



**Πανεπιστήμιο Μακεδονίας**  
**ΔΠΜΣ Πληροφορικά Συστήματα**  
**Δίκτυα Υπολογιστών**  
**Καθηγητής: Α. Α. Οικονομίδης**

**University of Macedonia**  
**Master Information Systems**  
**Computer Networks**  
**Professor: A. A. Economides**

# **Η Μετάβαση από τις 3G στις 4G**

## **Ασύρματες Επικοινωνίες**

Μπιτζίδης Ν. Γεώργιος

ΑΜ: 20/10

Θεσσαλονίκη

Ιανουάριος 2011

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
1. 3G ασύρματες επικοινωνίες.....	4
2. Ασύρματες επικοινωνίες επόμενων γενεών.....	6
3. Η τεχνολογία UMTS και η εξέλιξή της.....	7
4. Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS.....	8
5. Η γενιά 3.5 – Το Πρότυπο HSPA.....	10
6. Τα πρωτόκολλα HSDPA και HSUPA.....	12
7. Η είσοδος στην 4 <sup>η</sup> γενιά – Τεχνολογία Long Term Evolution.....	13
8. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της 4G ασύρματης επικοινωνίας.....	14
9. Εφαρμογές και υπηρεσίες της 4G ασύρματης επικοινωνίας.....	15
10. Προσπάθειες τυποποίησης.....	16
11. Επίλογος – Συμπεράσματα.....	17
12. Βιβλιογραφία.....	18

## **Περίληψη**

Η εποχή στην οποία ζούμε έχει χαρακτηριστεί, δικαίως, ως η εποχή της πληροφόρησης. Καθημερινά “βομβαρδιζόμαστε” από πληροφορίες. Ένα τεράστιος τομέας ραγδαίας ανάπτυξης είναι τα δίκτυα μέσω των οποίων μεταβιβάζονται τα δεδομένα αυτά. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τα δίκτυα, και πιο συγκεκριμένα με τα ασύρματα δίκτυα. Προσπαθεί να αποτυπώσει εν συντομία την μετάβαση από τα ασύρματα δίκτυα της εποχής που διανύουμε, δηλαδή της τρίτης γενιάς, στη γενιά του κοντινού μέλλοντος, την τέταρτη. Αρχικά αναλύεται η τεχνολογία UMTS(Universal Mobile Telecommunications System), ο “εκπρόσωπος” της τρίτης γενιάς όσον αφορά την εξέλιξη των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας, ενώ εν συνεχεία παρουσιάζεται το πρότυπο HSPA(High Speed Packet Access) της ενδιάμεσης μεταξύ της 3G και 4G ασύρματης τεχνολογίας, δηλαδή της 3.5G. Έπειτα περιγράφεται η LTE(Long Term Evolution) τεχνολογία, που ουσιαστικά αποτελεί τον προπομπό της τέταρτης γενιάς ασύρματης τεχνολογίας. Η εργασία αυτή συνεχίζεται με τα χαρακτηριστικά, τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές της τέταρτης γενιάς ασύρματων δικτύων και ολοκληρώνεται με τις προσπάθειες που γίνονται για δημιουργία προτύπων τυποποίησης.

## **Abstract**

We live in an era, which has been described correctly as the information era. The arrival of the information is enormous. A huge and very important sector of this evolution is the network sector. The information are transferred allover the world through the networks. This paper deals with the networks, and more specifically to wireless networks. We try to depict briefly the transition from the wireless networks of the era in which we live, to the new one. The transition from the 3G to the 4G wireless networks. In the beginning, we analyze the UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) technology, which is the most representative sample of evolution of the third generation wireless technology, and then we present the HSPA (High Speed Packet Access) standard. The HSPA standard is the ambassador of an intermediate generation, which is called as 3.5G. We continue with the description of the LTE (Long Term Evolution) technology, which essentially is the flagship of the fourth generation wireless technology.

In the end, we try to write down the features, the services and the applications of the 4G wireless networks. Finally we present the efforts of the 4G standardization.

### **1. 3G ασύρματες επικοινωνίες**

Ο ερχομός των δικτύων 3ης γενιάς, άνοιξε το δρόμο για την εμφάνιση ακόμα περισσότερων υπηρεσιών, που μέχρι τη στιγμή εκείνη, κανένα από τα προηγούμενα πρότυπα δε μπορούσε να τους προσφέρει. Με ταχύτητες επιπέδου Megabit κάποιος που έχει πρόσβαση σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να πλοηγηθεί στο Internet, να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας την υπηρεσία Voice over Internet Protocol (VoIP), να κατεβάσει μουσικά κομμάτια και να χρησιμοποιήσει διάφορες άλλες υπηρεσίες με τη βοήθεια το κινητού του τηλεφώνου.

Στα πλαίσια της εξέλιξης των ήδη υπάρχοντων δικτύων 2ης γενιάς, προέκυψαν το πρότυπο CDMA2000 σαν συνέχεια του CDMA και το Wideband-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) σαν συνέχεια των GSM, IS-136 και PDC. Το W-CDMA είναι ένα πρότυπο το οποίο έχει επηρεαστεί από τη φιλοσοφία και τον τρόπο λειτουργίας του GSM. Βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων 3ης γενιάς είναι η παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης των δικτύων αυτών, θα έχει τη δυνατότητα να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται, ακόμα και σε γεωγραφικές περιοχές όπου η κάλυψη που παρέχεται, δεν είναι από δίκτυο της 3ης γενιάς.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται επεκτείνονται σε υπηρεσίες Internet και σε υπηρεσίες που συνδυάζουν εικόνα και ήχο (multimedia) με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Θα πρέπει τέλος να αναφερθεί ότι τα συστήματα 3ης γενιάς που έχουν επικρατήσει μέχρι τώρα είναι τα (α) UMTS στην Ευρώπη, (β) CDMA2000 στην Βόρεια Αμερική και (γ) το NTT Docomo στην Ιαπωνία.

Αντιλαμβανόμαστε ότι η τρίτη γενιά δικτύων ήταν μία πραγματική επανάσταση σε σύγκριση πάντα με την προηγούμενη. Παρ' όλα αυτά δεν άφησε πλήρως ικανοποιημένους τους ειδικούς αλλά ούτε και τους χρήστες. Ίσως οι υψηλές προσδοκίες σε συνάρτηση με το τελικό αποτέλεσμα να δημιούργησε μία απογοητευτική τελευταία εντύπωση. Το πιο απογοητευτικό σημείο των 3G δικτύων, είναι ότι τελικά αντί της

ύπαρξης ενός παγκόσμιου προτύπου, μόνο στην Αμερική αναπτύχθηκαν τρία ασύμβατα συστήματα. Η φωνή μεταφέρεται με κυκλώματα μεταγωγής – χαρακτηριστικό που κληρονομήθηκε από τα δίκτυα 2ης γενιάς – και όχι με το υποσχόμενο IP, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεν είναι αυτοί που είχαν προβλεφθεί.

Στην πραγματικότητα, τα τρέχοντα δίκτυα 3ης γενιάς δεν προσφέρουν την αληθινή 3G εμπειρία και δεν κατάφεραν να υλοποιήσουν ότι αρχικά είχαν δείξει ότι μπορούν να δώσουν στους χρήστες. Ωστόσο αποτελούν μία αρχική-δοκιμαστική εκδοχή τους, με την αληθινή εκδοχή να αναμένεται στο μέλλον. Αυτό που δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν οι κατασκευαστές των δικτύων τρίτης γενιάς είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθεί από τους κατασκευαστές της τέταρτης γενιάς. Τα 4G θα προσφέρουν αλληλεπιδρούσες υπηρεσίες πολυμέσων, όπως τηλεσυνδιάσκεψη, ασύρματο Internet, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (100Mbps), παγκόσμια κινητότητα και φορητότητα υπηρεσιών σε χαμηλό κόστος. Πλέον, όλη η τεχνολογία θα στηρίζεται σε μεταγωγή πακέτων και όχι σε μεταγωγή κυκλωμάτων όπως στα 3G, και όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακά.

Πριν όμως περιγράψουμε την τέταρτη γενιά δικτύων θα πρέπει να αναφερθούμε σε μία ενδιάμεση γενιά και κάποια από τα χαρακτηριστικά της, που ουσιαστικά συνδέει την τρίτη και την τέταρτη, την γενιά 3.5. Η γενιά αυτή περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα όπου, εκτός από την τεχνολογία WCDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Το πρότυπο αυτό, αφορά την μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό 5 φορές μεγαλύτερο του UMTS και 15 φορές μεγαλύτερο του GPRS. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι από τα 2 Mbps που μπορεί να προσφέρει το UMTS ο ρυθμός μπορεί να φτάσει θεωρητικά μέχρι και τα 14.4 Mbps. Το HSDPA θεωρείται ως μια εξέλιξη του UMTS προτύπου, παρέχοντας στους χρήστες υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερη χωρητικότητα, με ένα τρόπο ανάλογο με αυτό που προσφέρει το EDGE πρότυπο συγκρινόμενο με το GSM. Παρόλο που κάποια μέρη του προτύπου αυτού θεωρούνται απλά στο να υλοποιηθούν με το υπάρχον υλικό (hardware), το HSDPA σαν γενικότερη έννοια απαιτεί επανασχεδιασμό στην αρχιτεκτονική του δικτύου και αναβάθμιση στο υλικό, όπως αυτό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς βάσης. Οι τελευταίοι, θα πρέπει να είναι ικανοί όχι μόνο να λειτουργούν αποδοτικά με τέτοιους

υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά και να υποστηρίζουν τη λειτουργία περισσότερο πολύπλοκων πρωτοκόλλων. Η λειτουργία του HSDPA στηρίζεται στο γεγονός ότι αντί να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά Dedicated Channel (DCH) κανάλια για την αποστολή δεδομένων, θα χρησιμοποιείται ένα Downlink Shared Channel (DSCH) κανάλι το οποίο θα μοιράζονται μεταξύ τους οι χρήστες για την μεταφορά των πακέτων. Το κανάλι αυτό έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth) και για το λόγο αυτό καλείται high-speed DSCH (HS-DSCH).

## **2. Ασύρματες επικοινωνίες επόμενων γενεών**

Οι υπηρεσίες τρίτης γενιάς έχουν κατακλείσει τον τεχνολογικό μας κόσμο. Έχουν φτάσει όμως σε επίπεδο κορεσμού. Η επιστημονική κοινότητα προχωρά και εστιάζει στην ανάπτυξη των συστημάτων 3.5 και 4 γενιάς που είναι ήδη διαθέσιμα στους χρήστες αλλά θα εμπλουτιστούν ακόμη περισσότερο στο προσεχές μέλλον. Πολλές φορές είναι δυσδιάκριτο ποια τεχνολογία ανήκει στην 3.5G και ποια στην 4G και γι' αυτό πολλές φορές τις αποκαλούμε με τον ενιαίο όρο B3G. Στην ενότητα αυτή, θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε σύντομα τις βασικές διαστάσεις της B3G τεχνολογίας επικοινωνιών και να επιχειρήσουμε έναν διαχωρισμό ανάμεσα στην 3.5G και 4G ασύρματη τεχνολογία.

Απώτερος στόχος είναι η ανάπτυξη ενός ενιαίου ολοκληρωμένου συστήματος επικοινωνιών το οποίο θα επιτρέπει έναν πάντα ενεργό και πάντα βέλτιστα συνδεδεμένο τρόπο επικοινωνίας. Αυτή η βασική ευρέως αποδεκτή ιδέα σκιαγραφεί ένα ετερογενές τοπίο επικοινωνίας το οποίο θα περιλαμβάνει διάφορα συστήματα ενσύρματης και ασύρματης πρόσβασης (PSTN/ADSL, GSM/GPRS, UMTS, WLAN, WiMAX) με έναν ολοκληρωμένο τρόπο, όπου ο χρήστης θα μπορεί να απολαμβάνει απρόσκοπτη συνδεσιμότητα μέσω πολλών διαφορετικών δικτύων επικοινωνιών και συνεχή πρόσβαση σε εφαρμογές, αξιοποιώντας τον πιο αποτελεσματικό συνδυασμό των διαθέσιμων ενσύρματων συστημάτων και δικτύων επικοινωνιών. Τα μελλοντικά συστήματα επικοινωνιών θα είναι ετερογενή στη φύση τους σχηματίζοντας ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον το οποίο θα συνδυάζει διάφορες ασύρματες τεχνολογίες και συστήματα

πρόσβασης με έναν ολοκληρωμένο τρόπο. Αυτά τα ανεξάρτητα δίκτυα πρόσβασης θα συνδέονται σε στοιχεία στον πυρήνα του δικτύου και θα στηρίζονται στο πρωτόκολλο IP. Η χρήση του πρωτοκόλλου αυτού γίνεται προκειμένου να εξασφαλιστεί μια κοινή βάση και να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα με τις υπάρχουσες επικοινωνιακές υποδομές. Ανεξάρτητα από τις εσωτερικές τεχνικές λεπτομέρειες τους όπως οι χρησιμοποιούμενες συχνότητες, το πρωτόκολλο σηματοδότησης, τα πρότυπα διεπαφών, τα ετερογενή δίκτυα ασύρματης πρόσβασης αναμένεται να έχουν ορισμένα στοιχεία που θα επιτρέπουν την ενοποίηση τους, όπως ο μηχανισμός δυναμικής ανάθεσης διευθύνσεων, η δυνατότητα ασφαλούς και διαφανούς μεταγωγής και τέλος η επαναδιαμόρφωση οντοτήτων του τερματικού και του δικτύου. Επιπλέον, τα δίκτυα u964 τέταρτης γενιάς θα προσφέρουν μια πληθώρα από διαφορετικές υπηρεσίες και εφαρμογές πολυμέσων λόγω των υψηλών ρυθμών μεταφοράς δεδομένων της τάξης των 100 Mbps. Τα δίκτυα επικοινωνιών της επόμενης γενιάς αποτελούν λοιπόν το επόμενο βήμα εξέλιξης και αναμένεται να είναι μαζικά διαθέσιμα γύρω στο 2015.

### **3. Η τεχνολογία UMTS και η εξέλιξή της**

Ο ‘‘εκπρόσωπος’’ της τρίτης γενιάς όσον αφορά την εξέλιξη των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας είναι η τεχνολογία UMTS, και αποτελεί μέχρι και σήμερα την πιο διαδεδομένη τεχνολογία σε χρήση από ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Παρέχει ευρυζωνικές δυνατότητες μετάδοσης πακέτων δεδομένων με ρυθμούς της τάξης των 2 Mbps προσφέροντας στους χρήστες των κινητών τηλεφώνων ή σε υπολογιστές συνδεδεμένους στο κινητό Διαδίκτυο ψηφιακές υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Το UMTS προσφέρει πολύ πιο γρήγορη πρόσβαση στο κινητό διαδίκτυο από οτιδήποτε γνωρίζαμε ως σήμερα και ενοποιεί τις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων και κυκλώματος στη μετάδοση δεδομένων και επομένως προσφέρει προηγμένη και ευέλικτη παροχή QoS(quality of service). Αυτή η τεχνολογία θα οδηγεί τις επικοινωνίες του 21ου αιώνα, παρέχοντας καθολική πρόσβαση σε υπηρεσίες πολυμέσων, ανεξάρτητα τοποθεσίας, δικτύου και τερματικού που χρησιμοποιείται. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως δυνατότητα τηλεσυνδιάσκεψης και υπηρεσίες

ελεγχόμενης μεταβλητότητας στην καθυστέρηση (streaming). Βέβαια, για τη βελτίωση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων που υπόσχεται η τεχνολογία UMTS έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα πρότυπα όπως είναι το HSPA(High Speed Packet Access) το οποίο στηρίζει τις βάσεις της δημιουργίας του στη βελτίωση του W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access) και έχει ως αποτέλεσμα αρκετά ανώτερη επίδοση.

#### **4. Αρχιτεκτονική Δικτύου UMTS**

Η τεχνολογία UMTS βασίζεται στο πρότυπο GSM, το οποίο άλλωστε πρόκειται να αντικαταστήσει. Η εγκατάσταση ενός νέου δικτύου με ανεξάρτητους σταθμούς βάσης και ελεγκτές δικτύου θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την υλοποίηση της τεχνολογίας UMTS . Το σύστημα τρίτης γενιάς λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2 GHz. Η επιλογή της συχνότητας αυτής έγινε προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα, καθώς και καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας. Το UMTS επιτυγχάνει τη χρήση του επικοινωνιακού καναλιού με τρόπο πολύ αποδοτικό, με την ανάμειξη ενός πλήθους υπηρεσιών πολυμέσων, ώστε να παρέχει μειωμένο κόστος. Ένα στοιχείο που αποδεικνύει την ανωτερότητα του UMTS σε σύγκριση πάντα με τα συστήματα δεύτερης γενιάς είναι η δυνατότητά του να παρέχει διαδραστικές υπηρεσίες πολυμέσων και άλλες υπηρεσίες μεγάλου εύρους. Το UMTS θα έχει τη δυνατότητα μετάδοσης κινούμενης εικόνας αλλά και πολλαπλής εικονοσυνεδρίας. Το τελευταίο θα δώσει τη δυνατότητα για πρωτοποριακές υπηρεσίες, όπως είναι η ιατρική διάγνωση από απόσταση και η υποστήριξη συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης, κάτι το οποίο φαντάζει ιδιαίτερα εντυπωσιακό αλλά ταυτόχρονα όχι και πολύ υλοποιήσιμο, το οποίο όμως στο μέλλον θα αποτελεί γεγονός. Οι τερματικές συσκευές θα εμφανίζονται σε πολλές μορφές και συχνά προσαρμοσμένες σε ειδικές περιπτώσεις. Με την πλήρη ανάπτυξη του δικτύου οι συνδρομητές θα μπορούν να βρίσκονται συνεχώς συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο ακόμα και όταν ταξιδεύουν οπουδήποτε. Για την υποστήριξη των μεταπομπών χρησιμοποιείται η ιεραρχική οργάνωση των κυψελών, αλλά και μια πληθώρα ασυρμάτων επίγειων και δορυφορικών ζεύξεων. Τα δίκτυα UMTS απαιτούν σημαντικές επενδύσεις για την ανάπτυξη τους.



Το κόστος ανάπτυξης του δικτύου είναι είκοσι φορές μεγαλύτερο από την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου GSM με τις τεχνολογίες GPRS και EDGE. Τα κύρια στοιχεία του δικτύου UMTS είναι το δίκτυο πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), το οποίο χειρίζεται όλες τις ραδιοκυματικές λειτουργίες καθώς και το κεντρικό δίκτυο CN (Core Network), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή και τη δρομολόγηση των συνδέσεων προς τα εξωτερικά δίκτυα κλήσεων και δεδομένων. Τέλος, το σύστημα συμπληρώνεται από τον εξοπλισμό χρήστη UE (User Equipment). Πιο συγκεκριμένα, το δίκτυο πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων UTRAN αποτελείται από τον κόμβο B (node B) και τον ελεγκτή ραδιοδικτύου RNC (Radio Network Controller). Ο RNC είναι το σημείο πρόσβασης για όλες τις υπηρεσίες που παρέχει το UTRAN στο κεντρικό δίκτυο (CN), για παράδειγμα τη διαχείριση των

συνδέσεων με τον εξοπλισμό χρήστη. Ουσιαστικά ο RNC στα δίκτυα UMTS έχει τον ίδιο ρόλο με τον ελεγκτή σταθμού βάσης BSC (Base Station Controller) στα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι ενώ στα δίκτυα δεύτερης γενιάς οι BSC δεν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, στο UMTS οι RNC συνδέονται απ' ευθείας. Οι βασικές μονάδες του κεντρικού δικτύου CN περιλαμβάνουν: τον καταχωρητή θέσης συνδρομητών δικτύου HLR, το κινητό κέντρο μεταγωγής MSC, τον καταχωρητή θέσης επισκεπτών VLR, την πύλη κέντρου κινητής μεταγωγής GMSC, τον κόμβο υποστήριξης πελατών GPRS GGSN και τον εξυπηρετούντα GPRS κόμβο υποστήριξης SGSN, που λειτουργούν όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες ενότητες. Τέλος, ο εξοπλισμός χρήστη UE αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό ME (Mobile Equipment) που είναι το τερματικό (κινητό τηλέφωνο, φορητός υπολογιστής κ.α.) και το δομοστοιχείο ταυτότητας συνδρομητή USIM (UMTS Subscriber Identity Module). Το USIM περιέχει την ταυτότητα του συνδρομητή, υλοποιεί αλγορίθμους πιστοποίησης γνησιότητας και κρυπτογράφησης. Από πλευράς τέλους προτύπων και ειδικών χαρακτηριστικών θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η τεχνολογία UMTS αποτελείται από καινούρια πρωτόκολλα.

Σήμερα, η κυρίαρχη προτεινόμενη αρχιτεκτονική για το UMTS είναι αυτή που προτείνεται από τη 3GPP για IP-based δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Οι βασικές λειτουργικές οντότητες είναι δανεισμένες u945 από το GPRS, ενώ υπάρχουν και οι απαραίτητες πύλες (gateways) προς άλλα δίκτυα, όπως το κλασικό δίκτυο Internet, το

τηλεφωνικό δίκτυο PSTN (Public Switched Telephone Network) και τα δίκτυα 2ης γενιάς. Η υποστήριξη των υπηρεσιών δεύτερης γενιάς αποτελεί σοβαρή απαίτηση, αφού οι συνδρομητές που έχουν συνηθίσει να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του GSM ενδέχεται να μην είναι διατεθειμένοι να τις εγκαταλείψουν όταν θα κάνουν χρήση του καινούργιου συστήματος UMTS ή όταν θα μετασχηματισθούν σ' ένα τέτοιο σύστημα.

Σε γενικές γραμμές, οι απαιτήσεις από το βασισμένο στην τεχνολογία IP δίκτυο κορμού του UMTS συνοψίζονται στα εξής:

- Υποστήριξη περιαγωγής και μεταπομπής σε δίκτυα δεύτερης γενιάς (π.χ. GSM, GPRS).
- Υποστήριξη τερματικών τρίτης γενιάς που χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος, σε ένα δίκτυο κορμού UMTS ολοκληρωτικά βασισμένο σε IP.
- Υποστήριξη καινούριων (π.χ. IP και πολυμέσα) αλλά και υπαρχόντων υπηρεσιών, όπως η ομιλία, τα μηνύματα SMS (Short Message Service) και κάποιες συμπληρωματικές υπηρεσίες ευφυών δικτύων.

## **5. Η γενιά 3.5 - Το Πρότυπο HSPA**

Δύο είναι τα πρωτόκολλα που αποτελούν την τεχνολογία του προτύπου HSPA (High Speed Packet Access) η οποία ανήκει στην γενιά 3.5, τα HSDPA (Downlink) και HSUPA (Uplink). Αποτελεί την εξέλιξη της τεχνολογίας UMTS που κυριάρχησε στις επικοινωνίες τρίτης γενιάς, με στόχο τη διεύρυνση των δυνατοτήτων όσων αφορά την μεταφορά δεδομένων και την κάλυψη των αναγκών των νέων εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Οι υπηρεσίες των ασύρματων κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς (3G), όπως η video και VoIP τηλεφωνία, τα παιχνίδια, το 'κατέβασμα' αρχείων και ο διαμοιρασμός εικόνων και video, απαιτούν διαφορετικό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS) ως προς το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, την καθυστέρηση, ρυθμό σφαλμάτων, την χωρητικότητα και την κάλυψη.

Για αυτό το σκοπό, το 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ανέπτυξε την τεχνολογία HSPA, μια εξέλιξη του UMTS βασισμένη στην τεχνολογία W-CDMA. Τα πρωτόκολλα HSDPA και HSUPA παρέχουν βελτιωμένη απόδοση μέσα από τη χρήση

βελτιωμένων σχημάτων κωδικοποίησης αλλά και τον επανακαθορισμό των πρωτοκόλλων με τα οποία οι σταθμοί βάσης και τα τερματικά επικοινωνούν. Τα παραπάνω στοιχεία οδηγούν σε καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης που παρέχεται από το W-CDMA. Η τεχνολογία HSPA βελτιώνει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με την επίτευξη 14 Mbps για την κάτω ζεύξη και 5.8 Mbps για την άνω ζεύξη. Επιπλέον, μειώνει την καθυστέρηση και αυξάνει τη χωρητικότητα τόσο της κάτω ζεύξης κατά πέντε φορές αλλά και της άνω ζεύξης κατά δύο φορές σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα W-CDMA. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτυγχάνονται με διάφορους τρόπους όπως:

- Μετάδοση καταμερισμένου καναλιού που επιτυγχάνει την αποτελεσματικότερη χρήση των πόρων ισχύος στο W-CDMA.
- Μικρότερα διαστήματα μεταξύ μεταδόσεων TTI (Transmission Time Interval) που επιτυγχάνει μικρότερη καθυστέρηση χρόνου μετ' επιστροφής (round trip delay) αλλά και αποτελεσματικότερο εντοπισμό των μεταβολών των συνθηκών καναλιού.
- Προσαρμογή της Ζεύξης (Link Adaptation) που μεγιστοποιεί τη χρήση του καναλιού και δίνει τη δυνατότητα στο σταθμό βάσης να λειτουργεί στο μέγιστο επίπεδο.
- Γρήγορο χρονοπρογραμματισμό (Fast Scheduling) που αποδίδει προτεραιότητα στους χρήστες με κριτήριο τις συνθήκες καναλιού.
- Ταχύτερη επαναμετάδοση που επιτρέπει περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας.
- Διαμορφώσεις τύπου QAM (Quadrature Amplitude Modulation), όπως 16QAM και ανώτερες για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων.

Περισσότεροι από 200 τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι σε 80 χώρες χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή.

## 6. Τα πρωτόκολλα HSDPA και HSUPA

Το W-CDMA είναι ουσιαστικά η εκκίνηση και βάση της HSPA που σκοπεύει στην μειωμένη καθυστέρηση χρόνου μετ' επιστροφής (round trip delay), αυξημένη χωρητικότητα, υψηλότερο ρυθμό απόδοσης (throughput) κυψέλης και χρήστη, μειωμένη καθυστέρηση και υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Για να ολοκληρωθούν οι στόχοι που τέθηκαν, η τεχνολογία του πρωτοκόλλου HSDPA εισήγαγε νέες u964 τεχνικές βελτιώνοντας πρώτα την κάτω ζεύξη, επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που φτάνουν μέχρι τα 14Mbps. Το πρωτόκολλο HSDPA βασίζεται κυρίως σε νέες τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Συγκεκριμένα, το νέο κανάλι HS-DSCH (High Speed-Downlink Shared Channel) επιτυγχάνει βελτιωμένη απόδοση κάτω ζεύξης εφαρμόζοντας:

- Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση AMC (Adaptive Modulation and Coding): Οι συνθήκες που επικρατούν στο κανάλι και συγκεκριμένα η τιμή του λόγου σήματος προς παρεμβολή, αποτελούν το κριτήριο χρήσης του κατάλληλου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για τα δεδομένα επιτυγχάνοντας τη μέγιστη δυνατή απόδοση.
- Ταχεία Δρομολόγηση κίνησης: Ο αλγόριθμος δρομολόγησης κίνησης επιλέγει τον αριθμό χρηστών που θα αποστείλει πακέτα δεδομένων, ανάλογα με τον λόγο σήματος προς παρεμβολή του κάθε χρήστη, το είδος της συνόδου και τον αριθμό των πακέτων που είναι σε αναμονή. Κάθε αλγόριθμος δρομολόγησης κίνησης αξιολογεί με διαφορετική βαρύτητα τα παραπάνω δεδομένα και ισορροπεί μεταξύ της επίτευξης υψηλής απόδοσης για το δίκτυο και της ικανοποίησης των απαιτήσεων των χρηστών.
- Ταχεία Υβριδική Επανεκπομπή Πακέτων HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request): Τα δεδομένα διατηρούνται σε καταχωρητή στον σταθμό βάσης. Αν το κινητό τερματικό δεν αποστείλει επιβεβαίωση ορθής παράδοσης (acknowledgment, ACK), για το λαμβανόμενο πακέτο, τότε αυτό θεωρείται χαμένο. Σε αυτήν την περίπτωση, τα δεδομένα επανεκπέμπονται και ο χρήστης συνδυάζει όλες τις λήψεις των συγκεκριμένων δεδομένων (soft combining of multiple transmissions), αυξάνοντας τις πιθανότητες να αποκωδικοποιήσει επιτυχώς το μήνυμα. Έτσι έχουμε μειωμένη καθυστέρηση μετάδοσης και βελτιωμένη απόδοση.

Το HSDPA+ αποτελεί την μετεξέλιξη του που επιτυγχάνει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στην κάτω ζεύξη μέχρι 42 Mbps, αξιοποιώντας την τεχνική διαμόρφωσης 64QAM και την τεχνολογία κεραιών MIMO. Το δεύτερο στάδιο της εξέλιξης του W-CDMA με τη χρήση του προτύπου HSPA αναφέρεται στην βελτίωση της άνω ζεύξης μέσω του πρωτοκόλλου HSUPA για την επίτευξη ρυθμών μετάδοσης που φτάνουν τα 5.8 Mbps. Το κανάλι E-DCH (Enhanced - Dedicated Channel) το οποίο αξιοποιεί τεχνικές προσαρμογής της ζεύξης παρόμοιες αυτές του πρωτοκόλλου κάτω ζεύξης HSDPA, όπως τα μικρότερα διαστήματα μεταξύ μεταδόσεων, η ταχεία υβριδική επανεκπομπή πακέτων και ο ταχύς προγραμματισμός. Αποτέλεσμα, μεγαλύτερες αποδόσεις, μειωμένες καθυστερήσεις και αυξημένη φασματική απόδοση. Το HSUPA οδηγεί στην αύξηση περίπου 85% στη γενική ρυθμοαπόδοση άνω ζεύξης κυψελών και ένα κέρδος περίπου 50% στη ρυθμοαπόδοση χρηστών. Μειώνει και την καθυστέρηση πακέτων.

## **7. Η είσοδος στην 4<sup>η</sup> γενιά - Τεχνολογία Long Term Evolution**

Η επίτευξη ενός 4G ολοκληρωμένου συστήματος ασυρμάτων επικοινωνιών ουσιαστικά επιτυγχάνεται με την τεχνολογική εξέλιξη με την ονομασία LTE. Σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA και το HSPA αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου, του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις καθυστερήσεις. Το 3GPP συγκεκριμενοποιεί τις προδιαγραφές του LTE στο Release 8 και υπόσχεται ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 300 Mbps στην κάτω ζεύξη με χρήση κεραιών MIMO 4x4 και 75Mbps στην άνω ζεύξη με απλή κεραία για κάθε 20 MHz του ταξινομημένου κατά ζεύγος φάσματος. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές οι ελάχιστοι ρυθμοί μετάδοσης για το LTE είναι τουλάχιστον 100Mbps για την κάτω ζεύξη και 50Mbps για την άνω ζεύξη και η μέγιστη καθυστέρηση με επιστροφή υπολογίζεται στα 10 ms. Για την επίτευξη πλήρους απόδοσης των δυνατοτήτων του LTE σε δικτυακό επίπεδο είναι αναγκαία η μετατροπή των σημερινών υβριδικών δικτύων (κυκλώματος/πακέτου) σε δίκτυα πλήρως βασισμένα σε IP (Internet Protocol).

## 8. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της 4G ασύρματης επικοινωνίας

Η δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου με διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης και τεμαχικά τελικών χρηστών όπου θα δίνει την δυνατότητα χρήσης σε πρωτότυπες και επαναστατικές υπηρεσίες, θα υλοποιηθεί μέσω της τέταρτης γενιάς ασύρματων δικτύων. Στο ίδιο περιβάλλον θα είναι ενσωματωμένα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς όπου θα επιτρέπεται η απρόσκοπτη και συνεχής μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο.

Θα περιγράψουμε παρακάτω μερικά από τα χαρακτηριστικά της 4<sup>ης</sup> τεχνολογικής γενιάς.

- Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης με εύρος από 20 έως 200 Mbps. Ασύρματα LAN και ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης λειτουργούν ήδη στη ζώνη των 5 GHz και έχουν αναπτυχθεί στην Ιαπωνία (MMAC), στην Ευρώπη (Hyperlan 2) και στην Αμερική (IEEE 802.11) έχουν ταχύτητα μετάδοσης 20-30 Mbps.
- Η 10 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα και το μικρότερο κόστος ανά bit σε σύγκριση με την 3G τεχνολογία.
- Η υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολύ-μετάδοσης(multicasting) είναι σημαντική ιδιαίτερα για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.
- Η δημιουργία αλγορίθμων για εξοικονόμηση ενέργειας από την μπαταρία της συσκευής και η ύπαρξη ειδικού λογισμικού μέσα στις φορητές συσκευές με σκοπό την προσαρμογή της φυσικής και λογικής πρόσβασης(physical and MAC interface) αναλόγως του δικτύου που χρησιμοποιείται κάθε φορά
- Η χρήση τεχνολογίας μέσω πρωτοκόλλων IP που θα επιτρέπει την ομαλή διασύνδεση με σταθερά και ασύρματα δίκτυα, καθώς και με συστήματα 3G.
- Πληρέστερη κάλυψη χώρου με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης.

- Υψηλότερες χρησιμοποιούμενες συχνότητες (μέχρι 5 GHz), με εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (RF) ανά κανάλι, 20~100 MHz.
- Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών, τόσο στους σταθμούς βάσης όσο και στις κινητές συσκευές, με χρήση του πρωτοκόλλου ορθογώνιας πολυπλεξίας συχνότητας, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), αλλά και άλλων μεθόδων.

## **9. Εφαρμογές και υπηρεσίες της 4G ασύρματης επικοινωνίας**

Μερικές από τις εφαρμογές και υπηρεσίες που θα προσφέρουν τα ασύρματα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς, υπάρχουν ήδη με αποτέλεσμα να βελτιστοποιήσουν τις υπηρεσίες αυτές. Ταυτόχρονα θα δημιουργηθούν και άλλες που θα φέρουν πραγματική επανάσταση στους αντίστοιχους χώρους. Ο τομέας που προβλέπεται να επωφεληθεί από τις εξελίξεις αυτές αναμένεται να είναι το ηλεκτρονικό εμπόριο. Παραθέτουμε παρακάτω τις υπηρεσίες που θα είναι διαθέσιμες στο κοντινό μέλλον και αναμένεται να αλλάξουν την καθημερινότητα μας.

- Τηλεϊατρική. Με τον όρο αυτόν εννοούμε την γρήγορη μετάδοση δεδομένων για τα ιστορικά των ασθενών, με σεβασμό στα προσωπικά δεδομένα τους και με γνώμονα πάντα το συμφέρον τους, καθώς και την επαναστατική εξέταση και παρακολούθηση από απόσταση.
- Εκπαίδευση εξ αποστάσεως με χρήση πολυμεσικού υλικού από χρήστες εν κινήσει.
- Διαδραστική τηλεόραση και βίντεο σύμφωνα με τις προτιμήσεις και το προφίλ του χρήστη.
- Τηλεπαρουσία. Υπηρεσίες, δηλαδή εικονικής πραγματικότητας πραγματικού χρόνου και θα συμβάλουν στις εικονικές συνεδριάσεις. Ουσιαστικά η εξέλιξη των σημερινών τηλεδιασκέψεων.
- Εργασία εξ αποστάσεως και online βοήθεια στην εργασία με χρήση φορητών πολυμεσικών συσκευών.

- Εικονική πλοήγηση. Τοπογραφικά στοιχεία θα είναι πάντα διαθέσιμα και απολύτως ενημερωμένα όσον αφορά την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο χώρος, η τοποθεσία, το κτίριο και η διαδρομή που ενδιαφέρει τον χρήστη.
- Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων, όπου θα υπάρχει έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση σε περιπτώσεις φυσικών και άλλων καταστροφών.
- Βελτίωση της ασφάλειας στην μετάδοση δεδομένων, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση των τραπεζικών συναλλαγών των ηλεκτρονικών πληρωμών και γενικότερα του ηλεκτρονικού εμπορίου.

## 10. Προσπάθειες τυποποίησης

Η ομάδα εργασίας 8F (WP8F) στο τμήμα ITU-R και η Special Study Group “IMT και μετά” στο τμήμα ITU-T είναι οι δύο ομάδες που ασχολούνται με την τυποποίηση της επόμενης γενιάς.

Η πρώτη ομάδα έχει αντικείμενο εργασίας τις γενικές πτυχές ραδιο-συστημάτων 4G, όπως οι ραδιοδιεπαφές (radio interfaces), ζητήματα φάσματος (spectrum) τα δίκτυα ραδιο-πρόσβασης (radio-access networks) (RANs), χαρακτηριστικά υπηρεσιών και κίνησης (traffic) και εκτιμήσεις – προβλέψεις της αγοράς.

Το κύριο μέλημα της δεύτερης είναι το δίκτυο, οι ασύρματες πτυχές των μελλοντικών ασύρματων συστημάτων συμπεριλαμβανομένου του ασύρματου διαδικτύου (wireless Internet), η σύγκλιση κινητών και σταθερών δικτύων, η διαχείριση κινητικότητας (mobility management), η σύνδεση μέσω δικτύων (internetworking) και η διαλειτουργικότητα (interoperability).

Ο κύριος στόχος της ομάδας WP8F είναι η σύσταση (recommendation) ITU-R M1645. Το M1645 θα περιλαμβάνει:

- Το πλαίσιο (framework) για τα 4G συστήματα που θα ικανοποιεί τους στόχους των 4G και θα είναι διαφανές (transparent) στο χρήστη.
- Ρυθμούς μετάδοσης 100 Mbps για κινητούς χρήστες και 1Gbps για σταθερούς χρήστες.
- Παγκόσμιο κοινό φάσμα και παγκόσμια τυποποίηση.



Η δημοσιοποίηση των προτύπων για τα δίκτυα 4ης γενιάς αναμένεται να γίνει το 2010-2012. Σύμφωνα με έρευνα της In-Stat τα τρία υποψήφια σχέδια είναι:

- Long Term Evolution (LTE) - υποστηρίζεται από την Ericsson
- Ultra Mobile Broadband (UMB) - υποστηρίζεται από την Qualcomm
- 802.16m (WiMax) – υποστηρίζεται από την Intel

## **11. Επίλογος - Συμπεράσματα**

Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας φυσικό επακόλουθο είναι ο τομέας των επικοινωνιών είναι αυτός που έχει επηρεαστεί περισσότερο. Οι εξελίξεις διαδέχονται η μία την άλλη. Στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, εκφραστής η ανάπτυξη αυτή εκφράζεται μέσω των 3G ασύρματων επικοινωνιών, που αποτέλεσαν μία πραγματική επανάσταση. Οι εφαρμογές και υπηρεσίες που προσέφεραν από τις αρχές τις προηγούμενης τεχνολογίας προκάλεσαν πραγματική κατάπληξη. Παρ' όλα αυτά στο τέλος άφησαν μια αίσθηση απογοήτευσης όχι λόγω των αποτελεσμάτων της, που ήταν εξαιρετικά, αλλά κυρίως λόγω της μη ολοκλήρωσης ενός ολοκληρωμένου συστήματος ασυρμάτων επικοινωνιών, το οποίο ουσιαστικά είχαν "υποσχεθεί".

Ότι δεν κατάφεραν οι να πραγματοποιήσουν οι κατασκευαστές των προηγούμενων γενιών ασύρματων με τις τεχνολογίες GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA και το HSPA δικτύων, φαίνεται πως θα επιτευχθεί με την τεχνολογία LTE της τέταρτης γενιάς. Η επόμενη γενιά ασύρματης επικοινωνίας βρίσκεται ήδη σε εφαρμογή και κάποιες από τις υπηρεσίες της βρίσκονται σε εφαρμογή έστω και σε βρεφικό στάδιο. Οι ολοκληρωμένες εφαρμογές και τεχνολογίες θα είναι διαθέσιμες για τους χρήστες περίπου στα μέσα της νέας δεκαετίας και αναμένεται να αλλάξει εξ ολοκλήρου την εικόνα που έχουμε για τις ασύρματες επικοινωνίες.

## Βιβλιογραφία

Elias Aravantinos and M. Hosein Fallah (2008). Potential Scenarios And Drivers Of The 4G Evolution <http://www.imaginar.org/its2008/169.pdf>

Mishra R. Ajay (2004). Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation – 2G/ 2.5G/ 3G... Evolution to 4G, John Wiley and Sons Ltd.

Nicopolitidis P., Obaidat M. S., Papadimitriou G. I., Pomportsis A.S. (2006). Wireless Networks - Ασύρματα Δίκτυα, Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Κακαβέτσος Β. Βλάσιος (2007). Μελέτη μελλοντικού UMTS δικτύου (4G) με IP διασύνδεση στο Core Network, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.  
<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/handle/123456789/780>

Τεντζέρης Μ. Μάνος (2001). Ασύρματα Συστήματα 3ης (3G) και 4<sup>ης</sup> (4G) γενεάς: Προκλήσεις του Μέλλοντος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Η.Π.Α.  
[http://users.ece.gatech.edu/~etentze/Pyrforos\\_2001.pdf](http://users.ece.gatech.edu/~etentze/Pyrforos_2001.pdf)

M. Jaseemuddin "An Architecture for Integrating UMTS and 802.11 WLAN Networks" , Dept. of Electrical & Computer Engineering, Ryerson University

Q.T. Nguyen-Vuong, L. Fiat, N. Agoulmine, "An Architecture for UMTS-WIMAX Interworking" IEEE 2006

Holma, H., & Toskala, A. (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. John Wiley & Sons.

Lescuyer, P., & Lucidarme, T. (2008). *Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*. John Wiley & Sons.

Jivesh Govil, Jivika Govil, Cisco Systems Inc. USA, B.E.(IT) Student, Apeejay College of Engineering, Maharshi Dayanand University, India, 4G : FUNCTIONALITIES DEVELOPMENT AND AN ANALYSIS OF MOBILE WIRELESS GRID, First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology 2008 IEEE

Jivesh Govil, Jivika Govil, Cisco Systems Inc. BE(IT) Student, Apeejay College of Engineering, Maharshi Dayanand University, An Empirical Feasibility Study of 4G's Key Technologies, 2008 IEEE

Björn Ekelund, Head of Ecosystems and Research, CTO and Strategic Planning Office, ST Ericsson, The technical challenges of the future generations of telecommunication technologies (LTE/4G), 2010 IEEE

<http://www.umts-forum.org/>