



Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών  
Συστημάτων

## 321-9403 – Δίκτυα Ευρείας Ζώνης

Διδάσκων: Νικόλαος Νομικός  
Μεταδιδακτορικός Ερευνητής

---

### <Η τεχνολογία Carrier Aggregation στο LTE-Advanced>

---

<icsd12012> <Αραβαντινός Λεωνίδης Χρήστος>  
<icsd12086> <Κοντοπός Παναγιώτης>

Σάμος, <Παρασκευή 6/1>, 2017



## Κατάλογος Περιεχομένων

<b>1</b>	<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</b>	<b>5</b>
3.1	ΜΠΑΝΤΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ	5
3.2	FREQUENCY-DIVISION DUPLEX (FDD)	6
3.3	TIME-DIVISION DUPLEX (TDD)	7
3.4	LONG TERM EVOLUTION (LTE)	7
3.5	TRANSMIT DIVERSITY	8
3.6	EPS (EVOLVED PACKET SYSTEM)	9
3.7	OFDMA AND SC-FDMA	10
3.8	ENB NETWORK	11
<b>4</b>	<b>ΚΥΡΙΩΣ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>12</b>
4.1	ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ CARRIER AGGREGATION	12
4.2	ΠΩΣ ΔΙΑΣΠΑΤΑΙ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ	13
4.3	ΠΩΣ ΣΥΝΔΕΕΤΑΙ Ο UE ΜΕ ΤΟΥΣ COMPONENT CARRIERS	15
4.4	ENHANCED MIMO	16
4.5	TO FRAMEWORK COMP (COOPERATIVE MULTIPOINT)	18
4.6	ANAMETADOTEΣ (RELAYS)	19
4.7	BEAMFORMING	21
<b>5</b>	<b>ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ</b>	<b>23</b>
5.1	ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ FDD AND TDD	23
5.2	ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ ΜΕ UN-LICENSED ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	23
5.3	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΟΥ UE	24
5.4	Η ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	25
5.5	ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	25
<b>6</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>28</b>



## **1 Περίληψη**

Η παρούσα εργασία αφορά την Τεχνολογία Carrier Aggregation στο LTE-A, μία τεχνολογία που παρέχει επέκταση του εύρους ζώνης, στην λήψη και αποστολή των χρηστών του δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα απαιτούνται κάποιες βελτιώσεις στο δίκτυο με την μορφή προσθήκης νέων τεχνολογιών ή βελτίωσης των ήδη υπαρχόντων.

Στην εργασία μας παρουσιάζουμε :

1. Μία περιληπτική προς αναλυτική περιγραφή των τεχνολογιών και τεχνικών που χρησιμοποιούνται και αφορούν την τεχνολογία Carrier Aggregation.
2. Με βάση την έρευνα που κάναμε , τον τρόπο που θα λειτουργεί η τεχνολογία και πως θα διαμοιράζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά μπάντα συχνοτήτων. Ταυτόχρονα θα αναφέρουμε κάποιες τεχνολογίες, που αν δεν χρησιμοποιηθούν τότε δεν θα είναι βιώσιμη λύση η συνάθροιση φορέων.
3. Αρκετές μελλοντικές προκλήσεις , είτε είναι για την μετέπειτα εξέλιξη της τεχνολογίας είτε είναι προβλήματα προς αντιμετώπιση.
4. Τα συμπεράσματά μας για το πως βελτιώνεται το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας από την συνάθροιση φορέων (Carrier Aggregation).
5. Τις πηγές από τις οποίες αντλήσαμε τα πορίσματα και τις πληροφορίες μας .

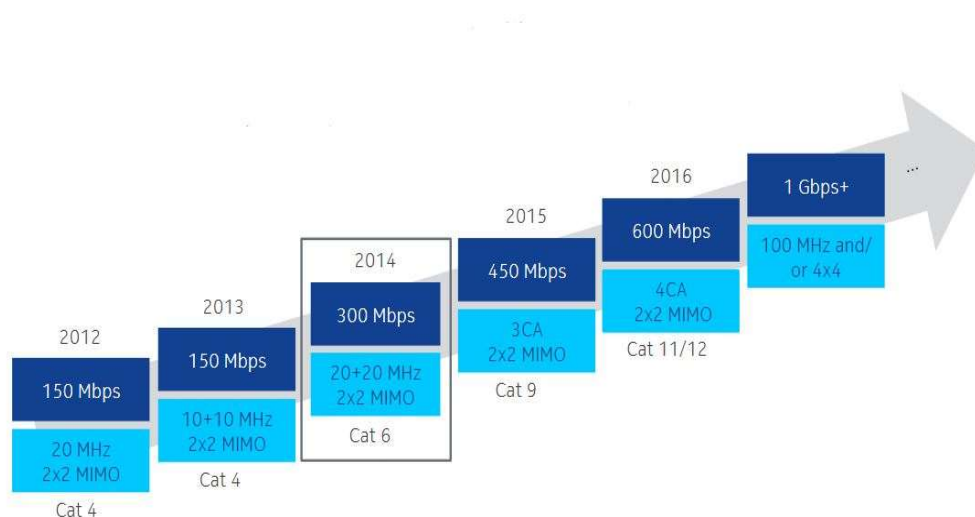


## 2 Εισαγωγή

Η τεχνική Συνάθροισης Φορέα (Carrier Aggregation) είναι η πιο σημαντική βελτίωση στις κινητές επικοινωνίες για την παρούσα περίοδο πάνω στο LTE-Advanced. Η τεχνική οριστικοποιήθηκε στην έκδοση 10 της κοινότητας 3GPP.

Η ανάπτυξη της τεχνικής στο δίκτυο πραγματοποιήθηκε με ταχείς ρυθμούς λόγω της μεγάλης ικανότητας της τεχνικής να αυξήσει την απόδοση του δικτύου και επειδή δίνει την δυνατότητα στους διαχειριστές του δικτύου, οι οποίοι έχουν επενδύσει σε περισσότερους φορείς LTE, να μπορούν να πωλήσουν τις διαφορετικές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων ως υπηρεσίες.

Παρακάτω βλέπουμε ανάλογα την χρονολογία την εξέλιξη της τεχνολογίας και τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται ο ρυθμός των δεδομένων όσον αφορά την απαίτηση συναθροισμένου φορείς (CA) και σε τεχνολογία συστημάτων MIMO(Multiple-Input Multiple-Output).



Data rate evolution in downlink with carrier aggregation



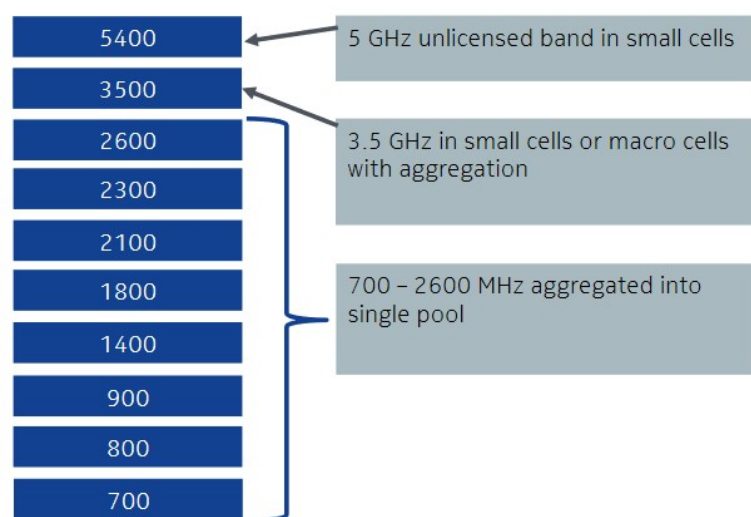
### 3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας θα αναλύσουμε όλους τους όρους που ουσιαστικά είναι οι τεχνολογίες, τα πρωτόκολλα και οι τεχνικές που έχουν άμεση σχέση με το πως θα λειτουργήσει η τεχνολογία Carrier Aggregation.

Ταυτόχρονα θα υποδείξουμε και ποια είναι η χρησιμότητά τους η οποία μπορεί να εκτείνεται από το LTE στο LTE-A.

#### 3.1 Μπάντες συχνοτήτων για αξιοποίηση

Παρακάτω παρουσιάζουμε όλες τις μπάντες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται ή που θα χρησιμοποιηθούν στις κινητές επικοινωνίες και θα παίξουν κάποιο ρόλο στην τεχνολογία Carrier Aggregation.



Από 700-2600 MHz είναι οι συχνότητες οι οποίες χρησιμοποιούνται στις κινητές τηλεπικοινωνίες.

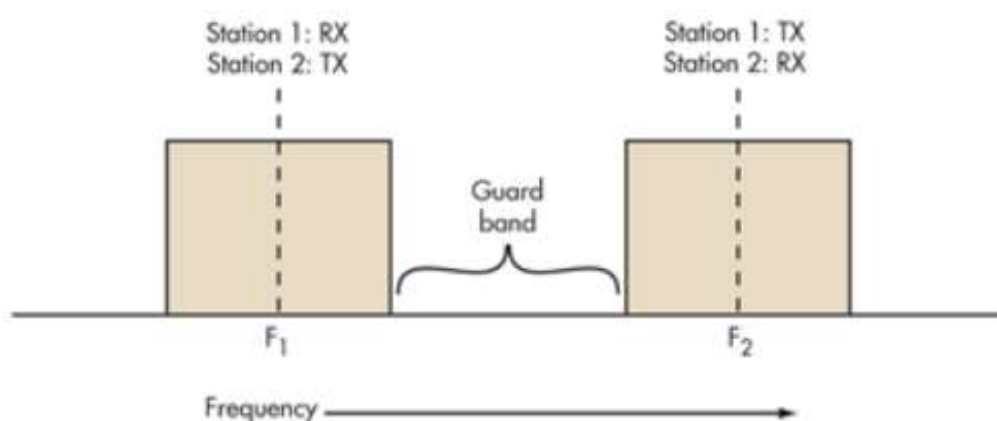
Η μπάντα των 3,5GHz θα χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες που θα λειτουργούν μέσα στο δίκτυο κάθε eNB, το αναφέρουμε αναλυτικά στο κομμάτι Συνάθροιση σε Ετερογενή Δίκτυα.

Η μπάντα των 5GHz λόγω του ότι είναι unlicensed θα χρησιμοποιηθεί πάνω στο LTE-Un-Licensed.



## 3.2 Frequency-Division Duplex (FDD)

Είναι μία εκ των δύο τεχνολογιών που επιτρέπουν ταυτόχρονη και αμφίδρομη επικοινωνία (full-duplexing).



Όσον αφορά τα Ασύρματα Συστήματα, χρειαζόμαστε δύο διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων. Αυτό γίνεται ούτως ώστε στην μία μπάντα να στέλνει το ένα άκρο επικοινωνίας και με την άλλη μπάντα να στέλνει το δεύτερο άκρο επικοινωνίας.

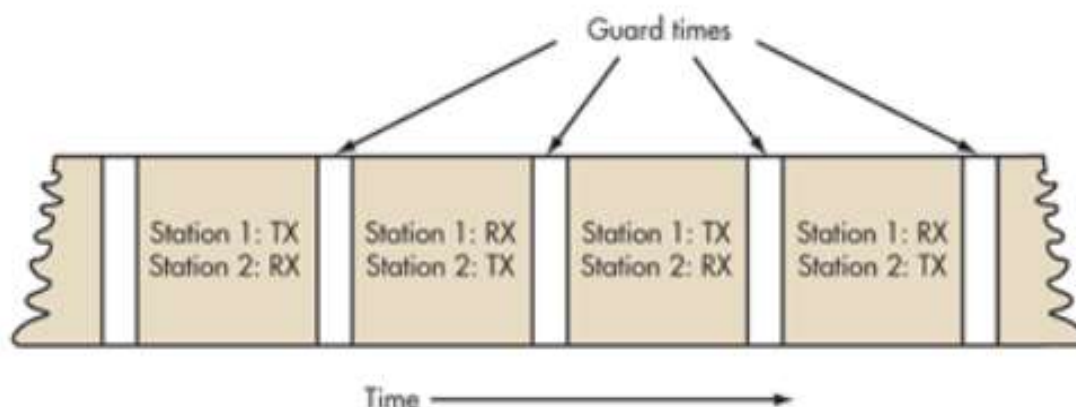
Ανάμεσα στις δύο μπάντες υπάρχει ένα εύρος συχνότητας το οποίο μένει αχρησιμοποίητο και αναφέρεται ως Guard Band, απώτερος του σκοπός είναι η αποφυγή παρεμβολής ανάμεσα στα σήματα που θα στέλνονται έχοντας όμως σαν αρνητικό την μη αξιοποίηση του συγκεκριμένου εύρους ζώνης. Το μεγάλο αρνητικό της τεχνικής FDD είναι πως δεν είναι αποδοτική σε θέμα χρήσης του διαθέσιμου φάσματος.

Τα περισσότερα συστήματα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν FDD καθώς και η τεχνολογία LTE και 4G. Δυστυχώς σε αυτή την τεχνική είναι δύσκολη η χρήση των κεραιών MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) και της τεχνικής beamforming. Αυτές οι τεχνολογίες είναι πολύ βασικές στο δίκτυο πρόσβασης LTE για την επίτευξη μεγαλύτερων ρυθμών μεταφοράς δεδομένων.



### 3.3 Time-Division Duplex (TDD)

Είναι η δεύτερη εκ των δύο τεχνολογιών που επιτρέπουν ταυτόχρονη και αμφίδρομη επικοινωνία (full-duplexing).

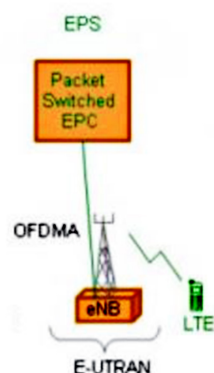


Σε αυτή την τεχνολογία χρησιμοποιούμε μία μπάντα συχνοτήτων για την αποστολή σημάτων και δεν έχουμε αχρησιμοποίητες μπάντες για αποφυγή παρεμβολών. Η σωστή υλοποίηση της τεχνολογίας απαιτεί ακριβές timing και σύστημα συγχρονισμού τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη. Τα συστήματα συγχρονισμού ελέγχουν τα time slots ώστε να μην συμπίπτουν διαφορετικά αναμεταξύ τους (αποφυγή overlap) και ελέγχουν ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές αναμεταξύ τους.

Οι περισσότερες ασύρματες μεταδόσεις όπως WiMAX και Wi-Fi χρησιμοποιούν TDD. Λόγω της έλλειψης διαθέσιμου φάσματος και του κόστους αφομοιώνεται και σε κάποια κινητά συστήματα όπως TD-LTE. Αυτή η λύση είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε σενάρια όπου υπάρχει έλλειψη φάσματος.

### 3.4 Long Term Evolution (LTE)

Η τεχνολογία LTE, ή E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network), είναι το κομμάτι πρόσβασης στο EPS (Evolved Packet System). Το δίκτυο LTE βασίζεται στο OFDMA και χρησιμοποιεί κάποιες τεχνολογίες και τεχνικές, που περιγράφονται παρακάτω, οι οποίες επιτρέπουν μεγαλύτερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων.

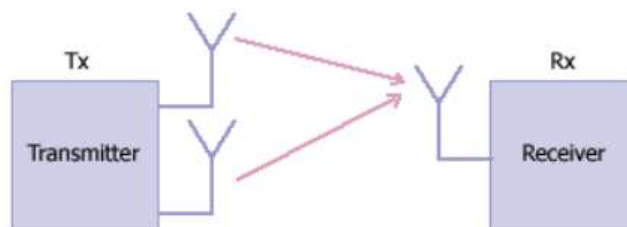


Για να είναι αποδοτικό και να προσφέρει βελτιώσεις σε σχέση με προηγούμενες τεχνολογίες , το δίκτυο πρόσβασης πρέπει :

1. Να παρέχει υψηλή φασματική απόδοση
2. Να παρέχει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων
3. Να έχει χαμηλό χρόνο πλήρους διαδρομής όσων αφορά την αποστολή των δεδομένων

### 3.5 Transmit diversity

Τεχνική ασύρματης μετάδοσης η οποία υλοποιείται στις MIMO ασύρματες επικοινωνίες.



Με την τεχνική transmit diversity μπορούμε από πολλές κεραίες πομπού να μεταδώσουμε μία ροή προς έναν δέκτη ή προς τις κεραίες του δέκτη . Με αυτή την τεχνική πετυχαίνουμε μεγαλύτερη αξιοπιστία μετάδοσης.





### 3.6 EPS (Evolved Packet System)

Το EPS είναι βασισμένο πάνω στην τεχνολογία IP (Internet Protocol) .

Όλες οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real time services) και οι υπηρεσίες επικοινωνίας δεδομένων (Datacom services) μεταφέρονται από το IP πρωτόκολλο.

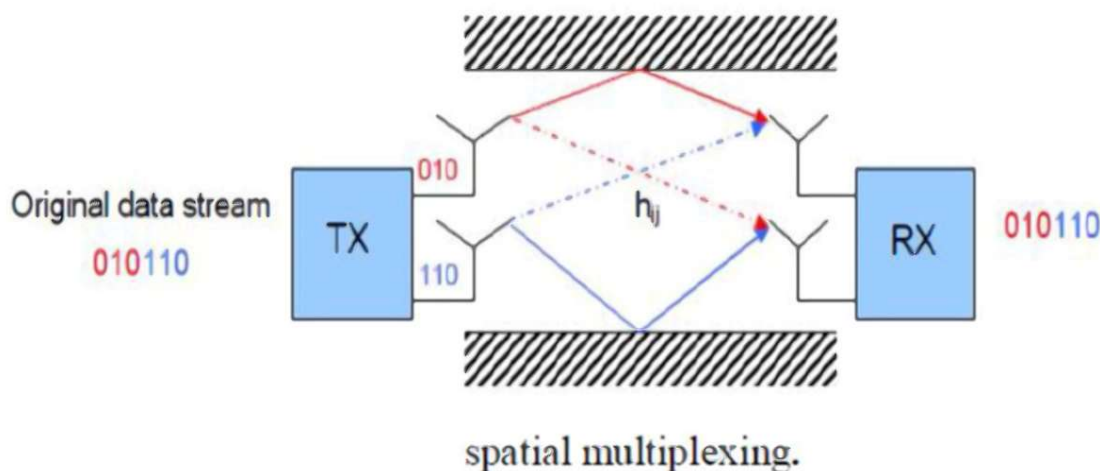
Η IP διεύθυνση δίνεται σε μία συσκευή όταν είναι ενεργοποιημένη ενώ όταν απενεργοποιείται απελευθερώνεται.

Το δίκτυο πρόσβασης LTE χρησιμοποιεί OFDMA σε συνδυασμό με:

1. Διαμόρφωση μέχρι 64-QAM
2. Εύρος ζώνης μέχρι 20MHz
3. Χρήση spatial multiplexing για αύξηση ρυθμού δεδομένων στο downlink

#### 3.6.1 Spatial Multiplexing

Τεχνική ασύρματης μετάδοσης η οποία υλοποιείται στις MIMO ασύρματες επικοινωνίες.



Σε αυτού του είδους την μετάδοση κάθε κεραία εκπομπής μπορεί να στείλει ανεξάρτητα και ξεχωριστά σήματα τα οποία αποτελούν μία ροή (stream).

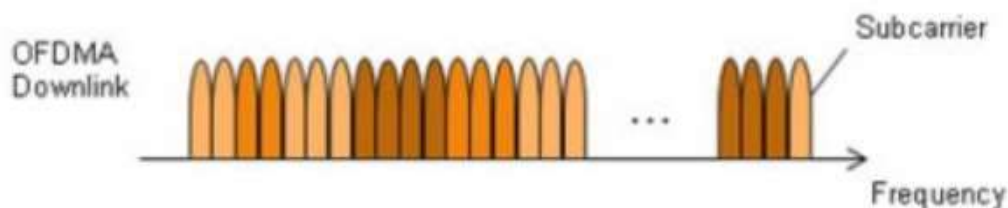
Με αυτή την τεχνική επαναχρησιμοποιείται η χωρική διάσταση πάνω από μία φορές , αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, παρέχεται αυξημένη κάλυψη και βελτιωμένη διεκπεραιωτικότητα(throughput) .



## 3.7 OFDMA and SC-FDMA

### 3.7.1 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Το OFDMA είναι μία τεχνολογία πολλαπλής φέρουσας που υποδιαιρεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε ένα πλήθος από κοινές ορθογώνιες στενής-ζώνης υποφέρουσες.



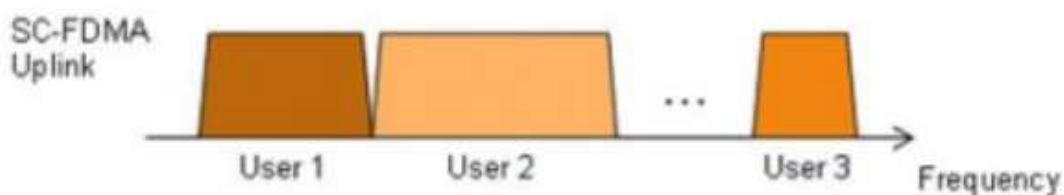
Αυτές οι υποφέρουσες (sub carriers) μπορούν να μοιραστούν ανάμεσα σε πολλαπλούς χρήστες.

Το OFDMA χρησιμοποιείται μόνο στο Downlink δεδομένων καθώς απαιτεί υψηλή αναλογία μέγιστης-προς-μέση ισχύ (με λίγα λόγια είναι μεγάλη η κατανάλωση για τον αποστολέα).

Αυτό δεν είναι πρόβλημα για τους σταθμούς βάσης όσο είναι για τον UE.

### 3.7.2 SC-FDMA (Single Carrier - FDMA)

Το SC-FDMA είναι μία τεχνολογία φέρουσας με παρόμοια χαρακτηριστικά με την OFDMA .

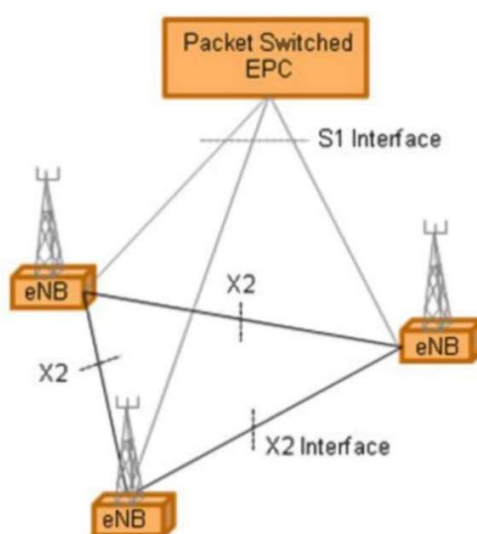


Η διαφορά είναι πως παράγει ένα σήμα με χαρακτηριστικά απλού φέροντος (single carrier) με μικρότερη αναλογία μέγιστης-προς-μέση ισχύ (άρα μικρότερη κατανάλωση για τον αποστολέα) .



### 3.8 eNB Network

Το δίκτυο πρόσβασης LTE είναι ένα δίκτυο από σταθμούς βάσης (base stations) που ο καθένας ονομάζεται Evolved Node B. Σε αυτό το δίκτυο δεν υπάρχει κεντρικός έξυπνος ελεγκτής και οι βάσεις είναι διασυνδεδεμένες, είτε με επίγειες υποδομές είτε ασύρματα με μικροκύματα, μέσω της X2 διασύνδεσης της εικόνας και με το κύριο δίκτυο μέσω της S1 διασύνδεσης.



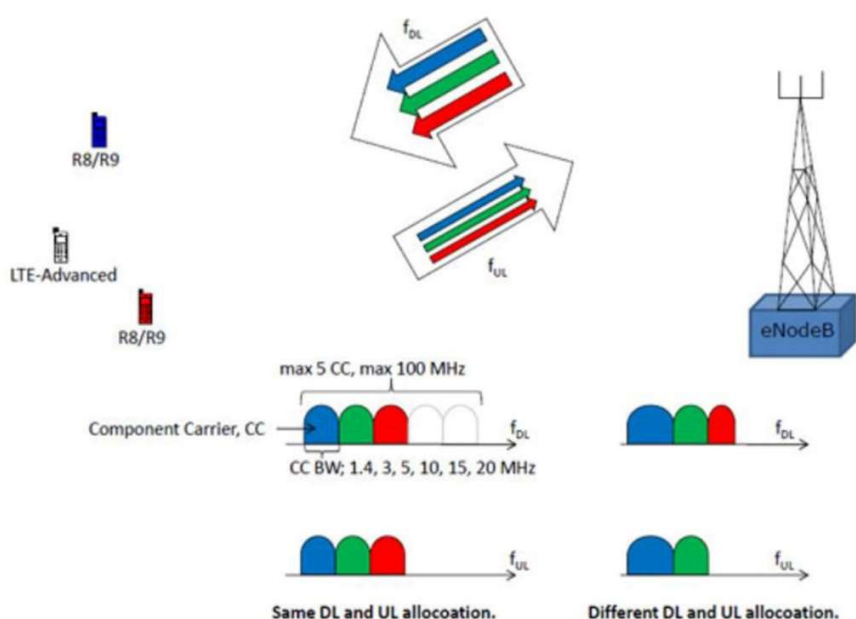
Τα δεδομένα είναι διαδεδωμένα αναμεταξύ των σταθμών βάσεων για να είναι πιο γρήγορη η σύνδεση(set-up time) και πιο μικρός ο χρόνος για την πραγματοποίηση σύνδεσης με καινούργιο σταθμό βάσης(handover).



## 4 Κυρίως Μέρος

### 4.1 Πως λειτουργεί το Carrier Aggregation

Αρχικά, κάθε eNB θεωρείται και το κύριο σημείο πρόσβασης μίας συσκευής όταν θα συνδεθεί με το δίκτυο πρόσβασης LTE-A και όσο δεν γίνεται κάποιο handover ή μέσω πρωτοκόλλου δεν γίνεται RRC\_DE-REGISTERED (έξοδος από το δίκτυο LTE-A), θα παραμένει το κύριο σημείο πρόσβασης.



Το συνολικό εύρος ζώνης διασπάται σε επιμέρους μικρότερες συνιστώσες-φορέα (Component Carrier), όπως στην τεχνική OFDMA με κάποιες διαφορές. Όσο πιο μικρή είναι η απόσταση ανάμεσα στις συνιστώσες τόσο πιο αποδοτικό είναι το φάσμα που χρησιμοποιείται.

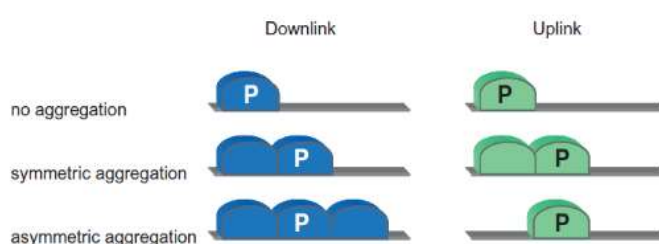
Το εύρος ζώνης κάθε συνιστώσας-φορέα (Component Carrier), που παρέχεται, ποικίλει από 1.4, 3, 5, 10, 15 και 20 MHz. Ανάλογα πόσο εξελεγμένος είναι ο UE θα μπορεί να του παραχωρείται ένας αριθμός μέχρι 5 φορέων, για συνάθροιση, και με μέγιστο Εύρος Ζώνης τα 100 MHz στο downlink.

Στην αποστολή από το UE (uplink) και στην λήψη προς το UE (downlink) υπάρχει διαφορετική παραχώρηση από συνιστώσες-φορείς (Component Carriers) με προτεραιότητα στο downlink στο FDD (Frequency Division Duplex).



Ανάλογα με το αν έχουμε συνάθροιση ή όχι τυχαίνουν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις οι οποίες καθορίζουν τις συνιστώσες που θα παραχωρούνται σε κάθε UE στο Downlink και στο Uplink:

1. Καμία Συνάθροιση
2. Συμμετρική Συνάθροιση
3. Ασύμμετρη Συνάθροιση



Οι δύο πρώτες περιπτώσεις είναι απλές διότι ο αριθμός των συνιστωσών είναι ανάλογος είτε πρόκειται για την λήψη (Downlink) είτε για την αποστολή (Uplink). Στην περίπτωση της Ασύμμετρης Συνάθροισης ο αριθμός των συνιστωσών (Component Carrier) που συναθροίζονται στην λήψη (Downlink) μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό συνιστωσών στην αποστολή (Uplink).

## 4.2 Πως διασπάται το εύρος ζώνης για την επίτευξη συνάθροισης

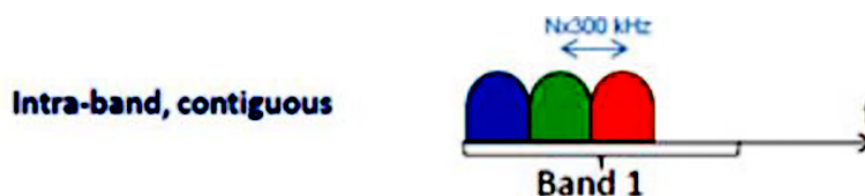
Για την διάσπαση του συνολικού εύρους ζώνης, που θα χρησιμοποιηθεί, σε συνιστώσες το δίκτυο μπορεί να διασπάσει τις συχνότητες με τρεις τρόπους:

1. Συνάθροιση συνεχόμενων φερόντων με κάλυψη σε μία μπάντα συχνοτήτων (Intra-band, Contiguous)
2. Συνάθροιση μη-συνεχόμενων φερόντων με κάλυψη σε μία μπάντα συχνοτήτων (Intra-band, non-Contiguous)
3. Συνάθροιση μη-συνεχόμενων φερόντων με κάλυψη σε πολλές μπάντες συχνοτήτων (Inter-band, non-Contiguous)



#### 4.2.1 Intra-band Contiguous

Ο πρώτος και πιο εύκολος τρόπος, διάσπασης του διαθέσιμου εύρους ζώνης, είναι με χρήση συνεχόμενων (contiguous) συνιστωσών οι οποίες ανήκουν σε συγκεκριμένη μπάντα η οποία παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες (intra-band).



Οι κάθε συνιστώσα έχει μία απόσταση συχνότητας από την πιο κοντινή της, στην εικόνα είναι ένα πολλαπλάσιο των 300 KHz, ώστε να μην προκύψουν θέματα παρεμβολών κατά την εκπομπή.

Αυτού του είδους η συνάθροιση συχνοτήτων (Carrier Aggregation) δεν είναι πάντα εφικτή καθώς μπορεί να απαιτούνται και συνιστώσες (Component Carriers) από άλλες μπάντες συχνοτήτων οι οποίες εξυπηρετούν σε άλλου είδους υπηρεσίες.

#### 4.2.2 Intra-band non-Contiguous

Σε αυτό τον τρόπο διάσπασης του διαθέσιμου εύρους ζώνης, οι συνιστώσες που συναθροίζονται ανήκουν στην ίδια μπάντα συχνότητας η οποία χρησιμοποιείται για συγκεκριμένη υπηρεσία (Intra-band).

Οι συνιστώσες δεν είναι πάντα συνεχόμενες που σημαίνει πως μπορεί και να έχουν σημαντικές αποστάσεις, η μία από την άλλη.

Αυτό μπορεί να προκύψει από το γεγονός ότι δεν είναι διαθέσιμες οι πιο κοντινές συνιστώσες σε αυτές που έχουν αποδοθεί στον UE.



Αυτού του είδους η συνάθροιση συχνοτήτων (Carrier Aggregation) δεν είναι πάντα εφικτή καθώς μπορεί να απαιτούνται και συνιστώσες (Component Carriers) από άλλες μπάντες συχνοτήτων οι οποίες εξυπηρετούν σε άλλου είδους υπηρεσίες όπως και στον πρώτο τρόπο.



### 4.2.3 Inter-band non-Contiguous

Σε αυτόν τον τρόπο διάσπασης του διαθέσιμου εύρους ζώνης, οι συνιστώσες που αθροίζονται μπορούν να ανήκουν στην ίδια αλλά και σε άλλη μπάντα συχνοτήτων που η κάθε μπάντα μπορεί να εξυπηρετεί διαφορετικές υπηρεσίες (Inter-band).

Οι συνιστώσες δεν είναι πάντα συνεχόμενες που σημαίνει πως μπορεί και να έχουν σημαντικές αποστάσεις, η μία από την άλλη, και αυτό ισχύει για κάθε διαφορετική μπάντα συχνοτήτων που προσφέρει διαφορετικού είδους υπηρεσίες (non-Contiguous).



Αυτού του είδους η συνάθροιση συχνοτήτων (Carrier Aggregation) είναι πάντα εφικτή διότι πραγματοποιείται σε κάθε διαφορετική μπάντα συχνοτήτων και μπορεί να προσφέρει βελτιώσεις σε κάθε είδους υπηρεσία καθώς και να προσφέρει μεγαλύτερη κάλυψη.

## 4.3 Πως συνδέεται ο UE με τους Component Carriers

Κάθε συσκευή χρήστη (UE) συνδέεται με τον σταθμό βάσης eNB, η κύρια συνιστώσα φορέα (Primary Component Carrier) θα είναι η πρώτη κεραία στην οποία θα συνδεθεί η οποία όμως θα αλλάζει μόνο μέσω handover αν η πρόσβαση στο δίκτυο είναι ανοιχτή κατά την μετατόπιση του UE σε άλλο σταθμό βάσης.

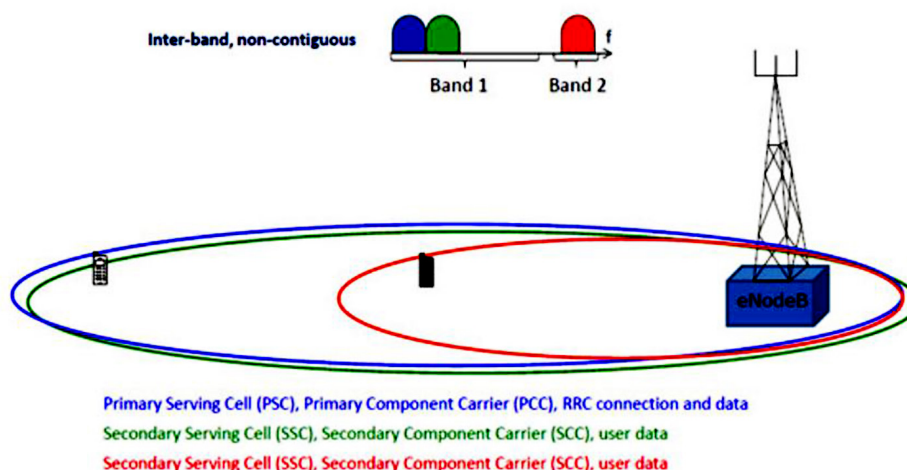
Οι δευτερεύοντες συνιστώσες φορέα (Secondary Component Carriers) θα βρίσκονται πάνω σε κάθε σταθμό βάσης και θα επικοινωνούν με κάθε UE με την χρήση MIMO συστημάτων ή θα παρέχονται μέσω cells.

Καθώς το Carrier Aggregation είναι μία δυναμική λειτουργία ο Primary Component Carrier :

- Προσθέτει ή αφαιρεί Secondary Component Carriers δυναμικά
- Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί δευτερεύοντα cells δυναμικά
- Χειρίζεται όλες τις διαδικασίες RRC και NAS
- Δέχεται αποτελέσματα μετρήσεων και ελέγχει την κινητικότητα του UE

Primary Component Carrier μπορεί να γίνει οποιοσδήποτε φορέας





Στην παραπάνω περίπτωση της συνάθροισης μη-συναφών φερόντων με κάλυψη σε πολλές μπάντες συχνοτήτων (inter-band , non-contiguous) έχουμε δύο διαφορετικά UE .

Ο μαύρος UE καλύπτεται και από τις τρεις μπάντες συχνοτήτων άρα εξυπηρετείται και από τα τρία Component Carriers (1 Primary + 2 Secondary).

Ο λευκός UE δεν μπορεί να συναθροίσει τον φορέα που λειτουργεί σε μεγαλύτερες μπάντες συχνοτήτων λόγω της απόστασής του από τον φορέα (Component Carrier).

## 4.4 Enhanced MIMO

Η τεχνική MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) είναι βασική στα μοντέρνα κινητά συστήματα και ουσιαστικά αναφέρεται στην τοποθέτηση πολλαπλών κεραιών τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη για την επίτευξη μεγάλων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και αύξησης της φασματικής απόδοσης .

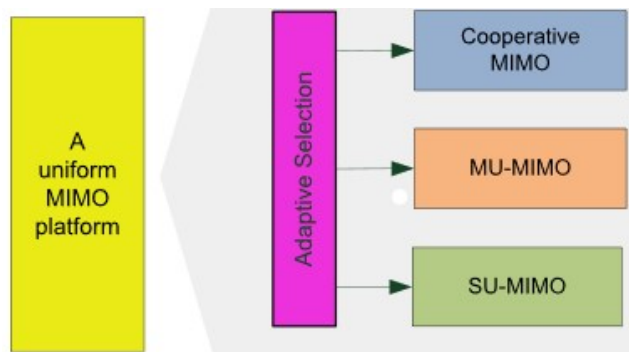
Στην τεχνολογία Enhanced MIMO το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας θα αλλάζει με βάση την τεχνική SDMA (Space-Division Multiple Access) ανάλογα με την θέση του κάθε UE για επίτευξη μεγαλύτερου πιθανού κέρδους στην κατεύθυνση του UE. Οι πληροφορίες που απαιτούνται, για την σωστή επίτευξη της τεχνικής, βρίσκονται στους σταθμούς βάσης που συλλέγουν τις πληροφορίες κατάστασης του καναλιού (Channel State Information) κάθε UE και παίρνουν αποφάσεις για ανάλογη παραχώρηση πόρων.

Για την επίτευξη της μέγιστης κάλυψης και για την κάλυψη της ανάγκης για υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων το ίδιο το σύστημα θα έχει την δυνατότητα να διαλέξει ανάμεσα σε επιλογές για να προσαρμοστεί στο περιβάλλον και στις ανάγκες του κάθε UE.

Οι επιλογές προσαρμογής περιλαμβάνουν:

1. Single-User MIMO (SU-MIMO)
2. Multi-User MIMO (MU-MIMO)
3. Cooperative MIMO





#### 4.4.1 Single-User MIMO (SU-MIMO)

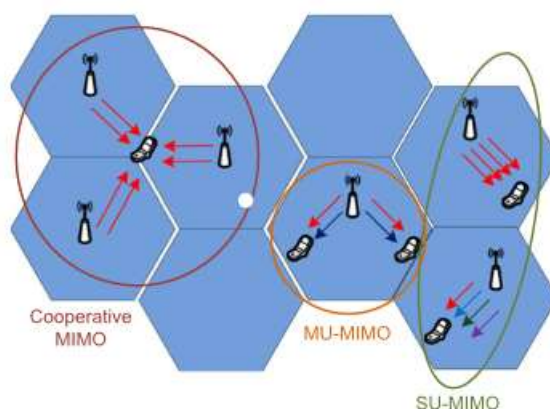
Σε αυτή την επιλογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τεχνικές transmit diversity και spatial multiplexing σε συνδυασμό με την τεχνική beamforming. Αυτός ο συνδυασμός τεχνολογιών μαζί με την ύπαρξη μεγαλύτερου αριθμού κεραιών MIMO επιτρέπει την αύξηση του μέγιστου αριθμού μετάδοσης δεδομένων.

#### 4.4.2 Multi-User MIMO (MU-MIMO)

Μεγάλη έμφαση δίνεται στην συγκεκριμένη επιλογή αφού προσφέρει την καλύτερη ισορροπία ανάμεσα στην πολυπλοκότητα και την απόδοση του δικτύου. Η ευελιξία της τεχνικής SDMA αυξάνεται αφού επιτρέπει την μετάδοση ροών δεδομένων προς πολλούς UE αυξάνοντας την μέσο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων.

#### 4.4.3 Cooperative MIMO

Σε αυτή την τεχνική ενισχύεται το throughput για τον UE που βρίσκεται στην άκρη των κυψελών με την τεχνική CoMP (Cooperative Multipoint), για αποστολή και λήψη, η οποία συντονίζει την αποστολή και την λήψη των σημάτων αναμεταξύ των διαφορετικών σταθμών βάσεων, μειώνοντας την παρεμβολή από κυψέλη σε κυψέλη.





## 4.5 To FrameWork CoMP (Cooperative Multipoint)

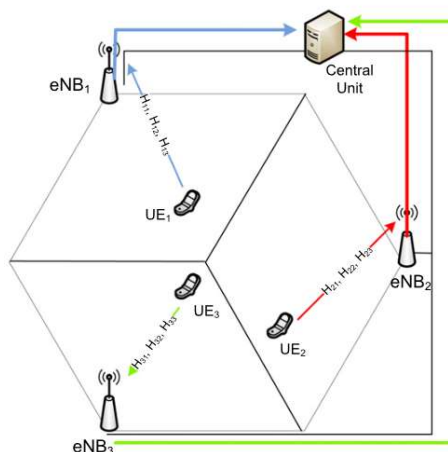
Τα μελλοντικά κινητά δίκτυα θα πρέπει να παρέχουν σε μεγάλο αριθμό χρηστών πολύ μεγάλο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και ταυτόχρονα θα πρέπει η χωρητικότητα των κινητών αυτών δικτύων να αυξηθεί. Το framework του συντονισμού ανάμεσα στους σταθμούς βάσης είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνική για την μείωση της παρεμβολής από κυψέλη-σε-κυψέλη του δικτύου τόσο στην λήψη όσο και στην αποστολή.

Με βάση το framework αυτό προκύπτουν δύο αρχιτεκτονικές:

1. Η αρχιτεκτονική κεντροποίησης
2. Η αρχιτεκτονική διαμοίρασης

### 4.5.1 Η Αρχιτεκτονική Κεντροποίησης

Σε μία προσέγγιση κεντροποίησης, μία κεντρική οντότητα απαιτείται για την συλλογή της πληροφορίας του καναλιού από όλους τους UE στην περιοχή που καλύπτεται από σταθμούς που συντονίζονται. Αυτή η οντότητα είναι υπεύθυνη για τον χρόνο-προγραμματισμό των UE αλλά και για κάποιες επεξεργασίες σημάτων.



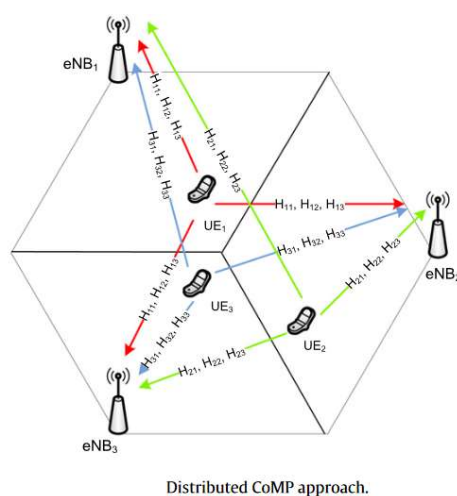
Centralized CoMP approach.



#### 4.5.2 Η Αρχιτεκτονική Διαμοίρασης

Αν θεωρήσουμε την υπόθεση, ότι οι χρόνο-προγραμματιστές σε όλους τους σταθμούς βάσης είναι παρόμοιοι και η πληροφορία του καναλιού, που έχει να κάνει με το σύνολο των σταθμών προς συντονισμό, είναι διαθέσιμη σε όλους τους κόμβους που θα συντονιστούν, τότε κανένας σύνδεσμος επικοινωνίας με άλλους σταθμούς εκτός του πεδίου του κάθε σταθμού βάσης απαιτείται για επίτευξη συντονισμού.

Αυτή η αρχιτεκτονική προσφέρει το πλεονέκτημα του να μειώσει το κόστος της υποδομής και του πρωτόκολλου σηματοδότησης που έχει να κάνει με τους συνδέσμους και την κεντρική οντότητα. Επιπλέον τα συμβατικά συστήματα δεν απαιτούν ραγδαίες αλλαγές.



#### 4.6 Αναμεταδότες (Relays)

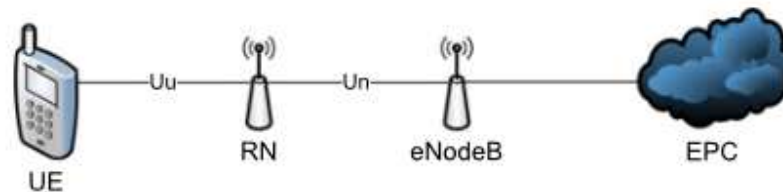
Ακόμη ένα σημαντικό στοιχείο που συστήνεται στο LTE-A και θα προσφέρει υψηλότερη απόδοση στο δίκτυο, όσον αφορά την κάλυψη και το throughput, είναι η προσθήκη αναμεταδοτών.

Η υψηλότερη κάλυψη και το αυξημένο throughput προκύπτει από :

1. Παροχή κάλυψης σε νέες περιοχές
2. Ανάπτυξη προσωρινών δικτύων
3. Επίτευξη διεκπεραιωτικότητας (throughput) στην άκρη των κυψελών
4. Κάλυψη με μεγάλο ρυθμό δεδομένων
5. Ομαδική κινητικότητα
6. Μείωση κόστους σε σχέση με το στήσιμο ενός eNB.
7. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας



Παρακάτω παρουσιάζουμε τον τρόπο που θα αναπτύσσονται στο LTE-A οι αναμεταδότες. Τα  $Uu$  και  $Un$  θα είναι καινούργιες διεπαφές που θα συνδέουν τα δύο τους άκρα .



Relay basic scheme.

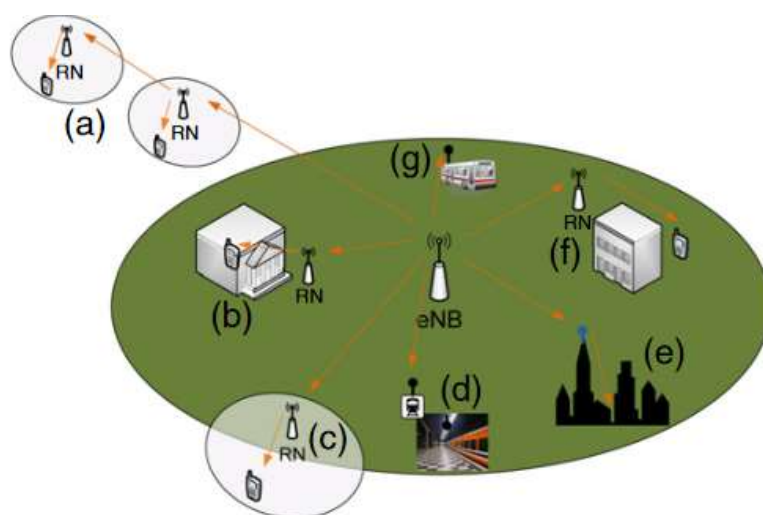
#### 4.6.1 Σενάρια Χρήσης Αναμεταδοτών (Relays)

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα βασικά σενάρια στα οποία θα γίνεται χρήση των αναμεταδοτών:

- Επικοινωνία πολλών αλμάτων (multi-hop) μεταξύ των αναμεταδοτών χρησιμοποιείται για την παροχή κάλυψης σε απομονωμένες περιοχές που υπό άλλες περιστάσεις δεν θα είχαν κάλυψη.
- Ο αναμεταδότης χρησιμοποιείται για να βελτιώσει το σήμα που λαμβάνουν οι UE μέσα στο κτίριο, ή σε μία πιθανή εξωτερική περιοχή, ώστε να ενισχύσει την διεκπεραιωτικότητα (throughput) που επιτυγχάνεται από τους UE.
- Ένας αναμεταδότης είναι τοποθετημένος κοντά στην άκρη της κυψέλης ούτως ώστε να επεκτείνει την κάλυψη ή να βελτιώσει την διεκπεραιωτικότητα (throughput) στην άκρη της κυψέλης .
- Ένας αναμεταδότης βρίσκεται σε μία υπόγεια περιοχή (Μετρό ή τραίνο ) για να επεκτείνει την κάλυψη ή να βελτιώσει την διεκπεραιωτικότητα (throughput) σε αυτή την περιοχή.
- Σε αυτό το σενάριο , παρόμοια και στο f), οι περιοχές που δεν έχουν κάλυψη από το φαινόμενο του shadowing (π.χ. της ύπαρξης ψηλών κτιρίων ανάμεσα από τις κεραιές που εκπέμπουν και σε κοντύτερα κτίρια ) μπορούν να καλυφθούν μέσω αναμεταδοτών.
- Παρόμοιο με e.



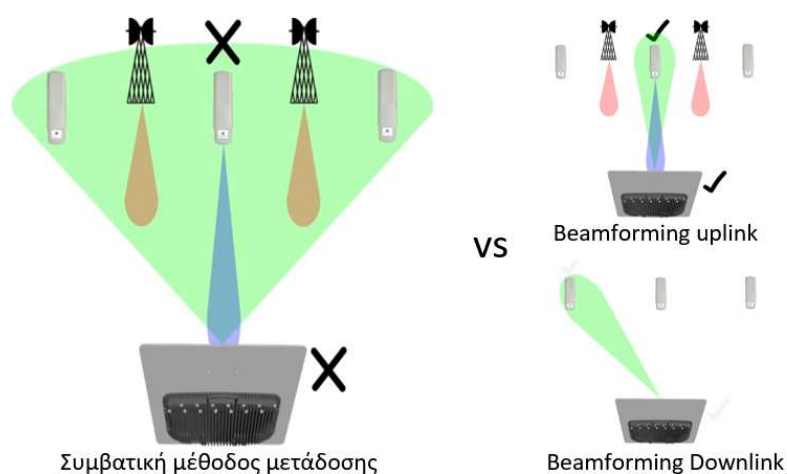
- g) Σε αυτό το σενάριο ένας κινητός αναμεταδότης θα χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την διεκπεραιωτικότητα (throughput).



Relay deployment scenarios.

## 4.7 Beamforming

Μία τεχνική εκπομπής που προσφέρει πολλά θετικά με την χρήση της στο LTE-A Carrier Aggregation είναι και η τεχνική Beamforming. Όταν μία κεραία ενός σημείου πρόσβασης εκπέμπει σε κάποιους UE, τα δεδομένα που εκπέμπει στέλνονται με μία δέσμη σε συγκεκριμένο σχήμα για να καλύψει τους UE. Το σχήμα της δέσμης καθορίζεται από το κέρδος της κεραίας ανάλογα και το προς τα που στοχεύει. Όσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος τόσο πιο μακριά φτάνει η δέσμη στην κατεύθυνση που στοχεύει η κεραία. Παρακάτω φαίνεται η ενέργεια του σήματος που στέλνεται από την κεραία ανάλογα το σενάριο.



#### 4.7.1 Συμβατική μέθοδος

Στην συμβατική περίπτωση η ενέργεια του σήματος καλύπτει όλους τους UE ενώ παρατηρούμε και την ενέργεια του σήματος από τον UE προς την κεραία . Όταν η κεραία λαμβάνει δεδομένα από κάποιο UE χρησιμοποιεί την ίδια δέσμη με την οποία στέλνει. Αυτό σημαίνει πως σήματα, της ίδιας συχνότητας, όπως της κεραίας ή του UE που εισέρχονται στο σχήμα της δέσμης της κεραίας μπορούν να προκαλέσουν παρεμβολές και απώλειες σε δεδομένα .

#### 4.7.2 Μετάδοση με Beamforming

Σε αυτή το σενάριο η κεραία εκπέμπει μία στενή δέσμη η οποία έχει υψηλό κέρδος σε συγκεκριμένη κατεύθυνση . Αυτή η στενή δέσμη στοχεύει προς τον UE από τον οποίο θέλει να δεχτεί δεδομένα ή να στείλει . Ταυτόχρονα αποφεύγει τις παρεμβολές από άλλες κεραίες ή UE αφού έχει χαμηλό κέρδος προς οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση. Αν η κεραία του σημείου πρόσβασης θέλει να δεχτεί δεδομένα από άλλο UE η δέσμη δημιουργείται στοχεύοντας προς αυτόν.



## 5 Ανοιχτές Προκλήσεις

Σε αυτό το κομμάτι παρουσιάζουμε πιθανές μελλοντικές προσθήκες στην τεχνολογία Carrier Aggregation καθώς και πιθανά προβλήματα που θα προκύψουν μαζί με πιθανούς τρόπους αντιμετώπισής τους.

### 5.1 Συνάθροιση FDD and TDD

Στην αρχική της φάση η τεχνολογία Carrier Aggregation συνδυάζει δύο FDD ή δύο TDD συχνότητες.

Σαν επόμενη φάση της τεχνολογίας, θα γίνεται συνάθροιση ανάμεσα σε FDD και TDD συχνότητες, όπου κάποια από τις δύο θα είναι ο Primary Component Carrier.

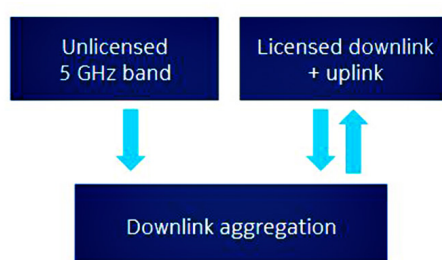
Η συνάθροιση μεταξύ FDD και TDD μπορεί να προσφέρει :

- FDD, σε χαμηλές μπάντες συχνοτήτων, για καλή κάλυψη
- TDD, σε υψηλές μπάντες συχνοτήτων, για εκμετάλλευση του περισσίου φάσματος για μεγαλύτερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων.

### 5.2 Συνάθροιση με Un-Licensed Συχνότητες

Στο LTE μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μπάντα συχνοτήτων 5GHz με βάση την έκδοση 13 της 3GPP με το όνομα LTE-U.

Η ιδέα είναι η συνάθροιση μεταξύ των licensed συχνοτήτων του σταθμού βάσης και των unlicensed συχνοτήτων με απώτερο σκοπό να ενισχύσει την χωρητικότητα του δικτύου και τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων.



Aggregation of licensed and unlicensed frequencies

Η licensed μπάντα μπορεί να παρέχει αξιόπιστη σύνδεση στο downlink και uplink ενώ η Unlicensed μπάντα θα αυξάνει τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων των UE.

Ακόμη μπορεί να διπλασιάσει την φασματική απόδοση και την εμβέλεια του cell σε σχέση με την τεχνολογία wi-fi.





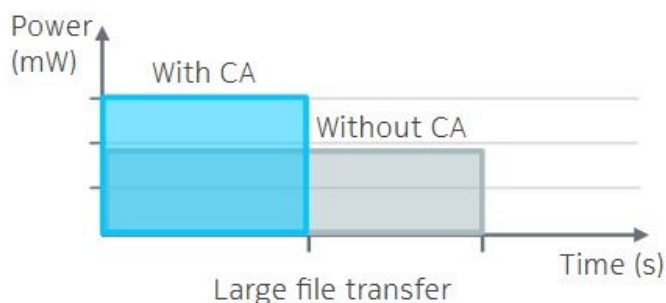
### 5.3 Παραμετροποίηση της κατανάλωσης του UE

Η τεχνολογία Carrier Aggregation επηρεάζει την ζωή της μπαταρίας του UE διότι :

1. Η συσκευή πρέπει να ελέγχει δύο συχνότητες
2. Χρησιμοποιεί περισσότερο τηλεπικοινωνιακό hardware
3. Αυξάνει την κίνηση στην ζώνη βάσης

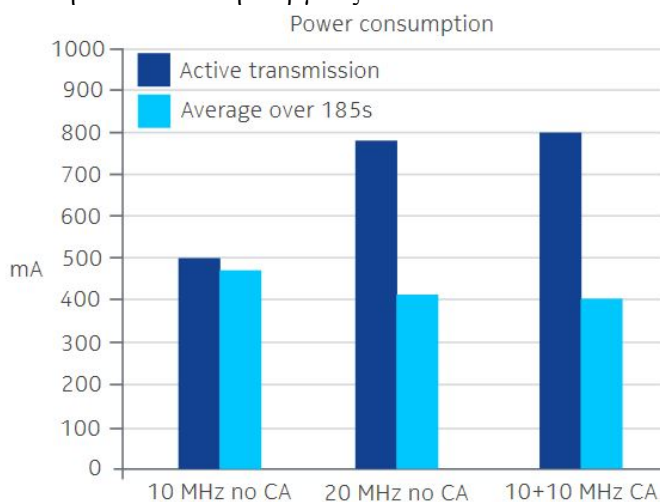
Όταν γίνεται λήψη ενός μεγάλου αρχείου με χρήση της τεχνολογίας Carrier Aggregation υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Παρόλα αυτά υπάρχει και μεγαλύτερο throughput και ως αποτέλεσμα η λήψη είναι πιο γρήγορη αυξάνοντας την απόδοση και καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια.



#### Power consumption for a large file transfer

Το πραγματικό πρόβλημα είναι όταν η σύνδεση είναι ανοικτή και χρησιμοποιείται η τεχνολογία Carrier Aggregation διότι αν γίνεται μεταφορά short burst δεδομένων και το inactivity timer της χρήσης των δεδομένων δεν λήγει τότε έχουμε αύξηση μέχρι και 80% στην κατανάλωση ενέργειας .



#### Measured device power consumption with carrier aggregation





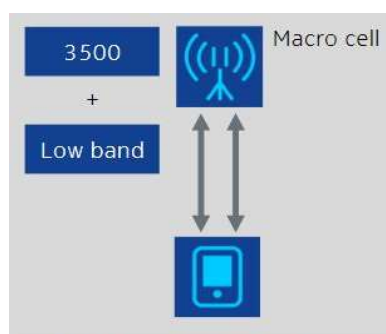
## 5.4 Η καθυστέρηση στην Αρχιτεκτονική Κεντροποίησης

Η κύρια προκλήσεις στην αρχιτεκτονική κεντροποίησης έχουν να κάνουν με τους συνδέσμους επικοινωνίας μεταξύ την κεντρικής οντότητας και των σταθμών βάσης. Θα πρέπει να υποστηρίζουν πολύ χαμηλής καθυστέρησης μεταδόσεις δεδομένων και επιπρόσθετα θα πρέπει να σχεδιαστούν κάποια πρωτόκολλα επικοινωνίας για την ανταλλαγή αυτών των δεδομένων .

## 5.5 Συνάθροιση σε Ετερογενή Δίκτυα

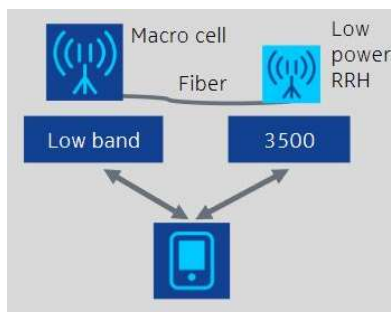
Η τεχνολογία Carrier Aggregation θα μπορούσε να επωφεληθεί από την χρήση των μικρότερων κυψελών οι οποίες θα βρίσκονται πιο κοντά στον UE .

Από μία μακρό-κυψέλη θα είναι εφικτή η επικοινωνία με τον UE με συνάθροιση χαμηλότερων συχνοτήτων μαζί με συχνότητες στα 3,5GHz, που θα είναι οι συχνότητες εκπομπής από μακρό-κυψέλες.



Carrier Aggregation in macro cell

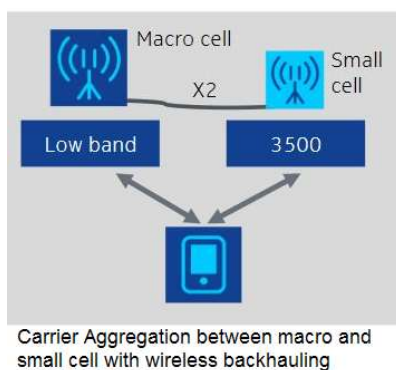
Σε ένα λίγο πιο διαφορετικό σενάριο, η μακρό-κυψέλη θα εξυπηρετεί τον UE μόνο για χαμηλές συχνότητες ενώ θα υπάρχει μία κεραία χαμηλής κατανάλωσης που θα παρέχει υπηρεσίες μέσω συχνότητας 3,5GHz.



Carrier Aggregation between macro and low power RF head



Σε μία πιο πρόσφατη έκδοση της 3GPP, ενισχύεται η συνάθροιση με χρήση μακρό-κυψέλης για τις χαμηλές συχνότητες και μία μικρότερη κυψέλη για συχνότητες στα 3,5 GHz. Η επικοινωνία μεταξύ των δύο κυψελών γίνεται με X2 interface μέσω του οποίου προσφέρεται wireless backhaul.





## **6 Συμπεράσματα**

Η τεχνολογία Carrier Aggregation είναι ένα θετικό βήμα για το LTE-A καθώς προσφέρει βελτιώσεις στο δίκτυο και αυτές τις βελτιώσεις ανάλογα με το Quality-of-Service που προσφέρουν μπορούν να σπάσουν σε πακέτα υπηρεσιών ανάλογα τις επιλογές των χρηστών και το UE που διαθέτουν.

Η τεχνολογία Carrier Aggregation:

- Αυξάνει τον μέγιστο και τον πραγματικό ρυθμό δεδομένων
- Παρέχει μεγαλύτερη κάλυψη στην λήψη δεδομένων (downlink)
- Απλοποιεί την διαχείριση της κίνησης δεδομένων με χρήση πολλαπλών ευρών ζώνης

Για να μπορούν να επιτευχθούν αυτές αλλά και μελλοντικές βελτιώσεις θα πρέπει να υλοποιηθούν οι πολύ βασικές τεχνολογίες για το LTE-A:

1. Enhanced MIMO
2. Αναμεταδότες (Relays)
3. To FrameWork CoMP (Cooperative Multipoint)
4. Beamforming
5. Spatial Multiplexing



## **7 Βιβλιογραφία**

1. Ian F. Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez and Elias Chavarria Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced,” in Elsevier Physical Communication, no. 3, pp. 217-244, 2010.
2. Guangxiang Yuan, Xiang Zhang, Wenbo Wang and Yang Yang, “Carrier Aggregation for LTE-Advanced Mobile Communication Systems,” in IEEE Communications Magazine, vol. 48, pp. 88-93, February 2010.
3. A. Z. Yonis, M. F. L. Abdullah and M. F. Ghanim, “Effective Carrier Aggregation on LTE-Advanced Systems,” in International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 41, pp. 15-26, April 2012
4. Maruti Gupta, Satish C. Jha, Ali T. Koc and Rath Vannithamby, “Energy impact of Emerging Mobile Internet Applications on LTE Networks: Issues and Solutions,” in IEEE Communications Magazine, vol. 51 issue 2, pp. 90-97, February 2013
5. Nokia, “LTE-Advanced Carrier Aggregation Optimization,” in Nokia Networks white paper.
6. Jeanette Wannstrom, “Carrier Aggregation Explained,” in 3GPP, June 2013.
7. Jeanette Wannstrom, “LTE-Advanced,” in 3GPP, June 2013.