυτό επιτρέπει τη δυναμική ανάθεση μιας διεύθυνσης IP (IPCP όχι DHCP) στον κινητό εξοπλισμό.
- ~ X.25 συνδέσεις. Αυτό χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές όπως ασύρματα τερματικά πληρωμής, παρόλο που έχει αφαιρεθεί από το πρότυπο. Το X.25 μπορεί ακόμα να υποστηρίζεται μέσω του PPP ή ακόμη και μέσω IP.

Όταν χρησιμοποιείται TCP / IP, κάθε τηλέφωνο μπορεί να διαθέτει μία ή περισσότερες διευθύνσεις IP. Το GPRS αποθηκεύει και προωθεί τα πακέτα IP στο τηλέφωνο ακόμα και κατά τη διάρκεια της παράδοσης. Το TCP χειρίζεται οποιαδήποτε απώλεια πακέτων.



## 4.6 EDGE

Τα βελτιωμένα ποσοστά δεδομένων για το GSM Evolution (Enhanced GPRS (EGPRS) ή IMT-Single Carrier (IMT-SC)) είναι μια ψηφιακή τεχνολογία κινητού τηλεφώνου που επιτρέπει βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων ως μια προς τα πίσω επέκταση του GSM. Το EDGE θεωρείται τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων πριν από το 3G. Το EDGE αναπτύχθηκε σε δίκτυα GSM από το 2003 - αρχικά από την Cingular. Το EDGE ορίστηκε από το 3GPP ως μέρος της οικογένειας GSM. Μια παραλλαγή, αποκαλούμενη Compact-EDGE, αναπτύχθηκε για χρήση σε ένα τμήμα του ψηφιακού φάσματος δικτύου AMPS. Μέσω της εισαγωγής εξελιγμένων μεθόδων κωδικοποίησης και μετάδοσης δεδομένων, η EDGE παρέχει υψηλότερες ταχύτητες ανά ραδιοφωνικό κανάλι, με αποτέλεσμα την τριπλή αύξηση της χωρητικότητας και της απόδοσης σε σύγκριση με μια συνηθισμένη σύνδεση GSM / GPRS.

Το EDGE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε εφαρμογή με μεταγωγή πακέτων, όπως σύνδεση στο Internet.

### 4.6.1 Τεχνολογία

Το EDGE / EGPRS υλοποιείται ως βύσμα για τα δίκτυα GSM / GPRS 2.5G, διευκολύνοντας έτσι την αναβάθμιση των υφιστάμενων φορέων GSM. Το EDGE είναι ένα υπερσύνολο για το GPRS και μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε δίκτυο με GPRS που αναπτύσσεται σε αυτό, με την προϋπόθεση ότι ο φορέας υλοποιεί την απαραίτητη αναβάθμιση. Το EDGE δεν απαιτεί αλλαγές υλικού ή λογισμικού σε δίκτυα πυρήνα GSM. Πρέπει να εγκατασταθούν μονάδες πομποδέκτη συμβατές με EDGE και το υποσύστημα σταθμού βάσης πρέπει να αναβαθμιστεί για να υποστηρίξει το EDGE.

## 4.7 SMS

Η υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (SMS) είναι μία υπηρεσία μηνυμάτων κειμένου που παρέχετε στα περισσότερα τηλέφωνα, στον Παγκόσμιο Ιστό και στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Χρησιμοποιεί τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας για να επιτρέπει σε συσκευές κινητής τηλεφωνίας να ανταλλάσσουν σύντομα μηνύματα κειμένου.

Τα SMS, όπως χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα φορητά ακουστικά, προέρχονται από τη ραδιοτηλεγραφία και χρησιμοποιούν τυποποιημένα πρωτόκολλα τηλεφώνου. Αυτά

ορίστηκαν το 1985 ως μέρος μίας σειράς προτύπων του Παγκόσμιου Συστήματος Κινητών Επικοινωνιών (GSM). Τα πρωτόκολλα επέτρεψαν στους χρήστες να στέλνουν και να λαμβάνουν μηνύματα έως 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων προς και από το GSM κινητά τηλέφωνα. Παρόλο που τα περισσότερα μηνύματα SMS είναι μηνύματα κειμένου από κινητό σε κινητό, η υποστήριξη για την υπηρεσία έχει επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει και άλλες κινητές τεχνολογίες, όπως τα δίκτυα ANSI CDMA και Digital AMPS.

#### Αρχική ιδέα

Η προσθήκη λειτουργιών μηνυμάτων κειμένου σε κινητές συσκευές ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Το σχέδιο δράσης περιλάμβανε την ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου είτε απευθείας μεταξύ κινητών σταθμών είτε μεταδιδόμενο μέσω συστημάτων χειρισμού μηνυμάτων που χρησιμοποιούνταν εκείνη την εποχή.

Η έννοια SMS αναπτύχθηκε στη γαλλο-γερμανική συνεργασία GSM το 1984 από τους Friedhelm Hillebrand και Bernard Ghillebaert. Το SMS θεωρήθηκε στην κύρια ομάδα GSM ως πιθανή υπηρεσία για το νέο ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα. Η βασική ιδέα για το SMS ήταν να χρησιμοποιήσει το τηλεφωνικά βελτιστοποιημένο σύστημα (GSM) και να μεταφέρει μηνύματα στις διαδρομές σηματοδότησης που απαιτούνται για τον έλεγχο της τηλεφωνικής κίνησης κατά τις περιόδους που δεν υπήρχε κυκλοφοριακή σηματοδότηση. Με αυτόν τον τρόπο, οι αχρησιμοποίητοι πόροι στο σύστημα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά μηνυμάτων με ελάχιστο κόστος. Ωστόσο, ήταν απαραίτητο να περιοριστεί το μήκος των μηνυμάτων έτσι ώστε να μπορούν να χωρέσουν στις υπάρχουσες μορφές σηματοδότησης.

## 4.8 MMS

Η υπηρεσία μηνυμάτων πολυμέσων (MMS) είναι ένας τυπικός τρόπος για την αποστολή μηνυμάτων που περιλαμβάνουν περιεχόμενο πολυμέσων από και προς ένα κινητό τηλέφωνο μέσω κυψελοειδούς δικτύου που αναπτύχθηκε αρχικά το 1984. Το πρότυπο MMS επεκτείνει την ικανότητα του κεντρικού SMS (Short Message Service), επιτρέποντας την ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου περισσότερων χαρακτήρων. Σε αντίθεση με το SMS (μόνο για κείμενο), το MMS μπορεί να προσφέρει μια ποικιλία μέσων, συμπεριλαμβανομένων μέχρι και σαράντα δευτερόλεπτα βίντεο, μία εικόνα ή μια παρουσίαση διαφανειών πολλαπλών εικόνων ή

ήχου. Οι ομάδες 3GPP και WAP ενθάρρυναν την ανάπτυξη του προτύπου MMS, το οποίο συνεχίζεται από το Open Mobile Alliance (OMA).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : 3 G

---

---

Το 3G είναι η τρίτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας κινητών τηλεπικοινωνιών. Αυτό βασίζεται σε ένα σύνολο προτύπων που χρησιμοποιούνται για κινητές συσκευές, υπηρεσίες και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union) των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών-2000 (IMT-2000). Το 3G βρίσκει εφαρμογή στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, την πρόσβαση στο κινητό Internet, τη σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο Internet, τις βιντεοκλήσεις και την τηλεόραση. Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών 3G υποστηρίζουν υπηρεσίες που παρέχουν ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών τουλάχιστον 2 Mbit / s. Οι μεταγενέστερες κυκλοφορίες 3G, οι οποίες συχνά υποδηλώνονται με 3.5G και 3.75G, παρέχουν επίσης ευρυζωνική πρόσβαση κινητής τηλεφωνίας αρκετών Mbit / s σε smartphones και κινητά μόντεμ σε φορητούς υπολογιστές. Αυτό διασφαλίζει ότι μπορεί να εφαρμοστεί στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, την πρόσβαση στο κινητό Internet, τη σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο Internet, τις βιντεοκλήσεις και τις τεχνολογίες κινητής τηλεόρασης.

Μια νέα γενιά κυψελοειδών προτύπων εμφανίζεται περίπου κάθε δέκατο έτος από την εισαγωγή των συστημάτων 1G το 1981/1982. Κάθε γενιά χαρακτηρίζεται από νέες ζώνες συχνοτήτων, υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και τεχνολογία μετάδοσης που δεν είναι συμβατή προς τα πίσω. Τα πρώτα δίκτυα 3G εισήχθησαν το 1998 και τα 4G δίκτυα τέταρτης γενιάς το 2008.

### Επισκόπηση

Ορισμένες εταιρείες τηλεπικοινωνιών προωθούν ασύρματες υπηρεσίες κινητού Διαδικτύου ως 3G, γεγονός που δείχνει ότι η διαφημιζόμενη υπηρεσία παρέχεται μέσω ασύρματου δικτύου 3G. Οι υπηρεσίες που διαφημίζονται ως 3G πρέπει να πληρούν τα τεχνικά πρότυπα IMT-2000, συμπεριλαμβανομένων των προτύπων αξιοπιστίας και ταχύτητας (ποσοστά μεταφοράς δεδομένων). Προκειμένου να πληρούνται τα πρότυπα IMT-2000, απαιτείται σύστημα για την παροχή μέγιστων ρυθμών δεδομένων τουλάχιστον 200 kbit / s (περίπου 0,2 Mbit / s). Ωστόσο, πολλές υπηρεσίες που διαφημίζονται ως 3G παρέχουν υψηλότερη ταχύτητα από τις ελάχιστες

τεχνικές απαιτήσεις για μια υπηρεσία 3G. Οι πρόσφατες κυκλοφορίες 3G, οι οποίες συχνά υποδηλώνονται με 3.5G και 3.75G, παρέχουν επίσης κινητή ευρυζωνική πρόσβαση αρκετών Mbit / s σε smartphones και κινητά μόντεμ σε φορητούς υπολογιστές.

Τα παρακάτω πρότυπα είναι συνήθως επώνυμα 3G:

- ~ το σύστημα UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service), το οποίο προσφέρθηκε για πρώτη φορά το 2001 και τυποποιήθηκε από το 3GPP χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Ευρώπη, την Ιαπωνία, την Κίνα (με διαφορετική διασύνδεση ραδιοφώνου) και άλλες περιοχές στις οποίες επικρατούσε η υποδομή συστήματος GSM 2G . Τα κινητά τηλέφωνα είναι συνήθως υβριδικά UMTS και GSM. Διάφορες ραδιοφωνικές διεπαφές προσφέρονται, που μοιράζονται την ίδια υποδομή:
  - ~ Η αρχική και πιο διαδεδομένη διασύνδεση ραδιοσυχνοτήτων ονομάζεται W-CDMA (Πολλαπλή Πρόσβαση Στον Κώδικα Ευρείας Ζώνης).
  - ~ Η ασύρματη διασύνδεση TD-SCDMA κυκλοφόρησε στο εμπόριο το 2009 και προσφέρεται μόνο στην Κίνα.
  - ~ Η τελευταία έκδοση UMTS, HSPA +, μπορεί να προσφέρει μέγιστες ταχύτητες δεδομένων μέχρι 56 Mbit / s στην downlink θεωρητικά (28 Mbit / s σε υπάρχουσες υπηρεσίες) και 22 Mbit / s στην ανερχόμενη ζεύξη.
- ~ το σύστημα CDMA2000, το οποίο προσφέρεται για πρώτη φορά το 2002, τυποποιημένο από το 3GPP2, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και τη Νότια Κορέα, μοιράζεται υποδομή με το πρότυπο IS-95 2G. Τα κινητά τηλέφωνα είναι συνήθως τα υβρίδια CDMA2000 και IS-95.

Τα παραπάνω συστήματα και οι ραδιοδιεργασίες βασίζονται στην τεχνολογία ραδιομετάδοσης ευρέος φάσματος. Ενώ το πρότυπο GSM EDGE ("2.9G"), τα ασύρματα τηλέφωνα DECT και τα πρότυπα Mobile WiMAX πληρούν επίσης τυπικά τις απαιτήσεις του IMT-2000 και έχουν εγκριθεί ως πρότυπα 3G από την ITU, αυτά δεν είναι γενικά 3G επώνυμα και βασίζονται σε εντελώς διαφορετικές τεχνολογίες .

Τα παρακάτω κοινά πρότυπα συμμορφώνονται με το πρότυπο IMT2000 / 3G:

- ~ EDGE, μία αναθεώρηση από την οργάνωση 3GPP στις παλαιότερες μεθόδους μετάδοσης με βάση το GSM, χρησιμοποιώντας τους ίδιους κόμβους μεταγωγής, σταθμούς βάσης και συχνότητες ως GPRS, αλλά και νέα κυκλώματα RF σταθμών βάσης και κινητών τηλεφώνων. Το EDGE εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της ευκολίας αναβάθμισης από την υπάρχουσα υποδομή GSM 2G και τα κινητά τηλέφωνα.
- ~ Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών, το οποίο δημιουργήθηκε και αναθεωρήθηκε από το 3GPP.
- ~ Το W-CDMA είναι η πιο συνηθισμένη ανάπτυξη, που λειτουργεί συνήθως στη ζώνη 2.100 MHz.

- ~ Το HSPA είναι μια συγχώνευση αρκετών αναβαθμίσεων με το αρχικό πρότυπο. Το HSPA είναι συμβατό με το παρελθόν και χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με το W-CDMA.
- ~ Η HSPA +, μια περαιτέρω αναθεώρηση και αναβάθμιση του HSPA, μπορεί να παρέχει θεωρητικές μέγιστες ταχύτητες δεδομένων μέχρι 168 Mbit / s στην κατερχόμενη ζεύξη και 22 Mbit / s στην ανερχόμενη ζεύξη, χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό βελτιώσεων της διεπαφής αέρα καθώς και πολλαπλών φορέων HSPA και MIMO.
- ~ Το σύστημα CDMA2000 ή το IS-2000 τυποποιημένα από το 3GPP2 (που διαφέρουν από το 3GPP), εξελίσσεται από το αρχικό σύστημα CDMA IS-95.

Τα ερευνητικά και αναπτυξιακά έργα 3G (UMTS και CDMA2000) ξεκίνησαν το 1992. Υπάρχουν εξελικτικά πρότυπα (EDGE και CDMA) που είναι συμβατά με τις παρελθοντικές επεκτάσεις των δικτύων 2G, καθώς και επαναστατικά πρότυπα που απαιτούν ολοκαίνουργιο υλικό δικτύου και κατανομές συχνοτήτων. Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν το UMTS σε συνδυασμό με πρότυπα 2G GSM και εύρος ζώνης, αλλά δεν υποστηρίζουν το EDGE. Η τελευταία ομάδα είναι η οικογένεια UMTS, η οποία αποτελείται από πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για το IMT-2000.

Ενώ η EDGE πληροί τις προδιαγραφές 3G, τα περισσότερα τηλέφωνα GSM / UMTS αναφέρουν λειτουργίες EDGE ("2.75G") και UMTS ("3G").

#### Ιστορία

Η τεχνολογία 3G ήταν το αποτέλεσμα των εργασιών έρευνας και ανάπτυξης που πραγματοποίησε η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Οι προδιαγραφές και τα πρότυπα 3G αναπτύχθηκαν μέσα σε δεκαπέντε χρόνια. Οι τεχνικές προδιαγραφές τέθηκαν στη διάθεση του κοινού με την ονομασία IMT-2000. Το φάσμα επικοινωνίας μεταξύ 400 MHz και 3 GHz ws κατανέμεται για 3G. Το πρώτο προ-εμπορικό δίκτυο 3G ξεκίνησε από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία το 1998, με την επωνυμία FOMA. Διατέθηκε για πρώτη φορά το Μάιο του 2001 ως δοκιμαστική έκδοση της τεχνολογίας W-CDMA. Το πρώτο εμπορικό λανσάρισμα της τεχνολογίας 3G πραγματοποιήθηκε επίσης από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία την 1η Οκτωβρίου 2001, αν και αρχικά ήταν κάπως περιορισμένο. Η ευρύτερη διαθεσιμότητα του συστήματος καθυστέρησε λόγω των ανησυχιών για την αξιοπιστία του. Το πρώτο ευρωπαϊκό προ-εμπορικό δίκτυο ήταν ένα δίκτυο UMTS από την Manx Telecom και το πρώτο εμπορικό δίκτυο (επίσης το W-CDMA με βάση το UMTS) στην Ευρώπη ανοίχθηκε για τις επιχειρήσεις από την Telenor το Δεκέμβριο του 2001.

Το πρότυπο 3G είναι ίσως γνωστό λόγω της μαζικής επέκτασης της αγοράς κινητής τηλεφωνίας μετά το 2G και των προόδων του καταναλωτικού κινητού τηλεφώνου. Μια ιδιαίτερα αξιοσημείωτη εξέλιξη κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου είναι το smartphone (για παράδειγμα, το iPhone και η οικογένεια Android), συνδυάζοντας τις δυνατότητες ενός PDA με ένα κινητό τηλέφωνο, οδηγώντας σε ευρεία ζήτηση για κινητή σύνδεση στο διαδίκτυο. Το 3G έχει επίσης εισαγάγει τον όρο "κινητή ευρυζωνική σύνδεση" επειδή η ταχύτητα και η ικανότητά του καθιστούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για την περιήγηση στο Διαδίκτυο και τα μόντεμ USB που συνδέονται με δίκτυα 3G γίνονται ολοένα και πιο κοινά.

### Χαρακτηριστικά

#### Ποσοστά δεδομένων

Η ITU δεν παρείχε σαφή ορισμό του ποσοστού δεδομένων που οι χρήστες μπορούν να περιμένουν από τον εξοπλισμό ή τους παρόχους 3G. Έτσι, οι χρήστες στους οποίους πωλούνται υπηρεσίες 3G ενδέχεται να μην μπορούν να επισημάνουν ένα πρότυπο και να δηλώσουν ότι οι τιμές που καθορίζει δεν πληρούνται. Παρότι αναμένεται ότι το IMT-2000 θα προσφέρει υψηλότερα ποσοστά μετάδοσης, η ITU δεν ορίζει σαφώς τα ελάχιστα απαιτούμενα ποσοστά, ούτε απαιτεί μέσες τιμές, ούτε διασαφηνίζει τους τρόπους των διεπαφών που χαρακτηρίζονται ως 3G. Έτσι, διάφοροι αόριστοι ρυθμοί δεδομένων πωλούνται ως 3G στην αγορά.

#### Ασφάλεια

Τα δίκτυα 3G προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια από τους προκατόχους τους 2G. Επιτρέποντας στον UE (Εξοπλισμό Χρήστη) να επαληθεύει το δίκτυο στο οποίο συνδέεται, ο χρήστης μπορεί να είναι βέβαιος ότι το δίκτυο είναι το επιδιωκόμενο και όχι ένα παραστατικό. Τα δίκτυα 3G χρησιμοποιούν τον κρυπτογραφητή του μπλοκ KASUMI. Εκτός από την ασφάλεια των υποδομών δικτύου 3G, προσφέρεται ασφάλεια από άκρο σε άκρο όταν προσπελάζονται πλαίσια εφαρμογής όπως το IMS (αν και αυτό δεν είναι αυστηρά ιδιοκτησία 3G).

#### Εφαρμογές του 3G

Το εύρος ζώνης και οι πληροφορίες θέσης που είναι διαθέσιμες σε συσκευές 3G δημιουργούν εφαρμογές που δεν ήταν προηγουμένως διαθέσιμες σε χρήστες κινητών τηλεφώνων. Μερικές από τις εφαρμογές είναι:

- ~ Σύστημα Global Positioning (GPS)
- ~ Υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας
- ~ Κινητή τηλεόραση
- ~ Τηλεϊατρική
- ~ Βιντεοδιασκέψεις
- ~ Βίντεο κατά παραγγελία.

### Εξέλιξη

Τόσο το 3GPP όσο και το 3GPP2 ασχολούνται με τις επεκτάσεις του προτύπου 3G, οι οποίες βασίζονται σε μια υποδομή δικτύου IP και χρησιμοποιούν προηγμένες ασύρματες τεχνολογίες όπως το MIMO. Αυτές οι προδιαγραφές ήδη εμφανίζουν χαρακτηριστικά για το IMT-Advanced (4G), το διάδοχο του 3G.

## 5.1 UMTS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (UMTS) είναι ένα κινητό κυψελοειδές σύστημα τρίτης γενιάς για δίκτυα που βασίζονται στο πρότυπο GSM. Αναπτύχθηκε και συντηρείται από το 3GPP. Το UMTS είναι ένα συστατικό της σειράς IMT-2000 της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών και συγκρίνεται με το πρότυπο CDMA2000 για δίκτυα που βασίζονται στην ανταγωνιστική τεχνολογία cdmaOne. Το UMTS χρησιμοποιεί τεχνολογία ραδιοεπικοινωνίας πολλαπλής προσπέλασης με πολλαπλή πρόσβαση (W-CDMA) για την παροχή μεγαλύτερης φασματικής απόδοσης και εύρους ζώνης στους φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων. Το UMTS καθορίζει ένα ολοκληρωμένο σύστημα δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (UTTS), το βασικό δίκτυο (Mobile Application Part ή MAP) και τον έλεγχο ταυτότητας των χρηστών μέσω καρτών SIM (συνδρομητική ταυτότητα). Η τεχνολογία που περιγράφεται στο UMTS αναφέρεται επίσης μερικές φορές ως Πρόσβαση Ελευθερίας Κινητών Πολυμέσων (FOMA) ή 3GSM. Σε αντίθεση με το EDGE (IMT Single-Carrier, με βάση το GSM) και το CDMA2000 (IMT Multi-Carrier), το UMTS απαιτεί νέους σταθμούς βάσης και νέες κατανομές συχνοτήτων.



### **5.1.1 Χαρακτηριστικά**

Το UMTS υποστηρίζει μέγιστες θεωρητικές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων 42 Mbit/s.

Από το 2006, τα δίκτυα UMTS σε πολλές χώρες έχουν αναβαθμιστεί ή βρίσκονται σε διαδικασία αναβάθμισης με την Access Packet Access Downlink High-Speed (HSDPA), γνωστή και ως 3.5G. Επίσης, σημειώνεται πρόοδος όσον αφορά τη βελτίωση της ταχύτητας μεταφοράς προς τα πάνω με την Πρόσβαση Πακέτων Υψηλής Ταχύτητας (HSUPA). Μακροπρόθεσμα, το σχέδιο 3GPP Long Term Evolution (LTE) σχεδιάζει να μετακινήσει το UMTS σε ταχύτητες 4G με ταχύτητα 100 Mbit/s και 50 Mbit/s, χρησιμοποιώντας μια νέα τεχνολογία διασύνδεσης αέρα που βασίζεται στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας. Τα πρώτα εθνικά δίκτυα UMTS καταναλωτών ξεκίνησαν το 2002 με μεγάλη έμφαση στις κινητές τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές όπως η κινητή τηλεόραση και οι τηλεφωνικές κλήσεις. Οι υψηλές ταχύτητες δεδομένων του UMTS χρησιμοποιούνται πλέον συχνότερα για πρόσβαση στο Διαδίκτυο: η εμπειρία έχει δείξει ότι η ζήτηση των βιντεοφωνικών κλήσεων από τους χρήστες δεν είναι υψηλή και το περιεχόμενο του ήχου / βίντεο που παρέχεται από την τηλεφωνική συσκευή έχει μειωθεί στη δημοτικότητα λόγω της υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στον Παγκόσμιο Ιστό - είτε απευθείας σε φορητό ακουστικό είτε συνδεδεμένο σε υπολογιστή μέσω Wi-Fi, Bluetooth ή USB.

## **5.2 3.5G (HSPA)**

Η πρόσβαση σε πακέτα υψηλής ταχύτητας (HSPA) είναι μια συγχώνευση δύο κινητών πρωτοκόλλων, HSDPA και HSUPA, που επεκτείνουν και βελτιώνουν την απόδοση των υφιστάμενων κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων 3G χρησιμοποιώντας Πρωτόκολλα WCDMA. Ένα ακόμα βελτιωμένο πρότυπο 3GPP, το Evolved High Access Packet Access (γνωστό και ως HSPA +), κυκλοφόρησε στα τέλη του 2008.

### **5.2.1 Επισκόπηση**

Οι πρώτες προδιαγραφές του HSPA υποστηρίζουν αυξημένες ταχύτητες δεδομένων μέγιστης ταχύτητας έως 14 Mbit/s στην downlink και 5,76 Mbit/s. Επίσης, μείωσε την καθυστέρηση και παρέσχε έως και πέντε φορές περισσότερη χωρητικότητα συστήματος και έως διπλάσια χωρητικότητα του συστήματος σε σύγκριση με το αρχικό πρωτόκολλο WCDMA.

### **5.2.2 Πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας προς τα κάτω (HSDPA)**

Η πρόσβαση σε πακέτα υψηλής ταχύτητας Downlink Packet Access (HSDPA) είναι ένα πρωτοποριακό πρωτόκολλο κινητής τηλεφωνίας 3G στην οικογένεια HSPA (high-speed packet access), το οποίο έχει επίσης αποκαλεστεί 3.5G, 3G + ή Turbo 3G, επιτρέπει στο τηλεπικοινωνιακό Σύστημα (UMTS) να έχει υψηλότερες ταχύτητες και χωρητικότητα δεδομένων. Η HSDPA έχει εισαχθεί με 3GPP Release 5. Εκτός από τη βελτίωση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, η HSDPA μειώνει επίσης την καθυστέρηση και επομένως τον χρόνο ταξιδιού για εφαρμογές. Το HSPA + που εισήχθη στο 3GPP Release 7 αυξάνει περαιτέρω τα ποσοστά δεδομένων προσθέτοντας 64QAM διαμόρφωση, MIMO και Dual-Cell HSDPA λειτουργία.

Η πρώτη φάση του HSDPA έχει καθοριστεί στην έκδοση 3GPP release 5. Η πρώτη φάση εισάγει νέες βασικές λειτουργίες και αποσκοπεί στην επίτευξη μέγιστων ρυθμών δεδομένων (14,0 Mbit/s) με σημαντικά μειωμένη καθυστέρηση. Η βελτίωση της ταχύτητας και της καθυστέρησης μειώνει το κόστος ανά bit και ενισχύει την υποστήριξη για εφαρμογές πακέτων δεδομένων υψηλής απόδοσης. Το HSDPA βασίζεται στη μετάδοση κοινόχρηστου καναλιού και τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η μετάδοση κοινόχρηστου καναλιού και πολλαπλών κωδικών, η διαμόρφωση υψηλότερης τάξης, το σύντομο χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI), η γρήγορη προσαρμογή ζεύξης και ο προγραμματισμός μαζί με το γρήγορο αυτόματο επαναλαμβανόμενο αίτημα επανάληψης (HARQ). Περαιτέρω νέες δυνατότητες είναι τα κοινά κανάλια υψηλής ταχύτητας (HS-DSCH), τα προσαρμοστικά modulation QPSK και 16QAM και το πρωτόκολλο υψηλής ταχύτητας μέσης πρόσβασης (MAC-hs) στους σταθμούς βάσης.

### **5.2.3 Πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας προς τα πάνω (HSUPA)**

Η Πρόσβαση Πακέτων Υψηλής Ταχύτητας (HSUPA) είναι ένα πρωτόκολλο κινητής τηλεφωνίας 3G στην οικογένεια HSPA. Αυτή η τεχνολογία ήταν το δεύτερο σημαντικό βήμα στη διαδικασία εξέλιξης του UMTS. Καθορίστηκε και τυποποιήθηκε στο 3GPP Release 6 για να βελτιώσει το ρυθμό δεδομένων στα 5,76 Mbit/s, επεκτείνοντας την χωρητικότητα και μειώνοντας την λανθάνουσα κατάσταση. Μαζί με τις πρόσθετες βελτιώσεις που αναλύονται παρακάτω, δημιουργούνται ευκαιρίες για πολλές νέες εφαρμογές, όπως VoIP, μεταφόρτωση εικόνων και αποστολή μεγάλων μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

#### **5.2.4 Τεχνολογία**

Το Enhanced Uplink προσθέτει ένα νέο κανάλι μεταφοράς στο WCDMA, που ονομάζεται Enhanced Dedicated Channel (E-DCH). Επιπλέον, διαθέτει αρκετές βελτιώσεις παρόμοιες με εκείνες της HSDPA, συμπεριλαμβανομένης της μετάδοσης πολλαπλών κωδικών, του βραχύτερου χρονικού διαστήματος μετάδοσης (TTI), που επιτρέπει την ταχύτερη προσαρμογή του συνδέσμου, τον ταχύ προγραμματισμό και την ταχεία αίτηση αυτόματης επανάληψης (HARQ) με αυξημένη πλεονασμού καθιστώντας τις αναμεταδόσεις πιο αποτελεσματικές. Ομοίως με το HSDPA, η HSUPA χρησιμοποιεί έναν προγραμματιστή πακέτων, αλλά λειτουργεί βάσει μιας αρχής αιτήματος-επιχορήγησης, όπου οι ΕΕ ζητούν άδεια για την αποστολή δεδομένων και ο χρονοπρογραμματιστής αποφασίζει πότε και πόσοι UE θα επιτρέπεται να το κάνουν. Εκτός από αυτόν τον προγραμματισμένο τρόπο μετάδοσης, τα πρότυπα επιτρέπουν επίσης μια αυτοματοποιημένη λειτουργία μετάδοσης από τους UE, που χαρακτηρίζονται μη προγραμματισμένα. Η μη προγραμματισμένη λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπηρεσίες VoIP.

#### **5.2.5 Εξελιγμένη Πρόσβαση Πακέτων Υψηλής Ταχύτητας (HSPA +)**

Το Evolved HSPA (γνωστό και ως HSPA Evolution, HSPA +) είναι ένα ασύρματο ευρυζωνικό πρότυπο που ορίζεται στην έκδοση 3GPP 7 της προδιαγραφής WCDMA. Παρέχει επεκτάσεις στους υφιστάμενους ορισμούς του HSPA και ως εκ τούτου είναι συμβατό προς τα πίσω σε όλη τη διαδρομή προς τις αρχικές κυκλοφορίες του Release 99 WCDMA. Το εξελιγμένο HSPA παρέχει ταχύτητες δεδομένων έως 42,2 Mbit/s με τεχνολογίες πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (2x2 MIMO) και διαμόρφωση υψηλότερης τάξης (64 QAM). Με την τεχνολογία Dual Cell, αυτά μπορούν να διπλασιαστούν.

### **5.3 3.75G (EHSPA)**

Η εξελιγμένη πρόσβαση πακέτων υψηλής ταχύτητας (ή HSPA + ή HSPA (Plus) ή HSPAP) είναι ένα τεχνικό πρότυπο για τις ασύρματες ευρυζωνικές τηλεπικοινωνίες. Είναι η δεύτερη φάση του HSPA που έχει εισαχθεί στην έκδοση 3GPP release 7 και έχει βελτιωθεί περαιτέρω στις μεταγενέστερες εκδόσεις του 3GPP. Το HSPA + μπορεί να επιτύχει ρυθμούς δεδομένων μέχρι 42,2 Mbit/s. Εισάγει τεχνολογίες συστοιχίας κεραιών όπως μορφοποίηση δέσμης και επικοινωνίες πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO). Το MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές στην

πλευρά αποστολής και λήψης. Περαιτέρω απελευθερώσεις του προτύπου έχουν εισαγάγει λειτουργία διπλού φορέα, δηλαδή την ταυτόχρονη χρήση δύο φορέων. Η τεχνολογία προσφέρει επίσης σημαντικές βελτιώσεις στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και δραματικά ταχύτερο χρόνο αφύπνισης από το χρόνο αναμονής, παρέχοντας μια πραγματική σύνδεση πάντα. HSPA + είναι μια εξέλιξη του HSPA που αναβαθμίζει το υπάρχον δίκτυο 3G και παρέχει μια μέθοδο για τους μεταφορείς τηλεπικοινωνιών να μετακινούνται προς ταχύτητες 4G που είναι πιο συγκρίσιμες με τις αρχικά διαθέσιμες ταχύτητες των νεότερων δικτύων LTE χωρίς την ανάπτυξη ενός νέου ραδιοεπικοινωνιακού περιβάλλοντος. Το HSPA + δε θα πρέπει να συγχέεται με το LTE. Το Advanced HSPA + είναι μια περαιτέρω εξέλιξη του HSPA + και παρέχει ταχύτητες δεδομένων έως και 84,4 και 168 Mbit/s στην κινητή συσκευή (downlink) και 22 Mbit/s από την κινητή συσκευή (uplink). Από τεχνική άποψη, αυτές επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης μιας τεχνικής πολλαπλών κεραιών γνωστής ως MIMO (πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων).

## **5.4 CDMA**

Η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA) είναι μια μέθοδος πρόσβασης καναλιού που χρησιμοποιείται από διάφορες τεχνολογίες ραδιοεπικοινωνιών. Το CDMA είναι ένα παράδειγμα πολλαπλής πρόσβασης, όπου πολλοί πομποί μπορούν να στέλνουν πληροφορίες ταυτόχρονα μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας. Αυτό επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται μια ζώνη συχνοτήτων. Για να το επιτρέψει αυτό χωρίς αδικαιολόγητη παρεμβολή μεταξύ των χρηστών, το CDMA χρησιμοποιεί την τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος και ένα ειδικό σύστημα κωδικοποίησης (όπου κάθε πομπός έχει έναν κωδικό). Το CDMA χρησιμοποιείται ως μέθοδος πρόσβασης σε πολλά πρότυπα κινητών τηλεφώνων. Το IS-95, που ονομάζεται επίσης "cdmaOne", και η 3G εξέλιξή του CDMA2000, αναφέρονται συχνά ως CDMA, αλλά το UMTS, το πρότυπο 3G που χρησιμοποιείται από τους φορείς GSM, καθώς και τα TD-CDMA και TD-SCDMA, ως ραδιοφωνική τεχνολογία.

### **5.4.1 Ιστορία**

Η τεχνολογία των καναλιών πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα είναι γνωστή από καιρό. Στη Σοβιετική Ένωση (ΕΣΣΔ), το πρώτο έργο που αφιερώθηκε σε αυτό το θέμα δημοσιεύθηκε το 1935 από τον Ντιμίτρι Αγετέφ. Αποδείχθηκε ότι με τη χρήση

γραμμικών μεθόδων υπάρχουν τρεις τύποι διαχωρισμού σήματος: συχνότητα, χρόνος και αντισταθμιστικός. Η τεχνολογία του CDMA χρησιμοποιήθηκε το 1957, όταν ο νέος στρατιωτικός ραδιοηλεκτρολόγος Leonid Kurriyanovich στη Μόσχα έκανε ένα πειραματικό μοντέλο φορητού αυτόματου κινητού τηλεφώνου, που ονομάζεται LK-1, με σταθμό βάσης. Το LK-1 έχει βάρος 3 kg, απόσταση λειτουργίας 20-30 km και διάρκεια ζωής μπαταρίας 20-30 ώρες. Ο σταθμός βάσης, όπως περιγράφεται από τον συντάκτη, μπορεί να εξυπηρετήσει διάφορους πελάτες. Το 1958, ο Kurriyanovich έκανε το νέο πειραματικό μοντέλο "τσέπης" του κινητού τηλεφώνου. Αυτό το τηλέφωνο ζύγιζε 0,5 κιλά. Το 1958, η USSR ξεκίνησε επίσης την ανάπτυξη της εθνικής υπηρεσίας κινητής τηλεφωνίας Altai για αυτοκίνητα, με βάση το πρότυπο MRT-1327 της Σοβιετικής Ένωσης. Το τηλεφωνικό σύστημα ζύγιζε 11 κιλά. Οι κύριοι προγραμματιστές του συστήματος Altai ήταν το VNIIS (Ινστιτούτο Επικοινωνιών της Voronezh Science Research) και το GSPI (State Specialized Project Institute).

#### **5.4.2 Χρήσεις**

- ~ Μία από τις πρώτες εφαρμογές για πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα είναι στο Global Positioning System (GPS). Αυτό προηγήθηκε και διαφέρει από τη χρήση του στα κινητά τηλέφωνα.
- ~ Το πρότυπο Qualcomm IS-95, το οποίο διατίθεται στο εμπόριο ως cdmaOne.
- ~ Το πρότυπο Qualcomm IS-2000, γνωστό ως CDMA2000, χρησιμοποιείται από πολλές εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, συμπεριλαμβανομένου του δικτύου Globalstar.
- ~ Το πρότυπο κινητού τηλεφώνου UMTS 3G, το οποίο χρησιμοποιεί W-CDMA.
- ~ Το CDMA χρησιμοποιήθηκε στο δορυφορικό σύστημα OmniTRACS.

### **5.5 CDMA2000**

Το CDMA2000 (επίσης γνωστό ως C2K ή IMT Multi-Carrier (IMT-MC)) είναι μια οικογένεια προτύπων κινητής τεχνολογίας 3G για την αποστολή δεδομένων φωνής, δεδομένων και σηματοδοσίας μεταξύ κινητών τηλεφώνων και τοποθεσιών κυττάρων. Αναπτύσσεται από το 3GPP2 ως ένα συμβατό με το παρελθοντικό σύστημα δεύτερης γενιάς (2G) cdmaOne (IS-95). Το CDMA2000 συγκρίνεται με το UMTS, ένα ανταγωνιστικό σύνολο προτύπων 3G, το οποίο αναπτύχθηκε από το 3GPP.

## 5.6 3GPP

Το Σχέδιο Σύμπραξης 3ης Γενιάς (3GPP) είναι μια συνεργασία μεταξύ ομάδων οργανισμών τηλεπικοινωνιών, γνωστών ως Οργανωτικοί Συνεργάτες. Το αρχικό πεδίο εφαρμογής του 3GPP ήταν να καταστεί παγκοσμίως εφαρμοστέα η προδιαγραφή συστήματος κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3G), βασισμένη σε εξελισσόμενες προδιαγραφές του Παγκόσμιου Συστήματος για τις Κινητές Επικοινωνίες (GSM) στο πλαίσιο του διεθνούς έργου Διεθνούς Κινητής Τηλεφωνίας-2000 της Παγκόσμιας Τηλεπικοινωνιακής Ένωσης (ITU). Το πεδίο εφαρμογής διευρύνθηκε αργότερα για να συμπεριλάβει την ανάπτυξη και τη συντήρηση των:

- ~ GSM και συναφή πρότυπα 2G και 2.5G, συμπεριλαμβανομένων των GPRS και EDGE
- ~ UMTS και συναφή πρότυπα 3G, συμπεριλαμβανομένου του HSPA
- ~ LTE και συναφή πρότυπα 4G, συμπεριλαμβανομένων των LTE Advanced και LTE Advanced Pro
- ~ Επόμενη γενιά και σχετικά πρότυπα 5G
- ~ Ένα εξελιγμένο υποσύστημα πολυμέσων IP (IMS) που αναπτύχθηκε με ανεξάρτητο τρόπο πρόσβασης

Η τυποποίηση του 3GPP περιλαμβάνει τα δίκτυα ραδιοπρόσβασης, τις υπηρεσίες και τα συστήματα, το κεντρικό δίκτυο και τα τερματικά. Το έργο δημιουργήθηκε τον Δεκέμβριο του 1998 και δεν πρέπει να συγχέεται με το 3GPP2, το οποίο καθορίζει πρότυπα για μια άλλη τεχνολογία 3G βασισμένη στο IS-95 (CDMA), γνωστή ως CDMA2000.

### 5.6.1 Ιστορία

Η πρωτοβουλία του προγράμματος 3ης γενιάς για εταιρικές σχέσεις προέκυψε τελικά από μια στρατηγική πρωτοβουλία μεταξύ της Nortel Networks και της AT & T Wireless. Το 1998, η AT & T Wireless εκμεταλλευόταν ένα ασύρματο δίκτυο IS-136 (TDMA) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 1997, το ασύρματο τμήμα της Bell Northern Research της Nortel Networks στο Richardson, Texas, ανέπτυξε ένα όραμα για το ασύρματο δίκτυο Internet Protocol (IP), το οποίο πήρε το εσωτερικό όνομα Cell Web. Καθώς προχώρησε η ιδέα, η Nortel ξεκίνησε το όραμα της βιομηχανίας ως Ασύρματο Διαδίκτυο. Η AT & T Wireless έδειξε έντονο ενδιαφέρον για το ασύρματο Internet. Το GSM υιοθετήθηκε ως βάση της εξέλιξης του δικτύου της AT & T Wireless. Πολύ συγκεκριμένα, αυτό περιελάμβανε την ανάπτυξη δυνατοτήτων δεδομένων GSM, δηλαδή GPRS, EDGE, και την εξέλιξή της στο UMTS.

## 5.7 3GPP2

Το 3ο Παρατηρητήριο Συνεργασίας 2 (3GPP2) είναι μια συνεργασία μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών ενώσεων για την καθιέρωση μιας παγκόσμιας εφαρμογής τρίτης γενιάς (3G) προδιαγραφών συστήματος κινητής τηλεφωνίας στο πλαίσιο του έργου ITU IMT-2000. Στην πράξη, το 3GPP2 είναι η ομάδα τυποποίησης για το CDMA2000, το σύνολο των προτύπων 3G που βασίζονται στην προηγούμενη τεχνολογία cdmaOne 2G CDMA.

Το Ultra Mobile Broadband (UMB) ήταν ένα έργο 3GPP2 για την ανάπτυξη ενός διαδόχου τέταρτης γενιάς του CDMA2000. Τον Νοέμβριο του 2008, ο Qualcomm, χορηγός της UMB, ανακοίνωσε ότι έπαυσε να αναπτύσσεται η τεχνολογία, ευνοώντας την LTE.

Το 3GPP2 δεν πρέπει να συγχέεται με το 3GPP. Το 3GPP είναι το πρότυπο όργανο πίσω από το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) που είναι η αναβάθμιση 3G σε δίκτυα GSM, ενώ το 3GPP2 αποτελεί το βασικό όργανο πίσω από το ανταγωνιστικό 3G CDMA2000 που είναι η αναβάθμιση 3G σε δίκτυα.

Το GSM / GPRS / EDGE / W-CDMA είναι το πιο διαδεδομένο ασύρματο πρότυπο στον κόσμο. Ορισμένες χώρες χρησιμοποιούν και τα δύο πρότυπα, αλλά οι περισσότερες χώρες χρησιμοποιούν μόνο την οικογένεια GSM.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: 4G

---

---

Η 4G είναι η τέταρτη γενιά της τεχνολογίας ευρυζωνικών κυψελοειδών δικτύων, που διαδέχθηκε το 3G. Ένα σύστημα 4G πρέπει να παρέχει δυνατότητες που ορίζονται από την ITU στο IMT Advanced. Οι δυνητικές και τρέχουσες εφαρμογές περιλαμβάνουν την τροποποιημένη πρόσβαση στον κινητό ιστό, την τηλεφωνία IP, τις υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών, την κινητή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, την τηλεδιάσκεψη και την τρισδιάστατη τηλεόραση.

### Τεχνικές κατανοήσεις

Τον Μάρτιο του 2008, ο Διεθνής Τηλεπικοινωνιακός Σύνδεσμος-Ραδιοεπικοινωνιακός Τομέας (ITU-R) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για τα πρότυπα 4G, με την ονομασία International Advanced Mobile Telecommunications Advanced (IMT Advanced), που καθορίζει απαιτήσεις αιχμής για υπηρεσίες 4G στα 100 Mbit/s για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (όπως αυτοκίνητα) και 1 Gbit/s για επικοινωνία χαμηλής κινητικότητας (όπως πεζούς και σταθερούς χρήστες). Δεδομένου ότι οι πρώτες εκδόσεις του Mobile WiMAX και LTE υποστηρίζουν πολύ μικρότερο από 1 Gbit/s μέγιστο ρυθμό bit, δεν είναι πλήρως συμβατές με το IMT-Advanced, αλλά συχνά φέρουν επωνυμία 4G από τους παρόχους υπηρεσιών. Το Mobile WiMAX Release 2 (γνωστό και ως WirelessMAN-Advanced ή IEEE 802.16m<sup>1</sup>) και LTE Advanced (LTE-A) είναι συμβατά με τις IMT εκδόσεις των δύο παραπάνω συστημάτων.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, ένα σύστημα 4G δεν υποστηρίζει την παραδοσιακή υπηρεσία τηλεφωνίας με κυκλώματα μεταγωγής, αλλά την επικοινωνία βασισμένη στο πρωτόκολλο Internet (IP), όπως η IP τηλεφωνία. Η ραδιοφωνική τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε συστήματα τρίτης γενιάς εγκαταλείπεται σε όλα τα υπονήφια συστήματα 4G και αντικαθίσταται από τη μετάδοση πολλαπλών φορέων OFDMA και από άλλα συστήματα εξισορρόπησης τομέα συχνοτήτων (FDE), επιτρέποντας τη μεταφορά πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης παρά την εκτεταμένη διάδοση ραδιοσυχνοτήτων πολλαπλών διαδρομών (ηχώ). Ο ρυθμός bit κορυφής



βελτιώνεται περαιτέρω από έξυπνες συστοιχίες κεραιάς για επικοινωνίες πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO).

### Ιστορικό

Στον τομέα των κινητών επικοινωνιών, μια γενιά αναφέρεται γενικά σε μια αλλαγή στη θεμελιώδη φύση της υπηρεσίας, στην τεχνολογία μετάδοσης, στους υψηλότερους ρυθμούς bit κορυφής, στις νέες ζώνες συχνοτήτων, στο εύρος ζώνης συχνοτήτων ευρύτερου καναλιού σε Hertz και σε υψηλότερη χωρητικότητα για ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων (υψηλότερη φασματική απόδοση συστήματος σε bit / second / Hertz).

Νέες κινητές γενιές εμφανίζονταν περίπου κάθε δέκα χρόνια από την πρώτη μετάβαση του 1981 από αναλογική (1G) σε ψηφιακή μετάδοση (2G) το 1992. Ακολούθησε το 2001, υποστήριξη 3G πολυμέσων, μετάδοση φάσματος και τουλάχιστον 200 kbit/s ρυθμό bit κορυφής, το 2011/2012 ακολούθησε το 4G, το οποίο αναφέρεται σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων που βασίζονται στο πρωτόκολλο Internet (IP) και προσφέρουν πρόσβαση σε κινητή υπερυψηλή ευρυζωνικότητα (gigabit ταχύτητα).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, ο οργανισμός τυποποίησης της ITU-R δημοσίευσε τις απαιτήσεις IMT-2000 ως πλαίσιο για τα πρότυπα που πρέπει να θεωρηθούν συστήματα 3G. Το 2008, η ITU-R διευκρίνισε τις απαιτήσεις IMT-Advanced (Advanced Mobile Telecommunications Advanced) για τα συστήματα 4G.

Το ταχύτερο πρότυπο 3G που βασίζεται στην οικογένεια UMTS είναι το πρότυπο HSPA +, το οποίο είναι εμπορικά διαθέσιμο από το 2009, δεν προσφέρει MIMO (δηλαδή έχει μόνο μία κεραιά) και το 2011 βελτιώθηκε το bit rate χρησιμοποιώντας είτε DC-HSPA + (ταυτόχρονη χρήση δύο φορέων UMTS) είτε 2x2 MIMO. Το ταχύτερο 3G πρότυπο που βασίζεται στην οικογένεια CDMA2000 είναι το EV-DO Rev. B, το οποίο είναι διαθέσιμο από το 2010.

### IMT-Advanced απαιτήσεις

Ένα προηγμένο κυψελοειδές σύστημα IMT πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- ~ Να βασίζεται σε ένα δίκτυο με πακέτα που μεταφέρει όλα τα IP.

- ~ Να έχει κορυφαία ποσοστά δεδομένων μέχρι περίπου 100 Mbit/s, για υψηλή κινητικότητα, όπως κινητή πρόσβαση και μέχρι περίπου 1 Gbit/s για χαμηλή κινητικότητα, όπως νομαδική/τοπική ασύρματη πρόσβαση.
- ~ Να είναι σε θέση να μοιραστεί δυναμικά και να χρησιμοποιήσει τους πόρους του δικτύου για να υποστηρίξει περισσότερους ταυτόχρονους χρήστες ανά κελί.
- ~ Να χρησιμοποιεί κλιμακούμενα εύρη ζώνης καναλιών 5-20 MHz, προαιρετικά μέχρι 40 MHz.
- ~ Να έχουν κορυφαία φασματική απόδοση 15-bit/s/Hz στην κατερχόμενη ζεύξη και 6,75-bit/s/Hz στον άνω σύνδεσμο.
- ~ Η φασματική απόδοση του συστήματος να είναι, σε εσωτερικές περιπτώσεις, 3-bit/s/Hz/cell για downlink και 2,25-bit/s/Hz/cell για σύνδεση προς τα πάνω.
- ~ Να υπάρχει ομαλή μεταβίβαση σε ετερογενή δίκτυα.

Τον Σεπτέμβριο του 2009, οι προτάσεις τεχνολογίας υποβλήθηκαν στη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) ως 4G υποψήφιοι. Όλες οι προτάσεις βασίζονταν σε δύο τεχνολογίες:

- ~ LTE Advanced τυποποιημένο από το 3GPP
- ~ 802.16m τυποποιημένο από το IEEE (δηλ. WiMAX)

Το πρώτο σύνολο απαιτήσεων 3GPP για την LTE Advanced εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2008. Το LTE Advanced έπρεπε να τυποποιηθεί το 2010 ως μέρος της έκδοσης 10 της προδιαγραφής 3GPP. Το LTE Advanced θα βασίζεται στην υπάρχουσα έκδοση LTE προδιαγραφών και δεν θα οριστεί ως μία νέα σειρά προδιαγραφών. Ορισμένες πηγές θεωρούν τις εφαρμογές LTE και Mobile WiMAX πρώτης έκδοσης ως προ-4G ή 4G, καθώς δεν πληρούν πλήρως τις προγραμματισμένες απαιτήσεις. Η σύγχυση έχει προκληθεί από ορισμένους φορείς κινητής τηλεφωνίας που έχουν ξεκινήσει προϊόντα που διαφημίζονται ως 4G, τα οποία όμως σύμφωνα με ορισμένες πηγές είναι εκδόσεις προ-4G (συνήθως αναφέρονται ως 3.9G), οι οποίες δεν ακολουθούν τις αρχές που ορίζονται από την ITU-R για πρότυπα 4G, αλλά σήμερα μπορεί να ονομάζεται 4G σύμφωνα με το ITU-R.

Πρότυπα συστήματος

LTE Advanced

Το LTE Advanced (Long Term Evolution Advanced) είναι υποψήφιο για πρότυπο IMT-Advanced, το οποίο υποβλήθηκε επίσημα από τον οργανισμό 3GPP στην ITU-T το φθινόπωρο του 2009 και αναμένεται να κυκλοφορήσει το 2013. Ο στόχος του

3GPP LTE Advanced είναι να προσεγγίσει και να υπερβεί τις απαιτήσεις της ITU. Το LTE Advanced είναι ουσιαστικά μια βελτίωση του LTE. Δεν πρόκειται για νέα τεχνολογία, αλλά για βελτίωση του υπάρχοντος δικτύου LTE. Αυτή η διαδρομή αναβάθμισης καθιστά πιο αποδοτικό για τους πωλητές να προσφέρουν LTE και στη συνέχεια να αναβαθμίσουν σε LTE Advanced, κάτι που είναι παρόμοιο με την αναβάθμιση από WCDMA σε HSPA. Τα LTE και LTE Advanced θα χρησιμοποιούν επίσης πρόσθετα φάσματα και πολυπλεξία για να επιτρέψουν την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων δεδομένων. Η συντονισμένη μετάδοση πολλαπλών σημείων θα επιτρέψει επίσης μεγαλύτερη χωρητικότητα του συστήματος για να επιτρέψει τη βελτίωση της ταχύτητας των δεδομένων.

#### IEEE 802.16m ή WirelessMAN-Advanced

Η εξέλιξη IEEE 802.16m ή WirelessMAN-Advanced του 802.16e βρίσκεται υπό εξέλιξη, με στόχο την εκπλήρωση των κριτηρίων IMT-Advanced των 1 Gbit/s για σταθερή λήψη και 100 Mbit/s για κινητή λήψη.

#### 3GPP Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη (LTE)

Η τεχνολογία LTE 4G 3GPP Long Term Evolution (LTE) είναι συχνά επωνυμία "4G - LTE", αλλά η πρώτη έκδοση LTE δεν συμμορφώνεται πλήρως με τις απαιτήσεις IMT Advanced. Το LTE έχει μια θεωρητική χωρητικότητα δυαδικών ψηφίων έως 100 Mbit/s στην κατερχόμενη ζεύξη και 50 Mbit/s στην ανερχόμενη ζεύξη αν χρησιμοποιείται κανάλι 20 MHz - και περισσότερο εάν χρησιμοποιούνται συστοιχίες κεραίας πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO). Η φυσική διασύνδεση ραδιοσυχνοτήτων που ήταν σε πρώιμο στάδιο, ονομάστηκε High Speed OFDM Packet Access (HSOPA).

Η πρώτη παγκοσμίως διαθέσιμη υπηρεσία LTE άνοιξε στις δύο Σκανδιναβικές πρωτεύουσες, τη Στοκχόλμη (συστήματα Ericsson και Nokia Siemens Networks) και το Όσλο (ένα σύστημα Huawei) στις 14 Δεκεμβρίου 2009 και μάρκα 4G. Τα τερματικά χρήστη κατασκευάστηκαν από τη Samsung. Από τον Νοέμβριο του 2012, οι πέντε διαθέσιμες στο κοινό υπηρεσίες LTE στις Ηνωμένες Πολιτείες παρέχονται από την MetroPCS, την Verizon Wireless, την AT & T Mobility, την US Cellular, τη Sprint, την T-Mobile και την US.

## Κινητό WiMAX (IEEE 802.16e)

Το πρότυπο κινητής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης (MWBA) Mobile WiMAX (IEEE 802.16e-2005), που είναι γνωστό και ως WiBro, μερικές φορές φέρει επωνυμία 4G και προσφέρει μέγιστες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων 128 Mbit/s κατερχόμενης ζεύξης και 56 Mbit/s 20 MHz ευρείας καναλιών.

Η Sprint ξεκίνησε τη χρήση του Mobile WiMAX από το Σεπτέμβριο του 2008, χαρακτηρίζοντάς την ως ένα δίκτυο 4G, παρόλο που η τρέχουσα έκδοση δεν πληρούσε τις απαιτήσεις IMT Advanced για τα συστήματα 4G.

Στην τελευταία έκδοση του προτύπου WiMax 2.1, το πρότυπο έχει ενημερωθεί ώστε να μην είναι συμβατό με παλιότερο πρότυπο WiMax και είναι αντ' αυτού εναλλάξιμο με το σύστημα LTE-TDD, συνδυάζοντας αποτελεσματικά το πρότυπο WiMax με LTE.

Κύριες τεχνολογίες σε όλα τα υποψήφια συστήματα

Τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά μπορούν να παρατηρηθούν σε όλες τις προτεινόμενες τεχνολογίες 4G:

- ~ Οι τεχνικές μετάδοσης του φυσικού στρώματος είναι οι εξής:
  - ~ MIMO: Για την επίτευξη εξαιρετικά υψηλής φασματικής απόδοσης μέσω χωρικής επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της πολλαπλής κεραίας και του πολλαπλού χρήστη MIMO.
  - ~ Συχνότητα εξισορρόπησης τομέα, για παράδειγμα διαμόρφωση πολλαπλών φορέων (OFDM) στην εξίσωση κατερχόμενης ζεύξης με κατερχόμενη ζεύξη ή μονής φέρουσας συχνότητας (SC-FDE).
  - ~ Στατιστική πολυπλεξία περιοχών πεδίου συχνότητας, για παράδειγμα (OFDMA) ή (FDMA ενός φορέα).
  - ~ Κωδικοί διόρθωσης σφαλμάτων βασικού στροβίλου Turbo: Για να ελαχιστοποιηθεί το απαιτούμενο SNR στην πλευρά λήψης.
- ~ Προγραμματισμός εξαρτώμενος από το κανάλι: Για να χρησιμοποιηθεί το χρονικά μεταβαλλόμενο κανάλι.
- ~ Προσαρμογή σύνδεσης: Προσαρμοστικός διαχωρισμός και κωδικοί διόρθωσης σφαλμάτων.
- ~ Mobile IP που χρησιμοποιείται για την κινητικότητα.
- ~ IP-based femtocells (οικιακοί κόμβοι που συνδέονται με σταθερή ευρυζωνική υποδομή Διαδικτύου).

Σε αντίθεση με προηγούμενες γενιές, τα συστήματα 4G δεν υποστηρίζουν την τηλεφωνία με κυκλώματα μεταγωγής. Τα πρότυπα IEEE 802.20, UMB και OFDM δε διαθέτουν στήριξη soft-handover (γνωστή και ως συνεργατική αναμετάδοση).

## Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης

Πρόσφατα, αποκτούν μεγαλύτερη σημασία τα συστήματα νέας πρόσβασης όπως Orthogonal FDMA (OFDMA), FDMA ενός φορέα (SC-FDMA), Interleaved FDMA και Multi-carrier CDMA (MC-CDMA) για τα συστήματα επόμενης γενιάς. Αυτά βασίζονται σε αποτελεσματικούς αλγόριθμους FFT και εξισορρόπηση τομέα συχνοτήτων, με αποτέλεσμα μικρότερο αριθμό πολλαπλασιασμών ανά δευτερόλεπτο. Επιτρέπουν επίσης τον έλεγχο του εύρους ζώνης και τη διαμόρφωση του φάσματος με ευέλικτο τρόπο. Ωστόσο, απαιτούν προηγμένη δυναμική κατανομή καναλιών και προσαρμοστικό προγραμματισμό της κυκλοφορίας.

Το WiMax χρησιμοποιεί OFDMA στην κατερχόμενη ζεύξη και στην ανερχόμενη ζεύξη. Για το LTE, το OFDMA χρησιμοποιείται για την κατερχόμενη ζεύξη. Αντίθετα, το FDMA ενός φορέα χρησιμοποιείται για την ανερχόμενη ζεύξη δεδομένου ότι το OFDMA συμβάλλει περισσότερο στα ζητήματα που σχετίζονται με το PAPR και οδηγεί σε μη γραμμική λειτουργία των ενισχυτών. Το IFDMA παρέχει λιγότερες διακυμάνσεις ισχύος και συνεπώς απαιτεί γραμμικούς ενισχυτές που δεν έχουν ενεργειακή απόδοση. Ομοίως, το MC-CDMA βρίσκεται στην πρόταση για το πρότυπο IEEE 802.20. Αυτά τα συστήματα πρόσβασης προσφέρουν την ίδια αποτελεσματικότητα με παλαιότερες τεχνολογίες όπως το CDMA. Εκτός από αυτό, μπορεί να επιτευχθεί κλιμάκωση και υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων.

Το άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των προαναφερθεισών τεχνικών πρόσβασης είναι ότι απαιτούν λιγότερη πολυπλοκότητα για την εξίσωση του δέκτη. Αυτό είναι ένα πρόσθετο πλεονέκτημα ειδικά στα περιβάλλοντα MIMO αφού η χωρική πολυπλεξία μετάδοσης των συστημάτων MIMO απαιτεί εγγενώς υψηλή εξισορρόπηση πολυπλοκότητας στον δέκτη. Εκτός από τις βελτιώσεις σε αυτά τα συστήματα πολυπλεξίας, χρησιμοποιούνται βελτιωμένες τεχνικές διαμόρφωσης.

## Υποστήριξη IPv6

Σε αντίθεση με το 3G, το οποίο βασίζεται σε δύο παράλληλες υποδομές που αποτελούνται από κόμβους δικτύου με μεταγωγή κυκλωμάτων και πακέτα μεταγωγής, το 4G θα βασίζεται αποκλειστικά σε μεταγωγή πακέτων. Αυτό θα απαιτήσει μετάδοση δεδομένων χαμηλής καθυστέρησης. Μέχρι τη στιγμή που αναπτύχθηκε το 4G, η διαδικασία εξάντλησης της διεύθυνσης IPv4 αναμενόταν να βρίσκεται στα τελικά της στάδια. Ως εκ τούτου, στο πλαίσιο του 4G, το IPv6 είναι

απαραίτητο για την υποστήριξη μεγάλου αριθμού συσκευών με δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Με την αύξηση του αριθμού των διαθέσιμων διευθύνσεων IP, το IPv6 καταργεί την ανάγκη μετάφρασης διεύθυνσης δικτύου (NAT), μιας μεθόδου κοινής χρήσης περιορισμένου αριθμού διευθύνσεων μεταξύ μιας μεγαλύτερης ομάδας συσκευών, παρόλο που το NAT θα εξακολουθεί να απαιτείται να επικοινωνεί με συσκευές που έχουν σε λειτουργία υπάρχοντα δίκτυα IPv4.

#### Προηγμένα συστήματα κεραιών (MIMO)

Η απόδοση των ραδιοεπικοινωνιών εξαρτάται από ένα σύστημα κεραιών, που ονομάζεται έξυπνη κεραία. Πρόσφατα, αναπτύσσονται πολλαπλές τεχνολογίες κεραιών για την επίτευξη των στόχων των συστημάτων 4G, όπως υψηλή ταχύτητα, υψηλή αξιοπιστία και επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών μετάδοσης δεδομένων, προτάθηκαν πολλά συστήματα διαβίβασης δεδομένων. Μία τεχνολογία, η χωρική πολυπλεξία, απέκτησε μεγάλη σημασία για τη διατήρηση του εύρους ζώνης και την αποδοτικότητα της ισχύος. Η χωρική πολυπλεξία περιλαμβάνει την ανάπτυξη πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στο δέκτη. Οι ανεξάρτητες ροές μπορούν να μεταδίδονται ταυτόχρονα από όλες τις κεραίες. Αυτή η τεχνολογία, που ονομάζεται MIMO (ως κλάδος της ευφυούς κεραίας), πολλαπλασιάζει τον ρυθμό δεδομένων βάσης με τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης ή τον αριθμό των κεραιών λήψης. Εκτός αυτού, η αξιοπιστία στη μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας στο κανάλι εξασθένισης μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας περισσότερες κεραίες στον πομπό ή στο δέκτη. Αυτό ονομάζεται μετάδοση ή λήψη ποικιλίας. Η άλλη κατηγορία είναι τεχνολογίες πολλαπλών κεραιών κλειστού βρόχου, οι οποίες απαιτούν γνώση καναλιών στον πομπό.

#### Ιστορία τεχνολογιών 4G και pre-4G

Το 4G αρχικά το οραματίστηκε η DARPA. Αυτή επέλεξε την κατανομημένη αρχιτεκτονική και το πρωτοποριακό πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) και πίστευε στην ομοιόμορφη επικοινωνία (peer-to-peer), στην οποία κάθε κινητή συσκευή θα ήταν ταυτόχρονα πομποδέκτης και δρομολογητής για άλλες συσκευές στο δίκτυο, εξαλείφοντας την αδυναμία των ακτίνων-φωνής των κυψελοειδών συστημάτων 2G και 3G. Από το σύστημα GPRS 2.5G, τα κυψελωτά συστήματα παρείχαν δύο υποδομές: κόμβους μεταγωγής πακέτων για υπηρεσίες δεδομένων και κόμβους

μεταγωγής κυκλώματος για φωνητικές κλήσεις. Στα συστήματα 4G, η υποδομή μεταγωγής κυκλωμάτων εγκαταλείπεται και παρέχεται μόνο ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων, ενώ τα συστήματα 2.5G και 3G απαιτούν τόσο κόμβους δικτύου όσο και πακέτα μεταγωγής κυκλωμάτων, δηλαδή δυο υποδομές παράλληλα. Αυτό σημαίνει ότι σε 4G, οι παραδοσιακές φωνητικές κλήσεις αντικαθίστανται από IP τηλεφωνία.

- ~ Το 2002, καθορίστηκε το στρατηγικό όραμα για το 4G - το οποίο ορίζει η ITU ως IMT Advanced.
- ~ Το 2004, το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά από την NTT DoCoMo.
- ~ Το 2005, η τεχνολογία μετάδοσης OFDMA επιλέγεται ως υποψήφια για την downlink HSOPA, που αργότερα μετονομάστηκε σε διεπαφή E-UTRA της διεπαφής 3GPP Long Term Evolution (LTE).
- ~ Τον Νοέμβριο του 2005, η KT παρουσίασε την υπηρεσία κινητής WiMAX.
- ~ Τον Απρίλιο του 2006, η KT ξεκίνησε την πρώτη εμπορική κινητή WiMAX υπηρεσία.
- ~ Στα μέσα του 2006, η Sprint ανακοίνωσε ότι θα επενδύσει σε μια τεχνολογία WiMAX.
- ~ Το Φεβρουάριο του 2007, η εταιρεία NTT DoCoMo εξέτασε ένα πρωτότυπο 4G συστήματος επικοινωνίας με  $4 \times 4$  MIMO που ονομάζεται VSF-OFCDM.
- ~ Το Νοέμβριο του 2008, η ITU-R καθόρισε τις λεπτομερείς απαιτήσεις επιδόσεων της IMT-Advanced.
- ~ Τον Απρίλιο του 2008, το 3GPP διοργάνωσε ένα εργαστήριο για το IMT-Advanced, όπου αποφασίστηκε ότι η LTE Advanced, εξέλιξη του τρέχοντος προτύπου LTE, θα ικανοποιήσει ή και θα υπερβεί τις IMT Advanced Requirements.
- ~ Στις 12 Νοεμβρίου 2008, η HTC ανακοίνωσε το πρώτο κινητό τηλέφωνο με δυνατότητα WiMAX, το Max 4G.
- ~ Στις 14 Δεκεμβρίου 2009, η πρώτη εμπορική ανάπτυξη LTE πραγματοποιήθηκε.
- ~ Στις 4 Ιουνίου 2010, η Sprint κυκλοφόρησε το πρώτο smartphone WiMAX στις ΗΠΑ, το HTC Evo 4G.
- ~ Στις 4 Νοεμβρίου 2010, το Samsung Craft που προσφέρεται από το MetroPCS είναι το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο smartphone LTE.
- ~ Στις 6 Δεκεμβρίου 2010, στο ITU World Radiocommunication Seminar 2010, η ITU δήλωσε ότι τα LTE, WiMax και παρόμοιες εξελιγμένες τεχνολογίες 3G θα μπορούσαν να θεωρηθούν 4G.
- ~ Τον Φεβρουάριο του 2012, η Ericsson παρουσίασε την κινητή τηλεόραση μέσω LTE, χρησιμοποιώντας τη νέα υπηρεσία eMBMS (υπηρεσία Multicast Broadcast Broadcast Multimedia Broadcast Broadcast).

Από το 2009, το πρότυπο LTE έχει εξελιχθεί σημαντικά με την πάροδο των ετών, με αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών εφαρμογών από διάφορους φορείς εκμετάλλευσης ανά τον κόσμο.

## 6.1 LTE

Στις τηλεπικοινωνίες, το Long-Term Evolution (LTE) αποτελεί πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας για κινητές συσκευές και τερματικά δεδομένων, με βάση τις τεχνολογίες GSM / EDGE και UMTS / HSPA. Το LTE αυξάνει την χωρητικότητα και την ταχύτητά του χρησιμοποιώντας μια διαφορετική διεπαφή ραδιοφώνου μαζί με τις βελτιώσεις του κεντρικού δικτύου. Το πρότυπο αναπτύσσεται από το 3GPP. Το LTE αποτελεί αναβάθμιση για φορείς με δίκτυα GSM / UMTS και CDMA2000. Οι διαφορετικές συχνότητες και ζώνες LTE που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες σημαίνουν ότι μόνο τηλέφωνα πολλαπλών ζωνών είναι σε θέση να χρησιμοποιούν το LTE στις χώρες όπου υποστηρίζεται. Το LTE κυκλοφορεί συνήθως ως 4G LTE, αλλά δεν πληροί τα τεχνικά κριτήρια μιας ασύρματης υπηρεσίας 4G, όπως καθορίζεται στις σειρές εγγράφων 3GPP Release 8 και 9, για LTE Advanced. Οι απαιτήσεις καθορίστηκαν αρχικά από την οργάνωση ITU-R στην προδιαγραφή IMT Advanced. Ωστόσο, λόγω των πιέσεων που ασκεί η εμπορία και των σημαντικών εξελίξεων που η WiMAX, η εξελιγμένη υψηλής ταχύτητας πρόσβαση πακέτων (E-HSPA) και η LTE φέρουν στις αρχικές τεχνολογίες 3G, η ITU αποφάσισε αργότερα ότι η LTE μαζί με τις προαναφερόμενες τεχνολογίες μπορούν να ονομάζονται τεχνολογίες 4G. Το πρότυπο LTE Advanced τυπικά πληροί τις απαιτήσεις της ITU-R για να θεωρηθεί IMT Advanced. Για να διαφοροποιήσει τις τεχνολογίες LTE Advanced και WiMAX-Advanced από τις τρέχουσες τεχνολογίες 4G, η ITU τις έχει ορίσει ως True 4G.

### 6.1.1 Επισκόπηση

Το LTE σημαίνει Long Term Evolution και αποτελεί σήμα κατατεθέν του ETSI (European Telecommunications Standards Institute) για την ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών δεδομένων και την ανάπτυξη των προτύπων GSM / UMTS. Ο στόχος του LTE ήταν να αυξήσει την ικανότητα και την ταχύτητα των ασύρματων δικτύων δεδομένων χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές DSP (επεξεργασία ψηφιακού σήματος) και διαμορφώσεις που αναπτύχθηκαν γύρω από τη στροφή της χιλιετίας. Ένας περαιτέρω στόχος ήταν ο επανασχεδιασμός και η απλούστευση της αρχιτεκτονικής του δικτύου σε ένα σύστημα βασισμένο σε IP με σημαντικά μειωμένη καθυστέρηση μεταφοράς σε σύγκριση με την αρχιτεκτονική 3G. Η ασύρματη διασύνδεση LTE είναι ασύμβατη με δίκτυα 2G και 3G, έτσι ώστε να λειτουργεί σε ξεχωριστό ραδιοφάσμα. Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά από την Ιαπωνία NTT DoCoMo το



2004 και οι μελέτες για το νέο πρότυπο ξεκίνησαν επίσημα το 2005. Το Μάιο του 2007, η συμμαχία LTE / SAE Trial Initiative (LSTI) ιδρύθηκε ως παγκόσμια συνεργασία μεταξύ πωλητών και φορέων εκμετάλλευσης με στόχο την επαλήθευση και την προώθηση του νέου προτύπου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καθολική εισαγωγή της τεχνολογίας το συντομότερο δυνατόν. Το πρότυπο LTE οριστικοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2008 και η πρώτη υπηρεσία LTE που κυκλοφόρησε στο κοινό ξεκίνησε από την TeliaSonera στο Όσλο και τη Στοκχόλμη το 2009 ως σύνδεση δεδομένων με ένα μόντεμ USB. Το Samsung SCH-r900 είναι το πρώτο LTE κινητό τηλέφωνο που κυκλοφόρησε παγκοσμίως στις 21 Σεπτεμβρίου 2010 και το Samsung Galaxy Indulge είναι το πρώτο LTE smartphone που κυκλοφόρησε στις 10 Φεβρουαρίου 2011. Η εξέλιξη του LTE σε LTE Advanced πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2011. Οι υπηρεσίες αναμένονταν να αρχίσουν το 2013. Μία πρόσθετη εξέλιξη γνωστή ως LTE Advanced Pro εγκρίθηκε το 2015.

Η προδιαγραφή LTE παρέχει ρυθμούς αιχμής κατερχόμενης ζεύξης 300 Mbit/s, ρυθμούς αιχμής ανερχόμενης ζεύξης 75 Mbit/s. Η LTE έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται κινητά που μετακινούνται γρήγορα και να υποστηρίζει ροές πολλαπλών καναλιών και εκπομπών. Η αρχιτεκτονική δικτύου που βασίζεται στην τεχνολογία IP, που ονομάζεται Evolved Packet Core (EPC) έχει σχεδιαστεί για να αντικαταστήσει το δίκτυο GPRS Core και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο για φωνή όσο και για δεδομένα σε πύργους κυψελών με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου όπως GSM, UMTS και CDMA2000. Η απλούστερη αρχιτεκτονική έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερα λειτουργικά κόστη.

### **6.1.2 Ιστορία**

Πρότυπο γραμμής ανάπτυξης 3GPP

- ~ Το 2004, η NTT DoCoMo της Ιαπωνίας προτείνει το LTE ως διεθνές πρότυπο.
- ~ Το Φεβρουάριο του 2007, η Ericsson παρουσίασε για πρώτη φορά στον κόσμο LTE με ρυθμούς μετάδοσης bit έως 144 Mbit/s.
- ~ Τον Σεπτέμβριο του 2007, το NTT docomo απέδειξε ταχύτητες δεδομένων LTE 200 Mbit/s.
- ~ Στις αρχές του 2008, ο εξοπλισμός δοκιμών LTE άρχισε να μεταφέρεται από διάφορους πωλητές και, στο Mobile World Congress 2008 στη Βαρκελώνη, η Ericsson παρουσίασε την πρώτη παγκόσμια κινητή κλήση από την LTE σε μια μικρή φορητή συσκευή.

- ~ Τον Σεπτέμβριο του 2009, η Nokia Siemens Networks παρουσίασε την πρώτη κλήση LTE στον κόσμο σε εμπορικό λογισμικό συμβατό με τα πρότυπα.
- ~ Στις 14 Δεκεμβρίου 2009, η πρώτη εμπορική ανάπτυξη του LTE πραγματοποιήθηκε στις Σκανδιναβικές πρωτεύουσες Στοκχόλμη και Όσλο από τη σουηδική εταιρεία TeliaSonera.
- ~ Τον Ιανουάριο του 2010, η Alcatel-Lucent και η LG ολοκληρώνουν μια ζωντανή μεταβίβαση μιας κλήσης δεδομένων από άκρο σε άκρο μεταξύ των δικτύων Long Term Evolution (LTE) και CDMA.

### **6.1.3 LTE-TDD και LTE-FDD**

Το Long-Term Evolution Time-Division Duplex (LTE-TDD), που επίσης αναφέρεται ως TDD LTE, είναι μια τεχνολογία τηλεπικοινωνιών 4G και ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από τη διεθνή συμμαχία εταιρειών όπως οι China Mobile, Datang Telecom, Huawei, ZTE, Qualcomm, Samsung και ST-Ericsson. Είναι μία από τις δύο τεχνολογίες κινητής μετάδοσης δεδομένων του προτύπου τεχνολογίας Long-Term Evolution (LTE), ενώ η άλλη είναι η Long-Term Evolution (LTE-FDD). Υπάρχουν δύο μεγάλες διαφορές μεταξύ LTE-TDD και LTE-FDD: πώς φορτώνονται και λαμβάνονται τα δεδομένα και ποια φάσματα συχνότητας αναπτύσσονται στα δίκτυα. Ενώ το LTE-FDD χρησιμοποιεί συζευγμένες συχνότητες για τη μεταφόρτωση και λήψη δεδομένων, το LTE-TDD χρησιμοποιεί μια ενιαία συχνότητα, εναλλασσόμενη μεταξύ της μεταφόρτωσης και της λήψης δεδομένων. Τα LTE-TDD και LTE-FDD λειτουργούν επίσης σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (το LTE-TDD λειτουργεί καλύτερα σε υψηλότερες συχνότητες και το LTE-FDD σε χαμηλότερες). Το φάσμα του LTE-TDD είναι γενικά φθηνότερο για πρόσβαση και έχει λιγότερη κίνηση. Επιπλέον, οι ζώνες για LTE-TDD αλληλεπικαλύπτονται με εκείνες που χρησιμοποιούνται για WiMAX, οι οποίες μπορούν εύκολα να αναβαθμιστούν για να υποστηρίξουν το LTE-TDD.

#### **6.1.3.1 Ιστορικό του LTE-TDD**

Η δημιουργία του LTE-TDD περιλάμβανε έναν συνασπισμό διεθνών εταιρειών που εργάστηκαν για την ανάπτυξη και τη δοκιμή της τεχνολογίας. Η China Mobile ήταν πρώην υποστηρικτής του LTE-TDD, μαζί με άλλες εταιρείες όπως η Datang Telecom και η Huawei, οι οποίες εργάστηκαν για την ανάπτυξη δικτύων LTE-TDD και αργότερα ανέπτυξαν τεχνολογία που επιτρέπει την λειτουργία του εξοπλισμού LTE-TDD σε φάσματα συχνοτήτων μεταξύ τηλεοπτικών σταθμών εκπομπής. Η Intel συμμετείχε επίσης στην ανάπτυξη, δημιουργώντας ένα εργαστήριο

διαλειτουργικότητας LTE-TDD με την Huawei, καθώς και η ST-Ericsson, η Nokia και Nokia Siemens που ανέπτυξαν σταθμούς βάσης LTE-TDD που αύξησαν τη χωρητικότητα κατά 80% και την κάλυψη κατά 40%. Η Qualcomm συμμετείχε επίσης στην ανάπτυξη του πρώτου τσιπ πολλαπλών λειτουργιών παγκοσμίως, που συνδυάζει τόσο LTE-TDD όσο και LTE-FDD, μαζί με τα HSPA και EV-DO. Οι δοκιμές της τεχνολογίας LTE-TDD ξεκίνησαν ήδη από το 2010, με τις Reliance Industries και την Ericsson India να διεξάγουν δοκιμές πεδίου του LTE-TDD. Μέχρι το 2011 το διεθνές ενδιαφέρον για το LTE-TDD επεκτάθηκε εν μέρει λόγω του χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης του LTE-TDD σε σύγκριση σε LTE-FDD.

#### **6.1.4 LTE Direct**

Ένα νέο πρωτόκολλο LTE που ονομάζεται LTE Direct είναι μια τεχνολογία συσκευή-σε-συσκευή που επιτρέπει την ανακάλυψη χιλιάδων συσκευών σε απόσταση περίπου 500 μέτρων. Πρωτοδημιουργήθηκε από την Qualcomm, η εταιρεία έχει ηγηθεί της τυποποίησης αυτής της νέας τεχνολογίας μαζί με άλλους συμμετέχοντες του 3GPP. Το LTE Direct προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπάρχουσες λύσεις εγγύτητας, συμπεριλαμβανομένων, αλλά όχι περιοριστικά, των Wi-Fi ή Bluetooth. Μια από τις πιο δημοφιλείς περιπτώσεις χρήσης αυτής της τεχνολογίας αναπτύχθηκε από μια εταιρεία που εδρεύει στη Νέα Υόρκη, την Compass. Το κύριο χαρακτηριστικό της εγγύς ανακάλυψης μεταξύ συσκευών περιελάμβανε ένα στοχευμένο κουπόνι έκπτωσης σε μια κοντινή συσκευή που ταιριάζει με συγκεκριμένα ενδιαφέροντα. Υποστηρίζεται ότι το πρωτόκολλο προσφέρει λιγότερη αποστράγγιση μπαταρίας και εκτεταμένη εμβέλεια σε σύγκριση με άλλες λύσεις εγγύτητας.

##### **6.1.4.1 Χαρακτηριστικά**

Μεγάλο μέρος του προτύπου LTE αφορά στην αναβάθμιση του 3G UMTS σε αυτό που τελικά θα είναι η τεχνολογία κινητών επικοινωνιών 4G. Ένα μεγάλο μέρος της εργασίας στοχεύει στην απλοποίηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος, καθώς μεταβαίνει από το υπάρχον κύκλωμα UMTS + συνδυασμένο δίκτυο μεταγωγής πακέτων σε ένα σύστημα επίπεδης αρχιτεκτονικής που βασίζεται σε όλα τα IP. Το E-UTRA είναι η διεπαφή αέρα του LTE. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- ~ Οι μέγιστες ταχύτητες λήψης έως 299,6 Mbit/s και οι ταχύτητες φόρτωσης έως και 75,4 Mbit/s ανάλογα με την κατηγορία του εξοπλισμού χρήστη. Όλοι οι ακροδέκτες θα μπορούν να επεξεργάζονται εύρος ζώνης 20 MHz.
- ~ Χαμηλές καθυστερήσεις μεταφοράς δεδομένων, χαμηλότερες καθυστερήσεις για χρόνο παράδοσης και χρόνος σύνδεσης με τις προηγούμενες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης.
- ~ Βελτιωμένη υποστήριξη της κινητικότητας ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων.
- ~ Υποστήριξη τόσο για συστήματα επικοινωνίας FDD όσο και για συστήματα επικοινωνίας TDD, καθώς και ημιαμφίδρομη FDD με την ίδια τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης.
- ~ Υποστήριξη για όλες τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος από τα συστήματα IMT από την ITU-R.
- ~ Αυξημένη ευελιξία φάσματος.
- ~ Υποστήριξη για μεγέθη κυψελών από ακτίνα δεκάδων μέτρων έως 100 km.
- ~ Υποστηρίζει τουλάχιστον 200 ενεργούς πελάτες δεδομένων σε κάθε κύτταρο των 5 MHz.
- ~ Απλοποιημένη αρχιτεκτονική. Η πλευρά δικτύου του E-UTRAN αποτελείται μόνο από eNode Bs.
- ~ Υποστήριξη διαλειτουργικότητας και συνύπαρξης με πρότυπα παλαιού τύπου (π.χ. GSM / EDGE, UMTS και CDMA2000). Οι χρήστες μπορούν να ξεκινήσουν μια κλήση ή μεταφορά δεδομένων σε μια περιοχή χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο LTE και εάν η κάλυψη δεν είναι διαθέσιμη, συνεχίστε τη λειτουργία χωρίς καμία ενέργεια εκ μέρους τους χρησιμοποιώντας δίκτυα UMTS ή 3GPP2 που βασίζονται σε GSM / GPRS ή W-CDMA, όπως cdmaOne ή CDMA2000.
- ~ Ραδιοδιάταξη με πακετομεταγωγή.
- ~ Υποστήριξη για το MBSFN (δίκτυο μονοφωνικών εκπομπών πολλαπλών εκπομπών).

## 6.2 LTE ADVANCED

Το LTE Advanced είναι πρότυπο κινητής επικοινωνίας και σημαντική βελτίωση του προτύπου Long Term Evolution (LTE). Είχε επίσημα υποβληθεί ως υποψήφιο σύστημα 4G στην ITU-T στα τέλη του 2009 ως ανταποκρινόμενο στις απαιτήσεις του προτύπου IMT Advanced και τυποποιήθηκε από το 3GPP το Μάρτιο του 2011 ως 3GPP Release 10.

### 6.2.1 Ιστορικό

Η μορφή LTE προτάθηκε για πρώτη φορά από την NTT DoCoMo της Ιαπωνίας και υιοθετήθηκε ως διεθνές πρότυπο. Η τυποποίηση LTE έχει ωριμάσει σε μια κατάσταση όπου οι αλλαγές στις προδιαγραφές περιορίζονται σε διορθώσεις και επιδιορθώσεις σφαλμάτων. Πολλά δίκτυα LTE αναπτύχθηκαν παγκοσμίως κατά τη

διάρκεια του 2010 ως φυσική εξέλιξη πολλών συστημάτων 2G και 3G, (GSM) και το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) στην οικογένεια 3GPP καθώς και το CDMA2000 στην οικογένεια 3GPP2. Το έργο του 3GPP για τον ορισμό μιας υποψήφιας τεχνολογίας ραδιοφωνικών διεπαφών 4G ξεκίνησε με τη φάση μελέτης για LTE-Advanced. Η πρώτη κυκλοφορία του LTE δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις για 4G. Τον Απρίλιο του 2008, το 3GPP συμφώνησε με τα σχέδια για εργασίες για τη μακροπρόθεσμη εξέλιξη (LTE). Ένα πρώτο σύνολο προδιαγραφών εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2008. Εκτός από το μέγιστο ρυθμό δεδομένων 1 Gb/s όπως ορίζεται από το ITU-R, στοχεύει επίσης ταχύτερη μετάβαση μεταξύ καταστάσεων ισχύος και βελτιωμένης απόδοσης στην άκρη του στοιχείου.

### **6.2.2 Προτάσεις**

Ο στόχος του 3GPP LTE Advanced είναι να φτάσει και να ξεπεράσει τις απαιτήσεις της ITU. Το LTE Advanced θα πρέπει να είναι συμβατό με τον εξοπλισμό LTE και θα πρέπει να μοιράζεται ζώνες συχνοτήτων με το LTE. Στη μελέτη σκοπιμότητας για την LTE Advanced, η 3GPP διαπίστωσε ότι η LTE Advanced θα ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις της ITU-R για 4G. Ένα από τα σημαντικά οφέλη της LTE Advanced είναι η δυνατότητα να επωφελείται από τα προηγμένα δίκτυα τοπολογίας. Η LTE Advanced βελτίωσε περαιτέρω την ικανότητα και την κάλυψη και διασφάλισε τη δικαιοσύνη ανάμεσα στους χρήστες. Η LTE Advanced επίσης εισήγαγε multicarrier για να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει υπερυψωμένο εύρος ζώνης και να υποστηρίζει πολύ υψηλά ποσοστά δεδομένων.

### **6.2.3 Συσκευές**

Κατά την κυκλοφορία του το 2007, το LTE Advanced δεν υποστηρίχθηκε από κανένα smartphone, αλλά μόνο από ένα μικρό αριθμό δρομολογητών. Τα πρώτα ικανά smartphones δεν θα φθάσουν μέχρι τα τέλη του 2013.

## **6.3 LTE ADVANCED PRO**

Το LTE Advanced Pro (LTE-A Pro, γνωστό και ως 4.5G, 4.5G Pro, 4.9G, Pre-5G, 5G Project) αποτελεί τη 3GPP έκδοση 13 και 14, η οποία είναι μια φυσική εξέλιξη του LTE με ταχύτητα έως και Gbit/s που ενσωμάτωσε πολλές νέες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν σε πρότυπο 5G, συμπεριλαμβανομένων των 256QAM, Massive

MIMO, LTE-Unlicensed και LTE IoT για την σταδιακή ανάπτυξη των υφιστάμενων δικτύων σε πρότυπο 5G.

## **6.4 MIMO**

Στο ραδιόφωνο, η πολλαπλή είσοδος και πολλαπλή έξοδος, ή αλλιώς MIMO, είναι μια μέθοδος πολλαπλασιασμού της χωρητικότητας ενός ραδιοζεύκτη χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες εκπομπής και λήψης για την εκμετάλλευση της πολλαπλής διάδοσης. Το MIMO αποτελεί βασικό στοιχείο των προτύπων ασύρματης επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των IEEE (Wi-Fi), HSPA + (3G), WiMAX (4G) και Long Term Evolution (4G). Πιο πρόσφατα, το MIMO έχει εφαρμοστεί στην επικοινωνία ηλεκτρικής γραμμής για εγκαταστάσεις με 3 καλώδια. Ο όρος MIMO αναφέρεται επίσης στη χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και στον δέκτη. Στη σύγχρονη χρήση, το MIMO αναφέρεται συγκεκριμένα σε μια πρακτική τεχνική για την αποστολή και τη λήψη περισσότερων από ένα σημάτων δεδομένων ταυτόχρονα μέσω του ίδιου ραδιοφωνικού καναλιού εκμεταλλευόμενοι την πολλαπλή διάδοση. Το MIMO διαφέρει θεμελιωδώς από τις τεχνικές έξυπνης κεραίας που αναπτύσσονται για την ενίσχυση της απόδοσης ενός σήματος δεδομένων, όπως η μορφοποίηση δέσμης και η πολυμορφία.

### **6.4.1 Ιστορία**

#### **6.4.1.1 Πρόωρη έρευνα**

Το MIMO εντοπίζεται συχνά σε ερευνητικά έγγραφα του 1970 σχετικά με τα συστήματα πολλαπλών καναλιών ψηφιακής μετάδοσης και τις παρεμβολές μεταξύ ζευγών καλωδίων σε δέσμη καλωδίων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο Jack Salz της Bell Laboratories διερεύνησε συστήματα πολλαπλών χρηστών που λειτουργούν πάνω σε αμοιβαία διασυνδεδεμένα γραμμικά δίκτυα με πρόσθετες πηγές θορύβου όπως πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου και διπλής πόλωσης ραδιοσυστήματα. Οι μέθοδοι αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν την απόδοση των κυψελοειδών ραδιοφωνικών δικτύων και να επιτρέψουν την μεγαλύτερη δυνατή επαναχρησιμοποίηση συχνότητας στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η πολλαπλή πρόσβαση διαχωρισμού διαστήματος (SDMA) χρησιμοποιεί κατευθυντικές ή έξυπνες κεραίες για επικοινωνία στην ίδια συχνότητα με χρήστες σε διαφορετικές θέσεις εντός της εμβέλειας του ίδιου σταθμού βάσης.

#### **6.4.1.2 Εφεύρεση**

Οι Arogyaswami Paulraj και Thomas Kailath πρότειναν μια τεχνική αντίστροφης πολυπλεξίας βασισμένη σε SDMA το 1993. Αυτή περιγράφει μια μέθοδο μετάδοσης σε υψηλές ταχύτητες δεδομένων με διαίρεση ενός σήματος υψηλού ρυθμού που μεταδίδονται από ξεχωριστούς πομπούς και ανακτώνται από μία συστοιχία κεραιών λήψης με βάση τις διαφορές στις διευθύνσεις άφιξης. Ο Paulraj έφερε πρωτοποριακές συνεισφορές στην ανάπτυξη της θεωρίας και των εφαρμογών των κεραιών MIMO. Η ιδέα του να χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές τόσο στους σταθμούς μετάδοσης όσο και στους σταθμούς λήψης – κάτι στο οποίο οφείλεται το σημερινό υψηλό WiFi και τα 4G κινητά συστήματα - έχει φέρει επανάσταση στην ασύρματη σύνδεση υψηλής ταχύτητας. Τον Απρίλιο του 1996 ο Greg Raleigh πρότεινε ότι η φυσική πολλαπλή διάδοση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταδώσει πολλαπλές ανεξάρτητες ροές πληροφοριών χρησιμοποιώντας συν-τοποθετημένες κεραιές και πολυδιάστατη επεξεργασία σήματος. Εντόπισε επίσης πρακτικές λύσεις για τη διαμόρφωση (MIMO-OFDM), την κωδικοποίηση, το συγχρονισμό και την εκτίμηση καναλιών. Ο Greg Raleigh, ο V. K. Jones και ο Michael Pollack ίδρυσαν την Clarity Wireless το 1996 και δοκίμασαν ένα πρωτότυπο σύστημα MIMO. Η Cisco Systems απέκτησε το Clarity Wireless το 1998.

#### **6.4.2 Πρότυπα και εμπορευματοποίηση**

Η τεχνολογία MIMO έχει τυποποιηθεί για ασύρματα LAN, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3G και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G και έχει πλέον ευρεία εμπορική χρήση. Οι Greg Raleigh και V.K. Jones ίδρυσαν την Airgo Networks το 2001 για να αναπτύξουν chipset MIMO-OFDM για ασύρματα δίκτυα LAN. Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) δημιούργησε μια ομάδα εργασίας στα τέλη του 2003 για να αναπτύξει ένα πρότυπο ασύρματου LAN που παρέχει τουλάχιστον 100 Mbit/s απόδοσης δεδομένων χρήστη. Οι Surendra Babu Mandava και Arogyaswami Paulraj ίδρυσαν τη Beceem Communications το 2004 για να παράγουν chipsets MIMO-OFDM για WiMAX. Το WiMAX αναπτύχθηκε ως εναλλακτική λύση στα κυψελοειδή πρότυπα και χρησιμοποιεί το MIMO-OFDM. Η Sprint εν συνεχεία ανακοίνωσε σχέδια για την ανάπτυξη του LTE (το κυψελοειδές πρότυπο 4G) έως τα μέσα του 2013 και το κλείσιμο του δικτύου WiMAX μέχρι τα τέλη του 2015. Το πρώτο 4G κυτταρικό πρότυπο προτάθηκε από την NTT DoCoMo

το 2004. Η μακροπρόθεσμη εξέλιξη (LTE) βασίζεται στο MIMO-OFDM και συνεχίζει να αναπτύσσεται από το Σχέδιο Σύμπραξης 3ης Γενιάς (3GPP).

#### **6.4.3 Λειτουργίες**

Το MIMO μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κύριες κατηγορίες: precoding, χωρική πολυπλεξία (SM) και κωδικοποίηση ποικιλομορφίας. Η προ-κωδικοποίηση είναι πολλαπλών ροών σχηματοποίησης δέσμης. Θεωρείται ότι είναι όλη η χωρική επεξεργασία που συμβαίνει στον πομπό. Η χωρική πολυπλεξία απαιτεί διαμόρφωση κεραίας MIMO. Στην χωρική πολυπλεξία ένα σήμα υψηλής συχνότητας χωρίζεται σε πολλαπλά ρεύματα χαμηλότερου ρυθμού και κάθε ρεύμα μεταδίδεται από διαφορετική κεραία εκπομπής στο ίδιο κανάλι συχνότητας. Εάν αυτά τα σήματα φτάσουν στη συστοιχία κεραιών δέκτη με επαρκώς διαφορετικές χωρικές υπογραφές και ο δέκτης έχει ακριβή CSI, μπορεί να διαχωρίσει αυτά τα ρεύματα σε (σχεδόν) παράλληλα κανάλια. Η χωρική πολυπλεξία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ταυτόχρονη μετάδοση σε πολλαπλούς δέκτες. Οι τεχνικές κωδικοποίησης πολυμορφίας χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει γνώση καναλιού στον πομπό. Στις μεθόδους διαφορετικότητας, μεταδίδεται ένα μόνο ρεύμα (σε αντίθεση με τις πολλαπλές ροές στη χωρική πολυπλεξία), αλλά το σήμα κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας τεχνικές που ονομάζονται κωδικοποίηση διάστημα-χρόνου

#### **6.4.4 MIMO πολλαπλών χρηστών (MU-MIMO)**

Στα πρόσφατα πρότυπα 3GPP και WiMAX, η MU-MIMO αντιμετωπίζεται ως μία από τις υποψήφιες τεχνολογίες που μπορούν να υιοθετηθούν από πολλές εταιρείες, όπως η Samsung, η Intel, η Qualcomm, η Ericsson, η Huawei, η Philips και η Nokia. Το MU-MIMO θεωρείται καταλληλότερο για τα κινητά τηλέφωνα χαμηλής πολυπλοκότητας με μικρό αριθμό κεραιών λήψης, ενώ η υψηλότερη απόδοση ανά χρήστη ενός SU-MIMO είναι πιο κατάλληλη για πιο περίπλοκες συσκευές χρήστη με περισσότερες κεραίες.

#### **6.4.5 Συνεταιριστικό MIMO (CO-MIMO)**

Χρησιμοποιεί πολλαπλούς γειτονικούς σταθμούς βάσης για την ταυτόχρονη μετάδοση/λήψη δεδομένων προς και από τους χρήστες. Ως αποτέλεσμα, οι γειτονικοί σταθμοί βάσης δεν προκαλούν παρεμβολές μεταξύ των κυψελών όπως συμβαίνει στα συμβατικά συστήματα MIMO.



## 6.5 WiMAX

Το WiMAX (Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Πρόσβαση στα Μικροκύματα) είναι μια οικογένεια προτύπων ασύρματης επικοινωνίας που βασίζονται στο σύνολο προτύπων IEEE, τα οποία παρέχουν επιλογές πολλαπλών φυσικών στρώσεων (PHY) και Media Access Control (MAC). Το WiMAX περιγράφεται ως μία τεχνολογία βασισμένη στα πρότυπα που επιτρέπει την παράδοση ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης τελευταίου μήκους ως εναλλακτική λύση για την καλωδιακή και το DSL.

### 6.5.1 Χρήσεις του WiMAX

Το εύρος ζώνης και η γκάμα του WiMAX το καθιστούν κατάλληλο για τις ακόλουθες πιθανές εφαρμογές:

- ~ Παροχή φορητής ευρυζωνικής σύνδεσης κινητής τηλεφωνίας σε διάφορες πόλεις και χώρες μέσω διάφορων συσκευών.
- ~ Παροχή ασύρματης εναλλακτικής λύσης για καλωδιακή και ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL) για ευρυζωνική πρόσβαση τελευταίου μιλίου.
- ~ Παροχή δεδομένων, τηλεπικοινωνιών (VoIP) και υπηρεσιών IPTV (τριπλή αναπαραγωγή).
- ~ Παροχή σύνδεσης στο Διαδίκτυο ως μέρος ενός σχεδίου συνέχειας της επιχείρησης.
- ~ Έξυπνα δίκτυα και μετρήσεις.

### 6.5.2 Πρόσβαση στο Internet

Το WiMAX μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε οικιακό ή κινητό διαδίκτυο σε ολόκληρες πόλεις ή χώρες. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον ανταγωνισμό στις αγορές. Επιπλέον, δεδομένου του σχετικά χαμηλού κόστους που συνδέεται με την ανάπτυξη ενός δικτύου WiMAX (σε σύγκριση με 3G, HSDPA, xDSL, HFC ή FTTx), είναι πλέον οικονομικά βιώσιμο να παρέχεται πρόσβαση σε ευρυζωνικό Internet τελευταίου μιλίου σε απομακρυσμένες τοποθεσίες.

### 6.5.3 Mobile WiMAX

Το Mobile WiMAX ήταν υποψήφιος αντικατάστασης για τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας όπως το GSM και το CDMA ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επικάλυψη για την αύξηση της χωρητικότητας. Το σταθερό WiMAX θεωρείται επίσης ως ασύρματη τεχνολογία backhaul για δίκτυα 2G, 3G και 4G. Το backhaul για αστικές λειτουργίες παρέχεται συνήθως μέσω μίας ή περισσότερων συνδέσεων γραμμής χάλκινου σύρματος, ενώ οι απομακρυσμένες κυψελοειδείς λειτουργίες μερικές φορές

πραγματοποιούνται μέσω δορυφόρου. Σε άλλες περιοχές, η αστική και αγροτική επιστροφή προέρχεται συνήθως από συνδέσεις μικροκυμάτων.

#### **6.5.4 Triple-play**

Το WiMAX υποστηρίζει άμεσα τις τεχνολογίες που καθιστούν δυνατές τις προσφορές υπηρεσιών τριπλής αναπαραγωγής (όπως η ποιότητα της υπηρεσίας και η πολυεκκίνηση). Αυτά είναι εγγενή στο πρότυπο WiMAX αντί να προστίθενται ως Carrier Ethernet σε Ethernet.

### **6.6 IMT ADVANCED**

Τα διεθνή πρότυπα για τις κινητές τηλεπικοινωνίες (IMT-Advanced Standard) είναι απαιτήσεις που εξέδωσε το ITU-R της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) το 2008 και διατίθεται στο εμπόριο ως 4G (ή ως 4.5G) κινητό τηλέφωνο και υπηρεσία πρόσβασης στο Internet.

#### **6.6.1 Περιγραφή**

Ένα σύστημα IMT-Advanced αναμένεται να παρέχει μια ολοκληρωμένη και ασφαλή λύση ευρυζωνικής σύνδεσης που βασίζεται σε όλα τα IP για ασύρματο μόντεμ φορητών υπολογιστών, smartphones και άλλες κινητές συσκευές. Μπορούν να παρασχεθούν στους χρήστες υπηρεσίες όπως η ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet, η τηλεφωνία IP, οι υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών και τα πολυμέσα με ροή. Η υπηρεσία IMT-Advanced μπορεί να επιτρέψει περιαγωγή με ασύρματα τοπικά δίκτυα και μπορεί να αλληλεπιδράσει με συστήματα ψηφιακής τηλεοπτικής μετάδοσης. Σκοπός της ήταν να υπερβεί τις απαιτήσεις της Διεθνούς Κινητής Τηλεπικοινωνίας-2000, οι οποίες καθορίζουν τα συστήματα κινητών τηλεφώνων που διατίθενται στην αγορά ως 3G.

#### **6.6.2 Απαιτήσεις**

Ειδικές απαιτήσεις της αναφοράς IMT-Advanced περιλαμβάνουν:

- ~ Ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων που βασίζεται σε πρωτόκολλο Internet (IP).
- ~ Διαλειτουργικότητα με υπάρχοντα ασύρματα πρότυπα.
- ~ Δυναμικά να μοιράζονται και να χρησιμοποιούνται οι πόροι του δικτύου για να υποστηρίζονται ταυτόχρονα περισσότεροι χρήστες ανά κελί.
- ~ Εύρος ζώνης κλιμακούμενου καναλιού 5-20 MHz.
- ~ Φασματική απόκριση κορυφής ζεύξης 15 bit/s/Hz στην κατερχόμενη ζεύξη και 6,75 bit/s/Hz στην ανερχόμενη ζεύξη.

- ~ Ομοιογενής συνδεσιμότητα και παγκόσμια περιαγωγή σε πολλαπλά δίκτυα με ομαλές μετακινήσεις.
- ~ Δυνατότητα παροχής υψηλής ποιότητας υπηρεσιών για υποστήριξη πολυμέσων.

Το πρώτο σύνολο απαιτήσεων 3GPP για την LTE Advanced εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2008.

### **6.6.3 Υποψήφια συστήματα**

Τον Οκτώβριο του 2010, η ομάδα εργασίας ITU-R 5D ενέκρινε δύο τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν από τη βιομηχανία. Στις 6 Δεκεμβρίου 2010, η ITU σημείωσε ότι ενώ οι τρέχουσες εκδόσεις LTE, WiMax και άλλες εξελιγμένες τεχνολογίες 3G δεν πληρούν τις απαιτήσεις IMT Advanced για το 4G, κάποιος μπορεί να χρησιμοποιούν τον όρο 4G με τρόπο για να αντιπροσωπεύσουν τους προπομπούς της IMT-Advanced.

#### **6.6.3.1 LTE Advanced**

Το LTE Advanced υποβλήθηκε επίσημα από τον οργανισμό 3GPP στην ITU-T το φθινόπωρο του 2009 και αναμενόταν να κυκλοφορήσει το 2012. Ο στόχος του 3GPP LTE Advanced ήταν να φτάσει και να ξεπεράσει τις απαιτήσεις της ITU. Το LTE Advanced είναι μια βελτίωση του υπάρχοντος δικτύου LTE. Η έκδοση 10 του LTE αναμένεται να επιτύχει τις ταχύτητες LTE Advanced. Η έκδοση 8 το 2009 υποστήριξε ταχύτητες λήψης έως 300 Mbit/s, οι οποίες ήταν ακόμη χαμηλότερες από τα πρότυπα IMT Advanced.

#### **6.6.3.2 WiMAX Release 2**

Η εξέλιξη του WirelessMAN-Advanced δημοσιεύθηκε τον Μάιο του 2011. Η σχετική βιομηχανία που προώθησε την τεχνολογία της έδωσε το εμπορικό όνομα της WiMAX Release 2. Έχει ως στόχο την εκπλήρωση των κριτηρίων IMT-Advanced. Η ομάδα IMT-Advanced ενέκρινε επισήμως αυτή την τεχνολογία ως ικανή να ανταποκριθεί στα κριτήριά της τον Οκτώβριο του 2010.

## **6.7 OFDMA**

Η ορθογώνια πολλαπλής πρόσβασης διαίρεση συχνότητας (OFDMA) είναι μια έκδοση πολλαπλών χρηστών του δημοφιλούς ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) ψηφιακής διαμόρφωσης πολυπλεξίας. Πολλαπλή πρόσβαση επιτυγχάνεται στο OFDMA, εκχωρώντας υποσύνολα υποφορέων σε μεμονωμένους

χρήστες. Αυτό επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων από διάφορους χρήστες.

### **6.7.1 Βασικά χαρακτηριστικά**

#### **6.7.1.1 Πλεονεκτήματα του OFDM:**

- ~ Επιτρέπει ταυτόχρονη μετάδοση χαμηλού ρυθμού δεδομένων από διάφορους χρήστες.
- ~ Ο παλλόμενος φορέας μπορεί να αποφευχθεί.
- ~ Χαμηλότερη μέγιστη ισχύς μετάδοσης για χρήστες με χαμηλή ταχύτητα δεδομένων.
- ~ Μειωμένη καθυστέρηση και σταθερή καθυστέρηση.
- ~ Η πολλαπλή πρόσβαση βασισμένη στην προσβολή (αποφυγή σύγκρουσης) απλοποιείται.
- ~ Περαιτέρω βελτίωση της ευρωστίας OFDM σε ξεθώριασμα και παρεμβολές.
- ~ Καταπολέμηση παρεμβολών στενής ζώνης.

#### **6.7.1.2 Πλεονεκτήματα του OFDMA:**

- ~ Ευελιξία ανάπτυξης σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων με ελάχιστες απαιτούμενες τροποποιήσεις στη διεπαφή αέρα.
- ~ Μέσες παρεμβολές από γειτονικά κελιά, χρησιμοποιώντας διαφορετικές βασικές μεταλλάξεις μεταφορέων μεταξύ χρηστών σε διαφορετικά κελιά.
- ~ Οι παρεμβολές μέσα στο κελί υπολογίζονται κατά μέσον όρο με τη χρήση κατανομής με κυκλικές μεταβολές.
- ~ Επιτρέπει την κάλυψη δικτύου μονοφωνικών συχνοτήτων, όπου υπάρχει πρόβλημα κάλυψης και παρέχει εξαιρετική κάλυψη.
- ~ Προσφέρει ποικιλία συχνότητας με την εξάπλωση των φορέων σε όλο το χρησιμοποιούμενο φάσμα.
- ~ Επιτρέπει την τροφοδοσία ανά κανάλι ή ανά δευτερεύοντα κανάλι.

#### **6.7.1.3 Μειονεκτήματα του OFDMA:**

- ~ Υψηλότερη ευαισθησία στις μετατοπίσεις συχνοτήτων και στον θόρυβο φάσης.
- ~ Οι ασύγχρονες υπηρεσίες επικοινωνίας δεδομένων, όπως η πρόσβαση στο διαδίκτυο, χαρακτηρίζονται από σύντομες εκρήξεις επικοινωνίας με υψηλό ρυθμό δεδομένων. Λίγοι χρήστες σε μια κυψέλη σταθμού βάσης μεταφέρουν δεδομένα ταυτόχρονα με χαμηλή ταχύτητα δεδομένων.
- ~ Τα σύνθετα ηλεκτρονικά OFDM, συμπεριλαμβανομένου του αλγορίθμου FFT, είναι συνεχώς ενεργά ανεξάρτητα από τον ρυθμό δεδομένων, ο οποίος είναι αναποτελεσματικός από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ ο OFDM σε συνδυασμό με τον προγραμματισμό πακέτων δεδομένων μπορεί να επιτρέψει στον αλγόριθμο FFT να αδρανοποιηθεί κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου διαστημάτων.

- ~ Το κέρδος ποικιλομορφίας OFDM και η αντοχή σε εκφυλισμό με επιλεκτική συχνότητα μπορεί εν μέρει να χαθούν αν απονεμηθούν πολύ λίγοι υπο-φορείς σε κάθε χρήστη και εάν ο ίδιος φορέας χρησιμοποιείται σε κάθε σύμβολο OFDM. Είναι συνεπώς επιθυμητή η προσαρμογή προσαρμοστικού υπο-φορέα βασισμένη σε πληροφορίες ταχείας ανάδρασης σχετικά με το κανάλι ή τη μεταπήδηση της συχνότητας υπο-φορέα.
- ~ Η αντιμετώπιση της παρεμβολής από το κανάλι από τα κοντινά κελιά είναι πιο πολύπλοκη σε OFDM από ότι στο CDMA. Θα χρειαζόταν δυναμική κατανομή καναλιών με προηγμένο συντονισμό μεταξύ γειτονικών σταθμών βάσης.
- ~ Οι πληροφορίες ανάδρασης ταχείας μετάδοσης καναλιών και η εκχώρηση προσαρμοστικού δευτερεύοντος φορέα είναι πιο πολύπλοκες από τον γρήγορο έλεγχο ισχύος CDMA.

### **6.7.2 Χαρακτηριστικά και αρχές λειτουργίας**

Το OFDMA μπορεί να θεωρηθεί ως εναλλακτική λύση για το συνδυασμό του OFDM με την πολλαπλή πρόσβαση χρονικής κατανομής (TDMA) ή την επικοινωνία στατιστικής πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου. Οι χρήστες με χαμηλή ταχύτητα δεδομένων μπορούν να στέλνουν συνεχώς με χαμηλή ισχύ μετάδοσης αντί να χρησιμοποιούν έναν παλμικό φορέα υψηλής ισχύος. Μπορεί να επιτευχθεί σταθερή καθυστέρηση και μικρότερη καθυστέρηση. Το OFDMA θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλο για ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα, εξαιτίας των πλεονεκτημάτων του συμπεριλαμβανομένης της επεκτασιμότητας και της χρήσης πολλών κεραιών (MIMO), και της δυνατότητας να επωφεληθεί από την εκλεκτικότητα συχνότητας καναλιού.

## **6.8 IEEE**

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) είναι μια επαγγελματική ένωση με το εταιρικό γραφείο της στη Νέα Υόρκη και το κέντρο λειτουργίας της στο Piscataway, New Jersey. Δημιουργήθηκε το 1963 από τη συγχώνευση του Αμερικανικού Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και του Ινστιτούτου Ραδιομηχανικών. Σήμερα, είναι η μεγαλύτερη ένωση τεχνικών επαγγελματιών. Στόχος του είναι η εκπαιδευτική και τεχνική πρόοδος της ηλεκτρολογικής και ηλεκτρονικής μηχανικής, των τηλεπικοινωνιών, της πληροφορικής και των συναφών επιστημονικών κλάδων.

### **6.8.1 Ιστορία**

Τα κυριότερα συμφέροντα της ΑΙΕΕ ήταν οι καλωδιακές επικοινωνίες (τηλεγραφία και τηλεφωνία) και τα συστήματα φωτισμού και ισχύος. Το IRE αφορούσε ως επί το πλείστον τη ραδιοεξοπλισμό και σχηματίστηκε από δύο μικρότερες οργανώσεις, την Εταιρεία Μηχανικών Ασύρματων και Τηλεγραφικών και το Wireless Institute. Οι δύο οργανώσεις γίνονταν όλο και πιο ανταγωνιστικές και το 1961 η ηγεσία τόσο του IRE όσο και του ΑΙΕΕ αποφάσισε να εδραιώσει τις δύο οργανώσεις. Οι δύο οργανώσεις συγχωνεύθηκαν επίσημα ως IEEE την 1η Ιανουαρίου 1963.

## **6.9 IP**

Το πρωτόκολλο Internet (IP) είναι το κύριο πρωτόκολλο επικοινωνιών για την αναμετάδοση των datagrams στα σύνορα του δικτύου. Η λειτουργία δρομολόγησης επιτρέπει την εσωτερική δικτύωση και ουσιαστικά καθιερώνει το Διαδίκτυο. Το IP έχει ως στόχο την παράδοση πακέτων από τον κεντρικό υπολογιστή προέλευσης στον κεντρικό υπολογιστή προορισμού μόνο με βάση τις διευθύνσεις IP στις κεφαλίδες πακέτων. Για το σκοπό αυτό, το IP ορίζει δομές πακέτων που ενσωματώνουν τα δεδομένα που πρόκειται να παραδοθούν. Ορίζει επίσης μεθόδους διευθυνσιοδότησης που χρησιμοποιούνται για την ετικέτα του datagram με πληροφορίες πηγής και προορισμού.

## **6.10 IPv6**

Το IPv6 είναι η πιο πρόσφατη έκδοση του πρωτοκόλλου επικοινωνιών (IP), το πρωτόκολλο επικοινωνιών που παρέχει ένα σύστημα αναγνώρισης και εντοπισμού για υπολογιστές σε δίκτυα και διαδρομές μέσω του διαδικτύου. Το IPv6 αναπτύχθηκε από την Ομάδα Μηχανικών Διαδικτύου (IETF) για την αντιμετώπιση του πολυαναμενόμενου προβλήματος της εξάντλησης διεύθυνσης IPv4. Το IPv6 προορίζεται να αντικαταστήσει το IPv4. Σε κάθε συσκευή στο Διαδίκτυο έχει εκχωρηθεί μια μοναδική διεύθυνση IP για την αναγνώριση και τον ορισμό της θέσης. Με την ταχεία ανάπτυξη του Internet τη δεκαετία του 1990, έγινε φανερό ότι θα χρειαζούν πολύ περισσότερες διευθύνσεις για τη σύνδεση συσκευών από ό, τι ο διαθέσιμος χώρος διευθύνσεων IPv4. Μέχρι το 1998, η Task Force για τη Μηχανική Διαδικτύου (IETF) είχε επισημοποιήσει το διάδοχο πρωτόκολλο. Το IPv6 χρησιμοποιεί μια διεύθυνση 128-bit, επιτρέποντας θεωρητικά 2128 ή περίπου  $3,4 \times 10^{38}$  διευθύνσεις. Τα δύο πρωτόκολλα δεν έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι

διαλειτουργικά, περιπλέκοντας τη μετάβαση στο IPv6. Ωστόσο, αρκετοί μηχανισμοί μετάβασης IPv6 έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των φιλοξενουμένων IPv4 και IPv6.

Το IPv6 παρέχει και άλλα τεχνικά πλεονεκτήματα εκτός από έναν μεγαλύτερο χώρο διευθύνσεων. Ειδικότερα, επιτρέπει μεθόδους ιεραρχικής κατανομής διεύθυνσης που διευκολύνουν τη συνάθροιση δρομολογίων μέσω του Διαδικτύου και περιορίζουν έτσι την επέκταση των πινάκων δρομολόγησης. Η χρήση διευθύνσεων multicast διευρύνεται και απλοποιείται και παρέχει επιπλέον βελτιστοποίηση για την παροχή υπηρεσιών. Τα χαρακτηριστικά της κινητικότητας των συσκευών, της ασφάλειας και της διαμόρφωσης έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό του πρωτοκόλλου.

### **6.10.1 Αιτιολόγηση και προέλευση**

#### **6.10.1.1 IPv4**

Το πρωτόκολλο IPv4 ήταν η πρώτη δημοσίως χρησιμοποιούμενη έκδοση του πρωτοκόλλου Internet. Το IPv4 αναπτύχθηκε ως ερευνητικό έργο από την Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Έργων Άμυνας (DARPA) πριν γίνει η βάση για το Διαδίκτυο και τον Παγκόσμιο Ιστό. Το IPv4 περιλάμβανε ένα σύστημα διευθύνσεων που χρησιμοποίησε αριθμητικά αναγνωριστικά αποτελούμενα από 32 bits. Το IPv4 παρέχει δυνατότητα διευθυνσιοδότησης 2<sup>32</sup> ή περίπου 4,3 δισεκατομμυρίων διευθύνσεων. Η εξάντληση των διευθύνσεων δεν ήταν αρχικά μια ανησυχία για το IPv4, καθώς αυτή η έκδοση θεωρήθηκε αρχικά ως δοκιμή των εννοιών δικτύωσης της DARPA. Κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας λειτουργίας του Διαδικτύου, κατέστη σαφές ότι έπρεπε να αναπτυχθούν μέθοδοι για τη διατήρηση του χώρου διευθύνσεων. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ακόμη και μετά τον επανασχεδιασμό του συστήματος διευθυνσιοδότησης χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δικτύου χωρίς τάξεις, κατέστη σαφές ότι αυτό δεν αρκεί για να αποφευχθεί η εξάντληση της διεύθυνσης IPv4 και ότι χρειάζονται περαιτέρω αλλαγές στην υποδομή του Διαδικτύου.

#### **6.10.1.2 Σύγκριση με IPv4**

Στο Διαδίκτυο, τα δεδομένα μεταδίδονται με τη μορφή πακέτων δικτύου. Το IPv6 καθορίζει μια νέα μορφή πακέτου, σχεδιασμένη να ελαχιστοποιεί την επεξεργασία κεφαλίδων πακέτων από δρομολογητές. Επειδή οι κεφαλίδες των πακέτων IPv4 και

των πακέτων IPv6 είναι σημαντικά διαφορετικές, τα δύο πρωτόκολλα δεν είναι διαλειτουργικά. Ωστόσο, στα περισσότερα σημεία, το IPv6 είναι μια επέκταση του IPv4. Τα περισσότερα πρωτόκολλα μεταφοράς και εφαρμογής στρώματος χρειάζονται ελάχιστη ή καθόλου αλλαγή για να λειτουργούν μέσω IPv6. Οι εξαιρέσεις είναι πρωτόκολλα εφαρμογών που ενσωματώνουν διευθύνσεις διαδικτυακού στρώματος, όπως το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP) και το πρωτόκολλο χρόνου δικτύου (NTP), όπου η νέα μορφή διεύθυνσης μπορεί να προκαλέσει διενέξεις με την υπάρχουσα σύνταξη πρωτοκόλλου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: 5G

---

---

Τα δίκτυα 5ης γενιάς ή τα ασύρματα συστήματα 5ης γενιάς, 5G, είναι τα προτεινόμενα επόμενα τηλεπικοινωνιακά πρότυπα πέραν των σημερινών προτύπων 4G / IMT-Advanced. Ο σχεδιασμός 5G στοχεύει σε υψηλότερη χωρητικότητα από την τρέχουσα 4G, επιτρέποντας μεγαλύτερη πυκνότητα χρηστών ευρυζωνικών κινητών τηλεφώνων και υποστηρίζοντας πιο αξιόπιστες και μαζικές επικοινωνίες μεταξύ συσκευών. Η έρευνα και ανάπτυξη 5G στοχεύει επίσης σε χαμηλότερη καθυστέρηση από τον εξοπλισμό 4G και χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας, για την καλύτερη υλοποίηση του Διαδικτύου.

Εκτός από την παροχή απλούστερων ταχυτήτων, προβλέπουν ότι τα δίκτυα 5G θα πρέπει επίσης να αντιμετωπίσουν νέες περιπτώσεις χρήσης, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο), καθώς και υπηρεσίες τύπου broadcast και ζωντανής μετάδοσης σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Οι κατασκευαστές chip, OEMS και OSAT, όπως η Advanced Semiconductor Engineering (ASE) και η Amkor Technology, Inc., προετοιμάζονται για αυτό το ασύρματο πρότυπο νέας γενιάς (5G), καθώς τα κινητά συστήματα και οι σταθμοί βάσης απαιτούν νέους και γρηγορότερους επεξεργαστές εφαρμογών, ζώνες βάσης και συσκευές ραδιοσυχνότητας. Παρόλο που λαμβάνονται υπόψη τα ενημερωμένα πρότυπα που καθορίζουν δυνατότητες πέραν εκείνων που ορίζονται στα τρέχοντα πρότυπα 4G, αυτές οι νέες δυνατότητες έχουν ομαδοποιηθεί σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα 4G.

### Ιστορικό

Μια νέα γενιά κινητών τηλεφώνων εμφανίστηκε περίπου κάθε 10 χρόνια από τότε που το πρώτο σύστημα 1G εισήχθη το 1982. Το πρώτο σύστημα 2G αναπτύχθηκε εμπορικά το 1992 και το σύστημα 3G εμφανίστηκε το 2001. 4G συστήματα πλήρως συμβατά με τις υπηρεσίες IMT Advanced τυποποιήθηκαν για πρώτη φορά το 2012. Η ανάπτυξη των προτύπων 2G (GSM) και 3G (IMT-2000 και UMTS) διήρκεσε περίπου 10 χρόνια και η ανάπτυξη συστημάτων 4G ξεκίνησε το 2001. Τον Απρίλιο του 2008,

η NASA συνεργάστηκε με την εταιρεία Machine to Machine Intelligence (M2Mi) Corp για την ανάπτυξη της τεχνολογίας επικοινωνίας 5G.

### Συζητήσεις

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, ορισμένες πηγές υποδηλώνουν ότι μια νέα γενιά προτύπων 5G μπορεί να εισαχθεί στις αρχές της δεκαετίας του 2020. Το 3GPP πραγματοποίησε διάσκεψη τον Σεπτέμβριο του 2015 για να προγραμματίσει την ανάπτυξη του νέου προτύπου.

Εάν εμφανιστεί το 5G η κύρια διαφορά, από την άποψη του χρήστη, μεταξύ 4G και 5G πρέπει να είναι κάτι άλλο εκτός από ταχύτερη ταχύτητα (αυξημένος ρυθμός bit κορυφής). Για παράδειγμα, μεγαλύτερος αριθμός ταυτόχρονα συνδεδεμένων συσκευών, υψηλότερη φασματική απόδοση του συστήματος (όγκος δεδομένων ανά μονάδα επιφάνειας), χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας, χαμηλότερη πιθανότητα διακοπής (καλύτερη κάλυψη), υψηλά ποσοστά δυαδικών ψηφίων σε μεγαλύτερα τμήματα της περιοχής κάλυψης, χαμηλότερες λανθάνουσες περιόδους των υποστηριζόμενων συσκευών, χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης υποδομής, υψηλότερη ευελιξία και δυνατότητα κλιμάκωσης ή υψηλότερη αξιοπιστία επικοινωνίας.

Έχουν καταγραφεί τρία πολύ διαφορετικά οράματα δικτύου 5G που είχαν αναδειχθεί μέχρι το 2014:

- ~ Ένα εξαιρετικά αποδοτικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που παρέχει καλύτερη απόδοση με χαμηλότερο επενδυτικό κόστος. Αντιμετωπίζει την πιεστική ανάγκη των φορέων εκμετάλλευσης κινητών δικτύων να δουν το κόστος μεταφοράς δεδομένων να πέφτει περίπου με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο ο όγκος της ζήτησης δεδομένων αυξάνεται.
- ~ Ένα εξαιρετικά γρήγορο κινητό δίκτυο που περιλαμβάνει την επόμενη γενιά μικρών κυψελών που συγκεντρώνονται πυκνά ώστε να παρέχουν συνεχή κάλυψη.
- ~ Ένα συγκλίνον ασύρματο δίκτυο ινών που χρησιμοποιεί για πρώτη φορά για ασύρματη πρόσβαση στο Διαδίκτυο τις ζώνες χιλιοστομετρικών κυμάτων (20-60 GHz), έτσι ώστε να επιτρέπουν ραδιοφωνικά κανάλια πολύ ευρείας ζώνης ικανά να υποστηρίζουν ταχύτητες πρόσβασης δεδομένων έως και 10 Gbit / s. Η σύνδεση περιλαμβάνει ουσιαστικά μικρές ασύρματες συνδέσεις στο τέλος του τοπικού καλωδίου οπτικών ινών.

### Έργα έρευνας και ανάπτυξης

- ~ Το 2008, δημιουργήθηκε το πρόγραμμα E & A της Νότιας Κορέας για τα "συστήματα κινητών επικοινωνιών 5G βασισμένα σε πολλαπλή πρόσβαση διαμερισμού".

- ~ Το 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δέσμευσε 50 εκατομμύρια ευρώ για έρευνα για την παροχή κινητής τηλεφωνίας 5G έως το 2020. Ειδικότερα, το Πρόγραμμα METIS 2020 ήταν το εμβληματικό έργο που επέτρεψε την επίτευξη παγκόσμιας συναίνεσης σχετικά με τις απαιτήσεις και τις βασικές τεχνολογικές συνιστώσες του 5G.
- ~ Το 2015, η Huawei και η Ericsson δοκιμάζουν τεχνολογίες σχετιζόμενες με τις 5G σε αγροτικές περιοχές.
- ~ Τον Ιούλιο του 2015 ξεκίνησαν τα ευρωπαϊκά έργα METIS-II και 5GNORMA. Το έργο METIS-II [29] βασίζεται στο επιτυχημένο πρόγραμμα METIS και θα αναπτύξει το γενικό σχεδιασμό δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G και θα παράσχει τις τεχνικές δυνατότητες που απαιτούνται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση και χρήση των διαφόρων τεχνολογιών και των εξαρτημάτων 5G που αναπτύσσονται επί του παρόντος.
- ~ Το 2016, το πρώτο Δοκιμαστικό Δίκτυο 5G κατασκευάστηκε στο Oulu της Φινλανδίας. Πρόκειται για μια εγκατάσταση έρευνας και ανάπτυξης και δοκιμών σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον δικτύου 5G.
- ~ Τον Ιούνιο του 2017, η SLT (Sri Lanka Telecom), μαζί με την Huawei Technologies, πραγματοποίησαν με επιτυχία την πρώτη ολοκληρωμένη δοκιμή πεδίου της τεχνολογίας Pre-5G LTE Advanced Pro, θέτοντας τις βάσεις για την επόμενη γενιά ευρυζωνικών τεχνολογιών. Χρησιμοποίησαν μια τεχνολογία που ονομάζεται Advanced Carrier Aggregation Technology όπου πολλαπλοί μεταφορείς LTE μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση δεδομένων.

## Ιστορία

- ~ Τον Απρίλιο του 2008, η NASA συνεργάστηκε με την Geoff Brown και την Machine to Machine Intelligence (M2Mi) Corp για την ανάπτυξη της τεχνολογίας επικοινωνιών 5G.
- ~ Το 2008, δημιουργήθηκε το πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης της Νότιας Κορέας για τα "συστήματα κινητών επικοινωνιών 5G βασισμένα σε πολλαπλή πρόσβαση διαμερισμού δέσμης".
- ~ Τον Αύγουστο του 2012, το Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης ίδρυσε το NYU WIRELESS, ένα πολυεπιστημονικό ακαδημαϊκό ερευνητικό κέντρο που διεξήγαγε πρωτοποριακές εργασίες στις ασύρματες επικοινωνίες 5G.
- ~ Στις 8 Οκτωβρίου 2012, το πανεπιστήμιο Surrey του Ηνωμένου Βασιλείου εξασφάλισε 35 εκατομμύρια λίρες για ένα νέο ερευνητικό κέντρο 5G. Θα προσφέρει εγκαταστάσεις δοκιμών σε φορείς κινητής τηλεφωνίας που επιθυμούν να αναπτύξουν ένα κινητό πρότυπο που χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια και λιγότερο ραδιοφάσμα ενώ παράγει ταχύτερες ταχύτητες από το σημερινό 4G με τις προσδοκίες ότι η νέα τεχνολογία θα είναι έτοιμη εντός μιας δεκαετίας.
- ~ Την 1η Νοεμβρίου 2012, το έργο της EE METIS ξεκινά τη δραστηριότητά του προς τον ορισμό του 5G.
- ~ Τον Φεβρουάριο του 2013, η ομάδα εργασίας ITU-R 5D ξεκίνησε δύο μελέτες. Μία μελέτη σχετικά με το όραμα IMT για το 2020 και μετά, και μία

άλλη μελέτη σχετικά με τις μελλοντικές τεχνολογικές τάσεις για τα επίγεια συστήματα IMT. Και οι δύο με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μελλοντικών τεχνικών πτυχών των κινητών επικοινωνιών προς τον ορισμό της κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς.

- ~ Στις 12 Μαΐου 2013, η Samsung Electronics δήλωσε ότι έχει αναπτύξει ένα σύστημα 5G.
- ~ Την 1η Οκτωβρίου 2013, η NTT (Nippon Telegraph and Telephone) ήταν η εταιρεία που εγκαινίασε το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο 5G στην Ιαπωνία.
- ~ Στις 6 Νοεμβρίου 2013, η Huawei ανακοίνωσε την πρόθεσή της να επενδύσει τουλάχιστον 600 εκατομμύρια δολάρια σε δίκτυα 5G επόμενης γενιάς ικανά να επιταχύνουν ταχύτητες 100 φορές μεγαλύτερες από τα σύγχρονα δίκτυα LTE.
- ~ Στις 8 Μαΐου 2014, η NTT DoCoMo ξεκινά τη δοκιμή κινητών δικτύων 5G με τις εταιρίες Alcatel Lucent, Ericsson, Fujitsu, NEC, Nokia και Samsung.
- ~ Την 1η Ιουλίου 2015 ξεκίνησε το έργο METIS-II. Το έργο αυτό στοχεύει στο σχεδιασμό του δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G, το οποίο θα αποτελέσει τη βάση για την κατανομή πολλαπλών υπηρεσιών σε ένα ολιστικό πλαίσιο διασυννοριακής και διασυννοριακής διασύνδεσης.
- ~ Στις 22 Φεβρουαρίου 2016, η NTT DoCoMo και η Ericsson πέτυχαν, στην πρώτη δοκιμή παγκοσμίως, να επιτύχουν ένα σφαιρικό 20Gbit/s με δύο ταυτόχρονα συνδεδεμένες κινητές συσκευές σε εξωτερική δοκιμή 5G.
- ~ Στις 29 Ιανουαρίου 2016, η Google αποκάλυψε ότι αναπτύσσουν ένα δίκτυο 5G που ονομάζεται SkyBender. Σχεδιάζαν να διανέμουν αυτή τη σύνδεση μέσω μηχανοκίνητων drones.
- ~ Στις 14 Ιουλίου 2016, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) ψήφισε ομόφωνα μια πρόταση για την απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων νέου εύρους ζώνης για την επόμενη γενιά ασύρματων επικοινωνιών (5G).
- ~ Στις 17 Οκτωβρίου 2016, η Qualcomm ανακοίνωσε το πρώτο μόντεμ 5G, το Snapdragon X50, ως το πρώτο εμπορικό chipset κινητής τηλεφωνίας 5G.
- ~ Τον Ιανουάριο του 2017, η Reliance Jio και η Samsung συνεργάστηκαν για την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου 4G LTE-A σε 5G στην Ινδία.
- ~ Τον Φεβρουάριο του 2017, η κυβέρνηση της Ινδίας, η εταιρεία τηλεπικοινωνιών BSNL, συνεργάστηκε με τη Nokia για τη δημιουργία δικτύων 5G.
- ~ Στις 29 Ιουνίου 2017, η κοινοπραξία δορυφορικών και επίγειων δικτύων 5G ανακοίνωσε την έναρξη ενός 30μηνου έργου για την απρόσκοπτη και οικονομικά βιώσιμη ενσωμάτωση δορυφόρων σε δίκτυα 5G, βελτιώνοντας την πανταχού παρούσα κατάσταση, την ανθεκτικότητα και την αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών 5G, και το άνοιγμα νέων αγορών στη διανομή μέσων ενημέρωσης, στις μεταφορές και στις υποεξυπηρετούμενες περιοχές. Η κοινοπραξία χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του προγράμματος Horizon 2020 και αποτελείται από 16 μέλη, μεταξύ των οποίων τα Airbus Defense και Space, Avanti Communications, BT, Broadpeak, Gilat Satellite Networks, OneAccess, Thales Alenia Space, TNO, University of Surrey, Zodiac Inflight Innovation, και SES, των οποίων

οι δορυφόροι μεγάλης απόδοσης γεωστατικής τροχιάς και μεσαίας γήινης τροχιάς είναι σε θέση να παρέχουν την ικανότητα.

- ~ Τον Ιούνιο του 2017, η Sri Lanka Telecom μετατρέπεται στην πρώτη Telco για να δοκιμάσει επιτυχώς το τεστ προ-5G LTE Advanced Pro στη Νότια Ασία.
- ~ Στις 22 Αυγούστου 2017, η πρωτοποριακή δοκιμή δυνατοτήτων τεχνολογίας 5G διεξήχθη από το Dialog Axiata με τους συνεργάτες τεχνολογίας Ericsson και Huawei στο Dialog Iconic στο Colombo.
- ~ Στις 17 Οκτωβρίου 2017, η Qualcomm ανακοίνωσε την πρώτη κινητή σύνδεση 5G με ταχύτητα σύνδεσης 1 Gbit/s.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:6G

---

---

Πέρα από τις προβλέψεις που υπάρχουν και θα αναλυθούν παρακάτω για την πορεία των κυψελωειδών δικτύων στο 6G, σημασία αξίζει να δοθεί σε μία ιδέα που υπάρχει ότι το 6G δεν θα υπάρξει ποτέ, και η ανάπτυξη θα ολοκληρωθεί με το 5G. Η κυκλοφορία του 5G δεν είναι τόσο μακριά, αφού εκτιμάται να έχει ημερομηνία έναρξης μεταξύ του 2020 και του 2022, και δεν ήταν ποτέ περισσότερο απαραίτητη. Το IoT (Internet of Things) αναπτύσσεται τόσο γρήγορα ώστε κάθε κομμάτι της τεχνολογίας θα χρειαστεί σύντομα μια ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο. Οι τεχνολογίες αυτές θα περιλαμβάνουν ανιχνευτές καπνού, πλυντήρια, ψυγεία, αισθητήρες γεωργικών ζώων, θερμοστάτες, έξυπνα ρολόγια, οθόνες ύπνου, ζώνες γυμναστικής, κάδους απορριμμάτων και φωτιστικά οδών με αισθητήρες παρακολούθησης της κυκλοφορίας, ατμοσφαιρικής ρύπανσης και θορύβου.

Είναι σαφές λοιπόν ότι το 5G θα είναι κάτι περισσότερο από μια νέα υποδομή κινητού δικτύου. Θα χρησιμοποιήσει πολλαπλές μορφές συνδεσιμότητας και εάν γίνει σωστά, δεν θα υπάρξει ποτέ ανάγκη για ένα 6G.

Προχωράμε όμως στις άλλες εκδοχές που υποστηρίζουν ότι θα υπάρξει 6G και αναλύονται μέχρι και τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες που αναμένεται να έχει.

Υπάρχει μία αντιπαράθεση σχετικά με το αν είναι πράγματι χρήσιμο να εξεταστεί ο όρος 6G, καθώς οι απαιτήσεις των χρηστών θα αλλάξουν σημαντικά τα επόμενα 10-20 χρόνια. Μια απάντηση στο τι θα πραγματεύεται το 6G είναι ότι θα διερευνήσει και θα συμπεριλάβει τις τεχνολογίες που θα παραμείνουν ανεκμετάλλευτες από το 5G, λόγω του ότι δεν προβλέφθηκαν και δεν χρησιμοποιήθηκαν έγκαιρα, ήταν σε πειραματικό στάδιο ή απλά εκτός του καθορισμένου πεδίου του 5G. Οι μελλοντικές εφαρμογές και τεχνολογίες θα ενσωματωθούν όταν επιτύχουν την ωριμότητα. Για το 6G, μια πρόταση είναι να ενσωματωθεί η επίγεια ασύρματη σύνδεση με δορυφορικά συστήματα, έχοντας ως σκοπό την πανταχού παρούσα κάλυψη ευρυζωνικού δικτύου.

## 6G εφαρμογές και τεχνολογία

Πολλές από τις κυψελοειδείς συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους σήμερα είναι οι μηχανές (IoT) και όχι οι άνθρωποι με τις μηχανές. Αυτό γίνεται γνωστό με την άνοδο των Smart Homes, Smart Building και Smart Cities. Αυτό οδηγεί τα 5G και 6G να περιλαμβάνουν αυξημένες απαιτήσεις για επικοινωνίες μηχανής-μηχανής, συμπεριλαμβανομένων των ρομποτικών και αυτόνομων συστημάτων παράδοσης και μεταφοράς. Το Internet-of-Everything (IoE) είναι μια σχετική εξέλιξη που θα υπάρξει. Άλλες τάσεις που προβλέφθηκαν για το 6G περιλαμβάνουν υπερ-πυκνά κυψελοειδή δίκτυα, αναδιαμορφώσιμο υλικό, κύματα Millimeter για πρόσβαση χρηστών, βελτιωμένη οπτική-ασύρματη διασύνδεση, δικτυακό VLC, έξυπνη δικτύωση και τεχνολογίες που επιτρέπουν την πλήρη εμπειρία απομνημόνευσης για τους χρήστες. Ένα πράγμα που μπορούμε να είμαστε σίγουροι είναι ότι οι χρήστες θα απαιτήσουν και θα περιμένουν μεγαλύτερη παγκόσμια κάλυψη, υψηλότερες δυνατότητες και συνεχή συνδεσιμότητα για νέες και μελλοντικές υπηρεσίες και εφαρμογές διαδικτύου και ότι το 6G αναμένεται να τα προσφέρει όλα αυτά.

Το 6G προτείνει την ενσωμάτωση του 5G με δορυφορικά δίκτυα για παγκόσμια κάλυψη. Θεωρείται ως είναι μια φτηνή και γρήγορη τεχνολογία διαδικτύου για την παροχή απίστευτα υψηλών ρυθμών δεδομένων ή πολύ γρήγορης πρόσβασης στο Internet μέσω ασύρματων και κινητών συσκευών, πιθανώς μέχρι και 11Gbps, ενώ ταξιδεύει ή σε απομακρυσμένη θέση. Το δορυφορικό δίκτυο επικοινωνίας μπορεί να αποτελείται από δορυφορικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών, δορυφορικά δίκτυα απεικόνισης γης και δορυφορικά δίκτυα πλοήγησης. Ο στόχος του 6G είναι να ενσωματώσει αυτά τα είδη δορυφορικών δικτύων για την παροχή αναγνωριστικού θέσης δικτύου, σύνδεσης πολυμέσων, διαδικτύου και υπηρεσιών πληροφοριών στους χρήστες των κινητών. Οι ειδικά σχεδιασμένες νανο-κεραίες θα υλοποιηθούν σε διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις για την εκπομπή τέτοιων ηλεκτρομαγνητικών σημάτων υψηλής ταχύτητας. Τα δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας από σημείο σε σημείο που μεταδίδουν υπεραρχεία ευρυζωνικά σήματα μέσω του αέρα θα υποβοηθούνται από γραμμές οπτικών ινών υψηλής ταχύτητας για την εκπομπή πολύ ασφαλών πληροφοριών από πομπούς προς προορισμούς.

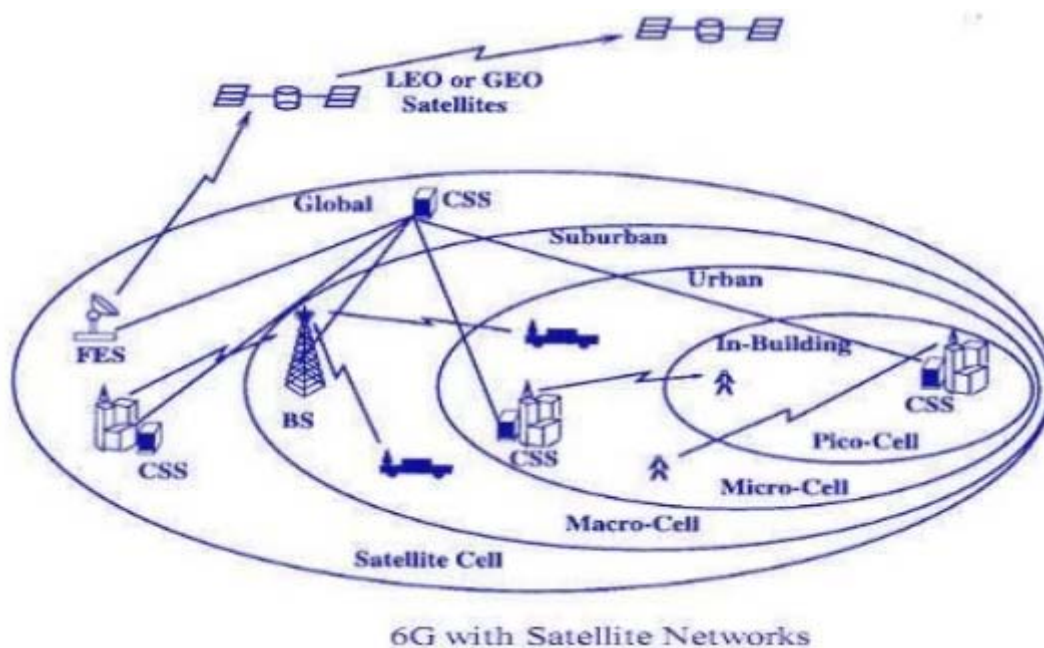
Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα της τεχνολογίας 6G:

- ~ Εξαιρετική ταχύτητα πρόσβασης στο Internet
- ~ Τα ποσοστά δεδομένων θα φθάσουν τα 10-11Gbps

- ~ Αυτοματισμοί οικιακής χρήσης και άλλες σχετικές εφαρμογές
- ~ Έξυπνα σπίτια, πόλεις και χωριά
- ~ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ενέργειας από γαλαξιακό κόσμο
- ~ Η διαστημική τεχνολογία, οι εφαρμογές άμυνας θα τροποποιηθούν με δίκτυα 6G
- ~ Συστήματα ATM με βάση το σπίτι
- ~ Δορυφορική επικοινωνία για την ανάπτυξη της ανθρωπότητας
- ~ Οι φυσικές καταστροφές θα ελέγχονται με δίκτυα 6G
- ~ Επικοινωνία με τη θάλασσα προς το διάστημα
- ~ Πρότυπα: Το Σύστημα Παγκόσμιας Θέσης (GPS) από τις ΗΠΑ, το Galileo από την Ευρώπη, το COMPASS από την Κίνα και το GLONASS από τη Ρωσία. Εάν η 6G ενσωματωθεί με τα 5G αυτών των δορυφορικών δικτύων, θα έχει τέσσερα διαφορετικά πρότυπα. Έτσι, η μεταβίβαση και η περιαγωγή θα είναι ένα μεγάλο ζήτημα στο 6G.

Αύξηση της ευκολίας αναβάθμισης της υποδομής

Ένας παράγοντας στην κίνηση προς το 6G είναι η αυξανόμενη τάση του Software Defined Radio (SDR) και του Software Defined Networking (SDN): Αυτό σημαίνει ότι οι μελλοντικές τεχνολογίες 6G θα είναι ευκολότερο να αναβαθμιστούν, με πηγές και φορτία λογισμικού που βασίζονται σε cloud, υπάρχοντα 4G και μελλοντικό εξοπλισμό 5G για την ενεργοποίηση εφαρμογών 6G. Αυτό μειώνει τις δαπανηρές και ανασταλτικές των προηγούμενων προτύπων κινητής τηλεφωνίας.



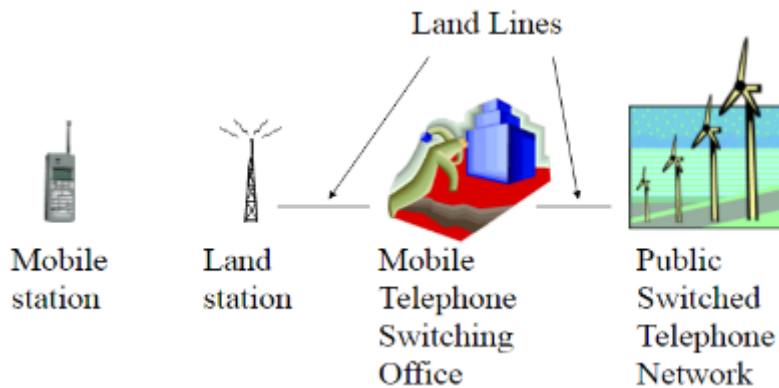


# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

---

## 1G

- ~ Αναλογικό σήμα
- ~ Ταχύτητα: 2.4Kbps
- ~ Συχνότητα: 800-900Hz
- ~ Χρονική περίοδος: 1970-1980
- ~ Επέτρεπε μόνο ηχητικές κλήσεις εντός μίας χώρας
- ~ Στοιχεία δικτύου:



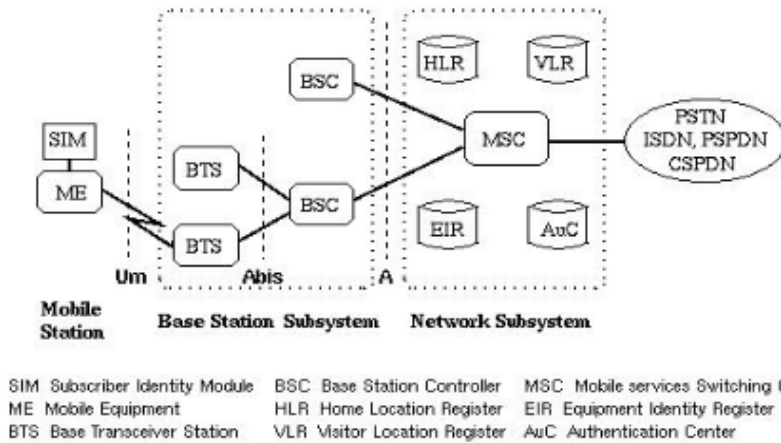
### Αρνητικά χαρακτηριστικά:

- ~ Κακή ποιότητα ήχου
- ~ Κακή διάρκεια μπαταρίας
- ~ Καθόλου ασφάλεια
- ~ Μεγάλο μέγεθος τηλεφώνου
- ~ Περιορισμένες ικανότητες
- ~ Κακές φωνητικές συνδέσεις

## 2G

- ~ Ψηφιακό σήμα (Δεδομένα κυκλώματος στενής ζώνης)
- ~ Ταχύτητα: 14-64Kbps
- ~ Συχνότητα: 850-1900MHz (GSM) και 825-849MHz (CDMA)
- ~ Χρονική περίοδος: 1990-2000
- ~ Υπηρεσίες: ψηφιακή φωνή, SMS, διεθνής περιαγωγή, τηλεδιάσκεψη, αναμονή κλήσης, προώθηση κλήσεων, φραγή κλήσεων, αναγνώριση αριθμού καλούντος, έλεγχος ταυτότητας, χρέωση βάσει των υπηρεσιών που παρέχονται στους πελάτες (χρεώσεις που βασίζονται σε τοπικές κλήσεις, υπεραστικές κλήσεις, προεξοφλημένες κλήσεις, χρέωση σε πραγματικό χρόνο).

~ Στοιχεία δικτύου:

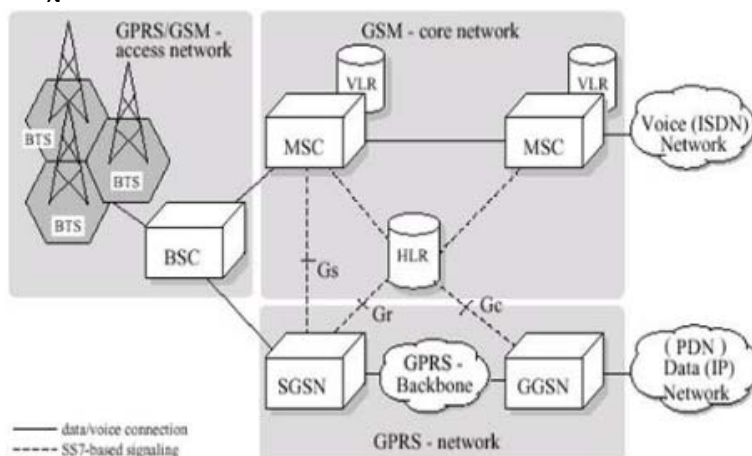


Αρνητικά χαρακτηριστικά:

- ~ Απαιτείται η ύπαρξη ισχυρού ψηφιακού σήματος για να μπορέσουν τα κινητά τηλέφωνα να λειτουργήσουν. Αν δεν υπήρχε δικτυακή κάλυψη σε μία συγκεκριμένη περιοχή, τα ψηφιακά σήματα θα ήταν ασθενή.
- ~ Αδυνατούσαν τα συστήματα αυτά να διαχειριστούν πολύπλοκα δεδομένα όπως βίντεο.

## 2.5G

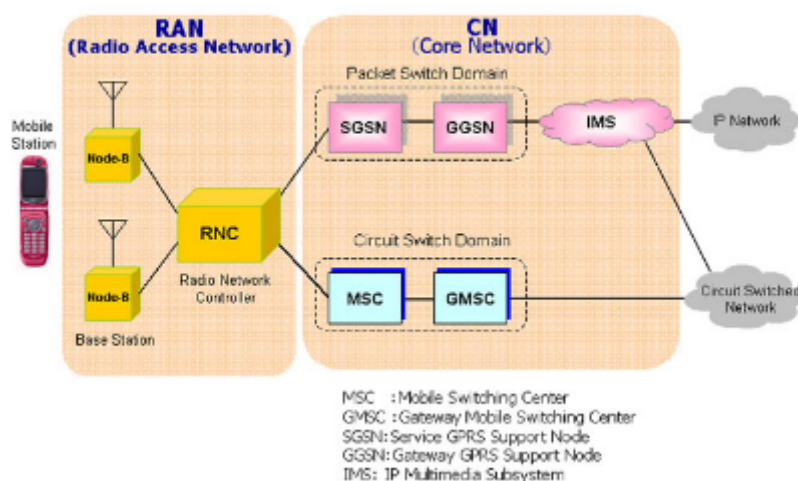
- ~ Ψηφιακό σήμα (Δεδομένα πακέτου)
- ~ Ταχύτητα: 64-144Kbps
- ~ Συχνότητα: 850-1900MHz
- ~ Χρονική περίοδος: 2000-2003
- ~ Υπηρεσίες: διέθεταν κάμερα, περιαγωγή στο διαδίκτυο, υπηρεσία push to talk, πολυμέσα, ψυχαγωγία μέσω διαδικτύου, υποστήριξη WAP, MMS, κινητά παιχνίδια SMS και αναζήτηση σε καταλόγους, πρόσβαση μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τηλεδιάσκεψη.
- ~ Στοιχεία δικτύου:



## 3G

- ~ Ψηφιακό σήμα (Ευρυζωνικά πακέτα δεδομένων)
- ~ Ταχύτητα: 384Kbps-2Mbps
- ~ Συχνότητα: 8Hz-2.5GHz
- ~ Χρονική περίοδος: 2004-2005
- ~ Υπηρεσίες: Ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο Internet, σταθερή ασύρματη πρόσβαση στο Internet, τηλεφωνικές κλήσεις, συνομιλία και τηλεδιάσκεψη, κινητή τηλεόραση, βίντεο κατόπιν ζήτησης, υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας, τηλεϊατρική, περιήγηση στο Web, e-mail, τηλεϊδιοποίηση, gaming, κινητή μουσική, υπηρεσίες πολυμέσων όπως ψηφιακές φωτογραφίες και ταινίες. Τοπικές υπηρεσίες για την πρόσβαση σε ενημερώσεις κυκλοφορίας και καιρού, υπηρεσίες κινητών γραφείων, όπως η εικονική τραπεζική. Μεγαλύτερες δυνατότητες ασφαλείας από 2G, όπως η πρόσβαση στο δίκτυο και η ασφάλεια τομέα, ο τομέας χρηστών και η ασφάλεια εφαρμογών.
- ~ Στοιχεία δικτύου:

### 3G Network Architecture Model



### Αρνητικά χαρακτηριστικά:

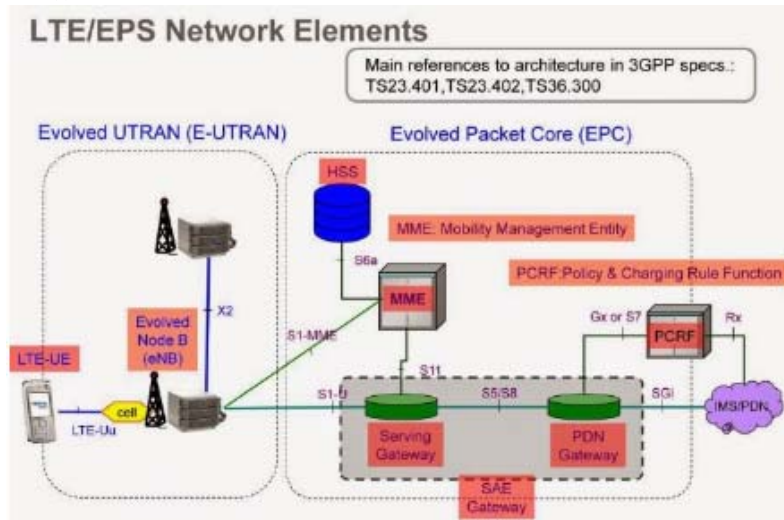
- ~ Ακριβές χρεώσεις για υπηρεσίες αδειών 3G
- ~ Ήταν μια πρόκληση να χτιστεί η υποδομή για το 3G
- ~ Απαιτήσεις υψηλού εύρους ζώνης
- ~ Ακριβά 3G κινητά τηλέφωνα
- ~ Μεγάλα κινητά τηλέφωνα

## 4G

- ~ Ψηφιακό σήμα (Ευρυζωνικό πακέτο, IP τηλεφωνία, πολύ υψηλή απόδοση)
- ~ Ταχύτητα: 100Mbps εκ κίνηση, 1Gbps σε ακινησία
- ~ Συχνότητα: 5-20MHz
- ~ Χρονική περίοδος: 2008-2012
- ~ Υπηρεσίες: Πρόσβαση σε κινητά δίκτυα, IP τηλεφωνία, περισσότερη ασφάλεια, μεγαλύτερη ταχύτητα, υψηλές αποδόσεις, χαμηλό κόστος ανά bit, υπηρεσίες τυχερών παιχνιδιών, κινητές τηλεοράσεις υψηλής ευκρίνειας, τηλεδιάσκεψη,

τρισεπίστατη τηλεόραση και cloud computing, διαχείριση πολλαπλών ροών εκπομπής και χειρισμός γρήγορων κινητών τηλεφώνων, ψηφιακή μετάδοση βίντεο (DVB) συσκευές, ομαλή μεταβίβαση σε ετερογενή δίκτυα και αυτόματη περιαγωγή μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων.

~ Στοιχεία δικτύου:

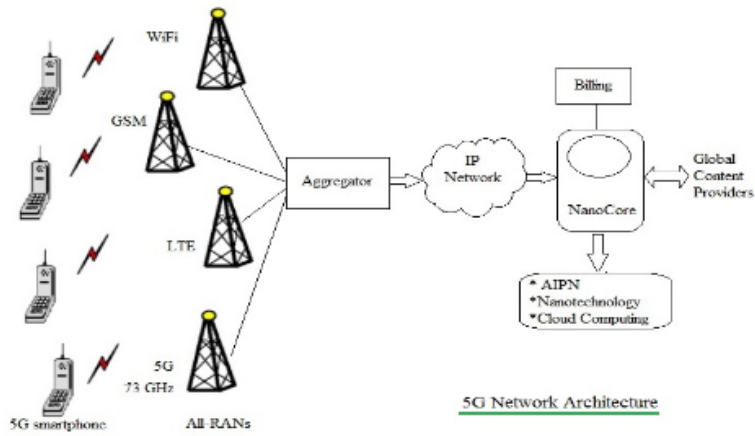


Αρνητικά χαρακτηριστικά:

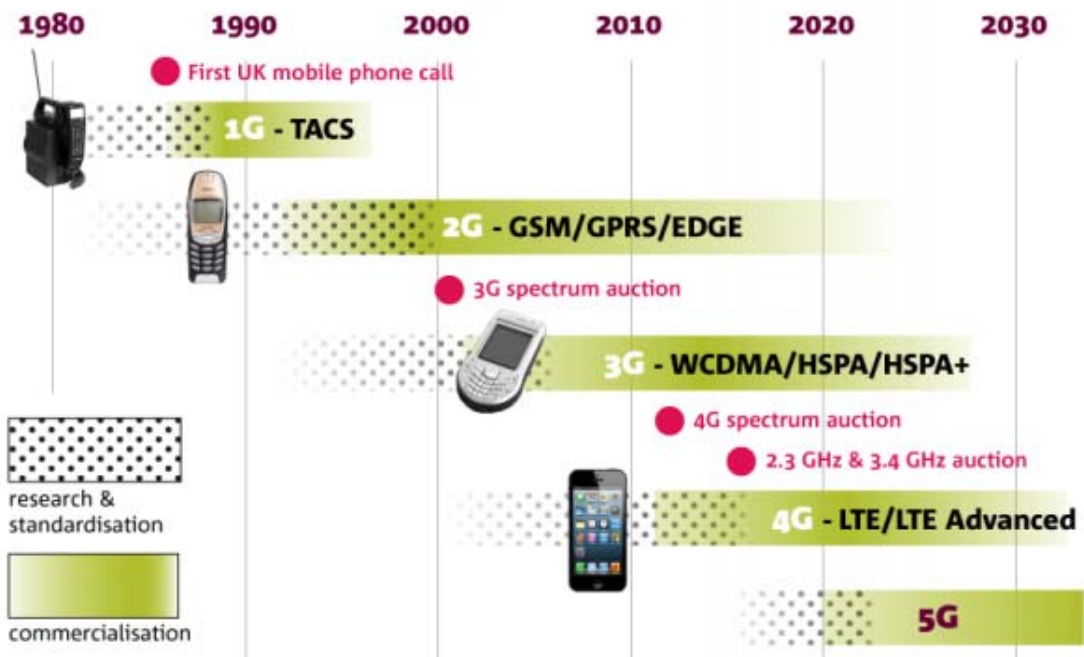
- ~ Περισσότερη χρήση και κατανάλωση μπαταρίας
- ~ Δύσκολο να εφαρμοστεί
- ~ Χρειάζεται πολύπλοκο υλικό
- ~ Απαιτείται ακριβός εξοπλισμός για την υλοποίηση του δικτύου επόμενης γενιάς

5G

- ~ Άγνωστο σήμα
- ~ Ταχύτητα: πιθανόν μεγαλύτερη από 10Gbps
- ~ Συχνότητα: 3-300GHz
- ~ Χρονική περίοδος: 2015-2020
- ~ Υπηρεσίες: Συνδεδεμένοι χρήστες και συσκευές οπουδήποτε και οποτεδήποτε, η εφαρμογή του θα δημιουργήσει την παγκόσμια πραγματική Wi-fi ζώνη, η διεύθυνση IP κινητής τηλεφωνίας θα αντιστοιχίζεται σύμφωνα με το συνδεδεμένο δίκτυο και τη γεωγραφική θέση, ραδιοφωνικό σήμα σε μεγαλύτερο υψόμετρο, παράλληλες πολλαπλές υπηρεσίες, έλεγχος των υπολογιστών μέσω φορητών συσκευών, ευκολότερη εκπαίδευση, ένας φοιτητής που κάθεται σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου μπορεί να παρακολουθήσει την τάξη, η απομακρυσμένη διάγνωση είναι ένα εξαιρετικό χαρακτηριστικό του 5G (ο γιατρός μπορεί να θεραπεύσει τον ασθενή που βρίσκεται σε απομακρυσμένο μέρος του κόσμου), η παρακολούθηση θα είναι ευκολότερη, θα είναι δυνατή η απεικόνιση του σύμπαντος, των γαλαξιών και των πλανητών, πιθανές φυσικές καταστροφές μπορούν να εντοπιστούν ταχύτερα.
- ~ Στοιχεία δικτύου:



## Evolution of mobile phone communications



List of mobile phone generations	
<b>0G (radio telephones)</b>	MTS · MTA - MTB - MTC - MTD · IMTS · AMTS · OLT · Autoradiophelin · B-Netz · Altai · AMR
<b>1G (1985)</b>	<b>AMPS family</b> AMPS (TIA/EIA/IS-3, ANSI/TIA/EIA-553) · N-AMPS (TIA/EIA/IS-91) · TACS · ETACS
	<b>Other</b> NMT · C-450 · Hicap · Mobitex · DataTAC
<b>2G (1992)</b>	<b>GSM/3GPP family</b> GSM · CSD · HSCSD
	<b>3GPP2 family</b> cdmaOne (TIA/EIA/IS-95 and ANSI-J-STD 008)
	<b>AMPS family</b> D-AMPS (IS-54 and IS-136)
	<b>Other</b> CDPD · IDEN · PDC · PHS
<b>2G transitional (2.5G, 2.75G)</b>	<b>GSM/3GPP family</b> GPRS · EDGE/EGPRS (UWC-136/136HS/TDMA-EDGE)
	<b>3GPP2 family</b> CDMA2000 1X (TIA/EIA/IS-2000) · CDMA2000 1X Advanced
	<b>Other</b> WIDEN · DECT
<b>3G (2003)</b>	<b>3GPP family</b> UMTS (UTRA-FDD / W-CDMA · UTRA-TDD LCR / TD-SCDMA · UTRA-TDD HCR / TD-CDMA)
	<b>3GPP2 family</b> CDMA2000 1xEV-DO Release 0 (TIA/IS-856)
<b>3G transitional (3.5G, 3.75G, 3.9G)</b>	<b>3GPP family</b> HSPA (HSDPA · HSUPA) · HSPA+ · LTE (E-UTRA)
	<b>3GPP2 family</b> CDMA2000 1xEV-DO Revision A (TIA/EIA/IS-856-A) · EV-DO Revision B (TIA/EIA/IS-856-B) · EV-DO Revision C
	<b>IEEE family</b> Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) · Flash-OFDM · iBurst (IEEE 802.20)
<b>4G (2013) (IMT Advanced)</b>	<b>3GPP family</b> LTE Advanced (E-UTRA) · LTE Advanced Pro (4.5G Pro/pre-5G/4.9G)
	<b>IEEE family</b> WiMAX (IEEE 802.16m) (WiMax 2.1 (LTE-TDD))
<b>5G (2020) (IMT-2020) (Under development)</b>	<b>LTE</b>
	<b>5G-NR</b>
<b>Related articles</b>	Cellular networks · Mobile telephony · History · List of standards · Comparison of standards · Channel access methods · Spectral efficiency comparison table · Cellular frequencies ( <b>Bands</b> : · GSM · UMTS · LTE) · Mobile broadband · NGMN Alliance · MIMO · VoLTE

Εικόνα 1. Λίστα των γενεών κινητής τηλεφωνίας

Mobile phones		[hide]
<b>General</b>	Features · GSM (services) · History · Operating system · Security · Telephony (airplane mode) · Text messaging (SMS · MMS) · Spam · Tracking · Web browsing (HTML5)	
<b>Software</b>	<b>Apps</b> Development · Distribution · Management · Cloud computing	
	<b>Commerce</b> Banking · Marketing (advertising · campaigns) · Payments (contactless · donating) · Ticketing	
	<b>Content</b> Blogging · Email · Gambling · Gaming · Health · Instant messaging · Learning · Music · News · Search (local) · Social (address book) · Television	
<b>Culture</b>	Charms · Comics · Dating · Japanese culture · Novels · Ringtones (silent mode) · Selfie · Txtspk · Wallpaper	
<b>Devices</b>	Manufacturers · 3D phone · Camera phone · Car phone · Feature phone · Projector phone · Satellite phone · Smartphone · SIM lock	
	<b>Form factors</b> Bar · Flip · Phablet · Slider · Smartwatch	
	<b>Smartphones</b> Android devices (rooting) · BlackBerry 10 · iPhone (iOS jailbreaking) · Open-source mobile phones · Symbian devices · Windows Phone devices	
<b>Environment and health</b>	BlackBerry thumb · Driving safety · Electronic waste · External power supply · Phantom vibration syndrome · Radiation and health · Recycling	
<b>Law</b>	Carrier IQ · Use restrictions while driving · Legality of recording by civilians · Photography and the law · Telephone tapping · Texting while driving · Mobile phones in prison	
<b>Networking</b>	Channel capacity · Frequencies · Multi-band · Network operator (list) · Roaming · Signal · SIM (dual SIM) · Standards comparison · Tethering · VoIP · WAP · XHTML-MP	
	<b>Generations</b> 0G · 1G · 2G · 3G (adoption) · 3.5G · 4G · 4.5G · 5G	

Εικόνα 2. Κινητά τηλέφωνα

Telecommunications		[hide]
<b>History</b>	Beacon · Broadcasting · Cable protection system · Cable TV · Communications satellite · Computer network · Drums · Electrical telegraph · Fax · Heliographs · Hydraulic telegraph · Internet · Mass media · Mobile phone · Optical telecommunication · Optical telegraphy · Pager · Photophone · Prepaid mobile phone · Radio · Radiotelephone · Satellite communications · Semaphore · Smartphone · Smoke signals · Telecommunications history · Teletypewriter · Telegraphy · Teletype · Telephone · <i>The Telephone Cases</i> · Television · Timeline of communication technology · Undersea telegraph line · Videoconferencing · Videophone · Videotelephony · Whistled language	
<b>Pioneers</b>	Edwin Howard Armstrong · John Logie Baird · Paul Baran · Alexander Graham Bell · Tim Berners-Lee · Jagadish Chandra Bose · Vint Cerf · Claude Chappe · Donald Davies · Lee de Forest · Philo Farnsworth · Reginald Fessenden · Elisha Gray · Erna Schneider Hoover · Charles K. Kao · Hedy Lamarr · Innocenzo Manzetti · Guglielmo Marconi · Antonio Meucci · Radia Perlman · Alexander Stepanovich Popov · Johann Philipp Reis · Nikola Tesla · Camille Tissot · Alfred Vail · Charles Wheatstone · Vladimir K. Zworykin	
<b>Transmission media</b>	Characteristic impedance · Coaxial cable · Electromagnetic radiation · Electrical cable · Free-space optical communication · Heaviside condition · Loading coil · Molecular communication · Optical fiber · Telegrapher's equations	
<b>Network topology and switching</b>	Links · Nodes · Terminal node · Network switching (circuit · packet) · Telephone exchange	
<b>Multiplexing</b>	Space-division · Frequency-division · Time-division · Polarization-division · Orbital angular-momentum · Code-division	
<b>Networks</b>	ARPANET · BITNET · Cellular network · Computer · CYCLADES · Ethernet · FidoNet · Internet · ISDN · LAN · Mobile · NGN · NPL network · Public Switched Telephone · Radio · Telecommunications equipment · Television · Telex · WAN · Wireless · World Wide Web	

Εικόνα 3. Τηλεπικοινωνίες

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

---

Δημοσιεύσεις: <http://www.ijritcc.org/download/1433144145.pdf>

URLs: [https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-division\\_multiple\\_access](https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-division_multiple_access)

[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_mobile\\_phones](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_mobile_phones)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Autoradiopuhelin>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_radio\\_telephone](https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_radio_telephone)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Radiotelephone>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_Telephone\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_Telephone_Service)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Improved\\_Mobile\\_Telephone\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/Improved_Mobile_Telephone_Service)

[https://en.wikipedia.org/wiki/AMR\\_radiotelephone\\_network\\_\(Czechoslovakia](https://en.wikipedia.org/wiki/AMR_radiotelephone_network_(Czechoslovakia)

)

<https://en.wikipedia.org/wiki/B-Netz>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Altai\\_\(mobile\\_telephone\\_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Altai_(mobile_telephone_system))

<https://en.wikipedia.org/wiki/1G>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Analog\\_signal](https://en.wikipedia.org/wiki/Analog_signal)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Nordic\\_Mobile\\_Telephone](https://en.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephone)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Mobile\\_Phone\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Mobile_Phone_System)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Nippon\\_Telegraph\\_and\\_Telephone](https://en.wikipedia.org/wiki/Nippon_Telegraph_and_Telephone)

<https://en.wikipedia.org/wiki/2G>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_transmission](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_transmission)

<https://en.wikipedia.org/wiki/GSM>

<https://en.wikipedia.org/wiki/SMS>

[https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Packet\\_Radio\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced\\_Data\\_Rates\\_for\\_GSM\\_Evolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunication>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Multimedia\\_Messaging\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/Multimedia_Messaging_Service)

<https://en.wikipedia.org/wiki/3G>

<https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS>

[https://en.wikipedia.org/wiki/High\\_Speed\\_Packet\\_Access](https://en.wikipedia.org/wiki/High_Speed_Packet_Access)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Evolved\\_High\\_Speed\\_Packet\\_Access](https://en.wikipedia.org/wiki/Evolved_High_Speed_Packet_Access)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division\\_multiple\\_access](https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division_multiple_access)

<https://en.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>

<https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>

[https://en.wikipedia.org/wiki/3rd\\_Generation\\_Partnership\\_Project\\_2](https://en.wikipedia.org/wiki/3rd_Generation_Partnership_Project_2)

[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_mobile\\_phones](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_mobile_phones)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunication>

<https://en.wikipedia.org/wiki/4G>

[https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))

[https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced)

[https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced\\_Pro](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced_Pro)

<https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>

<https://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

[https://en.wikipedia.org/wiki/IMT\\_Advanced](https://en.wikipedia.org/wiki/IMT_Advanced)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency-division\\_multiple\\_access](https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiple_access)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Institute\\_of\\_Electrical\\_and\\_Electronics\\_Engineers](https://en.wikipedia.org/wiki/Institute_of_Electrical_and_Electronics_Engineers)

rs



<https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6>

<https://en.wikipedia.org/wiki/5G>

<https://business.carphonewarehouse.com/expert/5g-means-will-never-6g/>

<http://www.cablefree.net/wireless-technology/4g-lte-beyond-5g-roadmap-6g-beyond/>

<https://www.slideshare.net/akhiljohn21/6-g>

[https://www.slideshare.net/kaushal\\_kaith/3g-4g-5g](https://www.slideshare.net/kaushal_kaith/3g-4g-5g)

<http://www.teqlog.com/1g-vs-2g-vs-3g-vs-4g-vs-5g-comparison-differences-and-analysis.html>

<http://vitorr.com/post-details.php?postid=2615>

<http://iwsnew.blogspot.gr/2016/09/1g-2g-3g-4g-5g-6g-7g-technologies.html>

<https://www.slideshare.net/shocking393/wireless-technology-10-68253268>

[http://its-wiki.no/images/c/c8/From\\_1G\\_to\\_5G\\_Simon.pdf](http://its-wiki.no/images/c/c8/From_1G_to_5G_Simon.pdf)

<http://www.avasystemsignals.com/blog/generations-internet-1g-5g/>

[http://arindamcctvaccesscontrol.blogspot.gr/2013/09/analysis-and-comparison-of-1g-2g-3g-4g\\_26.html](http://arindamcctvaccesscontrol.blogspot.gr/2013/09/analysis-and-comparison-of-1g-2g-3g-4g_26.html)

<https://pdfs.semanticscholar.org/a13e/24c24f18cd77edfc9b3582f92c045479e90e.pdf>

<https://www.ijmter.com/papers/volume-2/issue-10/evolution-of-mobile-generation-technology-1g-to-5g-and-review-of-5g.pdf>

<https://commsbusiness.co.uk/wp-content/uploads/2017/03/Mobile-Evolution.gif>

[https://www.google.gr/search?q=6g+satellite+networks&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjx2KiupcPYAhUDIJokHb5zDPIQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=637&dpr=1#imgrc=UWgL-1AztXG-0M:](https://www.google.gr/search?q=6g+satellite+networks&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjx2KiupcPYAhUDIJokHb5zDPIQ_AUICigB&biw=1366&bih=637&dpr=1#imgrc=UWgL-1AztXG-0M:)

