Hellenic Republic
INTERNATIONAL HELLENIC UNIVERSITY

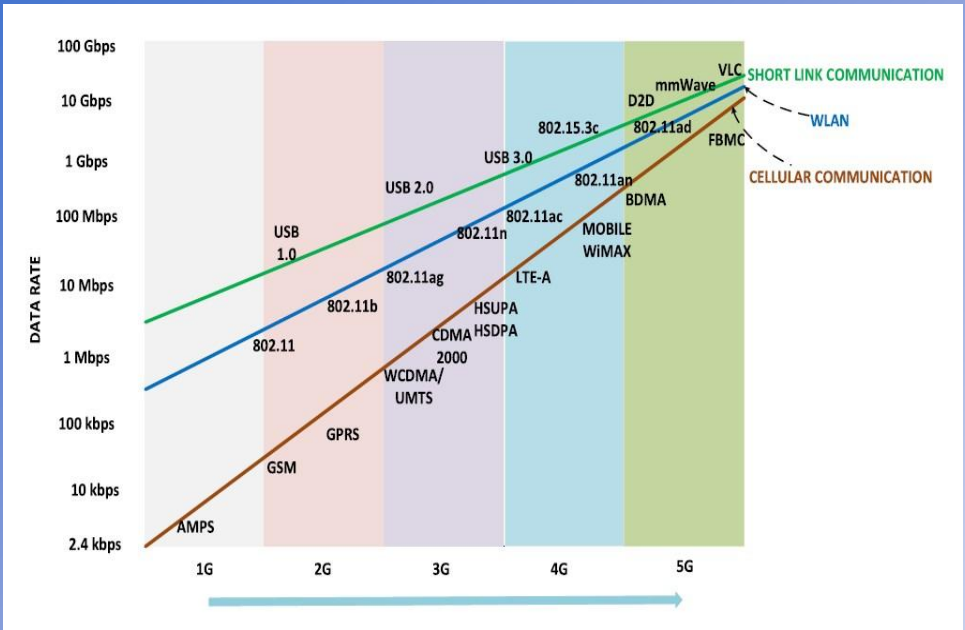
Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος

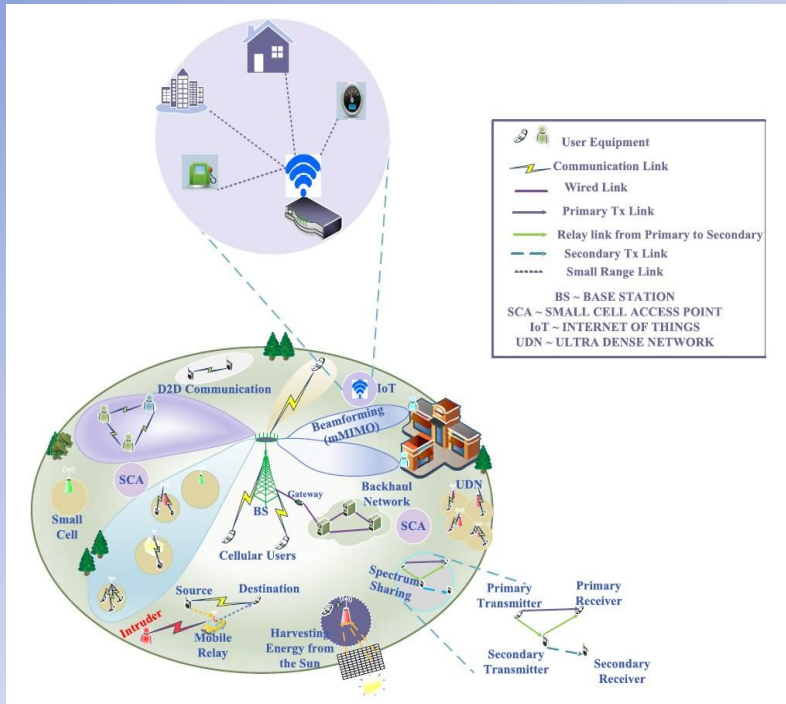
ΗΜΕΡΙΔΑ Go GREEN

Αναστάσιος Παπατσώρης, *Καθηγητής*
Διευθυντής Ερευνητικού Εργαστηρίου
Τηλεπικοινωνιών & Νέων Τεχνολογιών – ΤΝΤ
adp@teicm.gr

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Υπολογιστών & Τηλεπικοινωνιών

Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G

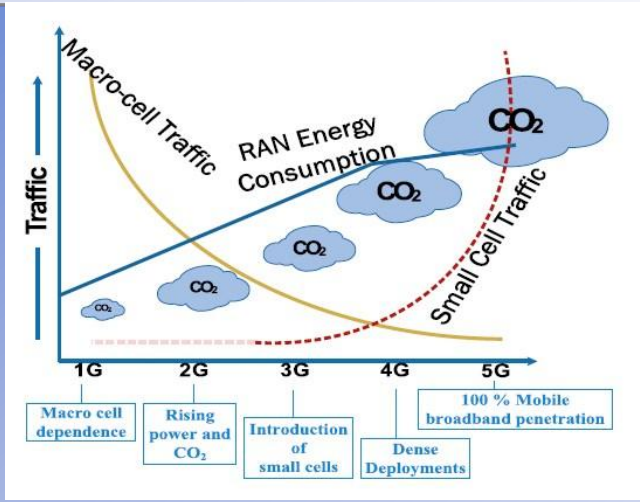




- Εξέλιξη ταχύτητας μετάδοσης στις διάφορες γενιές κθνητής τηλεφωνίας

- Τυπικό σενάριο υπηρεσιών δικτύου 5G
- Επίτευξη 1000x χωρητικότητας σε σχέση με 4G, απαιτεί μεγάλο εύρος ζώνης και κατανάλωση ενέργειας

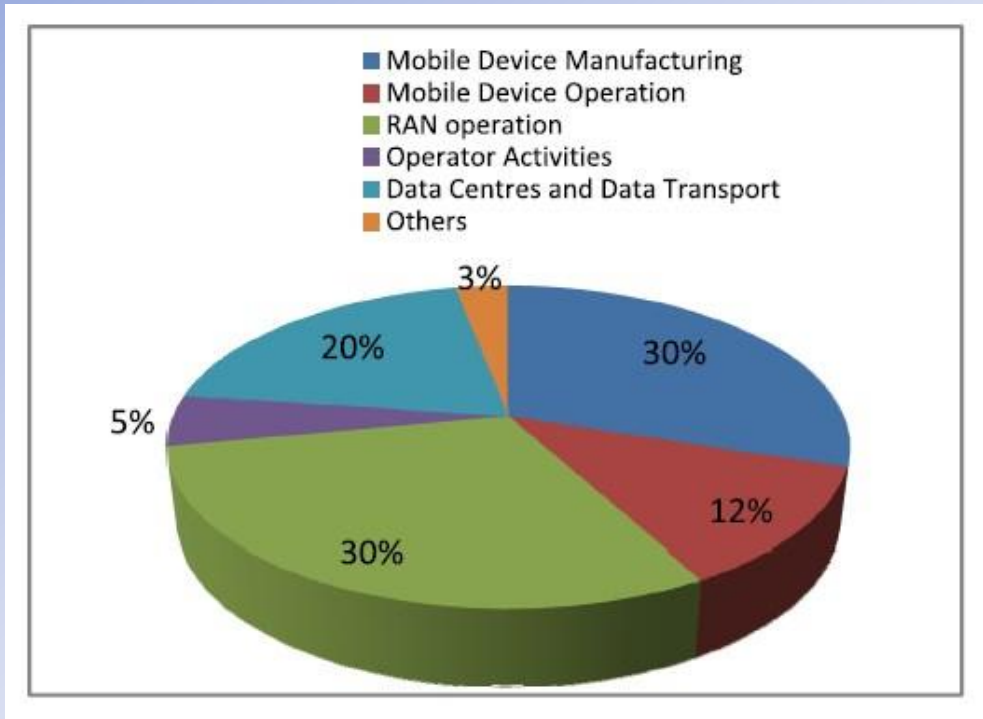
Ενεργειακή κατανάλωση ραδιοδικτύου κατά γενεά



S. No.	Feature	3G	4G	5G
1.	Carbon Dioxide Emissions	86 Mto	170 Mto	235 Mto
2.	No. of BS Sites	3.3millions	7.6millions	11.2millions
3.	Average power consumption per site	1.7kW	1.3kW	1.1kW
4.	BS density	4-5 BS/km^2	8-10 BS/km^2	40-50 BS/km^2
5.	Green Technology Used	High Efficiency Tracking	Green base stations, phantom cells, liquid cells, soft cells	D2D, massive MIMO, spectrum sharing
6.	Carbon footprint per mobile subscription	20kg	23kg	31kg
7.	Femto cell Power Consumption	10W	6W	5W (expected)
8.	RAN Electricity Consumption	49TWh	77TWh	86TWh
9.	Number of antennas at the base station	2	8	Up to 100
10.	Access Technology	WCDMA, CDMA2000	OFDMA, SC-FDMA	BDMA, FBMC
11.	Number of antennas at the SCA	-	-	3 antennas at the SCA
12.	Type of antenna used	Clip, high gain and outdoor antenna	Patch and slot antenna	Phased array antennas
13.	OPEX	Low	High	High
14.	SAR Values	High	Higher	Expected to reduce

Τι οδηγεί στην αύξηση των εκπομπών CO2 στα δίκτυα 5G

- Φορείς σε πολύ υψηλές συχνότητες
- Μεγάλη αύξηση του αριθμού χρηστών
- Ογκώδη συνδεσιμότητα
- **Εγκατάσταση πολύ μεγάλου αριθμού νέων BS**
- Οι εκπομπές CO2 σήμερα αποτελούν το 2% της παγκόσμιας εκπομπής. Αναμένεται να φτάσουν τους 345 εκατομμύρια τόνους το 2020.
- Μεγάλη αύξηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου πρόσβασης
- Το κόστος της ενέργειας ισοδυναμεί με το 30% του κόστους λειτουργίας ενός δικτύου

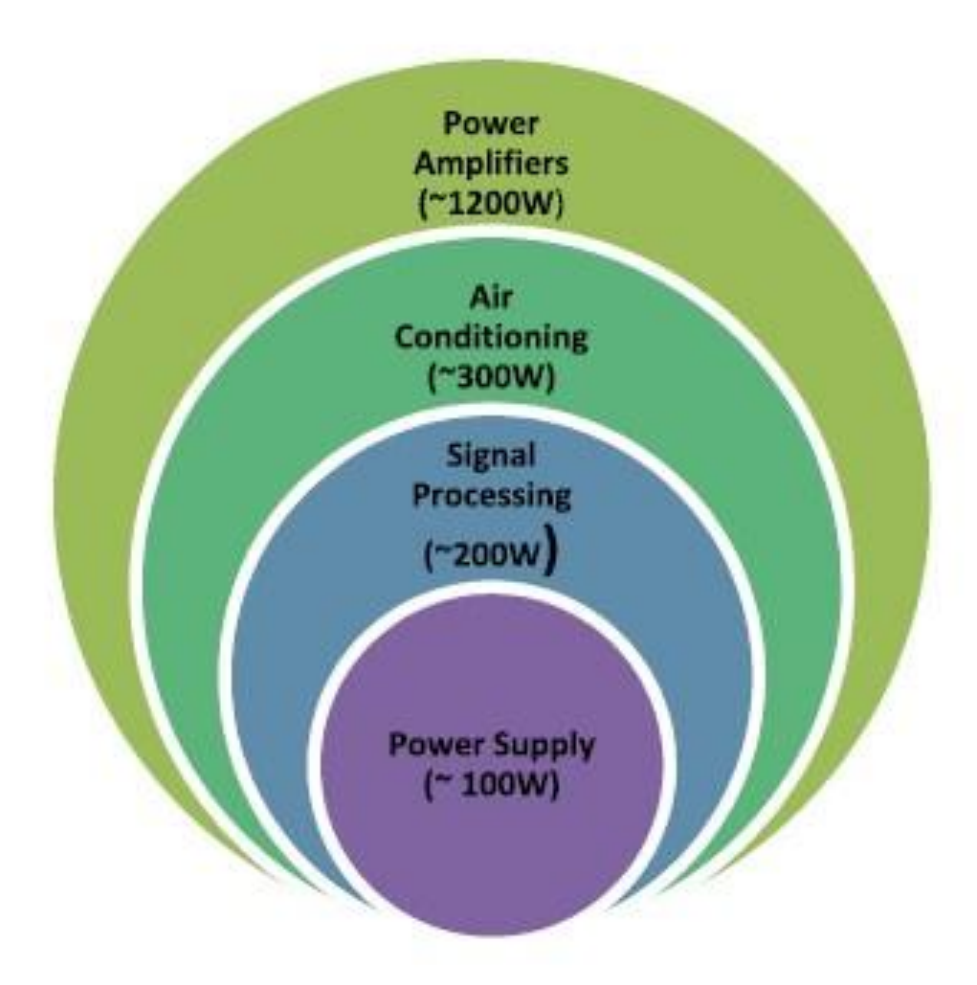


Ενεργειακή βελτιστοποίηση 5G

- Βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης BS
- Τεχνικές κατανομής ενέργειας
- Τεχνολογίες που υποστηρίζουν πράσινες επικοινωνίες σε δίκτυα 5G, όπως:
    - επικοινωνία μεταξύ συσκευών (D2D),
    - υπερ-πυκνά δίκτυα (VDNs),
    - Κοινή χρήση φάσματος (spectrum sharing),
    - Ογκώδες MIMO,
    - IoT

Βελτιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης σταθμού βάσης

- Περίπου 80% της ενέργειας του δικτύου πρόσβασης καταναλώνεται από τους σταθμούς βάσης
- Τεχνικές που βελτιώνουν την ενεργειακή κατανάλωση:
  - TANGO (Traffic Aware planning and Green Operation)
  - Νέος εξοπλισμός που χρησιμοποιεί fiber-to-the antenna και λιγότερα μέρη εγκατεστημένος από το 2012 και μετά παρουσιάζει 50% λιγότερη κατανάλωση
  - Ενσωμάτωση τεχνικών παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
  - Βιοκλιματική σχεδίαση καμπίνας
- Οι κατασκευαστές παρέχουν πλέον τεχνικές λύσεις που μειωνουν κόστη επένδυσης και λειτουργίας



Παραδείγματα ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων σταθμών βάσης

Green BS Site	Features
Tower Tube	▪ Co_2 emissions reduced up to 30% ▪ Lesser amount of feeder line loss ▪ Introduced by Ericsson ▪ OPEX reduced up to 40% ▪ Lower CAPEX
Capsule Site	▪ Introduced by Ericsson ▪ Highly suitable for installation in urban areas
Flexi Base Station	▪ Introduced by Nokia Siemens Network ▪ Possess ability to be managed remotely ▪ Supports use of renewable energy ▪ Can be upgraded to support new wireless technologies
SDR Soft Base station	▪ Number of elements greatly reduced, resulting in reduced power consumption ▪ Radio frequency unit capable of software programming ▪ Power consumption reduction by 75%
AirScale Base Station	▪ Introduced by Nokia ▪ Single RAN base station ▪ Ability to keep pace with the growing traffic ▪ Supports green communication ▪ Energy efficiency enhancement up to 60% ▪ Low cost
5G New Radio	▪ Introduced by Qualcomm ▪ Ultra low power ▪ Latency up to 1msec ▪ Transmission rate 3Gbps

Διάφορες τεχνικές μείωσης κατανάλωσης ενέργειας BS

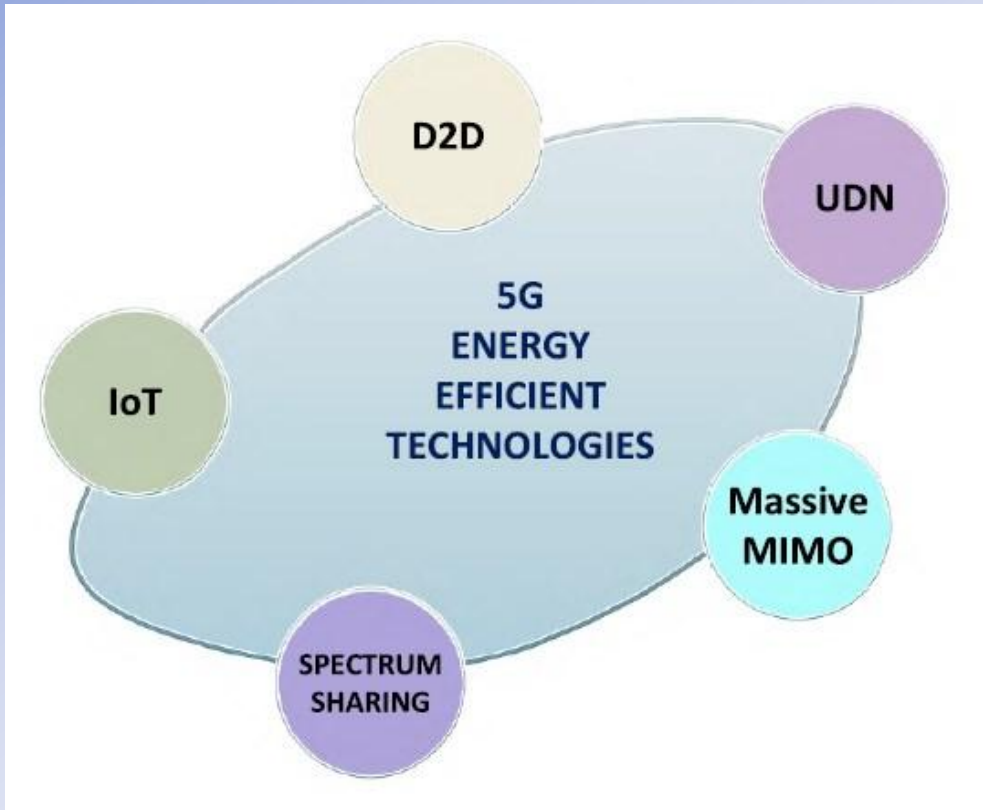
- Τοποθέτηση του BS σε κατάσταση ελαφράς ή βαθείας ύπνωσης, ανάλογα με την στιγμιαία κατανομή του τηλεπικοινωνιακού φορτίου
- Γενικά οι λύσεις είναι προσαρμοσμένες σε διάφορα πρακτικά σενάρια εφαρμογής. Μια γενικότερη μεθοδολογία (CRAPS) μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης βασίζεται στην υιοθέτηση τεχνικών προσαρμογής κεραιών και αλγορίθμων ελέγχου ισχύος και ύπνωσης κατά την ανάθεση καναλιών για την εξυπηρέτηση του φορτίου. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας από 25%-40%.

Δείκτες αξιολόγησης ενεργειακής απόδοσης συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών

- Ενεργειακή απόδοση: $$n_{EE} = \frac{Total\ Data\ Rate[bits/s]}{Total\ Power\ Consumption[W]}$$
- Πυκνότητα ενεργειακής απόδοσης: $$n_{AEE} = \frac{n_{EE}}{Area[km^2]}$$
- Λόγος ενεργειακής συγκομιδής: $$EHR = \frac{T_{EH}}{T_{total}}$$
- Φασματική απόδοση: $$BE = \frac{C[bits/s]}{Bandwidth[Hz]}$$

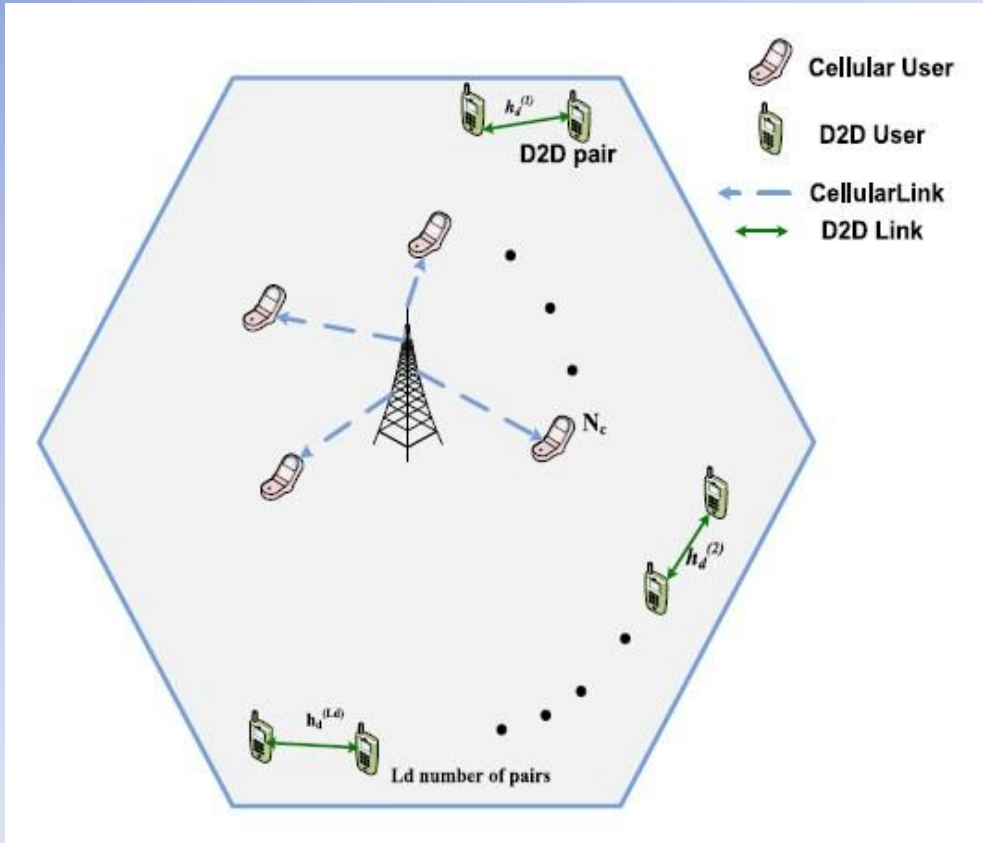
Ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές σε 5G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας

- Εκτιμάται ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών θα ξεπεράσει τα 50 δις! την επόμενη δεκαετία. Όλες αυτές οι συσκευές θα είναι συνδεδεμένες στο Νέφος για να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή.
- Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι αυξημένες αυτές απαιτήσεις, για τα δίκτυα 5G προβλέπεται η ενσωμάτωση εντός των σχετικών τεχνικών προτύπων μιας σειράς ενεργειακά αποδοτικών τεχνικών, όπως επικοινωνία μεταξύ συσκευών, υπερ-πυκνά δίκτυα, MIMO ευρείας κλίμακος, κοινή χρήση φάσματος και Διαδίκτυο των Πραγμάτων.



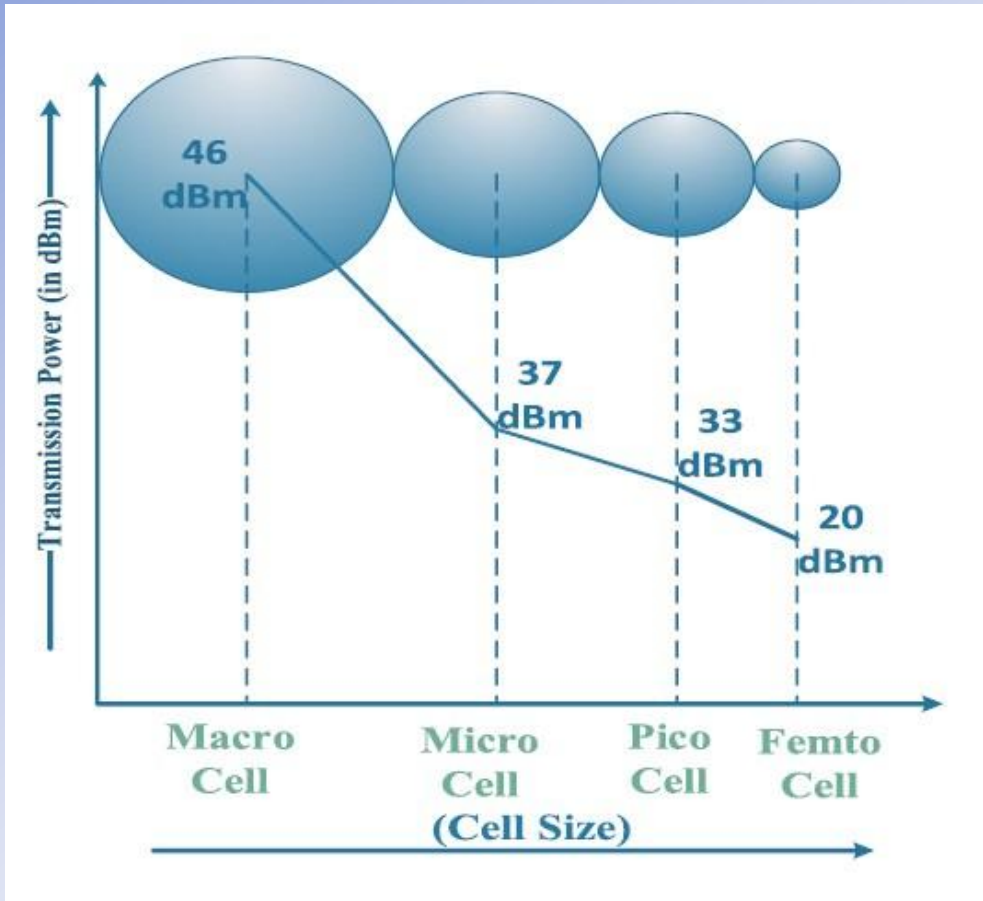
Επικοινωνία D2D

- Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών (D2D) θα εξασφαλίσει πέραν της αποτελεσματικής σύνδεσης χρηστών εντός της ίδιας κυψέλης και σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας καθότι πλέον δεν εμπλέκεται ο σταθμός βάσης.
- Οι χρήστες D2D δύνανται να επικοινωνούν με τρεις πιθανούς τρόπους εντός μιας κυψέλης: Με αποκλειστικότητα, με αναμετάδοση (relay) και με κλασσική σύνδεση στο BS (cellular link).
- Η επιτυχής εισαγωγή της επικοινωνίας D2D προϋποθέτει επιμήκυνση του χρόνου ζωής της μπαταρίας των συσκευών. Έτσι μεγάλη ερευνητική προσπάθεια εκδηλώνεται στις **τεχνολογίες μπαταριών** καθώς και σε τεχνικές ενεργειακής συγκομιδής (**Energy harvesting**).
- Οι συσκευές θα μπορούν να συλλέξουν ενέργεια από την ΗΜ ακτινοβολία ανοδικών και καθοδικών ζεύξεων διάφορων παρακείμενων ασύρματων δικτύων, συμπεριλαμβανομένου και του δικτύου 5G.



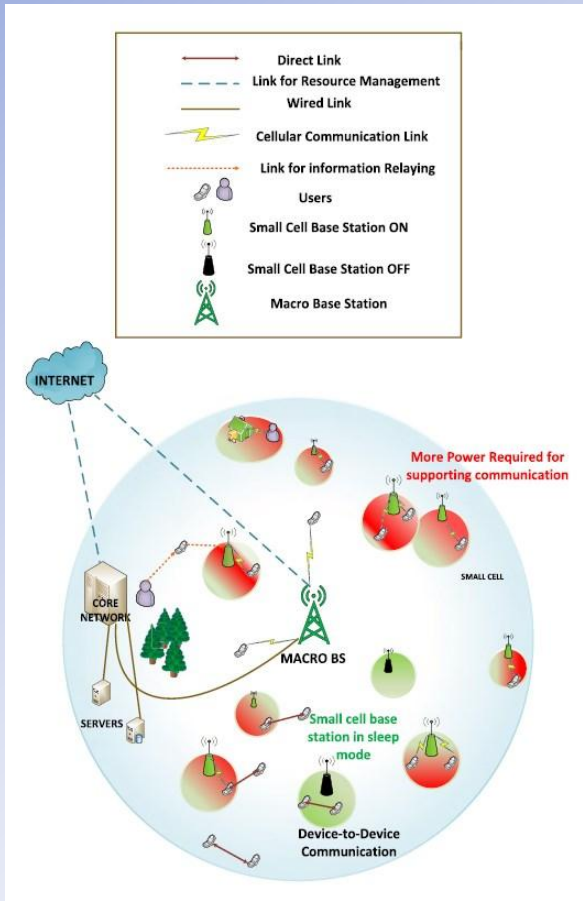
Υπερπυκνά δίκτυα (UDN)

- Η ενίσχυση της ραδιοκάλυψης με την ανάπτυξη μικρού μεγέθους κυψελών έχει επιφέρει σημαντική βελτίωση στην απόδοση του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης αλλά και της ενεργειακής απόδοσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.
- Η αντιμετώπιση της υψηλής ζήτησης για μετάδοση δεδομένων στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή πολύ μικρών κυψελών, γνωστών και ως femto-cells, οι οποίες παρουσιάζουν και πολύ βελτιωμένους δείκτες ενεργειακής απόδοσης.



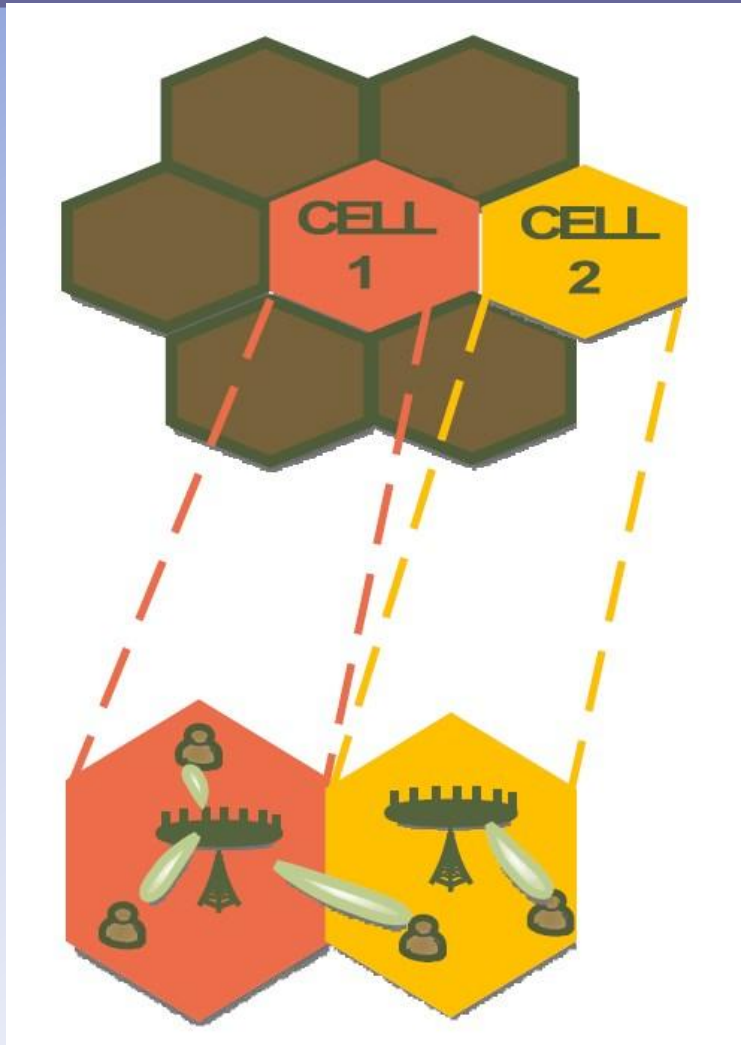
Υπερπυκνά δίκτυα (UDN)

- Προκειμένου όμως να επιτευχθεί συνολικό ενεργειακό όφελος απαιτείται πολύ προσεκτική σχεδίαση στην υλοποίηση των μικροκυψελών.
- Η εισαγωγή ενός αυθαίρετα μεγάλου αριθμού μικροκυψελών μπορεί να οδηγήσει στο αντίθετο αποτέλεσμα.
- Ο προσδιορισμός του πλήθους μικροκυψελών για δεδομένη κατανομή τηλεπικοινωνιακού φορτίου για το οποίο προκύπτει ενεργειακό όφελος αποτελεί τρέχον και σημαντικό αντικείμενο έρευνας.



Ευρείας κλίμακας τεχνικές MIMO

- Η τεχνική MIMO είναι μια μέθοδος η οποία πολλαπλασιάζει την χωρητικότητα μιας ασύρματης ζεύξης κάνοντας χρήση πολλών κεραιών μετάδοσης και λήψης προκειμένου να εκμεταλλευτεί το φαινόμενο της πολυόδευσης.
- Τα συστήματα MIMO έπαιξαν και παίζουν σημαντικό ρόλο στα υφιστάμενα δίκτυα 4G, για τα οποία υπάρχει πρόβλεψη για λειτουργία μέχρι και 8 θυρών για κεραίες σε κάθε BS.
- Η τεχνική MIMO υιοθετείται και στα συστήματα 5G, αλλά σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα. Η ενεργειακή απόδοση μπορεί να αυξηθεί έως και 100 φορές!



Σύγκριση τεχνικών MIMO σε δίκτυα 4G και 5G

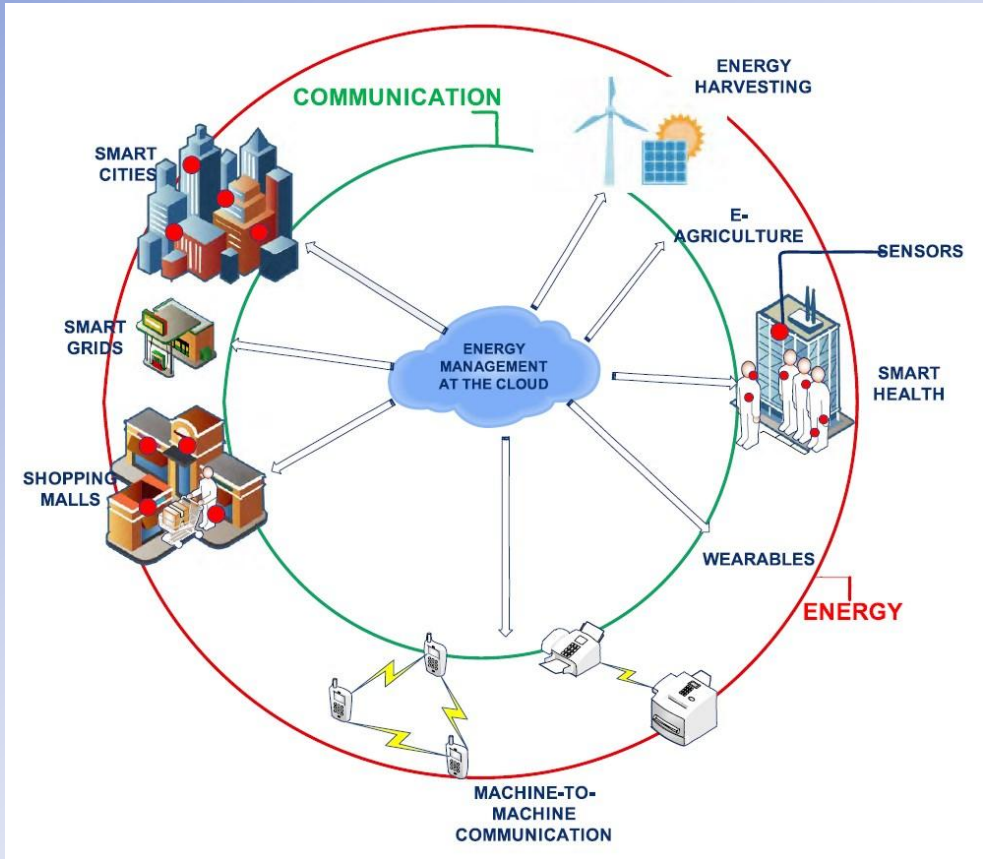
MIMO	Massive MIMO
Constant circuit power consumption	Circuit power consumption is not constant due to the use of extensive circuitry
Up to eight antennas used at the base station	Hundreds of antennas can be used at the base station
3GPP Release 11	3GPP Release 13
Operates in FDD and TDD	Mostly TDD operation; can support FDD also
Improved throughput, but less than massive MIMO	Large scale improvement in throughput
Involves use of simple channel models, like Knonecker	Sophisticated channel models used
Improved EE	EE improvement of the order of 100 times
Supports improvement in SE	SE improvement is 10 times than conventional MIMO
Cannot prevent jamming	Highly robust to jamming
No problem of pilot contamination	Has the problem of pilot contamination
Supports large degree of freedom	Supports much larger degree of spatial freedom

Κοινή χρήση φάσματος

- Κάνοντας χρήση φάσματος που δεν χρησιμοποιείται, οι Πάροχοι δύνανται να ελαττώσουν την ενεργειακή απαίτηση. Η δημιουργία μιας κοινής δεξαμενής *φασματικών πόρων και υποδομών*, **προϋποθέτει "πράσινη" φιλοσοφία συνεργασίας** μεταξύ των.
- Με τη χρήση χιλιοστομετρικού μήκους κυμάτων mm-waves σε συνδυασμό με την εφαρμογή τεχνικών MIMO μεγάλης κλίμακας, βελτιώνεται σημαντικά όχι μόνο η ενεργειακή απόδοση του δικτύου αλλά και η ποιότητα υπηρεσίας μέσω της αύξησης της περιοχής ραδιοκάλυψης του σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας.

Διαχείριση ενέργειας στα πλαίσια του IoT

- Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές που θα ικανοποιήσουν τα δίκτυα 5G είναι το **IoT**.
- Στα πλαίσια της βελτιστοποίησης της ενεργειακής διαχείρισης όλων των διασυνδεδεμένων συστημάτων, υπάρχει πρόνοια αυτή να οργανώνεται στο Νέφος.
- Για τη συλλογή δεδομένων προτείνεται αλγόριθμος ο οποίος επιτρέπει ταχεία συλλογή δεδομένων από τους πιο απομακρυσμένους κόμβους και μικρότερης ταχύτητας από τους κοντινότερους.
- Οι πλεονάζοντες ή αναρμόδιοι αισθητήρες τοποθετούνται σε κατάσταση ύπνωσης.
- Για την εξοικονόμηση ενέργειας σε δίκτυα αισθητήρων εφαρμόζονται αλγόριθμοι βελτιστοποίησης σμήνους (PSA).
- Χρησιμοποιούνται τεχνικές μεγέθυνσης κυψέλης και προάγεται η χρήση προ-αποθηκευμένων δεδομένων.



Προκλήσεις για την Έρευνα

- Οι μελλοντικές απαιτήσεις για διασύνδεση προσώπων και αντικειμένων δημιουργούν προοπτική γιγάντωσης της κοινωνίας της πληροφορίας. Η γιγάντωση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε θεαματική αύξηση ρύπων CO2 αν δεν πραγματοποιηθεί συντεταγμένα και με σεβασμό στο περιβάλλον.
- Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί κατά το δυνατόν το ενεργειακό κόστος των ασύρματων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, η παγκόσμια ερευνητική κοινότητα αναζητά λύσεις εστιάζοντας στους ακόλουθους τομείς:
    - Τεχνολογία της μπαταρίας για αύξηση χωρητικότητας και αυτονομίας
    - Τεχνολογίες ενεργειακής συγκομιδής
    - Αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας σταθμών βάσης ειδικά στα πλαίσια της εφαρμογής της διαδικασίας ύπνωσης
    - Βελτιστοποίηση συνθηκών λειτουργίας υπερπυκνών δικτύων
    - Ενεργειακή διαχείριση και βελτιστοποίηση συστημάτων MIMO πολύ μεγάλης κλίμακας
    - Ανάλυση των ρυθμιστικών θεμάτων που ανακύπτουν από το ενεργειακό όφελος που προκύπτει μέσω της κοινής χρήσης φάσματος και υποδομών
    - Αλγόριθμοι ενεργειακής διαχείρισης στο Νέφος στα πλαίσια του IoT

Επίλογος

- Οι εξελισσόμενες έξυπνες τεχνολογίες και η εντατική έρευνα που εκπονείται για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης των συσκευών και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, δεν αρκούν για την υλοποίηση της πλέον αποτελεσματικής πολιτικής προστασίας του περιβάλλοντος.
- Για την εφαρμογή της πλέον αποτελεσματικής πολιτικής προστασίας του περιβάλλοντος, απαιτούνται συνέργειες και συνεργασίες μεταξύ των Παρόχων Κινητής Τηλεφωνίας, των Τοπικών Κοινωνιών και Δήμων, της αρμόδιας Ρυθμιστικής Αρχής αλλά και η ανάπτυξη μιας συνειδητοποιημένης πολιτικής **“πράσινης χρήσης”** της συσκευής από τον κάθε χρήστη.