

HSPA +

Η εξέλιξη της ασύρματης ευρυζωνικότητας

Ευτυχία Νικολίτσα

Cosmote S.A.
Associate Senior
Network Evolution Engineer
e-mail: enikolitsa@cosmote.gr

Δημήτρης Καρακώστας

Ericsson Hellas S.A.
Senior Solution Manager
e-mail: dimitris.karakostas@ericsson.com

Γιώργος Κορίνθιος

Cosmote S.A.
Προϊστάμενος Αρχιτεκτονικής
& Στρατηγικής Δικτύου
e-mail: gkorinthi@cosmote.gr

Ευρυζωνικότητα και HSPA

Η δραματική αύξηση της χρήσης υπηρεσιών διαδικτύου επιτάσσει όσο ποτέ άλλοτε την ανάπτυξη και παροχή αναβαθμισμένων ευρυζωνικών συνδέσεων. Παρόλο που μέχρι σήμερα οι στατικές τεχνολογίες φαίνεται να κυριαρχούν με τη μερίδα του λέοντος να ανήκει στο ADSL, εκτιμάται ότι στα επόμενα χρόνια εκατομμύρια άνθρωποι θα στραφούν στην ασύρματη τεχνολογία για αυτή την εμπειρία.

Δεν έχει περάσει πολύ καιρός απ' την εποχή που την ώρα όπου οι στατικοί χρήστες προσπαθούσαν να συνδεθούν στο διαδίκτυο με αναλογικά modem των 28,8 kbps, οι πρώτες ασύρματες συνδέσεις δεδομένων με GSM κινητά μετά βίας άγγιζαν ταχύτητες των 9,6 kbps. Έκτοτε, με την αλματώδη εξέλιξη της ασύρματης κινητής τεχνολογίας, ένα μεγάλο άλμα στις προσφερόμενες ταχύτητες έχει πραγματοποιηθεί.

Μέσα από μια σειρά ανταγωνιστικών τεχνολογιών, που συναγωνίζονταν για την εμπορική επικράτησή τους στο χώρο των κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών, ξεχώρισε η πλέον επιτυχημέ-

νη από αυτές, που έγινε γνωστή ως πρόσβαση υψηλής ταχύτητας μεταφοράς πακέτων (HSPA - High Speed Packet Access).

Το HSPA, αποτελεί την τελευταία λέξη στην τεχνολογία πρόσβασης 3G δικτύων, με αξεπέραστη απόδοση και με υγιείς οικονομίες κλίμακος έχοντας ήδη εμπορική παρουσία σε περισσότερες από 130 χώρες. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2011, οπότε και αναμένεται ότι ο αριθμός των ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων θα υπερβαίνει τα 600 εκατομμύρια, η τεχνολογία HSPA θα προσφέρει πάνω από 70% όλων των κινητών ευρυζωνικών συνδέσεων.

Εδώ και μερικά χρόνια στην Ελλάδα, το HSPA, διαφημίζεται ολοένα και περισσότερο μέσω προσφορών για υπηρεσίες διασύνδεσης στο διαδίκτυο από όλους τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους της χώρας. Στις μέρες μας μάλιστα οι προσπάθειες εντείνονται, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την εταιρία κινητής COSMOTE που ανακοινώνει υπηρεσίες διαδικτυακής σύνδεσης μέσω του 3G/HSPA δικτύου της, με εξωπραγματικές έως και λίγα χρόνια πριν, ταχύτητες των

21,6 Mbps.

Στα πλαίσια λοιπόν αυτών των καταιγιστικών εξελίξεων στις ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες, το άρθρο αυτό επιχειρεί να κάνει μια επισκόπηση της, κυρίαρχης πλέον στο χώρο των τηλεπικοινωνιών, τεχνολογίας HSPA εστιάζοντας κυρίως στην εξέλιξή της τα αμέσως επόμενα χρόνια.

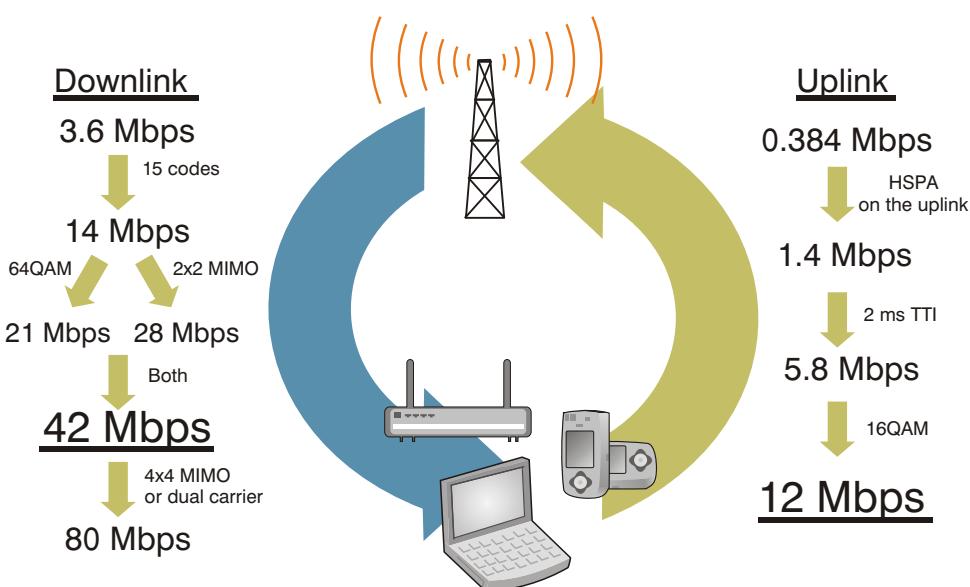
Ιστορική αναδρομή

Η προτυποποίηση της HSPA τεχνολογίας έχει σχεδιαστεί από το Third Generation Partnership Project (3GPP). Το 3GPP είναι μια συνεργασία που συγκεντρώνει πολλούς τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς προτυποποίησης από τις ΗΠΑ, την Ευρώπη, την Ιαπωνία, τη Νότια Κορέα και την Κίνα. Το 3GPP ορίζει τις GSM και WCDMA προδιαγραφές για ένα πλήρες σύστημα κινητής επικοινωνίας, περιλαμβάνοντας απαιτήσεις για τον τερματικό σταθμό, τα δίκτυα πρόσβασης ραδιοεπικοινωνίας, τα δίκτυα πυρήνα (ή κορμού), καθώς και τμήματα του δικτύου παροχής υπηρεσιών. Οι εκάστοτε προδιαγραφές που εξελίσσονται από το 3GPP δημοσιεύονται σε εκδόσεις (3GPP releases).

Η εξέλιξη των 3G, αλλά και των 2G, δικτύων υπό την σκέπη του προγράμματος 3GPP υπήρξε

θεαματική. Στην τελευταία δεκαετία, για παράδειγμα, παρατηρήθηκε αύξηση στην ταχύτητα δεδομένων κατά 1.000 φορές. Η αρχή έγινε με την έκδοση 3GPP R99, η οποία υποστήριζε ρυθμούς δεδομένων της τάξεως των 384 kbps. Η συνεχόμενη ζήτηση όμως για μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων και αυξημένη χωρητικότητα δικτύου οδήγησε σε νέες βελτιωμένες εκδόσεις 3GPP.

Συγκεκριμένα, η έκδοση 3GPP Rel-5 επέκτεινε τις προδιαγραφές με την εισαγωγή ενός νέου καναλιού υψηλής ταχύτητας μεταφοράς πακέτων δεδομένων στην ασύρματη κατερχόμενη ζεύξη (downlink), που έγινε γνωστό ως HSDPA, εγκαινιάζοντας έτσι την εποχή της ασύρματης ευρυζωνικότητας. Σε σύγκριση με την τεχνολογία πρόσβασης στην έκδοση 3GPP R99, το βελτιωμένο HSDPA κανάλι προσέδωσε μια σημαντική αύξηση στη χωρητικότητα του δικτύου, η οποία μεταφράζεται σε μείωση του κόστους μεταφοράς της πληροφορίας. Επιπλέον, μείωσε σημαντικά την καθυστέρηση (latency) ενώ υποστήριξε ταχύτητες δεδομένων έως και 14 Mbps. Η εξέλιξη των δικτύων 3G δεν στάθηκε μόνο στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink), καθώς κρίθηκε ότι πολλές εφαρμογές μπορούν να επωφεληθούν από μια ταχύτερη ανερχόμενη ζεύξη



Γράφημα 1: Εξέλιξη του HSPA

(uplink). Η δυνατότητα αυτή προσφέρεται στην έκδοση 3GPP Rel-6 με την είσοδο ενός νέου καναλιού υψηλής ταχύτητας μεταφοράς πακέτων δεδομένων στην ασύρματη ανερχόμενη ζεύξη, που έγινε γνωστό ως EUL (Enhanced Uplink) ή HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Η καινοτομία αυτή μείωσε σημαντικά την καθυστέρηση (latency), αύξησε θεαματικά τη χωρητικότητα, ενώ υποστήριξε ταχύτητες δεδομένων έως και 5,76 Mbps.

Προκειμένου να ενισχύσει περαιτέρω τις ταχύτητες δεδομένων και τη δικτυακή χωρητικότητα, η έκδοση 3GPP Rel-7 παρουσιάζει την εξελιγμένη σειρά της HSPA τεχνολογίας, η οποία γίνεται γνωστή στον τηλεπικοινωνιακό χώρο και ως HSPA+ συνδυάζοντας παράλληλα τις HSDPA και HSUPA υπηρεσίες. Στην εξελιγμένη σειρά HSPA+ εφαρμόζονται ανώτερες τεχνικές διαμόρφωσης σήματος και προχωρημένες τεχνικές κεραιών με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται ταχύτητες αιχμής 21 και 28 Mbps αντίστοιχα.

Οι βελτιώσεις θα συνεχιστούν με την έκδοση 3GPP Rel-8, όπου είτε με συνδυασμούς ανώτερων τεχνικών διαμόρφωσης και προχωρημένων κεραιοσυστημάτων, είτε με συνδυασμούς δύο ραδιοφορέων (dual carrier), επιτυγχάνονται ταχύτητες έως 42 Mbps (Γράφημα 1).

Σε επόμενες 3GPP εκδόσεις αναμένεται να δούμε συνδυασμούς πολλαπλών ραδιοφορέων (multi carrier) και πολύπλοκων κεραιοσυστημάτων με στόχο ρυθμούς δεδομένων αιχμής της τάξεως των 80 Mbps πάνω απ' τα υφιστάμενα 3G/HSPA δίκτυα.

Βασικά χαρακτηριστικά του HSPA

Με την έκδοση 3GPP Rel-5, οι προδιαγραφές του WCDMA εμπλουτίσθηκαν μ' ένα νέο δίαυλο μεταφοράς, το High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). Ένας σημαντικός σχεδιαστικός στόχος ήταν να διατηρηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο ο λειτουργικός διαχωρισμός μεταξύ των επιπέδων πρωτοκόλλου (protocol layers) και των κόμβων, ώστε οι όποιες αλλαγές

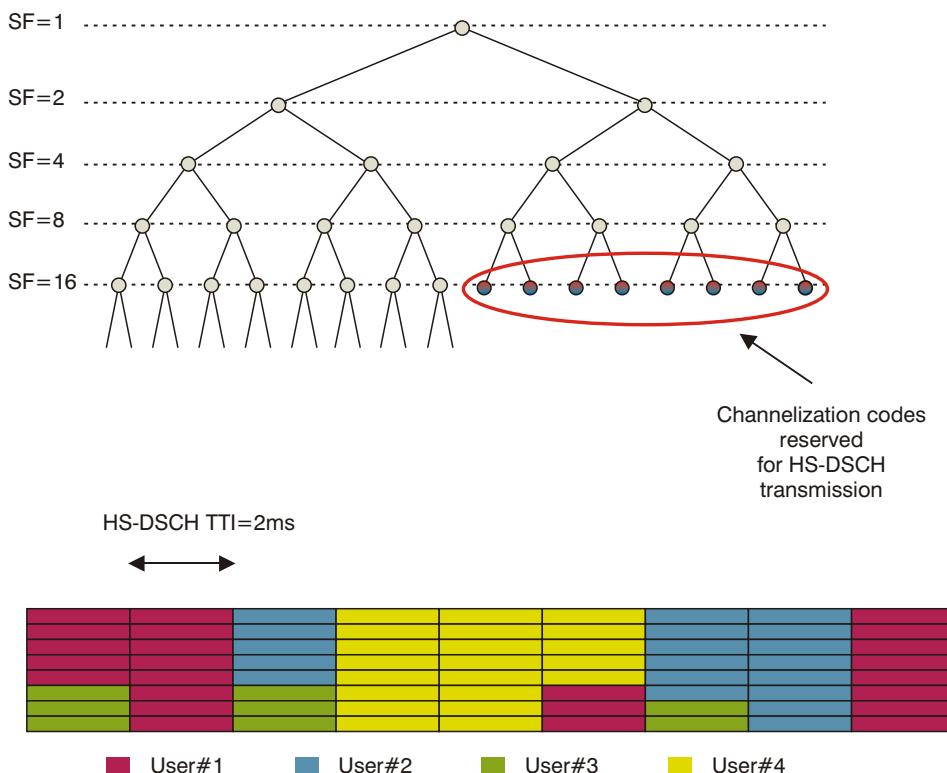
στην αρχιτεκτονική να επιτρέπουν την ομαλή αναβάθμιση και λειτουργία του HSDPA ακόμη και σε ανομοιογενή περιβάλλοντα ραδιοκάλυψης.

Το χαρακτηριστικό που κάνει το HSDPA να ξεχωρίζει είναι η χρησιμοποίηση ενός "fat-pipe" κοινού καναλιού μετάδοσης. Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά της HSDPA τεχνολογίας είναι η ταχεία προσαρμογή στις αλλαγές του ραδιοπειριβάλλοντος και η γρήγορη αναμετάδοση των εσφαλμένων δεδομένων.

Εμβαθύνοντας περισσότερο στην τεχνολογία του HSPA θα μπορούσαμε να σταθούμε στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Κοινό κανάλι μετάδοσης.** Το HSDPA βασίζεται σε μετάδοση κοινού καναλιού, πράγμα που σημαίνει ότι ένα ορισμένο ποσοστό των κωδικών καναλιού (channelization codes) και της ισχύος εκπομπής σε μια ραδιοκυψέλη, θεωρείται ως κοινός πόρος που μοιράζεται δυναμικά μεταξύ των χρηστών. Η κοινή χρήση του καναλιού μετάδοσης έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων πόρων ισχύος ή κωδικών στο WCDMA σύστημα. Ο μέγιστος αριθμός των κωδικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι 15, και ανάλογα με τον αριθμό των κωδικών που μπορεί να υποστηρίξει η τερματική συσκευή και τη διαθέσιμη χωρητικότητα του συστήματος, επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός κωδικών για χρήση.

- Μικρό "Time to Interval".** Το χρονικό διάστημα εναλλαγής χρήσεως του κοινού καναλιού μετάδοσης μεταξύ των χρηστών καλείται Time to Interval (TTI). Η δυναμική κατανομή των κωδικών καναλιού εκτελείται 500 φορές το δευτερόλεπτο. Η χρήση μικρού TTI (2ms) μειώνει τις καθυστερήσεις (latency) και βελτιώνει την παρακολούθηση των γρήγορων διακυμάνσεων του ραδιοφορέα, γεγονός που χρησιμοποιείται για τον καλύτερο προγραμματισμό του κοινού καναλιού. Ο χρόνος είναι ο πρωταρχικός τρόπος κατανομής του "fat pipe" κοινού καναλιού μεταξύ των χρη-



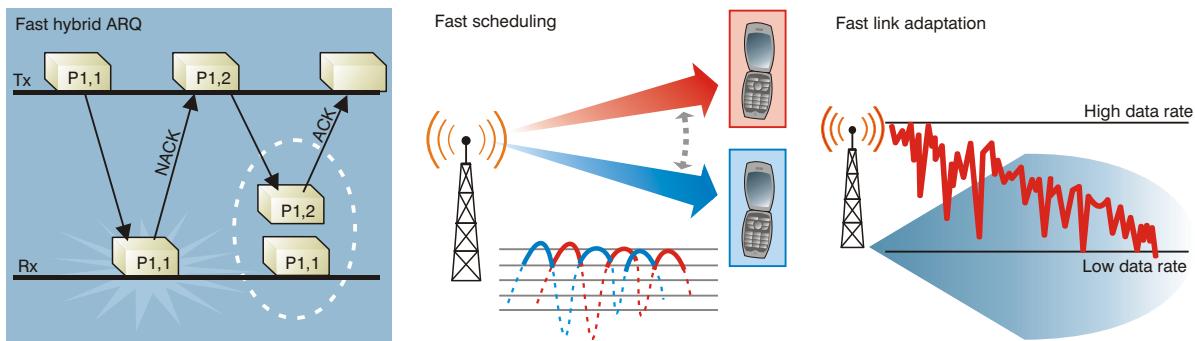
Γράφημα 2: Δέντρο κωδικών καναλιού και 2ms TTI

στών (time multiplexing), αλλά είναι επίσης δυνατό να μοιρασθεί και σε επίπεδο κωδικών με τη χρήση διαφορετικών υποσυνόλων επί του συνολικού πλήθους των κωδικών καναλιού (code multiplexing).

- **Τεχνικές διαμόρφωσης.** Εκτός από την τεχνική διαμόρφωσης QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), η οποία ισχύει για όλα τα άλλα κανάλια WCDMA, το HS-DSCH κανάλι μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την ανώτερη τεχνική διαμόρφωσης 16QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) ώστε να παρέχει υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων. Με τη διαμόρφωση 16QAM επιτυγχάνονται διπλάσιες ταχύτητες δεδομένων σε σχέση με την τεχνική QPSK (Γράφημα 4), ενώ είναι επίσης περισσότερο αποτελεσματική στη χρήση του φάσματος. Από την άλλη πλευρά όμως απαιτεί καλύτερες συνθήκες ραδιοφορέα από ότι τη τεχνική διαμόρφωσης QPSK.
- **Γρήγορη προσαρμογή σύνδεσης.** Η μέθοδος ρύθμισης των παραμέτρων μετάδοσης στις στιγμιαίες εναλλαγές των ραδιοσυνθη-

κών για τη βέλτιστη χρήση των πόρων του φορέα και για την επιλογή ανώτερων τεχνικών διαμόρφωσης, εφόσον οι συνθήκες το επιτρέπουν (Γράφημα 3). Αντί να χρησιμοποιείται η κλασσική ρύθμιση ισχύος (power control) για τη διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού μετάδοσης εν διαμέσου σημαντικών και γρήγορων αλλαγών του ραδιοφορέα, το HS-DSCH βασίζεται στην προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης με την αλλαγή του ρυθμού της κωδικοποίησης του καναλιού. Αυτή η μέθοδος είναι κοινώς γνωστή ως προσαρμογή ρυθμού (rate adaptation) ή προσαρμογή σύνδεσης (link adaptation) και είναι περισσότερο αποτελεσματική από την κλασσική ρύθμιση ισχύος (power control) για υπηρεσίες που ανέχονται βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

- **Γρήγορος προγραμματισμός "fast scheduling".** Η μέθοδος που καθορίζει το σε ποιό τερματικό θα δοθεί το κοινό κανάλι μετάδοσης, σε μια δεδομένη στιγμή (Γράφημα 3). Ο προγραμματισμός (scheduling) είναι βασικό



Γράφημα 3: Προσαρμογή σύνδεσης, γρήγορος προγραμματισμός και υβριδική ARQ

δομικό στοιχείο της HSPA τεχνολογίας καθώς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συνολική απόδοση του συστήματος. Κάθε 2ms, χρόνος διάρκειας ενός TTI, ο μηχανισμός προγραμματισμού αποφασίζει σε ποιούς χρήστες θα δοθεί το κοινό κανάλι μετάδοσης, και σε συνεργασία με το μηχανισμό προσαρμογής σύνδεσης (link adaptation), επιλέγεται η τεχνική διαμόρφωσης και ο αριθμός των κωδικών που θα χρησιμοποιηθούν. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας δίνει τον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (bit rate) στον τελικό χρήστη. Ο μηχανισμός προγραμματισμού έχει σχεδιαστεί ώστε να επιλέγονται οι χρήστες με τις ευνοϊκότερες συνθήκες ραδιοφορέα στην προκειμένη στιγμή ώστε να αυξάνεται η συνολική χωρητικότητα του συστήματος. Παρόλα αυτά, ο μηχανισμός προγραμματισμού προσφέρει δίκαιη μεταχείριση ακόμα και σε χρήστες με λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες, ρυθμίζοντας τις παραμέτρους επιλογής ανάλογα με τις συνθήκες καναλιού εξασφαλίζοντας έτσι σε όλους τους χρήστες μια ελάχιστη απόδοση.

- **Γρήγορη υβριδική αυτόματη αίτηση επανάληψης "Hybrid ARQ".** Η μέθοδος όπου το τερματικό μπορεί απότομα και γρήγορα να ζητήσει την αναμετάδοση των δεδομένων που λείπουν πριν να επιχειρηθεί η αποκωδικοποίηση του μηνύματος (Γράφημα 3). Ο γρήγορος μηχανισμός ανάδρασης HARQ επιτρέπει να συνδυαστεί αποτελεσματικά η

πληροφορία της αρχικής μετάδοσης με εκείνη της ύστερης μετάδοσης. Αυτή η τεχνική ονομάζεται soft-combining και βοηθάει σημαντικά στην αύξηση της χωρητικότητας και αποδοτικότητας του δικτύου.

Η εξέλιξη με το HSPA+

Η συνεχής εξέλιξη των επιδόσεων στις ταχύτητες της ανερχόμενης (HSUPA) και κατερχόμενης (HSDPA) ζεύξης οδήγησε σε μεγάλες αυξήσεις στην κίνηση πακέτων δεδομένων, δίνοντας έτσι στους χρήστες την εμπειρία της ασύρματης ευρυζωνικότητας που μπορεί πλέον να συγκριθεί με τη στατική ADSL τεχνολογία, καθιστώντας πλέον το HSPA ως το κυρίαρχο είδος κίνησης στα 3G δίκτυα.

Οι τελευταίες προδιαγραφές των εκδόσεων 3GPP Rel-7 και Rel-8 αναφέρονται στην εξέλιξη του HSPA ή αλλιώς HSPA+, εισάγοντας νέα χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν ακόμα υψηλότερες ταχύτητες, μικρότερη καθυστέρηση και μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της εξελιγμένης τεχνολογίας HSPA+, καθώς και μερικές υποψήφιες τεχνικές που σχεδιάζονται για περαιτέρω εξέλιξη των προδιαγραφών σε μελλοντικές κυκλοφορίες είναι:

- ◆ **Ανώτερες τεχνικές διαμόρφωσης "Higher-order modulation"**

Η μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία (bits)

κατανέμεται στη φάση και το πλάτος των εκπεμπόμενων σημάτων. Το γράφημα 4 απεικονίζει τα διαγράμματα των διαφόρων μεθόδων διαμόρφωσης. Κάθε σειριακή ακολουθία από bit αντιστοιχίζεται σε ένα σύμβολο του οποίου η διαμόρφωση φάσης και πλάτους αντιστοιχεί σε ένα από τα σημεία-στίγματα του διαγράμματος. Ο αριθμός των bit που μεταφέρονται ανά διαμόρφωμένο σύμβολο έχει ως εξής: 1 για BPSK, 2 για QPSK, 4 για 16QAM και 6 για 64QAM. Ως εκ τούτου, οι ανώτερες μέθοδοι διαμόρφωσης επιτρέπουν μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων (bit rate) για ένα δεδομένο ρυθμό συμβόλων (symbol rate).

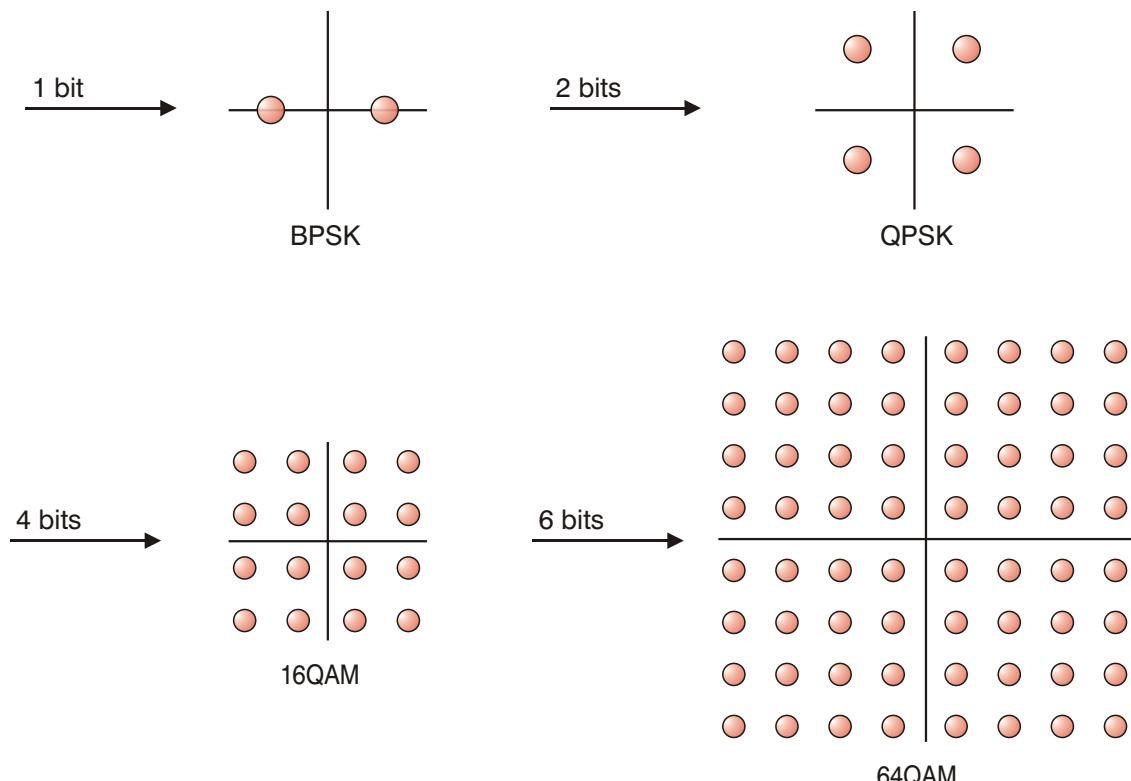
Έως την έκδοση 3GPP Rel-6, το HSPA υποστήριζε τις QPSK και 16QAM τεχνικές διαμόρφωσης στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) και τις BPSK και QPSK τεχνικές διαμόρφωσης στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink). Η έκδοση 3GPP Rel-7 εισάγει ανώτερες τεχνικές διαμόρφωσης που αυξάνουν το ρυθμό δεδομένων. Στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης 64QAM, η οποία αυξάνει την ταχύτητα

αιχμής κατά 50%, από 14Mbps σε 21Mbps. Στην ανερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης 16QAM, η οποία διπλασιάζει τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, από 5,76Mbps σε 12Mbps (Γράφημα 1).

Με τις τεχνικές υψηλότερης διαμόρφωσης, οι χρήστες μπορούν να βιώσουν σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες υπό ευνοϊκές συνθήκες ραδιοδιάδοσης. Από την άλλη πλευρά, ο προσεκτικός σχεδιασμός του ραδιοδικτύου αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη αυτών των συνθηκών.

◆ Σύγχρονες τεχνικές κεραιών "Multiple Input - Multiple Output, MIMO"

Υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων με την παράλληλη διαβίβαση πολλαπλών μπλοκ μεταφοράς (transport blocks) χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες ανά χρήστη. Η τεχνική αυτή ονομάζεται MIMO με πολυπλεξία χώρου (spatial multiplexing) όπου ένα μοναδιαίο μπλοκ μεταφοράς αποστέλλεται ή λαμβάνεται από πολλαπλές κεραίες σε



Γράφημα 4: Εξέλιξη των τεχνικών διαμόρφωσης

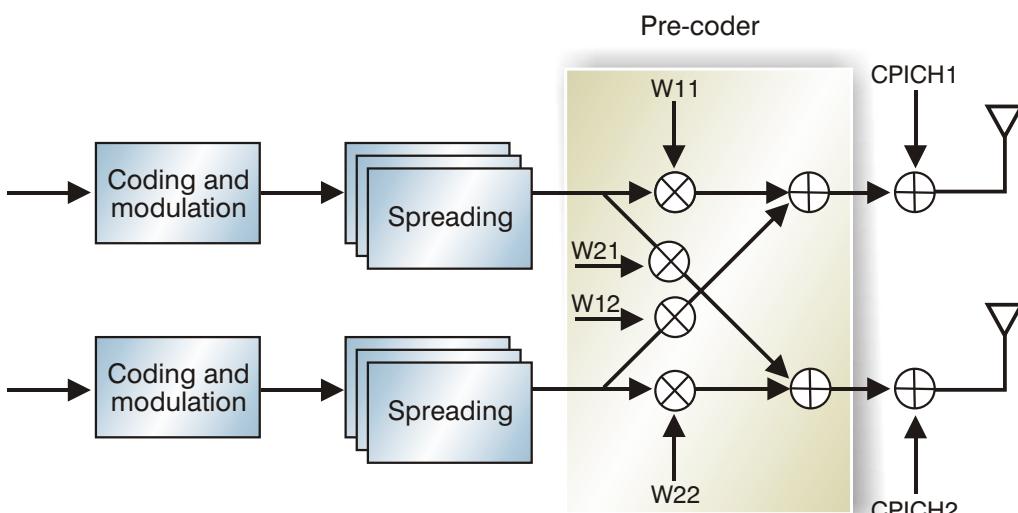
αντίθεση με την απλή τεχνική διαφορικής εκπομπής/λήψης (transmit/receive diversity). Ο δέκτης χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά του καναλιού μετάδοσης και την πληροφορία της μεθόδου κωδικοποίησης για να διαχωρίσει τις ροές δεδομένων (data streams). Απαραίτητη προϋπόθεση για την τεχνική MIMO είναι η προτυποποίηση του πολυστρωματικού συστήματος μετάδοσης.

Συγκεκριμένα, για την HSPA τεχνολογία η 3GPP επέλεξε μια τεχνική MIMO που βασίζεται σε προ-κωδικοποιημένη και προσαρμοστική μετάδοση πολλαπλών κωδικών (precoded, rank-adaptive multi-codeword transmission). Αυτό σημαίνει ότι κάθε ροή (substream) μεταφέρει διαφορετικά μπλοκ μεταφοράς, ενώ ο αριθμός των παράλληλων ροών μπορεί να προσαρμοστεί στις τρέχουσες συνθήκες καναλιού (rank adaptation). Πριν διαβιβαστούν τα δεδομένα, το διαμορφωμένο σήμα προ-κωδικοποιείται (precoding) ώστε να υποστεί χωρική στάθμιση (spatial weighting), ή με απλά λόγια, οι ροές δεδομένων μεταδίδονται μέσω διαφορετικών κεραιών χρησιμοποιώντας διαφορετικές στάθμες μετάδοσης. Οι προτιμώμενες στάθμες (weights) επεξεργάζονται από τον τερματικό εξοπλισμό (UE) και διοχετεύονται πίσω στο δίκτυο μαζί με το δείκτη ποιότητας καναλιού (CQI). Ακόμη, με

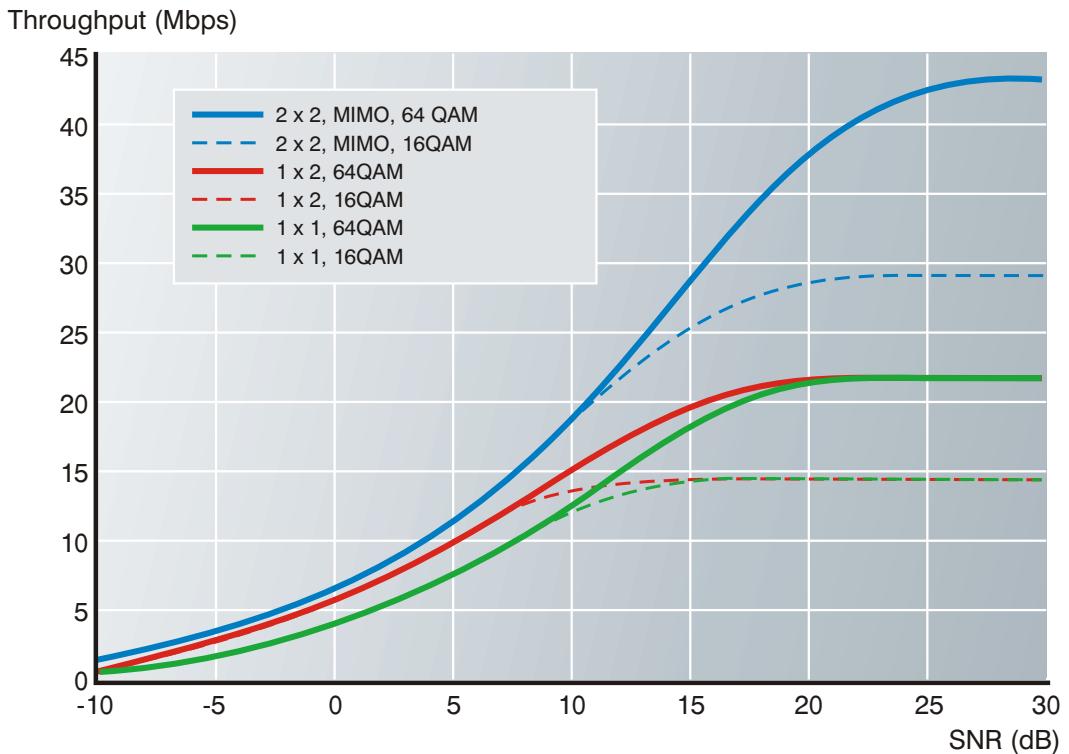
τη διαφορική κωδικοποίηση (separate encoding) επιτρέπεται η χρήση διαδοχικών δεκτών με δυνατότητα ακύρωσης παρεμβολών, γεγονός που ενισχύει τις επιδόσεις του συστήματος σε σύγκριση με τους υπάρχοντες γραμμικούς δέκτες. Το γράφημα 5 περιγράφει την λογική αλυσίδα ενός MIMO πομπού.

Για την ενσωμάτωση της τεχνικής MIMO στην έκδοση Rel-7, η 3GPP αναβάθμισε τα φυσικά κανάλια ελέγχου (HS-SCCH και HS-DPCCH) τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ασύρματη ζεύξη για να υποστηρίξει την προ-κωδικοποιημένη πληροφορία στάθμης, την αναβαθμισμένη μορφή μετάδοσης (transport format) και τις παραμέτρους ανά ροή υβριδικής αυτόματης αίτησης επανάληψης (HARQ). Η τεχνική HARQ αναγνωρίζει κάθε ροή ξεχωριστά και ανεξάρτητα, συνεπώς η εσφαλμένη πληροφορία μπορεί να αναμεταδοθεί ανεξάρτητα μεταξύ των δύο ροών.

Στη έκδοση 3GPP Rel-7, η τεχνική MIMO ορίζεται για μετάδοση έως δύο ροών (MIMO 2x2). Στην περίπτωση αυτή, κάθε ροή μπορεί να χρησιμοποιήσει QPSK ή 16QAM διαμόρφωση, ανεβάζοντας τις ταχύτητες αιχμής του HSDPA σε περίπου 28Mbps. Στην έκδοση 3GPP Rel-8, κάθε ροή μπορεί να χρησιμοποιήσει 64QAM διαμόρφωση, επεκτείνοντας και άλλο τη δυνατό-



Γράφημα 5: Λογική αλυσίδα MIMO πομπού



Γράφημα 6: Σύγκριση επιδόσεων διαφόρων HSPA+ τεχνικών

τητα λήψης δεδομένων με ταχύτητες που αγγίζουν τα 42Mbps (Γράφημα 6).

◆ Συνδυασμός πολλαπλών φορέων "Multi-Carrier operation"

Η τεχνική πολλαπλού ραδιοφορέα (Multi-Carrier) σχεδιάζεται να συμπεριληφθεί στις επόμενες προδιαγραφές του WCDMA ξεκινώντας με την τελευταία έκδοση 3GPP Rel-8. Δίδεται έτσι η δυνατότητα στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους κινητής που έχουν άδεια χρήσης πολλαπλών παρακείμενων WCDMA συχνοτήτων, να κάνουν πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος με τη λειτουργία του HSPA σε πολλαπλούς 5MHz ραδιοφορείς.

Αυτό μπορεί να γίνει με συντονισμένο τρόπο μάλιστα, έτσι ώστε τα φυσικά κανάλια ελέγχου να μην είναι αναγκαίο να αναπαραχθούν πλήρως σε όλους τους ραδιοφορείς. Έχοντας ένα κύριο ραδιοφορέα, για παράδειγμα, μπορεί κανείς να εξοικονομήσει περισσότερη ισχύ για τις HSPA εφαρμογές στους άλλους ραδιοφορείς. Επομένως, εάν για κάποιους λόγους η χρησιμο-

ποίηση της τεχνικής 2x2 MIMO δεν είναι και τόσο πρακτική, κυρίως λόγω των κατασκευαστικών εργασιών στα ευαίσθητα από πολλές απόψεις κεραιοσυστήματα, οι πάροχοι θα μπορούσαν να εξετάσουν σοβαρά την τεχνική διπλού φορέα (dual carrier) σαν εναλλακτικό τρόπο για την επίτευξη ταχυτήτων της τάξεως των 42 Mbps στην κατερχόμενη ζεύξη.

Από την άλλη πλευρά ωστόσο, θα υπάρχει η δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης όλων των τεχνικών, όπου με το συνδυασμό 2x2 MIMO και 64QAM αγγίζουμε ταχύτητες δεδομένων αιχμής έως και 84 Mbps χωρίς να απαιτείται το "βαρύ" 4x4 MIMO κεραιοσύστημα. Όσο για το μέλλον, υπάρχει πάντα το πλάνο χρήσης περισσοτέρων των δύο ραδιοφορέων όπου σε συνδυασμό με μεγαλύτερες συστοιχίες MIMO θα εκτοξευθούν και άλλοι οι ταχύτητες δεδομένων.

◆ Βελτιώσεις στα πρωτόκολλα δευτέρου επιπέδου "Layer-2 enhancements"

Ένα σημαντικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο HSPA είναι το πρωτόκολλο ελέγχου ρα-

διοζεύξεων RLC (Radio Link Control). Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του RLC πακέτου δεδομένων PDU (Packet Data Unit), το χρόνο επιστροφής του RTT (Round Trip Time) και το μέγεθος του παραθύρου (RLC window).

Ένα μεγάλο πακέτο RLC PDU είναι απαραίτητο για να διατηρηθούν οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων αιχμής που παράγονται από τις σύγχρονες τεχνικές MIMO και 64QAM. Ως εκ τούτου, για να γίνει αποτελεσματικότερη η χρήση των μεγάλων RLC PDU πακέτων και να ενισχυθεί γενικότερα η επίδοση του layer-2 πρωτοκόλλου, η έκδοση 3GPP Rel-7 υιοθετεί τα ευέλικτα μεγέθη RLC, την κατάτμηση του πρωτοκόλλου ελέγχου πρόσβασης μέσων MAC (Medium Access Control) και τη βελτίωση της MAC πολυπλεξίας για τη μετάδοση κατερχόμενης ζεύξης. Κατά συνέπεια, ο πομπός μπορεί να επιλέγει ελεύθερα το μέγεθος του RLC PDU πακέτου γεγονός που διευκολύνει την αποτελεσματικότερη ασύρματη μετάδοση και αναμετάδοση. Η ικανότητα του πομπού να επιλέγει με ευελιξία το μέγεθος των RLC PDU πακέτων βοηθά στη μείωση της επιβάρυνσης (layer-2 overhead), ενώ η χρήση μεγαλύτερων PDU σημαίνει ότι τα τερματικά δεν χρειάζεται να επεξεργαστούν μεγάλο αριθμό από layer-2 πακέτα.

Εάν, λόγω των μεταβαλλόμενων ραδιοσυνθηκών, τα RLC PDU πακέτα είναι πολύ μεγάλα για να μεταδοθούν ασύρματα με έναν λογικό αριθμό HARQ αναμεταδόσεων, τότε επιβάλλεται να κατατμηθούν. Κατά συνέπεια, η έκδοση 3GPP Rel-7 εισήγαγε ένα νέο πρωτόκολλο MAC, το MAC-ehs, το οποίο υποστηρίζει ευέλικτα μεγέθη RLC PDU πακέτων καθώς και τη δυνατότητα κατάτμησής τους. Επιπλέον, οι δυνατότητες της MAC πολυπλεξίας έχουν βελτιωθεί έτσι ώστε τα RLC PDU πακέτα που μεταφέρουν σηματοδοσία ή κίνηση από διαφορετικές συνόδους να μπορούν να πολυπλεχθούν σ' ένα μοναδιαίο MAC-ehs PDU πακέτο. Στην έκδοση 3GPP Rel-8, οι βελτιώσεις που επήλθαν στα πρωτόκολλα κατερχόμενης ζεύξης θα εφαρμοστούν

ομοίως και στα πρωτόκολλα ανερχόμενης ζεύξης.

◆ Συνεχής σύνδεση "Continuous Packet Connectivity, CPC"

Το επίπεδο δραστηριότητας των χρηστών ποικίλει σημαντικά μέσα στον χρόνο. Ακόμη και έτσι, όσον αφορά το χρήστη, προκειμένου να αποφευχθούν οι καθυστερήσεις που συνδέονται με τις μεταβάσεις κατάστασης, είναι ίσως προτιμότερο να παραμείνει σε μια κατάσταση με μια αποκλειστική σύνδεση (CELL_DCH) έστω και αν είναι προσωρινά ανενεργή.

Η 3GPP έχει εργαστεί για να κάνει την κατάσταση αποκλειστικής σύνδεσης (dedicated state) πιο αποτελεσματική στην έκδοση Rel-7 για τους χρήστες πακέτων δεδομένων. Το αποτέλεσμα αυτών των εργασιών είναι γνωστό ως συνεχής σύνδεση πακέτων (Continuous Packet Connectivity, CPC). Η τεχνική CPC αποτελείται από δύο κύρια χαρακτηριστικά που ονομάζονται UE DTX/DRX και HS-SCCH-less λειτουργία.

● UE DTX/DRX

Η τεχνική ασυνεχούς μετάδοσης UE DTX (UE discontinuous transmission) επιτρέπει στα τερματικά να απενεργοποιήσουν τη συνεχή μετάδοση πάνω από το φυσικό κανάλι ελέγχου (DPCCH) όταν δεν υπάρχουν δεδομένα για διαβίβαση στην ανερχόμενη ζεύξη. Όταν συμβαίνει αυτό, ένα ελάχιστο ποσοστό των πόρων μετάδοσης είναι απαραίτητο για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός και η σηματοδοσία ελέγχου. Δύο άμεσα οφέλη από την απενεργοποίηση μετάδοσης είναι η μειωμένη κατανάλωση μπαταρίας και η μείωση των παρεμβολών, γεγονός που αυξάνει τη χωρητικότητα ως προς τον αριθμό των χρηστών στην ανερχόμενη ζεύξη.

Με την ίδια λογική, η τεχνική ασυνεχούς λήψης UE DRX (UE discontinuous reception) επιτρέπει στα τερματικά να απενεργοποιήσουν τους δέκτες τους όταν δεν υπάρχουν δεδομένα λήψης στην κατερχόμενη ζεύξη.

Η τεχνική αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης της μπαταρίας. Τα τερματικά χρειάζεται να κάνουν μόνο ένα περιοδικό έλεγχο για το αν θα πρέπει να μεταβούν σε μια ενεργητική κατάσταση.

Στη έκδοση 3GPP Rel-7, η τεχνική UE DTX/DRX μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και στις πολύ σύντομες περιόδους αδράνειας μεταξύ των πακέτων μιας VoIP κλήσης.

● **HS-SCCH-less λειτουργία**

Όταν πολλά μικρά πακέτα (συνήθως VoIP πακέτα) μεταφέρονται στην κατερχόμενη ζεύξη, η επιβάρυνση (overhead) από το κανάλι ελέγχου HS-SCCH αυξάνεται σημαντικά. Η έκδοση 3GPP Rel-7 εισάγει την HS-SCCH-less λειτουργία, η οποία μειώνει την επιβάρυνση (over-head) με την πλήρη αφαίρεση της HS-SCCH σηματοδοσίας κατά την πρώτη HARQ μετάδοση. Η HS-SCCH-less λειτουργία βασίζεται στην τυφλή αποκωδικοποίηση (blind decoding) έως και τεσσάρων διαφορετικών τύπων (formats) του κατερχόμενου καναλιού δεδομένων, HS-DSCH, στο τερματικό ώστε να εξαλειφθεί η ανάγκη HS-SCCH μετάδοσης. Εν ολίγοις, αυξάνεται η χωρητικότητα στην κατερχόμενη ζεύξη με τη μείωση χρήσης των κωδικών καναλιού καθώς επίσης και τη μείωση των παρεμβολών από τη σηματοδοσία ελέγχου.

Προσομοιώσεις αποκαλύπτουν ότι η CPC τεχνική στην έκδοση 3GPP Rel-7 βελτιώνει τη VoIP χωρητικότητα περίπου 40% στην ανερχόμενη και κατά 10% στην κατερχόμενη ζεύξη. Η προσθήκη της τεχνολογίας προηγμένων δεκτών βελτιώνει την απόδοση ακόμη περισσότερο.

◆ **Αναβάθμιση της κατάστασης "Enhanced CELL_FACH"**

Οι αναρίθμητοι προσωπικοί υπολογιστές έχουν πλέον τη δυνατότητα να συνδεθούν στο δια-

δίκτυο μέσω της HSPA τεχνολογίας. Αυτή η αλλαγή συμπεριφοράς έχει αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά των δικτύων και στο μέγεθος της κίνησης. Πολλές εφαρμογές που τρέχουν στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές συνήθως λειτουργούν χωρίς την αλληλεπίδραση του χρήστη. Μεταξύ άλλων, η κίνηση αυτή συνήθως αποτελείται από μηνύματα παρουσίας (keep-alive messages) και ενημερώσεις λογισμικού. Για την αποτελεσματική υποστήριξη αυτού του είδους κίνησης, η 3GPP σχεδίασε την αναβάθμιση της κατάστασης CELL_FACH στις εκδόσεις Rel-7 και Rel-8. Στην κατάσταση CELL_FACH, οι τερματικές συσκευές μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα μέσω των καναλιών ελέγχου RACH και FACH που χρησιμοποιούνται πρωτίστως για την κοινή σηματοδοσία της κυψέλης.

Από την έκδοση 3GPP Rel-7, το HSDPA διατίθεται και σε χρήστες που βρίσκονται στην κατάσταση CELL_FACH. Στην κατερχόμενη ζεύξη, τα τερματικά παρακολουθούν τα HSDPA κανάλια ελέγχου για να ανιχνεύσουν πληροφορία σχετική με τον προγραμματισμό (scheduling). Η έλλειψη ενός αποκλειστικού καναλιού στην ανερχόμενη ζεύξη σημαίνει ότι στις προδιαγραφές της έκδοσης 3GPP Rel-7 δεν υποστηρίζεται η συνεχής μετάδοση του δείκτη ποιότητας (CQI) και η HARQ επαναμετάδοση. Κατά συνέπεια, η 3GPP έχει εισάγει ορισμένες αλλαγές τόσο στον τρόπο των HARQ επαναμετάδοσεων όσο και στην προσαρμογή ζεύξης (link adaptation) που βασίζεται πλέον στις μετρήσεις του πρωτοκόλλου ελέγχου πόρων ραδιοδικτύου RRC (Radio Resource Control).

Στην έκδοση 3GPP Rel-8, η ανοδική ζεύξη αναβαθμίζεται με την ενεργοποίηση του καναλιού E-DCH στην κατάσταση CELL_FACH. Η αρχική μετάδοση ξεκινά με τον ίδιο τρόπο όπως στην έκδοση R99, εκπέμποντας δηλαδή σ' ένα τυχαίο ραδιοπλαίσιο (radio preamble). Εφόσον ανιχνευτεί το εκπεμπόμενο πλαίσιο (preamble), ο σταθμός βάσης αναθέτει στο τερματικό ένα κοινό E-DCH κανάλι. Ο διαμερισμός του κοινού E-DCH καναλιού επιτυγχάνεται μέσω ταυτοποί-

ησης των διαφόρων τερματικών κατά τη διάρκεια της E-DCH μετάδοσης. Έτσι, οποιοδήποτε τερματικό μπορεί εύκολα να μεταβεί στην κατάσταση CELL_DCH για συνεχή μετάδοση δεδομένων.

Με τη νέα έκδοση της κατάστασης CELL_FACH επιχειρείται η αλλαγή του layer-2 διαστρώματος ώστε να ακολουθεί την ίδια φιλοσοφία με την κατάσταση CELL_DCH. Με αυτόν τον τρόπο, η μετάδοση δεδομένων μπορεί να συνεχιστεί χωρίς διακοπές, ακόμα και μεταξύ των μεταβάσεων από CELL_FACH σε CELL_DCH και αντίστροφα. Αυτή η αναβάθμιση βελτιώνει σημαντικά την αντίληψη των χρηστών για την απόδοση των υπηρεσιών σε σύγκριση με την έκδοση 3GPP Rel-6, στην οποία αναστέλλονται οι μετάδοσεις δεδομένων κατά την αλλαγή κατάστασης καναλιού (channel switching).

◆ Προηγμένοι δέκτες "Advanced Receivers"

Η τεχνολογία των δεκτών, τόσο στα τερματικά όσο και στους σταθμούς βάσης, βελτιώνεται συνεχώς καθώς τα προϊόντα εξελίσσονται και καθώς πιο απαιτητικές λειτουργίες προστίθενται στο HSPA. Το αποτέλεσμα είναι η βελτιω-

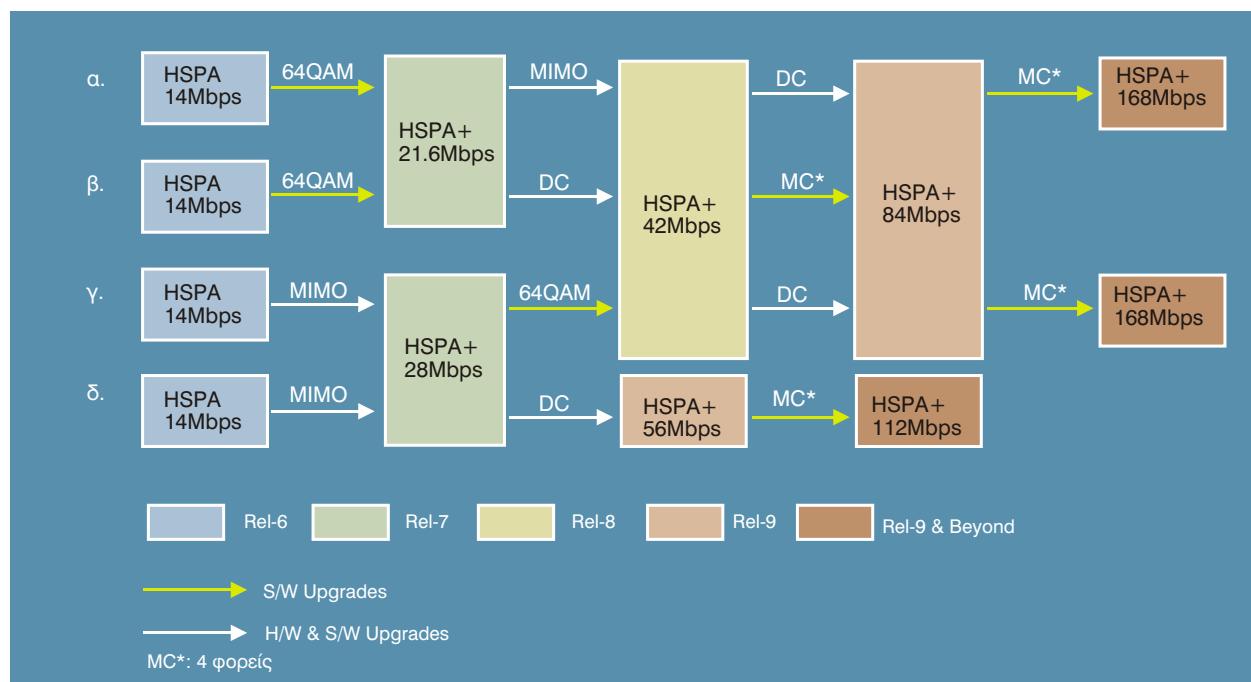
μένη απόδοση του συστήματος και οι υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων ανά χρήστη. Η τάση αυτή αντικατοπτρίζεται στις συνεχώς μεταβαλλόμενες προδιαγραφές των τερματικών δεκτών από τη 3GPP. Αναβαθμίσεις στις προδιαγραφές των τερματικών δεκτών εισήχθησαν στις 3GPP εκδόσεις Rel-6 και Rel-7, υιοθετώντας τη χρήση:

- Διαφορικού κεραιοσυστήματος τερματικών δεκτών (Antenna Diversity, UE Receiver type-1)
- Γραμμικών ισοσταθμιστών τύπου G-RAKE (Linear Equalizers G-RAKE, UE receiver type-2)
- Γραμμικών ισοσταθμιστών σε συνδυασμό με διαφορικά κεραιοσυστήματα τερματικών δεκτών, τύπου G-RAKE2, κατάλληλη λύση για MIMO (UE receiver type-3).

Η έκδοση 3GPP Rel-8 θα εισάγει προδιαγραφές για πιο προηγμένους δέκτες (type-3 G-RAKE2) με πρόσθετη υποστήριξη για την ακύρωση παρεμβολών (UE receiver type-3i).

Επιπτώσεις στο Δίκτυο & Εναλλακτικά Σενάρια Υλοποίησης HSPA+

Η ανάπτυξη ενός δικτύου HSPA+ μπορεί να εί-



Γράφημα 7: Πιθανά σενάρια εισαγωγής HSPA+ χαρακτηριστικών στην κατερχόμενη ζεύξη [1]

vai για έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας μια οικονομικά αποδοτική λύση, καθώς η τεχνολογία HSPA+, ως εξέλιξη του HSPA, επωφελείται της υπάρχουσας HSPA υποδομής, ενώ παράλληλα επαναχρησιμοποιεί το υπάρχον αδειοδοτημένο φάσμα, αφού το HSPA+ λειτουργεί στην IMT μπάντα συχνοτήτων με εύρος ζώνης 5 ή 10MHz. Η τεχνολογία HSPA+ περιλαμβάνει βελτιώσεις τόσο στον τομέα της ραδιοεπαφής όσο και της αρχιτεκτονικής δικτύου, οι οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ένας HSPA πάροχος έχει τη δυνατότητα να ακολουθήσει διάφορα σενάρια υλοποίησης HSPA+ και να προσφέρει διάφορους μέγιστους θεωρητικούς ρυθμούς δεδομένων HSPA+ μέσω της υιοθέτησης κατάλληλων HSPA+ χαρακτηριστικών ραδιοεπαφής, λαμβάνοντας υπόψη την 3GPP έκδοση προτυποίησης των HSPA+ χαρακτηριστικών (έκδοση Rel-7, Rel-8 ή Rel-9), τη διαθεσιμότητα τερματικών, το απαιτούμενο κόστος για την εισαγωγή των χαρακτηριστικών HSPA+, και φυσικά τη στρατηγική του. Για παράδειγμα, ένας πάροχος μπορεί να επιλέξει είτε να αποκομίσει επιπρόσθετα οφέλη από την εκμετάλλευση της υπάρχουσας HSPA υποδομής του, αναπτύσσοντας HSPA+ πριν προβεί στην ανάπτυξη ενός LTE δικτύου (ώστε να επιλυθούν κάποια τεχνικά θέματα του LTE όπως είναι η επιλογή τρόπου παροχής υπηρεσιών φωνής), είτε να προχωρήσει σε μια γρήγορη ανάπτυξη δικτύου LTE.

Λαμβάνοντας υπόψη την 3GPP έκδοση προτυποίησης των HSPA+ χαρακτηριστικών, ένας HSPA πάροχος προκειμένου να αυξήσει τις μέγιστες θεωρητικές ταχύτητες τόσο της ανερχόμενης όσο και της κατερχόμενης ζεύξης μπορεί να υιοθετήσει κάποιο από τα χαρακτηριστικά του HSPA+. Συγκεκριμένα, στην ανερχόμενη ζεύξη ο πάροχος μπορεί να εισάγει την υψηλότερης τάξης διαμόρφωση 16QAM, χαρακτηριστικό της 3GPP έκδοσης Rel-7, με αποτέλεσμα να διπλασιαστεί ο μέγιστος θεωρητικός ρυθμός δεδομένων από 5.76Mbps σε 11.5Mbps.

Στην κατερχόμενη ζεύξη, ο πάροχος έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ διαφόρων HSPA+

χαρακτηριστικών προκειμένου να αυξήσει τη μέγιστη θεωρητική ταχύτητά του, οπότε και προκύπτουν περισσότερα σενάρια υλοποίησης HSPA+ (Γράφημα 7). Σε πρώτη φάση, ένας HSPA πάροχος, λαμβάνοντας υπόψη την 3GPP έκδοση προτυποίησης των HSPA+ χαρακτηριστικών, μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο χαρακτηριστικά της 3GPP έκδοσης Rel-7. Έτσι, μπορεί να υιοθετήσει είτε την εισαγωγή υψηλότερης τάξης διαμόρφωσης 64QAM προσφέροντας μέγιστο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων της τάξεως των 21,6Mbps (Σενάρια α & β) είτε την εισαγωγή 2x2 MIMO τεχνικής διπλασιάζοντας το μέγιστο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων του HSPA σε 28Mbps (Σενάρια γ & δ). Αξίζει να αναφερθεί πως η εισαγωγή της διαμόρφωσης 64QAM στην κατερχόμενη ζεύξη αποτελεί την πιο διαδεδομένη επιλογή μέχρι τώρα ανάμεσα στους παρόχους καθώς μέσω μιας αναβάθμισης του λογισμικού και πιθανής επέκτασης υλισμικού του υπάρχοντος εξοπλισμού για λόγους χωρητικότητας, μπορούν να προσφερθούν μέγιστοι θεωρητικοί ρυθμοί δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 21,6Mbps.

Αντίθετα, η εισαγωγή της τεχνικής 2x2 MIMO σε ένα HSPA δίκτυο έχει υιοθετηθεί μέχρι στιγμής από έναν μόνο πάροχο καθώς πρέπει να εγκατασταθούν πολλαπλές κεραίες σε κατάλληλους σταθμούς βάσης όπου δεν υπάρχει περιορισμός χώρου, ενώ παράλληλα είναι απαραίτητος ο προσεκτικός ανασχεδιασμός του δικτύου, ώστε να εξαλειφθούν πιθανά προβλήματα παρεμβολών από την εισαγωγή των κεραιών MIMO, καθώς επίσης είναι πιθανώς αναγκαίες οι ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις πεδίου ως μέρος της διαδικασίας αδειοδότησης των κεραιών MIMO.

Σε δεύτερη φάση, ο πάροχος μπορεί να προσφέρει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 42Mbps επιλέγοντας ανάμεσα στα 3GPP Rel-8 χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, ο πάροχος μπορεί να επιλέξει να συνδύσει την τεχνική διαμόρφωσης 64QAM με την τεχνική 2x2 MIMO (Σενάρια α & γ) ή σε περίπτωση που στο αρχικό

στάδιο έχει υιοθετηθεί η εισαγωγή της διαμόρφωσης 64QAM, ο πάροχος έχει τη δυνατότητα σε δεύτερο στάδιο να εισάγει την τεχνική διπλού φορέα (Σενάριο β). Για την εισαγωγή της τεχνικής διπλού φορέα (DC), είναι απαραίτητο ο πάροχος να είναι κάτοχος τουλάχιστον δύο φορέων των 5MHz, ενώ παράλληλα είναι αναγκαία η λογισμική ή/και υλισμική αναβάθμιση του scheduler ανάλογα με την υλοποίηση του κατασκευαστή. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η παροχή μέγιστων ταχυτήτων στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 42Mbps παρακάμπτοντας την υιοθέτηση της τεχνικής MIMO που αποτελεί μια διαδικασία κοστοβόρα και επίπονη λόγω των κατασκευαστικών εργασιών στα ευαίσθητα κεραιούσυστήματα.

Εν συνεχεία, δεδομένου ότι ο συνδυασμός της τεχνικής διπλού φορέα με την τεχνική MIMO αποτελεί χαρακτηριστικό της 3GPP έκδοσης Rel-9, ο πάροχος έχει τη δυνατότητα να διπλασιάσει το μέγιστο θεωρητικό ρυθμό του. Έτσι, στα προαναφερθέντα σενάρια όπου προσφέρονται ταχύτητες της τάξεως των 42Mbps μέσω του συνδυασμού της διαμόρφωσης 64QAM και της 2x2 MIMO τεχνικής (Σενάρια α & γ), είναι δυνατόν, εάν ο πάροχος είναι κάτοχος δύο φορέων των 5MHz, να εισαχθεί η τεχνική διπλού φορέα (DC) και να διπλασιαστεί ο μέγιστος θεωρητικός ρυθμός δεδομένων φτάνοντας στα 84Mbps.

Παράλληλα, σε περίπτωση που στο αρχικό στάδιο έχει υιοθετηθεί η εισαγωγή της τεχνικής 2x2 MIMO, ο πάροχος έχει τη δυνατότητα να εισάγει την τεχνική διπλού φορέα και να παρέχει μέγιστη ταχύτητα στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 56Mbps (Σενάριο δ). Αξίζει να σημειωθεί εδώ πως σε περίπτωση που ένας πάροχος είναι κάτοχος 3 και/ή 4 φορέων των 5MHz, οι μέγιστοι θεωρητικοί ρυθμοί δεδομένων μπορούν να τριπλασιαστούν και να τετραπλασιαστούν μέσω της τεχνικής πολλαπλού φορέα (MC), χαρακτηριστικό των μελλοντικών 3GPP εκδόσεων (beyond Rel-9).

Ανεξάρτητα από ποιό σενάριο για την εισαγωγή

και εξέλιξη της παροχής HSPA+ θα επιλέξει να υλοποιήσει ένας πάροχος κινητής τηλεφωνίας, προκειμένου να υποστηριχθούν οι εκτιμώμενοι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων, είναι αναγκαία η επαύξηση της χωρητικότητας του δικτύου μετάδοσης και κατ' επέκταση ο πάροχος θα πρέπει να μελετήσει για την κάθε περίπτωση χωριστά την αντικατάσταση της υφιστάμενης τεχνολογίας με μια κοστολογικά αποδοτική και μελλοντικά προσανατολισμένη αναβάθμιση του δικτύου μετάδοσης διατηρώντας τον δείκτη ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, ο πάροχος βασιζόμενος στις υπάρχουσες και μελλοντικές ανάγκες χωρητικότητας, θα πρέπει να αποφασίσει εάν μια αναβάθμιση του δικτύου κορμού είναι απαραίτητη και, στην περίπτωση που είναι, ποιά είναι η βέλτιστη αρχιτεκτονική λύση (π.χ. "one-tunnel", direct tunnel, integrated RNC/Node-B αρχιτεκτονική λύση, κλπ.). Σε κάθε περίπτωση, ο πάροχος θα πρέπει να αποφασίσει να αναπτύξει αυτήν την αρχιτεκτονική λύση που αναμένεται να καλύψει καλύτερα τις άμεσες ανάγκες του, ενώ παράλληλα να αποτελέσει ένα σταθερό θεμέλιο για μελλοντικές επαυξήσεις.

Εν τέλει, ένας πάροχος θα πρέπει να αποφασίσει ποιές εξελίξεις της ραδιοεπαφής είναι ωφέλιμο να εισαχθούν στο δίκτυο του έχοντας ως απότερο στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του τελικού χρήστη (π.χ. MIMO, CPC, υψηλότερη τάξη διαμόρφωσης, κλπ.) λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τη διαθεσιμότητα των τερματικών, καθώς τα τερματικά θα πρέπει με την σειρά τους να υποστηρίζουν τις αντίστοιχες HSPA+ εξελίξεις της ραδιοεπαφής. Για παράδειγμα, εάν αναπτυχθούν οι υψηλότερης τάξης διαμορφώσεις και η τεχνική MIMO, τα νέα HSPA+ τερματικά θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από προηγμένους δέκτες που θα υποστηρίζουν Rx-diversity, ισοστάθμιση καναλιού και 2-branch ακύρωση παρεμβολών.

Κατάσταση Αγοράς

Σήμερα υπάρχουν 26 εμπορικά διαθέσιμα δί-

κτυα HSPA+ σε 19 χώρες, από τα οποία τα 25 υποστηρίζουν διαμόρφωση 64QAM και μόνο ένας πάροχος (TIM Ιταλίας) υποστηρίζει τεχνική 2x2 MIMO [2]. Η COSMOTE, ως ένας πάροχος, που δίνει έμφαση στην τεχνολογική πρωτοπορία, ανακοίνωσε στις 20 Μαΐου του 2009 την παροχή μέγιστου θεωρητικού ρυθμού δεδομένων της τάξεως των 21,6Mbps στην κατερχόμενη ζεύξη και 5,76Mbps στην ανερχόμενη, σε επιλεγμένες περιοχές της Αθήνας. Αξίζει να αναφερθεί πως επιπλέον πάροχοι αναμένονται να ανακοινώσουν στο προσεχές μέλλον την εμπορική διαθεσιμότητα της τεχνολογίας HSPA+, ενώ παράλληλα πολλαπλές δοκιμές προηγμένων HSPA+ χαρακτηριστικών, όπως τεχνική MIMO, τεχνική διπλού φορέα, κλπ., βρίσκονται σε εξέλιξη.

Τέλος, δεδομένου ότι τα πρώτα HSPA+ δίκτυα είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμα, τα πρώτα HSPA+ τερματικά έχουν ανακοινωθεί. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Global mobile Suppliers Association (GSA)¹, υπάρχουν 12 εμπορικά διαθέσιμες συσκευές HSPA+ σε μορφή USB sticks και data cards (Πίνακας 1).

To HSPA είναι εδώ για να μείνει

Η εξέλιξη του HSPA+, μέσα από τις 3GPP εκδό-

σεις Rel-7 και Rel-8, επιτρέπει στους παρόχους κινητών υπηρεσιών να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των επενδύσεών τους στα WCDMA δίκτυα με τη συνεχή βελτίωση της απόδοσης. Ειδικότερα, το HSPA+ εισάγει αρκετά νέα χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων, μειωμένη καθυστέρηση, αυξημένη χωρητικότητα και βελτιωμένες προδιαγραφές για πολλές άλλες εφαρμογές (π.χ. VoIP).

Υιοθετούνται τεχνικές ανώτερης διαμόρφωσης 64QAM στην κατερχόμενη ζεύξη και 16QAM στην ανερχόμενη, προηγμένες τεχνικές κεραιοσυστημάτων MIMO, σημαντικές βελτιώσεις στα layer-2 πρωτόκολλα επικοινωνίας και στην κατάσταση σύνδεσης CELL_FACH ώστε να υποστηρίζεται η συνεχής σύνδεση των χρηστών (CPC), καθώς επίσης και προδιαγραφές εξελιγμένων δεκτών για τις τερματικές συσκευές.

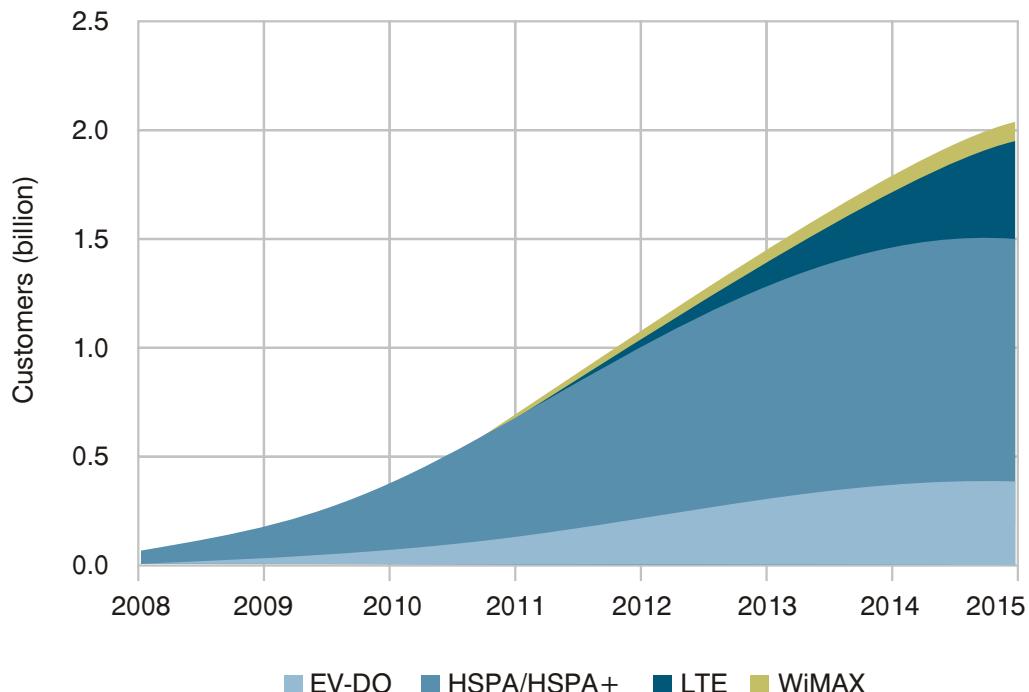
Τα αποτελέσματα γίνονται εμφανή σήμερα, καθώς οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι υιοθετούν και αναπτύσσουν τις αναβαθμισμένες 3GPP τεχνικές, καθιστώντας έτσι το HSPA+ σημαντική ευρυζωνική τεχνολογία και υπολογίσιμη (από άποψη τουλάχιστον παρεχόμενων ρυθμών) εναλλακτική των ADSL υπηρεσιών.

Το HSPA+ φαίνεται να είναι μια δελεαστική λύση για τις βραχυπρόθεσμες απαιτήσεις σε χω-

Κατασκευαστής	Μοντέλο
ZTE	MF662
BandRich	BandLuxe R305
Huawei	E182E
Huawei	E270+ (υποστηρίζει 28Mbps)
Novatel Wireless	Ovation MC996D
PicoChip	PC312
Sierra Wireless	USB 308
Sierra Wireless	USB 309
Sierra Wireless	USB 307
Sierra Wireless	USB 306
Sierra Wireless	MC8700 PC Express Mini Card
Sierra Wireless	AirCard 503

Πίνακας 1: HSPA+ Τερματικά

1. www.gsacom.com/gambod



Γράφημα 8: Ασύρματοι ευρυζωνικοί πελάτες παγκοσμίως, ανά τεχνολογία (2008-2015) [5]

ρητικότητα και να προτιμάται σε σχέση με το LTE για τα επόμενα χρόνια, τουλάχιστον μέχρι να υπάρξει ένα σταθερό LTE οικοσύστημα και κάποια βασικά θέματα του LTE να επιλυθούν (π.χ. στρατηγική παροχής υπηρεσιών φωνής και SMS πάνω από LTE). Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με την Analysys Research (Γράφημα 8), οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+ αναμένονται να κυριαρχήσουν στην παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών, αφού μέχρι τα τέλη του 2015 εκτιμάται ότι 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως θα εξυπηρετούνται μέσω των τεχνολογιών HSPA και HSPA+ [5].

Από τα παραπάνω φαίνεται πως οι 3G/HSPA πάροχοι είναι αποφασισμένοι να αποκομίσουν περαιτέρω κέρδη από την υπάρχουσα HSPA υποδομή και να αναπτύξουν την τεχνολογία HSPA+ πριν το LTE. Παρόλα αυτά, καθώς το κόστος αναβάθμισης σε HSPA+ είναι σημαντικό, ειδικά εάν ληφθεί υπόψη το γεγονός πως οι περισσότεροι πάροχοι θα κάνουν παράλληλα τις απαραίτητες επενδύσεις προκειμένου τα δίκτυα πρόσβασης & κορμού τους να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τις τεχνολογίες LTE και EPC

αντίστοιχα, οι 3G/HSPA πάροχοι βρίσκονται σε ένα σημαντικό δίλημμα σχετικά με το αν θα πρέπει να επενδύσουν σημαντικά στην ανάπτυξη του HSPA+ δικτύου τόσο με υλισμικές όσο και με λογισμικές αναβαθμίσεις (π.χ. κεραίες MIMO, τεχνική διπλού φορέα, κλπ.) ή να υιοθετήσουν μόνο εκείνα τα HSPA+ χαρακτηριστικά που είναι υλοποιήσιμα μέσω λογισμικών αναβαθμίσεων (π.χ. 64QAM). Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται πως η πλειοψηφία των παρόχων κινητής τηλεφωνίας έχει επιλέξει, σαν αρχικό και εύκολα υλοποιήσιμο στάδιο, να αναπτύξει την διαμόρφωση 64QAM προσφέροντας μέγιστο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 21,6Mbps μέσω αναβαθμίσεων λογισμικού ή/και υλισμικού, ανάλογα με την υλοποίηση κατασκευαστή. Στη συνέχεια, οι πάροχοι θα κληθούν να αποφασίσουν εάν θα αναπτύξουν την τεχνική MIMO ή την τεχνική διπλού φορέα (DC), οι οποίες αποτελούν χαρακτηριστικά της έκδοσης 3GPP Rel-8, προκειμένου να προσφέρουν μέγιστο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 42Mbps, λαμβάνοντας υπόψη την διαθεσι-

μότητα χαρακτηριστικών και τερματικών, την διαθεσιμότητα φορέων, την προσπάθεια που πρέπει να γίνει από την πλευρά των μηχανικών δικτύου, το κόστος επένδυσης και την προοπτική ανάπτυξης μιας τεχνικής που θα μπορούσε είτε να αποτελέσει ένα σημαντικό θεμέλιο για μια μελλοντικά πιθανή επέκταση είτε να επαναχρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια ανάπτυξης LTE δικτύου.

Βιβλιογραφία

1. Hans Erik Karsten, "LTE from an operator perspective", *LTE World Summit 2009*
2. GSA, "GSM/3G Market Update", *October 2009*
3. GSA, "Global HSPA+ Network Commitments & Deployments", *October 2009*
4. COSMOTE Δελτίο Τύπου, "Η COSMOTE πρώτη στην ελληνική αγορά με ταχύτητες έως 21 Mbps (HSPA+)", *Μάιος 2009*
5. <http://www.analysysmason.com/Consulting/Sectors-we-cover/Mobile-operators/Mobile-broadband/Articles-on-mobile-broadband/HSPA-will-dominate-as-take-up-of-wireless-broadband-flourishes/>

Λίγα λόγια για τους αρθρογράφους



Ο Δρ. **Κορίνθιος Γιώργος** αποφοίτησε από το Τμήμα Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου της Αθήνας (ΕΚΠΑ) το 1994. Το 1996 απέκτησε M.Sc. στις Τηλεπικοινωνίες και την Ηλεκτρονική από τα Τμήματα Φυσικής και Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ. Το 2002 αναγορεύτηκε σε διδάκτορα του ΕΚΠΑ για τη διατριβή του (PhD Thesis) σχετικά με Παράλληλες VLSI Αρχιτεκτονικές για ευρυζωνικά συστήματα τηλεπικοινωνιών. Από το 1996 ως το 2002 εργάστηκε σαν έμπειρος ερευνητής στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής του Τμήματος Φυσικής του ΕΚΠΑ και το Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠΙ, όπου πήρε ενεργά μέρος σε πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων. Από το 2002 εργάζεται στην COSMOTE, συμμετέχοντας ενεργά σε τεχνικά έργα όπως οι προδιαγραφές, η σχεδίαση και η υλοποίηση του δικτύου 3G, IMS subsystem, δίκτυα WiMAX και VoIP, 2G/3G Femtocells κλπ. Κατέχει τη θέση του προϊσταμένου Αρχιτεκτονικής και Στρατηγικής Δικτύου. Είναι συγγραφέας επιστημονικών δημοσιεύσεων στους τομείς της σχεδίασης και υλοποίησης παράλληλων VLSI αρχιτεκτονικών υψηλών ταχυτήτων για τη μορφοποίηση της κίνησης σε ευρυζωνικά ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα. Οι τομείς ενδιαφέροντος και εξειδίκευσής του περιλαμβάνουν πρωτόκολλα επικοινωνίας υψηλών ταχυτήτων καθώς και το σχεδιασμό και υλοποίηση αλγορίθμων για ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα.



Ο Δημήτρης Καρακώστας είναι κάτοχος διπλώματος Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, το οποίο απέκτησε το 1997, καθώς και μεταπτυχιακό διπλώματος ειδίκευσης στη Διοίκηση και Οικονομική των Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων, το οποίο απέκτησε το 2008 από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Εξειδικεύεται στις τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης, καθώς από το 1999 εργάζεται σε διάφορα τεχνικά τμήματα υποδομής της εταιρίας παροχής τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού ERICSSON Hellas S.A., κατέχοντας σήμερα τον τίτλο του Senior Solution Manager.



Η Ευτυχία Νικολίτσα είναι κάτοχος διπλώματος Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, το οποίο απέκτησε το 2004, καθώς και μεταπτυχιακό διπλώματος ειδίκευσης σε Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών (MSc in Mobile Communication Systems), το οποίο απέκτησε το 2005 από το Πανεπιστήμιο του Surrey, Ηνωμένο Βασίλειο. Μετά το πέρας των μεταπτυχιακών σπουδών της, εργάστηκε ως Μηχανικός Δικτύου Κορμού στο τμήμα CSS Implementation & IN Systems της εταιρείας κινητών επικοινωνιών VODAFONE Ελλάδος. Από το 2006 εργάζεται στην εταιρεία κινητών επικοινωνιών COSMOTE, αρχικά στο τμήμα Νέων Τεχνολογιών Δικτύου Πρόσβασης και από τον Σεπτέμβριο του 2009 στο τμήμα Αρχιτεκτονικής & Στρατηγικής Δικτύου ως Associate Senior Network Evolution Engineer, με εξειδίκευση σε θέματα τεχνολογιών δικτύων πρόσβασης, συμμετέχοντας σε πολλά έργα, όπως καθορισμό προδιαγραφών, σχεδίαση και ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών δικτύων πρόσβασης στο δίκτυο της COSMOTE. Οι τομείς εξειδίκευσής της εστιάζονται σε συστήματα OFDM/OFDMA καθώς και σε τεχνικές πολλαπλών κεραιών (MIMO).

Εάν επιθυμείτε το COMMUNICATION SOLUTIONS να δημοσιεύσει περισσότερα άρθρα για **HSPA+** κυκλώστε το **No 29** στην **κάρτα αναγνωστών**