

2017

Κείμενο Παρουσίασης της Γνωμοδότησης περί της Αρχιτεκτονικής των Δικτύων Ασύρματης Πρόσβασης Κινητής Τηλεφωνίας στον ΓΠΤ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
Ομότιμος Καθηγητής Ιωάννης Ν. Σάχαλος



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
Καθηγητής Νικόλαος Ουζούνγλου



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Καθηγητής Αθανάσιος Κανάτας

Ιούλιος 2017



Η Εξέλιξη των Κινητών Τηλεπικοινωνιών και η Μετάβαση στα Δίκτυα 4G/4G+ και 5G

Τη δεδομένη χρονική στιγμή βρισκόμαστε στην αυγή της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης και της Ψηφιακής Οικονομίας, της οποίας καταλύτη αποτελεί ο **Ψηφιακός Μετασχηματισμός** όλων των κλάδων της οικονομίας και της ανθρώπινης δραστηριότητας γενικά, μέσω της ολοένα αυξανόμενης χρήσης της κινητικότητας/ευρυζωνικότητας παντού, της χρήσης των τεχνολογιών νέφους και της διασύνδεσης των αντικειμένων που μας περιβάλλουν. Διανύουμε μια περίοδο εντυπωσιακής ανάπτυξης νέων τεχνολογιών και ταχύτατης ενσωμάτωσής τους στα πρότυπα για τα νέα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Οι ρυθμοί εξέλιξης είναι καταιγιστικοί σε βαθμό που δύσκολα μπορεί κάποιος σήμερα να παρακολουθήσει τις εξελίξεις. Ο μετασχηματισμός που σχεδιάζεται και καλείται ψηφιακός μετασχηματισμός, είναι πολυεπίπεδος και σαρωτικός και φαίνεται να μας οδηγεί σε μια νέα εποχή δικτύων/υποδομών και υπηρεσιών, που θα αλλάξει τον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε, διασκεδάζουμε και δημιουργούμε. Εντελώς νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ευκαιρίες ανοίγονται μπροστά μας και το 5G αναμένεται να διαδραματίσει κομβικό ρόλο σε αυτήν την αλλαγή. Μπορεί να παρομοιάσει κανείς την κατάσταση με τον εξηλεκτισμό. Μόνο που σήμερα, λόγω της παγκοσμιοποίησης της οικονομίας, είναι ξεκάθαρο πως οι κλάδοι και οι χώρες που κινούνται ταχύτερα προς την Ψηφιακή Οικονομία έχουν καθοριστικό για το μέλλον και τη βιώσιμη ανάπτυξη πλεονέκτημα έναντι των καθυστερημένων.

Οι αλλαγές αυτές απαιτούν εγρήγορση αλλά και κατανόηση των νέων δυνατοτήτων και των νέων προκλήσεων από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

Πιστεύουμε πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G μπορεί να αποτελέσει μοναδικό παράγοντα και πόλο ανάπτυξης και παραγωγής καινοτομίας και η Ελλάδα μόνο οφέλη μπορεί να έχει από μια έγκαιρη υιοθέτησή της. Σε αντιδιαστολή, μια αργή και παθητική υιοθέτηση του 5G μόνο αρνητικά αποτελέσματα μπορεί να έχει για τη χώρα, καθώς άλλοι (χώρες και κλάδοι) θα έχουν αποκτήσει πολύτιμη εμπειρία όσον αφορά στη γοργή και αποδοτική μετάβασή τους στην Ψηφιακή Οικονομία, τόσο μέσω της έγκαιρης ανάπτυξης νέων υπηρεσιών και περιπτώσεων χρήσης, όσο και μέσω της παραγωγής και εξαγωγής καινοτομίας.

Στον αντίποδα, το να μείνει κανείς παθητικός αποδέκτης των εξελίξεων από το εξωτερικό, δεν αποτελεί πλέον μια βιώσιμη εναλλακτική για τη χώρα, καθώς ο κίνδυνος να καθηλωθεί η χώρα μόνιμα σε ουραγό ανάπτυξης και να καταδικαστούν οι διάφορες βιομηχανίες σε μαρασμό καθώς θα αδυνατούν να ανταπεξέλθουν στον παγκόσμιο ανταγωνισμό, είναι όχι μόνο υπαρκτός αλλά και εξαιρετικά πιθανός λόγω του υψηλού disruption που αναμένεται να κορυφωθεί με τη χρήση τεχνολογιών 5G. Αντίθετα, όσο πιο σύντομα αγκαλιάσει μία χώρα τις νέες τεχνολογίες, τόσο μεγαλύτερες οι πιθανότητες να κερδίσει μακροπρόθεσμα σε αύξηση παραγωγικότητας, παραγωγή καινοτομίας και βιώσιμη ανάπτυξη.

Ενδεικτικά αναφέρουμε πως σύμφωνα με διάφορες μελέτες (πχ. Ericsson Mobility Report – Ιούνιος 2017), τα επόμενα χρόνια (2016-2022) αναμένεται μια εκθετική αύξηση καταρχάς των αριθμών ευρυζωνικών συνδρομών κινητών επικοινωνιών (8,3 δισ. στο τέλος του 2022 από 4,4 δισ. στο τέλος του 2016), αλλά και της συνολικής κίνησης στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών της τάξης του 8x φορές επάνω απ' ό τι σήμερα (9x για συνδρομές με smartphones), η οποία οφείλεται στην ραγδαία αύξηση του συνολικού αριθμού smartphones παγκοσμίως, στη συνεχή μείωση του κόστους απόκτησής τους και τη συνεχή αύξηση διαθεσιμότητας τοπικού περιεχομένου και σχετικών εφαρμογών και υπηρεσιών.

Επίσης το 75% όλης της κίνησης αναμένεται να αποτελείται από video (50% σήμερα), το οποίο έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις μετάδοσης.

Τέλος, αναμένεται να υπάρχουν περισσότερες από 1.5 δισ. συνδέσεις IoT μέσω κινητών επικοινωνιών (από 400 εκ. που είναι σήμερα) μέχρι το 2022 (από τις συνολικά αναμενόμενες 18 δισ. συνδέσεις IoT στο τέλος του 2022).

Δομή Δικτύων

Το βασικό χαρακτηριστικό των Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών είναι η κυψελωτή δομή τους. Σε αυτή τη δομή βασίζεται η σχεδίαση των ραδιο-δικτύων. Κάθε κυψέλη εξυπηρετεί μέσω ενός σταθμού βάσης (Σ.Β.) μια γεωγραφική περιοχή ακτίνας από μερικά μέτρα ως κάποιες δεκάδες χιλιόμετρα. Οι Σ.Β. συνδέονται στα κέντρα μεταγωγής, που διασυνδέουν το ραδιο-δίκτυο με τα εξωτερικά δίκτυα φωνής και δεδομένων. Στους Σ.Β. κάθε κυψέλης αποδίδουμε μια ομάδα συχνοτήτων (διαύλων) και επιδιώκουμε να επαναχρησιμοποιούμε τους ίδιους διαύλους στο χώρο. Πυκνή επαναχρησιμοποίηση συνεπάγεται μεγάλη φασματική απόδοση αλλά και αύξηση των ανεπιθύμητων ομοδιαυλικών παρεμβολών.

Για περισσότερες από τρεις δεκαετίες από την εισαγωγή των κινητών τηλεπικοινωνιών στη ζωή μας, οι τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν σημειωθεί είναι ραγδαίες. Οι εξελίξεις αποτυπώνονται σε τέσσερις γενιές συστημάτων (1G έως 4G). Η τυπική διάρκεια ανάπτυξης, από την εκκίνηση της προτυποποίησης έως την πιλοτική εμπορική λειτουργία μιας τεχνολογίας στον κλάδο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών, είναι περίπου μία δεκαετία, αν και ο χρόνος πληθυσμιακής κάλυψης φαίνεται να συντομεύει με κάθε νέα γενιά. Ενδεικτικά αναφέρουμε, πως χρειάστηκαν μόλις 5 έτη για να καλυφθούν με τεχνολογία 4G/LTE 2,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως, σε σύγκριση με τα 8 έτη που χρειάστηκαν για την ίδια πληθυσμιακή κάλυψη με τεχνολογίες 3G/WCDMA/HSPA.

Κάθε νέο σύστημα εισάγεται παράλληλα με την ωρίμανη των προηγούμενων. Συνεπώς έχουμε συνύπαρξη των διαφορετικών γενιών, γεγονός που επιτρέπει την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων όλων των υπάρχουσών τεχνολογιών και ταυτοχρόνα την απόσβεση των μεγάλων επενδύσεων που συνεπάγεται η εισαγωγή κάθε νέας γενιάς. Αντίστοιχη είναι και η εξέλιξη των συσκευών, οι οποίες καλούνται να ακολουθήσουν τις συνεχείς και ταχείες εξελίξεις των δικτύων. Τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smart-phones) αιχμής είναι συμβατά με όλες τις τεχνολογίες 2G, 3G, 4G και παρέχουν πλήθος υπηρεσιών.

Στη χώρα μας η έναρξη παροχής υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών ταυτίστηκε με την εφαρμογή και ανάπτυξη του συστήματος GSM στα μέσα της δεκαετίας του '90. Το σύστημα GSM αποτέλεσε τεράστια Ευρωπαϊκή επιτυχία, καθώς αναπτύχθηκε από την αποτελεσματική σύμπραξη των ερευνητικών φορέων με τη βιομηχανία της Ευρώπης και κυριέυσε για πολλά χρόνια τις διεθνείς αγορές. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε το σύστημα GPRS (2.5G) που επέβαλλε τη μετάβαση από τις τεχνολογίες μεταγωγής κυκλώματος στις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων και πρόσφερε υπηρεσίες δεδομένων με ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους του GSM. Με την έλευση της νέας χιλιετίας εισήχθησαν τα 3ης γενιάς δίκτυα, γνωστά και ως WCDMA-UMTS, προσφέροντας υπηρεσίες φωνής και πολυμέσων. Τα επόμενα χρόνια, χρησιμοποιώντας βελτιωμένες τεχνικές μετάδοσης στα συστήματα HSPA (3.5G), αυξήθηκαν πολύ οι ταχύτητες επικοινωνίας καθώς προσφέρθηκαν αρκετά υψηλοί ρυθμοί δεδομένων. Την τελευταία τετραετία αναπτύχθηκε μια νέα γενιά συστημάτων (4G), γνωστή ως LTE. Με τα συστήματα αυτά απολαμβάνουμε δεδομένα υψηλών ταχυτήτων χάρη σε μια μεγάλη μετάβαση και αλλαγή που συντελέστηκε τόσο στο φυσικό όσο και στο δικτυακό επίπεδο των συστημάτων. Σήμερα οι ρυθμοί (download) ξεπερνούν τα 300 Mbps, καθώς βελτιώσεις και εξελίξεις στην τεχνολογία των δικτύων επιτρέπει την ανάπτυξη των συστημάτων 4G+.

Η πρώτη προτυποποίηση 4G (3GPP Rel.8) ολοκληρώθηκε το 2008. Έκτοτε έχουν προκύψει 6 αναβαθμίσεις του προτύπου (Rel. 9 έως 14), με βασικότερες τις:

- LTE-A(advanced) (Rel.10), η οποία ολοκληρώθηκε το 2010
- LTE-A(advanced) Pro (Rel.13), η οποία ολοκληρώθηκε το Μάρτιο του 2016

Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 4G λειτούργησε στη Στοκχόλμη το 2009. Σήμερα λειτουργούν περισσότερα από 644 εμπορικά δίκτυα LTE και 100 εμπορικά δίκτυα LTE-A σε περισσότερες από 200 και 50 χώρες παγκοσμίως αντίστοιχα.

Οι βασικές καινοτομίες στην τεχνολογία, που εισήχθησαν στην 4η γενιά και επέτρεψαν τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης είναι:

- 1) Το OFDM/OFDMA που μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούμε μεγάλο εύρος ζώνης χωρίς να μας περιορίζουν οι συνθήκες διάδοσης στο ραδιοδίαυλο (πολυδιαδρομική διάδοση) και μας παρέχει ευελιξία διαχείρισης των ραδιοπόρων. Αντίστοιχα στην άνω ζεύξη γίνεται χρήση της τεχνικής SC-FDMA, που επιτρέπει την αποδοτική εκπομπή από τις κινητές συσκευές.
- 2) Η δυνατότητα των δικτύων να προσαρμόζονται στις συνθήκες διάδοσης και τηλεπικοινωνιακής κίνησης, μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά διαμόρφωσης/κωδικοποίησης αλλά και χρησιμοποιώντας χρονο-προγραμματισμό της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
- 3) Η εφαρμογή τεχνικών συντονισμού των διακυψελικών παρεμβολών (Inter-Cell Interference Coordination), που μας επιτρέπουν πρακτικά την πυκνή επαναχρησιμοποίηση των διαύλων περιορίζοντας τις παρεμβολές.
- 4) Οι τεχνικές MIMO, όπου έχουμε πολλαπλές κεραιές σε πομπό και δέκτη ώστε να
 - a. Αυξήσουμε την αξιοπιστία της μετάδοσης (εφαρμόζοντας τεχνικές διαφορισμού)
 - b. Αυξήσουμε τους ρυθμούς μετάδοσης (εφαρμόζοντας τεχνικές χωρικής πολυπλεξίας)
 - c. Περιορίσουμε τις παρεμβολές και να βελτιώσουμε το σηματοθορυβικό λόγο (εφαρμόζοντας τεχνικές διαμόρφωσης των λοβών ακτινοβολίας)
- 5) Η υποστήριξη υπηρεσιών multicasting και broadcasting, με την δυνατότητα δημιουργίας δικτύων MBSFN και άρα την ταυτόχρονη εκπομπή τηλεοπτικών προγραμμάτων από πολλαπλές κυψέλες.
- 6) Η συνθήριση φερόντων που μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούμε γειτονικά και μη τμήματα του φάσματος προκειμένου να πετύχουμε συνολικά μεγαλύτερο εύρος ζώνης και κατά συνέπεια ρυθμούς μετάδοσης. Σε προχωρημένες εκδόσεις του LTE παρέχεται η δυνατότητα συνθήρισης τμημάτων του φάσματος που ανήκουν σε διαφορετικές συχνοτικές ζώνες.

Τελικά, αυτό που εισπράττει ο συνδρομητής είναι μια τεράστια αύξηση στο ρυθμό μετάδοσης. Με το GPRS είχαμε υποτυπώδεις ρυθμούς της τάξης των 100 kbps, ενώ σήμερα με τα δίκτυα 4G+ μπορούμε να απολαύσουμε ρυθμούς μεγαλύτερους από 300 Mbps. Αυτό σημαίνει μια αύξηση τουλάχιστον 3000 φορές στο ρυθμό μέσα σε μια εικοσαετία.

Το σημερινό τοπίο στη χώρα μας περιγράφεται από την ακόλουθη κατάσταση. Οι υποδομές 2G και 3G είναι πλέον ώριμες, παρέχοντας κάλυψη πλησίον του 100%, και εξασφαλίζοντας άκρως ικανοποιητικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών για εφαρμογές φωνής και δεδομένων. Παράλληλα, οι υποδομές 4G και 4G+ αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς και προσφέρουν χιλιάδες φορές υψηλότερες ταχύτητες ασύρματης πρόσβασης στο internet σε σχέση με τα πρώτα δίκτυα δεδομένων 2G και GPRS. Φτάνουν να υποστηρίξουν ταχύτητες που ξεπερνούν τα 300 Mbps (download) και τα 50 Mbps (upload), ενώ σύντομα αναμένεται η μετάδοση φωνής μέσω των δικτύου δεδομένων (VoIP), γνωστή ως Voice over LTE (VoLTE), ίσως και Video over LTE (ViLTE).

Διασύνδεση της Εθνικής Ψηφιακής Στρατηγικής με την ανάπτυξη των δικτύων 5G.

Η Εθνική Ψηφιακή Στρατηγική, αποτελεί τον οδικό χάρτη και το πλαίσιο αναφοράς για τις αλλαγές που χρειάζεται η χώρα. Θέτει το όραμα και εξειδικεύει τους τομείς παρέμβασης στους οποίους θα πρέπει να εστιαστεί η προσπάθεια, έτσι ώστε η χώρα, με ορίζοντα το 2021, να ενταχθεί με αξιώσεις στον ευρωπαϊκό ψηφιακό χάρτη.

Ειδικότερα, η Εθνική Ψηφιακή Στρατηγική εστιάζει σε τομείς παρέμβασης με ειδικές προτεραιότητες ανά τομέα. Η Στρατηγική αυτή αναγνωρίζει την ύπαρξη κενών τα οποία χρήζουν αντιμετώπισης, με τρόπο ώστε οι διαθέσιμοι πόροι να μεγιστοποιούν το αποτέλεσμα.

Βασικός Τομέας Παρέμβασης της Εθνικής Ψηφιακής Στρατηγικής είναι η Επιτάχυνση της Ψηφιοποίησης της Οικονομίας με αναγνωρισμένα οφέλη:

- δυνατότητα πρόσβασης σε νέες αγορές και την αύξηση του τμήματος του πληθυσμού στο οποίο απευθύνονται,
- βελτίωση της ανταγωνιστικότητας τους, μέσω της μείωσης του κόστους παραγωγής και αύξησης της παραγωγικότητας,
- διαφοροποίηση των προϊόντων και υπηρεσιών που προσφέρουν
- αναγνώριση των ευκαιριών που εμφανίζονται σε μια ανοιχτή και διασυνδεδεμένη αγορά
- δημιουργία των προϋποθέσεων γρήγορης υιοθέτησης της καινοτομίας σε όλα τα στάδια των παραγωγικών τους διαδικασιών.

Η ανάπτυξη των δικτύων 5G είναι ο καταλύτης για την εμφάνιση της Ψηφιακής Οικονομίας καθώς αποτελεί την μόνη ασύρματη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη νέων καινοτόμων λύσεων και πηγών εισοδήματος και να επιτρέψει αξιόπιστα στις υπάρχουσες καινοτομίες να υιοθετηθούν σε μεγάλη κλίμακα.

Η πρόσβαση στα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα δίκτυα 5G, δηλαδή η πρόσβαση σε ταχύτητες μετάδοσης παραπλήσιες των οπτικών ινών και σε εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση στην μετάδοση των δεδομένων (Latency) θα δώσει ώθηση στην διάδοση των ψηφιακών μέσων στην λειτουργία των ΜΜΕ αλλά και στην ανάπτυξη νέων οικονομιών.

Ενδεικτικές Καινοτόμες Λύσεις που υποστηρίζονται αποκλειστικά από τα δίκτυα 5G

Υπηρεσίες Infotainment στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς

Σε μεγάλες πόλεις στην Ευρώπη εξετάζεται η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών πληροφόρησης-διασκέδασης (infotainment) στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτές οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν την μετάδοση εικόνας και ήχου υψηλής ευκρίνειας, επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα καθώς και την δυνατότητα βιντεοκλήσεων και βιντεοπαιχνιδιών.

Για τα συστήματα μαζικής μεταφοράς, οι υπηρεσίες infotainment αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα επικοινωνίας με τους επιβάτες. Το σύστημα λειτουργεί συμπληρωματικά με τα συστήματα public announcement, το website και τις υπηρεσίες πληροφόρησης με SMS. Οι υπηρεσίες αυτές συχνά αποτελούν μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος εποπτείας και διαχείρισης, επιτρέπουν την συλλογή

δεδομένων στην λογική του crowd sourcing και την ανάπτυξη νέων πηγών εισοδήματος για τις εταιρίες διαχείρισης του μεταφορικού έργου.

Διασυνδεδεμένες Υπηρεσίες Υγείας

Τα Δημόσια Συστήματα Υγείας σε όλα τα κράτη αναζητούν τρόπους ώστε αξιοποιώντας την καινοτομία να παρέχουν υπηρεσίες υγείας με αυξητικούς ρυθμούς ζήτησης, αλλά χωρίς να αυξάνονται αντιστοίχως οι διαθέσιμοι πόροι. Η τεχνολογία του 5G είναι η μόνη διαθέσιμη τεχνολογία με την οποία ένας γιατρός σε αστικό περιβάλλον μπορεί να εξετάσει αξιόπιστα, με υψηλή ευκρίνεια και με χρήση συσκευών Haptic και ρομποτικών μηχανισμών να χειρουργήσει καθώς και να ψηλαφήσει τους ιστούς ενός ασθενούς που βρίσκεται σε ένα απομακρυσμένο νησί. Επίσης η τεχνολογία 5G είναι η μόνη που μπορεί να υποστηρίξει την τηλεδιάγνωση με χρήση έμπειρων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης.

Πλεονεκτήματα για τον Τομέα του Τουρισμού – Πολιτιστικές & Δημιουργικές Βιομηχανίες,

Η τεχνολογία του 5G μπορεί να προσδώσει μια νέα διάσταση στην εμπειρία ενός επισκέπτη. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στους τουρίστες να βρεθούν στα αξιοθέατα της Ελλάδας και να επισκεφθούν εικονικά τα μουσεία της Χώρας χωρίς να χρειαστεί να μεταβούν στις τοποθεσίες αυτές. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται νέες πηγές εισοδήματος για την ανάπτυξη των μουσείων ενώ και ο ΕΟΤ θα μπορεί να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες έναντι αντιτίμου στις τουριστικές περιοχές.

Σε συνδυασμό με την παροχή υπηρεσιών infotainment στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, ο Τουρίστας μπορεί να περιηγηθεί επι παραδείγματι στο Μουσείο της Ακρόπολης καταβάλλοντας αντίτιμο, μέσω εικονικής πραγματικότητας, ενώ βρίσκεται καθ' οδόν προς μια άλλη περιοχή.

Συμμετοχή στην 4η Βιομηχανική Επανάσταση

Η εισαγωγή της αυτοματοποίησης και των δομικών στοιχείων της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, καθώς και η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το Internet of Things (IoT), το υπολογιστικό νέφος, τα ευφυή δίκτυα (smart grids), τα αυτόνομα συστήματα (οχήματα ή ρομποτικά συστήματα) στην ελληνική οικονομία, είναι ιδιαίτερα περιορισμένη.

Η ενσωμάτωση των δομικών στοιχείων και τεχνολογιών που προαναφέρθηκαν, στους τομείς-πυλώνες της οικονομίας αποτελεί υψηλή προτεραιότητα της Εθνικής Ψηφιακής Στρατηγικής, προκειμένου να ενισχυθεί το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και η διαφοροποίηση.

Εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας που θα επιτρέψει την ανάπτυξη «Έξυπνων Εργοστασίων» είναι η δυνατότητα διασύνδεσης των μηχανών, των διαδικασιών, των ρομποτικών μηχανισμών και των ανθρώπων. Αυτή η ανάγκη διασύνδεσης συνεπάγεται διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε φάσμα («bandwidth») και για αποφυγή καθυστέρησης (latency). Περίπου το 90% των σημερινών αναγκών διασύνδεσης στις Βιομηχανικές Μονάδες καλύπτεται από ενσύρματες συνδέσεις οι οποίες αν και έχουν πολύ καλή απόδοση και αξιοπιστία, υστερούν στην επεκτασιμότητα και άρα δεν μπορούν να καλύψουν τις αυξανόμενες απαιτήσεις των αυτοματισμών.

Η τεχνολογία 5G είναι η ασύρματη τεχνολογία που καλύπτει αυτό το κενό, είναι ο άμεσος αντικαταστάτης των σημερινών ενσύρματων δικτύων των βιομηχανικών μονάδων. Η ασύρματη διασύνδεση επιτρέπει την άμεση και γρήγορη τοποθέτηση μηχανών και αισθητήρων σε οποιοδήποτε σημείο της βιομηχανικής εγκατάστασης.

Η ανάπτυξη Βιομηχανικών Περιοχών (ξεκινώντας από μία μέχρι το 2020) στις οποίες θα προσφέρεται διασύνδεση μέσω της τεχνολογίας 5G μπορεί να αποτελέσει εφελτήριο για την αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής και την δημιουργία ενός νέου πυλώνα οικονομίας.

Οι ενδεικτικές καινοτομίες που αναφέρονται ανωτέρω καθιστούν σαφές ότι η αρχιτεκτονική των Δικτύων 5G θα βασίζεται στην κατανομή του δικτύου κορμού (distributed core network architecture) περισσότερο από όσο στα σημερινά δίκτυα και θα περιλαμβάνει μεγαλύτερη ενσωμάτωση των τεχνολογιών Νέφους. Η αρχιτεκτονική του Ραδιοδικτύου θα είναι περισσότερο αποκεντρωμένη για δύο λόγους: Αφενός να μπορεί να υποστηρίξει την έντονη ανάγκη κλιμάκωσης λόγω του υψηλού αριθμού συνδεδεμένων συσκευών και αφετέρου να μπορεί να διατηρήσει την καθυστέρηση της μετάδοσης (latency) στα εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα που απαιτούν οι νέες υπηρεσίες και εφαρμογές.

Η Πορεία προς τα δίκτυα του 2020 (5G): Απαιτήσεις και Προοπτικές

Το όραμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως αποτυπώνεται στα σχετικά κείμενα, για τα δίκτυα επόμενης γενιάς είναι σε δέκα χρόνια από σήμερα οι τομείς τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών να ενοποιηθούν σε μια κοινή υποδομή πολύ υψηλής χωρητικότητας. Αυτό το όραμα προϋποθέτει ευελιξία και επεκτασιμότητα των υποδομών, που με τη σειρά τους απαιτούν εικονικά διαμορφωμένες (virtualised) λειτουργίες δικτύου υλοποιούμενες σε υλικό (hardware) που θα είναι γενικού σκοπού, προγραμματιζόμενο και υψηλής επίδοσης και που θα παρέχει τους απαραίτητους πόρους για μεταφορά, δρομολόγηση, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων.

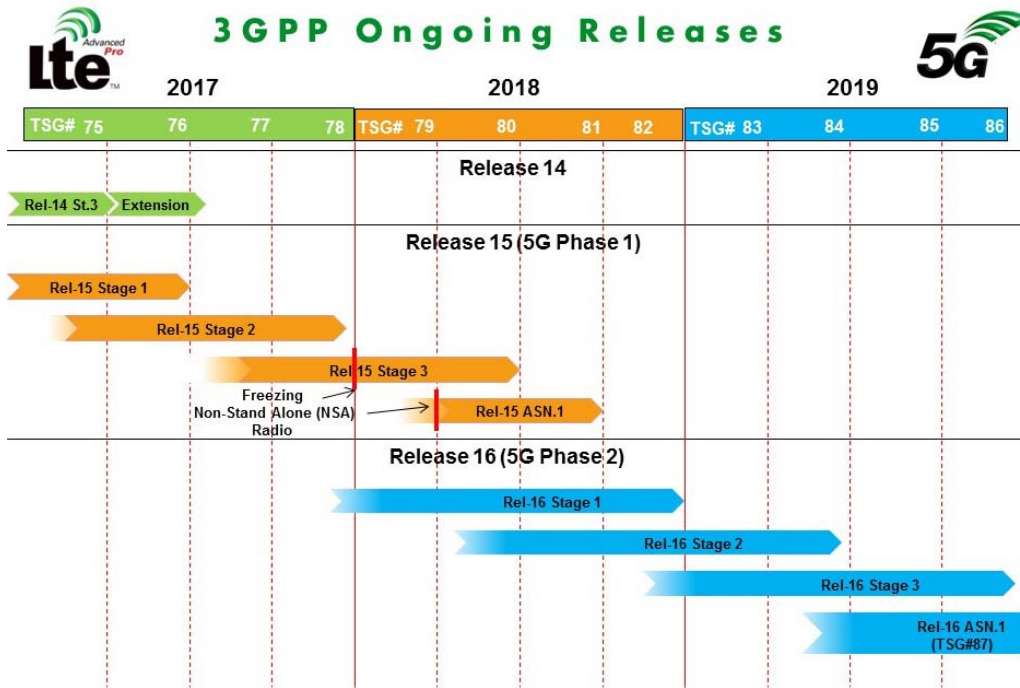
Τα 5G δίκτυα συνεπώς θα ολοκληρώσουν τηλεπικοινωνιακούς, υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους σε μια προγραμματιζόμενη ενοποιημένη υποδομή, που θα επιτρέπει τη βέλτιστη χρήση των κατανεμημένων πόρων. Η 5η γενιά είναι ένας υπηρεσιοστρεφής και βασισμένος στο λογισμικό μετασχηματισμός όπου:

- 1) Οι παίκτες δεν είναι μόνον οι κλασικοί παίκτες των τηλεπικοινωνιών αλλά υπάρχουν πολλαπλοί ενδιαφερόμενοι και εμπλεκόμενοι φορείς.
- 2) Το μέσο δεν είναι απλά μια παροχή bits αλλά μια πλατφόρμα που μας χαρίζει πολλαπλές δυνατότητες.
- 3) Δεν αναφερόμαστε μόνο σε κινητά τηλέφωνα αλλά σε αντικείμενα (things)
- 4) Όλες οι διαδικασίες αντιμετωπίζονται ως υπηρεσίες
- 5) Τα πρωτόκολλα αντιμετωπίζονται ως διεπαφές εφαρμογών (APIs)
- 6) Όπου δεν υπάρχει πλέον αποκλειστικό και αφιερωμένο υλικό (hardware) αλλά όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται, «ενορχηστρωμένοι πόροι» ώστε να εξυπηρετούν συγκεκριμένες λειτουργίες του δικτύου και εφαρμογές.

Επί της ουσίας, το δίκτυο 5G πρόκειται να είναι μια πλήρως προγραμματιζόμενη πλατφόρμα η οποία θα παρέχει πολλές και διάφορες, διαφορετικές μεταξύ τους, λειτουργίες «ως-υπηρεσία» (as-a-service). Όλες οι λειτουργίες του δικτύου 5G είναι εικονικά διαμορφωμένα στιγμιότυπα λογισμικού (virtualized software instances) που υλοποιούνται και τρέχουν σε κέντρα δεδομένων (data centers). Συνεπώς, στα δίκτυα 5G είναι κυρίαρχη η λογική του νέφους (cloud). «Φέτες» δικτύου (network slices) πρόκειται να δημιουργούνται δυναμικά μέσω λογισμικού και τεχνολογιών νέφους για να προσφέρουν διαφοροποιημένες υπηρεσίες για χρήση από συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι «φέτες» του δικτύου που θα δημιουργούνται κατ' αυτόν τον τρόπο, μπορούν να ιδωθούν ως ένα είδος virtual δικτύου κατά παραγγελία, με συγκεκριμένα, κάθε φορά, χαρακτηριστικά (επιδόσεις δικτύου, ασφάλειας, ποιότητας υπηρεσίας, τρόπου χρέωσης, κλπ.) ανάλογα με την εφαρμογή ή την υπηρεσία που θα καλείται να εξυπηρετήσει. Κατ' αυτόν τον τρόπο, πολλά λογικά δίκτυα πρόκειται να μοιράζονται τους ίδιους πόρους. Το συνολικό δίκτυο δε, θα χτιστεί με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να είναι σε θέση να εξυπηρετήσει με επιτυχία τόσο σημερινές εφαρμογές και υπηρεσίες, όσο και μελλοντικές, που σήμερα δε μπορούμε καν να φανταστούμε. Η προτυποποίηση των συστημάτων της επόμενης γενιάς (5G) βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη, καθώς ο οργανισμός 3GPP έχει αρχίσει τη διαδικασία προτυποποίησης 5G ήδη από τον Σεπτέμβριο του 2015. Η Έκδοση Προδιαγραφών 15, η οποία αποτελεί την πρώτη συστηματική έκδοση για τα δίκτυα 5G αναμένεται να είναι συνολικά έτοιμη περί τα τέλη του 2018.

Όπως όμως φαίνεται και από τα ακόλουθα διαγράμματα του 3GPP, η πρώτη προδιαγραφή 3GPP 5G σχετικά με το New Radio (NR) που θα είναι μέρος της Έκδοσης 15 του παγκόσμιου προτύπου 5G, αποφασίστηκε πρόσφατα (Μάρτιος 2017) να επιταχυνθεί, με την εισαγωγή δύο ενδιάμεσων ορόσημων: ολοκλήρωση μιας παραλλαγής που ονομάζεται Non-Standalone (NSA) 5G NR και η οποία θα είναι ήδη έτοιμη από το τέλος του 2017 και μιας δεύτερης παραλλαγής Standalone (SA) 5G NR και η οποία θα

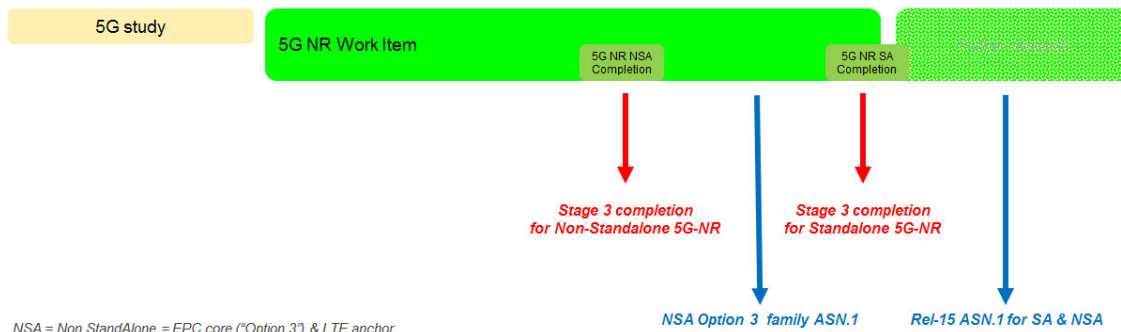
είναι έτοιμη από τα μέσα (Ιούνιος) του 2018. Αυτά τα ενδιάμεσα ορόσημα θα επιτρέψουν δοκιμές και εφαρμογές μεγάλης κλίμακας που βασίζονται σε 3GPP ήδη από το 2018.



5G-NR eMBB workplan



RAN #74		RAN #75		RAN #78			RAN #80 (Rel-15 completion)		
2016		2017				2018			
Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	



NSA = Non StandAlone = EPC core ("Option 3") & LTE anchor
SA = StandAlone

"Stage 3" is the completion of the technical specification

"ASN.1" is the pseudo-code that is used to turn the technical specification into interoperable software

Φυσικά, η ολοκλήρωση των προδιαγραφών 5G πρέπει να συντονιστεί με τη διαθεσιμότητα των συσκευών που θα είναι σε θέση να χειριστούν τη νέα τεχνολογία στις διάφορες νέες περιοχές του φάσματος, ενώ παράλληλα, οι νέες φασματικές περιοχές θα πρέπει να διατίθενται έγκαιρα, ούτως ώστε οι πάροχοι να είναι σε θέση να λανσάρουν το 5G.

Γενικώς, υπάρχει ένα ιδιαίτερα έντονο ενδιαφέρον παγκοσμίως για την περαιτέρω επιτάχυνση των υλοποιήσεων 5G που θα βασίζονται στο πρότυπο.

Πιλοτικές υλοποιήσεις δικτύων 5G προς μαζική χρήση αντίστοιχων υπηρεσιών κυρίως σε συνδυασμό με μεγάλα παγκόσμια αθλητικά γεγονότα, αναμένονται ήδη από το 2018:

- 1) Χειμερινοί Ολυμπιακοί Αγώνες στην Pyeongchang N. Κορέα
- 2) Επιλεγμένες υπηρεσίες 5G στη Στοκχόλμη και στο Τάλιν
- 3) Παγκόσμιο Κύπελλο Ποδοσφαίρου στη Ρωσία

Εμπορικές υλοποιήσεις του 5G βασισμένες στην Έκδοση 15 του προτύπου, αναμένονται από το 2019 ενώ η πρώτη ευρείας κλίμακας εμπορική υλοποίηση αναμένεται να είναι εκείνη για τους θερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες στο Τόκυο το 2020 .

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων της επόμενης γενιάς δεν είναι μόνον η αναβάθμιση των ευρυζωνικών συνδέσεων αλλά και η προσθήκη πολλών νέων υπηρεσιών. Αυτές οι υπηρεσίες και οι νέες εφαρμογές προβλέπεται να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο ζωής και απασχόλησης στο κοινωνικό περιβάλλον. Είναι δεδομένο ότι οι κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις του μέλλοντος θα περιλαμβάνουν εκτός των άλλων την επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων και του νέφους, μεταξύ των ανθρώπων και αντικειμένων, καθώς και μεταξύ αντικειμένων.

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει χωρίσει τις υπηρεσίες των 5G δικτύων σε τρεις μεγάλες κατηγορίες αναμενόμενων περιπτώσεων χρήσης (use cases):

α) τις υπηρεσίες **εμπλουτισμένης Κινητής Ευρυζωνικότητας** - enhanced Mobile BroadBand (eMBB), που θα χρησιμοποιούν μεγάλο εύρος ζώνης και θα απαιτούν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, για την παροχή εξαιρετικής κάλυψης και ομοιόμορφης συνδεσιμότητας παντού. Προβλεπόμενες σχετικές υπηρεσίες αποτελούν το HD video, οι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας (virtual reality), ή οι υπηρεσίες επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality),

β) τις υπηρεσίες **εξαιρετικά Αξιόπιστων Επικοινωνιών Χαμηλής Καθυστερήσης** - ultra Reliable Low-Latency Communications (uRLLC) υψηλής χωρητικότητας και ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων για την παρακολούθηση και τον απομακρυσμένο έλεγχο κρίσιμων διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Παραδείγματα: έλεγχος βιομηχανικών διαδικασιών, δίκτυα αισθητήρων, αυτοματοποίηση της διανομής ενέργειας, απομακρυσμένος έλεγχος κρίσιμων μηχανημάτων (εγχειρήσεις/υπηρεσίες υγείας, αυτόνομη οδήγηση και χειρισμός βαρέων οχημάτων ή μηχανημάτων γενικότερα κλπ.) και

γ) οι υπηρεσίες **μαζικής Επικοινωνίας μεταξύ μηχανών** - massive Machine Type Communications (mMTC) για την παροχή ευρείας κάλυψης και βαθιάς διείσδυσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους για εκατοντάδες χιλιάδες συσκευών ανά km². Επίσης, για την παροχή απανταχού συνδεσιμότητας με χαμηλή πολυπλοκότητα υλικού και λογισμικού (hw και sw) (και άρα χαμηλού κόστους) και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Παραδείγματα: παρακολούθηση και αυτοματοποίηση κτιρίων, ευφυής γεωργία, ευφυής εφοδιαστική αλυσίδα (logistics), παρακολούθηση και διαχείριση στόλου, υλοποιήσεις ευφυών πόλεων - smart cities κλπ.

Οι τεχνολογικές απαιτήσεις για τις τόσο διαφορετικές υπηρεσίες που προβλέπονται από τα δίκτυα 5G είναι πολύ μεγάλες και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Για παράδειγμα απαιτείται μέσος ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας της τάξης των 300- 500 Mbps, ενώ ο μέγιστος ρυθμός πρέπει να μπορεί να φθάσει ή και να ξεπεράσει τα 20 Gbps στην κατερχόμενη ζεύξη (Downlink) και τα 10Gbps στην ανερχόμενη ζεύξη (Uplink). Οι απαιτούμενοι χρόνοι αντίδρασης (latency/καθυστέρηση) στο δίκτυο ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση χρήσης κυμαίνονται μεταξύ 4 και 0,5 ms. Η κάλυψη των δικτύων πρέπει να πλησιάζει το 100%, ενώ η προσφερόμενη αξιοπιστία να είναι εξαιρετικά υψηλή (99,999%). Θα πρέπει η κατανάλωση ενέργειας να είναι 1000 φορές μικρότερη. Όσον αφορά στο πλήθος των συνδεδεμένων συσκευών και αντικειμένων αναμένονται 10 ως και 100 φορές περισσότερες συσκευές με 30 φορές μεγαλύτερη χωρική πυκνότητα. Τέλος απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας επικοινωνίας σε σχέση με τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών.



Για να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί μέχρι το 2030, υπολογίζεται ότι απαιτείται 10.000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα συστημάτων, μετρούμενη σε bps/Hz/km². Ανατρέχοντας στο βασικό νόμο του Shannon για τη χωρητικότητα, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τρεις παράγοντες που πολλαπλασιαστικά μπορούν να δώσουν την αύξηση στην απαιτούμενη χωρητικότητα. Ο πρώτος παράγοντας είναι μια αύξηση κατά 10 φορές στη φασματική αποδοτικότητα μετρούμενη σε bps/Hz, η οποία θα επιτευχθεί με τη χρήση τεχνικών massive MIMO, δηλαδή με τη χρήση δεκάδων ή και εκατοντάδων κεραιών στους σταθμούς βάσης σε συνδυασμό με τεχνικές περιορισμού των παρεμβολών (π.χ. CoMP). Ο δεύτερος παράγοντας είναι μια αύξηση κατά 20 φορές στο διαθέσιμο φάσμα, η οποία είναι εφικτή με τη απόδοση νέων διαύλων τόσο σε περιοχές συχνοτήτων μικρότερων των 6 GHz, όσο και στις λεγόμενες χιλιοστομετρικές ζώνες συχνοτήτων (mmWave bands), ιδιαίτερα σε αυτές που εκτείνονται από τα 30 GHz ως τα 100 GHz. Ο τρίτος παράγοντας είναι μια αύξηση κατά 50 φορές στο πλήθος των σταθμών βάσης ανά km², κοινώς αυτό που αποκαλείται πυκνωση δικτύου, η οποία στηρίζεται στην τοποθέτηση πολύ περισσότερων και πιο πυκνά τοποθετημένων σταθμών βάσης όλων των ιεραρχικών επιπέδων (macro, micro, pico, femto) και η οποία προσφέρει μια πολύ πυκνή χωρική επαναχρησιμοποίηση των συχνοτικών διαύλων. Αυτός ο παράγοντας μας οδηγεί στη βασική σχεδιαστική προσέγγιση των ραδιο-δικτύων που καλείται “ετερογενή δίκτυα”.

Ετερογενή Δίκτυα: Η βασική σχεδιαστική προσέγγιση των τρεχόντων και μελλοντικών ραδιο-δικτύων

Η αρχιτεκτονική προσέγγιση που αποτελεί τη βάση των σημερινών δικτύων, αλλά αναμένεται να αποτελέσει και θεμέλιο λίθο της επόμενης γενιάς συστημάτων, είναι εκείνη της ανάπτυξης ετερογενών δικτύων. Ένα ετερογενές δίκτυο είναι εκείνο το δίκτυο που εμπεριέχει ένα πλήθος διαφορετικών τεχνολογιών ραδιο-πρόσβασης φωνής και δεδομένων (2G, 3G και 4G), καθώς και πολλαπλών τύπων κόμβων πρόσβασης (*macro, micro, pico και femto*), οι οποίες συμβάλλουν από κοινού στην απρόσκοπτη υποστήριξη υψηλής κάλυψης, χωρητικότητας και ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζοντας άριστα επίπεδα παρεχόμενων υπηρεσιών στους τελικούς συνδρομητές.

Η συνύπαρξη των διαφορετικών ραδιο-τεχνολογιών οφείλεται κυρίως σε τεχνολογικούς λόγους, καθώς η ταυτόχρονη παροχή υψηλών επιπέδων υπηρεσιών φωνής και δεδομένων μπορεί να υποστηριχθεί συνδυαστικά από τις επιμέρους τεχνολογίες. Οφείλεται όμως και σε οικονομοτεχνικούς λόγους με βάση τις διαχρονικές επενδύσεις των παρόχων επικοινωνιών στις υποδομές των δικτύων. Από την πλευρά του χρήστη, η συνύπαρξη των τεχνολογιών είναι διάφανη καθώς τα σύγχρονα 'έξυπνα κινητά τηλέφωνα' υποστηρίζουν όλες τις τεχνολογίες και επιλέγουν αυτόματα την κατάλληλη ανάλογα με το είδος της ζητούμενης υπηρεσίας, ακολουθώντας ταυτόχρονα πολιτικές βελτιστοποίησης χρήσης των διαθέσιμων πόρων του συνολικού δικτύου.

Με τον όρο επίπεδο (*layer*) ή στρώμα (*tier*) δικτύου ορίζουμε μία τοπολογία κόμβων ραδιο-πρόσβασης, ευρέως γνωστών ως σταθμών βάσης (*base stations*), που καλύπτουν αντίστοιχες κυψέλες (*cells*) με ομογενή χαρακτηριστικά, ως προς το μέγεθος (*cell size*), τις διαστάσεις της κατασκευής και τη μέγιστη ισχύ εκπομπής. Παραδοσιακά τα ραδιο-δίκτυα σχεδιάζονταν και εξαπλώνονταν με βάση ένα μοναδικό στρώμα, γνωστό ως μακρο-κυψελωτό ή απλά "macro". Οι macro κυψέλες εξυπηρετούν μία ευρεία γεωγραφική περιοχή ακτίνας από μερικές εκατοντάδες μέτρα (500 m περίπου σε τυπικά αστικά περιβάλλοντα) (10 km περίπου σε τυπικά αγροτικά περιβάλλοντα), ανάλογα με το προφίλ της επιθυμητής περιοχής κάλυψης (πυκνή αστική, αστική, αγροτική, κλπ.). Οι συγκεκριμένοι σταθμοί βάσης τοποθετούνται έπειτα από προσεκτικό σχεδιασμό (*network planning*) και συνήθως σε ειδικές κατασκευές (*radio towers*) που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους, ενώ η ισχύς τους είναι κατάλληλη ώστε να παρέχουν κάλυψη ακόμη και σε εσωτερικούς χώρους, και υποστηρίζουν πολλαπλές φασματικές ζώνες, δηλαδή 800, 900, 1800, 2100, και 2600 MHz. Τα τωρινά δίκτυα φωνής και δεδομένων 2G, 3G, 4G έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με βάση κυρίως τη συγκεκριμένη τοπολογία μακρο-κυψελών.

Η ενσωμάτωση μικρών κυψελών "small-cells" όπου υπάρχει ανάγκη για τη βέλτιστη κάλυψη των χρηστών, οι οποίες είναι μικρότερης εμβέλειας σε σχέση με τις κυψέλες macro, συνιστά μία πάγια πρακτική τοπολογικής εξέλιξης των σύγχρονων ραδιο-δικτύων. Οι κυψέλες small-cells διαθέτουν εμβέλεια από λίγα μέτρα (*femto-cells*) έως μερικές δεκάδες (*pico*) ή και εκατοντάδες μέτρα (*micro*). Έχουν ισχύ εκπομπής από 100 mW (*femto*) έως και 10 W (*micro*), ενώ τοποθετούνται είτε σε εξωτερικούς (*micro/pico*) είτε σε εσωτερικούς χώρους (*pico/femto*). Για τη λειτουργία τους συνήθως χρησιμοποιούνται υψηλότερες φέρουσες συχνότητες, π.χ. 1800, 2100 και 2600 MHz (και μελλοντικά 3500 MHz ή και παραπάνω).

Οι *micro-cells* τοποθετούνται τυπικά σε εξωτερικό χώρο, σε χαμηλό ύψος, και καλύπτουν κυρίως περιοχές δημοσίου ενδιαφέροντος με αυξημένες ανάγκες τηλεπικοινωνιακής κίνησης (π.χ. στάδια, γήπεδα, πάρκα, στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας, στύλους φωτισμού, μέχρι και σε καπάκια φρεατίων στους δρόμους σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές κλπ.). Οι ίδιοι σταθμοί μπορούν να προσφέρουν κάλυψη

και σε εσωτερικούς χώρους. Οι pico-cells έχουν ακτίνα κάλυψης μερικών δεκάδων μέτρων και καλύπτουν συνήθως απαιτητικούς εσωτερικούς χώρους ή εσωτερικούς κι εξωτερικούς χώρους δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως πολυ-όροφες εγκαταστάσεις, σταθμούς τραίνων, στάσεις δημόσιας συγκοινωνίας, στύλους φωτισμού, μέχρι και σε καπάκια φρεατίων στους δρόμους σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές κλπ. Οι femto-cells τοποθετούνται σε οικιακούς χώρους και λειτουργούν βάσει ενός μοντέλου περιορισμένης πρόσβασης. Άρα συνυπάρχουν τα διαφορετικά ιεραρχικά επίπεδα κυψελών, που δρουν συνδυαστικά και συνεργατικά καθώς κάθε επίπεδο επικεντρώνεται σε διαφορετικά προφίλ κάλυψης και τηλεπικοινωνιακής κίνησης, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τις συνεχείς επενδύσεις σε εναλλακτικές υποδομές ραδιο-πρόσβασης.

Συνεπώς, ο όρος “ετερογενή δίκτυα” χρησιμοποιείται για να περιγράψει τόσο τα σημερινά όσο και τα μελλοντικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών, τα οποία χρησιμοποιούν πολλαπλές τεχνολογίες ραδιο-πρόσβασης αλλά και πολλαπλά ιεραρχικά επίπεδα κυψελών, ώστε να βελτιστοποιούν κάθε φορά τα επίπεδα της παρεχόμενης κάλυψης αλλά και της χωρητικότητας και ποιότητας υπηρεσιών των συνδρομητών που κινούνται σε ετερογενή περιβάλλοντα. Χωρίς τη χρήση της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, καθίσταται αδύνατη η παροχή υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών με τα απαιτούμενα κάθε φορά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις απόδοσης δικτύου, τώρα και στο μέλλον.

Υπάρχουν πέντε βασικοί λόγοι για τους οποίους κρίνεται απολύτως απαραίτητη η *ταυτόχρονη και αρμονικά συνεργατική χρήση και των δύο τύπων κυψελών και ο εμπλουτισμός της υπάρχουσας υποδομής macro με small-cell όπου υπάρχει ανάγκη*:

- 1) Αν και οι τρέχουσες υποδομές έχουν φθάσει σε υψηλό επίπεδο ωριμότητας υπάρχουν παρόλα αυτά σήμερα μικρές χωρικές νησίδες εκτός κάλυψης λόγω συνήθως των συνθηκών διάδοσης στο τοπικό περιβάλλον (π.χ. σκίαση από ψηλά κτήρια, απότομες αλλαγές υψομέτρου κλπ.). Η βέλτιστη τεχνική αντιμετώπισης του προβλήματος κάλυψης των δικτύων είναι η προσθήκη small-cells στις εν λόγω περιοχές.
- 2) Στα κυψελωτά δίκτυα, η ποιότητα υπηρεσιών που απολαμβάνουν οι χρήστες εξαρτάται άμεσα από το λόγο της ισχύος του επιθυμητού σήματος προς την ισχύ του θορύβου και των παρεμβολών. Στα όρια της κάλυψης των macrocells το πρόβλημα μπορεί να γίνει έντονο, γιατί η ωφέλιμη ισχύς προς την ισχύ των γειτονικών Σ.Β. μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Το ζήτημα της υποβάθμισης της ποιότητας του σήματος στα όρια των κυψελών αντιμετωπίζεται με την επιλεκτική τοποθέτηση small-cells στις περιοχές με πρόβλημα.
- 3) Όταν το τηλεπικοινωνιακό φορτίο του επιπέδου macro είναι αυξημένο σε ζωτικά σημεία υψηλής ζήτησης (hot spots), είναι αναγκαία η τοποθέτηση small-cells, που στόχο έχει ακριβώς την ελάφρυνση (off-loading) του macro-cell.
- 4) Με το off-loading είναι επίσης δυνατή η περιστασιακή μείωση της ισχύος εκπομπής των macro-cells, οδηγώντας στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του ραδιο-δικτύου. Η μείωση αυτή γίνεται αυτόματα από το δίκτυο. Επίσης, έχουμε και μείωση της ισχύος εκπομπής των κινητών και κατά συνέπεια λιγότερη εκπεμπόμενη ακτινοβολία, αλλά και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών.
- 5) Τα small-cells πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα για την υποστήριξη νέων εφαρμογών, που θα προσφέρονται από έναν τεράστιο πληθυσμό μικρών συσκευών και αισθητήρων, που θα είναι τοποθετημένοι διάχυτα στο περιβάλλον και που θα έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Ταυτόχρονα, υπάρχουν επτά πολύ σημαντικοί λόγοι που σχεδιαστικά επιβάλλουν όχι απλά τη διατήρηση του ιεραρχικού επιπέδου macro αλλά και την πύκνωσή του, καθώς και τη συνύπαρξη πολλαπλών ιεραρχικών επιπέδων macro, micro, pico, femto:

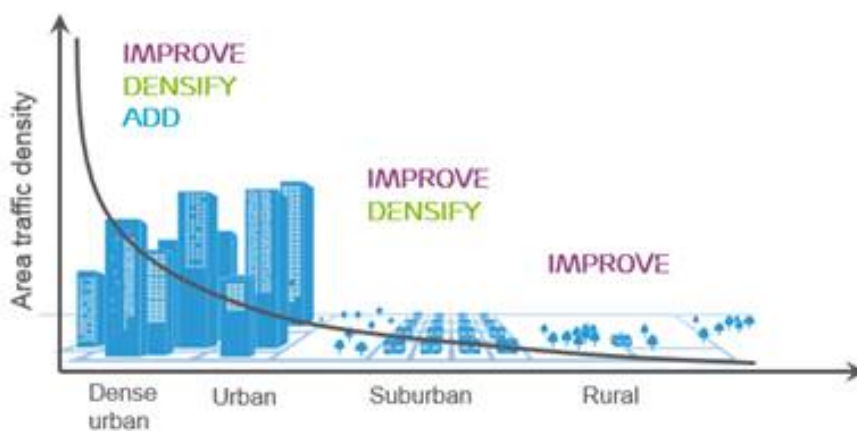
- 1) Για να μπορέσουμε να πετύχουμε κάλυψη ευρείας περιοχής από ψηλά (σε ορόφους πολυκατοικιών) ως χαμηλά στο επίπεδο του δρόμου, πρέπει να τοποθετήσουμε στις ταράτσες/απολήξεις υψηλών κτηρίων Σταθμούς Βάσης και να εκμεταλλευτούμε τους μηχανισμούς της διάδοσης, με πολύ σημαντικό εκείνο της περίθλασης, ώστε να δημιουργήσουμε μια ομπρέλα κάλυψης, που δεν είναι δυνατόν να προσφερθεί από κυψέλες micro ή pico.
- 2) Χρήστες που μετακινούνται με μεγάλες ταχύτητες και διανύουν μεγάλες περιοχές σε μικρά διαστήματα πρέπει να εξυπηρετούνται από macro-cells, ώστε να περιορίζεται η χρήση των πόρων του φάσματος για σηματοδοσία και να μεγιστοποιείται η φασματική αξιοποίηση για την απρόσκοπτη προσφορά των ζητούμενων υπηρεσιών στους χρήστες. Σημειώνεται επομένως πως η αξιόπιστη διαχείριση της κινητικότητας εξυπηρετείται πολύ πιο αποτελεσματικά από το ιεραρχικό επίπεδο των macro-cells.
- 3) Ένα σημαντικό κομμάτι των ραδιο-πόρων των Σταθμών Βάσης του συστήματος χρησιμοποιείται για σηματοδοσία και έλεγχο. Με τη συνύπαρξη macro και small cells δίνεται η δυνατότητα διαχείρισης του μεγαλύτερου ποσοστού σηματοδοσίας στο επίπεδο των macrocells ενώ ταυτόχρονα η χρήση των πόρων των small cells γίνεται αποκλειστικά για σκοπούς μετάδοσης ωφέλιμης πληροφορίας.
- 4) Επειδή πολλές φορές η λειτουργία των small cells είναι περιστασιακή, οι κόμβοι αυτοί είναι εφοδιασμένοι με τεχνικές δυναμικής ενεργοποίησης/απενεργοποίησης (ON-OFF). Κατά συνέπεια, η συντονισμένη διαχείριση των small-cells διενεργείται στο ανώτερο ιεραρχικό επίπεδο που είναι τα macro-cells.
- 5) Σε περιπτώσεις περιορισμένης διαθεσιμότητας/συνδεσιμότητας στην περιοχή εγκατάστασης των small cells με το δίκτυο κορμού, αξιοποιούμε το επίπεδο macro για τη μεταφορά της κίνησης από τα small cells στο δίκτυο κορμού.
- 6) Η απαίτηση για αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης οδήγησε στην παροχή της τεχνολογικής δυνατότητας συνάθροισης πόρων από πολλαπλά ιεραρχικά επίπεδα. Στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιούνται πόροι (π.χ. διαύλοι) από macro και micro ή pico cells ταυτόχρονα με εξαιρετικό όφελος για τον τελικό χρήστη.
- 7) Σε πολλές περιοχές κυρίως αστικές, η πυκνότητα υποδομών σε σταθμούς ιεραρχικού επιπέδου macro απέχει αρκετά από την αναγκαία εκείνη πυκνότητα που θα διασφαλίσει το ζητούμενο 100% της κάλυψης. Σίγουρα δε απέχει πολύ από την αντίστοιχη πυκνότητα που συναντούμε σε δίκτυα άλλων προηγμένων χωρών.

Οι στρατηγικές εξέλιξης των υπαρχουσών υποδομών ραδιο-πρόσβασης, βασίζονται παγκοσμίως στο υπόδειγμα των ετερογενών δικτύων, και συγκεκριμένα στους ακόλουθους τέσσερις άξονες:

- 1) Στη συνύπαρξη των τεχνολογιών 2G (GSM), 3G/3.5G (WCDMA/HSPA), 4G (LTE) και 4G+ (LTE-A, LTE-A Pro) και στην εισαγωγή των δικτύων 5G.
- 2) Στη βελτίωση των δυνατοτήτων που παρέχει η υποδομή macro, μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών επεξεργασίας σήματος από πολλαπλές κεραίες (MIMO και massive-MIMO) και της υποστήριξης νέων φερουσών (διαύλων).
- 3) Στην πύκνωση της υποδομής macro για την αντιμετώπιση προβλημάτων κάλυψης/παρεμβολής και την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

- 4) Στην ενσωμάτωση κόμβων small-cells σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους για την ελάφρυνση του ιεραρχικού επιπέδου macro και τη «στοχευμένη» κάλυψη γεωγραφικών ζωνών υψηλής ζήτησης φορτίου. Η πύκνωση της υποδομής (είτε αναφερόμαστε σε macro είτε σε small-cells) αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη του στόχου αύξησης της χωρητικότητας του δικτύου 5G έως και 10.000 φορές σε σχέση με τα τωρινά δίκτυα.

Συμπερασματικά, για να ικανοποιήσουμε τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για μεγαλύτερη χωρητικότητα και υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, συστήνεται μια προσέγγιση τριών βημάτων: α) βελτίωση του υπάρχοντος δικτύου macro-cells, β) πύκνωση του επιπέδου macro και γ) προσθήκη μικροκυψελών – small cells. Σημειώνεται πως ένα από τα κύρια εργαλεία για τη βελτίωση υπάρχοντος δικτύου macro-cells είναι η προσθήκη επιπλέον φάσματος. Εάν δε, απαιτείται περαιτέρω πύκνωση δικτύου, η προσθήκη περισσότερων macro cells είναι πάντα ο πιο αποτελεσματικός τρόπος.



Βέλτιστη προσέγγιση για την ανάπτυξη ετερογενών δικτύων

Περαιτέρω, η υλοποίηση του επιπέδου των micro cells θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική για την ανάπτυξη δικτύων 5G, όπου το μεγαλύτερο μέρος της χωρητικότητας θα είναι διαθέσιμο μέσω ζωνών συχνοτήτων mmWave, οι οποίες έχουν εξ ορισμού μικρή έως πολύ μικρή περιοχή κάλυψης. Σημειώνεται επίσης πως για την αποτελεσματική ανάπτυξη ετερογενών δικτύων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατεθεί η εκάστοτε βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση των μικροκυψελών, ούτως ώστε αυτές να είναι σε θέση να εκφορτώσουν σημαντικό ποσοστό της συνολικής κίνησης από το επίπεδο των macro cells.

Χρήση υφιστάμενων και νέων φασματικών περιοχών

Τα δίκτυα 5G θα χρησιμοποιούν το υπάρχον φάσμα αλλά απαιτούν την χρήση φασματικών περιοχών μέχρι τα 90 GHz .

Πιο συγκεκριμένα, φασματικές περιοχές άνω των 20 GHz είναι απαραίτητες για την επίτευξη υψηλών ρυθμών έως τα 20 Gbps. Παράλληλα φασματικές περιοχές κάτω των 6 GHz θα υποστηρίξουν μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλά latencies με επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων υποδομών. Τέλος γενική κάλυψη (εντός και εκτός κτιρίων) και υποστήριξη κρίσιμων υπηρεσιών θα γίνει με χρήση φασματικών περιοχών κάτω του 1 GHz.

Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης οι φασματικές επιλογές αφορούν κυρίως στα 3.5/4.5 GHz, 28/39 GHz και 600/700 MHz.

Συμπέρασμα

Η διατήρηση και επέκταση όπου χρειάζεται του ιεραρχικού επιπέδου macro τόσο σε αστικά περιβάλλοντα όσο και σε αγροτικές περιοχές, η συνύπαρξη πολλαπλών ιεραρχικών επιπέδων macro, micro, pico, femto, και η πύκνωση των Σταθμών Βάσης/κόμβων πρόσβασης συνιστούν όχι μόνο την κυρίαρχη αλλά και τη απαραίτητη προσέγγιση για την ομαλή λειτουργία των δικτύων και την περαιτέρω εξέλιξη των συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών από αναπτυξιακής, τεχνολογικής, κοινωνικής και οικονομικής πλευράς.