



# Τεχνο-οικονομική Διαχείριση Κινητών Δικτύων Πέμπτης Γενιάς (5G) & εξής

Αναστασία Α. Κόλλια  
akollia@ceid.upatras.gr

Παρουσίαση Σεμιναρίου CEID Social Hour

Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών &  
Πληροφορικής



## Σύνοψη Παρουσίασης

- Κίνητρα Μελέτης 5G
- Θεωρία
- Μεθοδολογία
- Μοντέλα
- Πειράματα
- Συμπεράσματα
- Μελλοντική έρευνα



## Αναστασία Κόλλια

- Προπτυχιακό ΤΜΗΥΠ (2010-2015) ▶ LDST
- Συμμετοχή στο εργαστήριο ▶ Lab Of Distributed Systems And Telematics (2014)
- ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Υπολογιστών (2015-2017)
- ΠΔΣ Επιστήμης & Τεχνολογίας Υπολογιστών (Δεκέμβριος 2017 έως σήμερα)
- Απασχόληση στην Πρωτοβάθμια & Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση



## Κίνητρα εκπόνησης μίας τεχνο-οικονομικής διατριβής στα Κινητά Δίκτυα

- Τα Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας είναι ένας τομέας με μεγάλη ανάπτυξη και συνεχείς εξελίξεις.
- Μεγάλο μερίδιο της αγοράς ασχολείται με το κομμάτι των Κινητών Δικτύων.
- Σήμερα περισσότερο από ποτέ παρατηρείται χρήση των κινητών δικτύων επικοινωνίας και συνεχώς καταρρίπτονται τα ρεκόρ χρήσης κινητών δικτύων δεδομένων από τους χρήστες.
- Παράλληλα με τις τεχνολογικές εξελίξεις πρέπει να εξασφαλίζεται και η οικονομική ευρωστία και ανάπτυξη των επιχειρήσεων. Συνεπώς, πρέπει να διασφαλίζονται τα οικονομικά οφέλη των παρόχων δεδομένων.



## 5G

- Η νέα γενιά Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας, που αναμένεται να κυριαρχήσει άμεσα.
- Αποτελεί πολύ διαφορετική προσέγγιση από τις προηγούμενες γενιές Κινητών Δικτύων:
  - 1G (1980's)
  - 2G (1990's)
  - 3G (2000's)
  - 4G (2010's)
  - 5G (2020's)
- Θέτει υψηλές απαιτήσεις και υπόσχεται νέες παρεχόμενες υπηρεσίες.



## Απαιτήσεις 5G

- Υψηλοί ρυθμοί δεδομένων και μεταγωγής αυτών.
- Χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλοί χρόνοι μεταφοράς πακέτων δεδομένων.
- Χαμηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργικό κόστος.
- Εξασφάλιση γρήγορων χρόνων απόκρισης υπηρεσιών.
- Ποικιλία περιπτώσεων χρήσης, όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος και η υπολογιστική νέφους.
- Βελτιστοποίηση της κινητικότητας μεταξύ των κυψελών.
- Διάκριση μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών επιπέδων.
- Εξασφάλιση των τεχνολογιών πρόσβασης και εκσυγχρονισμός των υλικών πόρων.
- Υποστήριξη επικοινωνίας από τα πάντα στα πάντα.
- Υψηλή χωρητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση.
- Προγραμματιζόμενο δίκτυο



## Χαρακτηριστικά Κινητών Δικτύων 5G

- Η υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο κινητού ελέγχου και σε εφαρμογές επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων.
- Μηδενική δευτερεύουσα μεταγωγή, με μέγιστο χρόνο ενεργοποίησης στα δέκα χιλιοστά του δευτερολέπτου για την εξασφάλιση σταθερής και απρόσκοπτης παροχής υπηρεσιών.
- Υποστηρίζει αρκετά δισεκατομμύρια εφαρμογές και εκατοντάδες δισεκατομμύρια μηχανές.
- Ελάττωση κατανάλωσης της ενέργειας, δηλαδή η ενέργεια ανά bit χρήσης θα πρέπει να μειωθεί η συνδεδεμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής.
- Το 5G θα παρέχει τη θεμελιώδη υποδομή για τη δημιουργία έξυπνων πόλεων.



## Σύγκριση με την 4G

- Υψηλότερη Ταχύτητα μετάδοσης στην 5G
- Χρήση μικροκυματικών συχνοτήτων
- Μείωση παρεμβολών
- Βελτιωμένη ροή βίντεο
- Ταχύτερη μετάδοση αρχείων
- Αυξημένο κόστος υποδομής στην 5G





## Μερικά από τα ερωτήματα που τίθενται...

- Ποιες τεχνολογίες θα είναι κατάλληλες αν αξιοποιηθούν να παρέχουν και να ικανοποιούν τις υψηλές απαιτήσεις της 5ης γενιάς;
- Πώς θα εξασφαλίζεται ότι οι πάροχοι, που θα επιλέξουν να επενδύσουν σε αυτές θα διατηρούν τα κέρδη τους υψηλά και οι επιχειρήσεις τους θα λειτουργούν με βιώσιμο τρόπο;
- Ποιοι είναι οι παράγοντες κόστους, που έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο σε κάθε τεχνολογία, αλλά και γενικότερα στην 5η γενιά;
- Πώς μπορεί μία επιχείρηση στον τομέα να αντιμετωπίσει αυτά τα κόστη;
- Τι επιχειρησιακά πλάνα μπορούν να δημιουργηθούν για να απαντήσουν στα προβλήματα;

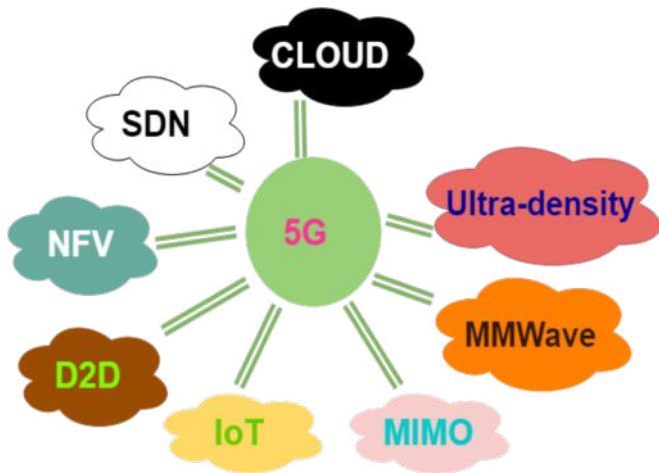


## Τεχνολογίες-Κλειδιά για τα 5G (1/2)

- Ultra-dense
- Network Function Virtualization (NFV)
- Software Defined Networking (SDN)
- Massive Multiple Input Multiple Output (Massive MIMO)
- Cognitive Radio (CR)
- Millimeter Wave (mmWave)
- Cloud Computing (CC)
- Internet Of Things (IoT)



## Τεχνολογίες-Κλειδιά για τα 5G (2/2)





## Αξιολόγηση των κύριων παραγόντων 5G (1/2)

Λύση	SDN	CR	Cloud	Dense	MIMO
Κόστος	-	-	-	-	+
Επέκταση	✓	✓	✓	✓	✓
Απόδοση	✓	✓	✓	✓	✓
Κάλυψη	✓	✓			
Χωρητικότητα	✓	✓	✓	✓	✓
Ετερογένεια	✓	✓	✓	✓	✓
Εμφάνιση	2011	1999	1996	2007	1970
Υιοθέτηση	Λίγη	Μέλλον	Λίγη	Λίγη	Μεγάλη
Πρότυπο	OpenFlow	IEEE	Πολλά	3GPP	IEEE
TRL	8	7	9	9	9
Παρεμβολή				✓	✓
Κατανάλωση	✓	✓	✓		✓



## Αξιολόγηση των κύριων παραγόντων 5G (2/2)

Λύση	D2D	IoT	NFV	mmWave
Κόστος	-	-	-	+
Επέκταση		✓	✓	✓
Απόδοση			✓	✓
Κάλυψη	✓		✓	
Χωρητικότητα	✓		✓	✓
Ετερογένεια	✓	✓	✓	✓
Εμφάνιση	2008	2008	2012	2017
Υιοθέτηση	Λίγη	Λίγη	Λίγη	Μεγάλη
Πρότυπο	IEEE	Κανένα	Πολλά	IEEE
TRL	9	9	8	8
Παρεμβολή	✓		✓	✓
Κατανάλωση		✓	✓	✓



## SWOT Analysis-Δυνάμεις

- Καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης (mmWave, Ultra-density, CR)
- Έλεγχος δικτύου και διαχείριση (CR, SDN)
- Αύξηση χώρου (NFV, Cloud)
- Μείωση κόστους (NFV)
- Βελτίωση των κινητών επικοινωνιών (όλες)
- Εξυπηρετούν περισσότερους χρήστες (MIMO, Ultra-density, SDN)



## SWOT Analysis-Αδυναμίες

- Παρεμβολές (mmWave, Ultra-density, MIMO)
- Ανάγκη προτυποποίησης (NFV, SDN, MIMO, CR, IoT)
- Επιθέσεις δικτύων (SDN, IoT, D2D)
- Ανάγκη για προώθηση έτσι ώστε οι χρήστες να τα υιοθετούν (D2D, IoT, Ultra-dense)



## SWOT Analysis-Ευκαιρίες

- Υλοποίηση 5G
- Περισσότεροι χρήστες υπονοούν περισσότερες ανάγκες
- Αύξηση των ροών δεδομένων
- Χρήση κοινωνικών δικτύων
- Καινοτομία
- Αύξηση κέρδους





## SWOT Analysis-Απειλές

- Αύξηση εξόδων (Ultra-dense, MIMO)
- Δημιουργία ανασφάλειας στους χρήστες (D2D, IoT)
- Δυσκολία για ευρεία εξάπλωση (SDN, NFV, D2D)



## Ultra-dense (1/2)



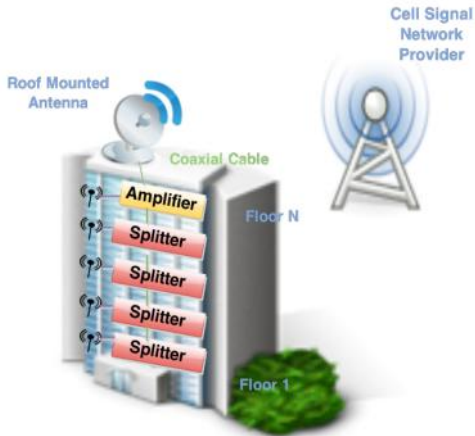


## Ultra-dense (2/2)

- Η αυξημένη χωρητικότητα, που παρέχεται και η οποία παραμένει σταθερή, ενόσω κανείς βρίσκεται στο σπίτι ή το γραφείο.
- Ύψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.
- Καλύτερη εμπειρία χρήσης και παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών.
- Οικονομική λύση με καλύτερη εκμετάλλευση του υπάρχοντος ευρυζωνικού δικτύου.
- Αξιοποίηση της χωρητικότητας εκεί, που είναι απαραίτητη κι όχι σε άλλα σημεία.
- Η χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.
- Ένα κινητό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί, όπως τα σταθερά τηλέφωνα και αντίστροφα.



## Distributed Antenna Systems (1/2)



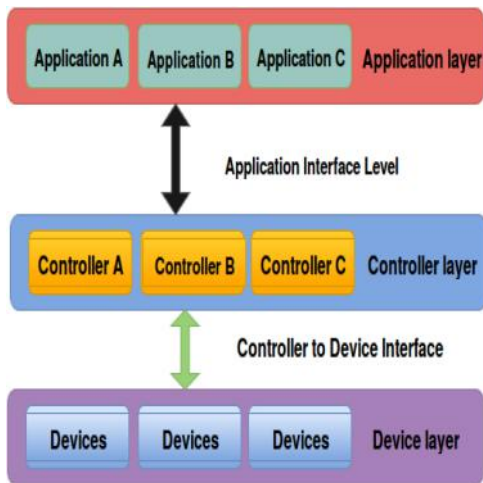


## Distributed Antenna Systems (2/2)

- Ορίζει υψηλότερη κάλυψη.
- Ένα DAS επιτρέπει στον πάροχο πρόσβαση στην κυψέλη σε όλες τις εφαρμογές.
- Το DAS εξαλείφει τα νεκρά σημεία κάλυψης στα κτίρια.
- Το DAS είναι Carrier Agnostic, δηλαδή δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζει κάποιον συγκεκριμένο πάροχο ή τεχνολογία, που λειτουργεί συνδυαστικά.
- Αυξάνει το εσωτερικό σήμα σε όλους τους τομείς εντός της εμβέλειας του.
- Είναι εύκολη η προσθήκη χωρητικότητας με τη σύνδεση με τον κεντρικό κόμβο.



## Software Defined Networks (1/2)





## Τα διάφορα επίπεδα του SDN και η λειτουργικότητά τους.

Επίπεδο	Λειτουργικότητα
Επίπεδο Εφαρμογών	Περιλαμβάνει κάθε πιθανή εφαρμογή, που παρέχεται.
Επίπεδο ελέγχου	Συστάδα ελεγκτών δικτύου, που πραγματοποιούν τον δικτυακό έλεγχο.
Τμήμα Δεδομένων	Περιλαμβάνει λειτουργικότητα, που αναφέρεται στα επίπεδα (4-7) του μοντέλου ISO/OSI.
Northbound Διεπαφή	Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του επιπέδου ελέγχου και εφαρμογών.
Southbound Διεπαφή	Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του επιπέδου ελέγχου και δεδομένων.
Υλικό	Μεταγωγείς, τείχη προστασίας, πιθανώς εικονικά υλοποιημένα.



## Software Defined Networks (2/2)

- Προγραμματιζόμενες άμεσα
- Ευέλικτες
- Δημιουργούν ένα κεντρικά διαχειρίσιμο δίκτυο
- Βασίζονται σε ανοιχτά λογισμικά και είναι ουδέτερα σε σχέση με αντίστοιχα εμπορικά προγράμματα
- Χαμηλού κόστους
- Επιτρέπουν την καινοτομία
- Εύκολα επεκτάσιμες λύσεις





## Network Function Virtualization (NFV) (1/2)

- Αντικατάσταση συσκευών υλικού με αντίστοιχες λειτουργικότητες δομημένες με βάση λογισμικό.
- Χρήσιμο για την αντικατάσταση ακριβών και ιδιαίτερα πολύπλοκων δικτυακών τμημάτων με άλλα απλούστερα.
- Αντικατάσταση παραδοσιακών τεχνικών και προσεγγίσεων με λογισμικό με αποτέλεσμα τη μείωση κόστους και χρόνου εισόδου στην αγορά.

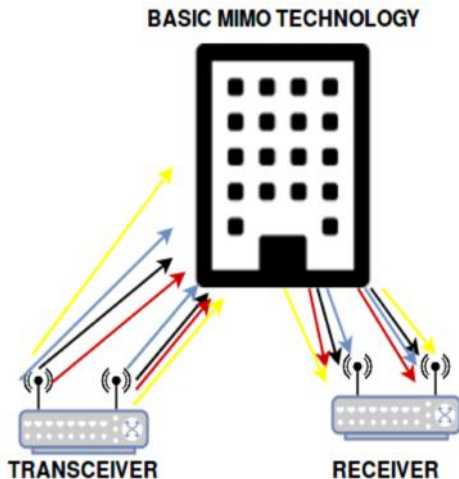


## Network Function Virtualization (NFV) (2/2)

- Μείωση του κόστους κεφαλαίου
- Μείωση του λειτουργικού κόστους
- Μείωση του χώρου
- Γρηγορότερη κυκλοφορία στην αγορά
- Ευελιξία
- Επεκτασιμότητα



## Massive Multiple Input Multiple Output (MIMO) (1/2)



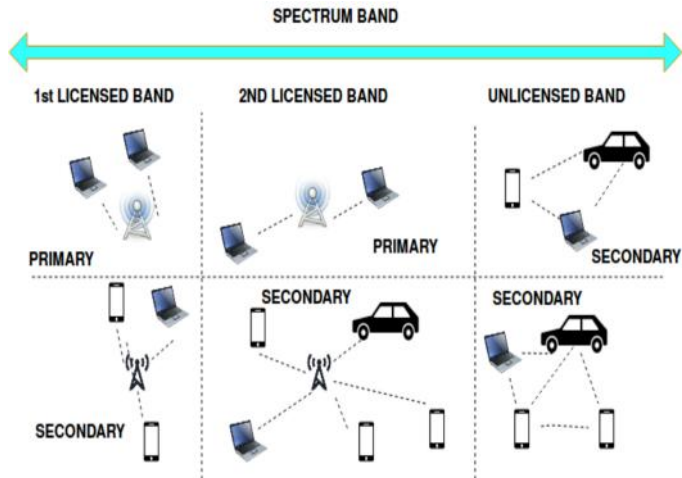


## Massive Multiple Input Multiple Output (MIMO) (2/2)

- Μεγαλύτεροι ρυθμοί δεδομένων: εφόσον, υπάρχουν περισσότερες κεραιές και αυτές είναι δυνατό να στέλνουν παράλληλα.
- Μεγαλύτερη φασματική απόδοση: καλύτερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.
- Μεγαλύτερο πλήθος χρηστών: οι οποίοι εξυπηρετούνται από το πλήθος των κεραιών.
- Βελτιωμένη κάλυψη
- Βελτιωμένες παρεμβολές: μειώνονται οι παρεμβολές
- Καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας, που επιτυγχάνεται από χαμηλούς ρυθμούς λάθους δυαδικών ψηφίων
- Επιτυγχάνεται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας στην πλευρά του αποστολέα



## Cognitive Radio (1/2)





## Cognitive Radio (2/2)

- Καλύτερη χρήση του φάσματος.
- Αυξημένη δικτυακή και φασματική απόδοση.
- Μείωση του κόστους.
- Χρήση πολύπολοκων δικτυακών τοπολογιών με μεγάλη ετερογένεια.
- Απλή δικτυακή δομή, η οποία αποτελεί σημαντική βελτίωση, καθώς τα δίκτυα με χαμηλότερη πολυπλοκότητα και σημαντικά λιγότερο υλικό έχουν μειωμένα κόστη κεφαλαίου και μειωμένο λειτουργικό κόστος.
- Εύκολη διαχείριση, ρύθμιση και αναβάθμιση, που είναι σημαντικές και διατηρεί σε χαμηλό επίπεδο το κόστος για προσωπικό κλπ.



## Milimeter Wave (MMWave) communications (1/2)

- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η συχνοτική ζώνη E-band.
- Αποτελεί μία ζώνη, που λειτουργεί στα 71-76 GHz και 81-86 GHz.
- Σήμερα, υπάρχουν εμπορικά προϊόντα, που έχουν αναπτυχθεί για αυτή τη ζώνη.
- Έχουν όμως, κάποια βασικά μειονεκτήματα όπως, υψηλό θόρυβο, ευαισθησία σε καιρικές μεταβολές.
- mmWave κανάλι
- Αποδοτική ακτίνα κυψέλης είναι 220μ.



## Milimeter Wave (MMWave) communications (2/2)

- Αποδοτικότεροι αλγόριθμοι
- Καινοτομία στην αδειοδότηση
- Ρυθμοί δεδομένων της τάξης των gigabit per second
- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης,
- Μετάδοση σε μεγάλη απόσταση,
- Χαμηλό κόστος
- Πολιτική γρήγορης αδειοδότησης
- Καινοτομία





## Οικονομικά Μοντέλα

- Κεφαλαιακές Δαπάνες ή Δαπάνες Κεφαλαίου ή Capital Expenditure (CAPEX): Δαπάνες που δίνονται άπαξ κατά την ανάπτυξη της υποδομής
- Λειτουργικές Δαπάνες ή Operational Expenditure (OPEX)
  - Το κόστος λειτουργίας & συντήρησης της καλωδίωσης
  - Κόστος για τη θέση, για το εύρος ζώνης, που διατίθεται κλπ.
  - Την υποστήριξη του συστήματος
  - Την επίλυση προβλημάτων
  - Τα κόστη μίσθωσης
- Συνολικό Κόστος ή Total Cost of Ownership (TCO): Άθροισμα δύο παραπάνω



## Εργαλεία

•

$$A = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} C \quad (1)$$

- $r$  αναπαριστά το περιοδικό επιτόκιο, που τίθεται για την αποπληρωμή του δανείου
- $n$  αναπαριστά τον αριθμό των πληρωμών, όπως για παράδειγμα το μέγεθος του σχεδίου επενδύσεων σε έτη
- Stackelberg game
- Subgame perfect equilibrium ή Subgame Perfect Nash equilibrium
- Μελέτη Εφικτότητας για μία ή Συνδυασμό Μεταβλητών
- SWOT Ανάλυση



## Πειραματική διαδικασία

- Μαθηματικά μοντέλα
- Υπολογισμός TCO για τα συγκρινόμενα μοντέλα
- Επιλογή Παραμέτρων
  - Επιλογή παραμέτρων για τα μοντέλα
  - Επιλογή πεδίου τιμών παραμέτρων
- Μελέτη εφικτότητας
  - Για μία μεταβλητή
  - Για συνδυασμούς μεταβλητών

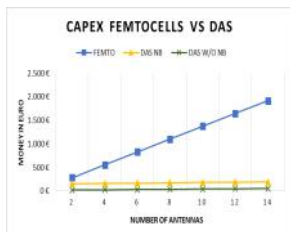


## Μοντέλα

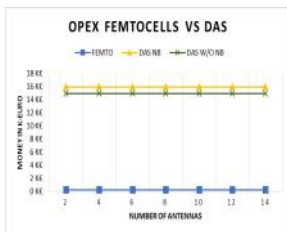
- Ultra-dense (Femtocells)
- Distributed Antenna System (DAS)
- Network Function Virtualization Distributed Antenna System (DAS)
- Software Defined Networking (SDN)
- Multiple Input Multiple Output (MIMO)
- Cognitive Radio
- Cognitive Radio (Stackelberg)
- Millimeter Wave (mmWave)



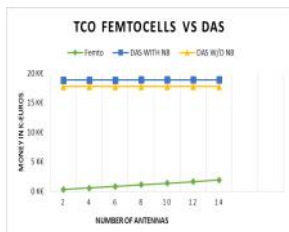
## Πειράματα Ultra-dense vs DAS (1/2)



**Σχήμα:** Το κόστος κεφαλαίου για τις υπέρπυκνες αρχιτεκτονικές σε αντίθεση με την DAS.



**Σχήμα:** Το λειτουργικό κόστος για τις υπέρπυκνες αρχιτεκτονικές σε αντίθεση με την DAS.



**Σχήμα:** Το συνολικό κόστος για τις υπέρπυκνες αρχιτεκτονικές σε αντίθεση με την DAS.

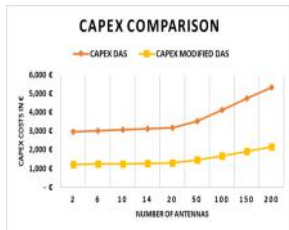


## Πειράματα Ultra-dense vs DAS (2/2)

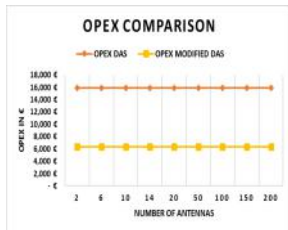
- Το κόστος των επενδύσεων για την ανάπτυξη του DAS είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος για τα Femtocells.
- Όσον αφορά στο κόστος για το Femtocell, αυτό αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του πλήθους κεραιών.
- Όσον αφορά, σε ένα μεγάλο κτήριο, το κόστος για το Femtocell διατηρείται σε πολύ υψηλά επίπεδα και μάλιστα αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με την αύξηση του πλήθους κεραιών στο κτήριο.
- Το κόστος κεφαλαίου ελαττώνεται για κάθε περίπτωση με το πέρασμα των ετών.
- Το κόστος για πολύ μεγάλα κτήρια με μεγάλο πλήθος κεραιών από 10 έως 100 για το DAS μένει σταθερό σε υψηλά επίπεδα, ενώ για το Femtocell, αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με την αύξηση του πλήθους των κεραιών.



## Πειράματα virtualized DAS vs DAS (1/2)



**Σχήμα:** Το κόστος κεφαλαίου για την εικονική DAS σε αντίθεση με την DAS.



**Σχήμα:** Το λειτουργικό κόστος για την εικονική DAS σε αντίθεση με την DAS.



**Σχήμα:** Το συνολικό κόστος για την εικονική DAS σε αντίθεση με την DAS.



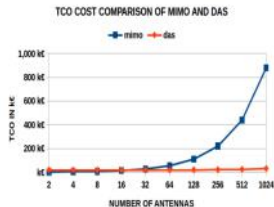
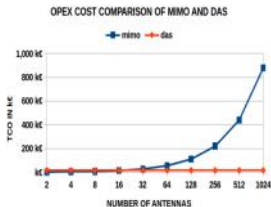
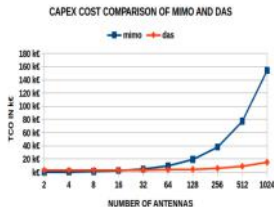
## Πειράματα virtualized DAS vs DAS (2/2)

- Το κόστος κεφαλαίου επηρεάζεται μόνο από το πλήθος των σταθμών βάσης για να βρισκεται ο βέλτιστος αριθμός των σταθμών βάσης.
- Το λειτουργικό κόστος επηρεάζεται άμεσα από ορισμένους σημαντικούς παράγοντες κόστους, όπως είναι για παράδειγμα, η θέση, το εύρος ζώνης, ενώ ο εξοπλισμός φαίνεται να μην έχει μεγάλη επίδραση σε αυτού του είδους τα κόστη.
- Όσο περισσότερος εξοπλισμός τόσο περισσότερο ρεύμα είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του συστήματος και ως αποτέλεσμα, το δίκτυο όχι μόνο δεν είναι πράσινο, αλλά καταναλώνει περισσότερο ρεύμα.
- Η θέση προκαλεί κόστη μίας και απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός.





## Πειράματα MIMO vs DAS (1/2)



**Σχήμα:** Το κόστος κεφαλαίου για την MIMO σε αντίθεση με την DAS.

**Σχήμα:** Το λειτουργικό κόστος για την MIMO σε αντίθεση με την DAS.

**Σχήμα:** Το συνολικό κόστος για την MIMO σε αντίθεση με την DAS.

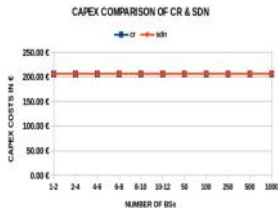


## Πειράματα MIMO vs DAS (2/2)

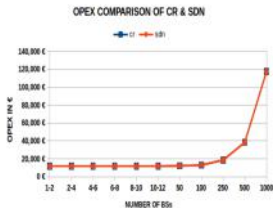
- Οι παράμετροι επηρεάζουν είτε το κόστος κεφαλαίου είτε το λειτουργικό κόστος, εντούτοις, όλες οι παράμετροι επηρεάζουν το συνολικό κόστος.
- Σύμφωνα με το μοντέλο, η επίδραση των δαπανών λειτουργίας είναι πολύ πιο σημαντική, αφού φαίνεται να δημιουργεί υψηλότερο κόστος και περισσότερες δαπάνες πρέπει να καλύπτονται σε αυτή την περίπτωση.
- Η μελέτη αυτών των ζευγών παραμέτρων καταδεικνύει ότι ταυτόχρονη αύξηση και στους δύο παράγοντες θα εκτοξεύσει το κόστος και θα οδηγήσει σε μη αποδεκτά υψηλές δαπάνες για τις επιχειρήσεις στον τομέα, καθιστώντας αποτρεπτικό να επενδύσει κανείς στη συγκεκριμένη τεχνολογία.



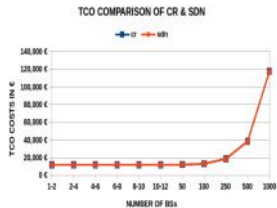
## Πειράματα CR vs SDN (1/2)



Σχήμα: Το κόστος κεφαλαίου για την CR σε αντίθεση με την SDN.



Σχήμα: Το λειτουργικό κόστος για την CR σε αντίθεση με την SDN.



Σχήμα: Το συνολικό κόστος για την CR σε αντίθεση με την SDN.

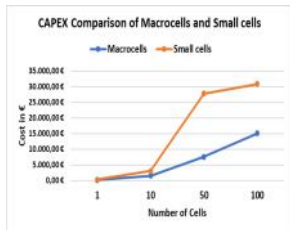


## Πειράματα CR vs SDN (2/2)

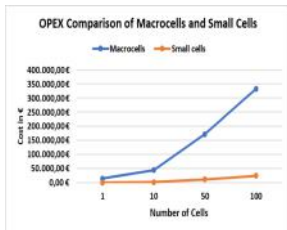
- Βελτιστοποιείται η χρήση του διαθέσιμου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές.
- Τα δίκτυα CR έχουν τη δυνατότητα να αποφεύγουν σενάρια παρεμβολής ραδιοσυχνοτήτων.
- Με την ανίχνευση της διαθεσιμότητας του καναλιού αποφεύγουν το μπλοκάρισμα με δυναμική και προληπτική μετάβαση σε κανάλια υψηλότερης ποιότητας, ιδιότητα η οποία, οδηγεί στην καλύτερη εξυπηρέτηση, αλλά και βελτίωση της Ποιότητας Υπηρεσίας Quality of Service (QoS).
- Παραμένει ανοιχτό ζήτημα η αναζήτηση των ζωνών συχνοτήτων, οι οποίες είναι κατάλληλες για την εφαρμογή CR.



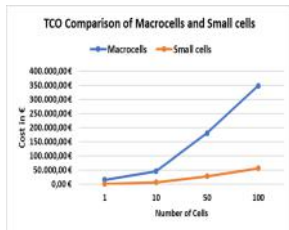
## Πειράματα mmWave vs midBand (1/2)



**Σχήμα:** Το κόστος κεφαλαίου για την MMWave σε αντίθεση με την midBand.



**Σχήμα:** Το λειτουργικό κόστος για την MMWave σε αντίθεση με την midBand.



**Σχήμα:** Το συνολικό κόστος για την MMWave σε αντίθεση με την midBand.



## Πειράματα mmWave vs midBand (2/2)

- Παρουσιάστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα, που αφορούν στις Μακροκυψέλες και τις μικροκυψέλες.
- Μια ανάλυση σχετικά με τις συχνότητες MMWave και Mid-Band εξετάστηκε.
- Το μακροκυψελικό μοντέλο επηρεάζεται κυρίως από το BW, το επιτόκιο, τα έτη επενδύσεων και τις παραμέτρους τοποθεσίας.
- Το BW και οι παράμετροι τοποθεσίας επηρεάζουν το OPEX του μοντέλου, ενώ το επιτόκιο και τα έτη επένδυσης επηρεάζουν το CAPEX, το OPEX και το TCO του μοντέλου.
- Για την περίπτωση της Μικροκυψέλης, το EPC και τα έτη επένδυσης επηρεάζουν όλα τα είδη δαπανών, ενώ οι παράμετροι της τοποθεσίας επηρεάζουν κυρίως το OPEX.



## Συμπεράσματα (1/2)

- Οι μικροκυψέλες επηρεάζονται από την πυκνότητα με την οποία εμφανίζονται στην αρχιτεκτονική, το περιοδικό επιτόκιο και το κόστος για τους σταθμούς βάσης.
- Η DAS επηρεάζεται από το εύρος ζώνης, την εφαρμογή και το κόστος τοποθεσίας. Ο εξοπλισμός, η κατανάλωση ενέργειας και η καλωδίωση (backhaul) δεν επηρεάζουν το συνολικό κόστος DAS.
- Το τροποποιημένο σενάριο DAS, σχετίζεται με την ενσωμάτωση NFVs στη βασική DAS αρχιτεκτονική, για το ίδιο δίκτυο οι όλες τιμές είναι 2 ή και 3 φορές χαμηλότερες.



## Συμπεράσματα (2/2)

- Το κόστος για το BS επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και τα δύο μοντέλα. Τα παραδοσιακά και τα μοντέλα SDN επηρεάζονται από το κόστος BS και ειδικότερα από τις: BS ανά  $km^2$  και πλήθος BS.
- Η τεχνολογία MIMO για μικρότερες λύσεις είναι πιο οικονομική. Τα λειτουργικά έξοδα, όπως το κόστος διαχείρισης και η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να μειωθούν για να διασφαλιστεί η αποδοτικότητα κόστους των μοντέλων MIMO.
- Η έξυπνη λογική CR μπορεί να βοηθήσει τα femtocells και τους δευτερεύοντες χρήστες / BS να αποκτήσουν κέρδη από τη χρήση του δικτύου.





## Ανοιχτά δικτυακά θέματα

- Κάλυψη
- Νέες υπηρεσίες
- Network slicing
- Δεδομένα της τάξεως των Exabytes
- Δικτυακή ευφυΐα
- Επαναχρησιμοποίηση φάσματος
- Βελτιωμένοι αισθητήρες
- Μεγαλύτερη διάρκεια μπαταρίας & εξοικονόμηση ενέργειας
- Κβαντικοί υπολογιστές & δίκτυα
- Ασφάλεια, ιδιωτικότητα, διαχείριση δεδομένων
- Εικονικοί πάροχοι
- Πορεία προς το 6G



## Δημοσιεύσεις ΔΔ σε Περιοδικά (1/2)

- Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2018). Exploring SDN & NFV in 5G Using ONOS & POX Controllers. International Journal of Interdisciplinary Telecommunications and Networking (IJITN), 10(4), 46-60.
- Bouras, C., Kokkalis, S., Kollia, A. et al. Techno-economic comparison of MIMO and DAS cost models in 5G networks. Wireless Netw 26, 1-15 (2020).
- Bouras, C., Kollia, A. & Maligianni, E. Techno-economic Comparison of Cognitive Radio and Software Defined Network (SDN) Cost Models in 5G Networks. Wireless Pers Commun (2020).



## Δημοσιεύσεις ΔΔ σε Περιοδικά: (2/2)

- Bouras, C., & Kollia, A. (2019). Techno-Economic Analysis for Programmable Networks. Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online, Wiley InterScience.
- Bouras, C., Kollia, A Analyzing mmWave Bands from a techno-economic perspective in 5G networks (Υπό εξέλιξη αξιολόγηση)



## Δημοσιεύσεις ΔΔ σε Συνέδρια: (1/2)

- Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (July 2018). DAS modifications for more efficient network cost in 5G, in 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, Limassol, Cyprus, 25-29 July 2018.
- Bouras, C., Kokkalis, S., Kollia, A., & Papazois, A., (September 2018). Techno-economic analysis of MIMO & DAS in 5G. 2018. 11th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC2018). 3-5 September 2018.
- Bouras, C., Fotakopoulou, E., Kollia, A., (June, 2019). 5G networks: Advancements & Challenges. The Fifteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2019).



## Δημοσιεύσεις ΔΔ σε Συνέδρια: (2/2)

- C. Bouras, Kollia, A., and Maligianni, E., (September 2019). The techno-economic models for CR and SDN in 5G, in 12th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2019). Paris, France, 2019.
- Bouras C., Kollia A. (March 2020) Techno-Economic Analysis of MMWave vs Mid-Band Spectrum in 5G Networks. In Advanced Information Networking and Applications. AINA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1151. Springer, Cham
- Bouras C., Kollia A. (August 2020). Techno economic analysis of cognitive radio models in 5G networks. The 15th International Conference on Future Networks and Communications 2020 (FNC2020). August 9-12, 2020.



Ευχαριστώ πολύ!

Ερωτήσεις...