

# Ασύρματα Συστήματα 3<sup>ης</sup> (3G) και 4<sup>ης</sup> (4G) γενεάς: Προκλήσεις του Μέλλοντος.

Δρ. Μάνος Μ. Τεντζέρης  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Georgia Institute of Technology  
Atlanta, GA 30332-250  
Η.Π.Α.  
etentze@ece.gatech.edu

## I. Βασικές ανάγκες και αρχές ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων και ολοκλήρωσης.

Η εκρηκτική αύξηση στις εφαρμογές Internet τα τελευταία χρόνια δείχνει ότι η κοινωνία έχει μια αστείρευτη επιθυμία για ελευθερία πρόσβασης στην πληροφορία. Την ίδια στιγμή η ολοένα αυξανόμενη δημοτικότητα της κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια αποδεικνύει την ανθρώπινη επιθυμία για επικοινωνία οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Η ασύρματη (untethered) πρόσβαση στην τεχνολογία της πληροφορίας εμφανίζεται ως το επόμενο βήμα. Για να μπορέσει να είναι το ίδιο επιτυχής και ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών πρέπει να είναι απολύτως κατανοητός ο λόγος εξ' αιτίας του οποίου το Internet έγινε τόσο διαδεδομένο στην κοινωνία μας. Η κατανόηση αυτή θα δώσει τη δυνατότητα στην ασύρματη πρόσβαση στην τεχνολογία της πληροφορίας να έχει παρόμοια ανάπτυξη. Ίσως οι πιο σημαντικοί λόγοι της ανάπτυξης του Internet είναι η εύκολη χρήση του web browser και οι υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης με τη χρήση γρήγορων modems και προσωπικών υπολογιστών. Συνεπώς ευκολία χρήσης με λογικό κόστος μοιάζει να είναι να είναι ο αναγκαίος συνδυασμός χαρακτηριστικών για μια πετυχημένη υλοποίηση της ασύρματης πρόσβασης στην τεχνολογία της πληροφορίας. Είναι γεγονός ότι η κινητήριος δύναμη για την ανάπτυξη των ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων είναι η ιδέα της απόλυτης ελευθερίας του ατόμου να συνομιλεί, διασκεδάζει, βελτιώνει την εκπαίδευσή του, ενημερώνεται για προϊόντα ή υπηρεσίες, δουλεύει, αναζητά ιατρική βοήθεια, σχεδιάζει προϊόντα, συμμετέχει στην έρευνα και έρχεται σε επαφή με κρατικές υπηρεσίες, ανεξαρτήτως από τις σχετικές θέσεις του ιδίου και της πηγής πληροφορίας.

Όλες οι ενδείξεις από την ερευνητική κοινότητα και τη βιομηχανία συγκλίνουν στο ότι μια νέα γενιά ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων (επίγειων-terrestrial wireless) και δορυφορικών (satellite) θα αναπτυχθεί στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα και θα έχει εξαιρετικά καλύτερα χαρακτηριστικά από τα ήδη υπάρχοντα. Παρά τις πολλές τεχνικές δυσκολίες ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεκάδων Mbits/sec που θα επιτρέπουν ευρείας ζώνης (broadband) πρόσβαση στο Internet αποτελούν ένα πραγματοποιήσιμο στόχο στο άμεσο μέλλον. Μέσα σε είκοσι χρόνια οι ασύρματες προσωπικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες έχουν αναπτυχθεί σε ένα παγκόσμιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο με πάνω από 300 εκατομμύρια συνδρομητές (40% του παγκόσμιου αριθμού χρηστών ενσύρματης τηλεφωνίας).

Η μεγάλη ανάγκη για υπηρεσίες Internet, ασύρματα συστήματα διανομής καλωδιακής τηλεόρασης (wireless cable television distribution) και για πρόσβαση στην τεχνολογία της πληροφορίας καθιστά επιτακτική την ανάπτυξη ασύρματων κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων ευρείας ζώνης. Αποτέλεσμα της συντονισμένης προσπάθειας πολλών ευρωπαϊκών χωρών είναι ότι το 1998 πολλοί περισσότεροι συνδρομητές χρησιμοποιούσαν το ευρωπαϊκό πρότυπο GSM από οποιοδήποτε άλλο σύστημα. Γενικά είναι άμεση ανάγκη για μελλοντικά ασύρματα δίκτυα τα οποία θα είναι ευέλικτα, θα έχουν την δυνατότητα αναβάθμισης για μεγάλο αριθμό χρηστών, θα είναι ικανά να παρέχουν πληροφορία για τη θέση του χρήστη σε παγκόσμια κλίμακα, θα παρέχουν ασφάλεια από υποκλοπές, θα συνεργάζονται με ενσύρματα δίκτυα και θα είναι εύκολα προσαρμόσιμα στις κατά καιρούς απαιτήσεις.

Στην εποχή μας παρατηρείται μεγάλη ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες όπως η τηλε-ειδοποίηση (paging), αναλογική και ψηφιακή κινητή τηλεφωνία και υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communication Services-PCS). Τα υπάρχοντα εμπορικά κυψελωτά και PCS συστήματα χρησιμοποιούν συχνότητες γύρω από τα 900 MHz και 1.8 GHz (S-Band) με προοπτική στο μέλλον να υπάρξουν εφαρμογές PCS στα 2.4 GHz και στα 5.8 GHz (C-Band). Εκτός από την περιοχή των κινητών τηλεπικοινωνιών υπάρχουν πολυάριθμες ασύρματες εφαρμογές που περιλαμβάνουν αναγνώριση με χρήση ραδιοσυχνοτήτων (RF Identification –RFID), δορυφορικές τηλεπικοινωνίες, ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks - WLAN), συστήματα τοπικής διανομής πολλαπλών χρηστών (Local Multipoint Distribution Systems - LMDS) που λειτουργούν σε συχνότητες μέχρι τη χιλιοστομετρική ζώνη Ku-έως Q-Band. Οι βασικοί λόγοι χρήσης ολοένα υψηλότερων συχνοτήτων είναι η ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης για εφαρμογές πολυμέσων (multimedia), όπως η ασύρματη μετάδοση εικόνας και η πρόσβαση στο Internet σε πραγματικό χρόνο, και ο κορεσμός των χαμηλότερων ζωνών συχνοτήτων. Εντούτοις η ανάγκη οπτικής επαφής (line of sight) για τη χρήση συστημάτων στη χιλιοστομετρική ζώνη καθιστά αναγκαία τη χρήση των χαμηλότερων συχνοτήτων για προσωπικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Τις περισσότερες φορές οι κυψελωτές τηλεπικοινωνίες βασίζονται σε διάδοση πολλαπλών δρόμων (multipath propagation) ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου μπορεί να μην υπάρχει άμεση οπτική επαφή με το σταθμό βάσης (base station).

Η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών συνδυασμένη με την ανάγκη για χαμηλό κόστος και υψηλή απόδοση έχει οδηγήσει σε μια έκρηξη στην παραγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων στην μικροκυματική/RF περιοχή. Διατάξεις υψηλού βαθμού ολοκλήρωσης όπως μετατροπείς και συνθέτες συχνοτήτων, ενισχυτές ισχύος ή χαμηλού θορύβου χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα αντικαθιστώντας υβριδικά κυκλώματα με διακριτά στοιχεία. Αυτά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Integrated Circuits - RFIC) και τα μονολιθικά μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (Monolithic Microwave Integrated Circuits - MMIC) ολοκληρώνονται μαζί με VLSI κυκλώματα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (DSP) και μικροεπεξεργαστές σε τυπωμένα κυκλώματα πολλαπλών επιπέδων. Ένας από τους επικρατέστερους τρόπους υλοποίησης αυτής της ιδέας είναι η σχεδίαση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πολλαπλού σήματος (Mixed-Signal Integrated Circuits) κατά την οποία RF, χαμηλών συχνοτήτων αναλογικές και ψηφιακές λειτουργίες ολοκληρώνονται στο ίδιο chip δημιουργώντας το ονομαζόμενο “VLSI-radio”. Κατά αυτό τον τρόπο ο μειωμένος αριθμός διακριτών ολοκληρωμένων

κυκλωμάτων έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος συσκευασίας και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Επίσης οι λιγότερες διασυνδέσεις μεταξύ των chips οδηγούν στη μείωση του μεγέθους της συσκευασίας και του συνολικού ηλεκτρονικού συστήματος, όπως και στη μείωση της παρασιτικής εμπέδησης με άμεσα αποτελέσματα στο κέρδος και στην απόδοση. Τέλος η ικανότητα ενσωμάτωσης λειτουργιών DSP στο chip επιτρέπει το ψηφιακό φιλτράρισμα, μίξη, σύνθεση συχνοτήτων και προσφέρει τη δυνατότητα για καλύτερη απόδοση, γρήγορη προσαρμοστικότητα και λειτουργική ευφειά (functional intelligence).

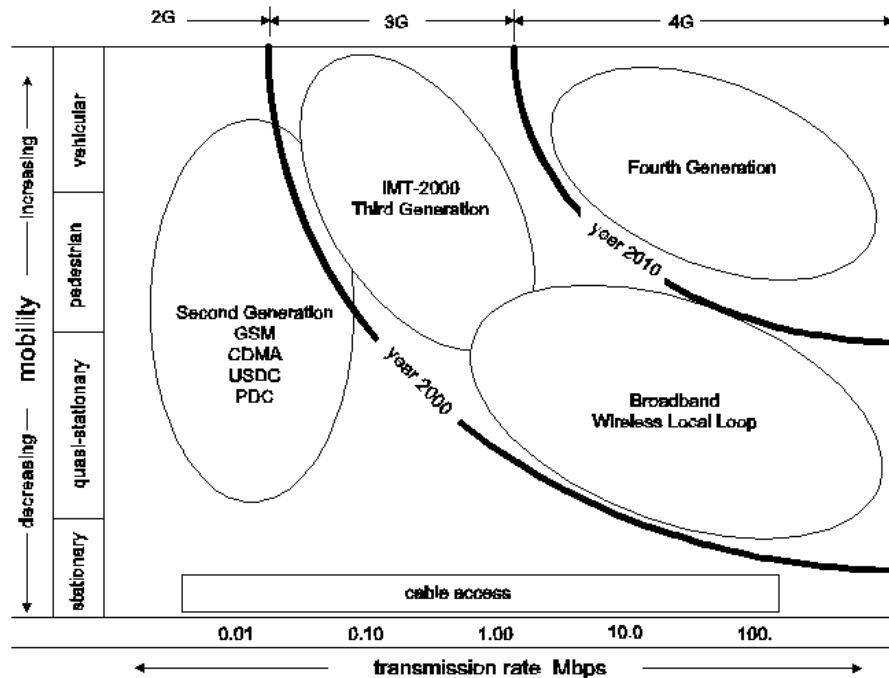
Αντί της πλήρους ολοκλήρωσης σε ένα chip (single-chip integration) μια εναλλακτική λύση είναι η δημιουργία ενός στοιχείου πολλαπλών chips (multichip module-MCM). Η βασική φιλοσοφία είναι η υλοποίηση διατάξεων και κυκλωμάτων στην καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία για τη συγκεκριμένη λειτουργία (π.χ. ψηφιακά κυκλώματα σε submicron CMOS, αναλογικά στοιχεία σε BiCMOS, RF διατάξεις σε GaAs ή InP κλπ.) και στη συνέχεια η ολοκλήρωσή τους σε ένα σύστημα ή υποσύστημα χρησιμοποιώντας τεχνολογία MCM. Παθητικές διατάξεις υψηλού Q όπως και δίκτυα μορφοποίησης δέσμης ακτινοβολίας κεραιών (Multibeam Antenna Beamforming) μπορούν να ενσωματωθούν άμεσα στη διάταξη MCM. Για τις ενεργές αναλογικές/RF και ψηφιακές/DSP λειτουργίες ολοκληρωμένα κυκλώματα μπορούν να διασυνδεθούν στη διάταξη MCM χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονική ανεστραμμένου chip (flip-chip bonding) στη θέση συρμάτων σύνδεσης (bondwires) γεγονός που μειώνει τα παρασιτικά στοιχεία και επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση χώρου. Επιπρόσθετα για την αλλαγή ενός κομματιού του υποσυστήματος δεν απαιτείται η επανασχεδίαση ολόκληρου του συστήματος. Επιμέρους λειτουργικά στοιχεία μπορούν να αναβαθμιστούν ανεξάρτητα, υπό τη συνθήκη ότι η διασύνδεσή τους και η θέση τους στο chip θα παραμείνει συμβατή με την τεχνολογία MCM. Αυτή η προσέγγιση ονομάζεται «σύστημα σε συσκευασία» (System On a Package-SOP) σε αντιδιαστολή με το «σύστημα σε chip» (System On a Chip-SOC) που περιγράφηκε προηγουμένως.

## II. Ασύρματα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς.

### A. Εισαγωγή.

Τα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G) είναι η εξέλιξη των συστημάτων 2<sup>ης</sup> γενιάς για αυξημένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και σημαντικά αυξημένη ευελιξία παροχής μεγάλου αριθμού υπηρεσιών στον ασύρματο χρήστη (παραδοσιακές υπηρεσίες τηλεφωνίας και τηλε-ειδοποίησης, διαδραστικά πολυμέσα (interactive multimedia), υψηλής ποιότητας τηλε-διάσκεψη (teleconferance) και πρόσβαση στο Internet). Παρά τον αρχικό στόχο της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) για ένα ενιαίο παγκόσμιο πρότυπο για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, προτάσεις στηριζόμενες σε πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA) ή διαίρεσης κώδικα (CDMA) έχουν υποβληθεί. Η πλειοψηφία πάντως στηρίζεται σε τεχνολογία CDMA ευρείας ζώνης (WCDMA).

Το Σχήμα 1 δείχνει τη σχέση ανάμεσα σε ασύρματα συστήματα 2G, 3G και 4G. Στα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς περιλαμβάνονται το GSM, το σύστημα CDMA που ορίζεται από τα πρότυπα IS-95 στις Η.Π.Α., το σύστημα USDC (H.Π.Α.) και το σύστημα PDC στην Ιαπωνία. Το άνω όριο των περίπου 100 kbits/sec για τα συστήματα 2G περιλαμβάνει τις βελτιώσεις του GSM στο EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) και στο GPRS (GSM Packet Radio System). Η λειτουργία των συστημάτων 3<sup>ης</sup> γενιάς τοποθετείται στα μέσα του 2001 σε περιορισμένες αγορές. Τα συστήματα 3G θα αυξήσουν το ρυθμό παροχής πληροφορίας σε περίπου 2Mbits/sec σε τοπικές περιοχές με περιορισμένη κινητικότητα. Προτάσεις για ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Loop-WLL) και για σταθερά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης (Broadband Fixed Wireless Access) περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό των συστημάτων 3G. Η τέταρτη γενιά (4G) θα ακολουθήσει με ακόμα μεγαλύτερη αύξηση στο ρυθμό παροχής πληροφορίας και μεγαλύτερη κινητικότητα (δυνατότητα μεγαλύτερης ταχύτητας κίνησης του συνδρομητή).



Σχήμα 1. Κινητικότητα (mobility) και ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας (information transfer rate) για 2G, 3G και 4G ασύρματα συστήματα.

### B. 3G Συστήματα: Χαρακτηριστικά, απαιτήσεις και υπηρεσίες.

Ο βασικός στόχος των συστημάτων 3G είναι η παροχή ενός μεγάλου αριθμού υπηρεσιών στο χρήστη χρησιμοποιώντας την αρχή του συντεταγμένου συστήματος (coordinate system). Με βάση αυτή την αρχή οι υπηρεσίες παρέχονται με ενσύρματο, επίγειο ασύρματο ή δορυφορικό μέσο ανάλογα με την περίπτωση. Ο χρήστης είναι δυνατό να μην γνωρίζει τη συγκεκριμένη τεχνολογία που χρησιμοποιεί. Στην πλειοψηφία τους τα προτεινόμενα 3G συστήματα δεν θα επιτύχουν αυτή τη μορφή επικοινωνίας αφήνοντάς την για τα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η κάλυψη σε όλα τα σημεία της γης είναι

επιθυμητή, ενώ είναι αποδεκτό ότι οι μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων δεν θα είναι διαθέσιμες παντού και πιθανόν δεν θα είναι διαθέσιμες στις μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης του συνδρομητή. Σε αυτές τις ταχύτητες ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας θα περιορίζεται στα 384 kbits/sec, ενώ για μικρότερες ταχύτητες να είναι 2 Mbits/sec. Παγκόσμια μεταγωγή χωρίς προβλήματα (seamless roaming) είναι ένας άλλος στόχος των συστημάτων 3G. Εξ' αιτίας του περιορισμένου διαθέσιμου εύρους συχνοτήτων για τα συστήματα 3G είναι αναγκαία η όσο το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση του. Τα κυψελωτά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς χαρακτηρίζονται από απόδοση εύρους ζώνης (spectrum efficiency) μέχρι 0.5 bps/Hz/cell, λαμβάνοντας υπόψη παρεμβολές από άλλους χρήστες και την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (frequency reuse). Αν και αυτή η απόδοση είναι ικανοποιητική για παραδοσιακές υπηρεσίες, σημαντικές βελτιώσεις είναι αναγκαίες για την παροχή υπηρεσιών υψηλών ρυθμών μετάδοσης πληροφορίας σε μεγάλο αριθμό χρηστών. Τεχνολογίες όπως οι προσαρμοστικές κατευθυντικές κεραιές (adaptive directional antennas), η ακύρωση παρεμβολών (interference cancellation) και η διαδοχική μετάδοση (relay transmission) μπορούν να βοηθήσουν προς αυτή την κατεύθυνση. Με την υπάρχουσα τεχνολογία ο στόχος της παροχής οποιασδήποτε τεχνολογίας σε οποιοδήποτε χρήστη κάθε στιγμή σε οποιοδήποτε σημείο στη γη μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε μικρό βαθμό, καθώς είναι αναγκαίες σημαντικές βελτιώσεις στις τεχνολογίες ραδιοσυχνοτήτων και σχεδιασμού δικτύων.

### *Γ. Τεχνολογία RF διεπαφών (RF interfaces) για συστήματα 3G.*

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας RF διεπαφών για συστήματα 3G είναι το αντικείμενο πολλών ερευνητικών προσπαθειών για περισσότερο από δέκα χρόνια. Στην Ευρώπη τα προγράμματα RACE και ACTS κατέληξαν στην υποβολή προτάσεων που χρησιμοποιούν τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης στηριζόμενες σε CDMA ευρείας ζώνης, TDMA ευρείας ζώνης, συνδυασμό και των δύο και σε ορθογωνική διαίρεση συχνότητας (orthogonal frequency division-OFDM). Τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών στην Ιαπωνία κατέληξαν στην χρήση της τεχνολογίας WCDMA. Τα δύο πρότυπα είναι παρόμοια αλλά όχι ακριβώς τα ίδια, αν και πρόσφατα έχουν συγκλίνει σε μία σχεδόν ενιαία μορφή. Η αμερικάνικη πρόταση επίσης βασίζεται στην χρήση του WCDMA και είναι μια εξέλιξη του 2G CDMA συστήματος που έχει ορισθεί από το IS-95B, αλλά είναι διαφορετική από τις άλλες δύο προτάσεις.

## III. Προβλέψεις για ασύρματα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G).

### *A. Εισαγωγή.*

Η ασύρματη επανάσταση θα αλλάξει εντελώς τη δομή των επικοινωνιών μέσα στα επόμενα είκοσι χρόνια. Σήμερα οι χρήστες κυψελωτών και προσωπικών επικοινωνιακών υπηρεσιών ανέρχονται σε περίπου 300 εκατομμύρια. Ενώ ο ρυθμός αύξησης συνδρομητών του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου είναι περίπου 3% το

χρόνο, οι χρήστες ασύρματων υπηρεσιών αυξάνονται με ρυθμό περίπου 40%. Πάντως οι νέοι ασύρματοι συνδρομητές χρησιμοποιούν σχετικά πρωτόγονη, αν και ψηφιακή, τεχνολογία στενής ζώνης (narrowband) που παρέχει ρυθμούς μετάδοσης πληροφορίας πολύ χαμηλότερους από τις ενσύρματες τηλεφωνικές γραμμές/DSL. Η μεγάλη ανάγκη για υπηρεσίες Internet, ασύρματη διανομή καλωδιακής τηλεόρασης και εύκολη και γρήγορη μετακίνηση αρχείων καθιστά επιτακτική τη χρήση ασύρματων υπηρεσιών ευρείας ζώνης. Σε αντίθεση με τα ενσύρματα τηλεφωνικά συστήματα οι ασύρματες τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις είναι εξαιρετικά ευμετάβλητες και υφίστανται γρήγορη εξασθένηση σήματος, διάδοση πολλαπλών δρόμων (multipath propagation) εξ' αιτίας ανακλάσεων, σκέδαση από εμπόδια εντός του δρόμου μετάδοσης και μετάθεση συχνοτήτων (frequency shift) εξ' αιτίας της κίνησης. Τα σταθερά ασύρματα δίκτυα (fixed wireless networks) είναι πολύ λιγότερο ευμετάβλητα χρονικά αν και χαρακτηρίζονται από χρονικές μεταβολές που οφείλονται σε αλλαγές στο περιβάλλον λόγω καιρικών συνθηκών ή βλάστησης, σε αλλαγές στα επίπεδα παρεμβολής από άλλους χρήστες και σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Επιπλέον τα ασύρματα κανάλια μεταβάλλονται σημαντικά και ανάλογα με τη θέση. Καθώς ο πομπός ή ο δέκτης μετακινούνται στο χώρο τα επίπεδα του σήματος και η επίδραση της μετάδοσης πολλαπλών δρόμων μεταβάλλεται ανάλογα με τις γεωμετρικές μεταβολές στο φυσικό μονοπάτι (physical path). Αυτός ο υψηλός βαθμός μεταβλητότητας κάνει τις ασύρματες επικοινωνίες ριζικά διαφορετικές από τα υπόλοιπα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

#### *B. Απαιτήσεις συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς.*

- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας. Τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς προσφέρουν μέχρι 2 Mbits/sec για περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου (indoor environments) και τουλάχιστον 144 kbits/sec για κινούμενα (vehicular) περιβάλλοντα. Ασύρματα LAN και ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης που λειτουργούν 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 Mbits/sec. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχος για τα 4G συστήματα θα είναι 10-20 Mbits/sec για ακίνητα περιβάλλοντα και 2 Mbits/sec για κινούμενα οχήματα.
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερο κόστος ανά bit. Η χωρητικότητα των συστημάτων 3G δεν θα είναι αρκετή για να εξυπηρετήσει την εκρηκτικά αυξανόμενη κίνηση των πολυμέσων γύρω στο 2010. Η χωρητικότητα για τα 4G συστήματα πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G, ενώ το κόστος ανά bit πρέπει να μειωθεί δραματικά ώστε η χρέωση να μην είναι απαγορευτική.
- Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών (Quality of Service-QoS). Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και μεταδιδόμενη ισχύος και υποφέρουν από συμφόρηση. Επομένως εξαιρετική QoS είναι αναγκαία για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών, ιδιαίτερα αυτών που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης. Καθώς οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται, το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανομένου σήματος θα

αυξηθεί ανάλογα. Εξ' αιτίας του γεγονότος ότι η επιδιωκόμενη ταχύτητα των συστημάτων 4G είναι μεγαλύτερη από δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, η ακτίνα της κυψέλης θα μειωθεί και η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων θα υποβαθμιστεί αν δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης. Η χρήση συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας (wide-range variable-speed) είναι αναγκαία για ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων (3G, 4G).

- Υποστήριξη Internet νέας γενιάς. Η υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολυμετάδοσης (multicasting) είναι σημαντική ιδιαίτερα για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.
- Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά δίκτυα. Με τη χρήση τεχνολογίας βασισμένης σε πρωτόκολλα Internet (IP) θα είναι δυνατή ομαλή διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών. Ως αποτέλεσμα ο κάθε χρήστης θα μπορεί να διαλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση (ανάλογα με το χρόνο, χώρο και κόστος).

### *Γ. Μελλοντικές εφαρμογές.*

- Εικονική πλοήγηση (virtual navigation). Μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων θα περιέχει γραφική αναπαράσταση δρόμων, κτιρίων και τοπογραφικών γνωρισμάτων. Κομμάτια αυτής της βάσης δεδομένων θα μεταδίδονται γρήγορα σε ένα όχημα όπου ένα υπολογιστικό πρόγραμμα θα επιτρέπει στους επιβάτες να προβλέπουν τη μελλοντική διαδρομή, να επιλέγουν δρόμους με τη μικρότερη κίνηση, να εντοπίζουν αξιοθέατα ή μουσεία ή να επιλέγουν εναλλακτικούς δρόμους σε περιπτώσεις ατυχημάτων.
- Τηλεϊατρική (telemedicine). Τα πληρώματα των ασθενοφόρων σε απομακρυσμένες περιοχές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία και να τηλε-διασκεύονται (video-conference) με γιατρούς όπως και να μεταδίδουν κρίσιμες πληροφορίες του ασθενούς σε κεντρικά νοσοκομεία.
- Σταθμός πληροφορίας (infostation). Ένας οδηγός αυτοκινήτου θα μπορεί να λαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αρχείων ή πολυμέσων από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ένα αυτοκινητόδρομο από και προς το χώρο εργασίας.
- Εφαρμογές τηλεγεωδαισιείας (telegeoprocessing). Ο συνδυασμός συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας (GIS), συστημάτων παγκοσμίου προσδιορισμού θέσης (GPS) και ασύρματων κινητών συστημάτων υψηλής χωρητικότητας θα κάνει εφικτές εφαρμογές τηλεγεωδαισιείας.
- Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων. Αυτές οι εφαρμογές είναι χρήσιμες σε περιόδους φυσικών καταστροφών όταν ολόκληρος ο τηλεπικοινωνιακός ιστός έχει παραλύσει. Η γρήγορη επαναλειτουργία των τηλεπικοινωνιών είναι αναγκαία. Η αυξημένη χωρητικότητα των ασύρματων συστημάτων ευρείας ζώνης 4G τα οποία θα περιλαμβάνουν υπηρεσίες Internet και video θα επιτρέψουν την αποκατάσταση σε διάστημα ωρών σε αντιδιαστολή με τα ενσύρματα συστήματα που θα απαιτούσαν ημέρες ή ακόμα και εβδομάδες.

- Εκπαίδευση μέσω Internet. Η παροχή ενσύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης στο Internet είναι οικονομικά ασύμφορη για κατοίκους αραιοκατοικημένων ή απομακρυσμένων περιοχών. Ασύρματες επικοινωνίες ευρείας ζώνης μπορούν να λύσουν αυτό το πρόβλημα.
- Κινητά δίκτυα υπολογιστών. Κατά ανάλογο τρόπο με τα σταθερά δίκτυα υπολογιστών τα κινητά δίκτυα υπολογιστών θα διευκολύνουν οικονομικές συναλλαγές, επιχειρηματικές πράξεις και επιστημονική συνεργασία από απόσταση.

#### *Δ. Προκλήσεις στην ανάπτυξη RF υποσυστημάτων (front-end) για συστήματα 4G.*

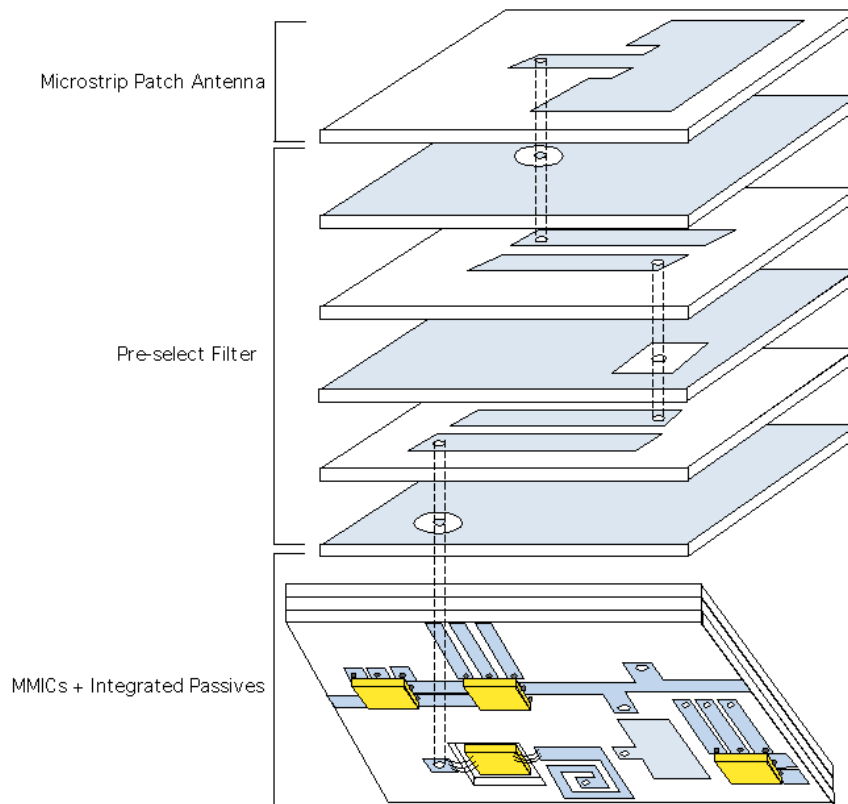
Οι μεγαλύτερες προκλήσεις στη σχεδίαση RF υποσυστημάτων περιλαμβάνουν:

- Υλοποίηση κεραίας. Συνήθως η κεραία τυπώνεται στο ανώτερο επίπεδο του ολοκληρωμένου RF front-end. Μια στοιχειοκεραία φυσικά επαναδιαμορφούμενων (reconfigurable) στοιχείων σε συνδυασμό με μια «έξυπνη» διάταξη ψηφιακής επεξεργασίας σήματος παρέχει την καλύτερη λύση. Η τεχνολογία έξυπνων κεραιών χρησιμοποιεί απλά στοιχεία (π.χ. μονόπολα ή δίπολα) και η απόδοση (εύρος γωνίας, επίπεδα δευτερευόντων λοβών) καθορίζεται από την απόδοση κάθε στοιχείου.
- Ολοκληρωμένα κυκλώματα για πομποδέκτες ευρείας ζώνης και ευθείας μετατροπής (broadband direct-conversion transceiver ICs). Κάθε επαναδιαμορφούμενη κεραία συνδέεται με RFICs/MMICs (ολοκληρωμένα κυκλώματα σε ραδιο/μικροκυματικές συχνότητες). Αυτά τα RFICs συνδέονται με τεχνολογία ανεστραμμένου chip στην αντίθετη πλευρά του RF front-end σε σχέση με την κεραία κάτι που απαιτεί τον προσεκτικό σχεδιασμό των RF διασυνδέσεων. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα του πομποδέκτη θα βρίσκονται επίσης κοντά σε silicon CMOS ASICs και DSP chips που θα εκτελούν την «έξυπνη» επαναδιαμόρφωση της κεραίας. Για αυτό το λόγο το RF front-end πρέπει να έχει όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Επιπλέον οι πομποδέκτες πρέπει να χρησιμοποιούν αρχιτεκτονικές ευθείας μετατροπής, γεγονός που κάνει περιττή τη χρήση RF/IF φίλτρου αφού τα λαμβανόμενα RF σήματα μεταφράζονται απ'ευθείας στο βασικό εύρος ζώνης (baseband) όπου και ψηφιοποιούνται και χρησιμοποιούνται από τα DSP chips.
- RF διασυνδέσεις. Οι διασυνδέσεις ανάμεσα στις διαμορφούμενες κεραίες και στα chips του πομποδέκτη πρέπει να έχουν παρα πολύ χαμηλές απώλειες και πολύ χαμηλή διασπορά σε όλο το εύρος συχνοτήτων του συστήματος. Επίσης είναι πολύ σημαντική η μείωση των παρεμβολών (crosstalk) και η βέλτιστη διαχείριση ισχύος (power handling).



#### IV. Σύστημα σε συσκευασία (System on Package-SOP): Μια συμπαγής λύση για την ολοκλήρωση συστημάτων 4G.

Πολλοί πιστεύουν ότι η προσέγγιση SOP για την ανάπτυξη συστημάτων είναι πιο εύκολα υλοποιήσιμη από την προσέγγιση σύστημα σε chip (SOC). Ασύρματες διατάξεις μεγάλης πολυπλοκότητας απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό κυκλωμάτων και κατά συνέπεια μια μεγάλη συμβατική συσκευασία ή καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο λόγω της τεχνολογίας MCM. Αρχιτεκτονικές μεγάλης πυκνότητας σε πολλαπλά επίπεδα και σε διαφορετικές τεχνολογίες με κάθετη ολοκλήρωση διασυνδέσεων και στοιχείων είναι βασική για τη σχεδίαση και ανάπτυξη ενός πετυχημένου RF συστήματος.

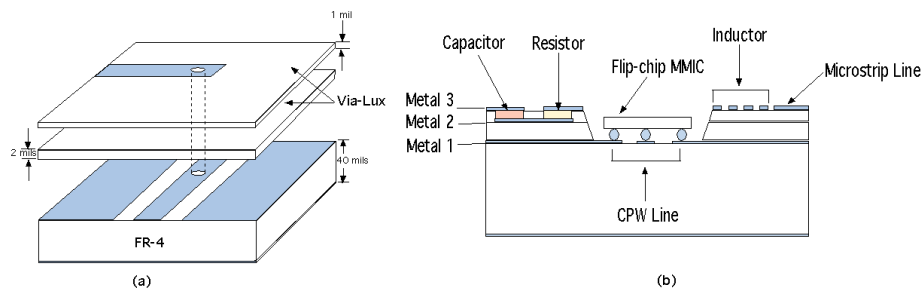


Σχήμα 2. Αρχιτεκτονική πομποδέκτη σε περιβάλλον συσκευασίας πολλαπλών επιπέδων.

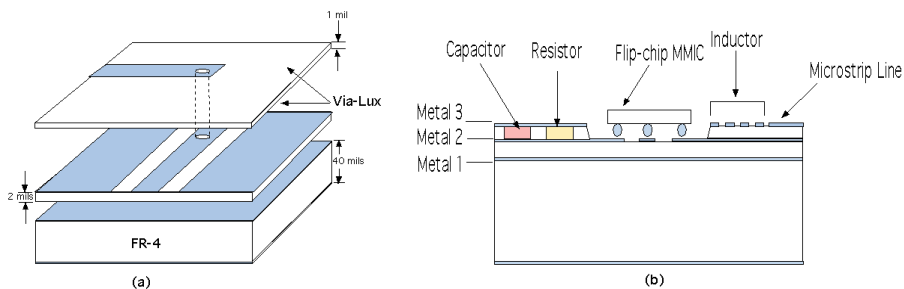
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα ενός ασύρματου SOP front-end μεγάλης πυκνότητας και ολοκλήρωσης σε περιβάλλον συσκευασίας πολλαπλών επιπέδων (multilayer packaging). Το βασικό στοιχείο σε αυτή την αρχιτεκτονική είναι η βέλτιστη χρήση της κάθετης ολοκλήρωσης των διαφόρων στοιχείων. Η κάθετα τροφοδοτούμενη κεραία βρίσκεται στο ανώτερο επίπεδο της διάταξης ώστε να είναι σε επαφή με τον αέρα και μπορεί να υλοποιηθεί ως επίπεδη μικροταινιακή κεραία (microstrip patch) ή ως δίπολο. Το φίλτρο προεπιλογής έχει υλοποιηθεί σε ταινιογραμμή (stripline) και έχει παρασκευασθεί στο μεσαίο επίπεδο όπου υπάρχει πλήρης επικάλυψη

από την κεραία. Η κάθετη τροφοδοσία της κεραίας που διέρχεται από το επίπεδο γης (ground plane) της μικροταινίας χρησιμεύει όχι μόνο ως σύνδεση με την είσοδο του φίλτρου, αλλά και ως σημαντικό κομμάτι της προσαρμογής της κεραίας. Η έξοδος του φίλτρου συνδέεται κάθετα με το υπόλοιπο κομμάτι του συστήματος που έχει υλοποιηθεί στο κατώτερο επίπεδο και αποτελείται από MMICs και ολοκληρωμένα παθητικά στοιχεία. Υπάρχουν δύο δημοφιλείς τρόποι σύνδεσης του MMIC στην πλακέτα. Bondwires και flip-chip που διακρίνονται στο Σχήμα 2. Η ύπαρξη επιπρόσθετων διηλεκτρικών επιπέδων καθιστά δυνατή την τρισδιάστατη υλοποίηση άλλων ολοκληρωμένων παθητικών στοιχείων όπως baluns, διακριτών πηνίων, πυκνωτών και αντιστάσεων, καθώς και φίλτρων σε ενδιάμεσες συχνότητες (IF) (π.χ. υπερετερόδυννοι δέκτες, δέκτες ευθείας μετατροπής). Το ολοκληρωμένο balun μπορεί να συνδεθεί με έναν ενισχυτή ισχύος ή ένα μίκτη. Η προσαρμογή εισόδου του ενισχυτή χαμηλού θορύβου και η προσαρμογή εισόδου και εξόδου ενός ενισχυτή ισχύος που υλοποιείται συνήθως με διακριτά παθητικά στοιχεία μπορεί να αντικατασταθεί με ολοκληρωμένα παθητικά στοιχεία.

Δύο υβριδικά σχήματα διασύνδεσης ενός ομοεπίπεδου κυματοδηγού (coplanar waveguide-CPW) και μιας μικροταινίας για μεγάλο εύρος ζώνης απεικονίζονται στο Σχήμα 3. Και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές CPW παρασκευάζονται σε διηλεκτρικό υλικό με απώλειες, όπως το FR4, το οποίο είναι ηλεκτρικά απομονωμένο έτσι ώστε να διευκολύνει την τοποθέτηση του MMIC με τη χρήση τεχνολογίας flip-chip. Οι μικροταινιακές διασυνδέσεις που χρησιμοποιούν και τα δύο επίπεδα εδάφους για τις γραμμές CPW υλοποιούνται με τη χρήση οπής διέλευσης (via hole).

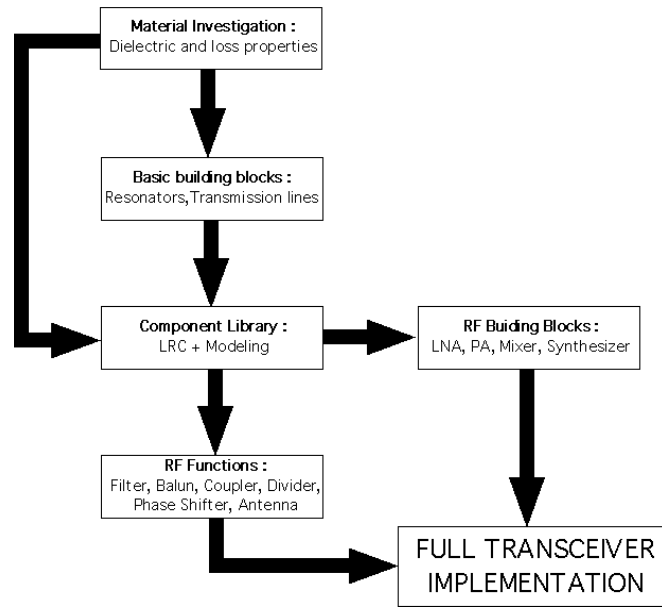


Σχήμα 3. Υβριδική αρχιτεκτονική διασύνδεσης SOP (υλοποίηση 1).



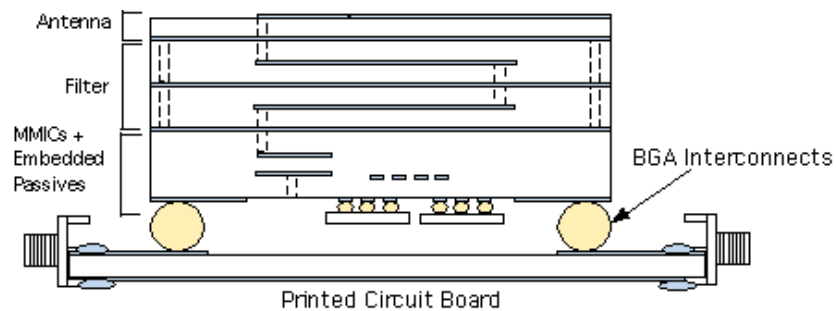
Σχήμα 4. Υβριδική αρχιτεκτονική διασύνδεσης SOP (υλοποίηση 2).

Η διαδικασία σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 4G απεικονίζεται στο Σχήμα 5, όπου ο στόχος είναι η υλοποίηση ενός πλήρους πομποδέκτη.



Σχήμα 5. Διαδικασία σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 4G.

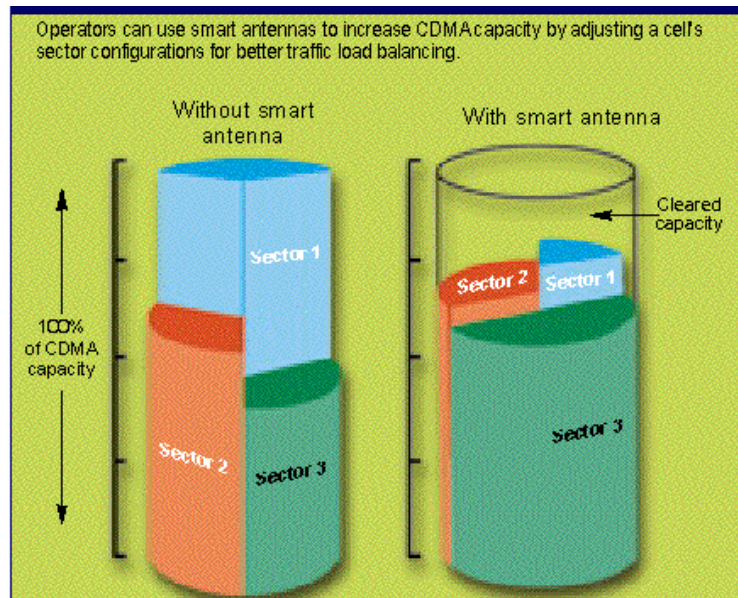
Η υλοποίηση ενός πλήρους συστήματος ακολουθώντας την αρχιτεκτονική του σχήματος 6 είναι ένας συνδυασμός ολοκληρωμένων παθητικών στοιχείων με MMICs που αποτελούνται από ενεργά στοιχεία με ή χωρίς κυκλώματα προσαρμογής υλοποιημένα στο chip. Μια προσεκτική σχεδίαση της τοποθέτησης των στοιχείων σε διαφορετικά επίπεδα είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό των στοιχείων που πρέπει να ολοκληρωθούν στο ίδιο chip (on chip) ή στο ίδιο επίπεδο (on board). Η τεχνολογία BGA (Ball-Grid-Array) έχει επιδείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα για συνδέσεις RF συστημάτων με τυπωμένα κυκλώματα για συχνότητες μέχρι 36 GHz.



Σχήμα 6. Ασύρματο σύστημα πολλαπλών επιπέδων συνδεδεμένο σε τυπωμένο κύκλωμα με χρήση διασυνδέσεων BGA.

## V. Έξυπνες κεραιές (smart antennas): Η ολοκληρωμένη τεχνολογία κεραιών του μέλλοντος.

Η χρήση των έξυπνων στοιχειοκεραιών στα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα προσφέρει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της χωρικής διαφορικής λήψης (spatial diversity), γεγονός που βελτιώνει την αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Γενικά μια έξυπνη στοιχειοκεραία αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που συνδυάζονται μέσω ενός δικτύου διαμόρφωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας (beamforming network) που καθορίζει τα σχετικά πλάτη και τις σχετικές φάσεις των στοιχείων. Αυτό το δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία RF ή τεχνολογία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος πραγματικού χρόνου ή υβριδικές λύσεις. Χρησιμοποιώντας μια έξυπνη στοιχειοκεραία (Smart Antenna System – SAS) επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος του κινητού τερματικού, μεγαλύτερο βεληνεκές, μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής (intersymbol interference), υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και ευκολία ολοκλήρωσης στο υπάρχον κυψελωτό σύστημα. Ειδικά για σταθμούς βάσης τα συστήματα έξυπνων κεραιών μέσω της ικανότητας του χωρικού διαχωρισμού σημάτων μπορούν να υποστηρίξουν την ανάθεση πολλαπλών κινητών χρηστών που επικαλύπτονται στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως πολλαπλή πρόσβαση με χωρισμό χώρου (Spatial Division Multiple Access-SDMA) και αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος (Σχήμα 7). Επιπλέον η τοποθέτηση έξυπνων στοιχειοκεραιών στους σταθμούς βάσης, αν και αυξάνει το κόστος ανά σταθμό μπορεί να αυξήσει την περιοχή κάλυψης κάθε κυψέλης και να μειώσει το συνολικό κόστος του συστήματος δραματικά, πολλές φορές κατά περισσότερο από 50% χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας.

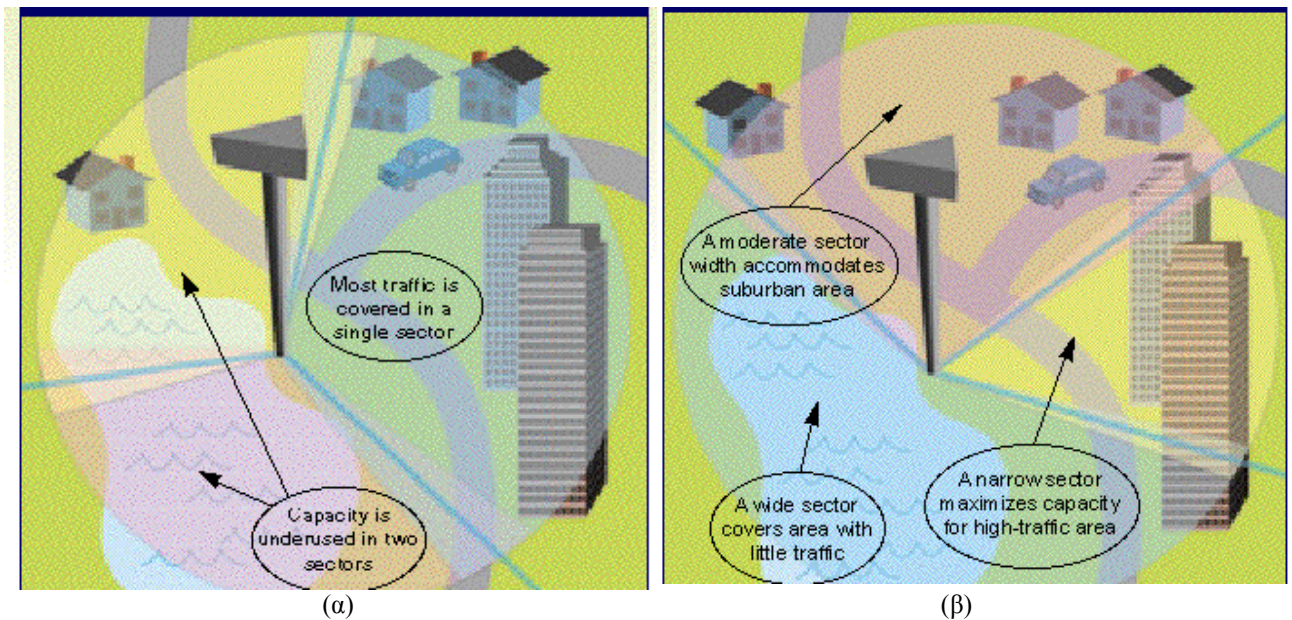


Σχήμα 7. Σύγκριση χωρητικότητας CDMA συστημάτων χωρίς και με τη χρήση έξυπνης στοιχειοκεραίας.

Οι κεραιές των σταθμών βάσης μέχρι τώρα ήταν ομοιοκατευθυντικές ή χωρισμένες σε τομείς (sectored). Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως σπατάλη ισχύος καθώς το μεγαλύτερο κομμάτι της ακτινοβολεί σε κατευθύνσεις διαφορετικές από τον χρήστη. Επιπλέον η ισχύς που ακτινοβολείται σε διαφορετικές κατευθύνσεις εκλαμβάνεται ως παρεμβολή από τους άλλους χρήστες. Αντίθετα η έξυπνη κεραιά έχει όχι μόνο την ικανότητα να προσαρμόζεται στο περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί (Σχήμα 8), αλλά επίσης μπορεί να συνεργάζεται με εξελιγμένα κυκλώματα επεξεργασίας σήματος. Αυτό το γεγονός καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη τεχνικών ολοκλήρωσης κυκλωμάτων DSP με κεραιές που λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες. Η επιτυχημένη ολοκλήρωση των δύο αυτών τεχνολογιών μειώνει το μέγεθος και βελτιώνει την απόδοση του τηλεπικοινωνιακού συστήματος.

#### A. Επίπεδα ευφύιας (levels of intelligence).

- Μεταβαλλόμενος λοβός (switched lobe-SL). Είναι η απλούστερη τεχνική και υλοποιείται με μια βασική λειτουργία μεταβολής ανάμεσα σε ξεχωριστές κατευθυντικές κεραιές ή σε προσχεδιασμένες δέσμες μιας στοιχειοκεραίας. Η υλοποίηση που παρέχει τη βέλτιστη απόδοση όσον αφορά την λαμβανόμενη ισχύ προτιμάται εξ' αιτίας της υψηλότερης κατευθυντικότητας. Σε σύγκριση με την συμβατική κεραιά επιτυγχάνεται κάποιο κέρδος. Τέτοια κεραιά θα είναι ευκολότερο να ενσωματωθεί σε υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα σε σχέση με πιο πολύπλοκες προσαρμοζόμενες κεραιές, αλλά προσφέρει περιορισμένη βελτίωση.



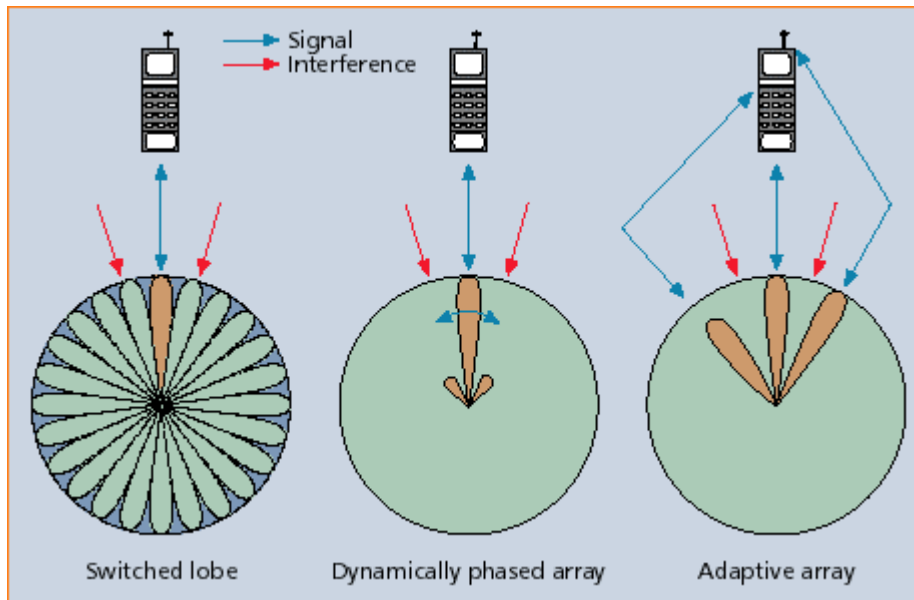
Σχήμα 8. Χωρισμός τομέων κάλυψης ανά κυψέλη με χρήση συμβατικής (α) και έξυπνης (β) κεραιάς.

- Στοιχειοκεραίες δυναμικής μεταβολής φάσης (Dynamically Phased Array-PA). Χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο κατεύθυνσης άφιξης (Direction of Arrival -

DoA) για λαμβανόμενο σήμα από τον χρήστη, είναι δυνατός ο συνεχής εντοπισμός ενώ μπορεί να θεωρηθεί ως μια γενίκευση της αρχής του μεταβαλλόμενου λοβού. Επίσης σε αυτή την περίπτωση μεγιστοποιείται η λαμβανόμενη ισχύς.

- Προσαρμοστικές στοιχειοκεραίες (Adaptive Array-AA). Σε αυτήν την περίπτωση ένας αλγόριθμος DoA προστίθεται για τον εντοπισμό της κατεύθυνσης των πηγών των παρεμβολών (άλλοι χρήστες). Το διάγραμμα ακτινοβολίας προσαρμόζεται ώστε να εξουδετερώνει τους παρεμβολείς. Επίσης με χρήση ειδικών αλγορίθμων και τεχνικών χωρικής διαφορικής λήψης το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να λαμβάνει σήματα πολλαπλών δρόμων τα οποία μπορούν να συνδυαστούν. Αυτές οι τεχνικές μεγιστοποιούν το λόγο σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio-SIR).

Τα συμβατικά κινητά συστήματα συνήθως χρησιμοποιούν κάποια μορφή διαφορικής λήψης (χωρική ή πολοτική). Οι προσαρμοστικές κεραίες μπορούν να θεωρηθούν ως ένα εξελιγμένο σχήμα διαφορικής λήψης. Οι στοιχειοκεραίες μεταβολής φάσης θα έχουν μεγαλύτερη βελτίωση στο κέρδος από τις κεραίες μεταβαλλόμενου λοβού καθώς όλα τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συνδυασμό διαφορικής λήψης (diversity combine).



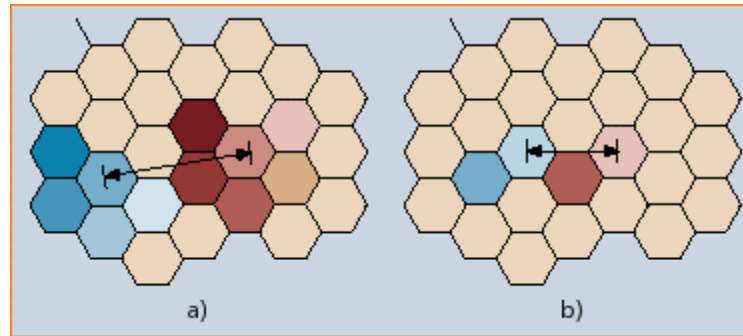
Σχήμα 9. Επίπεδα «ευφύιας» για έξυπνες κεραίες.

### B. Βελτιώσεις και πλεονεκτήματα.

- Αύξηση χωρητικότητας. Ο κύριος λόγος για το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις έξυπνες κεραίες είναι η αύξηση της χωρητικότητας. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές οι παρεμβολές από τους άλλους χρήστες είναι η κύρια πηγή θορύβου για τα κινητά συστήματα. Οι έξυπνες κεραίες βελτιώνοντας το χρήσιμο λαμβανόμενο επίπεδο σήματος και μειώνοντας το

επίπεδο παρεμβολής βελτιώνουν το SIR. Ειδικότερα η προσαρμοστική στοιχειοκεραία προσφέρει σημαντική βελτίωση και πειραματικά στοιχεία δείχνουν βελτίωση κατά 10 dB. Σε συστήματα TDMA η βελτίωση του SIR προσφέρει τη δυνατότητα μειωμένων αποστάσεων μεταξύ των κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 10, όπου η παραδοσιακή ομαδοποίηση των επτά κυψελών έχει μειωθεί σε ομαδοποίηση τριών κυψελών. Αυτό οδηγεί σε βελτίωση της χωρητικότητας κατά 7/3. Προσομοιώσεις σε GSM δίκτυα έχουν δείξει βελτίωση της χωρητικότητας κατά 300%.

Συστήματα που βασίζονται σε CDMA (IS-95, UMTS) έχουν ως βασική πηγή θορύβου τις παρεμβολές από άλλους χρήστες εξ' αιτίας του γεγονότος ότι οι διασπειρόμενοι κώδικες (spreading codes) δεν είναι ιδανικά ορθογώνιοι. Προσομοιώσεις έχουν δείξει βελτίωση της χωρητικότητας κατά 5 φορές για CDMA συστήματα.



Σχήμα 10. Απόσταση κυψελών με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (a) με χρήση συμβατικής κεραίας και (b) με χρήση έξυπνης κεραίας.

- Αύξηση βελινεκούς σε αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές. Η ραδιοκάλυψη αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την τοποθέτηση σταθμών βάσεις. Επειδή οι έξυπνες κεραίες είναι περισσότερο κατευθυντικές από τις παραδοσιακές κεραίες, αύξηση του βελινεκούς είναι εφικτή. Αυτό σημαίνει ότι οι σταθμοί βάσης μπορούν να τοποθετηθούν πιο μακριά ο ένας από τον άλλο, κάτι που αποτελεί μια πιο οικονομική λύση.
- Νέες υπηρεσίες. Με τη χρήση έξυπνων κεραιών το δίκτυο θα έχει πρόσβαση σε χωρικές πληροφορίες για τους χρήστες. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης των χρηστών με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι στα υπάρχοντα δίκτυα (ακρίβεια 125 m RMS έχει τεθεί ως προδιαγραφή από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών (FCC) ως τον Οκτώβριο του 2001). Η υπηρεσία αυτή θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε κλίσεις έκτακτης ανάγκης.
- Ασφάλεια. Η υποκλοπή συνδιάλεξης είναι πολύ δυσκολότερη όταν χρησιμοποιούνται έξυπνες κεραίες, καθώς ο υποκλοπέας πρέπει να βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση με το χρήστη όσον αφορά το σταθμό βάσης.
- Μειωμένη διάδοση πολλαπλών δρόμων. Χρησιμοποιώντας μια στενή δέσμη κεραίας στο σταθμό βάσης η διάδοση πολλαπλών δρόμων μπορεί να μειωθεί.

Η πραγματική μείωση εξαρτάται από τη διαμόρφωση εδάφους και δεν είναι πάντα σημαντική. Παρά το ότι οι εξισωτές καναλιών (channel equalizers) και οι δέκτες RAKE συχνά αντιμετωπίζουν επιτυχώς το πρόβλημα αυτό, είναι πιθανόν ότι η επιτυχία τους δεν θα είναι ίδια σε συνδέσεις πολύ μεγάλης ταχύτητας. Κατά συνέπεια η μείωση στη διάδοση πολλαπλών δρόμων μπορεί να διευκολύνει τη σχεδίαση μελλοντικών modems.

### *Γ. Μειονεκτήματα.*

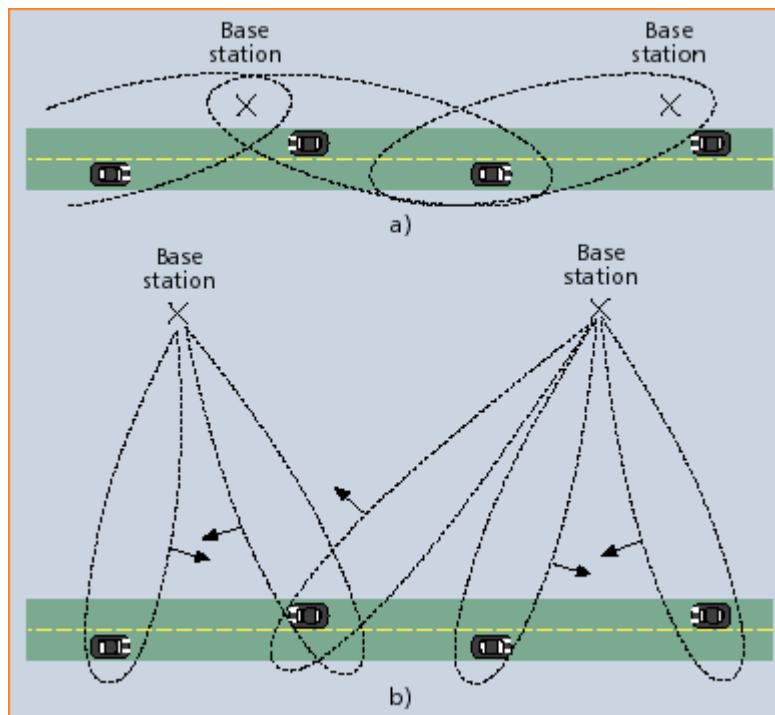
Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από τις έξυπνες κεραιές υπάρχουν μειονεκτήματα που στην πλειοψηφία τους σχετίζονται με το κόστος.

- Πολυπλοκότητα πομποδέκτη. Είναι προφανές ότι ένας πομποδέκτης που χρησιμοποιεί έξυπνη κεραιά είναι πολύ πιο πολύπλοκος από ένα παραδοσιακό πομποδέκτη σταθμού βάσης. Η κεραιά θα χρειάζεται ξεχωριστές συνδέσεις με τον πομποδέκτη για κάθε ένα από τα στοιχεία καθώς και ακριβή ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο. Επίσης η διαδικασία σύνθεσης των λοβών της στοιχειοκεραίας απαιτεί σημαντικό υπολογιστικό φόρτο ειδικά στην περίπτωση προσαρμοστικών κεραιών. Αυτό σημαίνει ότι ένας σταθμός βάσης με έξυπνες κεραιές πρέπει να διαθέτει πολύ δυνατούς επεξεργαστές και συστήματα ελέγχου. Κατά συνέπεια οι σταθμοί βάσης με έξυπνες κεραιές θα είναι πολύ πιο ακριβοί από τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσης.
- Διαχείριση εξοπλισμού (resource management). Αν και οι έξυπνες κεραιές στηρίζονται κυρίως στην τεχνολογία RF, απαιτούν βελτιωμένες λειτουργίες δικτύων όπως η διαχείριση εξοπλισμού και κινητικότητας (mobility management). Όταν μια νέα σύνδεση δημιουργείται ή μια υπάρχουσα σύνδεση ανατίθεται σε ένα νέο σταθμό βάσης καμία γωνιακή πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στο νέο σταθμό βάσης, ο οποίος χρειάζεται κάποιο εναλλακτικό τρόπο για να εντοπίσει το χρήστη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί επιτρέποντας στο σταθμό βάσης να σαρώνει την κυψέλη συνεχώς με μία δέσμη ανίχνευσης η οποία θα ψάχνει για υποψήφιους για νέα σύνδεση ή ανάθεση από άλλη κυψέλη. Μια άλλη δυνατότητα είναι η χρήση ενός εξωτερικού συστήματος για εντοπισμό θέσης (π.χ. GPS). Όπως εξηγήθηκε νωρίτερα η μέθοδος SDMA εξυπηρετεί διαφορετικούς χρήστες που χρησιμοποιούν το ίδιο φυσικό κανάλι επικοινωνίας στην ίδια κυψέλη και διαχωρίζονται μόνο από την γωνία. Σε περίπτωση που δύο χρήστες έχουν την ίδια ακριβώς γωνία, ένας από αυτούς πρέπει γρήγορα να μετακινηθεί σε άλλο κανάλι ώστε η σύνδεση να μην διακοπεί. Αυτό σημαίνει ότι σε συστήματα που χρησιμοποιούν SDMA θα υπάρχουν πολύ περισσότερες αναθέσεις στην ίδια κυψέλη (intracell handovers) σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα TDMA ή CDMA.
- Φυσικό μέγεθος. Μια στοιχειοκεραία με μεγάλο αριθμό στοιχείων είναι αναγκαία ώστε η έξυπνη κεραιά να έχει αποδεκτό κέρδος. Τυπικές στοιχειοκεραίες που αποτελούνται από 6-10 οριζόντια διαχωριζόμενα στοιχεία έχουν προσαθεί για εξωτερικά περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών. Η αναγκαία απόσταση μεταξύ των στοιχείων είναι 0.4-0.5 μήκη κύματος κι επομένως μια στοιχειοκεραία με οκτώ στοιχεία θα έχει μήκος περίπου 1.2 m στα 900 MHz και 60 cm στα 2 GHz.



#### Δ. Σχεδιασμός κάλυψης (radio planning).

Οι σταθμοί βάσης πρέπει να είναι ικανοί να διαχωρίζουν τους χρήστες με βάση την γωνία ώστε οι έξυπνες κεραιές να έχουν το επιθυμητό κέρδος. Αυτό σημαίνει ότι μερικές από τις παραδοσιακές στρατηγικές για το σχεδιασμό κάλυψης πρέπει να αναθεωρηθούν. Στα υπάρχοντα δίκτυα οι σταθμοί βάσης είναι συχνά τοποθετημένοι κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων και των σιδηροδρομικών γραμμών. Η χρήση έξυπνων κεραιών επιβάλλει τη μετακίνηση των σταθμών βάσης μακριά από το δρόμο ή τις γραμμές ώστε να βελτιωθεί η ικανότητα διαχωρισμού των χρηστών με βάση τη γωνία (Σχήμα 11).



Σχήμα 11. Σχεδιασμός ραδιοκάλυψης με χρήση συμβατικών κεραιών (a) και έξυπνων κεραιών (b).

#### VI. Συμπεράσματα.

Τα ασύρματα συστήματα 3G και 4G θα εξυπηρετούν στο μέλλον τις ανάγκες για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, θα προσφέρουν πληθώρα νέων υπηρεσιών και θα προσεγγίζουν την πλήρη υλοποίηση του στόχου για επικοινωνία από οποιοδήποτε σημείο της γης, οποιαδήποτε χρονική στιγμή και κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων θα απαιτήσει τη χρήση νέων τεχνολογιών σε πολλούς τομείς, όπως στις ραδιοσυχνότητες και στη διαχείριση δικτύων. Δύο παραδείγματα πρωτοποριακών λύσεων (SOP, έξυπνες κεραιές) έχουν αναφερθεί και αξιολογηθεί σε

σύγκριση με συμβατικές προσεγγίσεις και έχουν επιδείξει πολύ βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Η ευρεία χρησιμοποίησή τους θα εξαρτηθεί από το συνδυασμό απόδοσης, κόστους και ολοκλήρωσης με τα ήδη υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

## VII. Ευχαριστίες.

Ευχαριστούμε το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών των Η.Π.Α. (National Science Foundation – NSF), την ερευνητική πρωτοβουλία YAMACRAW της πολιτείας της Georgia (YAMACRAW Research Initiative of the State of Georgia), το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Georgia (Georgia Institute of Technology), καθώς και το Ερευνητικό Κέντρο Συσκευασίας (GT – Packaging Research Center).

### *Μάνος Μ. Τεντζέρης*

Ο Δρ. Μάνος Μ. Τεντζέρης έλαβε το δίπλωμα του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο το 1992 και το M.S. και Ph.D. από το τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Επιστήμης Υπολογιστών του University of Michigan, Ann Arbor το 1993 και 1998, αντίστοιχα. Η διδακτορική του διατριβή αφορούσε στην ανάπτυξη νέων αριθμητικών τεχνικών στο πεδίο του χρόνου (Development of Novel Numerical Time-Domain Techniques) και την εφαρμογή των αρχών της ανάλυσης μεταβλητής διακριτικής ικανότητας (Application of Multiresolution Analysis Principles) στη σχεδίαση και βελτιστοποίηση μικροκυματικών και RF διατάξεων που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και σε γεωμετρίες VLSI. Από το 1998 ο Μάνος Τεντζέρης είναι Επίκουρος Καθηγητής στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στο Georgia Tech και έχει αναπτύξει ερευνητικά προγράμματα σε προσομοιώσεις ηλεκτρομαγνητικών RF και ασύρματων εφαρμογών όπως και μικροκυματικών μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (Microelectromechanical systems – MEMs). Από τον Ιούνιο του 1999 είναι επικεφαλής στην ερευνητική ομάδα πρωτοποριακών τεχνικών ολοκλήρωσης της ερευνητικής πρωτοβουλίας YAMACRAW της πολιτείας της Georgia. Έχει διατελέσει πρόεδρος στο Wavelets' Session του IEEE AP-S συνεδρίου, Βαλτιμόρη 1996. Του έχουν απονεμηθεί το Best Paper Award στο IMAPS συνέδριο του 1997 και το 2000 NSF CAREER Award. Διετέλεσε πρόεδρος του τεχνικού προγράμματος στο 54<sup>ο</sup> ARFTG συνέδριο στην Ατλάντα το Δεκέμβριο του 1999. Έχει πραγματοποιήσει περισσότερες από 40 δημοσιεύσεις σε περιοδικά και πρακτικά συνεδρίων, είναι συγγραφέας 3 κεφαλαίων σε βιβλία και μέλος της IEEE.

Είναι επίσης αντιπρόεδρος της IEEE-CPMT TC16 (RF Subcommittee) και έχει διατελέσει κριτής σε μεγάλο αριθμό περιοδικών της IEEE. Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα του Δρ. Μάνου Μ. Τεντζέρη περιλαμβάνουν: Την ανάπτυξη ενός προσαρμοστικού στο

χώρο/χρόνο αλγόριθμου πραγματικού χρόνου (Development of a Real-Time Space/Time Adaptive Gridding Algorithm) για χρησιμοποίηση στην ανάλυση και σχεδίαση σύνθετων μικροκυματικών γεωμετριών συσκευασίας (Analysis and Design of Complex Microwave Packaging Geometries, π.χ. Flip-Chip, Embedded Passives) που χρησιμοποιούνται ευρέως στα μοντέρνα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών. Την εφαρμογή της ανάλυσης μεταβλητής διακριτικής ικανότητας (Application of Multiresolution Analysis) στη σχεδίαση RF μικρομηχανικών δομών (Micromechanical Structures - MEMS) λαμβάνοντας υπόψη τη σύζευξη ηλεκτρομαγνητικών και μηχανικών φαινομένων.